



پژوهش آب در کشاورزی

Wra.areeo.ac.ir

ISSN: 2228-7140

ب / جلد ۳۷ / شماره ۴ / سال ۱۴۰۲

صفحه	عنوان
۳۲۳.....	بررسی تأثیر روش آبیاری قطره‌ای و شیاری بر شبیه‌سازی عملکرد چغندر قند با استفاده از مدل AquaCrop مصطفی یعقوب‌زاده، فرهاد آذر می‌آتا جان، مهدی عربی آیسک و امیرحسین قدیریان
۳۳۷.....	اثر کاربرد مواد اصلاح‌کننده خاک در شرایط کم‌آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری فیزیکی آب ذرت علوفه‌ای در منطقه خرم‌آباد مه‌ری سعیدی‌نیا، سید حسین موسوی و سجاد رحیمی‌مقدم
۳۵۳.....	ارزیابی عملکرد ارقام کلزا در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی رهام محتشمی
۳۶۹.....	ارزش‌گذاری اقتصادی آب در بخش کشاورزی استان همدان علی محمد جعفری، علی قدمی فیروزآبادی، موسی سلگی، قاسم زارعی و کاروان شانازی
۳۸۵.....	ارزیابی تخمین تنش آبی پنبه با استفاده از تصاویر چند طیفی ماهواره‌ای، مبتنی بر مدل درخت M5 مریم مزیدی، موسی حسام، خلیل قربانی و چوقی بایرام‌کمکی
۴۰۱.....	پاسخ گیاه دارویی مریم‌گلی به آب آبیاری شور مغناطیسی شده فهیمه کریم‌پور، مجتبی خوش‌روش، محمدعلی غلامی سفیدکوهی و وحید اکبرپور
۴۱۵.....	اثر متقابل کم‌آبیاری و بیوچار روی ویژگی‌های کمی گیاه گشنیز در یک خاک شنی لومی سولماز مکرم‌حصار، جواد بهمنش و وحید رضوردی‌نژاد

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

جلد ۳۷ شماره (۴)
۱۴۰۲

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

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

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

چهار شماره
دکتر حمید سیادت
مهندس فاطمه آقاجانی

تعداد انتشار در سال:
ویراستار انگلیسی:
صفحه آرایی:

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

- ۳۲۳..... AquaCrop مدل استفاده از مدل چغندر قند با استفاده از مدل AquaCrop
مصطفی یعقوبزاده، فرهاد آذرمی آتاجان، مهدی عربی آیسک و امیرحسین قدیریان
- ۳۳۷..... اثر کاربرد مواد اصلاح کننده خاک در شرایط کم آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری فیزیکی آب ذرت علوفه‌ای در منطقه خرم‌آباد
مهری سعیدی‌نیا، سید حسین موسوی و سجاد رحیمی‌مقدم
- ۳۵۳..... ارزیابی عملکرد ارقام کلزا در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی
رهام محتشمی
- ۳۶۹..... ارزش‌گذاری اقتصادی آب در بخش کشاورزی استان همدان
علی محمد جعفری، علی قدمی فیروزآبادی، موسی سلگی، قاسم زارعی و کاروان شانازی
- ۳۸۵..... ارزیابی تخمین تنش آبی پنبه با استفاده از تصاویر چند طیفی ماهواره‌ای، مبتنی بر مدل درخت M5
مریم مزیدی، موسی حسام، خلیل قربانی و چوقی بایرام‌کمکی
- ۴۰۱..... پاسخ گیاه دارویی مریم‌گلی به آب آبیاری شور مغناطیسی شده
فهیمة کریم‌پور، مجتبی خوش‌روش، محمدعلی غلامی سفیدکوهی و وحید اکبرپور
- ۴۱۵..... اثر متقابل کم آبیاری و بیوچار روی ویژگی‌های کمی گیاه گشنیز در یک خاک شنی لومی
سولماز مکرم‌حصار، جواد بهمنش و وحید رضاوردی‌نژاد

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

ب) نحوه تهیه و ارسال مقاله

نحوه نگارش مقاله

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

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

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

شناسنامه مقاله

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

برگ شناسه

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

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

عنوان مقاله

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

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

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

واژه‌های کلیدی:

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

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

مقدمه

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

مواد و روشها

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

نتایج

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

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

بحث

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

تشکر و قدردانی

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

فهرست منابع

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

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

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

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

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

برای یک مقاله به ترتیب نام خانوادگی نگارنده، حرف اول اسم کوچک نگارنده، تاریخ انتشار، عنوان مقاله عنوان کامل مجله، شماره جلد، و اولین و آخرین صفحه مقاله ارائه شود. برای یک کتاب به ترتیب نام خانوادگی، و سپس حرف اول نام کوچک نگارنده، تاریخ انتشار، عنوان کامل کتاب، شماره جلد، نام ناشر، محل انتشار و تعداد کل صفحات ارائه شود. در مورد مقاله یا کتاب‌هایی که بیش از یک نویسنده دارند به ترتیب نام خانوادگی، و حرف اول نام اولین نویسنده، و سپس نام خانوادگی نویسنده دوم، و حرف اول نویسنده دوم، 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.* 62:930–937.

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.

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...

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

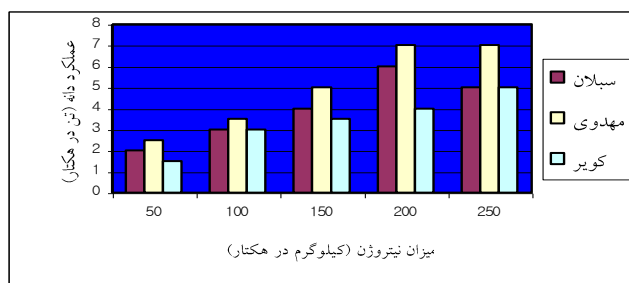
جدول نامناسب

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

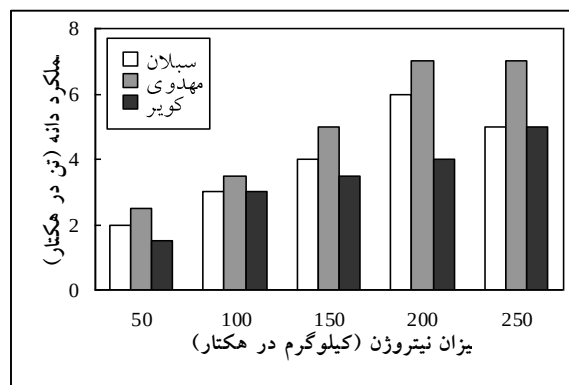
جدول مناسب

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

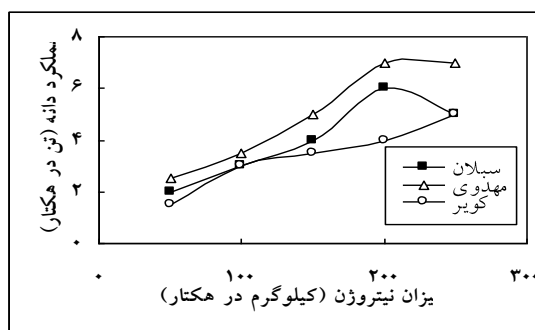
نامناسب



مناسب



مناسب



دکتر مهدی پناهی.....	۱ دآوری
دکتر میلاد نوری.....	۳ دآوری
دکتر منصور معیری.....	۱ دآوری
مهندس سعید غالبی.....	۱ دآوری
دکتر فاطمه مسکینی.....	۴ دآوری
دکتر علیرضا توکلی.....	۴ دآوری
دکتر آرش تافته.....	۴ دآوری
دکتر حسن علیپور.....	۱ دآوری
دکتر هرمز اسدی.....	۲ دآوری
دکتر شادمان ویسی.....	۲ دآوری
دکتر اژدر عنابی میلانی.....	۱ دآوری
دکتر فاطمه کیخایی.....	۱ دآوری
دکتر عبدالمجید لیاقت.....	۳ دآوری

فرم تعهد نامه

نشریه پژوهش‌های آب در کشاورزی

اینجانب نویسنده مسئول مقاله زیر:

- سال‌های اجراء آزمایش ذکر شود

موارد زیر را به آگاهی می‌رسانم:

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

نام نام خانوادگی نویسنده اول: امضاء نویسنده اول مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده دوم: امضاء نویسنده دوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده سوم: امضاء نویسنده سوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده چهارم: امضاء نویسنده چهارم مقاله

بررسی تأثیر روش آبیاری قطره‌ای و شیاری بر شبیه‌سازی عملکرد چغندر قند با

استفاده از مدل AquaCrop

مصطفی یعقوب‌زاده*، فرهاد آذر می‌آتاجان، مهدی عربی آیسک و امیرحسین قدیریان

دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب-دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

گروه پژوهشی خشکسالی و تغییر اقلیم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

M.yaghoobzadeh@birjand.ac.ir

استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک -دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

گروه پژوهشی خشکسالی و تغییر اقلیم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

farhadazarmi@birjand.ac.ir

دانش‌آموخته کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

mehdiarabi11@yahoo.com

دانش‌آموخته کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

amir.0017h@gmail.com

دریافت: شهریور ۱۴۰۲ و پذیرش: دی ۱۴۰۲

چکیده

استفاده صحیح و بهینه از منابع آب و مدیریت علمی آن‌ها امری بسیار حیاتی بوده و از این‌رو انتخاب روش مناسب آبیاری می‌تواند در صرفه‌جویی آب در بخش کشاورزی کمک شایانی نماید. در این پژوهش تأثیر انتخاب روش آبیاری مناسب بر شبیه‌سازی عملکرد محصول چغندر قند با استفاده از مدل AquaCrop بررسی شد. به این منظور، تأثیر دو روش آبیاری قطره‌ای (تیپ) و شیاری و سه سطح آبیاری (۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه) بر عملکرد گیاه چغندر قند در منطقه سرایان-آیسک بررسی شد. این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ انجام شد. نتایج نشان داد که اثر روش آبیاری بر روی قطر برگ، طول برگ، وزن برگ‌ها، قطر غده، طول غده و وزن غده چغندر قند معنی‌دار بود. برای هر صفت، تأثیر آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری شیاری افزایش معنی‌داری داشت و در نهایت برتری روش آبیاری قطره‌ای نسبت به شیاری مشاهده شد. سپس عملکرد دانه و بیوماس با استفاده از مدل AquaCrop شبیه‌سازی شد و مقادیر شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی واسنجی و صحت‌سنجی شد. واسنجی با استفاده از تکرارهای دو سطح تنش ۱۰۰٪ و ۵۰٪ و صحت‌سنجی با استفاده از تعداد تکرار سطح تنش ۷۵٪ و همچنین سطح تنش ۱۰۰٪ در سال زراعی ۱۴۰۱ انجام شد. ضرایب انحراف جذر میانگین مربعات (RMSE)، R^2 و RD حاصل از مقادیر واسنجی مدل نشان داد که مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر صحت‌سنجی به یکدیگر نزدیک می‌باشند و این مقادیر در آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری شیاری دقت بیشتری دارد. همچنین مقادیر صحت‌سنجی دو روش آبیاری نیز نشان‌دهنده توانایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد دانه و زی‌توده (بیوماس) است.

واژه‌های کلیدی: مدل گیاهی، واسنجی، تنش خشکی

مقدمه

در گذشته و بخصوص در دهه‌های اخیر دست‌اندازی‌هایی به منابع آب تجدیدنپذیر شده که سهم آیندگان در این کشور و منطقه جغرافیایی را به خطر انداخته است. متوسط سالانه نزولات جوی در ایران حدود ۲۵۰ میلی‌متر در سال است که در حدود یک‌سوم متوسط جهانی و نصف قاره آسیا است. ۲۵ درصد از خاک ایران در محدوده فراخشک و ۴۰ درصد در منطقه خشک و ۲۵ درصد در منطقه غیر خشک هستند (بهران و هنربخش، ۱۳۸۷). مصرف آب در بخش کشاورزی در خاورمیانه ۸۴ درصد و در قاره آفریقا ۸۲ درصد است در حالی که مصرف آب در بخش کشاورزی در ایران به بیش از ۹۲ درصد می‌رسد که فقط یک درصد آن در بخش صنعت و هفت درصد در بخش شهری از منابع آب شیرین ایران مصرف می‌شود. در نتیجه باید به جهت جلوگیری از هدررفت آب به‌خصوص در بخش کشاورزی که بیشترین سهم استفاده آبی نسبت به سایر صنایع را دارد توجه بیشتری شود (محمدجانی و یزدانیان، ۱۳۹۳). فشار ناشی از کمبود آب در بخش کشاورزی، انگیزه یافتن راه‌هایی برای بهره‌برداری کامل و درست از منابع آب در دسترس را افزایش داده که به‌کارگیری و استفاده از روش‌های جدید و نوین آبیاری یکی از این راه‌ها است (ال عمران و همکاران^۱، ۲۰۰۴).

چغندر قند گیاهی است که برای تولید محصول نیاز به مصرف آب زیادی دارد که این موضوع مانع توسعه کشت آن در مناطق با محدودیت آب شده است. فابریو^۲ و همکاران (۲۰۰۳) به جهت جلوگیری از کاهش سطح زیر کشت و افزایش بازدهی آب آبیاری در زراعت چغندر قند، روش‌های آبیاری با کارایی مصرف آب و بازدهی بالاتر جایگزین کردند. رحیمیان و اسدی (۱۳۷۹) تأثیر تنش آبی بر عملکرد کمی و کیفی چغندر قند در منطقه مشهد را بررسی کردند و نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که کم‌آبیاری کارایی مصرف آب را افزایش داده و افزایش میزان مصرف آب آبیاری نسبت قند خالص به قند ناخالص را

کاهش داد. غلظت شکر در ریشه چغندر قند ممکن است به علت اعمال تنش رطوبتی ملایم قبل از برداشت تا حد یک درصد افزایش داشته باشد ولی باید توجه کرد که کل شکر تولید شده ممکن است به دلیل کاهش عملکرد ریشه، کاهش یابد (کوچکی و سلطانی، ۱۳۷۵). ساکیلارو-مکرانتونالی^۳ و همکاران (۲۰۰۲) تأثیر دو روش آبیاری سطحی و زیرسطحی با دو رژیم آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه در زراعت چغندر قند را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد اعمال ۸۰ درصد نیاز آبی در روش آبیاری زیر سطحی منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۶/۱۶ درصد گردید بدون این‌که در عملکرد ریشه کاهش معنی‌داری به وجود آید.

حسین‌آبادی و همکاران (۱۳۸۴) در آزمایشی اثر سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و شیاری را بر روی محصول چغندر قند بررسی نمودند. نتایج نشان داد میزان آب مصرفی در آبیاری قطره‌ای ۵۸ درصد آبیاری سطحی بود. بیشترین عملکرد ریشه مربوط به تیمارهای آبیاری قطره‌ای چهار ردیفه (معمولی) بود. در حالیکه تفاوت معنی‌داری در عملکرد قند سفید تیمارها مشاهده نگردید. بیشترین مقدار کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد قند سفید و عملکرد ریشه در تیمار آبیاری قطره‌ای یک ردیف در میان و کمترین مقدار در تیمار جویچه‌ای معمولی مشاهده گردید. بیشترین نسبت وزن قسمت هوایی به زمینی را تیمار آبیاری سطحی و تیمارهای آبیاری قطره‌ای چهار ردیفه داشتند.

در تحقیقی اثر سه تیمار نیاز آبی ۱۰۰، ۸۵ و ۷۰ درصد تبخیر از تشتک را در آبیاری جویچه‌ای بر روی چغندر قند در اصفهان مورد مطالعه قرار گرفت، در تیمار ۷۰ درصد تبخیر از تشتک مطالعه قرار گرفت، در تیمار ۷۰ درصد تبخیر از تشتک علی‌رغم کاهش ۳۰ درصدی در آب مصرفی عملکرد قند کاهش نیافت (اکبری، ۱۳۷۷).

در یوتای آمریکا مطالعه سامانه‌های مختلف آبیاری در زراعت چغندر قند نتایج نشان داد که آبیاری قطره‌ای جایگزین مناسبی برای آبیاری نشتی و توسعه

³ - Sakellariou- Makrantonali

¹- Al- Omran et al

²- Faberio

به ترتیب ۷/۳ و ۸/۶۷ درصد و در مرحله اعتبارسنجی به ترتیب ۷/۶۹ و ۹/۸۲ درصد به دست آمد.

ابراهیمی پاک و اگدرنژاد (۱۳۹۶) نیز دقت مدل AquaCrop را در تعیین عملکرد و کارایی مصرف آب چغندرقد در مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی شهرکرد انجام دادند. نتایج آماره‌های کارایی مدل و شاخص توافق برای عملکرد چغندرقد به ترتیب برابر با ۰/۶۲ و ۰/۹۹ به دست آمدند. مقایسه آماری نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های مزرعه‌ای نشان داد مدل دقت قابل قبولی در شبیه‌سازی هردو عامل عملکرد و کارایی مصرف آب دارد. چغندرقد از یک طرف به‌عنوان گیاهی با مصرف آب زیاد شناخته می‌شود و از طرف دیگر منبع تولید صنایع قند است؛ بنابراین انجام تحقیقات در یافتن روش‌های نوین مدیریت مصرف آب چغندرقد در مزرعه می‌تواند در شرایط خشکسالی راهگشا باشد. با این وجود تحقیقات کمی در زمینه استفاده از روش‌های نوین آبیاری و بخصوص در زمینه واسنجی و صحت سنجی مدل AquaCrop تحت شرایط روش‌های مدیریت مصرف آب مختلف برای گیاه چغندرقد انجام شده است. در راستای این هدف در این تحقیق، بهینه‌ترین رژیم آبیاری چغندرقد با هدف کاهش مصرف آب کشاورزی و افزایش سطح زیر کشت در منطقه تعیین می‌شود. همچنین در این تحقیق، عملکرد چغندرقد تحت تأثیر دو روش آبیاری سطحی (شیاری) و قطره‌ای (تیپ) و تنش‌های اعمال‌شده در مزرعه تعیین و مدل AquaCrop با توجه به عملکرد چغندرقد واسنجی و صحت سنجی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در شهرستان سراوان، منطقه آیسک با موقعیت جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و ۵۸ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۳۶۰ متر از سطح دریا انجام شد. این منطقه از نظر اقلیمی جزء مناطق خشک و

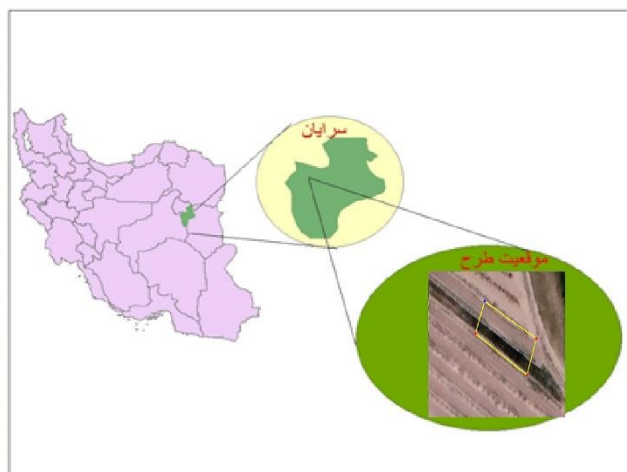
کشت چغندرقد در منطقه است. در آبیاری قطره‌ای اندازه ریشه‌ها و عملکرد شکر نسبت به آبیاری نشتی افزایش یافت. در آبیاری نشتی هزینه کنترل علف‌های هرز و مجموع هزینه‌های متغیر فصلی در مقایسه با آبیاری بارانی افزایش داشت. برگشت سرمایه در آبیاری نشتی ۲۰۸۰ دلار و در قطره‌ای ۲۳۱۰ دلار در هر هکتار بود ضمن این‌که هزینه‌های اولیه در آبیاری قطره‌ای در مزرعه‌ای ۴۰ هکتاری طی هفت سال می‌تواند جبران شود (شارماسارکار^۱ و همکاران، ۲۰۰۱).

فرهادی (۱۳۷۶) در تحقیق خود بر روی تأثیر روش‌های آبیاری و شیاری بر عملکرد خربزه به این نتیجه رسیدند که آبیاری قطره‌ای باعث افزایش ۱۶ درصدی عملکرد نسبت به شیاری گردید. بر اساس مطالعات امداد و همکاران (۱۴۰۱) طی پژوهش در دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ با هدف تعیین کارایی مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی عملکرد دانه و زیست‌توده گیاه کینوا با اعمال تنش ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی در مراحل توسعه و میانی، نتایج مقایسه شاخص‌های آماری عملکرد دانه، زیست‌توده و کارایی مصرف آب در سال دوم به ترتیب نه، شش و نه درصد و کارایی مدل برای این صفات به ترتیب ۰/۶۸، ۰/۷۱ و ۰/۶۲ تعیین شد. نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل بیانگر دقت و کارایی مناسب مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه، زیست‌توده و کارایی مصرف آب گیاه کینوا بوده و می‌توان از این مدل به جهت ارائه مناسب‌ترین سناریو و مدیریت آبیاری در حالت‌های مختلف تنش و کم آبیاری استفاده کرد. سعادت و همکاران (۱۳۹۷) کارایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی پوشش گیاهی، ماده خشک و عملکرد گیاه چغندرقد و رطوبت خاک تحت شش تیمار آبیاری انجام دادند. ارزیابی آماری مدل نتایج، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در اعتبار سنجی به ترتیب بین ۶/۶۴ تا ۹/۲ و ۱۲/۳۶ تا ۲۵/۷۷ درصد بدست آمد. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در شبیه‌سازی عملکرد ریشه و ماده خشک در مرحله واسنجی

¹- Sharmasarkar

موقعیت شهرستان سرایان و همچنین محل اجرای طرح در شکل ۱ نشان داده شده است.

نیمه‌خشک دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم است. متوسط بارندگی این منطقه کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر و میانگین سالانه‌ی دمای آن ۱۶ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۱- موقعیت شهرستان سرایان و محل اجرای طرح آزمایشی

نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش آب‌و‌خاک و همچنین با استفاده از شاخص ویلکوکس برای طبقه‌بندی کیفیت آب مشخص گردید که آب آبیاری در طبقه C_2S_2 قرار می‌گیرد. جدول (۱) و جدول (۲) به‌ترتیب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

به‌منظور اجرای این پژوهش قطعه زمینی به مساحت ۳۰۰ مترمربع در نظر گرفته شد که در سال قبل به‌صورت آیش بود. عملیات کشاورزی در مزرعه از تاریخ پنج فروردین ۱۴۰۰ شروع و تا آبان ماه ۱۴۰۰ در طی مراحل کاشت، داشت و برداشت محصول انجام شد. با توجه به

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه

عمق خاک (cm)	EC(dS/m)	PH	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	نوع بافت	درصد اشباع خاک
۳۰/۰-۰/۰۰	۵/۱۸	۷/۸۷	۶۴/۱	۱۸/۰	۱۷/۹	لوم شنی	۲۵/۹
۶۰/۰-۳۰/۰	۶/۴۵	۷/۸۱	۶۵/۷	۱۸/۶	۱۵/۷	لوم شنی	۲۵/۵

جدول ۲- خصوصیات عناصر شیمیایی آب منطقه مورد مطالعه

EC (dS/m)	pH	Ca (meq/lit)	Mg (meq/lit)	Na (meq/lit)	K (meq/lit)	TDH	CO ₃ (meq/lit)	Cl (meq/lit)
۳/۴۱	۸/۲۰	۳/۱۰	۵/۱۰	۲۳/۸	۰/۰۳	۴۰۵	۰	۱۸/۰
HCO ₃ (meq/lit)		SO ₄ (meq/lit)		SAR		TDS (mg/lit)		دما در حین انجام آزمایش (درجه سانتی‌گراد)
۶/۵۰		۸/۹۰		۱۱/۸		۲۱۸۰		۲۰/۰

و ۱۰۰٪ نیاز آبی) بر عملکرد چغندر قند در منطقه آیسک در شهرستان سرایان مورد بررسی قرار گرفت. طرح آزمایشی موردنظر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های

روش بررسی

در این پژوهش اثرات روش‌های مختلف آبیاری قطره‌ای و شیاری در سطوح مختلف آب آبیاری (۵۰٪، ۷۵٪

چغندرقتند، قطر غده چغندرقتند، طول غده چغندرقتند و بیوماس اندازه‌گیری شد. در نهایت مدل گیاهی AquaCrop با استفاده از داده‌های مربوط به آزمایش شامل داده‌های زراعی، خاک و آبیاری اجرا شد و سپس با استفاده از داده‌های عملکرد گیاه، مدل واسنجی و صحت‌سنجی شد.

مدل AquaCrop

مدل AquaCrop یکی از مدل‌های گیاهی است که برای شبیه‌سازی رشد محصولات با استفاده از سری‌های درازمدت داده‌های اقلیمی گذشته می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (سینگ^۱، ۲۰۰۴). یکی از جدیدترین مدل‌های ارائه‌شده توسط سازمان خوار و بار کشاورزی ملل متحد مدل AquaCrop است. همچنین این سازمان در بازنگری نشریه ۳۳ به‌وسیله مشورت با متخصصان سازمان‌های تأثیرگذار علمی، دانشگاهی و دولتی جهان، این مدل را برای شبیه‌سازی عملکرد محصولات زراعی با توجه به آب مصرفی، توسعه داد (نصیری اردلی و همکاران، ۱۳۹۳). از مدل AquaCrop برای محدوده‌ی وسیعی از محصولات زراعی مانند محصولات علوفه‌ای، سبزی‌ها، غلات، میوه‌ها و همچنین محصولات روغنی و غده‌ای می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در سال ۲۰۰۷ نسخه‌ی اولیه‌ی این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد محصول و حرکت آب در خاک، معرفی شد که در آن تأثیر تنش شوری، بر عملکرد محصول در نظر نگرفته شد. بسیاری از تحقیقاتی که در زمینه‌ی مدل AquaCrop انجام گرفته در وضعیت بدون شوری منابع آب‌و‌خاک و عمدتاً برای شبیه‌سازی کم‌آبیاری و عملکرد محصول بوده است (ریس^۲ و همکاران، ۲۰۱۲). مدل AquaCrop نیز مانند مدل CROPWAT از معادله Doorenbos and Kassam در سال ۱۹۷۹ استخراج شده است و همچنین مانند مدل CROPWAT، در آن نسبتی اساس محاسبه عملکرد است (کابوسی^۳، ۲۰۱۰).

کامل تصادفی در چهار تکرار انجام گردید. برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT Version 8i انجام شد و بر اساس نیاز آبی، دور آبیاری و حجم آبیاری مورد نیاز مشخص گردید. از روش فائو پنمن مانیتث در نرم‌افزار CROPWAT برای به‌دست آوردن نیاز آبی گیاه استفاده شد. در این طرح ابعاد کرت‌های فرعی ۲/۰۰×۳/۵۰ (متر×متر) است و به‌منظور جلوگیری از اثرات حاشیه‌ای، فاصله کرت‌ها یک متر در نظر گرفته شد.

نوع طرح آزمایشی و روش کاشت

برای انتخاب رقم چغندرقتند مورد نظر، از رقمی انتخاب شد که در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده می‌گردد. برای این تحقیق تعداد ۲۴ کرت که هر کرت شامل هشت ردیف است و برای کرت‌های آبیاری با نوار تیپ برای هر کرت تعداد چهار نوار تیپ در نظر گرفته شد. طول و عرض کرت‌ها به ترتیب ۲/۰۰ و ۳/۵۰ متر، فاصله بین کرت‌ها ۱/۰۰ متر و فاصله بین تکرارها ۱/۰۰ متر بود. فواصل کاشت بذر به صورتی بود که در تیمار آبیاری شیاری فاصله کاشت بین ردیف‌ها ۵۰/۰ و روی ردیف‌ها ۲۰/۰۰ سانتی‌متر و در مقابل در تیمار آبیاری قطره‌ای (تیپ) فاصله کاشت ردیف‌ها به صورت یک‌درمیان ۴۰/۰ و ۵۰/۰ سانتی‌متر و فاصله کاشت در روی ردیف‌ها ۲۰/۰۰ سانتی‌متر انتخاب شد.

در روش آبیاری شیاری، زمان آبیاری بر اساس دور آبیاری ۱۰ روزه اعمال شد. در تیمار آبیاری قطره‌ای نیز از نوارهای آبیاری (تیپ) با قطره چکان‌هایی به فاصله ۲۰ سانتی‌متر و آبدهی د لیتر در ساعت استفاده گردید.

مقدار آب مورد نیاز با دور آبیاری سه روز اعمال شد. مقدار نیاز خالص آب آبیاری در طول دوره رشد در هر دو روش آبیاری یکسان و برای سطوح ۷۵، ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی در مجموع ۹۶۷، ۷۲۵ و ۴۸۳ میلی‌متر برای هر کرت در نظر گرفته شد. در پایان فصل رشد صفاتی مانند طول برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن

^۲ -Raes

^۳ -Kaboosi

^۱ - Singh

متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه، n : تعداد داده-های استفاده شده در تحقیق و i : تعداد متغیر است.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر روش‌های آبیاری بر طول برگ معنی‌دار ($p < 0.01$) شد. نتایج نشان داد که با کاهش سطوح آبیاری در هر دو روش آبیاری قطره‌ای و سطحی، طول برگ گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بر اساس نتایج بدست آمده، با کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، طول برگ در روش آبیاری سطحی (شیاری) به‌ترتیب ۲۳ و ۵۱ درصد و در روش آبیاری قطره‌ای به‌ترتیب ۲۲ و ۵۵ درصد کاهش یافت. طول برگ در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ نیاز آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای به‌طور معنی‌داری بیشتر از روش آبیاری سطحی (شیاری) بود (شکل ۲). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر روش‌های آبیاری سطحی (شیاری) و قطره‌ای بر عرض برگ گیاه چغندر قند معنی‌دار ($p < 0.01$) شد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، هر چند سطح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبیاری تفاوت معنی‌داری با سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری نداشت، اما سطح ۵۰ درصد نیاز آبیاری موجب کاهش ۲۳ درصدی عرض برگ در مقایسه با سطح بدون تنش آب در این روش آبیاری شد. از طرفی، با کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای، عرض برگ به‌ترتیب ۱۴ و ۳۰ درصد کاهش نشان داد. عرض برگ در دو روش آبیاری فقط در شرایط بدون تنش تفاوت معنی‌داری داشتند که اثر روش قطره‌ای بر این شاخص بیشتر از روش آبیاری سطحی (شیاری) بود (شکل ۲).

$$\left(\frac{Y_X - Y_a}{Y_X} \right) = K_Y \left(\frac{ET_X - ET_a}{ET_X} \right) \quad (1)$$

Y_X : عملکرد حداکثر Y_a : عملکرد واقعی ET_X : تبخیر-تعرق حداکثر ET_a : تبخیر-تعرق واقعی K_Y : ضریب تناسب بین کاهش عملکرد نسبی و کاهش نسبی تبخیر-تعرق می‌باشد.

شاخص‌های ارزیابی

به‌منظور ارزیابی و دقت روش‌ها در این تحقیق، چهار معیار ارزیابی ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده^۱ (RMSE) ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده^۲ (NRMSE) و میانگین خطای مطلق^۳ (MAE)، درصد خطای نسبی^۴ (RD) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i^{obs} - x_i^{sim})^2}{n}} \quad (2)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i^{obs} - x_i^{sim})^2}{n}}}{\overline{x_i^{obs}}} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i^{obs} - x_i^{sim}|}{n} \quad (4)$$

$$RD = \left| \frac{x_i^{obs} - x_i^{sim}}{x_i^{obs}} \right| \quad (5)$$

که در این رابطه‌ها: x_i^{sim} : مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل، x_i^{obs} : مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه، $\overline{x_i^{obs}}$:

³-Mean Absolute Error

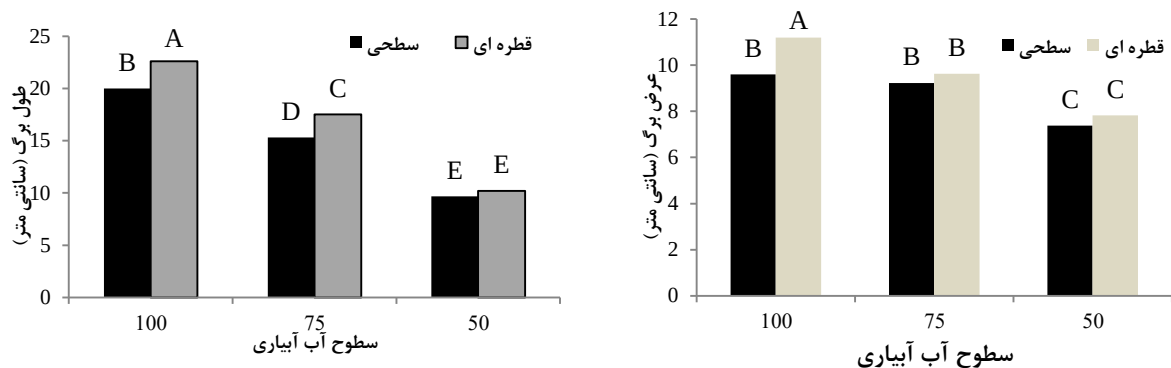
⁴-Relative Difference

¹- Root Mean Square Error

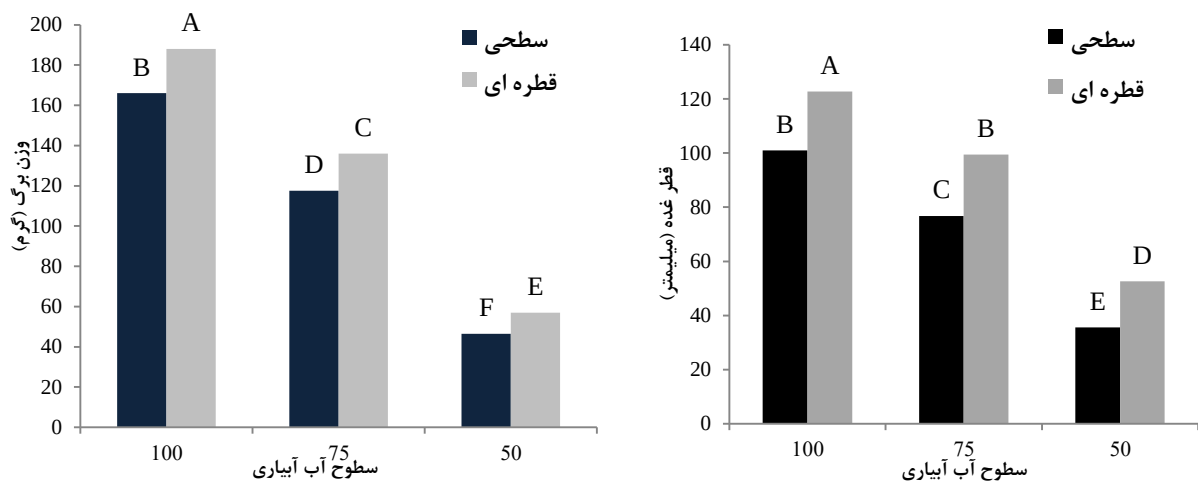
²-Normal Root Mean Square Error

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر آبیاری قطره‌ای و سطحی (شیاری) بر خصوصیات مختلف چغندر قند در سطوح مختلف آب آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	طول برگ	عرض برگ	وزن برگ	قطر غده	طول غده	وزن غده
تیمار	۵	۱۰۸ **	۵/۱۴ **	۱۳۱۲۹ **	۴۳۲۰ **	۱۴۵ **	۲۱۳۶۱۱ **
خطا	۱۸	۱/۴۶	۰/۲۲	۴۴/۲	۵۰/۵	۲/۱۱	۱۱۳۰
ضریب تغییرات		۷/۶۱	۵/۱۴	۵/۶۱	۸/۷۳	۶/۵۷	۹/۸۱



شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر روش آبیاری و مقدار آب آبیاری بر طول برگ چغندر قند



شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر روش آبیاری و مقدار آب آبیاری بر وزن برگ و قطر غده چغندر قند

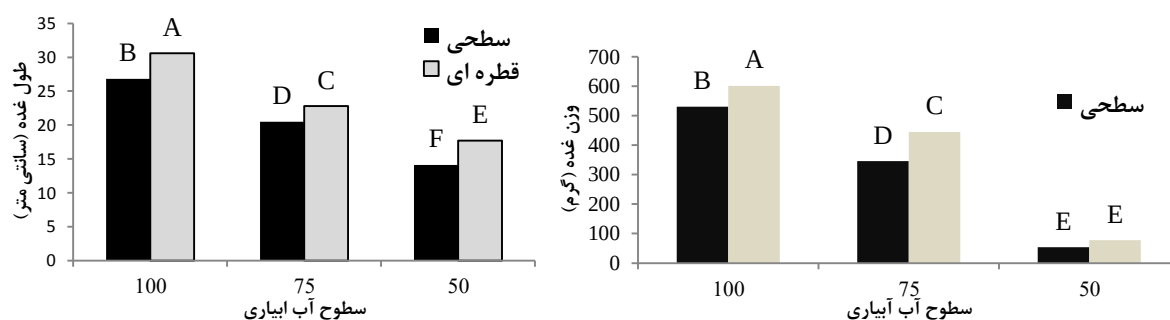
مربوط به سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبیاری بود (شکل ۳). بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، اثر روش‌های آبیاری بر قطر غده چغندر قند معنی‌دار ($p < 0.01$) شد. نتایج نشان داد که با کاهش سطح آبیاری در هر دو روش آبیاری، قطر غده به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بطوریکه، با کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبیاری، قطر غده در روش آبیاری سطحی به‌ترتیب ۲۴ و ۶۷ درصد و در روش آبیاری قطره‌ای به‌ترتیب ۱۹ و ۵۷ درصد کاهش یافت که نشان‌دهنده شدت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از معنی‌دار بودن ($p < 0.01$) روش‌های آبیاری بر وزن برگ چغندر قند بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که وزن برگ در تمام سطوح آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای در مقایسه با آبیاری سطحی (شیاری) به‌طور معنی‌دار بیشتر بود. از طرفی در هر دو روش آبیاری با کاهش سطح آبیاری، وزن برگ به‌طور معنی‌داری کاهش نشان داد. بیشترین و کمترین وزن برگ در روش آبیاری سطحی (شیاری) به‌ترتیب برابر ۱۶۶ و ۴۶/۵ گرم و در روش آبیاری قطره‌ای به‌ترتیب برابر ۱۸۸ و ۵۶/۹ گرم و

بیشتر کاهش این شاخص در روش آبیاری سطحی (شیاری) نسبت به روش آبیاری قطره‌ای است. در تمامی سطوح آبیاری، قطر غده در روش آبیاری قطره‌ای به‌طور معنی‌داری از روش آبیاری سطحی بیشتر بود.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر روش‌های آبیاری سطحی (شیاری) و قطره‌ای بر طول غده چغندر قند معنی‌دار ($p < 0.01$) گردید. با عنایت به نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین طول غده در هر دو روش آبیاری سطحی (۲۶/۸ سانتی‌متر) و قطره‌ای (۳۰/۶ سانتی‌متر) در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری، به دست آمد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با دیگر سطوح آبیاری داشت. همچنین کمترین طول غده در روش‌های آبیاری سطحی (شیاری) و قطره‌ای به‌ترتیب برابر ۱۴/۱ و ۱۷/۷ سانتی‌متر بود که مربوط به سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود. برای این پارامتر نیز نقش آبیاری قطره‌ای در تمامی سطوح آبیاری بارزتر از روش آبیاری سطحی (شیاری) بود (شکل ۴). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از معنی‌دار بودن ($p < 0.01$) روش‌های آبیاری بر وزن غده چغندر قند بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که با کاهش سطح

آبیاری وزن غده به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبیاری، وزن غده‌ها در روش آبیاری قطره‌ای بیشتر از روش آبیاری سطحی (شیاری) بود. از طرفی، در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبیاری، اختلاف معنی‌داری بین دو روش آبیاری برای این پارامتر مشاهده نشد. با کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبیاری، وزن غده در روش آبیاری سطحی (شیاری) به‌ترتیب ۳۵ و ۹۰ درصد و در روش آبیاری قطره‌ای به‌ترتیب ۲۹ و ۸۷ درصد کاهش یافت. بیشترین وزن غده (۶۰۱ گرم) مربوط به روش آبیاری قطره‌ای و در شرایط بدون تنش آبی بود که اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها داشت (شکل ۴). در تحقیقی اثر روش‌های آبیاری قطره‌ای و شیاری روی محصول چغندر قند بررسی شد (حسین‌آبادی و قاسمی، ۲۰۰۴) نتایج نشان داد میزان آب مصرفی در آبیاری قطره‌ای ۵۸ درصد آبیاری سطحی بود. بیشترین عملکرد ریشه مربوط به تیمارهای آبیاری قطره‌ای (معمولی) بود، درحالی‌که از نظر عملکرد قند سفید بین تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید.



شکل ۴- مقایسه میانگین تأثیر روش آبیاری و مقدار آب آبیاری بر طول غده چغندر قند

مشخص تا حدودی تحت تأثیر شرایط محیطی هر منطقه خواهد بود. در چنین شرایطی به‌منظور اطمینان از صحت عملکرد مدل، فرآیند واسنجی باید با هدف انطباق بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده صورت گیرد. در این تحقیق، از داده‌های مزرعه‌ای اندازه‌گیری شده برای سطح ۱۰۰ درصد و کم‌آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی جهت واسنجی مدل AquaCrop استفاده شد. در این بخش مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل در جدول ۴

واسنجی مدل AquaCrop

مدل‌هایی که برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی استفاده می‌شوند، در واقع بیان ریاضی ساده شده‌ای از یک سیستم زراعی واقعی بوده و در عمل دربرگیرنده همه فرآیندهای بیولوژیک، فیزیکی و شیمیایی دخیل در سامانه‌های زراعی نمی‌باشند. به‌همین دلیل ضرایب و روابط ریاضی به‌کار رفته در آن‌ها در یک دامنه

برای عملکرد دانه و عملکرد بیوماس در دو سطح ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی آمده است. مقادیر جدول نشان‌دهنده نزدیکی مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی مقادیر عملکرد و بیوماس برای هر دو سیستم آبیاری قطره‌ای و سطحی است. مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل برای آبیاری تیپ از آبیاری شیاری بیشتر است ولی در هر دو روش آبیاری، مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی در تیمار ۱۰۰ درصد و بدون تنش به هم نزدیک هستند ولی در تنش ۵۰ درصد نیاز آبی مقادیر شبیه‌سازی اختلاف قابل قبولی با مقادیر مشاهداتی دارند.

با توجه به مقادیر معیارهای ارزیابی مندرج در جدول ۵ و جدول ۶ در مرحله واسنجی می‌توان بیان نمود که مقادیر RMSE و R^2 که به نوعی کارایی مدل را در محاسبه عملکرد دانه و بیوماس نشان می‌دهد. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار RMSE میانگین سطوح ۱۰۰ درصد عملکرد و بیوماس برای آبیاری سطحی (شیاری) به ترتیب

۱/۸۹ و ۱/۵۲ برای R^2 به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۷ و برای آبیاری قطره‌ای مقادیر RMSE به ترتیب ۳/۷۲ و ۴/۰۴ و برای R^2 به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۸۳ است. وجود مقادیر NRMSE کمتر از ۱۰ برای سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی نشان از دقت بالای مدل در شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس برای سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی است باین حال تنها مدل در شبیه‌سازی عملکرد برای سطح ۵۰ درصد نیاز آبی برای روش آبیاری سطحی (شیاری) از دقت کمی برخوردار است ولی برای آبیاری قطره‌ای و شبیه‌سازی بیوماس از دقت خوب تا متوسط برخوردار است.

نتایج پژوهش کلانکی و همکاران (۱۳۹۶) به‌منظور بررسی اثر تلفیق مدیریت آبیاری و تاریخ کشت بر کارایی مصرف آب ذرت با استفاده از مدل DSSAT نشان داد که در مرحله واسنجی مدل، میزان NRMSE، d و R^2 برای شاخص سطح برگ به‌ترتیب برابر با ۶/۸، ۰/۹ و ۰/۹۱ و برای عملکرد دانه برابر با ۲/۲۸، ۱ و ۱ بدست آمده است.

جدول ۴- مقادیر عملکرد و بیوماس شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دو سطح ۱۰۰ و ۵۰ درصد با استفاده از دو روش آبیاری قطره‌ای و سطحی (شیاری)

آبیاری		سطح آبیاری			
		۱۰۰ درصد		۵۰ درصد	
		شبیه‌سازی	مشاهداتی	شبیه‌سازی	مشاهداتی
عملکرد	قطره‌ای	۴۰/۵۵	۴۱/۸۳	۶/۶۱	۹/۷۳
	سطحی	۳۷/۹۴	۳۸/۴۴	۵/۴۵	۷/۰۶
بیوماس	قطره‌ای	۵۳/۶۴	۵۴/۹۷	۹/۶۷	۱۱/۹۸
	سطحی	۴۸/۲۹	۴۹/۹۸	۶/۶۶	۹/۲۹

جدول ۵- معیارهای ارزیابی در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی در مرحله واسنجی برای عملکرد دانه و بیوماس

آبیاری	NRMSE	RMSE	R^2	RD	MAE
عملکرد	۴/۵	۱/۸۹	۰/۹۷	۰/۰۴۷	۱/۷۶
سطحی	۹/۶۸	۳/۷۲	۰/۹۲	۰/۰۷	۳/۱
بیوماس	۲/۷۶	۱/۵۲	۰/۹۹	۰/۰۳	۱/۲۲
سطحی	۲/۰۸	۴/۰۴	۰/۸۳	۰/۰۶	۳/۵۰

جدول ۶- معیارهای ارزیابی در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی در مرحله واسنجی برای عملکرد دانه و بیوماس

آبیاری	NRMSE	RMSE	R^2	RD	MAE
عملکرد	۱۸/۷	۱/۸۲	۰/۹۱	۰/۷۴	۱/۵۸
سطحی	۸۱/۴	۵/۷۵	۰/۸۳	۱/۱	۵/۵۹
بیوماس	۲۰/۹۵	۲/۵۱	۰/۸۷	۰/۴۳	۲/۳۱
سطحی	۳۷/۰۳	۳/۴۴	۰/۷۸	۰/۳	۲/۴

صحت سنجی مدل AquaCrop

پس از مرحله واسنجی، کارایی مدل و صحت نتایج به‌دست‌آمده برای داده‌های واسنجی شده برای سطح ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی مورد بررسی قرار گرفت. سپس استفاده از تکرارهای سطح ۷۵ درصد، مدل صحت سنجی شد. قدیریان و همکاران (۱۳۹۹) برای واسنجی مدل AquaCrop از داده‌های عملکرد و بیوماس دو سطح ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی و برای صحت سنجی از سطح ۵۰ درصد نیاز آبی استفاده کردند. در جدول (۷) نتایج صحت‌سنجی پارامترهای عملکرد دانه و بیوماس ارائه شده است. با توجه به مقادیر شاخص‌های آماری (جدول ۸) می‌توان بیان نمود که مدل AquaCrop به‌خوبی عملکرد دانه و بیوماس را در شبیه‌سازی نموده است. در فرآیند صحت‌سنجی که با استفاده از سطح ۷۵ درصد انجام شده است نیز مشاهده می‌شود میانگین عملکرد دانه و بیوماس در روش آبیاری قطره‌ای (تیپ) از آبیاری سطحی (شیاری) بیشتر و مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی به هم نزدیک هستند.

نتایج بدست آمده از صحت سنجی مدل AquaCrop نشان می‌دهد آبیاری قطره‌ای (تیپ) در برآورد عملکرد دانه با $RMSE = 3/31$ نسبت به $7/66$ آبیاری سطحی (شیاری) مقدار قابل قبول‌تری نشان می‌دهد. در عملکرد بیوماس نیز آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری شیاری

مقادیر $RMSE$ پایین‌تر ارائه داد. وجود مقادیر $NRMSE$ کمتر از ۱۰ و ۲۰ برای سطح ۷۵ درصد نیاز آبی نشان از دقت زیاد و خوب مدل در شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس برای سطح ۷۵ درصد نیاز آبی در روش آبیاری قطره‌ای است. کمترین دقت مدل در شبیه‌سازی عملکرد به روش آبیاری سطحی است که مقدار $32/32$ نشان‌دهنده دقت متوسط مدل در شبیه‌سازی است. نتایج حاصل از مقادیر $NRMSE$ نشان‌دهنده دقت مدل در شبیه‌سازی بهتر در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به سطحی و در شبیه‌سازی بیوماس نسبت به عملکرد است. برای اطمینان بیشتر از نتایج صحت سنجی در سال ۱۴۰۱ با سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی در سطح کرت داخل مزرعه با دو روش آبیاری قطره‌ای و سطحی مقایسه‌ای صورت گرفت که نتایج نزدیک به نتایج صحت سنجی سال قبل ارائه شد و برتری آبیاری قطره‌ای نسبت به سطحی مشخص گردید. سعادتی و همکاران (۱۳۹۷) در شبیه‌سازی روند توسعه پوشش گیاهی چغندر قند در تیمارهای مختلف آبیاری در مرحله واسنجی بین ۵/۱۸ تا ۹/۴۱ درصد و در مرحله صحت سنجی بین ۶/۶۴ تا ۹/۲ درصد به دست آوردند. همچنین نتایج امیری و خورسند (۱۳۹۷) برای ضریب تغییرات پیش‌بینی عملکرد دانه در مرحله واسنجی و صحت سنجی به ترتیب برای عملکرد ذرت توسط مدل به ترتیب ۰/۸۶ و ۰/۸۰ و برای عملکرد بیولوژیک به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۸۶ بدست آوردند.

جدول ۷- مقادیر عملکرد و بیوماس شبیه‌سازی و مشاهداتی چغندر قند بدست آمده از دو روش آبیاری قطره‌ای و سطحی (شیاری)

شبیه‌سازی		مشاهداتی	
عملکرد	قطره‌ای	۲۳/۷۹	۲۴/۵۷
	سطحی	۲۳/۱۷	۲۳/۷۰
بیوماس	قطره‌ای	۳۵/۸۹	۴۰/۰۵
	سطحی	۳۰/۱۳	۳۱/۵۰

جدول ۸- معیارهای ارزیابی در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی برای عملکرد دانه و بیوماس در مرحله صحت سنجی

نوع آبیاری		$NRMSE$	$RMSE$	R^2	RD	MAE
عملکرد	قطره‌ای	۱۳/۴۷	۳/۳۱	۰/۸۹	۰/۱۰۵	۲/۷۰
	سطحی	۳۲/۳۲	۷/۶۶	۰/۷۶	۰/۲	۵/۸۸
بیوماس	قطره‌ای	۹/۵۴	۳/۸۲	۰/۸۲	۰/۱۱۵	۴/۱۷
	سطحی	۱۷/۶۸	۵/۵۷	۰/۸۵	۰/۰۴	۱/۵۶

نتیجه گیری

سنجی با استفاده از تعداد تکرار سطح ۷۵ درصد نیاز آبی انجام شد. مقادیر واسنجی مدل نشان داد مقادیر شبیه سازی شده و صحت سنجی عملکرد و بیوماس به یکدیگر نزدیک می باشند و این مقادیر در آبیاری قطره ای (تیپ) از آبیاری سطحی (شیاری) دقت بیشتری دارد. مقادیر صحت سنجی دو روش آبیاری نیز نشان دهنده توانایی مدل AquaCrop در شبیه سازی عملکرد دانه و بیوماس است. نتایج حاصل از مقادیر NRMSE نیز نشان دهنده دقت مدل در شبیه سازی بهتر در روش آبیاری قطره ای نسبت به سطحی (شیاری) و در شبیه سازی بیوماس نسبت به عملکرد است.

تقدیر و تشکر

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغیه ۱۴۰۴/۵/۷۴۰ مورخ ۱۴۰۵/۵/۱۷ و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می شود.

با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر می توان گزارش نمود که روش آبیاری روی قطر برگ، طول برگ، وزن برگ ها، قطر غده چغندر قند، طول غده، وزن غده تأثیر معنی دار داشت به نحوی که بین دو روش آبیاری قطره ای (تیپ) و آبیاری سطحی (شیاری) برای هر صفت، تأثیر آبیاری قطره ای به نسبت شیاری افزایش معنی داری داشت که در نهایت برتری روش آبیاری قطره ای به نسبت شیاری مشاهده شد. در بررسی اثر متقابل روش آبیاری و تنش آبیاری فقط برای وزن خشک برگ ها تأثیر معنی داری مشاهده شد. از طرفی تنش آبیاری روی قطر برگ، طول برگ، وزن برگ ها، قطر غده چغندر قند، طول غده، وزن غده تأثیر معنی دار داشت و مشخص شد با افزایش آبیاری مقدار عددی هر یک از صفات افزایش می یابد. سپس عملکرد دانه و بیوماس با استفاده از مدل AquaCrop شبیه سازی شد و مقادیر شبیه سازی شده با استفاده از داده های مشاهداتی واسنجی و صحت سنجی شد. واسنجی با استفاده از تکرارهای دو سطح ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی و صحت

فهرست منابع

۱. ابراهیمی پاک، ن.ع.، و اگدرنژاد، ا.، ۱۳۹۶. ارزیابی و تحلیل حساسیت مدل AquaCrop در شبیه سازی عملکرد چغندر قند تحت تنش های آبی در شهرکرد، مجله مدیریت آب و آبیاری، ۷(۲): ۳۳۱-۳۱۹.
۲. احمدی، ب.، حیدری شرف آبادی، ح.، عبدالهیان نوقابی، م.، محمدیان، ر.، و مختصی بیدگلی، ع.، ۱۴۰۱. مقایسه واکنش عملکرد کمی و کیفی ژنوتیپ های مختلف چغندر قند تحت شرایط تنش خشکی، فصلنامه علوم به زراعی گیاهی، ۱۲(۲): ۱۰۲-۱۱۹.
۳. اکبری، م.، ۱۳۷۷. تأثیر کم آبیاری بر عملکرد چغندر قند، نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، نشر کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
۴. امداد، م.ر.، تافته، آ.، و ابراهیمی پاک، ن.ع.، ۱۴۰۱. کارایی مدل آکواکراپ در شبیه سازی عملکرد کینوا در مدیریت های مختلف کم آبیاری. نشریه آب و خاک، ۳۶(۳): ۳۱۹-۳۳۱.
۵. امیری، ا.، و خورسند، ا.، ۱۳۹۷. ارزیابی مدل AquaCrop در پیش بینی ماده خشک کل و عملکرد دانه ذرت تحت مدیریت آبیاری و نیتروژن، مجله اکوفیزیولوژی گیاهی، ۳۳(۱۰): ۱۷۴-۱۸۵.
۶. برادران فیروز آبادی، م.، ۱۳۸۱. بررسی رابطه صفات مرفولوژی و فیزیولوژیکی ارقام چغندر قند با تنش خشکی. پایان نامه کارشناس ارشد زراعت. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
۷. بران، ص.، و هنربخش، ن.، ۱۳۸۷. بحران وضعیت آب در جهان و ایران. مجله راهبرد، ۸: ۲۱۲-۱۹۳.

۸. حکیمی نیا، ع.، و بلندنظر، ص.ع.، ۱۳۸۹. اثر آبیاری محدود بر عملکرد و کارایی مصرف آب پیاز خوراکی رقم قرمز آذرشهر. اولین همایش ملی کشاورزی پایدار و تولید محصول سالم. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان. ۲۳(۳): ۲۷-۱۱.
۹. دبیری، ف.، خوشنویس یزدی، س.، و زندی، ف.، ۱۳۹۲. اثرات بهره‌وری کشاورزی در رشد اقتصادی ایران، پژوهشنامه اقتصاد و کسب و کار، ۴(۵): ۳۱-۱۷.
۱۰. رحیمیان، م.ح.، و اسدی، ح.، ۱۳۷۹. تأثیر تنش آبی بر عملکرد کمی و کیفی چغندر قند و تعیین تابع تولید ضریب گیاهی آن. مجله خاک و آب ویژه‌نامه آبیاری. ۱۲(۱۰): ۶۳-۵۸.
۱۱. کوچکی، ع.، کوک، د.ا.، و سلطانی ۱۳۷۵. زراعت چغندر قند. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.
۱۲. کیانیان، ن.، و عالی‌نژادیان بیدآبادی، ا.، ۱۴۰۰. بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر برخی خصوصیات عملکردی چغندر قند در منطقه ماهیدشت استان کرمانشاه. دومین همایش ملی کم‌آبیاری و استفاده از آب‌های نامتعارف در کشاورزی مناطق خشک، دانشگاه فسا.
۱۳. سعادت، ز.، دلبری، م.، پناهی، م.، و امیری، ا.، ۱۳۹۷. شبیه‌سازی رشد چغندر قند تحت تنش آبی با استفاده از مدل AquaCrop. مجله حفاظت منابع آب و خاک، ۳(۳): ۱۹-۱.
۱۴. فرهادی، م.ع.، ۱۳۷۶. مقایسه آبیاری قطره‌ای و شیاری به خصوصیات کمی و کیفی خربزه در منطقه تربت‌جام. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۱۵. قدیریان، ا.م.، یعقوب‌زاده، م.، زمانی، غ.ر.، و شهیدی، ع.، ۱۳۹۹. واسنجی و صحت‌سنجی مدل گیاهی AquaCrop جهت شبیه‌سازی عملکرد سه رقم گندم تحت تنش رطوبتی مختلف، مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱۴(۶): ۲۲۶۷-۲۲۵۷.
۱۶. محمدجانی، ا.، و یزدانیان، ن.، ۱۳۹۳. تحلیل وضعیت بحران آب در کشور و الزامات مدیریت آن، ۶۵ و ۶۶: ۱۴۴-۱۱۷.
۱۷. محمدی، م.، داوری، ک.، قهرمان، ب.، انصاری، ح.، و حق‌وردی، ا.، ۱۳۹۴. واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گندم بهار تحت تنش هم‌زمان شوری و خشکی (مطالعه موردی: مشهد). نشریه پژوهش آب در کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۹(۳): ۲۹۵-۲۷۷.
۱۸. مهدی حسین‌آبادی، ز.، و قائمی، ع.ا.، ۱۳۸۳. مقایسه ضرائب یکنواختی و عملکرد چغندر قند در آبیاری نواری قطره‌ای (Tape) و جویچه‌ای. دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شیراز.
۱۹. یعقوب‌زاده، م.، ۱۳۹۴. شبیه‌سازی تبخیر و تعرق و رطوبت خاک به منظور ارزیابی خشک‌سالی کشاورزی برای دوره‌های پایه و آتی به کمک سنجش‌ازدور، رساله دکتری دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.
20. Al-Omran, A. M., Sheta, A. S., Falatah, A. M., and Al-Harbi, A. R., 2004. Clay Deposits for Water Management of Sandy Soils. *Arid Land Res. Manage.* 18: 171-183.
21. Biswas, S. K., Sarker, P. K., Islam, A. M., Bhuiyan, M. A., & Kundu, B. C., 2003. Effect of irrigation on onion production. *Pakistan Journal of Biological Sciences (Pakistan)*. 6(20): 1725-1728.
22. Camposeo, S., Rubino, P., 2003 Effect of irrigation frequency on root water uptake in sugar beet. Springer Science, Business Media BV, Formerly Kluwer Academic Publishers BV, 253 (2): 301-309.
23. Cavazza, L., Venturi, G., Amaducci, M.T., 1976. Outlines on the state of irrigation of the sugar beet in the world. 39th Winter Congress, Bruxelles.

24. English, M., James, L., and Chen, C. F., 1990. Deficit irrigation. II: observations in Columbia basin. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 116 (3): 413-426.
25. Fabio, C., Martin de Santa Olalla, Lopez, R., Dominguez, A., 2003. Production and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivated under controlled deficit irrigation condition in semiarid – climate. *Agricultural Water Management*, 62: 215-227.
26. Lamm-F., Manges, H.B., Stonc. L.R., Khan, A., and Rogers, D., 1995. Water requirement of subsurface drip irrigated corn in dorthwest kansus. *AS. AE*, 38(2) : 441-448.
27. Kaboosi, K., & Kaveh, F., 2010. Sensitivity analysis of Doorenbos and Kassam (1979) crop water production function. *African Journal of Agricultural Research*, 5(17) : 2399-2417.
28. Patel, N., Kumar, P., & Singh, N., 2008. Performance evaluation of AquaCrop in simulating potato yield under varying water availability conditions. *Indian Agricultural Research Institute*.
29. Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., & Fereres, E., 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal*, 101(3) : 438-447.
30. Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., & Fereres, E., 2012. *FAO, Land and Water Division Rome, Italy*.
31. Sharmasarkar, FC., Held L.J., Miller, G., 2001. Agroecoeconomic analyses of drip irrigation for sugar beet production, *Agron.J.* (93) : 517-523.
32. Sakellariou- Makrantonali, M., Kalfountzos, D., Vyrlas, P., 2002. Water saving and yield increase of sugarbeet with subsurface drip irrigation. *Global Nest: the Int. J.*, 4(2-3): 85-91.
33. Singh, R., 2004. Simulations on direct and cyclic use of saline waters for sustaining cotton–wheat in a semi-arid area of north-west India. *Agricultural Water Management*, 66(2): 153-162.

اثر کاربرد مواد اصلاح کننده خاک در شرایط کم آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری فیزیکی آب ذرت علوفه‌ای در منطقه خرم‌آباد

مهری سعیدی‌نیا*، سید حسین موسوی و سجاد رحیمی مقدم

استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. mehri_saeedinia@yahoo.com

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

hooseinmousavi8@gmail.com

استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. sajadr.moghaddam@yahoo.com

دریافت: خرداد ۱۴۰۲ و پذیرش: دی ۱۴۰۲

چکیده

ایران در کمربند خشک کره زمین واقع است و میانگین بارش در آن یک‌سوم میانگین جهانی است لذا مدیریت صحیح منابع آب به‌ویژه در بخش کشاورزی ضرورت دارد. به این منظور، در سال ۱۴۰۱، تحقیقی با هدف بررسی اثر چند ماده اصلاح‌کننده رطوبت خاک، در منطقه خرم‌آباد، در مزارع تحقیقاتی دانشگاه لرستان، به‌صورت فاکتوریل با طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد که فاکتور اول تیمار آب آبیاری در چهار سطح شامل ۱۰۰٪، ۸۰٪، ۶۰٪ و ۴۰٪ نیاز آبی گیاه و فاکتور دوم مواد اصلاح‌کننده رطوبت خاک شامل ورمی‌کمپوست به میزان شش تن در هکتار، بیوجار ۱/۵ تن در هکتار، سوپر جاذب ۷۵ کیلوگرم در هکتار، مالچ گیاهی ۷/۵ تن در هکتار و تیمار شاهد در نظر گرفته شد. سیستم آبیاری قطره‌ای نواری برای آبیاری استفاده گردید. نتایج تحقیق نشان داد که بیشترین میزان عملکرد تر، عملکرد بیولوژیک و ارتفاع بوته در تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی و کود ورمی‌کمپوست مشاهده گردید که به ترتیب برابر ۱۲۶/۷۱ و ۴۶/۲۷ تن در هکتار و ۲/۳۵ متر به دست آمد و بیشترین مقدار بهره‌وری تر و بهره‌وری بیولوژیک در سطح احتمال ۵٪ از آن تیمار ۸۰٪ نیاز آبی و کود ورمی‌کمپوست (شش تن در هکتار) بود که به‌ترتیب برابر ۱۶/۷۹ و ۵/۹ کیلوگرم در مترمکعب آب آبیاری محاسبه شد. به‌طور کلی ورمی‌کمپوست و بیوجار نیز سبب افزایش عملکرد تر و بیولوژیک، ارتفاع و بهره‌وری آب ذرت شد. مالچ در تیمارهای ۱۰۰٪ و ۸۰٪ نیاز آبی، عملکرد بهتری داشت (افزایش ۱۲/۷٪ و ۱۴/۵٪ در عملکرد تر نسبت به تیمار شاهد) ولی با افزایش تنش آبی به ۶۰٪ و ۴۰٪ نیاز آبی، عملکرد تیمارهای حاوی مالچ خوب نبود (کاهش ۵/۳٪ و ۱٪ در عملکرد تر نسبت به تیمار شاهد). سوپر جاذب نیز در تیمارهای ۱۰۰٪، ۸۰٪ و ۶۰٪ نیاز آبی موجب کاهش عملکرد تر ذرت شد (به‌ترتیب کاهش ۹/۳٪، ۷/۲٪ و ۳٪ در عملکرد تر نسبت به تیمار شاهد)، اما در تیمار ۴۰٪ نیاز آبی، نتیجه بهتری را رقم زد (افزایش ۷/۶٪ در عملکرد تر نسبت به تیمار شاهد). از این رو، در منطقه خرم‌آباد کاربرد شش تن در هکتار ورمی‌کمپوست و ۸۰٪ نیاز آبی به‌صورت آبیاری قطره‌ای تیپ (TAPE) برای بالاتر بردن تولید ذرت علوفه‌ای، هم‌زمان با صرفه‌جویی ۲۰٪ مصرف آب توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: سوپر جاذب، کودهای آلی، مالچ، مدیریت آب در مزرعه

مقدمه

ذرت از مهم‌ترین گیاهان زراعی در جهان است که نقش مهمی در تأمین مواد غذایی، بخش‌های کشاورزی، صنعت و بازرگانی دارد، از این نظر به‌عنوان یک محصول استراتژیک به شمار می‌رود (خلیلی و همکاران، ۲۰۱۳). کمبود آب یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی در کاهش رشد، بهره‌وری و تولید ذرت شناخته می‌شود. بر این اساس مدیریت صحیح مصرف آب در تولید ذرت یکی از اولویت‌های محققان در این زمینه به شمار می‌رود. کم‌آبیاری به‌عنوان یک روش بهینه جهت تولید محصولات کشاورزی در شرایط کمبود آب می‌تواند از طریق حذف آبیاری‌های کم‌بازده و کاهش میزان حجم آبیاری در هر نوبت آبیاری، باعث افزایش کارایی مصرف آب شود (اسدی و اسدی ۲۰۱۲). در زمینه کشت ذرت و مدیریت‌های مختلف آب تحت سامانه‌های مختلف آبیاری پژوهش‌های زیادی انجام شده است.

امینی نجف‌آبادی و همکاران (۱۳۹۹) پژوهشی با هدف مطالعه‌ی اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای تحت تنش رطوبتی در اصفهان انجام دادند. نتایج نشان داد تیمار تأمین ۱۰۰٪ تخلیه رطوبتی با عملکرد محصول ۶۶۵۰۷ کیلوگرم در هکتار و بهره‌وری آب ۱۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب بهترین تیمار بود. به‌منظور بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای تحت مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته، پژوهشی در سال ۱۳۹۸ در منطقه ورامین اجرا شد. نتایج نشان داد برای استفاده بهینه از منابع آب، اعمال تنش کم‌آبی در سطح ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه با مدیریت پالسی در زراعت ذرت علوفه‌ای توصیه می‌گردد (حاجی‌راد و همکاران، ۱۴۰۰). جهت بررسی اثرات کم‌آبیاری بر روند رشد، خصوصیات کمی، کیفی و بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای در کرمانشاه مطالعه‌ای انجام شد. نتایج نشان داد مقدار بیشینه بهره‌وری آب نسبت به عملکرد دانه، زیست‌توده و روغن دانه در تیمار بیش‌آبیاری به‌ترتیب برابر با ۱/۱۵، ۲/۷۴ و ۰/۵۴۸ کیلوگرم در هکتار به دست آمدند (پالاش و همکاران، ۱۴۰۱). علاوه بر کم‌آبیاری، استفاده از

سامانه‌های نوین آبیاری همچون آبیاری قطره‌ای روشی مناسب و کاربردی برای مدیریت مصرف آب در کشاورزی و افزایش بهره‌وری آب آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (احمدعلی و خلیلی، ۲۰۰۹). مهاجان و همکاران (۲۰۰۷) در یک پژوهشی نشان دادند که میزان تلفات آب، تحت آبیاری قطره‌ای برای کشت ذرت، ۵۰ درصد کل آب مصرفی بوده است. در پژوهش دیگری در اهواز پیروزر و همکاران (۱۳۹۹) به‌منظور بررسی میزان تبخیر از سطح خاک و راندمان مصرف آب در ذرت دانه‌ای، به مقایسه روش‌های آبیاری قطره‌ای در شرایط بدون پوشش و پوشش‌دار پرداختند. نتایج نشان داد در بین روش‌های آبیاری، آبیاری قطره‌ای نواری پوشش‌دار باعث افزایش ۱۳ درصدی عملکرد و کارایی مصرف آب شد که علت آن را می‌توان به کاهش میزان تبخیر از سطح خاک نسبت داد.

کاربرد منابع و نهاده‌های تجدیدپذیر، یکی از اصول کشاورزی پایدار است که موجب حداکثر بهره‌وری زراعی و کم‌ترین خطرات زیست‌محیطی می‌شود. مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی موجب کاهش روزافزون ماده آلی در خاک‌های کشاورزی شده که به‌دنبال آن عملکرد محصول کاهش می‌یابد، بنابراین برای حفظ حاصلخیزی خاک، بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن و حفظ تعادل در عوامل زیست‌محیطی، مصرف کودهای آلی و زیستی در خاک‌های کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۴). یکی از کودهای آلی، بیوجار است که در سال‌های اخیر استفاده از آن رواج پیدا کرده است (لنگ و همکاران، ۲۰۱۹). بیوجار، زغال تهیه شده از زیست‌توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که سوختن آن‌ها در حضور کم و یا عدم حضور اکسیژن انجام می‌شود (عاشوری و همکاران، ۲۰۱۹). ظفر و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر دو نوع بیوجار کلش گندم و باگاس نیشکر را روی اجزای عملکرد ذرت در شرایط دیم بررسی نمودند. مقادیر متفاوت مصرف بیوجار نشان داد که مقدار بالاتر بیوجار منجر به افزایش عملکرد دانه و زیست‌توده گیاه ذرت خواهد شد. بیوجار

کلش گندم و باگاس نیشکر به مقدار ۱۰ تن در هکتار به- ترتیب افزایش ۲۸/۹ و ۲۷/۶ درصدی در زیست توده را نشان دادند. مرادی و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی تأثیر کاربرد بیوچارهای حاصل از هرس سیب، هرس انگور و کاه کلش گندم در سطوح یک، دو، چهار و هشت درصد کاربرد در یک خاک آهکی پرداختند که نتایج آن‌ها نشان داد کاربرد این بیوچارها موجب افزایش معنی دار مقدار PH ، درصد کربن آلی و مقادیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در مقایسه با تیمارهای شاهد شد. همچنین، مصرف کودهای زیستی مانند ورمی کمپوست نیز می تواند علاوه بر تأمین نیاز کودی گیاه باعث بهبود حاصلخیزی خاک شود. ورمی کمپوست از اکسیداسیون زیستی و تثبیت مواد آلی چه از لحاظ فیزیکی و چه شیمیایی حاصل می شود و باعث کاهش نسبت کربن به نیتروژن و افزایش ذرات خاکی می شود که در معرض میکروارگانیسم ها قرار دارند (ریواندارن و همکاران، ۲۰۰۸). میزان بیش تر نیتروژن، فسفر و پتاس در ورمی کمپوست نسبت به سایر کودهای آلی در بیشتر منابع تأیید شده است (سیرواسترا و همکاران ۲۰۰۴؛ آرانکن و همکاران ۲۰۰۹). دوان و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی بیان کردند که استفاده از کمپوست و ورمی کمپوست در مزارع ذرت سبب افزایش عملکرد گیاه به ویژه در شرایط کمبود رطوبت و تنش آبی می شود. ملکی فراهانی و چایچی (۲۰۱۲) نیز با انجام آزمایشی نشان دادند استفاده تلفیقی از کودهای شیمیایی و زیستی (ورمی کمپوست و باکتری های تثبیت کننده ازت) بهترین گزینه در زراعت جو و در شرایط کم آبیاری است.

استفاده از مالچ بقایای گیاهی در بین ردیف های کشت یکی دیگر از راهکارهایی است که می تواند ضمن حفظ رطوبت خاک از طریق کاهش تبخیر از خاک و تعرق از علف های هرز باعث کاهش آب آبیاری مصرفی و افزایش عملکرد محصول گردد (دورانتی و کوکولو، ۱۹۸۹). بیات و همکاران (۱۳۹۹) به منظور ارزیابی تأثیر انواع مالچ بر برخی ویژگی های مورفولوژیکی گیاه ذرت علوفه ای و علوفه تولیدی، آزمایشی در سمنان انجام دادند. نتایج نشان

داد که می توان از پوشش پلاستیکی برای کاهش اثرات شوری آب آبیاری و بهبود پارامترهای رشد ذرت علوفه ای بهره جست. شووان و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی دوساله در شمال غربی چین، با هدف بررسی اثر آبیاری قطره ای پوشیده شده توسط مالچ بر تبخیر- تعرق ذرت بهاره، دریافتند که پوشش مالچ و اعمال کم آبیاری، می تواند به طور قابل توجهی تبخیر- تعرق و تبخیر از سطح خاک را کاهش دهد. مینهوا و همکاران (۲۰۲۲) در چین به بررسی اثر مالچ بر روی کشت یونجه و کارایی مصرف آب پرداختند. نتایج نشان داد میزان عملکرد به میزان ۳۸/۵ درصد و میزان کارایی مصرف آب به میزان ۴۳/۷ درصد افزایش یافت. پلیمرهای سوپرجاذب نیز از دیگر مواد اصلاحی مؤثر در حفظ رطوبت خاک هستند. هیدورژول سوپر جاذب پلیمری آبدوست با شبکه سه بعدی است که قابلیت جذب و نگهداری مقادیر زیادی آب و محلول های آبی را دارد، حتی اگر تحت فشار باشد (ظهوریان مهر ۱۳۸۵). پلیمرهای سوپر جاذب می توانند مقادیر متفاوتی آب در خود ذخیره نمایند و قابلیت نگهداری و ذخیره سازی آب را در خاک افزایش دهند. آب ذخیره شده در این مواد در مواقع کم آبی در خاک آزاد شده و مورد استفاده ریشه گیاه قرار می گیرد (هان و همکاران، ۲۰۱۰). جهان و همکاران (۱۳۹۲) در مشهد به بررسی اثر پلیمر سوپر جاذب (صفر، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار) بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت پرداختند. نتایج نشان داد افزایش مصرف پلیمر سوپر جاذب از ۴۰ به ۸۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش معنی داری در میزان عملکرد، صفات مورفولوژیکی گیاه ذرت و ظرفیت نگهداری آب در خاک نشد. آقاییاری و همکاران (۱۳۹۵) طی پژوهشی نتیجه گرفتند که کاربرد سوپر جاذب باعث صرفه جویی در آب آبیاری به میزان ۱۳/۴ درصد در طول دوره رشد محصول ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۳ و بهبود بهره وری مصرف آب گردید. با توجه به نتایج پژوهش های انجام شده و کمبود منابع آب، به نظر می رسد بررسی میزان عملکرد محصولات تحت شرایط مدیریت های مختلف مانند استفاده از مواد اصلاحی، آبیاری قطره ای، کم آبیاری و

استفاده از ارقام مناسب بذر به صورت منطقه‌ای ضروری است. در واقع با جایگزین کردن کودهای آلی (اصلاحی) به جای کودهای شیمیایی با حفظ عملکرد مناسب محصول ذرت آلودگی‌های ناشی از کودهای شیمیایی کمتر می‌شود و خود این کودها سبب نگهداشت آب در خاک می‌شوند. مواد پوششی مانند مالچ و سوپرجاذب‌های رطوبتی آب نیز سبب کاهش تبخیر از سطح خاک و نگهداشت بیشتر آب آبیاری جهت استفاده گیاه می‌شوند. همچنین با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک کشور استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای با راندمان بالای ۹۰ درصد نیز ضمن سهولت در استفاده سبب کاهش میزان تلفات آبیاری می‌گردد. با توجه به اینکه در منطقه خرم‌آباد در این زمینه تحقیق جامعی انجام نگرفته است و همچنین اختصاص ۳۷۷۳ هکتار از سطح زیر کشت اراضی استان لرستان به ذرت (آمارنامه سال ۱۴۰۰ وزارت جهاد کشاورزی)، لذا این تحقیق به منظور بررسی میزان عملکرد ذرت علوفه‌ای، تحت آبیاری قطره‌ای نواری (TAPE)، مدیریت کم آبیاری توأم با استفاده از چند ماده اصلاحی خاک جهت مدیریت بهتر آب در مزرعه صورت پذیرفت.

مواد و روش

تحقیق حاضر تحت شرایط اقلیمی خرم‌آباد با مختصات جغرافیایی منطقه ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و ۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱۴۷ متری از سطح دریا انجام گرفت. با توجه به اینکه گیاه ذرت قابلیت کشت در شرایط دمایی خرم‌آباد را دارد، به همین منظور این گیاه (رقم SC-704) انتخاب گردید. طبق آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی (۱۴۰۰) سطح زیر کشت این محصول در لرستان ۳۷۳۳ هکتار است. در این تحقیق از مالچ گیاهی (از شرکت گیلدا که شامل خرده چوب جنگلی و الیاف پوسیده درختان)، بیوجار (چوب سوخته درختان میوه در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد و مقدار اندک اکسیژن)، ورمی‌کمپوست و سوپرجاذب استفاده شد. سیستم آبیاری نیز بر اساس سیستم آبیاری قطره‌ای نواری با دبی ۱/۶ لیتر در ساعت و فواصل ۱۵ سانتی‌متر برای هر چکاننده تنظیم گردید. جهت تعیین ویژگی‌های خاک مزرعه تحقیقاتی در ابتدای کار و قبل از کشت ذرت از نقاط مختلف مزرعه نمونه‌برداری صورت گرفت که نتایج آنالیز آن در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

عمق خاک (cm)	بافت خاک	N% (mg kg ⁻¹)	P% (mg kg ⁻¹)	K% (mg kg ⁻¹)	ρ_b (gr cm ⁻³)	FC (% حجمی)	PWP (% حجمی)	شوری خاک (dS m ⁻¹)
۰-۳۰	Silty loam	۰/۱۳۱	۶/۰۲	۳۶۰	۱/۵۶	۱۹/۷۲	۱۰/۳۸	
۳۰-۶۰	Silty loam	۰/۰۹۱	۵/۷۵	۳۲۱	۱/۸۶	۱۹/۲۱	۹/۹۸	۰/۶
۶۰-۹۰	Silty loam	۰/۰۲۴	۵/۶۴	۲۹۸	۱/۸۸	۱۹/۰۸	۱۰/۰۱	

در این پژوهش بذرهای ذرت در تاریخ ۱۴۰۱/۴/۱۱ کشت شد. برای این منظور ابتدا بر اساس آزمایش حاصلخیزی خاک نیاز کودی خاک منطقه مورد مطالعه مشخص گردید. میزان کود داده شده به زمین به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (یک سوم پایه و دو سوم سرک) بود که نیمی از آن در مرحله سه برگی شدن نیمی دیگر در مرحله رشد ساقه به ذرت داده شد. همچنین ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار سوپر فسفات تریپل بود که در ابتدای

کشت و قبل از شخم زمین به مزرعه داده شد. پس از مرحله شخم، دیسک، ماله‌کشی و تسطیح، فاروها ایجاد و کرت‌های آزمایشی به مساحت ۴×۴ متر ایجاد گردید. جهت کنترل اثرات تیمارهای آزمایش روی یکدیگر فاصله‌ی کرت‌های آزمایشی از هم یک متر در نظر گرفته شد. فواصل پشته‌ها در هر کرت ۷۵ سانتی‌متر بود. بذر ذرت در عمق پنج سانتی‌متر کشت شد و تراکم بوته ۱۳ عدد برای هر متر

مربع لحاظ گردید. برخی خصوصیات کیفی آب مورد استفاده برای آبیاری در جدول ۲ ارائه شده است.

این تحقیق در قالب یک آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور اول تیمار آبیاری شامل چهار سطح آبیاری (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I1)، ۸۰ درصد نیاز آبی (I2)، ۶۰ درصد نیاز آبی (I3) و ۴۰ درصد نیاز آبی (I4)) بود (جدول ۳). فاکتور دوم شامل مدیریت بهبود عملکرد با استفاده از مواد اصلاحی مختلف شامل مالچ گیاهی (M) به میزان ۷/۵ تن بر هکتار (بر اساس پیشنهاد بهزادنژاد و همکاران، ۱۳۹۷)، ورمی‌کمپوست (C) به میزان شش تن در هکتار (بر اساس پیشنهاد رفیعی و کونانی، ۱۳۹۸)، بیوچار (B) به میزان ۱/۵ تن در هکتار (بر اساس پیشنهاد

کیخسروی، ۱۳۹۴)، سوپر جاذب (S) به میزان ۷۵ کیلوگرم در هکتار (بر اساس پیشنهاد طیاری و حاجی‌پور، ۱۳۹۹) و تیمار شاهد (I)، بدون کاربرد ماده اصلاحی، در نظر گرفته شد (جدول ۴). بیوچار و ورمی‌کمپوست در جویچه در عمق صفر تا ده سانتیمتری خاک به‌صورت اختلاط با خاک انجام گرفت و سوپر جاذب پس از زدن شیار به عمق ۲۰ سانتی‌متر در خاک قرار گرفتند و روی آن‌ها با خاک پوشیده شد. مالچ نیز به‌صورت دست‌پاش روی هر شیار ریخته شد. قابل ذکر است مقادیر به کار برده شده برای مواد اصلاحی با توجه به تحقیق و میزان معمول استفاده از این مواد در مناطق مختلف، آزمایش در مجموع شامل ۲۰ تیمار و ۶۰ کرت بود و شماتیک طرح اجرایی در شکل ۱ ارائه شده است.

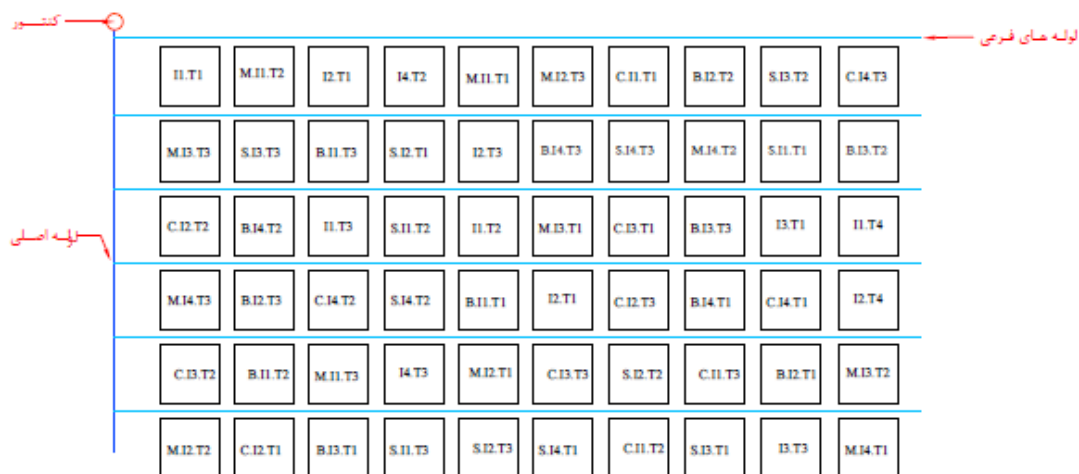
جدول ۲- خصوصیات کیفی آب آبیاری

SAR	Na ⁺ (meq/l)	Mg ²⁺ (meq/l)	Ca ²⁺ (meq/l)	TDS (mg/l)	EC (dS/m)	PH
۰/۷۳	۱/۲۸	۱/۶	۴/۶	۳۹۷	۰/۶	۷

PH: اسیدیته آب، EC: شوری، TDS: کل مواد جامد محلول در آب، Ca²⁺: یون کلسیم، Na⁺: یون سدیم، SAR: نسبت جذب سدیم

جدول ۳- خصوصیات مواد اصلاحی

نوع ماده اصلاحی	خصوصیات
مالچ	مالچ گیاهی خریده شده از شرکت گیلدا. تهیه‌شده از خرده چوب، خاک اره و گیاه‌خاک میزان استفاده ۷/۵ تن در هکتار
ورمی‌کمپوست	ورمی‌کمپوست به میزان ۱۰ تن در هکتار بوده. از شرکت به کشت خریداری گردید. نسبت کربن به ازت (C/N) ورمی‌کمپوست ۲۰-۱۵ بوده و طول دانه‌های خشک آن بین ۱-۵ mm متغیر است. هوموس آن نیز ۲۰٪ وزن خشک است. میزان استفاده شش تن در هکتار
بیوچار	خریداری شده از شرکت دانش‌بنیان فصل پنجم. تهیه‌شده از زوائد درختان میوه با میزان تخلخل بالا. تهیه‌شده در حرارت حدود ۴۵۰ درجه. در شرایط محدودیت اکسیژن. میزان استفاده ۱/۵ تن در هکتار
سوپر جاذب کشاورزی	خریداری شده از شرکت دم برگ گرانولی، با اندازه ذرات ۸۰۰-۲۰۰۰ میکرون، با PH بین ۵/۵ تا ۸. عدم خلالت در آب و نقطه ذوب بالاتر از ۱۹۹ درجه. میزان استفاده ۷۵ کیلوگرم در هکتار



شکل ۱- جانمایی کلی طرح

که در این رابطه، ET_C : تبخیر - تعرق گیاه ذرت، ET_0 : تبخیر - تعرق مرجع و K_C ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای است که در ابتدا از مجله فائو استخراج شد و سپس برای مراحل مختلف رشد برای اقلیم خرم‌آباد بر اساس روابط (۳) و (۴)، اصلاح شدند.

$$K_{C \text{ mid}} = K_{C \text{ mid(tab)}} + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{\min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad (3)$$

$$K_{C \text{ end}} = K_{C \text{ end(tab)}} + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{\min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad (4)$$

که $K_{C \text{ mid(tab)}}$: مقدار ضریب گیاهی در مجله فائو در مرحله میانی رشد، u_2 : میانگین سرعت باد روزانه در ارتفاع دو متری بالای سطح چمن در مرحله میانی رشد (متر بر ثانیه)، $RH_{\min}$: میانگین حداقل رطوبت نسبی روزانه در مرحله میانی رشد (درصد)، بین ۲۰ تا ۸۰ درصد، h : میانگین ارتفاع گیاه در مرحله میانی رشد (متر) و $K_{C \text{ end}}$: مقدار ضریب گیاهی در مجله فائو در مرحله پایانی رشد.

در جدول (۴) پارامترهای هواشناسی مورد نیاز در طول دوره رشد که برای تصحیح ضریب گیاهی مورد نیاز بودند، ارائه شده است. ضرایب گیاهی اصلاح شده بر اساس متغیرهای آب و هوایی منطقه و روابط (۳) و (۴)، در جدول (۵) نمایش داده شده است.

در این تحقیق، دور آبیاری به‌طور متوسط سه روز (دور آبیاری رایج برای آبیاری قطره‌ای نواری (TAPE)) در نظر گرفته شده است. برای تعیین عمق آبیاری نیز از تشت تبخیر کلاس A از جنس ورق گالوانیزه با ضخامت ۱/۵ میلی‌متر، قطر ۱/۲۲ متر و عمق ۲۵/۴ سانتی‌متر استفاده شده. این تشت نزدیک مزرعه مورد مطالعه روی پالت چوبی قرار داده شد. راندمان آبیاری (E_a) ۹۵ درصد و با در نظر گرفتن پنج درصد تلفات محاسبه گردید. برای محاسبه‌ی آب آبیاری، از روابط ۱ تا ۵ استفاده گردید. سایر تیمارها درصدی از نیاز کامل آبیاری بود. در ابتدا میزان آب تبخیر شده از تشت در هر دوره آبیاری محاسبه و تبخیر و تعرق مرجع منطقه با استفاده از رابطه (۱) به دست آمد.

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

که در این رابطه، ET_0 : تبخیر - تعرق مرجع، K_e : ضریب تشت که در این آزمایش طبق نشریه دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز کمیته ملی آبیاری و زهکشی ۰/۷ در نظر گرفته شد و E_{pan} : میزان تبخیر از تشت است. تشت تبخیر بالاتر از مزرعه و در زمین آیش روی پالت چوبی مستقر گردید. سپس، برای محاسبه تبخیر - تعرق گیاه ذرت از رابطه (۲) استفاده شد.

$$ET_C = ET_0 \cdot K_C \quad (2)$$

جدول ۴- داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد در طول دوره رشد

میانگین بارش در طول فصل رشد (m^{-3})	حداکثر دما در طول دوره رشد ($^{\circ}C$)	حداقل دما در طول دوره رشد ($^{\circ}C$)	میانگین حداقل رطوبت نسبی منطقه (%)	میانگین سرعت باد منطقه ($m s^{-1}$)
.	۴۰/۵	۲۰	۲۲/۴	۲/۲۸

جدول ۵- ضرایب گیاهی و میانگین عمق آبیاری در طول دوره رشد

میانگین حجم آبیاری ($m^3 ha^{-1}$)	ضریب گیاهی محاسبه شده	ضریب گیاهی مجله فائو	مرحله رشد
۱۱۳	۰/۳	۰/۳	ابتدایی
۳۲۱	۱/۱۶	۱/۲	میانی
۱۶۸	۰/۷	۰/۵۵	پایانی

انتقال بوته‌ها به آزمایشگاه عملکرد تر (وزن ماده تر ذرت بلافاصله پس از برداشت) و عملکرد بیولوژیک (وزن ماده خشک ذرت پس از قرار گرفتن در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه) اندازه‌گیری شد. در نهایت برای بررسی اثر تیمارهای مختلف روی بهره‌وری آب شاخص بهره‌وری آب با استفاده از رابطه (۶) محاسبه گردید:

$$WP_1 = Y/I \quad (6)$$

در رابطه بالا: Y : عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)، I : میزان آب آبیاری (متر مکعب در هکتار) و WP_1 : بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم در متر مکعب) است. در این تحقیق برای آنالیز آماری نرم‌افزار SAS و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار EXCEL استفاده شد. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

در نهایت عمق ناخالص آبیاری از رابطه (۵) محاسبه گردید. با توجه به عدم بارش در تابستان و همچنین ناچیز بودن میزان آب خارج شده از منطقه گیاه، ET_c برابر عمق خالص آبیاری (d_n) در نظر گرفته شد. عمق ناخالص آبیاری برابر تقسیم عمق خالص بر راندمان است.

$$d_g = d_n / E_a \quad (5)$$

پس از محاسبه عمق آبیاری، حجم آب آبیاری مورد نیاز برای هر کرت نیز محاسبه گردید و حجم آب مورد نیاز هر کرت، بر اساس میزان نوار تیپ مورد استفاده در هر کرت، توسط کنتور حجمی با حداکثر دبی خروجی ۱۰ متر مکعب در ساعت کنترل شد (شکل ۲). در پایان فصل، برداشت محصول با حذف دو خط کاشت از اطراف هر کرت از سطحی معادل یک متر مربع از خطوط کاشت داخلی صورت گرفت. ارتفاع بوته در زمان برداشت در مزرعه و قبل از کف بر کردن بوته اندازه‌گیری شد. سپس با



شکل ۲- سیستم آبیاری

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس تیمارهای مختلف آبیاری و مواد اصلاحی در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان داد، اثرات تیمارهای آبیاری و مواد اصلاحی، هر کدام جداگانه بر صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد تر، ارتفاع بوته، بهره‌وری تر و بهره‌وری بیولوژیک در سطح آماری پنج

درصد معنی‌دار شد. علاوه بر این، اثر متقابل تیمارهای آبیاری و مواد اصلاحی بر فاکتورهای فوق نیز در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. (جدول ۵). همچنین میزان آب مورد استفاده برای تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی ۷۰۶/۵ میلی‌متر، ۸۰ درصد نیاز آبی ۵۹۰ میلی‌متر، ۶۰ درصد نیاز آبی ۴۷۳/۵ میلی‌متر و ۴۰ درصد نیاز آبی ۳۵۷ میلی‌متر بود.

جدول ۶- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای کم آبیاری و مواد اصلاحی بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی Df	عملکرد بیولوژیک	عملکرد تر	ارتفاع بوته	بهره‌وری تر	بهره‌وری بیولوژیک
آبیاری	۳	۵۶۹/۳*	۴۵۸۳*	۰/۹۳۳۷*	۱۰/۵۸*	۰/۹۰۱*
مواد اصلاحی	۴	۱۷۳/۷*	۱۲۶۵*	۰/۰۰۷۵*	۲۶/۳۶۶*	۳/۴۲۹*
آبیاری. مواد اصلاحی	۱۲	۵۱/۵*	۳۴۵*	۰/۰۲۱۹*	۶/۱۸*	۰/۸۸۶*
خطا	۴۰	۱/۱	۴	۰/۰۲۱۴	۰/۱۰۸	۰/۰۲۴
ضریب تغییرات Coefficient of variation		۴/۰۶	۲/۶۲	۵/۵۶	۲/۵۶	۳/۵۶

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

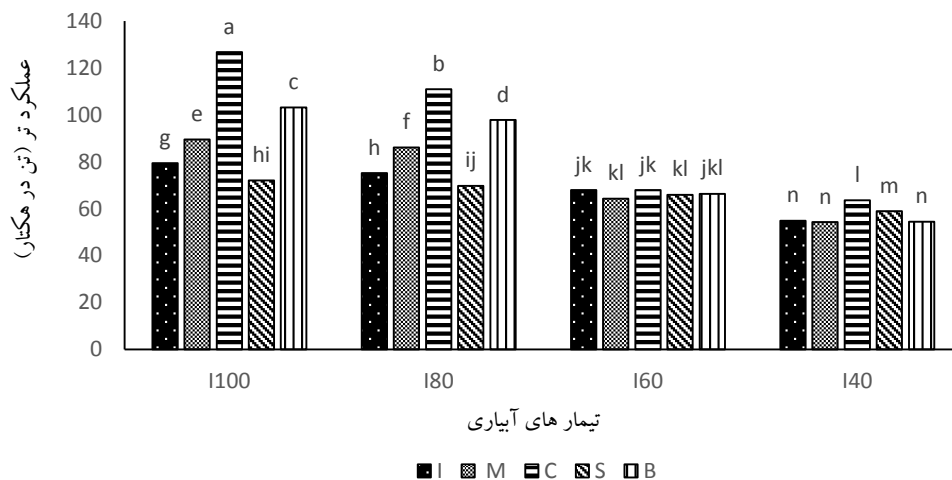
عملکرد تر

همان‌طور که نمودار مقایسه میانگین میزان عملکرد تر در تیمارهای مختلف در شکل ۳ نشان می‌دهد، تنش آبی باعث کاهش میزان عملکرد تر گردید. اثرات مربوط به مواد اصلاحی ورمی‌کمپوست، بیوجار، سوپر جاذب و مالچ در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی نسبت به سطوح ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی، محسوس‌تر است. در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی، کاربرد مواد اصلاحی ورمی‌کمپوست، بیوجار و مالچ باعث افزایش معنی‌دار میزان عملکرد تر به ترتیب به میزان ۵۹/۵٪، ۲۹/۸٪ و ۱۲/۷٪ نسبت به تیمار شاهد گردید ولی کاربرد سوپر جاذب باعث کاهش عملکرد تر به میزان ۹/۳٪ شد. برای سطح آبیاری ۸۰ درصد نیز، همین روند مشاهده گردید. در این سطح آبیاری، کاربرد مواد اصلاحی ورمی‌کمپوست، بیوجار و مالچ باعث افزایش معنی‌دار میزان عملکرد تر به ترتیب به میزان ۴۷/۵٪، ۳۰٪ و ۱۴/۵٪ و کاربرد سوپر جاذب باعث کاهش عملکرد تر به میزان ۷/۲٪ شد. به نظر می‌رسد علت عملکرد ضعیف سوپر جاذب در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی، به ایجاد شرایط ماندابی و مرطوب شدن بیش از

حد خاک برگردد. قاسمی و خوشخوی (۱۳۸۶) و استیل (۱۹۷۶) گزارش کردند که با افزایش سوپر جاذب، وزن خشک گیاه کاهش می‌یابد که علت آن می‌تواند کاهش میزان هوای خاک به خاطر پر شدن فضاهای خالی در اثر تورم سوپر جاذب باشد. خلیلی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی که به بررسی اثر پلیمر سوپر جاذب بر میزان عملکرد ذرت پرداختند گزارش کردند که مصرف سوپر جاذب به میزان ۳۰ کیلوگرم بر هکتار، باعث تغییر معنی‌داری در میزان عملکرد در هیچ کدام از سطوح آبیاری نگردید.

بنابراین در تیمارهای آبیاری کامل و تنش آبی ناچیز (۸۰ درصد نیاز آبی)، مواد اصلاحی ورمی‌کمپوست ۴۷/۵۵٪، بیوجار ۳۰/۰۱٪ و مالچ ۱۴/۵٪ نسبت به تیمار شاهد افزایش داشتند و باعث افزایش معنی‌دار عملکرد تر ذرت گردیدند. نتایج پژوهشی بر روی اثر ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی بر ذرت نشان داد که مصرف هم‌زمان شش تن در هکتار ورمی‌کمپوست و ۵۰ درصد کودهای شیمیایی بهترین عملکرد را نشان داد (بهروزی و همکاران ۱۴۰۱). یاداو و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند که

اثر بیوچار و مالچ در افزایش عملکرد تر معنی دار نگردید. پیروزفر و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی اثر مالچ پلاستیکی بر میزان عملکرد ذرت در اهواز را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان عملکرد در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی به دست آمد که البته تفاوت معنی داری با میزان عملکرد در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی نداشت. در مورد سوپر جاذب نیز، تنها در تیمار تنش آبی شدید (سطح آبیاری ۴۰ درصد نیاز آبی)، بر بهبود صفات عملکردی ذرت علوفه‌ای تأثیر مثبت معنی دار داشت به گونه‌ای که باعث افزایش عملکرد تر به میزان ۷/۶۵ درصد نسبت به تیمار بدون ماده اصلاحی، گردید. به نظر می‌رسد علت افزایش میزان عملکرد، به نگهداشت بالای رطوبت خاک در این سطوح آبیاری باشد.



شکل ۳- نمودار مقایسه میانگین عملکرد تر ذرت علوفه‌ای

می‌دهد. دیوبندهفشجانی و همکاران (۱۳۹۶) نیز بیان کردند که استفاده از بیوچار باگاس نیشکر در خاک به عنوان یک منبع کربنی علاوه بر تأثیر مثبت بر میزان آلی خاک بر سایر خصوصیات شیمیایی آن تأثیر مثبت دارد که موجب افزایش کربن آلی خاک می‌گردد. افزایش کربن آلی خاک می‌تواند باعث افزایش زیست توده گیاه شود. ما و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر مثبت بیوچار در پایداری خاکدانه و افزایش رطوبت خاک را پس از سه سال مصرف بیوچار گزارش نمودند که افزایش آب در خاک می‌تواند منجر به افزایش رشد رویشی گردد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارند.

بیشترین عملکرد ذرت با مصرف همزمان پنج تن در هکتار ورمی کمپوست و ۷۵ درصد کود شیمیایی به دست آمد. در بررسی اثر بیوچار بر عملکرد ذرت، نتایج فخرآبادی و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد که بیشترین مقدار علوفه تر در تیمار آبیاری کامل که حاوی ماده اصلاحی بیوچار (۱۰٪ حجمی) بود، به دست آمد.

همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد، در سطح آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی (تنش آبی متوسط)، هیچ یک از مواد اصلاحی موجب افزایش معنی دار صفات عملکردی ذرت نشدند. در سطح آبیاری ۴۰ درصد نیاز آبی (تنش آبی متوسط)، همچنان مؤثرترین ماده اصلاحی، ورمی کمپوست است که موجب ایجاد افزایش معنی دار عملکرد تر به میزان ۱۶/۱ درصد نسبت به تیمار بدون ماده اصلاحی گردید اما

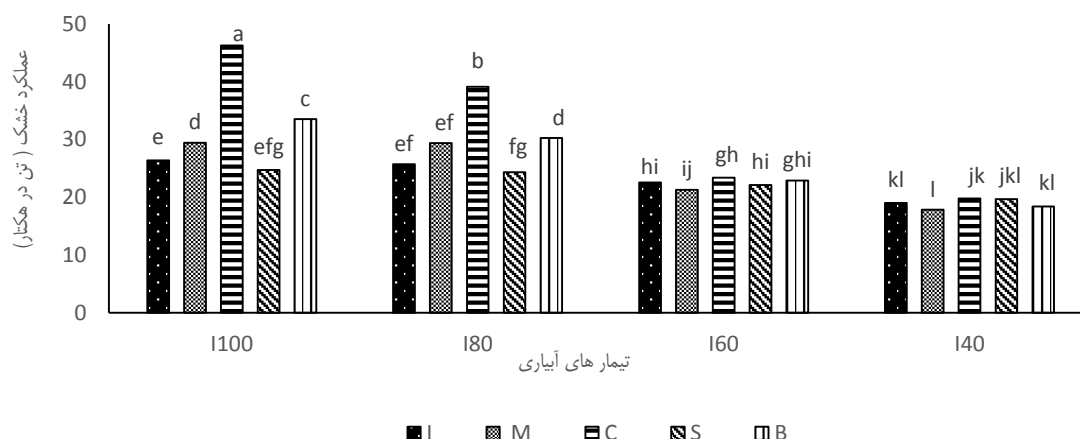
عملکرد بیولوژیک

در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی، کاربرد مواد اصلاحی ورمی کمپوست، بیوچار و مالچ، میزان عملکرد بیولوژیک را به ترتیب به میزان ۷۵/۴٪، ۲۷/۱٪ و ۱۱/۵۰٪ نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند (شکل ۴). طبق مطالعات مرادی طالب بیگی و همکاران (۱۳۸۷)، کاربرد مالچ بر ماده خشک نهایی ذرت تأثیر معنی دار مثبتی دارد. همچنین جهانی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی دریافتند که استفاده از ورمی کمپوست میزان عملکرد بیولوژیک ذرت علوفه‌ای را نسبت به تیمار شاهد به صورت معنی داری افزایش

کاربرد سوپر جاذب باعث کاهش عملکرد بیولوژیک به میزان ۶/۴٪ شد. طی پژوهشی مشخص شد که میکوریز و سوپر جاذب رطوبتی در شرایط آبیاری نرمال، اثر مثبت و معنی‌داری بر صفات رشد، عملکرد زیستی و دانه نداشتند، اما در شرایط تنش رطوبتی، کاربرد آن‌ها بر صفات رشد و عملکرد دانه اثر مثبت داشت که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد (پرویزی و همکاران، ۱۴۰۰). برای سطح آبیاری ۸۰ درصد نیز، همین روند مشاهده گردید. کاربرد مواد اصلاحی ورمی‌کمپوست، بیوجار و مالچ باعث افزایش معنی‌دار میزان عملکرد بیولوژیک به ترتیب به میزان ۵۲/۲٪، ۱۷/۷٪ و ۱۴/۳٪ و کاربرد سوپر جاذب باعث کاهش عملکرد بیولوژیک به میزان ۵/۴٪ شد. بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک مربوط به هریک از تیمارهای مواد

اصلاحی در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد مشاهده گردید و در بین این مواد، کاربرد ورمی‌کمپوست باعث تولید بیشترین عملکرد بیولوژیک (۴۶/۲۸ تن در هکتار) گردید.

همان‌طور که شکل ۴ نشان می‌دهد، برای عملکرد بیولوژیک، در سطح آبیاری ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی (تنش آبی متوسط و شدید)، هرچند، بیشترین عملکرد مربوط به تیمار حاوی ماده اصلاحی ورمی‌کمپوست (۲۳/۳۷ تن در هکتار برای تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی و ۱۹/۷۶ تن در هکتار برای تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی) بود اما تفاوت معنی‌داری با تیمارهای بدون ماده اصلاحی نداشتند. لذا در عمل، هیچ یک از مواد اصلاحی موجب افزایش معنی‌دار صفات عملکردی ذرت نشدند.

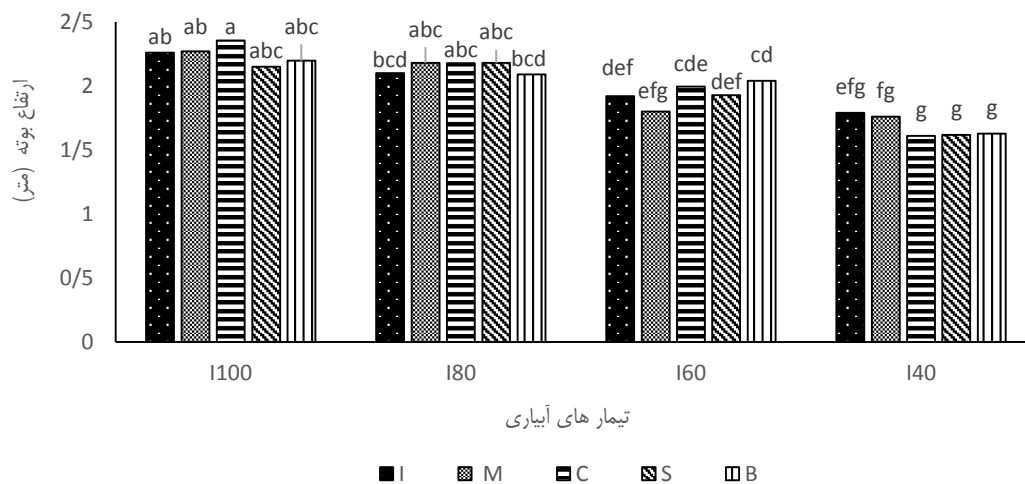


شکل ۴- نمودار مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک ذرت علوفه‌ای

ارتفاع بوته

نتایج مقایسه‌ی میانگین مربوط به ارتفاع بوته (شکل ۵) نشان داد، به‌طورکلی با افزایش تنش آبی، میزان ارتفاع گیاه در همه تیمارهای مربوط به مواد اصلاحی، کاهش یافت. بیشترین مقدار ارتفاع در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و حاوی ورمی‌کمپوست (۲/۳۵ متر) حاصل شد، اما تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد (۲/۲۵ متر) نداشت. در تمام سطوح آبیاری، هیچ‌کدام از مواد اصلاحی، اثر معنی‌دار مثبتی در افزایش ارتفاع بوته نداشتند. پرویزی و

همکاران (۱۳۹۸) طی تحقیقی نشان دادند که کاربرد سوپر جاذب اثر معنی‌داری بر روی ارتفاع بوته ذرت ندارد. در پژوهشی دیگر که توسط رضایی و همکاران (۱۴۰۱) صورت پذیرفت، نتایج نشان داد که مصرف ده تن ورمی‌کمپوست نیز تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع گندم نمی‌گذارد. سپس محکمی و همکاران (۱۴۰۱) با بررسی اثر بیوجار بر گیاه کینوا گزارش کردند که بین تیمار شاهد و کاربرد بیوجار از لحاظ ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

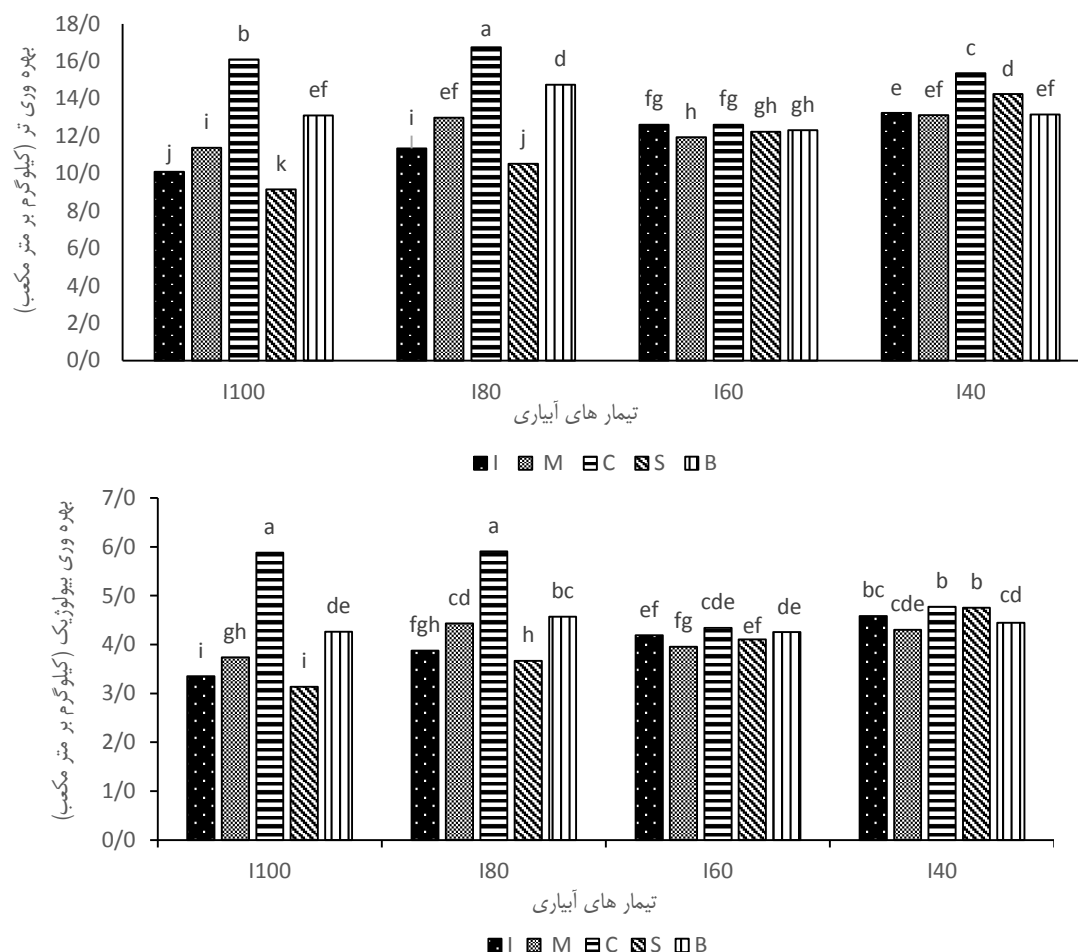


شکل ۵- نمودار مقایسه میانگین ارتفاع بوته ذرت علوفه‌ای

بهره‌وری مربوط به عملکرد تر و عملکرد بیولوژیک

با توجه به شکل ۶، بیشترین بهره‌وری مصرف آب (۱۶/۷۹ کیلوگرم ماده تر و ۵/۹ کیلوگرم ماده خشک به ازای مصرف هر متر مکعب آب)، زمانی حاصل گردید که در تمام طول دوره رشد گیاه، تنش آبی ناچیز (تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی) اعمال و از ماده اصلاحی ورمی‌کمپوست به مقدار شش تن در هکتار استفاده شد. کمترین میزان بهره‌وری مصرف آب (۹/۱۴ کیلوگرم ماده تر و ۳/۱۳ کیلوگرم ماده خشک به ازای مصرف هر متر مکعب آب) نیز در تیمار حاوی سوپر جاذب با سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل گردید. در تنش آبی متوسط (۶۰ درصد نیاز آبی)، بیشترین میزان بهره‌وری عملکرد تر و عملکرد بیولوژیک در تیمار حاوی ورمی‌کمپوست به دست آمد که البته با میزان بهره‌وری در سایر تیمارها، تفاوت معنی‌داری نداشت. در تنش آبی شدید نیز، بهره‌وری مصرف آب در

اثر استفاده از ورمی‌کمپوست، به صورت معنی‌دار در سطح پنج درصد، بیشتر (در بهره‌وری بر اساس عملکرد تر) یا برابر (در بهره‌وری بر اساس عملکرد بیولوژیک) با کاربرد سوپر جاذب مشاهده شد که با توجه به قیمت بالای پلیمرهای سوپر جاذب و تهدیدات زیست‌محیطی این مواد، به نظر می‌رسد، کاربرد ورمی‌کمپوست، مناسب‌ترین گزینه باشد. پیروزفر و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی که بر روی ذرت تحت تیمارهای مختلف آبیاری و مالچ پلاستیکی، انجام دادند گزارش کردند که بهترین میزان بهره‌وری آب برای ذرت در این شرایط در سطح آبیاری ۸۰ درصد به دست آمد. در پژوهش دیگر که بر روی ذرت انجام گرفت، نتایج نشان داد در مناطقی که با کمبود منابع آبی مواجه هستند، برای استفاده بهینه از منابع آب، اعمال تنش کم آبی در سطح ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه در زراعت ذرت علوفه‌ای توصیه می‌شود (حاجی‌راد و همکاران، ۱۴۰۰).



شکل ۶- نمودار مقایسه میانگین بهره‌وری بیولوژیک و تر ذرت علوفه‌ای

نتیجه‌گیری

با بررسی اثر کم‌آبیاری و مواد اصلاحی بر عملکرد ذرت علوفه‌ای تحت آبیاری قطره‌ای نواری (TAPE) در منطقه خرم‌آباد، نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف آبیاری و مواد اصلاحی، میزان عملکرد (تر و بیولوژیک)، ارتفاع بوته و بهره‌وری آب ذرت را تحت تأثیر قرار داد. نتایج این تحقیق نشان داد، در تیمارهای آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تنش آبی ناچیز (تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی)، به ترتیب، کاربرد ورمی‌کمپوست، بیوجار و مالچ باعث افزایش معنی‌دار عملکرد تر و بیولوژیک ذرت گردیدند. در تنش آبی متوسط (تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی)، هیچ یک از مواد اصلاحی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد ذرت نگردید. در تنش آبی شدید (تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی) نیز، همچنان مؤثرترین ماده اصلاحی، ورمی‌کمپوست بود. استفاده از بیوجار، در سطح نیاز آبی ۴۰

درصد نیاز آبی، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر روی افزایش صفات اندازه‌گیری نداشت. در مورد سوپر جاذب نیز، تنها در تیمار تنش آبی شدید (۴۰ درصد نیاز آبی)، در سطح معنی‌داری پنج درصد، باعث بهبود میزان عملکرد ذرت علوفه‌ای گردید. نتایج بهره‌وری نشان داد که بیشترین بهره‌وری مصرف آب زمانی حاصل گردید که در تمام طول دوره رشد گیاه، تنش آبی ناچیز (تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی) اعمال شد و از ماده اصلاحی ورمی‌کمپوست به مقدار شش تن در هکتار استفاده گردید. حتی در تنش آبی شدید نیز، بهره‌وری مصرف آب در اثر استفاده از ورمی‌کمپوست بیشتر (در بهره‌وری بر اساس عملکرد تر) یا برابر (در بهره‌وری بر اساس عملکرد بیولوژیک) با کاربرد سوپر جاذب مشاهده شد که با توجه به قیمت بالای پلیمرهای سوپر جاذب و تهدیدات زیست‌محیطی این مواد، کاربرد ورمی‌کمپوست مناسب‌ترین گزینه خواهد بود؛ بنابراین برای منطقه خرم‌آباد،

ارزیابی صورت پذیرد و بر اساس هزینه تولید ذرت علوفه‌ای در هر هکتار و هزینه تمام شده هر کیلو علوفه ذرت برای هر کدام از مواد اصلاحی (ورمی‌کمپوست، بیوپچار، سوپر جاذب و مالچ)، نتایج مربوط به ارزیابی اقتصادی ارائه شوند.

تحت شرایط آبیاری قطره‌ای نواری (TAPE)، با اعمال کم‌آبیاری به میزان ۸۰٪ نیاز آبی و ماده اصلاحی ورمی‌کمپوست به میزان شش تن در هکتار، می‌توان عملکرد و بهره‌وری آب ذرت را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد. در این پژوهش ارزیابی اقتصادی صورت پذیرفته است لذا پیشنهاد می‌گردد که با استفاده از شاخص‌های سودآوری این

فهرست منابع

۱. احمدآلی، ج. و خلیلی، م. (۱۳۸۸). بررسی عملکرد و کارایی مصرف آب در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) و جوی پشته‌ای در وضعیت کشت یک ردیفه و دو ردیفه در ذرت دانه‌ای. *مجله آبیاری و زهکشی ایران*، ۳(۲)، ۷۸-۷۱.
۲. اسدی، ر. و اسدی، ر. (۱۳۹۱). تأثیر کم‌آبیاری ذرت دانه‌ای با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب. *پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)*، ۲۶(۲ (ب))، ۱۹۷-۲۰۹.
۳. امینی نجف‌آبادی، م.، فتاحی، ر. ا.، قربانی، ب. و سالمی، ح. ر. (۱۳۹۹). تأثیر انواع آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) و سطوح آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای. *مجله پژوهش آب ایران*، ۱۴(۴)، ۱۸۷-۱۷۹.
- بهریزی، د.، دیانت، م.، مجیدی، ا.، میرهادی، م. ج. و شیرخانی، ع. (۱۴۰۱). تأثیر کم‌آبیاری، کودهای شیمیایی و ورمی‌ورمی‌کمپوست بر ذرت علوفه‌ای (*Zea mays L.*) به زراعی کشاورزی، ۲۴ (۴)، ۱۰۶۹-۱۰۸۴.
۴. بهزادنژاد، ج.، طهماسبی سروسستانی، ز. ا.، آیین، ا. و مختصی بیدگلی، ع. (۱۳۹۷). اثر تنش خشکی و خاکپوش کاه و کلش گندم بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک کنگد. *اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی (علوم کشاورزی)*، ۱۲(۳ (۴۷))، ۳۹۳-۴۱۰.
۵. بیات، ز.، صادقی پور، ا.، یزدانی، م. ر. و ذوالفقاری، ع. ا. (۱۳۹۹). تولید علوفه و خصوصیات مورفولوژیک ذرت علوفه‌ای (*Zea mays L.*) در سطوح مختلف شوری آب و انواع مالچ. *مرتج*، ۱۴(۲)، ۲۴۸-۲۷۱.
۶. پالاش، م.، بافکار، ع.، فرهادی بانسوله، ب. و قبادی، م. (۱۴۰۱). بررسی اثرات کم‌آبیاری بر خصوصیات کمی، کیفی و بهره‌وری آب در ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۶ در کرمانشاه. *فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب*، ۲(۱)، ۳۷-۱۶.
۷. پرویزی، خ.، فرنیاء، ا. و هدایتی، ا. (۱۳۹۸). اثر کود زیستی نیتروکسین و سوپر جاذب رطوبت بر صفات رشد و اجزای عملکرد بلال ذرت در شرایط تنش کمبود آب. *تغذیه گیاهان باغی*، ۲(۱)، ۹۹-۱۱۵.
۸. پرویزی، خ.، فرنیاء، ا. و قادری، م. ک. (۱۴۰۰). بررسی کاربرد قارچ هم‌زیست میکوریز و سوپر جاذب رطوبتی بر صفات رشد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای تحت شرایط تنش آبی. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۳(۲)، ۶۹-۷۹.
۹. پیروزفر، و. ر.، برومندنسب، س. و صالحی، ف. (۱۳۹۹). اثر آبیاری قطره‌ای نواری پوشش‌دار و بدون پوشش بر عملکرد و راندمان مصرف آب ذرت (*Zea mays L.*) تحت شرایط آب و هوایی اهواز. *نشریه دانش آب‌ونخاک*، ۳۰(۴)، ۴۱-۲۹.

۱۰. جهان، م.، کامیستانی، ن.، و رنجبر، ف.، (۱۳۹۲). امکان‌سنجی استفاده از سوپر جاذب رطوبت به‌منظور کاهش تنش خشکی وارده به ذرت (*Zea mays L.*) در یک نظام زراعی کم‌نهاد در شرایط مشهد. بوم‌شناسی کشاورزی، ۵(۳)، ۲۷۲-۲۸۱.
۱۱. جورونی، ا.، عالی‌نژادیان بیدآبادی، ا.، و ملکی، ع.، (۱۳۹۶). تعیین تابع تولید و پاسخ عملکرد کل ماده خشک و دانه به کم‌آبیاری در گیاه ذرت. مجله مدیریت آب و آبیاری، ۷(۲)، ۲۵۶-۲۴۱.
۱۲. جهانی، م.، بشارتی، ح.، و گلچین، ا.، (۱۳۹۰). تأثیر کاربرد ورمی کمپوست‌های غنی‌شده بر درصد ظهور گیاهچه و وزن خشک بوته ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۵(۱)، ۳۳-۳۸.
۱۳. حاجی‌راد، ا.، میرلطیفی، س. م.، دهقانی‌سانبج، ح.، و محمدی، س.، (۱۴۰۰). بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای در صورت استفاده از دو نوع مدیریت مختلف در سیستم آبیاری قطره‌ای. مجله پژوهش آب/ایران، ۱۵(۳)، ۲۳-۱۵.
۱۴. خلیلی، ف.، آقایی، ف.، و اردکانی، م. ر.، (۱۴۰۰). تأثیر توأم شیوه‌های کم‌آبیاری و کاربرد سوپر جاذب بر خصوصیات موفولوژیکی و عملکرد گیاه ذرت. دانش آب و خاک (دانش کشاورزی)، ۳۱(۳)، ۱۵-۲۹.
۱۵. دیوبند هفشدجانی، ل.، هوشمند، ع. ر.، ناصری، ع. ع.، سلطانی محمدی، ا.، و عباسی، ف.، (۱۳۹۶). مقایسه کارایی بیوجار و ورمی کمپوست باگاس نیشکر در حذف نترات از آب‌های آلوده و تعیین شرایط بهینه فرایند جذب. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۰(۱)، ۱۱۶-۱۰۲.
۱۶. رضایی، م.، جامی‌الاحمدی، م.، محمودی، س.، و سیاری‌زهان، م. ح.، (۱۴۰۱). تأثیر مصرف کودهای گاوی، ورمی کمپوست محلی و فسفره بر برخی خصوصیات رشدی و عملکردی گندم. تولیدات گیاهان زراعی، ۱۶(۱)، ۷۸-۶۱.
۱۷. رفیعی، م.، و کونانی، ع. ر.، (۱۳۹۸). تأثیر کاربرد ورمی ورمی کمپوست و کود نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی ذرت (*Zea mays L.*). مجله علوم گیاهان زراعی ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۵۰(۱)، ۱۵۱-۱۵۹.
۱۸. ظهوریان مهر، م.، (۱۳۸۵). سوپر جاذب‌ها. انتشارات انجمن پلیمر ایران. ۸۳ ص.
۱۹. فخرآبادی، ح.، و خوش‌سیمای چنار، م.، (۱۴۰۰). اثر کم‌آبیاری و بیوجار بر روی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی ریحان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۵(۴)، ۹۴۱-۹۵۴.
۲۰. قاسمی، م.، و خوشخوی، م.، (۱۳۸۶). اثر پلیمر ابر جاذب بر دور آبیاری و رشد و نمو گیاه داودی (*Dendranthema × grandiflorum Kitam syn. Chrysanthemum morifolium Ramat.*). مجله علوم و فنون باغبانی ایران، ۸(۲)، ۶۵-۸۲.
۲۱. قیصری، م.، میرلطیفی، س. م.، همایی، م.، و اسدی، م. ا.، (۱۳۸۵). تعیین نیاز آبی ذرت علوفه‌ای و ضریب گیاهی آن در مراحل مختلف رشد. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۷(۲۶)، ۱۲۵-۱۴۲.
۲۲. کیخسروی، ح.، (۱۳۹۴). تأثیر بیوجار غنی‌شده با فسفر بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و عملکرد گیاه ذرت. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.
۲۳. محکم‌عی، ع.، یزدان‌پناه، ن.، و سعیدنژاد، ا. م.، (۲۰۲۲). اثر کاربرد ورمی کمپوست و بیوجار بر خصوصیات مروفیزیولوژیک کینوا در شرایط تنش خشکی. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳(۱)، ۱۲۹-۱۴۰.

۲۴. مرادی طالب بیگی، ر.، پیرسته انوشه، ه.، احمدی لاهیجانی، م.ج.، و امام، ی.، (۱۳۹۲). ارزیابی تأثیر بقایای گندم و خاک‌ورزی در روز و شب بر جامعه علف‌های هرز و عملکرد دانه ذرت (*Zea mays* L.) سینگل کراس ۷۰۴. *بوم‌شناسی کشاورزی*، ۵(۳)، ۲۵۵-۲۶۲.
۲۵. مرادی، ن.، رسولی صدقیانی، م.ج.، و سپهر، ا.، (۱۳۹۶). تأثیر نوع و مقدار بیوجار بر برخی ویژگی‌های خاک و قابلیت استفاده بعضی عناصر غذایی در یک خاک آهکی. *آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۳۱(۴)، ۱۲۳۲-۱۲۴۶.
۲۶. ملک، ع.ع.، (۱۳۹۳). تأثیر کاربرد میکوریزا آربوسکولار و کودهای آلی (ورمی ورمی کمپوست و اسید هیومیک) بر غلظت فسفر در برگ و غده سیب‌زمینی در یک خاک غنی از فسفر. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.
۲۷. میرزایی، ح.، (۱۳۹۱). اثر متقابل ورمی ورمی کمپوست و اسید هیومیک بر عملکرد سیب‌زمینی. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.
28. Arancon, Q. N., and Edwards, C. A., (2009). The utilization of vermicompost in Horticulture and Agriculture. In: Edwards CA, Jeyaraaj R, Indira AJ (Eds.) Vermitechnology in Human welfare. Rohini Achagam, Coimbatore, *Tamil Nadu, India*, 98-108
29. Ashoori, N., Teixido, M., and Spahr, S., (2019). Evaluation of pilot- scale biochar – amended woodchip bioreactors to remove nitrate, metals, and trace organic contaminants from urban storm water runoff. *Water Research*, 154 (1), 1-11.
30. Behrouzi, D., Diyanat, M., Majidi, E., Mirhadi, M. J., and Shirkhani, A., (2022). Effect of Deficit Irrigation, Fertilizers and Vermicompost on Forage Maize (*Zea mays* L.). *Journal of Crops Improvement*, 24 (4), 1069-1084.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jci.2021.328509.2594>.
31. Borsato, E., Martello, M., Marinello, F., and Bortolini, L., (2019). Environmental and economic sustainability assessment for two different sprinkler and a drip irrigation systems: A case study on maize cropping. *Agriculture*, 9(9), 187-?
32. Doan, T. T., Henry-des-Tureaux, T., Rumpel, C., Janeau, J. L., and Jouquet, P., (2015). Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three year mesocosm experiment. *Science of the Total Environment*, 514, 147-154.
33. Duranti, A., and Cuocolo, L., (1989). Chemical weed control and mulching in onion (*Allium cepa* L.) and garlic (*Allium sativum* L.). *Advances in Horticultural Science*, 37(1), 338-342.
34. Fan, Y., Ding, R., Kang, S., Hao, X., Du, T., Tong, L., and Li, S., (2017). Plastic mulch decreases available energy and evapotranspiration and improves yield and water use efficiency in an irrigated maize cropland. *Agricultural water management*, 179, 122-131.
35. Han, Y.G., Yang, P.L., Luo, Y.P., Ren, S.M., Zhang, L.X., and L. Xu., (2010). Porosity change model for watered super absorbent polymer-treated soil. *Environ. Earth Sci*, 61, 1197-1205.
36. Khalili, M., Naghavi, M.R., Aboughadareh, A., and Rad, H., (2013). Effects of drought stress on yield and yield components in maize cultivars (*Zea mays* L.). *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(4), 809-812.
37. Leng, I., Huang, H., Li, H., Li, J., and Zhou, W., (2019). Biochar stability assessment methods, review. *Science of the Total Environment*, 647, 210-222.
38. Ma, N., Zhang, L., Zhang, Y., Yang, L., Yu, C., Tin, G., Diane, T.A., and Ma, X., (2016). Biochar Improves Soil Aggregate Stability and Water Availability in a Mollisol after Three Years of Field Application. *PLOS One*, 11(5), 1-10.

39. Mahajan, G., Sharda, R., Kumar, A., and Singh, K., (2007). Effect of plastic mulch on economizing irrigation water and weed control in baby corn sown by different methods. *African Journal of Agricultural Research* 2(1), 19-26.
40. Maleki Farahani, S., and Chaichi, M., (2012). Application of biological and integrated fertilizers mitigates the adverse effects of drought stress on barley. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3 (7), 1508-1519.
41. Minhua, Y., Yanlin, M., Yanxia, K., Qiong, J., Guangping, Q., Jinghai, W., Changkun, Y., and Jianxiong, Y., (2022). Optimized farmland mulching improves alfalfa yield and water use efficiency based on meta-analysis and regression analysis. *Agricultural Water Management*, 267, p.107617
42. Ravindran, B., Dinesh, S. L., Kennedy, L., and Sekaran, G., (2008). Vermicomposting of solid waste generated from Leather Industries using epigeic earth worm *eiseniafetida*. *AppliedBiochemical Biotechnology*, 151, 480-488.
43. Shi, L., Wang, Q., Zhang, G., Li, S., and Xue, J., (2023). Increasing Maize Production and Advancing Rational Water Allocation and Usage Based on the Optimal Planting Density and Irrigation Levels in Northwest China. *Water*, 15(3), 529.
44. Srivastava, R. K., and Beohar, P. A., (2004). Vermicompost as an organic manure. A good substitute of fertilizers. *International Journal of Current Science*, 5, 141-143.
45. Still, S.M., (1976). Growth of 'Sunny Mandalay' chrysanthemums in hardwood-barkamended media as affected by insolubilized poly (ethylene oxide). *HortScience*, 11,483-484.
46. Wang, F., Wang, Z., Zhang, J., and Li, W., (2019). Combined effect of different amounts of irrigation and mulch films on physiological indexes and yield of drip-irrigated maize (*Zea mays* L.). *Water*, 11(3), 472.
47. Xuan, C., Ding, R., Shao, J., and Liu, Y., (2021). Evapotranspiration and quantitative partitioning of spring maize with drip irrigation under mulch in an arid region of northwestern China. *Water*, 13(22), 3169.
48. Yadav, A. K., Chand, S., and Thenua, O., (2016). Effect of integrated nutrition management on productivity of Maize with Mungbean intercropping. *Global Journal of Bio-Sience and Biotechnology*, 5(1), 115-118.
49. Zafar, U., Akmal, M., Ali, M., Zaib, A., and Zaid, T., (2018). Effect of biochar on maize yield and yield components in rainfed conditions. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR)*, 12(3), 46-51.
50. Zhang, L., Sun, X., Tian, Y., and Gong, X., (2014). Biochar and humic acid amendments improve the quality of composted green waste as a growth medium for the ornamental plant *Calathea insignis*. *Scientia Horticulturae*, 176, 70-78.

ارزیابی عملکرد ارقام کلزا در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

رهام محتشمی*

استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات آموزش و

ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران. r.mohtashami@areeo.ir

دریافت: خرداد ۱۴۰۲ و پذیرش: دی ۱۴۰۲

چکیده

در بیش‌تر مناطق خشک و نیمه‌خشک، محدودیت آب یکی از دلایل اصلی کاهش رشد و عملکرد گیاهان در شرایط دیم و آبی به شمار می‌رود. هدف از انجام این پژوهش مقایسه پاسخ‌های مروفیز یولوژیک رقم‌های کلزا به شرایط دیم و آبیاری تکمیلی بود. به این منظور، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی گچساران اجرا شد. تیمارهای آبیاری در چهار سطح (عدم آبیاری (I₀)، آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (I₁)، آبیاری تکمیلی در مرحله پر شدن دانه (I₂)، آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی و پر شدن دانه (I₃)، در پلات اصلی و ارقام هایولا ۴۰۱، آر. جی. اس، و شیرالی در پلات‌های فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که آبیاری تکمیلی ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و درصد روغن را در مقایسه با شرایط دیم افزایش داد. با آبیاری تکمیلی، وزن هزار دانه در مقایسه با شرایط دیم ۳۱٪ افزایش یافت. میانگین عملکرد دانه از ۷۵۵ در شرایط دیم به ۲۳۵۰ کیلوگرم در هکتار با دو بار آبیاری تکمیلی رسید. با دو بار آبیاری تکمیلی درصد روغن در مقایسه با شرایط دیم ۱۱/۸٪ افزایش یافت. در همه تیمارهای آبیاری، عملکرد دانه و درصد روغن رقم هایولا ۴۰۱، بالاتر از ارقام آر. جی. اس و شیرالی بود. به‌طور کلی آبیاری تکمیلی باعث افزایش بهره‌وری آب (۵۳٪ کیلوگرم بر مترمکعب) و بهبود صفات مروفیز یولوژیک، عملکرد و درصد روغن دانه شد. در زراعت کلزای دیم با دو بار آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه، بهره‌وری آب از ۰/۲۱ به ۰/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب، عملکرد دانه از ۷۵۵ به ۲۳۵۰ کیلوگرم در هکتار، و مقدار روغن از ۳۵/۴٪ به ۳۶/۹٪ افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، درصد روغن، عملکرد دانه کلزا

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: r.mohtashami@areeo.ir

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات روغنی دنیا برای تولید دانه‌های روغنی و روغن خوراکی است. سطح زیر کشت کلزا در دنیا ۳۷۱۶۷۴۰۶ هکتار، عملکرد آن ۲/۱۰۳ تن در هکتار و کل تولید آن ۷۸۱۶۳۰۵۵ میلیون تن بود. در سال ۱۳۹۸ سطح زیر کشت کلزا در ایران، ۷۷ هزار هکتار و کل تولید آن به ۱۳۹ هزار تن رسید (فائو، ۲۰۲۱). کلزا گیاهی علفی با دوره رشد یک‌ساله و روز بلند است. این گیاه با ویژگی‌های از جمله دامنه گسترده سازگاری به انواع اقلیم‌ها و شرایط آب و هوایی و دارا بودن دو تیپ پاییزه و بهاره می‌تواند در برنامه تناوب زراعی در مناطق مختلف جای گرفته و امکان استفاده بیش‌تر از منابع آب و خاک را فراهم کند (مندهام و سالیسبوری، ۱۹۹۵). با توجه به اینکه بیش از ۹۰ درصد روغن مصرفی در ایران به‌صورت واردات تأمین می‌شود، بنابراین تولید دانه‌های روغنی و به‌ویژه کلزا در سال‌های اخیر در اولویت جدی قرار گرفته است. از آنجایی که کلزا عموماً در فصل پاییز کشت می‌شود و بسته به بارندگی سالانه درصدی از نیاز آبی آن از طریق بارندگی تأمین می‌شود برای افزایش عملکرد آن آبیاری تکمیلی گزینه مناسبی است، منظور از آبیاری تکمیلی، تأمین نیاز آبی گیاه در مواقعی است که بارش قطع شده است.

خشکی مهم‌ترین عامل غیر زنده محدود کننده رشد و نمو گیاهان است و تخمین زده می‌شود که ۷۰ درصد کاهش تولید محصولات کشاورزی در دنیا را سبب شود (وو و همکاران، ۲۰۱۷). کاهش بارندگی از طریق تأثیر منفی بر فیزیولوژی گیاه، رشد و تولید آن، کاهش عملکرد گیاهان زراعی را به همراه داشته است (برناباس، ۲۰۰۸). در چنین شرایطی می‌توان به راه‌کارهای مدیریت کارآمد بهره‌برداری از آب روی آورد که یکی از آن‌ها آبیاری تکمیلی است. اعمال مدیریت آبیاری تکمیلی توانسته است عملکرد محصولات دیم را به نحو چشمگیری افزایش دهد. در واقع، آبیاری تکمیلی

یک مداخله موقت است و به نحوی باید طراحی شود که بتوان در زمانی که آب فراهم است، تعرق طبیعی گیاه را افزایش داد (اویس و هاجوم، ۲۰۰۶). در تحقیقات متعددی نقش آبیاری تکمیلی بر بهبود صفات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهان زراعی بیان شده است. آبیاری تکمیلی، در مراحل گلدهی و پرشدن دانه کلزا، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، (محششی و همکاران، ۲۰۲۰) و میزان روغن دانه (گو و همکاران، ۲۰۱۷) را افزایش داد.

معماری یا فرم ظاهری کلزا بوسیله ارتفاع گیاه، تعداد و توزیع شاخه‌ها و طول گل‌آذین اصلی مشخص می‌شود. این صفات به‌طور غیرمستقیم با تأثیر بر اجزاء اصلی عملکرد، روی عملکرد ارقام کلزا اثر می‌گذارند (لی و همکاران، ۲۰۱۶). زارعی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که تنش کم‌آبی به‌صورت دور آبیاری ۱۴ روز در مقایسه با دور آبیاری هفت روز تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه فرعی و ارتفاع بوته ارقام کلزا نداشت.

در مطالعه‌ای نتایج نشان داد که رشد گیاه کلزا در نقطه پژمردگی دائم خاک در مرحله رشد رویشی سبب کاهش معنی‌دار برخی صفات مرفولوژیک نظیر ارتفاع بوته و قطر ساقه گردید (سنگتراش و همکاران، ۲۰۰۹). گزارش کردند در شرایط کم‌آبی ارتفاع بوته و طول ساقه کلزا کاهش یافت. به‌طوری که هر دوره آبیاری ارتفاع بوته کلزا را ۷/۵ سانتی‌متر افزایش داد.

عملکرد دانه در گیاهان زراعی نتیجه فرآیندهای فیزیولوژیکی پیچیده‌ای بوده و تحت تأثیر تنش آبی قرار می‌گیرند. اثر تنش آبی بر عملکرد دانه بستگی به شدت تنش و مرحله رشدی گیاه دارد (فهاد و همکاران، ۲۰۱۷). عملکرد کلزا تابع تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه‌ها بوده و مرحله گلدهی و تشکیل غلاف‌ها حساس‌ترین مراحل به تنش کم‌آبی محسوب می‌شوند (سینکی و همکاران، ۲۰۰۷).

اثر آبیاری تکمیلی روی عملکرد و اجزای عملکرد کلزا تحت شرایط نیمه‌خشک در ترکیه نشان داد

گلرنگ، آبیاری کامل نسبت به کم‌آبیاری موجب افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، عملکرد دانه و درصد روغن گردید (محتشمی و همکاران، ۲۰۱۸).

در مناطق نیمه‌خشک کشور چین، سطوح آبیاری تکمیلی به‌همراه بارندگی نسبت به شرایط دیم، باعث بهبود رشد گیاه و افزایش محصول گندم شد. کم‌ترین عملکرد دانه از تیمار بدون آبیاری تکمیلی و ۱۲۵ میلی‌متر بارندگی حاصل شد. افزایش عملکرد دانه به میزان ۶۰ درصد از تیمار، ۱۵۰ میلی‌متر آبیاری تکمیلی به همراه ۲۰۰ میلی‌متر بارندگی به‌دست آمد (علی و همکاران، ۲۰۱۹).

در مطالعه‌ی پاسخ سویا به آبیاری تکمیلی و تنش آبی، نتایج نشان داد گیاهانی که در مراحل رشد سبزینه‌ای و گلدهی با تنش آبی مواجه شدند به‌طور معنی‌داری مقدار کل ماده خشک و عملکرد دانه کم‌تری داشتند. بیش‌ترین انتقال مجدد مواد از ریشه‌ها، ساقه و برگ‌ها و کل ماده خشک از تیمار آبیاری تکمیلی حاصل شد (ژها و همکاران، ۲۰۱۸). یافته‌های و گاجیک و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که تیمارهای آبیاری به‌طور قابل توجهی عملکرد دانه سویا را نسبت به تیمار بارندگی افزایش داد. با آبیاری تکمیلی در دو مرحله ساقه رفتن و گلدهی گندم، مقدار ماده خشک و میزان توزیع آن در دانه نسبت به یک نوبت آبیاری، در هر کدام از مراحل ساقه‌رفتن و یا گلدهی بیش‌تر بود (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹).

با توجه به اهمیت زراعی، اقتصادی و تغذیه‌ای کلزا، پایین بودن عملکرد دانه و مقدار روغن کلزا در اراضی دیم و پراکنش نامناسب بارندگی در مناطقی از کشور از جمله شهرستان گچساران، این تحقیق با هدف مقایسه پاسخ‌های مرفوفیزیولوژیک ارقام کلزا به شرایط دیم و آبیاری تکمیلی انجام شد.

با انجام آبیاری تکمیلی، عملکرد دانه به حدود چهار تن در هکتار رسید. حتی در ارقام کلزای توصیه شده برای شرایط دیم، آبیاری تکمیلی در طی مراحل رشد اثر معنی‌داری روی عملکرد و اجزای عملکرد داشت (دوگان و همکاران، ۲۰۱۱).

پاولیستا و همکاران (۲۰۱۶) نتیجه گرفتند که از بین تیمارهای تنش، بدون آبیاری، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌متر آبیاری تکمیلی، در تیمار ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌متر آبیاری تکمیلی درصد روغن دانه کلزا به‌ترتیب چهار و هشت درصد افزایش یافت. یافته‌های هرگرت و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد، در طی سال‌های گرم و خشک درصد روغن دانه کلزا خیلی پایین بود؛ اما زمانی که میزان بارش بیش از متوسط شد و دمای هوا خنک‌تر شد، درصد روغن دانه افزایش یافت. بسته به سال و سطوح آبیاری تکمیلی درصد روغن در دامنه ۳۰ تا ۵۰ درصد متغیر بود. کتوال و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی مراحل مختلف رشد کلزا تحت روش کم‌آبیاری، گزارش دادند که محدودیت آبیاری در طی مرحله رشد زایشی به‌طور قابل توجهی می‌تواند توانایی کلزا را جهت تولید دانه و عملکرد روغن در واحد آب مصرفی کاهش دهد. توکلی و عبدالرحمانی (۲۰۱۵) در بررسی تک آبیاری بر عملکرد و صفات زراعی کلزا در شرایط دیم، گزارش دادند که تک آبیاری به‌میزان ۶۰ میلی‌متر در مرحله گلدهی با کنترل تنش رطوبتی، سبب افزایش میزان رشد رویشی، ایجاد شاخ و برگ و در نهایت افزایش تولید دانه به میزان ۸۳ درصد نسبت به شاهد دیم شد.

دوگان (۲۰۱۹) در آزمایش اثر آبیاری تکمیلی بر اجزای عملکرد عدس نشان داد که اختلاف معنی‌داری در رشد سبزینه‌ای و خصوصیات زایشی وجود داشت و آبیاری تکمیلی در طی فصل رشد، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد غلاف و وزن هزار دانه را افزایش داد. آبیاری تکمیلی، با بهبود تجمع، توزیع و انتقال مواد فتوسنتزی تعداد سنبله، تعداد دانه، وزن دانه و عملکرد دانه گندم را افزایش داد (دوگان و همکاران، ۲۰۱۹). در تحقیقی روی

مواد و روش‌ها

آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گچساران (سایت موسسه تحقیقات دیم کشور) با مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی طی دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ اجرا شد. ارتفاع از سطح دریا ۷۱۰ متر و متوسط بارندگی سی ساله و درجه حرارت به ترتیب ۳۷۴ میلی‌متر و ۲۳/۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. دمای کمینه در دیماه ۲۳/۸ و دمای بیشینه در مردادماه ۴۷ درجه سانتی‌گراد بود. میزان بارندگی در دوره رشد کلزا، سال اول اجرای آزمایش ۳۳۶ و سال دوم ۳۷۱ میلی‌متر بود. مشخصات هواشناسی فصل کاشت تا برداشت کلزا در گچساران، از آذر ۹۶ تا اردیبهشت ۹۸، در شکل ۱ آمده است (داده‌های ایستگاه هواشناسی گچساران). براساس داده‌های اقلیمی مذکور این اطلاعات برای کشت دیم کلزا در شرایط گچساران لازم ولی کافی نیست و در صورت عدم بارندگی آخر فصل رشد، نیاز به یک الی دو مرتبه آبیاری تکمیلی می‌باشد.

عملیات کاشت و تیمارهای آزمایشی

آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. آبیاری در چهار سطح (بدون آبیاری (I_0), آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (I_1), آبیاری تکمیلی در مرحله پرشدن دانه (I_2), آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی + پرشدن دانه (I_3) در پلات اصلی، ارقام هایولا ۴۰۱، آر. جی. اس و شیرالی در پلات‌های فرعی اعمال شد. هر کرت اصلی در ابعاد ۵×۶ متر به میزان ۳۰ متر مربع و هر کرت فرعی در ابعاد ۲×۵ متر به میزان ۱۰ متر مربع بود. به منظور آماده‌سازی زمین، ابتدا زمین با گاواهن قلمی شخم خورد و سپس جهت خرد کردن کلوخ‌ها دو دیسک عمود بر هم و لولر جهت تسطیح انجام شد. ارقام هایولا ۴۰۱، آر. جی. اس و شیرالی در ۱۲ آذرماه سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ کشت شدند. هر پلات آزمایشی شامل هشت خط کشت پنج

متری با فاصله خطوط ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت چهار سانتی‌متر بود. میزان بذر برای هر خط کشت براساس وزن هزار دانه هفت کیلوگرم در هکتار محاسبه و توسط دستگاه ردیفکار گندم با اعمال تنظیمات مناسب برای بذر کلزا در عمق ۳-۲ سانتی‌متری خاک کاشته شد. این نحوه عملیات کاشت برای کشت کلزا در شرایط دیم لازم و در صورت عدم بارندگی آخر فصل رشد، اعمال یک الی دو مرتبه آبیاری تکمیلی مناسب می‌باشد. (محتشمی و همکاران، ۲۰۲۰).

عملیات داشت و مراحل آبیاری تکمیلی

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است. براساس نتایج تجزیه خاک، کود نیتروژنه به میزان ۵۰ و فسفره ۷۵ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از منابع کودی اوره و سوپر فسفات تریپل تهیه و به صورت یکسان در کلیه پلات‌ها مصرف گردید. تمامی کود فسفره و نصف کود نیتروژنه به صورت پایه و قبل از کشت مصرف شد و مابقی کود نیتروژنه بصورت سرک در مرحله آغاز به ساقه رفتن مصرف گردید. جرم مخصوص ظاهری با استفاده از سیلندرهای استوانه‌ای، هدایت هیدرولیکی خاک به روش بار افتان (کلوت و همکاران، ۱۹۸۶)، ضرایب رطوبتی خاک در نقاط ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP)، با استفاده از دستگاه صفحه فشاری (یدر، ۱۹۶۳) و بافت خاک به روش هیدرومتری (گئی و بودر، ۱۹۸۶) اندازه‌گیری شد. کیفیت شیمیایی آب آبیاری محل آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. عمل تنک کردن در دو مرحله دو تا چهار و پنج تا هفت برگی انجام و تراکم بوته در حدود ۷۰ بوته در مترمربع تنظیم گردید. علف‌های هرز به صورت دستی وجین شد.

برای تأمین آب مورد نیاز در شرایط آبیاری تکمیلی یک روز قبل از آبیاری نمونه‌های خاک از عمق توسعه ریشه (با حفر پروفیل خاک در محل ریشه گیاه در مرحله گلدهی و پرشدن دانه به ترتیب ۶۱ و ۸۳ سانتی‌متر

بود) کرت‌های آزمایشی تهیه شده و پس از وزن کردن و خشک کردن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، توزین شد. به این نحو که برای تعیین آب مورد نیاز در هر کدام از مراحل گلدهی و پرشدن دانه یک متر مربع زمین در محل اجرای طرح (بین تکرارها) انتخاب و دور آن مرزبندی شده و با حدود ۸۰ لیتر آب اشباع شده و بعد از ۲۴ ساعت که به ظرفیت زراعی می‌رسید با اوگر از عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر دو نمونه تر (۵۰ گرمی) برداشت می‌شد و بلافاصله در محل طرح وزن می‌گردیدند. همچنین دو نمونه خاک معمولی (۵۰ گرمی) برداشت و در محل طرح وزن شدند. تمامی نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت از آون بیرون آورده شده و و پس از سرد شدن به مدت پنج تا شش ساعت وزن خشک آنها اندازه‌گیری و ثبت شد. از تفاضل وزن تر و وزن خشک و تقسیم بر وزن تر اولیه، درصد رطوبت وزنی برآورد شده و در صورت رابطه (۱) قرار داده شد. سپس میزان آب خاک محاسبه شده و رطوبت کرت‌های آزمایشی از طریق آبیاری تکمیلی و با استفاده از لوله‌های سیفونی (با قطر پنج سانتی‌متر) به حـد ظرفیت مزرعه رسانده شده و میزان آب مصرفی با کنتور نصب شده در مزرعه اندازه‌گیری و ثبت شد.

مقدار آب مصرفی بر حسب متر مکعب از طریق رابطه (۱) به شرح زیر محاسبه شد (کترجی و همکاران، ۲۰۱۹):

$$I_g = (\theta_{fc} - \theta) \times \rho_b \times D \times A \times 100 / I_E \quad (1)$$

در این رابطه، I_g میزان آب آبیاری (متر مکعب)، θ_{fc} میزان رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی، θ میزان رطوبت خاک هنگام نمونه‌گیری (درصد وزنی)، ρ_b وزن

مخصوص ظاهری خاک (کیلوگرم بر متر مکعب)، D عمق توسعه ریشه (متر)، A مساحت کرت (متر مربع) و I_E راندمان آبیاری می‌باشد که برای روش آبیاری نشتی به‌طور متوسط ۶۵ درصد در نظر گرفته شد (تافته و سپاسخواه، ۲۰۱۲) که در این بررسی θ_{fc} میزان رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی (۲۴/۷ تا ۲۵/۱)، θ میزان رطوبت خاک هنگام نمونه‌گیری (درصد وزنی)، ρ_b وزن مخصوص ظاهری خاک معادل ۱/۴۵ کیلوگرم بر متر مکعب، D عمق توسعه ریشه در مرحله گلدهی و پرشدن دانه به‌ترتیب ۶۱ و ۸۳ سانتی‌متر، A مساحت کرت ۶۰ متر مربع و I_E راندمان آبیاری با توجه به روش آبیاری نشتی و گیاه کلزا ۶۵ درصد بود (جدول ۱).

بهره‌وری آب از نسبت عملکرد اقتصادی (دانه) به مقدار آب مصرفی (آب آبیاری و بارندگی) نیز براساس رابطه (۲) به شرح زیر محاسبه گردید (کترجی و همکاران، ۲۰۱۹):

$$WP = D / (W_{per} + W_i) \quad (2)$$

که در این رابطه:

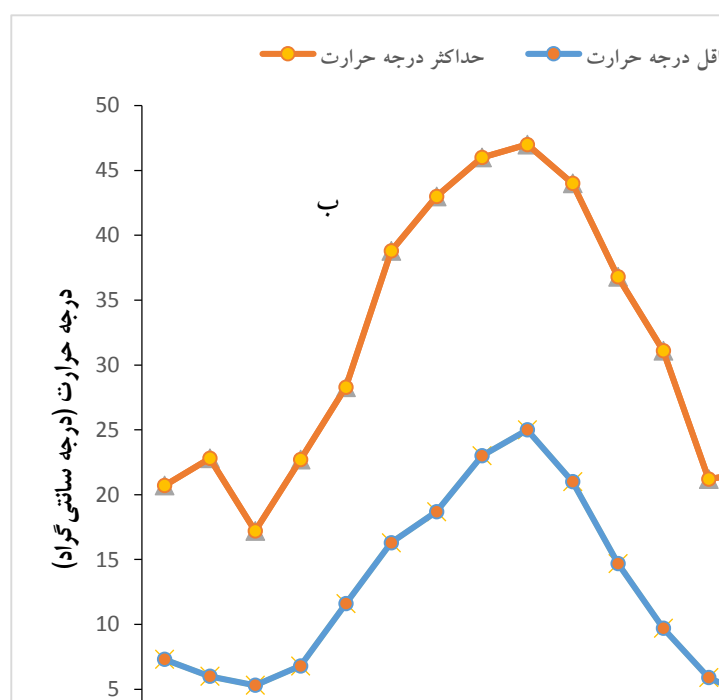
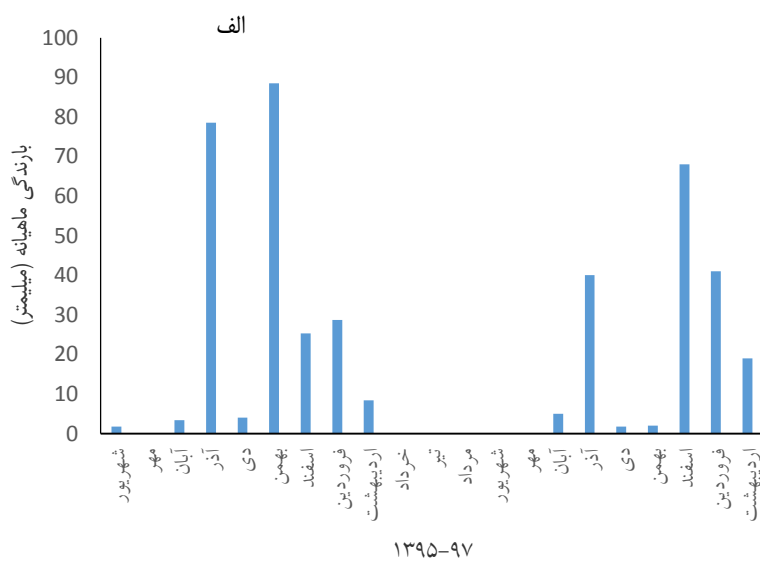
WP : بهره‌وری آب (کیلوگرم بر متر مکعب)

D : عملکرد اقتصادی (دانه) (کیلوگرم)

W_{per} : مقدار آب بارندگی (مترمکعب)

W_i : مقدار آب آبیاری (متر مکعب)

میزان آب وارده به خاک محل آزمایش از طریق بارندگی با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی گچساران محاسبه شد. مراحل آبیاری تکمیلی براساس روش توصیفی مراحل رشد کلزا، انجمن کلزای کانادا، در شروع گلدهی و هنگام پرشدن دانه انجام شد (انجمن کلزای کانادا، ۲۰۱۶).



شکل ۱- بارندگی ماهیانه (الف) و درجه حرارت (ب) محل آزمایش طی فصل رشد کلزا از آذر ۱۳۹۵ تا اردیبهشت ۱۳۹۷

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

سال	واکنش خاک	هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)	مواد آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	ظرفیت زراعی (درصد وزنی)	نقطه پژمردگی (درصد وزنی)	آب قابل استفاده	جرم مخصوص ظاهری (کیلوگرم بر متر مکعب)،	نسبت های بافت خاک (درصد)		
											سیلت	رس	شن
میلی گرم در کیلوگرم													
۹۶-۱۳۹۵	۷/۴	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۱۲	۱۵/۵	۳۳۱	۲۴/۷	۱۰/۳	۱۱/۵	۱/۴۵	۴۳	۴۱	۱۶
۹۷-۱۳۹۶	۷/۵	۰/۹۶	۰/۸۸	۰/۰۹	۱۴/۱	۳۱۲	۲۵/۱	۹/۸	۱۳/۲	۱/۴۵	۴۳	۴۱	۱۷

بافت خاک محل آزمایش، لومی - رسی

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی آب آبیاری محل اجرای آزمایش آب خاک ایران

[illegible]

عملیات برداشت و اندازه‌گیری صفات

صفات مورد اندازه‌گیری شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و درصد روغن بودند. برای تعیین تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی از هرکرت تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و صفات مورد نظر محاسبه شد. وزن هزار دانه به وسیله ترازوی دیجیتالی توزین گردید. دو روز بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی ردیف‌های یک و هشت به‌عنوان حاشیه حذف شد و بقیه ردیف‌ها پس از برداشت و خشک شدن در مزرعه کوبیده شده و با رطوبت معادل هشت درصد، عملکرد دانه تعیین گردید. جهت استخراج و اندازه‌گیری درصد روغن دانه از روش سوکسله و از رابطه زیر استفاده شد:

$$100 \times \frac{\text{وزن نمونه پس از استخراج روغن و خشک شدن} - \text{وزن نمونه اولیه بنر}}{\text{وزن نمونه اولیه بنر}} = \text{درصد روغن دانه}$$

(1)

تجزیه آماری داده‌های با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب، آزمون بارتلت و آزمون نرمال بودن داده‌ها جهت بررسی یکنواختی واریانس خطاها، برای تمام صفات مورد ارزیابی انجام شد. چون کای اسکور برای تمامی صفات در سطح

نتایج و بحث

تعداد شاخه فرعی، در یو ته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر تیمارهای مختلف آبیاری تکمیلی بر تعداد شاخه فرعی معنی دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴)، نشان داد آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی و مرحله گلدهی و پرشدن دانه باعث افزایش معنی دار تعداد شاخه فرعی نسبت به شرایط دیم گردید. تعداد شاخه فرعی در I_3 ، ۵۶ درصد بیش تر از I_0 بود. همچنین بین تیمارهای I_1 و I_2 از نظر تعداد شاخه فرعی تفاوت معنی داری مشاهده شد. به طوری که تعداد شاخه فرعی در I_1 ، در مقایسه با I_2 ، ۱۹ درصد افزایش داشت. افزایش تعداد شاخه فرعی با آبیاری تکمیلی شاید به علت افزایش تعداد جوانه های زایشی در گیاه کلزا باشد. کلزا گیاهی رشد نامحدود است، به همین دلیل تولید و رشد شاخه های فرعی می تواند در تمام طول دوره رشد آن تداوم داشته باشد. با توجه به هم زمانی

رشد ساقه کلزا با رشد شاخه‌های جانبی و توسعه غلاف‌ها
 بروز تنش آبی در شرایط بدون آبیاری تکمیلی (I_0)، نه
 تنها مواد ذخیره‌ای ساقه را کاهش داد بلکه از توسعه
 اندام‌های ذخیره‌ای و شاخه‌های جانبی که تولید کننده
 غلاف‌ها می‌باشند جلوگیری به عمل آورده و به‌طور
 غیرمستقیم از طریق کاهش مواد فتوسنتزی و کاهش
 شاخه‌های فرعی منجر به کاهش عملکرد گیاه گردید.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب اثرات سال، رقم و آبیاری تکمیلی برای برخی از صفات مورفوفیزیولوژیک کلزا

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد شاخه فرعی	تعداد غلاف	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم)	روغن دانه (درصد)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
سال	۱	۱/۰۹ ^{ns}	۲/۰۷ ^{ns}	۱/۵۵ ^{ns}	۱/۸۸ ^{ns}	۱/۲۱ ^{ns}	۲/۴۹ ^{ns}	۲/۱۶ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}
(تکرار × سال)	۳	۷/۶۳	۲۹/۰۴	۱۷/۰۸	۰/۹۲	۱۸/۵۷	۱۳/۳۸	۲۷/۸۱	۰/۰۷
آبیاری تکمیلی	۳	۵۱/۸*	۶۹/۳*	۲۰۹**	۲/۰۲ ^{ns}	۵۶/۵**	۶۸/۱**	۱۰۲/۷**	۹/۱*
آبیاری × سال	۳	۲/۰۸ ^{ns}	۳/۱۷ ^{ns}	۲/۳۳ ^{ns}	۱/۷۹ ^{ns}	۳/۲۶ ^{ns}	۲/۵۱ ^{ns}	۳/۱ ^{ns}	۱/۱ ^{ns}
رقم	۲	۱۹/۱*	۱۸/۳*	۲۴/۲*	۱۱/۴*	۴۱/۹**	۷۷/۵**	۶۶/۴**	۸/۴*
رقم × سال	۲	۲/۰۹ ^{ns}	۳/۰۷ ^{ns}	۱/۱۶ ^{ns}	۰/۹۴ ^{ns}	۱/۷۹ ^{ns}	۱/۴۳ ^{ns}	۲/۰۶ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}
رقم × آبیاری تکمیلی	۶	۱/۰۸ ^{ns}	۲/۱۳ ^{ns}	۱۶/۹*	۰/۸۶ ^{ns}	۷/۴۲*	۵۲/۶**	۳۹/۴*	۰/۰۰۲ ^{ns}
رقم × آبیاری × سال	۸	۱/۸۴ ^{ns}	۲/۶۶ ^{ns}	۱/۰۸ ^{ns}	۰/۷۸ ^{ns}	۲/۱۵ ^{ns}	۲/۴۷ ^{ns}	۱/۹۷ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}
خطا	۱۲	۱۰/۰۳	۳۳/۷	۱۱/۸۱	۶/۱۴	۲۳/۳۵	۱۴/۸۳	۳۶/۵	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات		۱۹/۳	۱۱/۴	۱۷/۷	۱۵/۵	۱۳/۶	۱۴/۸	۱۶/۲	۱۷/۱

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی و همچنین رقم، بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج تجزیه دو ساله نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ارقام هاپولا ۴۰۱، آر. جی. اس و شیرالی از نظر تعداد غلاف در بوته وجود داشت (جدول ۳ و ۴). با افزایش دفعات آبیاری تکمیلی میانگین تعداد غلاف در بوته افزایش یافت به‌طوری که میانگین تعداد غلاف در بوته از ۸۵ در شرایط دیم به ۱۱۶ با دو بار آبیاری تکمیلی رسید که معادل ۳۶ درصد افزایش داشت. در این بررسی تحت شرایط دیم، با کوتاه شدن طول دوره گلدهی، عدم باروری تعدادی از گل‌ها و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت انتقال به غلاف‌های تازه تشکیل شده و در حال رشد تعداد غلاف در بوته کلزا کاهش یافت. پیش از این سینکی و همکاران (۲۰۰۷) اظهار داشتند کمبود رطوبت

در مرحله گلدهی و غلاف‌دهی به‌علت ریزش شدید گل و غلاف منجر به کاهش تعداد غلاف در بوته کلزا گردید. به‌نظر می‌رسد تنش خشکی در مرحله زایشی اجزاء عملکرد گیاه را بیش‌تر از سایر مراحل تحت تأثیر شدید خود قرار می‌دهد. تعداد غلاف در بوته را می‌توان یکی از مهمترین اجزای تشکیل دهنده عملکرد به حساب آورد، زیرا غلاف‌ها حاوی دانه‌ها بوده و در مراحل اولیه پرشدن دانه از طریق انجام فتوسنتز در رشد و تکامل دانه‌ها مشارکت می‌کنند (سینکی و همکاران، ۲۰۰۷). در این تحقیق کاهش تعداد غلاف در گیاه در شرایط I_0 را شاید بتوان به افت فتوسنتز به‌دلیل کمبود رطوبت و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت ارائه به غلاف‌های تشکیل شده و در حال رشد گیاه و به تبع آن ریزش غلاف‌ها و نهایتاً عدم دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر تعداد غلاف در گیاه نسبت داد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر رژیم‌های آبیاری و رقم بر صفات مورفوفیزیولوژیک، عملکرد دانه، درصد روغن کلزا

تیمارها	تعداد شاخه فرعی در بوته	تعداد غلاف در بوته	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم)	روغن دانه (درصد)	آب مصرفی (متر مکعب) (کیلوگرم بر متر مکعب)	بهره‌وری آب
آبیاری									
بدون آبیاری تکمیلی (I ₀)	۳/۹ ^e	۸۵ ^d	۷۹/۲ ^d	۱۹/۷ ^c	۲/۵ ^c	۷۵۵ ^d	۳۵/۴ ^d	۳۵۹۵	۰/۲۱ ^d
آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (I ₁)	۵/۴ ^b	۱۱۴ ^a	۹۹/۱ ^b	۲۲/۳ ^a	۲/۶ ^c	۱۶۹۰ ^c	۳۷/۳ ^b	۴۰۳۳	۰/۴۲ ^b
آبیاری تکمیلی مرحله پر شدن دانه (I ₂)	۴/۱ ^e	۱۰۸ ^d	۸۲/۷ ^d	۲۰/۷ ^b	۳/۳ ^a	۱۵۹۵ ^c	۳۶/۸ ^c	۳۹۸۷	۰/۴۰ ^c
آبیاری مرحله گلدهی و پر شدن دانه (I ₃)	۶/۱ ^a	۱۱۶ ^a	۱۰۴/۵ ^a	۲۱/۵ ^b	۲/۹ ^b	۲۳۵۰ ^a	۳۹/۶ ^a	۴۴۳۴	۰/۵۳ ^{a*}
رقم									
هایولا ۴۰۱	۴/۹ ^b	۱۰۳ ^b	۹۲/۷ ^c	۲۲/۵ ^a	۳/۱ ^a	۱۸۸۵ ^b	۳۹/۴ ^a	۴۳۸۴	۰/۴۳ ^b
آر. جی. اس	۴/۷ ^b	۹۸ ^c	۹۳/۱ ^c	۲۰/۷ ^b	۲/۷ ^c	۱۷۴۰ ^b	۳۸/۲ ^b	۴۴۶۱	۰/۳۹ ^b
شیرالی	۴/۶ ^c	۹۳ ^c	۹۰/۵ ^d	۲۱/۲ ^b	۲/۸ ^c	۱۶۸۸ ^c	۳۷/۸ ^c	۴۴۴۲	۰/۳۸ ^c
LSD (1%)	۹/۶۷	۳/۸۱	۱۳/۶	۰/۳۹	۱۱/۲	۲۷/۸	۱۷/۶۶		۱۰/۹۳

در هر صفت و هر فاکتور آزمایشی میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشند
* اگرچه بهره‌وری آب کم می‌باشد؛ ولی نسبت به تیمار دیم (بدون آبیاری تکمیلی) و یک مرحله آبیاری تکمیلی، بالاتر بود

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهم‌کنش آبیاری تکمیلی و رقم بر ارتفاع بوته کلزا معنی‌دار شد (جدول ۳). در این آزمایش تیمارهای آبیاری تکمیلی، ارتفاع بوته ارقام کلزا را نسبت به شرایط دیم افزایش داد. به‌نظر می‌رسد افزایش تولید مواد فتوسنتزی ناشی از تأثیر آبیاری تکمیلی در طی مرحله گلدهی و پر شدن دانه و انتقال به بخش‌های هوایی و در حال رشد گیاه منجر به افزایش ارتفاع بوته گردیده است. از طرفی آبیاری تکمیلی باعث توسعه ریشه، جذب و انتقال آب و عناصر غذایی و گسترش سطح برگ به تبع آن افزایش جذب نور و فرآیند فتوسنتز، ارتفاع بوته افزایش یافت. پاولیستا و همکاران (۲۰۱۶) گزارش دادند آبیاری تکمیلی طول میانگرمه و در نتیجه ارتفاع گیاه را افزایش داد.

در این تحقیق تفاوت معنی‌داری بین ارتفاع بوته، در سطوح آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم مشاهده شد (جدول ۴ و ۵) که می‌تواند به دلیل رشد رویشی نامحدود کلزا و روند افزایش ارتفاع گیاه از مرحله

طویل شدن ساقه تا پایان مرحله پر شدن دانه و فراهمی رطوبت باشد؛ به عبارت دیگر چون کلزا گیاهی رشد نامحدود است، تنش آبی در مرحله I₀ و I₂ باعث توقف رشد رویشی و تسریع در رشد زایشی شده و در نتیجه ارتفاع کلزا متوقف شده است، در حالی‌که در شرایط آبیاری تکمیلی I₁ و I₃ در کنار رشد زایشی، رشد رویشی نیز ادامه یافته و ارتفاع گیاه افزایش یافته که این می‌تواند دلیل فیزیولوژیکی کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه در شرایط دیم باشد. ارتفاع بیش‌تر بیانگر تعداد برگ بیش‌تر و سطح فتوسنتز کننده بالاتر است که این عوامل باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی و رشد گیاه می‌شود (قدرتی و همکاران، ۲۰۱۲). کاهش ارتفاع گیاه کلزا به موازات افزایش شدت تنش آبی توسط سنگتراش و همکاران (۲۰۰۹) و سینکی و همکاران (۲۰۰۷)، گزارش شده است.

تعداد دانه در غلاف

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر آبیاری تکمیلی و رقم، بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد در تمام تیمارهای آبیاری تکمیلی تعداد دانه در غلاف رقم هایولا ۴۰۱ بیش‌تر از رقم شیرالی بود. در تیمارهای I_0 ، I_1 ، I_2 و I_3 ، تعداد دانه در غلاف رقم هایولا ۴۰۱ به ترتیب ۲۵، ۱۱، ۱۸/۲ و ۱۸/۳ درصد بیش‌تر از رقم شیرالی بود (جدول ۴). در تیمارهای آبیاری تکمیلی I_1 و I_3 تعداد دانه در غلاف، بیش‌تر از I_0 و I_2 بود (جدول ۴ و ۵). در شرایط بدون آبیاری و آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی میانگین تعداد دانه در غلاف، به ترتیب از ۲۱/۳ تا ۲۳/۱ متغیر بود. به‌طوری که میانگین تعداد دانه در غلاف، رقم هایولا ۴۰۱ نسبت به رقم شیرالی هشت درصد افزایش نشان داد (جدول ۵).

نتایج آزمایشات بیانگر آن است که تنش آبی باعث کاهش تعداد دانه در غلاف می‌شود. با تنش آبی میزان، تنفس غلاف‌ها به سرعت افزایش می‌یابد که سبب اتلاف بیش از حد مواد فتوسنتزی می‌شود بنابراین، مواد غذایی کافی به دانه‌ها نرسیده و درصد دانه در غلاف کاهش می‌یابد. محققان گزارش کردند که هر عاملی که تعداد دانه را افزایش دهد سبب بالا رفتن عملکرد دانه نیز می‌شود (دپین براک و همکاران، ۲۰۱۱). البته، افزایش تعداد دانه در غلاف دارای محدودیت است، زیرا که ظرفیت تولید این جزء از عملکرد بیش‌تر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است (رائو و مندهام، ۱۹۹۱). با توجه به نتایج این بررسی آبیاری تکمیلی کلزا با طولانی

کردن دوره گلدهی و عرضه بیش‌تر مواد فتوسنتزی تعداد غلاف‌ها و در نتیجه تعداد دانه در غلاف‌ها را افزایش داد.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهم‌کنش آبیاری تکمیلی و رقم، بر وزن هزار دانه معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد وزن هزار دانه، در شرایط بدون آبیاری و آبیاری تکمیلی در مرحله پرشدن دانه به ترتیب از ۲/۵ به ۳/۳ گرم و به میزان ۳۲ درصد افزایش یافت. رقم هایولا ۴۰۱ با میانگین ۳/۱ گرم بیش‌ترین و رقم آر. جی. اس با میانگین ۲/۷ گرم کم‌ترین وزن هزار دانه را داشتند (جدول ۴). افزایش وزن هزار دانه با اعمال یک بار آبیاری تکمیلی در مرحله پرشدن دانه و دو بار آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی و پرشدن دانه ناشی از فراهم بودن رطوبت برای جذب مواد معدنی از خاک و انتقال مواد فتوسنتزی بیش‌تر به به محل سنتز و ذخیره مواد فتوسنتزی در دانه می‌باشد.

نتایج این تحقیق با یافته‌های هانگ و گیلیند (۱۹۹۱) که بیان کردند کمبود رطوبت در مرحله رشد زایشی باعث کاهش جذب املاح از خاک و در نهایت کاهش فتوسنتز و شیره پرورد می‌شود و منجر به صدمه به تشکیل دانه در غلاف و کاهش وزن هزار دانه می‌گردد، مطابقت داشت و با یافته‌های دوگان (۲۰۱۹) که گزارش داد، افزایش مقادیر آب در آبیاری تکمیلی تأثیری بر وزن هزار دانه ندارد، مغایرت داشت. دلیل مغایر بودن با نتایج بدست آمده را می‌توان به متفاوت بودن مرحله آبیاری تکمیلی و گونه گیاهی نسبت داد.

جدول ۵- اثر متقابل آبیاری تکمیلی و ارقام بر برخی از صفات مورفوفیزیولوژیک، عملکرد دانه و درصد روغن کلزا

تیمارها	تعداد شاخه فرعی در بوته	تعداد غلاف در بوته	ارتفاع بوته (سانتی متر)	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم)	روغن دانه (درصد)
هایولا ۴۰۱							
بدون آبیاری تکمیلی (I ₀)	۳/۸ ^c	۹۱ ^c	۸۱/۶ ^{ed}	۲۲/۳ ^{ab}	۲/۴ ^{bc}	۸۷۳ ^d	۳۶/۵ ^c
آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (I ₁)	۵/۵ ^a	۱۲۲ ^a	۹۱/۷ ^b	۲۳/۶ ^a	۲/۳ ^c	۱۷۶۵ ^b	۳۹/۲ ^b
آبیاری تکمیلی مرحله پر شدن دانه (I ₂)	۴/۱ ^b	۱۱۴ ^b	۸۳/۵ ^d	۲۲/۸ ^{ab}	۳/۵ ^a	۱۶۷۰ ^b	۳۸/۴ ^b
آبیاری مرحله گلدهی و پر شدن دانه (I ₃)	۶/۲ ^a	۱۲۳ ^a	۱۰۲/۱ ^a	۲۴/۰ ^a	۳/۰ ^b	۲۴۴۵ ^a	۴۱/۱ ^a
آر. جی. اس							
بدون آبیاری تکمیلی (I ₀)	۳/۹ ^c	۸۹ ^c	۸۰/۹ ^{ed}	۲۱/۹ ^{ab}	۱/۸ ^{bc}	۸۵۹ ^d	۳۵/۱ ^c
آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (I ₁)	۵/۳ ^a	۱۲۰ ^a	۹۲/۱ ^b	۲۳/۶ ^a	۲/۱ ^c	۱۷۱۰ ^b	۳۸/۷ ^b
آبیاری تکمیلی مرحله پر شدن دانه (I ₂)	۴/۰ ^b	۱۰۹ ^b	۸۳/۲ ^d	۲۲/۸ ^{ab}	۳/۳ ^a	۱۶۵۵ ^b	۳۷/۸ ^b
آبیاری مرحله گلدهی و پر شدن دانه (I ₃)	۵/۹ ^a	۱۲۱ ^a	۱۰۵/۳ ^a	۲۳/۹ ^a	۲/۹ ^b	۲۳۲۰ ^a	۳۹/۶ ^a
شیرالی							
بدون آبیاری تکمیلی (I ₀)	۳/۷ ^c	۸۳ ^d	۷۶/۸ ^{ed}	۱۸/۸ ^c	۱/۹ ^c	۶۶۸ ^d	۳۴/۳ ^c
آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (I ₁)	۵/۱ ^a	۱۱۱ ^b	۹۴/۵ ^c	۲۲/۵ ^{ab}	۲/۵ ^{bc}	۱۶۴۵ ^b	۳۸/۵ ^b
آبیاری تکمیلی مرحله پر شدن دانه (I ₂)	۴/۲ ^b	۱۰۷ ^c	۸۱/۶ ^d	۲۰/۶ ^{bc}	۳/۲ ^a	۱۵۵۰ ^c	۳۷/۹ ^b
آبیاری مرحله گلدهی و پر شدن دانه (I ₃)	۵/۷ ^a	۱۱۴ ^b	۹۹/۷ ^b	۲۱/۷ ^{bc}	۲/۸ ^{bc}	۲۲۵۵ ^a	۳۸/۹ ^a

در هر صفت و هر فاکتور آزمایشی میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشد

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهم‌کنش آبیاری تکمیلی و رقم بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد عملکرد دانه رقم هایولا ۴۰۱ بیش از ارقام شیرالی و آر. جی. اس بود (جدول ۴). اگرچه در شرایط دیم عملکرد دانه همه ارقام مورد بررسی کاهش یافت (جدول ۵)، اما میزان کاهش عملکرد دانه در ارقام شیرالی و آر. جی. اس بیش‌تر از رقم هایولا ۴۰۱ بود که علت را می‌توان به توانایی سازگاری ژنتیکی و فیزیولوژیکی رقم هایولا ۴۰۱ ارتباط داد. در شرایط دو بار آبیاری تکمیلی عملکرد همه ارقام مورد بررسی افزایش یافت. در این پژوهش با هر بار آبیاری تکمیلی، عملکرد دانه افزایش یافت. میانگین عملکرد دانه از ۷۵۵ در شرایط دیم به ۲۳۵۰ کیلوگرم در هکتار با دو بار آبیاری تکمیلی رسید (جدول ۴). نتایج این بررسی با یافته‌های جورج و همکاران (۲۰۱۸) در کلزا و گاجیک و همکاران (۲۰۱۸) در سویا مطابقت داشت. آن‌ها گزارش دادند تیمارهای آبیاری به‌طور قابل توجهی روی عملکرد دانه تأثیر گذاشت. بعلاوه محتشمی و همکاران

(۲۰۲۰) گزارش دادند که افزایش عملکرد دانه ارقام کلزا در شرایط دیم می‌تواند ناشی از سطوح آبیاری تکمیلی و اثرات آن روی اجزای رویشی و زایشی عملکرد توصیف شود. همچنین بیان داشتند، هرچه کلزا گیاهی مقاوم به خشکی تلقی می‌شود، اما نتایج نشان داد، آبیاری در مراحل سریع رشد گیاه تأثیر معنی‌داری بر اجزای عملکرد و عملکرد داشت. همچنین گولتاز و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش کردند، اگرچه بیش‌ترین عملکرد دانه کلزا از آبیاری کامل به‌دست آمد؛ اما بیش‌ترین میزان عملکرد اقتصادی و موثر از آبیاری در مرحله گلدهی حاصل شد.

در این آزمایش افزایش عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی با اجزای عملکرد ارتباط داشت. با توجه به تفاوت معنی‌دار اجزای عملکرد دانه در تیمارهای یک بار و دو بار آبیاری تکمیلی، اعمال یک بار آبیاری تکمیلی در مرحله خاصی از رشد کلزا، قادر به ذخیره حداکثر مواد فتوسنتزی در دانه نگردید. لذا افزایش عملکرد دانه کلزا از طریق افزایش اجزای عملکرد با اعمال دو بار آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه امکان‌پذیر شد.

بهره‌وری آب

با اعمال آبیاری تکمیلی به میزان ۱۰۵ میلی‌متر (مازاد بر میزان بارندگی سالیانه) بهره‌وری آب از ۰/۲۱ در شرایط دیم به ۰/۵۳ کیلوگرم بر متر مکعب در مرحله مرحله گلدهی و پرشدن دانه رسید (جدول ۴). هر چند بهره‌وری آب با آبیاری تکمیلی در دو مرحله مرحله گلدهی و پرشدن دانه بیش‌تر از دیگر سطوح آبیاری بود. بهره‌وری آب رقم هایولا بیش‌تر از ارقام آر. جی. اس و شیرالی بود (جدول ۴). با افزایش آبیاری تکمیلی عملکرد و صفات مرفوفیزیولوژیک به‌طور خطی افزایش یافت. رقم هایولا هم تحت شرایط بدون آبیاری و هم تحت شرایط آبیاری تکمیلی عملکرد و اجزای عملکرد دانه بالاتری نسبت به دو رقم دیگر داشت (جدول ۴)، که حاکی از تحمل به تنش خشکی و همچنین پتانسیل عملکرد بالاتر این رقم در شرایط آبیاری تکمیلی می‌باشد. در این بررسی، با اعمال آبیاری تکمیلی بهره‌وری آب نسبت به شرایط دیم افزایش داشت، به‌طوری‌که بالاترین بهره‌وری آب (۰/۵۳ کیلوگرم در متر مکعب) از تیمار I₃ و کم‌ترین آن (۰/۲۱ کیلوگرم در متر مکعب) از تیمار I₀ به‌دست آمد که با نتایج ژها و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت و با یافته‌های هائو و همکاران (۲۰۱۵) مغایرت دارد. بهره‌وری آب در I₃ بیش از رژیم‌های I₁ و I₂ و دیم کامل بود (جدول ۴). این نتایج با یافته‌های ژانگو همکاران (۲۰۱۹) که بیان کردند آبیاری تکمیلی در مرحله ساقه‌دهی و گلدهی کامل بهره‌وری آب را افزایش داد، مطابقت دارد. در این بررسی طی دو سال فصل رشد کلزا، شرایط آب و هوایی اختلاف کمی وجود داشت؛ که باعث اختلاف بین برخی صفات مورد بررسی در دو سال آزمایش شد. در سال اول پراکنش باران در اوایل فصل و در سال دوم در اواخر فصل رشد کلزا بهتر بود. در سال اول آزمایش، متوسط حداقل درجه حرارت ماهیانه بیش از سال دوم بود، ولی متوسط حداکثر دمای ماهیانه کم‌تر از سال دوم آزمایش بود. در سال دوم آزمایش از ماه آذر تا

علت عملکرد بیش‌تر دانه در تیمار دو بار آبیاری تکمیلی وجود آب کافی در دسترس گیاه می‌باشد که باعث افزایش اجزای عملکرد شده و در نتیجه عملکرد دانه افزایش یافته است. عملکرد دانه کلزا تابعی از اجزای عملکرد است، پس هر عاملی که باعث افزایش این صفات شود به‌طور غیرمستقیم عملکرد دانه را نیز افزایش خواهد داد (دپین براک و همکاران، ۲۰۱۱).

درصد روغن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهم‌کنش رقم و آبیاری تکمیلی بر درصد روغن دانه معنی‌دار شد (جدول ۳). بالاترین درصد روغن دانه برای رقم هایولا ۴۰۱ و از تیمار دو بار آبیاری تکمیلی به‌دست آمد (جدول ۴). نتایج برهم‌کنش رقم و آبیاری تکمیلی نشان داد برای همه ارقام کلزا، درصد روغن دانه با یک بار آبیاری تکمیلی در هر یک از مراحل گلدهی و یا پرشدن دانه بیش‌تر از تیمار دیم بود (جدول ۵). آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی و پرشدن دانه احتمالاً با افزایش ظرفیت دانه در جذب مواد پرورده و تبدیل آن‌ها به روغن، تأثیر مثبتی بر محتوی روغن دانه گذاشت. در این بررسی اگرچه در تیمارهای تنش با کاهش دفعات آبیاری تکمیلی روند کاهشی در درصد روغن رخ داد، ولی درصد روغن دانه با یک بار آبیاری تکمیلی در هر یک از مراحل گلدهی و یا پرشدن دانه، بیش‌تر از تیمار دیم بود. این نتایج با یافته‌های پاولیستا و همکاران (۲۰۱۶) که اظهار داشتند بیش‌ترین مقدار روغن دانه از آبیاری کامل با ۴۳۰ میلی‌متر آب به‌دست آمد و مقدار روغن در آبیاری متوسط بیش‌تر از بدون آبیاری (بارندگی) بود، مطابقت داشت. نتایج بررسی راثو و مندهام (۱۹۹۱) نیز نشان داد که آبیاری تکمیلی در طی فصل رشد کلزا، موجب افزایش مقدار روغن از ۴۷/۴ درصد به ۵۱ درصد گردید.

اردیبهشت، میانگین حداقل و حداکثر دمای ماهیانه بیش‌تر از سال اول بود (شکل ۱).
در این آزمایش در هر یک از سال‌های آزمایش ۴۴۱ میلی‌متر آب (مجموع بارندگی و آبیاری تکمیلی) مصرف گردید؛ که در سال اول میزان ۳۳۶ میلی‌متر از طریق بارندگی و ۱۰۵ میلی‌متر از طریق آبیاری تکمیلی و در سال دوم مقدار ۳۷۱ میلی‌متر از طریق بارندگی و ۷۰ میلی‌متر از طریق آبیاری تکمیلی تأمین شد. میزان بارندگی در هریک از سال‌های آزمایش کم‌تر از میانگین بلند مدت بارندگی بود (جدول ۶).

جدول ۶- میزان بارندگی مقدار و مرحله آبیاری تکمیلی تیمارهای مختلف در طول دوره رشد کلزا (۹۷-۱۳۹۶)

تیمار / نوبت آبیاری	میزان بارندگی و آبیاری تکمیلی سال اول (میلی‌متر)	میزان بارندگی و آبیاری تکمیلی سال دوم (میلی‌متر)
بدون آبیاری تکمیلی (I ₀)	۳۳۶++ بارندگی	۳۷۱++ بارندگی
آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (I ₁)	۵۵	۳۷
آبیاری تکمیلی مرحله پرشدن دانه (I ₂)	۵۰	۳۳
آبیاری مرحله گلدهی و پرشدن دانه (I ₃)	۱۰۵	۷۰
جمع تیمارها	۴۴۱	۴۴۱

نتیجه‌گیری

نتایج تجزیه نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ارقام هایولا ۴۰۱، آر. جی. اس و شیرالی از نظر تعداد غلاف در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و وجود دارد. واکنش هر دو رقم به آبیاری تکمیلی دارای روند افزایشی بود. به‌طور کلی با افزایش آبیاری تکمیلی عملکرد و اجزای عملکرد دانه در همه مراحل نسبت به شرایط دیم افزایش یافت. رقم هایولا ۴۰۱ تحت شرایط بدون آبیاری و شرایط آبیاری تکمیلی دارای عملکرد، اجزای عملکرد دانه و درصد روغن بالاتری نسبت به ارقام آر. جی. اس و شیرالی که حاکی از تحمل به تنش آبی و پتانسیل عملکرد بالاتر این رقم در شرایط آبیاری تکمیلی می‌باشد. گزینش براساس صفات مرفوفیزیولوژیک می‌تواند شاخص مناسبی برای مطالعات تأثیر آبیاری تکمیلی تحت شرایط دیم در

کلزا باشد. با توجه به نتایج این پژوهش، در منطقه گرم و خشک گچساران و مناطق مشابه در ایران، تنش رطوبتی در انتهای فصل رشد به‌ویژه طی دوره گلدهی و پرشدن دانه، باعث کاهش عملکرد کلزا گردید. در چنین شرایطی می‌توان پیشنهاد نمود در صورت کاهش بارش در دو مرحله گلدهی و پرشدن دانه نسبت به تشامین آب مورد نیاز کلزا از طریق آبیاری تکمیلی اقدام شود. بر اساس نقشه پهنه‌بندی اقلیم استان با زمستان خنک و تابستان خیلی گرم به روش یونسکو (ACZ) دوره فنولوژی چهارگانه فائو در ارقام کلزای مورد بررسی شامل، کاشت از ۲۰ آبان تا ۱۵ آذر، سبزی‌نگی ۱۰ آبان تا ۲۲ آذر، گلدهی ۲۵ اسفند تا ۲۵ فروردین، رسیدگی ۱۵ تا ۲۵ اردیبهشت و برداشت از ۲۵ تا ۳۰ اردیبهشت می‌باشد.

فهرست منابع

1. Ali, S., Ma, X., Jia, Q., Ahmad, I., Ahmad, S., Sha, Z., and Jia, Z., 2019. Supplemental irrigation strategy for improving grain filling, economic return, and production in winter wheat under the ridge and furrow rainwater harvesting system. *Agricultural Water Management*. 226: 842-852.
2. Barnabás, B., Jäger, K., and Fehér, A., 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell and Environment*. 31(1): 11-38.
3. Canola Council of Canada. 2016. Growth stages of the canola plant. Available in: <http://www.canola council.org/crop production/canola grower's>.

4. Diepenbrock, W., 2011. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. *Field Crops Research*. 67(1): 35-49.
5. 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): 1403-1408.
6. Dogan, E., 2019. Effect of supplemental irrigation on vetch yield components. *Agricultural Water Management*. 213: 978-982.
7. Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq A., Zohaib A., and Huang, J., 2017. Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in plant science*. 8: 1-16.
8. Faostat, F. A., O. 2021. Statistical Databases. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/>.
9. Gajić, B., Kresović, B., Tapanarova, A., Životić, L., and Todorović, M., 2018. Effect of irrigation regime on yield, harvest index and water productivity of soybean grown under different precipitation conditions in a temperate environment. *Agricultural water management*. 210: 224-231.
10. Gee, G.W., and Bauder, J.W., 1986. Particle Size Analysis.p. 383-411. in: Klute A. (Ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 1 .2nd ed. Agron.Monogr, 9.ASA, SSSA, Madison, WI.
11. 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: 15-23.
12. Ghodrati, G. R., 2012. Response of grain yield and yield components of promising genotypes of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) under non-stress and moisture-stressed conditions. *Crop Breeding Journal*. 2: 49-56.
13. Gültaş, H. T., and Ahi, Y., 2020. Supplemental irrigation impact on yield and yield quality parameters of rapeseed. *Agronomy Journal*. 112(5): 4207-4218.
14. Gu, X. B., Li, Y. N., Du, Y. D., and Yin, M. H., 2017. Ridge-furrow rainwater harvesting with supplemental irrigation to improve seed yield and water use efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of integrative agriculture*. 16(5): 1162-1172.
15. Hang, A. N., and Gilliard, G. C., 1991. Water requirement for winter rapeseed in central Washington. In McGregor, DI proceedings of the eighth international rapeseed congress, saskatoon, Canada. Organizing committee. Saskatoon. (pp. 1235-1240).
16. Hao, B., Xue, Q., Marek, T. H., Jessup, K. E., Hou, X., Xu, W., and Bean, B. W., 2015. Soil water extraction, water use, and grain yield by drought-tolerant maize on the Texas High Plains. *Agricultural Water Management*, 155, 11-21.
17. Hergert, G. W., Margheim, J. F., Pavlista, A. D., Martin, D. L., Isbell T. A., and Supalla, R. J., 2016. Irrigation response and water productivity of deficit to fully irrigated spring camelina. *Agricultural Water Management*. 177: 46-53.
18. Jha, P. K., Kumar, S. N., and Ines, A. V., 2018. Responses of soybean to water stress and supplemental irrigation in upper Indo-Gangetic plain: Field experiment and modeling approach. *Field crops research*. 219: 76-86.
19. Katerji, N., Mastroianni, M., and Rana, G., 2008. Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: Review and analysis. *European Journal of Agronomy*. 28(4), 493-507.
20. 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: 106232.
21. Klute, A., 1986. Water retention: Laboratory methods in: Klute A. (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. Agronomy Monograph 9 ASA/SSSA Madison. WI. pp. 635-662.
22. Li, F., Chen, B., Xu, K., Gao, G., Yan, G., Qiao, J., and Wu, X., 2016. A genome-wide association study of plant height and primary branch number in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Plant Science*. 242: 169-177.

23. Mendham, N. J., and Salisbury, P. A., 1995. Physiology, crop development, growth and yield. In: Kimber, D.S. and D.I. McGregor. (Ed.). Brassica Oilseeds: Production and utilization. CAB International. London. pp: 11-64.
24. Mohtashami, F., Tadayon, M. R., and Roshandel, P. 2018. Evaluation of the effect of deficit irrigation regimes on grain yield and yield components of safflower genotypes. Journal of Agricultural Crops Production. 20(2): 547-561.
25. Mohtashami, R., Movhedi Dehnavi, M., Balouchi, H., and Faraji, H., 2020. Improving yield, oil content and water productivity of dryland canola by supplementary irrigation and selenium spraying. Agricultural Water Management. 232: 106046.
26. Oweis, T., and Hachum, A., 2006. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa. Agricultural Water Management. 80(1): 57-73.
27. Pavlista, A. D., Hergert, G. W., Margheim, J. M., and Isbell, T. A., 2016. Growth of spring canola (*Brassica napus* L.) under deficit irrigation in Western Nebraska. Industrial Crops and Products. 83: 635-640.
28. Rao, M. S. S., and Mendham, N. J., 1991. Soil-plant-water relations of oilseed rape (*Brassica napus* and *B. campestris*). The Journal of Agricultural Science, 117(2): 197-205.
29. Sangtarash, M.H., Qaderi, C.C., Chinnappa, and Reid, D.M., 2009. Differential sensitivity of canola (*Brassica napus* L.) seedlings to ultraviolet- B radiation, water stress and abscisic acid. Environmental and Experimental Botany. 66: 212-219
30. Sinaki, J.M., Majidi, Heravan, E., Shirani Rad, A.H., Noormohamadi, G., and Zarei, G., 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). American Eurasian. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences. 2(4): 417-422.
31. Tafteh, A., and Sepaskhah, A. R., 2012. Application of HYDRUS-1D model for simulating water and nitrate leaching from continuous and alternate furrow irrigated rapeseed and maize fields. Agricultural Water Management. 113: 19-29.
32. Tavakoli, A., and Abdolrahmani, B., 2015. Effect single irrigation on y and agronomic characters of spring rapeseed at rainfed condition. Agronomy Journal. 104: 64-72.
33. 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: 174.
34. Yoder, R.E., 1936. A direct method of aggregate analysis and a study of a physical nature of erosion losses. Journal American Society of Agronomy. 28: 337-351.
35. Zaree, S., Rezaeizad A., and Niazifard, A., 2015. Effect of terminal drought stress on yield and yield components of some oilseed rape genotypes. 30(3): 297-311.
36. Zhang, H., Han K., Gu S., and Wang, D., 2019. Effects of supplemental irrigation on the accumulation, distribution and transportation of ¹³C-photosynthate, yield and water use efficiency of winter wheat. Agricultural Water Management. 214: 1-8.

ارزش گذاری اقتصادی آب در بخش کشاورزی استان همدان

علی محمد جعفری*، علی قدمی فیروزآبادی، موسی سلگی، قاسم زارعی و کاروان شانازی

استادیار پژوهش بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران. a-jafari@areeo.ac.ir

دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، همدان، ایران. a-ghadami@areeo.ac.ir

مربی پژوهشی بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران. m-solgi@areeo.ac.ir

دانشیار پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. g.zarei@areeo.ac.ir

دانشجوی دکتری توسعه کشاورزی، گروه ترویج و آموزش کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران. Karo_4pk@yahoo.com

دریافت: شهریور ۱۴۰۲ و پذیرش: دی ۱۴۰۲

چکیده

کمبود آب بزرگ‌ترین مشکل اساسی استان همدان محسوب می‌شود. در این میان بخش کشاورزی به دلیل سهم بالا در مصارف آب بیش از سایر بخش‌های اقتصادی در معرض آسیب قرار دارد. به کارگیری سیاست‌ها و ابزارهای مناسب در راستای ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب مورد توجه سیاست‌مداران است. این پژوهش با هدف تعیین ارزش اقتصادی آب در بخش کشاورزی استان و پتانسیل درآمدزایی این منبع در تولید محصولات کشاورزی آبی به اجرا درآمد. محصولات منتخب برای مطالعه شامل گندم، جو، یونجه، سیب‌زمینی، چغندرقند، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، هندوانه، سیر، خیار و گوجه‌فرنگی، انگور و گردو بودند. اطلاعات مورد نیاز از طریق پرسشنامه و مصاحبه با کشاورزان برای سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ تهیه و برای برآورد ارزش اقتصادی آب از روش تخمین تابع تولید، فرم کاب داگلاس استفاده شد. نتایج نشان داد که ارزش اقتصادی آب در محصولات مختلف بسیار بیشتر از هزینه‌های تأمین و عرضه آن است. ارزش اقتصادی آب برای محصولات مذکور به ترتیب برابر ۲۰۴۳، ۳۷۷۵، ۶۰۲۳، ۳۵۰۶، ۲۱۳۶، ۱۹۵۶، ۱۷۷۸، ۴۹۰۲، ۳۶۷۵۰، ۱۶۳۳۷ و ۴۹۲۹ و ۱۵۸۴۰ و ۲۰۰۶۴ ریال و به‌طور میانگین ۹۲۳۲ ریال بر مترمکعب آب برآورد گردید. این عددها در مقایسه با هزینه استحصال آب از منابع زیرزمینی که گران‌ترین منبع و برابر ۴۹۶ ریال بر مترمکعب است نشان می‌دهد که شکاف زیادی بین آن‌ها است و این امکان وجود دارد تا با دریافت آب‌بها به میزان شکاف موجود بین عددهای پیشگفته، انگیزه‌ها را به سمت تخصیص کاراتر آب در این بخش اقتصادی هدایت کرد.

واژه‌های کلیدی: ارزش تولید نهایی، تابع تولید، روش کاب داگلاس

مقدمه

مدیریت آب در مزرعه به معنای ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آن، از ارزش و جایگاه خاصی برخوردار است. یکی از روش‌های مدیریتی که در واقع ارزش کمیابی آب را مشخص می‌سازد و ماهیتی غیر سازه‌ای دارد، ایجاد تصویری از قیمت واقعی آب در هر دو بخش عرضه و تقاضا است. تعیین قیمت واقعی آب به تخصیص بهینه آب در بین محصولات مختلف و نیز به مصرف منطقی و مناسب آن که در نهایت افزایش راندمان کاربرد و بهره‌وری آب را باعث می‌گردد، کمک شایانی خواهد نمود. ادامه روند تعیین غیرواقعی و غیراقتصادی قیمت آب، مصرف و تلفات بی‌رویه را تشدید خواهد کرد. به عبارتی تعیین قیمت واقعی آب، به برداشت در حد ظرفیت مجاز آبخوان‌های زیرزمینی و سطحی منجر خواهد شد. می‌توان گفت، تعیین ارزش واقعی آب در واقع ابزاری است که احساس کمبود آب را از بلندمدت به کوتاه‌مدت تبدیل خواهد کرد. چرا که مدیریت مؤثر آب در مزرعه توسط زارعین، تحت تأثیر میزان دسترسی به آب، ارزش آب و همچنین ارزش تولید آن است (دشتی و همکاران، ۱۳۸۹). کمیابی نسبی منابع تولید معمولاً در قیمت بازاری آن‌ها منعکس می‌گردد و هر چقدر که کمیابی آن منبع کمتر باشد قیمت آن هم در بازار بیشتر است. این امر در صورتی محقق می‌شود که آن منبع در بازار قابل مبادله باشد؛ اما این موضوع در خصوص منابع آب مصداق ندارد و در عمل بازار آب در ایران وجود ندارد یا به صورت ضعیف و ناقص عمل می‌کند. این نقصان ریشه در عوامل متعددی دارد که بیشتر ساختاری و سیاسی است. تحت این شرایط این ماده حیاتی به صورت رایگان یا بسیار ارزان در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌گیرد و انگیزه‌ها برای استفاده کاراً از آن کاهش می‌یابد. بهای ارزان به معنی فراوانی نسبی آن کالا یا منبع تولید بوده و موجب افراط در مصرف آن می‌شود، درحالی‌که بحران و کمبود شدید آب در کشور وجود دارد.

ارزش‌گذاری اقتصادی آب ارزش واقعی آن را منعکس می‌کند و قیمت‌گذاری آب بر اساس اصول

اقتصادی می‌تواند به حفاظت منابع آب و بهره‌برداری کارتر از این منابع منجر شود. چیدری و همکاران (۱۳۸۴) آثار متفاوت قیمت‌گذاری منابع آبی را چون کاهش تقاضا، افزایش عرضه، تخصیص بهینه، بهبود کارایی مدیریت منابع آب و چندی دیگر منافع قیمت‌گذاری آب را بر شمرده‌اند. به‌طورکلی قیمت‌گذاری منابع آب و آبیاری دارای منافع اقتصادی متعددی است، به‌طوری‌که فعالیت‌های اقتصادی آن می‌توانند تأثیرپذیرند. وابستگی چرخه فعالیت‌های اقتصادی استان به آب باعث شده تا بدون مصرف آن رشد و رونق اقتصادی ناممکن باشد. بر اساس آمار منتشر شده آب منطقه‌ای همدان، تقریباً به‌طور سالیانه در بخش‌های مختلف اقتصادی حدود ۲۳۱۲ میلیون مترمکعب آب مصرف می‌گردد که از این میزان، حدود ۲۰۷۳ میلیون مترمکعب در بخش کشاورزی و الباقی آن به سایر بخش‌ها اختصاص دارد. به عبارتی حدود ۸۹/۷ درصد از منابع آب تجدیدپذیر در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (بی‌نام، ۱۳۹۶). بخش کشاورزی از بخش‌های مهم اقتصادی استان است که بیش از ۲۹ درصد ارزش افزوده اقتصادی و حدود ۲۷ درصد از اشتغال استان را به خود اختصاص داده است (سالنامه آماری استان همدان، ۱۳۹۵). در حال حاضر سفره‌های زیرزمینی آن سالانه ۲۲۴ میلیون مترمکعب کسری دارد و متوسط بلندمدت افت سطح ایستابی دشت‌های مختلف از ۰/۷ تا ۱/۵۷ متر در سال متغیر است (ستوده، ۱۳۹۳). یارانه‌های تولید در بخش کشاورزی بخصوص یارانه انرژی سبب شده تا استحصال آب در مقایسه با بازده نهایی آن ارزان باشد و برداشت بی‌رویه از این منابع صورت گیرد. این عامل سبب می‌شود که این منبع با ارزش به محصولاتی تخصیص یابد که ارزش اقتصادی ناچیزی داشته باشند و در عمل ارزش افزوده اقتصادی پایینی عاید استان و کشور گردد. ازاین‌رو برآورد ارزش اقتصادی آب آبیاری در محصولات زراعی و باغی می‌تواند الگوی تخصیصی مناسبی را برای منابع آبی فراهم آورد. مطالعه و برآورد ارزش اقتصادی آب برای محصولات مختلف یک منطقه در یک مقطع زمانی مشخص و با استفاده از روش یکسان و

یکنواخت باعث می‌شود مقایسه محصولات و تخصیص آب واقعی و صحیح‌تر باشد. اغلب مطالعات انجام‌شده به‌طور تک‌محصولی بوده و در مناطق مختلف و زمان‌های مختلف انجام شده است.

مطالعه زمانی و همکاران (۲۰۲۱) در دشت همدان-بهار نشان داد که یک سیاست قیمت‌گذاری مناسب آب می‌تواند بهره‌وری آب را بهبود بخشد و همچنین آب مصرفی را کاهش دهد. از این‌رو مطالعات ارزش‌گذاری اقتصادی آب آبیاری دارای اهمیت زیادی است؛ که در این بخش به‌مرور این مطالعات اشاره می‌گردد. ژیلکوفسکا (۲۰۱۸) سوددهی زراعت آبی و همچنین ارزش اقتصادی آب را برای ذرت، پنبه و سویا، در ایالت‌های اوکلاهاما و تگزاس آمریکا محاسبه نمود. وی ارزش اقتصادی آب را برای این سه محصول در ایالت اوکلاهاما به ترتیب ۰/۱۳، ۰/۰۶ و ۰/۰۱ دلار بر مترمکعب و در تگزاس هم برای دو محصول ذرت و سویا به ترتیب ۰/۰۸ و ۰/۱۲ دلار بر مترمکعب محاسبه نمود و نتیجه‌گیری نمود که ارزش اقتصادی آب تابعی از نوع محصول و ناحیه جغرافیایی است. شن و لین (۲۰۱۷) قیمت سایه‌ای و کشش تقاضای آب آبیاری را در چین برآورد نمودند و به این نتیجه رسیدند که علی‌رغم بالا بودن قیمت سایه‌ای آب، کشش قیمتی تقاضای آن پایین بود. لذا قیمت‌گذاری آب اثر کمی بر تقاضا دارد و برای صرفه‌جویی در مصرف آب نیاز است که فناوری‌های نوین آبیاری گسترش یابد و قیمت‌گذاری آب بر مبنای ارزش اقتصادی آب نقش کاتالیزور را دارد. موچارا و همکاران (۲۰۱۶)، ارزش اقتصادی آب را با استفاده از داده‌های اولیه و ثانویه برای محصول سیب‌زمینی در استان کووا زولو-ناتال^۱ در آفریقای جنوبی برآورد نمودند. بدین منظور از روش ارزش باقیمانده استفاده کردند، آنان ارزش اقتصادی آب را بدین روش بین ۱/۱۳ تا ۱/۶۷ دلار بر مترمکعب برای این محصول برآورد نمودند. آیدام (۲۰۱۵) با بررسی وضعیت بهره‌وری پایین آب آبیاری در بخش کشاورزی کشور غنا به این نتیجه می‌رسد که قیمت پایین

آب یکی از عوامل اصلی پایین بودن راندمان و بهره‌وری آب آبیاری بوده و برای افزایش بهره‌وری و کاهش تقاضای آن نیاز به افزایش شدید قیمت است، با این‌حال وی نتیجه‌گیری می‌کند که ارزش‌گذاری و اخذ آب‌بها به این شکل دارای تبعات از منظر عدالت اجتماعی بوده، اجرایی کردن چنین سیاستی غیرممکن است و نیاز به سیاست‌های تکمیلی مانند گسترش فناوری‌های آب اندوز به موازات واقعی‌سازی قیمت آب است. ژیلکوفسکا (۲۰۱۵) قیمت سایه‌ای آب را در منطقه‌های پلین (HP) آمریکا که در برگیرنده ایالت‌های تگزاس، کانزاس و نبراسکا است برای پنج محصول غالب منطقه شامل ذرت، پنبه، سورگوم، سویا و گندم تعیین نمود. بیشترین قیمت سایه‌ای آب متعلق به گندم برابر ۰/۷ دلار بر مترمکعب و کمترین هم مربوط به ذرت برابر ۰/۰۷ دلار بر مترمکعب بدست آمد. کیپرپ و همکاران (۲۰۱۵) ارزش اقتصادی آب را برای چند محصول زراعی و باغی در حوزه آبخیز کیروولی^۲ کشور کنیا با استفاده از روش ارزش باقیمانده برآورد نمودند. ارزش اقتصادی آب برای محصولات لوبیا سبز، ذرت، ارزن، سورگوم، کاساوا، نخود علوفه‌ای، موز، انبه و لیموترش به ترتیب برابر ۰/۲۰۴، ۰/۱۴۶، ۰/۰۴۲، ۰/۱۱۱، ۰/۰۱۲، ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۴ دلار بر مترمکعب برآورد نمودند. بربل و همکاران (۲۰۱۱) ارزش اقتصادی آب را با استفاده از تکنیک ارزش باقیمانده در سطح حوزه آبخیز رودخانه گوآدالویر^۳ واقع در جنوب اسپانیا، برای محصولات زراعی آبی برآورد نمودند. آنان ارزش اقتصادی آب را ۰/۳۱ یورو بر مترمکعب محاسبه کردند. مطالعات داخلی متعددی نیز در خصوص ارزش‌گذاری اقتصادی آب آبیاری و آثار آن انجام شده است.

اسماعیلی موخر فردویی و همکاران (۱۳۹۷) ارزش اقتصادی آب برای محصولات یونجه، گندم و ذرت علوفه‌ای را در شهرستان‌های مختلف استان مرکزی، تعیین نمودند. زارعی و مهرابی بشرآبادی (۱۳۹۵) در دشت دهگلان و قادرزاده و جزایری (۱۳۹۷) در دشت بیجار

³ -Guadalquivir

¹ -KwaZulu-Natal

² -Kerio Valley

علویان حدود ۲۷ درصد از ارزش کل محصول در واحد هکتار مربوط به نهاده آب است، از نظر آنان چنین رقمی هرچند بیانگر سهم آب در تولید گندم بوده و بیانگر ارزش اقتصادی آب است، اما نظر به معیارهای اجتماعی توصیه و عملیاتی شدن آن با مشکلاتی مواجه خواهد بود.

مطالعات گذشته اغلب به صورت تک محصول و در مناطق و زمان‌های مختلف انجام گرفته‌اند و این امر مقایسه هم‌زمان محصولات و تعیین الگوی تخصیص بهینه را غیرممکن می‌سازد. ویژگی مهم آن‌ها این است که اثبات نموده‌اند فی‌مابین هزینه تمام شده و ارزش واقعی آب آبیاری شکاف عمیقی وجود دارد. این مطالعه این ویژگی را دارد که به‌طور هم‌زمان و در محدوده استان همدان، تعداد ۱۳ محصول زراعی و باغی موجود در آن را با استفاده از تحلیل تابع تولید مورد بررسی قرار داده است. این محصولات قریب به ۹۵ درصد سطح زیر کشت استان را به خود اختصاص داده‌اند. این موضوع باعث می‌شود تا بتوان با باز تخصیص آب بین محصولات مختلف منافع حاصل از آب آبیاری را افزایش داد. علاوه بر آن این مطالعه به موانع ساختاری موجود در عدم استفاده از ابزار قیمت‌گذاری آب در بر مبنای ارزش واقعی آن اشاره خواهد شد. در ادامه و در مبحث روش تحقیق، ضمن بیان نظریه تحقیق، الگوی مورد استفاده، نوع داده‌ها و روش جمع‌آوری داده‌ها و نحوه انجام محاسبات توضیح داده می‌شود. سپس در بخش یافته‌های تحقیق نتایج تخمین‌های توابع تولید نمایش داده خواهد شد. در انتها ضمن تحلیل یافته‌ها و با توجه به آن‌ها پیشنهادهایی ارائه می‌گردد.

روش بررسی

فناوری یک واحد تولیدی را که از n نهاده تولید استفاده می‌کند و حداکثر تولید ممکن (Y) را در طول زمانی مشخص به دست می‌دهد، با استفاده از تابع تولید ضمنی (F) به صورت زیر نمایش می‌دهند (حسین زاد و سلامی، ۱۳۸۳):

$$Y = F(x_1, x_2, \dots, x_n) = F(X) \quad (1)$$

کردستان، ارزش اقتصادی آب را برای محصول یونجه برآورد نمودند. روزبان (۱۳۹۵) ارزش اقتصادی آب در محصول گوجه‌فرنگی را در شهرستان ارومیه محاسبه نمود. زارعی و همکاران (۱۳۹۳) ارزش اقتصادی آب را برای محصول سیب‌زمینی در استان‌های همدان و کردستان برآورد نمودند. حسینی (۱۳۹۳) با استفاده از تابع کاب-داگلاس، همین نرخ را در دشت بهار همدان تخمین زد. در مطالعه دیگری قادرزاده و همکاران (۱۳۹۲) ارزش اقتصادی آب را با استفاده از توابع کاب داگلاس و متعالی برای همین محصول شهرستان بهار بدست آوردند. احسانی و همکاران (۱۳۹۱) ارزش اقتصادی آب آبیاری برای محصول جو آبی در دشت قزوین را معادل ۲۵/۳ درصد از ارزش کل محصول در هکتار برآورد نمودند. پاکروان و مهرابی (۱۳۸۹) در استان کرمان، با استفاده از تابع تولید کاب-داگلاس، تولید نهایی آب را برای چغندر قند برابر ۹۴۰ گرم بر مترمکعب بدست آوردند. آنان ارزش اقتصادی آب را برابر ۷۰۵ ریال بر مترمکعب محاسبه نمودند. برای همین محصول در منطقه مرودشت فارس، شمس‌الدینی و همکاران (۱۳۸۹) ارزش اقتصادی آب را برابر ۲۱۱/۶ ریال به ازای هر مترمکعب برآورد نمودند. آنان تولید نهایی آب را نیز ۵۰۰ گرم بر مترمکعب تخمین زدند. بر اساس مطالعه احسانی و همکاران (۱۳۸۹) ارزش اقتصادی آب در محصول ذرت دانه‌ای را در استان قزوین، معادل ۴۸ درصد قیمت ذرت دانه‌ای و ۶۱/۸ درصد کل ارزش محصول در واحد هکتار بود. نتایج مطالعه احسانی (۱۳۸۸) نشان داد که ارزش اقتصادی نهاده آب اختلاف بسیار زیادی با آنچه کشاورزان به عنوان آب‌بها در شبکه آبیاری دشت قزوین پرداخت می‌کنند داشته است. نتایج تحقیق شهسواری (۱۳۸۸) در خصوص ارزش اقتصادی آب در منطقه درودزن استان فارس ثابت نمود که ارزش اقتصادی آب در محصولات مختلف از قیمت آب تعیین‌شده توسط سازمان‌های ذیربط بیشتر بوده است. در مطالعه حسین زاد و سلامی (۱۳۸۳) نشان داده شده است که علی‌رغم آنکه ارزش اقتصادی آب آبیاری محصول گندم آبی در پایین دست سد

که در آن برداری از n نهاده‌ی تولید است. تابع تولید ۱ برای اینکه بتواند نظریه تولید نئوکلاسیک‌ها را نشان دهد باید از مجموعه ویژگی‌هایی برخوردار باشد. از جمله این ویژگی‌ها که در مقدمه اشاره شد، یکنواختی، تقعر، ضرورت، محدود و غیر منفی بودن، پیوستگی، دوبار قابل مشتق‌گیری بودن است (چمبرز، ۱۹۸۸). این خصوصیات به نوعی چارچوب کلی رفتار توابع تولید را مشخص می‌کند. درعین‌حال می‌تواند در متمایز کردن آن گروه از فرم‌های تابعی که بازگوکننده رفتارهای تولیدی نیستند از گروه‌هایی که می‌توانند برای بیان روابط تولیدی به کار روند، مفید باشند، هرچند که در تعیین فرم مناسب نسبت به دیگران ناتوانند.

بر اساس شرط یکنواختی، فرم تابع تولید باید به گونه‌ای باشد که بتواند نشان دهد با افزایش مصرف یک نهاده، تولید کل نیز افزایش می‌یابد و در نتیجه تولید نهایی (MP) که مشتق اول تابع است، همواره مثبت می‌ماند. این خصوصیت وجود ناحیه سوم تولید را غیرمنطقی می‌داند. لذا گروهی از توابع به اصطلاح انعطاف‌ناپذیر که ناحیه سوم را نشان نمی‌دهند، به ظاهر می‌توانند جایگزینی برای تابع تولید باشند. چمبرز بیان می‌کند، کاهش تولید در قبال افزایش مصرف نهاده (تولید نهایی منفی) از طرف تولید کننده رفتاری منطقی نیست، هرچند که علت نبود حتمیت در واکنش تولید به میزان مصرف نهاده‌ها ممکن است منجر به مصرف بیش از اندازه مطلوب تولید کننده شود و در عمل، تولید نهایی منفی را به دنبال داشته باشد. خصوصیت تقعر ایجاب می‌کند که فرم تابع تولید به گونه‌ای باشد که بتواند کاهنده بودن تولید نهایی را نشان دهد. در ادامه به توضیح خصوصیات شکل تابع کاب داگلاس و ترانسندنتال مورد استفاده در این مطالعه پرداخته می‌شود که در مطالعات تجربی بارها مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

یکی از معروف‌ترین توابعی که در بیان روابط ساختاری در تولید از گذشته‌های دور مورد استفاده قرار گرفته است، تابع کاب داگلاس است. این تابع خصوصیات ضرورت، همگنی، یکنواختی، تقعر، پیوستگی،

مشتق‌پذیری، غیر منفی و غیر تهی بودن را دارد (گریفین و همکاران، ۱۹۸۷). پارامترهای تابع کاب-داگلاس کشش-های تولید نهاده‌ها را نشان می‌دهد. این تابع خصوصیت ضرورت مصرف نهاده را نیز به خوبی نمایان می‌سازد. البته بخشی از محدودیت‌های ساختاری که این تابع اعمال می‌کند، از مطلوبیت آن در کارهای تجربی در سال‌های اخیر کاسته است. از جمله محدودیت‌های این تابع می‌توان به ثابت بودن کشش‌های تولیدی نهاده‌ها در آن اشاره کرد. بدین معنی که بر اساس این تابع، کشش تولید نهاده‌ها در سطوح مختلف مصرف نهاده‌ها یکسان است و ارتباطی به مقدار مصرف نهاده‌های به کار برده شده ندارد، درحالی‌که در دنیای واقعی این کشش‌ها به احتمال در سطوح مختلف مصرف نهاده‌ها متفاوت است. علاوه بر این، این فرم تنها یک ناحیه تولیدی را برای هر نهاده نشان می‌دهد و قادر به تبیین هر سه ناحیه از تابع تولید نیست. همچنین بازده نسبت به مقیاس در این تابع بدون توجه به سطح تولید تعیین می‌شود و برای کلیه سطوح فقط ثابت یا نزولی و یا صعودی و کشش جانشینی آن نیز برابر عدد ثابت یک است (دبرتین، ۲۰۱۲). استفاده از این تابع در صورتی نتایج درستی به دست می‌دهد که این محدودیت‌ها واقعاً در ساختار تولید نیز وجود داشته باشد. فرم کلی تابع کاب داگلاس در رابطه (۲) نمایش داده شده است:

$$Y = \alpha \prod_{i=1}^n x_i^{\beta_i} \quad (2)$$

در رابطه فوق x_i نهاده i ام، α و β پارامترهای الگو می‌باشند. تولید نهایی نهاده α ام هم از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$MP = \partial Y / \partial x_i = \alpha \cdot \beta_i \cdot x_i^{\beta_i-1} \prod_{i=1}^n x_i^{\beta_i} = \beta_i \cdot x_i^{\beta_i-1} Y \quad (3)$$

یکی از انواع توابع تولید تعمیم‌یافته کاب داگلاس فرم تابعی ترانسندنتال است. از نظر لغوی معانی مختلفی از جمله متعالی، عالی، برترین و ... برای واژه ترانسندنتال در نظر گرفته شده است کشش‌های تولید نهاده‌ها در این فرم ثابت نیست ولی مقدار آن‌ها تنها به میزان مصرف همان نهاده

بستگی دارد. از خصوصیت های مطلوب دیگر این تابع بازده نسبت به مقیاس در آن ثابت نیست بلکه بستگی به مقدار مصرف نهاده ها دارد. به علاوه این فرم سه ناحیه تولید نئوکلاسیک ها را نشان می دهد. فرم ریاضی این تابع به صورت زیر است:

$$Y = \alpha \prod_{i=1}^n x_i^{\beta_i} e^{\gamma_i x_i} \quad (4)$$

که در آن β و γ پارامترهای مدل و α عرض از مبدأ Y و X به ترتیب مقدار تولید و نهاده های به کار رفته در تولید است. برآورد توابع تولید در مطالعات تجربی اساساً با هدف پی بردن به نحوه واکنش تولید در مقابل مصرف نهاده ها و نیز تعیین نقش هر کدام از آن ها در جریان تولید صورت می گیرد. میزان نقش هر یک از نهاده ها را در افزایش تولید، مشتق اول تابع نسبت به هر نهاده که در متون اقتصادی تولید نهایی نامیده می شود، نشان می دهد. در تولید هر محصول، هر نهاده با تولید نهایی بیشتر، نهاده با ارزش تر محسوب و در بازار عوامل تولید بهای بیشتری برای آن پرداخت می شود. طبق تعریف، چنانچه بازار محصول و بازار عوامل تولید رقابتی باشد، ارزش اقتصادی هر نهاده از حاصل ضرب تولید نهایی آن در قیمت هر واحد محصول به دست می آید. در این باره ارزش اقتصادی آب مصرفی در تولید هر محصول از طریق روابط زیر محاسبه می شود:

$$MP_w = \frac{\partial Y}{\partial W} \quad (4)$$

$$P_w = MVP_w = MP_w * P_y \quad (5)$$

که در آن، MP_w تولید نهایی نهاده آب، P_y قیمت محصول، MVP_w ارزش تولید نهایی و P_w ارزش اقتصادی آب است.

متغیرهای مورد استفاده در تابع تولید در برگرنده هفت متغیر کمی مستقل شامل؛ مقدار بذر، کود دامی، کود شیمیایی، سموم شیمیایی، نیروی کار، هزینه ماشین آلات و حجم آب مصرفی در هکتار به همراه متغیر موهومی مجازی روش آبیاری بر متغیر وابسته عملکرد محصول در واحد سطح رگرسیون می شوند. این متغیرها به طور کلاسیک در توابع تولید محصولات کشاورزی مورد استفاده پژوهشگران قرار گرفته است (حسین زاد و سلامی، ۱۳۸۳).

در مطالعه حاضر از میان توابع، دو تابع کاب داگلاس و ترانسندنتال که بیشتر مورد توجه محققان کشاورزی قرار گرفته اند انتخاب و پس از برآورد این توابع بهترین فرم تابع با استفاده از آزمون ها و معیارهای اقتصادسنجی شناسایی می گردد. علاوه بر معیارهای رایج و شناخته شده اقتصادسنجی نظیر ضریب تعیین (R^2)، ضریب معنی داری کل رگرسیون (F)، ضریب معنی داری در هر یک از ضرایب (t)، فروض کلاسیک مانند ناهمسانی، خودهمبستگی و هم خطی از معیار نرمال بودن جملات اخلال نیز بهره گرفته می شود.

جامعه آماری مورد مطالعه در این پژوهش کلیه بهره برداران و تولیدکنندگان گندم، جو، سیب زمینی، یونجه، گوجه فرنگی، هندوانه، خیار، سیر، چغندر قند، ذرت دانه ای و علوفه ای، گردو و انگور در استان همدان می باشند. سهم نسبی سطح زیر کشت و تولید محصولات زراعی منتخب از کل محصولات سالانه به ترتیب ۹۱ و ۹۴ درصد است. استان همدان دارای محصولات باغی متنوعی است و کاشت محصولات باغی عمدتاً به صورت چند محصولی و مخلوط انجام شده است. تنها محصولات انگور و گردو هستند که به صورت مجزا کشت شده اند. درصد سطح زیر کشت و تولید محصولات منتخب باغی (انگور و گردو) از کل محصولات سالانه باغی به ترتیب ۶۴ و ۶۵ درصد است. لذا ارزش اقتصادی آب را برای محصولات منتخب زراعی و باغی مورد اشاره برآورد گردید. با استفاده از رابطه کوکران و روش نمونه گیری تصادفی سیستماتیک، حجم نمونه انتخاب و با افراد منتخب مصاحبه به عمل آمده و پرسشنامه تکمیل گردید. اطلاعات بدست آمده برای سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ می باشند. علاوه بر آن با مطالعات کتابخانه ای از جمله آمارنامه، سایر آمار و اطلاعات مورد نیاز بدست آمد. تابع کاب داگلاس بر اساس اطلاعات بدست آمده برای محصولات مورد اشاره، با استفاده از نرم افزارهای Excel، eviews و SPSS برازش گردید و نتایج تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌ها و بحث

در این مطالعه به منظور تعیین ارزش اقتصادی آب در محصولات کشاورزی استان همدان دو تابع کاب داگلاس و ترانسندنتال مورد استفاده قرار گرفت پس از برآورد این توابع به منظور انتخاب بهترین شکل تابع تولید از فروض کلاسیک و آزمون‌های اقتصادسنجی استفاده شد که نتایج آن در جدول (۱) آورده شده است. بر اساس نتایج تابع کاب داگلاس به عنوان تابع برتر انتخاب گردید. این انتخاب با توجه به آزمون نرمالیتت توزیع جملات اخلال، مقادیر F بالا، تعداد کل ضرایب و درصد معنی داری آن‌ها و تعداد پارامترهای معنی دار در الگوی برآورد شده صورت گرفته است.

آماره F در کلیه محصولات در سطح یک درصد معنی دار بوده و بیان می‌کند که رگرسیون‌های برازش شده معنی دارند و حداقل یک متغیر مستقل بر متغیر وابسته تأثیر معنی دار دارد. ضریب متغیر حجم آبیاری در توابع کلیه محصولات معنی دار گردیده است. توابع از لحاظ توضیح دهندگی بر اساس آماره ضریب تعیین R^2 مناسب می‌باشند و آماره دوربین واتسون ($D.W$) برای توابع محصولات مختلف هم در دامنه مناسب بوده و نشان داد که توابع برازش شده فاقد خودهمبستگی هستند. آماره جارک-برا ($B-J$) توابع کلیه محصولات در مقایسه با حد بحرانی آماره خی دو (۵/۹۹۱) حکایت از نرمال بودن جملات اخلال در تابع کاب داگلاس دارد. در این آزمون فرضیه صفر مبنی بر

نرمال بودن توزیع متغیر مورد آزمون است. تابع جارک - برا دارای توزیع خی دو با درجه آزادی یک است. چنانچه مقدار محاسباتی این آماره از حد بحرانی جدول خی^۲ بزرگتر نباشد فرض نرمال بودن توزیع جملات اخلال رد نمی‌شود. از طرفی با توجه به اینکه هر چه تعداد ضرایب معنی دار در یک الگو بیشتر باشد نشان دهنده تصریح مناسب‌تر آن مدل است، از این لحاظ مدل کاب داگلاس نیز برتر است. از طرف دیگر R^2 در هر دو مدل نزدیک به هم است لذا مدلی که تعداد متغیر کمتری دارد (کاب داگلاس) از قدرت توضیح دهندگی بالاتری برخوردار است. مدل‌های برآورد شده از لحاظ وجود واریانس ناهمسانی و هم خطی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت که مشکلی از این لحاظ وجود نداشت. یکی از علائم هم خطی معنی دار نبودن مقادیر t هم‌زمان با R^2 بسیار بالا است به عبارت دیگر اگرچه ممکن است R^2 بسیار بالا باشد لیکن اکثر ضرایب معنی دار نیستند که در مدل‌های اشاره شده این مشکل وجود نداشت و اکثر ضرایب معنی دار گزارش شد.

نتایج حاصل از برآورد ضرایب تابع تولید کاب داگلاس برای محصولات زراعی و باغی استان همدان در جدول (۲) گزارش شده است. پارامترهای توابع به همراه سطوح معنی داری یک و پنج درصد نمایش داده شده‌اند. عمده پارامترهای تخمینی معنی دار می‌باشند. هر چند هدف اصلی مطالعه تعیین ارزش اقتصادی نهاده آب است، اما برای رفع خطای تصریح مدل‌ها سایر متغیرهای مربوط به نهاده‌های دیگر نیز استفاده شده‌اند.

جدول ۱- مقایسه توابع مختلف تولید از لحاظ معنی‌داری پارامترها، ضریب تعیین، خود همبستگی و آزمون نرمال‌پایه جملات اخلاص

محصول	تابع	تعداد ضرایب معنی‌دار	درصد معنی‌داری	F	R ²	D.W	مقدار آماره (JB)
گندم	کاب داگلاس	(۷ از ۸)	۸۷	۶۸/۵۳**	۶۹/۲	۱/۹۴	۲/۰۳
	ترنسندنتال	(۳ از ۱۵)	۲۰	۳۹/۳۶**	۷۱/۱	۱/۹۶	۰/۸۲
جو	کاب داگلاس	(۶ از ۸)	۷۵	۲۹/۲۵**	۵۶/۳	۱/۷۸	۳/۴۵
	ترنسندنتال	(۳ از ۱۵)	۲۰	۱۶/۸۴**	۵۵/۱	۱/۷۶	۲/۰۳
یونجه	کاب داگلاس	(۶ از ۸)	۷۵	۳۲/۰۶**	۶۱/۸	۱/۸۷	۲/۸۳
	ترنسندنتال	(۴ از ۱۵)	۲۶	۲۴/۱۸**	۶۲/۹	۱/۸۵	۱/۵۳
هندوانه	کاب داگلاس	(۵ از ۸)	۶۲	۲۱/۱۴**	۶۹/۵	۱/۹۶	۲/۴۰
	ترنسندنتال	(۲ از ۱۵)	۱۳	۱۳/۷**	۶۷/۵	۱/۹۵	۰/۹۱
چغندر قند	کاب داگلاس	(۵ از ۸)	۶۲	۴۶/۳۴**	۷۷/۱۲	۱/۸۷	۰/۴۰
	ترنسندنتال	(۴ از ۱۵)	۲۶	۲۶/۷۵**	۷۵/۵	۱/۹۳	۰/۰۰۲
سیب زمینی	کاب داگلاس	(۸ از ۸)	۱۰۰	۹۴/۲۸**	۸۱/۹۶	۱/۸۲	۱/۲۸
	ترنسندنتال	(۴ از ۱۵)	۲۶	۵۰/۷۴**	۸۲/۷	۱/۵۷	۱/۹۷
سیر	کاب داگلاس	(۸ از ۸)	۱۰۰	۴۸/۸۶**	۸۲/۶	۱/۸۲	۰/۳۷
	ترنسندنتال	(۲ از ۱۵)	۱۳	۲۸/۰۸**	۸۱/۸	۱/۹۶	۰/۰۱۰
ذرت دانه	کاب داگلاس	(۷ از ۸)	۸۷	۱۲/۹۱**	۵۱/۵	۱/۷۳	۰/۵۷
	ترنسندنتال	(۴ از ۱۵)	۲۶	۸/۵۱**	۵۴/۶	۱/۸۰	۰/۳۷
ذرت علوفه	کاب داگلاس	(۶ از ۷)	۸۵	۴۷/۵۳**	۷۴/۶۵	۱/۹۱	۱/۵۴
	ترنسندنتال	(۴ از ۱۳)	۳۰	۲۹/۳۹**	۷۴/۱	۱/۹۱	۱/۷۸
خیار	کاب داگلاس	(۷ از ۸)	۸۷	۸۳/۶۸**	۸۷/۹	۱/۷۱	۳/۸۴
	ترنسندنتال	(۲ از ۱۵)	۱۳	۴۶/۳۱**	۸۵/۰۹	۱/۶۷	۴/۳۱
گوچه‌فرنگی	کاب داگلاس	(۵ از ۸)	۶۲	۱۷/۴۶**	۶۱/۳	۲	۳/۸۷
	ترنسندنتال	(۵ از ۱۵)	۳۳	۱۱/۶۴**	۶۶/۷۵	۲/۱۴	۱۳/۸۰
گردو	کاب داگلاس	(۴ از ۵)	۸۰	۷۵/۷۳**	۸۱/۱۱	۱/۸۲	۰/۳۳
	ترنسندنتال	(۲ از ۱۰)	۲۰	۴۳/۲۲**	۷۸/۹	۱/۸۷	۰/۵۰
انگور	کاب داگلاس	(۴ از ۶)	۶۶	۲۴/۹۷**	۵۹/۱۲	۱/۷۶	۳/۸۲
	ترنسندنتال	(۳ از ۱۲)	۲۵	۱۴/۹۵**	۶۳/۷	۱/۷۷	۸/۴۲

جدول ۲- نتایج برآورد توابع تولید کاب داگلاس برای محصولات مورد مطالعه در استان همدان

مقدار ضرایب برای متغیرها در محصولات مختلف و سطح معنی داری آن‌ها							نام متغیر
سیر	سیب زمینی	چغندر قند	هندوانه	یونجه	جو	گندم	
عرض از مبدأ	۵/۴۰۶**	۳/۶۵**	-۲/۴۷۸*	۱/۶۱	۷/۵۷	(۲۳/۶۳)	
بذر	۰/۱۳۳**	۰/۲۶۲**	۰/۱۷۱**	۰/۱۴۲**	(۵/۳۰)	(۳/۵۴)	
کودشیمیایی	۰/۰۹۳**	۰/۰۱۳**	۰/۰۱۶**	۰/۰۰۳	(۳/۵۲)	(۵/۰۱)	
کود دامی	-۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۴	۰/۰۳۴	(۳/۲۰)	(۴/۴۰)	
سم	۰/۰۰۰۸*	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	(۱/۰۷۳)	(-۰/۰۴۵)	
نیروی کار	۰/۰۴۵**	۰/۰۵۶**	۰/۰۷۵**	۰/۰۶**	(۰/۴۴۱)	(۲/۰۸)	
ماشین آلات	۰/۰۱۰۵**	۰/۱۲۳**	۰/۲۴۶**	-۰/۱۰۷*	(۳/۸۰)	(۳/۶۶)	
حجم آبیاری	۰/۱۴۰**	۰/۲۸۳**	۰/۹۲۹**	۰/۷۴۵**	(۴/۷۴)	(۶/۶۴)	
روش آبیاری	۰/۰۵۰**	۰/۱۵۶**	۰/۳۶۵**	۰/۸۷**	(۵/۸۱)	(۶/۵۲)	
N	۲۵۵	۱۹۱	۲۲۱	۸۳	(۵/۰۴)	(۳/۷۷)	
	۹۱	۱۷۵	۱۱۹		(۶/۲۲)	(۲/۶۵)	

مأخذ: یافته‌های تحقیق (*، ** به ترتیب معنی دار در سطح پنج درصد و یک درصد)
مقادیر داخل پرانتز آماره معنی داری ضرایب را نشان می‌دهد

در تفسیر ضرایب متغیرها باید توجه داشت وقتی که فرم تابع تولید از نوع کاب-داگلاس می‌باشد مقدار ضریب بیانگر کشش تولید است. به عنوان مثال در تابع تولید گندم ضریب متغیر حجم آبیاری (بر حسب متر مکعب) برابر ۰/۱۴ می‌باشد و به معنی این است که اگر میزان یا حجم آب آبیاری به اندازه یک درصد در واحد سطح افزایش یابد، عملکرد محصول گندم در هکتار به اندازه ۰/۱۴ درصد افزایش می‌یابد. این مقدار در مورد محصولات جو، یونجه، هندوانه، چغندر قند، سیب زمینی، سیر، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، خیار، گوجه فرنگی، گردو و انگور به ترتیب برابر ۰/۲۸۳، ۰/۹۲۹، ۰/۷۴۵، ۰/۱۶۹، ۰/۲۰۱، ۰/۲۲، ۰/۲۱۶، ۰/۲۱۹، ۰/۳۱۲، ۰/۴۶، ۰/۱۲۷ و ۰/۲۴۶ هستند. بالاترین کشش متعلق به یونجه و کمترین آن هم متعلق به گندم است. نحوه تفسیر ضرایب سایر متغیرها نیز مشابه تفسیر ضریب همین متغیر است. از آنجا که هدف و موضوع این مطالعه، برآورد ارزش اقتصادی

آب است از تفسیر سایر ضرایب اجتناب شده است. معمولاً برای پرهیز از خطای تصریح در برازش مدل، لازم است عمده متغیرهای تأثیر گذار بر متغیر وابسته آورده شوند (بالتاجی، ۲۰۰۸). آماره F برای کلیه توابع تولید محصولات در سطح یک درصد معنی دار بوده و بیانگر آن است که حداقل یک متغیر معنی دار و تأثیر گذار بر متغیر وابسته وجود دارد و به معنی آن است که رگرسیون‌ها معنی دار می‌باشند. ضریب تعیین R^2 هم درصد توضیح دهندگی نوسانات متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل می‌باشد. به عنوان مثال ضریب تعیین محصول خیار برابر ۸۷/۹ درصد است و به معنی آن است که متغیرهای مستقل تابع تولید خیار ۸۷/۹ درصد از نوسانات متغیر وابسته (عملکرد محصول در هکتار) را توضیح می‌دهند. آماره دوربین واتسون، (DW)، برای توابع مورد بررسی بسیار نزدیک به دو بوده و نشان داد که فاقد خودهمبستگی هستند، هرچند بدلیل مقطعی بودن داده‌ها برای توابع برازش شده، خود

همبستگی مشکلی ایجاد نمی‌نماید. آماره جاکر - برا هم نشان داد که جملات پسماند از نرمالیتی برخوردارند.

پس از برآورد توابع تولید، ارزش اقتصادی، تولید نهایی و متوسط آب و سایر معیارها و آماره‌های توصیفی آنها محاسبه گردید که نتایج آن در جدول (۳) گزارش شده است. کشت تولید نهاده آب در محصول گندم برابر ۰/۱۲۹ است؛ یعنی یک درصد افزایش در مصرف آب به میزان ۰/۱۲۹ درصد عملکرد را افزایش می‌دهد. ارزش اقتصادی برآوردی آب برای گندم برابر ۲۰۴۳ ریال به ازاء هر متر مکعب است. این رقم میانگین ارزش واقعی آب در استان همدان با توجه به قیمت خرید تضمینی در سال زراعی ۹۸-۹۷ می‌باشد. قیمت واقعی آب معادل ارزش تولید نهایی این نهاده یعنی ۰/۱۵۷ کیلوگرم گندم است؛ به عبارت دیگر در صورت افزایش مصرف یک متر مکعب آب در هکتار، به

میزان ۱۵۷ گرم بر عملکرد می‌افزاید. سایر مشخصات آماری ارزش اقتصادی آب، شامل حداقل، حداکثر و انحراف معیار برای نمونه مورد مطالعه و در سطح مصرف واقعی نهاده‌ها در جدول مذکور نمایش داده شده‌اند. حداکثر و حداقل ارزش تولید نهایی آب در کشت گندم در استان همدان به ترتیب برابر ۳۶۸۵ و ۱۰۵۵ در متر مکعب می‌باشد. تفاسیر اعداد و ارقام سایر توابع نیز مشابه تابع گندم می‌باشد. کمترین ارزش اقتصادی آب متعلق ذرت علوفه‌ای با ۱۹۲۷ و بیشترین مقدار مربوط به محصول سیر با ۳۶۶۸۴ ریال بر متر مکعب بوده است. لازم به یادآوری است که ارزش اقتصادی آب برای هر محصولی به شدت تابع قیمت محصول در بازار قرار دارد. بالاترین کشت نهاده آب هم مربوط به محصول یونجه و کمترین نیز متعلق به محصول گندم بدست آمده است.

ادامه جدول ۲- نتایج برآورد توابع تولید کاب داگلاس برای محصولات مورد مطالعه در استان همدان

مقدار ضرایب برای متغیرها در محصولات مختلف و سطح معنی‌داری آن‌ها						نام متغیر
انگور	گردو	گوجه فرنگی	خیار	ذرت علوفه‌ای	ذرت دانه‌ای	
۴/۹۵**	۲/۵۶۲*	۳/۸۸**	۵/۲۲**	۷/۵۹**	۵/۰۵۷**	عرض از مبدأ
(۷/۶۴)	(۲/۱۶)	(۳/۶۲)	(۵/۶۶)	(۷/۵۱)	(۶/۷۲)	
۰/۲۰۷**	۰/۲۹۶**	۰/۰۲۶	۰/۲۰۲**	-۰/۱۴۵**	۰/۰۹۰**	بذر/درخت
(۳/۴۴)	(۵/۶۳)	(۰/۶۱۲)	(۳/۲۸)	(-۳/۰۶)	(۲/۶۶)	
۰/۰۳**	۰/۰۰۳	۰/۰۵۵	۰/۰۸۸	۰/۰۱۷**	۰/۰۹۳**	کودشیمیایی
(۷/۱۴)	(۰/۴۲)	(۱/۸۵)	(۱/۷۲)	(۲/۶۵)	(۲/۶۷)	
۰/۰۰۲۷	۰/۱۱۴**	-۰/۰۱۹*	۰/۰۵۲*	-	۰/۰۰۳۷	کود دامی
(۰/۴۰۸)	(۴/۴۲)	(-۲/۲۴)	(۱/۹۶)	-	(۰/۴۵۲)	
۰/۰۰۱	-	۰/۰۷۹**	۰/۰۸۶**	۰/۱۶**	۰/۱۲۵**	سم
(۰/۲۲)	-	(۳/۵۵)	(۶/۱۹)	(۷/۵۹)	(۳/۳۱)	
۰/۰۹۳**	۰/۱۵۸**	۰/۰۸۵	۰/۲۰۴**	۰/۰۸۷*	۰/۰۶۵*	نیروی کار
(۴/۲۴)	(۳/۱۳)	(۱/۳۹)	(۴/۴۴)	(۲/۵۷)	(۲/۱۰)	
-	-	۰/۲۲**	۰/۰۸۸*	۰/۱۷**	۰/۱۱۹*	ماشین آلات
-	-	(۳/۴۹)	(۲/۰۷)	(۳/۰۳)	(۲/۱۱)	
۰/۲۸۶**	۰/۳۱۶**	۰/۴۶**	۰/۳۱۲**	۰/۲۱۹*	۰/۳۱۶**	حجم آبیاری
(۴/۷۶)	(۲/۵۹)	(۴/۰۵)	(۲/۹۶)	(۲/۰۱)	(۲/۸۴)	
-	-	۰/۶۰۵**	۰/۲۱۹*	۰/۰۹۵	۰/۰۷۸*	روش آبیاری
-	-	(۵/۳۹)	(۲/۱۷)	(۱/۷۳)	(۲/۰۹)	
۱۱۵	۹۴	۱۰۴	۱۰۱	۱۲۱	۱۰۶	N

مأخذ: یافته‌های تحقیق (*، **) به ترتیب معنی‌دار در سطح پنج درصد و یک درصد) مقادیر داخل پرانتز آماره معنی‌داری ضرایب را نشان می‌دهد.

جدول ۳- کشش تولید و آماره‌های توصیفی ارزش اقتصادی آب برای محصولات کشاورزی مورد مطالعه در استان همدان

شرح	گندم	جو	یونجه	هندوانه	چغندر قند	سیب زمینی	سیر
کشش تابع تولید (%)	۰/۱۳۹	۰/۲۸۳	۰/۹۲۹	۰/۷۴۵	۰/۱۶۹	۰/۲۰۱	۰/۲۲۶
تولید نهایی آب (گرم بر متر مکعب)	۱۵۷	۲۹۰	۷۸۲	۴۷۸۳	۷۱۶	۶۴۰	۵۱۴
تولید متوسط آب (گرم بر متر مکعب)	۱۱۳۰	۱۰۲۰	۸۴۲	۶۴۱۱	۴۲۸۸	۳۱۸۳	۲۲۷۸
ارزش تولید نهایی آب (ریال بر متر مکعب)	۲۰۴۳	۳۷۵۵	۶۰۲۳	۴۹۰۲	۲۱۳۶	۳۵۰۶	۳۶۶۸۴
بیشینه ارزش تولید نهایی در نمونه (ریال بر متر مکعب)	۳۶۸۵	۸۲۵۴	۱۰۴۰۰	۸۲۹۵	۴۳۳۲	۵۴۲۳	۸۵۶۶۸
کمینه ارزش تولید نهایی در نمونه (ریال بر متر مکعب)	۱۰۵۵	۱۸۴۸	۳۱۰۳	۱۵۹۳	۱۳۲۸	۱۳۵۵	۱۹۰۵۷

مأخذ: یافته های تحقیق

ادامه جدول ۳

شرح	ذرت دانه‌ای	ذرت علوفه‌ای	خیار	گوجه فرنگی	گردو	انگور
کشش تابع تولید (%)	۰/۲۱۶	۰/۲۱۹	۰/۳۱۲	۰/۴۶۴	۰/۳۱۶	۰/۲۸۶
تولید نهایی آب (گرم بر متر مکعب)	۱۵۷	۹۲۹	۱۵۲۶	۱۴۰۸	۱۱۵	۹۹۰
تولید متوسط آب (گرم بر متر مکعب)	۷۳۸	۴۲۴۴	۴۸۸۱	۳۰۳۵	۱۳۳۲	۳۳۶۴
ارزش تولید نهایی آب (ریال بر متر مکعب)	۱۹۲۷	۱۷۸۱	۱۶۳۳۲	۴۹۲۸	۲۰۰۶۴	۱۵۸۴۰
بیشینه ارزش تولید نهایی در نمونه (ریال بر متر مکعب)	۳۷۳۴	۳۴۷۳	۲۶۵۵۴	۱۶۱۶۱	۲۹۸۵۰	۲۵۵۶۸
کمینه ارزش تولید نهایی در نمونه (ریال بر متر مکعب)	۱۱۴۷	۶۹۸	۵۱۶۹	۲۰۷۷	۱۰۴۲۰	۷۶۲۳

مأخذ: یافته های تحقیق

که کشاورزان برای هزینه آب می‌پردازند و آنچه که به عنوان ارزش بدست می‌آورند وجود دارد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه از داده‌های مقطعی و تکمیل پرسشنامه و با استفاده از تابع تولید کاب-داگلاس برای ۱۳ نوع محصول زراعی و باغی، ارزش واقعی (سایه‌ای) نهاده آب آبیاری تخمین زده شد. معنی‌داری توابع برازش شده و مقدار مناسب ضریب تعیین‌ها، تأثیر معنی‌دار متغیرهای مورد استفاده از جمله آب آبیاری را تأیید نمود. بر اساس نتایج، متغیر آب آبیاری در کلیه محصولات معنی‌دار بودند.

با توجه به هزینه استحصال آب از سفره‌های زیرزمینی استان که توسط سیدان و باقری (۱۳۹۷) برابر ۴۹۶ ریال به ازای هر متر مربع محاسبه شده است و با توجه به میانگین مصرف آب در هکتار برای هر محصول هزینه آب برای هر آب محاسبه و از تقسیم آن بر درآمد ناخالص در هکتار، سهم هزینه آب از کل درآمد ناخالص بر حسب درصد محاسبه و در ستون سوم جدول (۴) نمایش داده شده است. برای محصول جو تنها ۴/۰۳ درصد از ارزش ناخالص کل محصول به هزینه آب اختصاص دارد در حالی که ارزش واقعی آن در ایجاد ارزش افزوده کل درآمد ناخالص آن حدود ۳۰/۴۸ درصد می‌باشد. در حالی که میانگین این ارقام برای محصولات مورد مطالعه به ترتیب برابر ۳/۷ و ۳۰/۴۱ درصد می‌باشد و حاکی از وجود شکافی بزرگ بین آنچه

جدول ۴- اختلاف بین نرخ واقعی آب (ارزش اقتصادی) و هزینه استحصال آب در محصولات کشاورزی استان همدان

محصول	ارزش اقتصادی آب (ریال بر متر مکعب)	نسبت هزینه آب به درآمد ناخالص محصول (%)	نسبت ارزش اقتصادی آب به درآمد ناخالص محصول (%)
جو	۳۷۵۵	۴/۰۳	۳۰/۴۸
چغندر قند	۲۱۳۶	۴/۱۳	۱۷/۷۸
خیار	۱۶۳۳۷	۱/۰۳	۳۴/۰۶
ذرت دانه‌ای	۱۹۵۶	۵/۷۴	۲۲/۶۱
ذرت علوفه‌ای	۱۷۸۱	۶/۳۰	۲۲/۶۳
سیب زمینی	۳۵۰۶	۳/۷۴	۲۶/۴۶
سیر	۳۶۷۵۰	۰/۳۳	۲۴/۵۵
گندم	۲۰۴۳	۳/۶۸	۱۵/۱۵
گوجه فرنگی	۴۹۲۹	۴/۲۶	۴۲/۳۲
هندوانه	۴۹۰۲	۸/۳۰	۳۸/۸۱
یونجه	۶۰۲۳	۴/۹۲	۵۹/۷۳
انگور	۱۵۸۴۰	۰/۹۲	۲۹/۴۲
گردو	۲۰۰۶۴	۰/۷۸	۳۱/۴
میانگین	۹۲۳۲	۳/۷۰	۳۰/۴۱

مأخذ: یافته‌های تحقیق

(۱۳۹۵) و قادرزاده و جزایری (۱۳۹۷) در خصوص یونجه، پاکروان و مهرابی بشرآبادی (۱۳۸۹) و شمس الدینی و همکاران (۱۳۸۹) در مورد چغندر قند و روزبان (۱۳۹۵) در مورد گوجه فرنگی قرابت فراوانی دارند. بر اساس یافته این تحقیق، میانگین هزینه استحصال آب آبیاری برای محصولات مورد اشاره برابر ۳/۷ درصد از کل ارزش درآمد ناخالص محصول در واحد هکتار است، در حالیکه ارزش واقعی آب ۳۰/۴۱ درصد از کل درآمد ناخالص در هکتار بوده است و این اختلاف توسط مطالعات مورد اشاره نیز مورد تایید است. کشش تولید نهاده آب در مورد کلیه محصولات مورد مطالعه کوچکتر از یک بودند؛ به عبارت دیگر نهاده آب در محصولات کشاورزی استان همدان نسبتاً بدون کشش است. نتایج هر چند نشان می‌دهد که شکاف زیادی بین هزینه استحصال آب و ارزش واقعی آن وجود دارد و بر اساس آن با اخذ آب بهاء می‌توان تخصیص آن را بهینه‌تر و بهره‌وری را افزایش داد، اما معیار اقتصادی به تنهایی نمی‌تواند کارایی داشته باشد. رانت موجود ناشی از وجود این شکاف، با توجه به وضعیت کشاورزی خرده پایی

نتایج نشان داد که ارزش اقتصادی آب در محصولات مختلف بسیار بیشتر از هزینه‌هایی تأمین و عرضه آن است. ارزش اقتصادی آب برای محصولات منتخب مطالعه شامل گندم، جو، یونجه، سیب زمینی، چغندر قند، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، هندوانه، سیر، خیار و گوجه فرنگی، انگور و گردو به ترتیب برابر ۲۰۴۳، ۳۶۷۵۰، ۴۹۰۲، ۱۷۷۸، ۱۹۵۶، ۲۱۳۶، ۳۵۰۶، ۳۷۷۵، ۶۰۲۳، ۱۶۳۳۷ و ۴۹۲۹، ۱۵۸۴۰ و ۲۰۰۶۴ ریال و بطور میانگین ۹۲۳۲ ریال بر متر مکعب برآورد گردیدند. این ارقام در مقایسه با هزینه استحصال آب از منابع زیرزمینی که گرانترین منبع و برابر ۴۹۶ ریال بر متر مکعب است نشان می‌دهد که شکاف زیادی بین این ارقام است. نتایج بدست آمده با نتایج مطالعات حسینی (۱۳۹۳) و اسعدی و همکاران (۱۳۹۸) در مورد سیب زمینی، بکتاش و همکاران (۱۳۹۹) در مورد گندم و صیفی‌جات، حسین زاده و سلامی (۱۳۸۳) در مورد گندم، احسانی و همکاران (۱۳۹۱) در مورد جو و ذرت دانه‌ای، اسماعیلی موخر فردویی و همکاران (۱۳۹۷) در مورد یونجه و ذرت علوفه‌ای، زارعی و مهرابی بشرآبادی

در حیطه حکمرانی آب صورت گیرد. عبور از موانع اجتماعی و راهکارهای اجرایی و عملی سازی سیاست قیمت گذاری آب بر مبنای معیارهای اقتصادی، موضوعاتی می باشند که می توانند زمینه های پژوهشی جدید باشند. علاوه بر آن با توجه به محدودیت های ابزاری سیاست قیمت گذاری آب در تخصیص بهینه آب و افزایش بهره وری، روش های دیگری چون بازار آب و تشکلهای آب-بران نیز می توانند مورد بررسی و مطالعه قرار گیرند.

تقدیر و تشکر

این تحقیق با حمایت و پشتوانه مالی شرکت سهامی آب منطقه ای استان همدان و تحت مدیریت مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان اجرا گردید. بدین وسیله نویسندگان مقاله از مدیریت این شرکت و مرکز تحقیقات همدان نهایت تشکر و قدردانی را دارند.

و نیازهای معیشتی بهره برداران، تأمین کننده هزینه زندگی آنان است. نکته ای که در توابع تولید دیده نمی شود و قابل مدل سازی با معیارهای این نوع توابع نمی باشد. از سوی دیگر براساس قانون توزیع عادلانه آب که رکن حکمرانی آب در ایران که از سال ۱۳۶۳ محسوب می شود، اخذ آب بهاء از منابع آب های زیرزمینی را ممنوع نموده است. این در حالی است که آب های زیرزمینی در استان همدان بیش از ۸۰ درصد مصارف آب کشاورزی را تأمین می نمایند. اخذ آب بهاء از منابع آب سطحی نیز بر اساس قانون فقط از اراضی تحت پوشش شبکه های آبیاری احداث شده توسط دولت میسر است؛ بنابراین اخذ آب بهاء بر مبنای ارزش واقعی آب با محدودیت های اجتماعی و قانونی مواجه است. بر اساس نتایج مطالعه، می توان نرخ را بین هزینه استحصال آب و ارزش واقعی در قالب تعیین نرخ از طریق چانه زنی با بهره برداران تعیین نمود تا بدین وسیله انگیزه های لازم برای افزایش بهره وری و تخصیص بهینه آب فراهم شود. در این خصوص نیز لازم است اصلاحات قانونی هم

فهرست منابع

۱. احسانی، م.، حیاتی، ب.، و عادل، م.، ۱۳۸۹. برآورد ارزش اقتصادی آب در تولید ذرت دانه ای مطالعه موردی بخش مرکزی شهرستان البرز استان قزوین، اقتصاد کشاورزی و توسعه، جلد ۱۸، شماره ۷۲، صفحه های ۷۵ تا ۹۳.
۲. احسانی، م.، حیاتی، ب.، دشتی، ق.، قهرمان زاده، م.، و حسین زاد، ج.، ۱۳۹۱. برآورد ارزش اقتصادی آب در تولید جو در شبکه آبیاری دشت قزوین، نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۱، صفحه های ۱۸۷ تا ۲۰۰.
۳. احسانی، م.، ۱۳۸۸. برآورد ارزش اقتصادی آب در غلات پاییزه (مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت قزوین). پایان نامه کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی. دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.
۴. اسعدی، م. ع.، وکیل پور، م. ح.، مرتضوی، ا.، و نعمتی فرج، ط.، ۱۳۹۸. برآورد ارزش اقتصادی آب مصرفی از رهیافت های تمایل به پرداخت کشاورزان سیب زمینی کار و ارزش تولید نهایی، تحقیقات آب و خاک ایران، جلد ۵۰، شماره ۴، صفحه های ۱۰۲۴ تا ۱۰۳۸.
۵. اسماعیلی موخر فردویی، م.، ابراهیمی، ک.، عراقی نژاد، ش.، و فضل الهی، ه.، ۱۳۹۷. تعیین ارزش اقتصادی آب کشاورزی با رویکرد قیمت گذاری بر اساس نوع محصول در استان مرکزی، مدیریت آب و آبیاری، جلد ۸، شماره ۱، صفحه های ۱۶۳ تا ۱۴۹.

۶. بکتاش، ف.، آذربایجانی، ک.، کیانی، غ.، و دائی کریمزاده، س.، ۱۳۹۹. برآورد ارزش اقتصادی آب کشاورزی با استفاده از مدل توابع تولید و روش گاردنر (مطالعه موردی: ناحیه شمال خوزستان). مجله پژوهش آب ایران، جلد ۳۷، شماره ۱، صفحه‌های ۱۴۵ تا ۱۵۷.
۷. بی‌نام، ۱۳۹۳، شرکت آب منطقه‌ای همدان، آمار و اطلاعات پایه منابع آب استان همدان، <http://www.hmrw.ir/SC.php?type=static&id=52>
۸. پاکروان، م. ر.، و مهرابی بشرآبادی، ح.، ۱۳۸۹. تعیین ارزش اقتصادی و تابع تقاضای آب در تولید چغندر قند استان کرمان. مجله پژوهش آب ایران، جلد ۴، شماره ۶، صفحه‌های ۸۳ تا ۹۰.
۹. چیدری، ا. ح.، شرزه‌ای، غ. ع.، و کرامت‌زاده، ع.، ۱۳۸۴. تعیین ارزش اقتصادی آب بارهیافت برنامه‌ریزی آرمانی (مطالعه موردی: سد بارزوشیروان)، مجله تحقیقات اقتصادی، جلد ۷۱، شماره ۱، صفحه‌های ۳۹ تا ۶۶.
۱۰. حسینی، ا.، ۱۳۹۳. تعیین ارزش اقتصادی آب در زراعت سیب‌زمینی شهرستان همدان (دشت بهار)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه پیام نور استان تهران.
۱۱. حسین‌زاد، ج.، و سلامی، ح.، ۱۳۸۳. انتخاب تابع تولید برای برآورد ارزش اقتصادی آب کشاورزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه، جلد ۱۲، شماره ۴۸، صفحه‌های ۵۳ تا ۸۴.
۱۲. دشتی، ق.، امینیان، ف.، حسین‌زاد، ج.، و حیاتی، ب.، ۱۳۸۹. برآورد ارزش اقتصادی آب در تولید محصول گندم (مطالعه موردی منابع زیرزمینی شهرستان دامغان)، مجله دانش کشاورزی پایدار (دانش کشاورزی)، جلد ۲۰/۲، شماره ۱، صفحه‌های ۱۲۱ تا ۱۳۱.
۱۳. روزبان، س.، ۱۳۹۵. برآورد ارزش اقتصادی آب در تولید گوجه فرنگی در شهرستان ارومیه: رویکرد تابع تولید، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی. دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه.
۱۴. زارعی، ن.، و مهرابی بشرآبادی، ح.، ۱۳۹۵. برآورد تقاضای آب در تولید محصول یونجه (مطالعه موردی شهرستان‌های قروه و دهگلان)، مجله پژوهش آب ایران، جلد ۱۰، شماره ۱، صفحه‌های ۱۱۵ تا ۱۲۲.
۱۵. زارعی، ن.، مهرابی بشرآبادی، ح.، و خسروی، م.، ۱۳۹۳. برآورد ارزش اقتصادی آب در تولید محصول سیب زمینی؛ مطالعه موردی: روستاهای استان‌های کردستان و همدان، فصلنامه راهبردهای توسعه روستایی، جلد ۱، شماره ۳، صفحه‌های ۱۹ تا ۳۲.
۱۶. سالنامه آماری استان همدان، ۱۳۹۵. سازمان برنامه و بودجه استان همدان، همدان.
۱۷. ستوده، م.، ۱۳۹۳. خلاصه وضعیت سیمای منابع آب در استان همدان، صفحه‌های ۱۲۳ تا ۱۳۶، مجموعه مقالات اولین همایش منطقه‌ای بحران آب و بهره‌وری، چالش‌ها و راهکارها. ۱۶-۱۵ بهمن ماه، استانداری همدان، همدان.
۱۸. سیدان، م.، و باقری، ع.، ۱۳۹۷. حسابداری برای مدیریت موفق مزرعه: مدل صورت‌های مالی و تجزیه و تحلیل آن برای تولیدکنندگان سیب‌زمینی، علوم کاربردی سیب زمینی. جلد ۱، شماره ۱، صفحه‌های ۸ تا ۱۷.
۱۹. شمس‌الدینی، ا.، محمدی، ح.، و رضایی، ر.، ۱۳۸۹. تعیین ارزش اقتصادی آب در زراعت چغندر قند در شهرستان مرودشت، مجله چغندر قند، جلد ۲۶، شماره ۱، صفحه‌های ۹۳ تا ۱۰۳.
۲۰. شهسواری، ز.، ۱۳۸۸. تعیین ارزش اقتصادی آب در اراضی زیر سد درودزن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.
۲۱. قادرزاده، ح.، حاجی‌رحیمی، م.، و عبدل قوزلوجه، ع.، ۱۳۹۲. تعیین ارزش اقتصادی آب آبیاری در تولید سیب زمینی با روش تخمین تابع تولید در دشت همدان- بهار، صفحه‌های ۸۷ تا ۹۹، اولین همایش ملی بحران آب،

دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان، [https://www.civilica.com/Paper-NCWC01-](https://www.civilica.com/Paper-NCWC01-NCWC01_018.html)

NCWC01_018.html

22. Aidam, P.W., 2015. The impact of water-pricing policy on the demand for water resources by farmers in Ghana, *Agricultural Water Management* 158: 10-16.
23. Baltagi, B.H., 2008. *Econometrics*, Fourth Edition, Springer-Verlag, New York.
24. Berbel, J., Mesa-Jurado, M., and Pistón, J., 2011. Value of Irrigation Water in Guadalquivir Basin (Spain) by Residual Value Method, *Water Resources Management: An International Journal*, Published for the European Water Resources Association (EWRA), Springer; European Water Resources Association (EWRA), 25(6):1565-1579.
25. Chambers, R.G., 1988. *Applied production analysis: A dual approach*, Cambridge University Press. London.
26. Debertin, D.L., 2012. *Agricultural Production Economics*, *Agricultural Economics Textbook Gallery*. 1. https://uknowledge.uky.edu/agecon_textbooks/1.
27. Griffin, R.C., Montgomery, J.M., and Rister, M.E., 1987. Selecting functional form in production analysis, *Western Journal of Agricultural Economics*, 12: 216-227.
28. Kiprop, J.K., Lagat, J.K., Mshenga, P., and Macharia, A.M., 2015. Determining the Economic Value of Irrigation Water in Kerio Valley Basin (Kenya) by Residual Value Method, *Journal of Economics and Sustainable Development*, 6(7):2222-2855.
29. Muchara, B., Ortmann, G., Mudhara, M., and Wale, E., 2016. Irrigation water value for potato farmers in the Mooi River Irrigation Scheme of KwaZulu-Natal, South Africa: A residual value approach, *Agricultural Water Management*, 164:243-252.
30. Shen, X., and Lin, B., 2017. The shadow prices and demand elasticities of agricultural water in China: A StoNED-based analysis, *Resources, Conservation and Recycling*, 127:21-28.
31. Zamani, O., Azadi, H., Mortazavi, S.A., Balali, H., Movahhed Moghaddam, S., and Jurik, L., 2021. The impact of water-pricing policies on water productivity: Evidence of agriculture sector in Iran, *Agricultural Water Management*, 245:530-548.
32. Ziolkowska, J.R., 2015. Shadow price of water for irrigation—A case of the High Plains, *Agricultural Water Management*, 153:20-31.
33. Ziolkowska, J.R., 2018. Profitability of irrigation and value of water in Oklahoma and Texas agriculture, *International Journal of Water Resources Development*, 34(6): 944-960.

ارزیابی تخمین تنش آبی پنبه با استفاده از تصاویر چند طیفی ماهواره‌ای، مبتنی بر

مدل درخت M5

مریم مزیدی، موسی حسام*، خلیل قربانی و چوقی بایرام کمکی

دانشجوی دکتری، مهندسی آبیاری و زهکشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

maryam.mazidi@gmail.com

دانشیار، گروه مهندسی آب دانشکده آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

hesamm@gau.ac.ir

دانشیار، گروه مهندسی آب دانشکده آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

ghorbani.khalil@gau.ac.ir

استادیار، گروه مدیریت مناطق بیابانی دانشکده مرتع دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

bkomaki@gau.ac.ir

دریافت: شهریور ۱۴۰۲ و پذیرش: دی ۱۴۰۲

چکیده

تنش آبی در نتیجه عدم تعادل بین آب خاک در محیط ریشه و آب مصرفی گیاه رخ می‌دهد که ضرورت تعیین شاخص تنش آبی گیاه را ایجاد می‌کند. رطوبت خاک سطحی ارتباط مستقیمی با آب موجود در گیاه دارد. در دسترس بودن داده‌های ماهواره‌ای منجر به تفکیک زمانی و مکانی داده‌های مزرعه‌ای شده است و فرصت‌های جدیدی را برای نظارت بر شرایط کشت ارائه می‌دهد. در این پژوهش، پایش دقیق و مستمر رطوبت خاک به‌عنوان نماینده تنش رطوبتی خاک، با اندازه‌گیری‌های میدانی رطوبت خاک و مقایسه با داده‌های چند طیفی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹ و سنتینل ۲ صورت گرفت. ارتباط بین شاخص‌های گیاهی به‌عنوان متغیر مستقل و رطوبت خاک سطحی به‌عنوان متغیر وابسته، با استفاده از روش‌های رگرسیون چند متغیره خطی و رگرسیون درخت M5 بررسی شد. با توجه به غیرخطی بودن رابطه بین رطوبت خاک با بازتاب‌های طیفی، رگرسیون چند متغیره خطی نتایج رضایت‌بخشی را نشان نداد (با ضریب تعیین R^2 ۰/۴۶ و ۰/۳۴ به ترتیب برای ماهواره لندست ۹ و سنتینل ۲ و همچنین جذر میانگین خطا (RMSE) برابر ۰/۰۴۳ و ۰/۰۵۲). ولی، رگرسیون درختی M5، نتایج قابل قبول‌تری را نشان داد، به‌طوری‌که با برقراری ۱۶ و ۲۰ رابطه رگرسیونی برای ماهواره‌های لندست ۹ و سنتینل ۲، رطوبت خاک را با ضریب تعیین ۰/۷۰ و ۰/۶۷ و جذر میانگین مربعات خطا برابر ۰/۰۳۳ و ۰/۰۳۸ برآورد کرد. نتایج نشان داد که تخمین رطوبت خاک با روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین، همچون مدل M5، دقت محاسبات را بالا می‌برد. در رگرسیون درخت تصمیم M5، لزوماً تعداد بالای متغیر، منجر به افزایش دقت تخمین رطوبت خاک نمی‌شود و در تعداد متغیرهای کم هم رابطه‌ای با بالاترین دقت یافت می‌شود. بنا بر این، بدون اندازه‌گیری داده‌های خاک، می‌توان رابطه بدست آمده در سطح مزرعه را برای ارزیابی تنش آبی خاک و تعیین زمان آبیاری در زمین‌های کشاورزی در مقیاس وسیع استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: لندست ۹، سنتینل ۲، داده‌کاوی، رگرسیون درخت تصمیم

مقدمه

تنش آبی گیاه یکی از چالش‌های اصلی امنیت غذایی است که ضرر اقتصادی قابل توجهی را ایجاد می‌کند. اکثراً عملکرد گیاهان زراعی به‌طور عمده به دلیل کمبود آب می‌تواند به بیش از نصف کاهش یابد (لیزار و همکاران، ۲۰۱۲). مدیریت مناسب آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک که آبیاری یک عامل کلیدی برای دستیابی عملکرد کمی و کیفی مطلوب و مصرف آب است، ضروری است. عدم تولید کشاورزی به نوبه خود یک چالش امنیت غذایی ایجاد می‌کند که اقتصاد و معیشت کشاورزان را تهدید می‌کند. تنش آبی که به‌عنوان تنش خشکی نیز شناخته می‌شود، تهدیدی برای بهره‌وری گیاهان و در صورت تداوم در یک دوره طولانی است (اوزاکابه و همکاران، ۲۰۱۴). اندازه‌گیری تنش آبی به‌طور کلاسیک بر اساس اندازه‌گیری‌های در محل محتوای آب گیاهی (VWC) یا محتوای آب خاک (SWC) انجام می‌شود (بارت و همکاران، ۲۰۰۷). این فعالیت‌ها به دلیل ناپیوستگی ذاتی خاک عملاً کاری زمان‌بر و پرهزینه هستند و مشاهدات نقطه‌ای که معمولاً انجام می‌شوند، دارای پوشش مکانی پایینی هستند که نشان‌دهنده ضعف از وضعیت کلی مزارع است (جکسون و همکاران، ۱۹۸۱). امروزه پیشرفت‌های علمی و فناوری مانند تکنیک‌های سنجش‌ازدور ابزارهای قدرتمندی برای ارزیابی ویژگی‌های پوشش گیاهی ارائه می‌دهند که می‌تواند تصمیمات مدیریت و آبیاری را تسهیل کند (وای و همکاران، ۲۰۱۳). برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور به‌طور بالقوه می‌تواند بر اساس تخمین دمای تاج پوشش یا VWC، به‌عنوان نماینده محتوای آب خاک انجام شود (ویسی و همکاران ۲۰۱۷). محاسبه مستقیم VWC دشوار است و به دلیل چالش در اندازه‌گیری‌های میدانی، عدم قطعیت‌های زیادی دارد. این واقعیت که کاهش VWC منجر به تعرق کمتر محصولات و افزایش دمای تاج پوشش می‌شود (لین و همکاران، ۲۰۱۲ و زوو و همکاران، ۲۰۰۵)، نشانه‌هایی را ارائه کرده است که در کنار محتوای رطوبتی خاک، از دمای تاج نیز به‌عنوان

نماینده VWC برای تخمین تنش آبی و درنهایت برنامه‌ریزی آبیاری استفاده کرد (پنولئوس و همکاران، ۱۹۹۳). عوامل محیطی مانند دمای هوا، رطوبت نسبی و تشعشعات خورشیدی می‌توانند تعرق گیاه و تبخیر آب خاک را تحت تأثیر قرار دهند و در نتیجه محتوای آب کم را در داخل خاک ایجاد کند. از این رو چندین روش ارزیابی تنش آبی گیاه بر اساس اندازه‌گیری‌های اکولوژیک عنوان‌شده است (بریلیانت و همکاران، ۲۰۱۶). تشخیص تنش آبی محصول در فصول مختلف رشد برای پیش‌بینی شرایط عملکرد و برنامه‌ریزی آبیاری ضروری است. متدولوژی‌های مختلف برای تشخیص تنش آبی محصول موردبررسی قرار گرفته‌اند. این روش‌ها بر اساس اندازه‌گیری آب خاک، پاسخ گیاه و سنجش‌ازدور هستند (شیامال و همکاران، ۲۰۲۰). کرامر (۱۹۶۳) استدلال کرده است که ارزیابی تنش آبی گیاه باید به‌طور مستقیم روی گیاه انجام شود، زیرا رشد گیاه به‌طور مستقیم تحت تأثیر شرایط آب بافتی و تنها به‌طور غیرمستقیم تحت تأثیر کمبود آب خاک قرار می‌گیرد. با این حال، بیشتر تکنیک‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری عکس‌العمل در گیاهان، مخرب، وقت‌گیر و فشرده هستند. پیشرفت در فن‌آوری‌های سنجش، متحول کننده تخمین شاخص‌های تنش آبی گیاه است. تکنیک‌های پیشرفته سنجش‌ازدور نیز برای تخمین سریع وضعیت آب گیاه معرفی شده‌اند (گرهاردز و همکاران، ۲۰۱۹). آلویو و مارینو (۲۰۱۷) در مقاله خود در مورد چندین رویکرد سنجش‌ازدور برای ارزیابی تنش آبی گیاه در محیط کشت برای مدیریت آبیاری اشاره کرده‌اند. آن‌ها با استفاده از انواع سیستم‌عامل و سنسورهای متعدد، داده‌های ناهمگن نامحدودی را با استفاده از طیف وسیعی از ماهواره‌ها، تجزیه و تحلیل و ارائه کردند. برای کنترل مدیریت آبیاری و زمان‌بندی، باید مقدار و زمان تأمین آب را دانست که آن را می‌توان با ارزیابی مکانی مناسب تنش آبی گیاه تعیین کرد. در مقالات مربوطه شناسایی تنش آبی مبتنی بر دو روش اندازه‌گیری آب خاک و مبتنی بر عکس‌العمل گیاه است (شیامال و همکاران، ۲۰۲۰). روش‌های سنتی برای

تشخیص تنش آبی گیاه بر اساس اندازه‌گیری رطوبت خاک در محل و متغیرهای هواشناسی برای ارزیابی از دست دادن آب از سیستم خاک-گیاه است (گونزالز-دیگو و همکاران، ۲۰۲۰). نمونه‌های خاک از چند نقطه از کل مزرعه با فرضیاتی همچون، ظرفیت نگهداری آب یکسان، ساختار خاک یکسان و نسبت تبخیر-تعرق یکسان جمع‌آوری می‌شوند. این روش‌ها اطلاعات نقطه‌ای کل منطقه را منعکس نمی‌کند و پرزحمت است. دیگر روش‌های تشخیص تنش آبی محصول مبتنی بر خاک شامل اندازه‌گیری وزنی آب خاک (تانریوردی و همکاران، ۲۰۱۷)، اندازه‌گیری با حسگر رطوبتی خاک (انکیزو و همکاران، ۲۰۰۷) و محاسبات تعادل آب خاک (ای هوما و مادراموتو، ۲۰۱۷) است. بعدها، رویکردهای گیاهی اتخاذ شد که حساسیت بیشتری نسبت به رطوبت خاک داشتند، رویکردهای مبتنی بر هدایت روزنه‌ای، پتانسیل آب برگ، محتوای نسبی آب، قطر ساقه و میوه و اندازه‌گیری جریان شیره‌ای (ای هوما و مادراموتو، ۲۰۱۷). چنین روش‌هایی قابل اعتماد هستند؛ با این حال، برآورد تنش آبی گیاه در محل، زمان‌بر و فشرده است، زیرا برای هر یک از محصولات ارزیابی می‌شوند. علاوه بر این، به دلیل ناهمگونی در خاک و محصولات، این روش نماینده مناسبی از کل را ارائه نمی‌دهد (شیامال و همکاران، ۲۰۲۰).

با ظهور سنجش‌ازدور، می‌توان اراضی گسترده‌ای را با تکنیک‌های غیر مخرب و سریع برای تشخیص تنوع مکانی در وضعیت آب گیاه با وضوح زمانی بالا پوشش داد (رومرو و همکاران، ۲۰۱۸). بازتاب طیفی، اندازه‌گیری طول موج انرژی الکترومغناطیسی جمع‌آوری‌شده از اجسام روی زمین است. خواص بیوشیمیایی و بیوفیزیکی گیاهان، مانند زیست‌توده، تبخیر و تعرق محصول و محتوای آب تاج گیاه، مربوط به خواص طیفی است که برای بازتاب طیفی استفاده می‌شود. ترکیبات ریاضی، از دو یا چند باند طیفی به عنوان شاخص‌های طیفی استفاده می‌کنند که برای تشخیص تنش آبی در محصولات کشاورزی کاربرد دارند. در میان شاخص‌های طیفی آب و پوشش گیاهی، شاخص آب

(WI) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس (زارکو-تجادا و همکاران، ۲۰۰۳)، شاخص تفاضل نرمال شده آب (NDWI) با استفاده از طیف‌سنج‌های تصویربرداری مادون‌قرمز موج‌کوتاه (راپاپورت و همکاران، ۲۰۱۵)، شاخص بازتاب فتوشیمیایی (PRI) با استفاده از تصاویر چند طیفی پهپاد (زارکو-تجادا و همکاران، ۲۰۱۳)، شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده با استفاده از طیف‌سنج‌های تصویربرداری مادون‌قرمز موج‌کوتاه (NDVI) (راپاپورت و همکاران، ۲۰۱۵) و شاخص سبزی گیاهی تفاضل نرمال شده (NDGI) با استفاده از تصاویر چند طیفی پهپاد و الگوریتم ادگیری ماشین (رومرو و همکاران، ۲۰۱۸) به عنوان چند مورد، به طور گسترده برای تخمین تنش آبی در محصولات استفاده شده است.

تاکنون مطالعات متعددی در خصوص رابطه دمای هوا، دمای سطحی و دمای تاج و خصوصیات گیاهی - محیطی از جمله تنش آبی، رطوبت خاک، سبزیگی و نظایر این‌ها صورت گرفته است. در این میان بخشی از مطالعات معطوف به تأثیر میزان رطوبت خاک بر پروفیل دمایی تاج شده که به عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار بر عملکرد و سلامتی گیاهان است. یک ضعف اساسی مدل‌ها و مطالعاتی که تاکنون صورت گرفته این است که این روش‌ها برای مناطقی که دارای پوشش گیاهی ضعیف و یا فاقد پوششی گیاهی هستند، ناکارآمد بوده‌اند (فشائی و همکاران، ۱۳۹۴). بطوریکه در بسیاری، تشخیص تنش آبی را در اراضی تحت کشت موردبررسی قراردادند و تأثیرات آن را بر عملکرد محصول و فعالیت کشاورزان و تصمیم‌گیرندگان برای بهینه کردن سامانه‌های آبیاری حیاتی دانستند (لوپز و همکاران، ۲۰۰۹). در این رابطه فشائی و همکاران (۱۳۹۴) مطالعه‌ای را در زمینه تخمین رطوبت خاک و شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی (VI) در شرایط بدون پوشش گیاهی و پوشش گیاهی ضعیف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام دادند که طی این تحقیق، با پهنه‌بندی شاخص کمبود آب (WDI) به رابطه‌ای تنگاتنگ این متغیر با رطوبت خاک سطحی (عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر) دست یافتند. در تحقیقی که

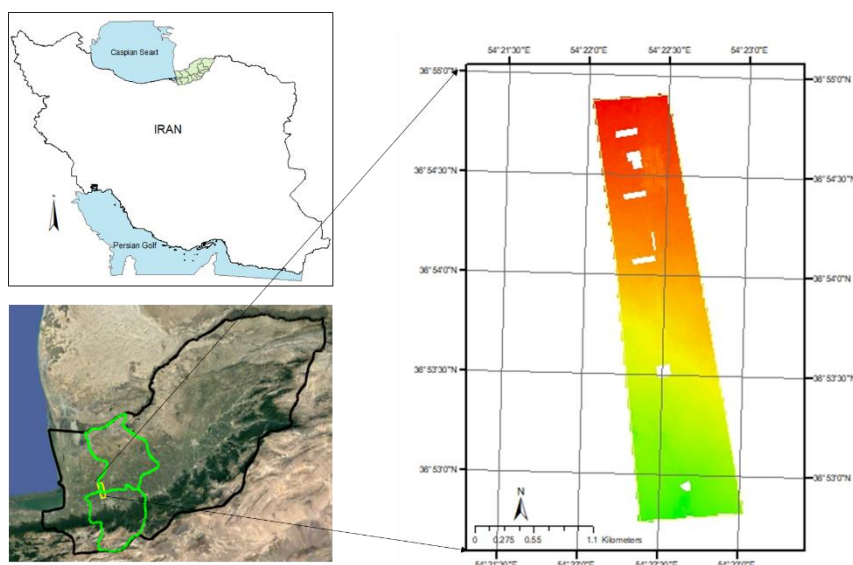
مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

استان گلستان که در شمال شرق کشور قرار دارد، با مساحتی معادل $20437/74$ کیلومتر مربع معادل $1/3$ درصد مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است. از منظر جغرافیایی این استان بین 36 درجه و 24 دقیقه تا 38 درجه و پنج دقیقه عرض شمالی و 53 درجه و 51 دقیقه تا 56 درجه و 14 دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است (پورتال استانداری گلستان). منطقه مورد مطالعه در محدوده شمالی استان گلستان و در اراضی کشاورزی روستاهای شیرعلی‌آباد و سیستانی محله از توابع بخش خدمات کشاورزی انجیر آب شهرستان گرگان در مختصات جغرافیایی $30^{\circ} 52' 36''$ تا $00^{\circ} 55' 36''$ عرض شمالی و $30^{\circ} 21' 52''$ تا $00^{\circ} 23' 54''$ طول شرقی و در طی فصل رشد محصول پنبه (بهار و تابستان 1401) انجام شد. منطقه مورد مطالعه خشک تا نیمه‌خشک با میانگین بارندگی 400 میلی‌متر است که از این میزان چیزی در حدود 150 میلی‌متر در طول دوره رشد پنبه (اوایل خرداد الی اوایل آبان) رخ می‌دهد. نیاز آبی پنبه نیز در این دوره در منطقه مورد مطالعه در حدود 6860 مترمکعب در هکتار در سال است. خاک منطقه با بافت لومی رسی و شوری در حدود $3/78 - 0/65$ دسی زیمنس بر متر در طی فصل رشد است. کشاورزان جهت آبیاری از آب چاه با شوری پایین در حدود $0/2$ دسی زیمنس بر متر استفاده می‌کنند. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) ارائه شده است.

گاتورگلی و همکاران (۲۰۲۰) بر روی اثرات تنش آبی بر بازتاب طیفی علف برمودا در جنوب ایتالیا انجام دادند، میزان بازتاب طیفی را با نسل جدید طیف‌سنج دستی برای کشف شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی به‌عنوان ابزاری برای مطالعه تنش آبی در علف برمودا آزمایش کردند. آن‌ها نشان دادند که استفاده از تکنیک‌های پردازش چند متغیره برای تمایز شرایط مختلف تنش آبی پتانسیل بالایی در برآورد تنش آبی مؤثر است و مطمئناً مستحق بررسی‌های بیشتر است.

تحقیق حاضر شامل اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌عنوان معیاری از تنش رطوبتی گیاه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی لندست ۸-۹ و سنتینل ۲ در بخشی از مزارع پنبه استان گلستان است. هدف از این تحقیق تعیین رابطه‌ای بین اندازه‌گیری رطوبت خاک در مزرعه و شاخص‌های استخراج‌شده از بازتاب طیفی باندهای نوری چند طیفی تصاویر ماهواره‌ای است. بر این اساس در پژوهش حاضر امکان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸-۹ و سنتینل ۲ در تخمین تنش آبی آبیاری گیاه پنبه به‌عنوان یک گیاه صنعتی در استان گلستان، اراضی بخش انجیر آب شهرستان گرگان از طریق مقایسه با روش‌های میدانی موردبررسی قرار گرفت تا در صورت تأیید دقت هر یک از این دو ماهواره در برآورد میزان تنش آبی، با حداقل هزینه و در کمترین زمان و در سطح وسیعی از مزارع، جایگزین روش‌های معمول گردد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی و مزارع نمونه برداری

داده‌های میدانی

داده‌های میدانی شامل نمونه رطوبتی خاک است که هم‌زمان با عبور ماهواره از منطقه، در هشت مزرعه در طول فصل رشد پنبه (اوایل خرداد تا اوایل آبان) و جمعاً در طی ۱۴ روز نمونه‌برداری معادل ۱۱۲ نمونه اندازه‌گیری شد. رطوبت حجمی خاک، به‌ویژه رطوبت سطحی به‌عنوان نماینده‌ای از وضعیت تنش رطوبتی خاک نقش بسیار مهمی در مدیریت منابع آب و خاک دارد (ویسی و همکاران ۲۰۱۷). طبق مطالعات ربیعی و تجریشی (۱۳۹۹)، فشائی و همکاران (۱۳۹۴)، رنجبر و آخوندزاده (۱۳۹۸) و غفاری و همکاران (۱۳۹۹) نمونه‌های خاک تا عمق ۱۰ سانتی‌متری و با مختصات معلوم به‌وسیله سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) موقعیت‌یابی و برداشت شدند.

داده‌های ماهواره‌ای

داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق توسط تصویرگر زمین عملیاتی (OLI) ماهواره لندست ۸- (Landsat 8-9) و ماهواره سنتینل ۲ (Sentinel-2A/B) به دست آمد. داده‌های لندست شامل ۱۱ باند است که هر هشت روز یک بار برداشت می‌شوند. ماهواره OLI به‌عنوان یکی از سنجنده‌های ماهواره لندست، دارای نه باند طیفی

در محدوده مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز با طول موج کوتاه طیف الکترومغناطیس دارای توان تفکیک ۳۰ متر قرار دارند. داده‌های سنتینل ۲ شامل ۱۳ باند طیفی مشتمل بر محدوده‌های مرئی، مادون قرمز نزدیک، لبه قرمز و طول موج کوتاه است که هر پنج روز یکبار برداشت می‌شود. این ماهواره دارای سه توان تفکیکی مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر است؛ به طوریکه طیف مرئی و مادون قرمز با توان تفکیک ۱۰ متر، امواج مادون قرمز نزدیک، لبه قرمز و طول موج کوتاه با توان تفکیک ۲۰ متر و امواج مربوط به بخار آب و گرد و غبار دارای توان تفکیک ۶۰ متر هستند.

تشکیل ماتریس داده‌ها

در این تحقیق جهت تخمین تنش آبی گیاه پنبه، از شش باند طیفی ماهواره لندست ۹ و سنتینل ۲ شامل سه باند مرئی، یک باند مادون قرمز و دو باند طول موج کوتاه به همراه هفت شاخص مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای و تعداد ۱۵ نسبت باندی نیز به‌عنوان دیگر متغیرهای مستقل مطابق جدول (۲) در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند. در این تحقیق مجموعاً تعداد ۲۸ متغیر مستقل در پیش‌بینی تخمین تنش آبی پنبه در نظر گرفته شده است.

جدول ۲- شاخص‌های گیاهی (VIs) منتخب و فرمول محاسبه در این تحقیق

VIs	Name	Formula	Reference
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$(NIR - Red)/(NIR + Red)$	rouse et al 1974
EVI	Enhanced Vegetation Index	$2.5(NIR - Red)/(NIR + 6Red - 7.5Blue + 1)$	Jackson et al 2002
WI	water index	$NIR/SWIR1$	Penuelas et al., 1993
NDWI	normalized difference water index	$(NIR - SWIR2)/(NIR + SWIR2)$	Gao 1996
NMDI	normalized multiband drough difference index	$(NIR - (SWIR1 - SWIR2))/(NIR + (SWIR1 + SWIR2))$	Wang, 2007
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index	$1.5(NIR - Red)/(NIR + Red + 0.5)$	Huete 1988
GVMi	Global Vegetation Moisture index	$((NIR + 0.1) - (SWIR + 0.02))/((NIR + 0.1) + (SWIR + 0.02))$	

روش‌های محاسباتی

به منظور بهبود دقت مدل تخمین تنش آبی گیاه پنبه، در این مطالعه از روش‌های مختلفی برای تبدیل طیفی استفاده شده است. سپس باندهای حساس همراه با شاخص‌های پوشش گیاهی که با استفاده از داده‌های چند طیفی و با روش‌های مختلف پردازش، پیش‌بینی شد، غربال شده است. دو الگوریتم یادگیری ماشین شامل رگرسیون خطی چند متغیره و رگرسیون درخت تصمیم M5 برای ساخت مدل‌های تخمین استفاده شد و بهترین مدل به منظور ارائه، مبنایی برای مدیریت دقیق مزرعه پنبه در منطقه شناسایی شد.

همبستگی بین متغیرها

در این مطالعه از دو روش رگرسیون چند متغیره خطی و درخت تصمیم M5، به عنوان یکی از مدل‌های یادگیری ماشین، جهت بررسی همبستگی متقابل بین متغیرها و رطوبت خاک به عنوان نماینده تنش آبی گیاه استفاده شد. در مدل‌سازی پدیده‌ها، وجود شرایط محلی ممکن است موجب شود تا استفاده از یک رابطه کلی نتایج خوبی را به همراه نداشته باشد و تغییرات محلی به خوبی دیده نشوند. در صورت امکان، شناسایی محدوده‌های همگن و ارائه روابط ساده خطی برای هر یک از این محدوده‌ها می‌تواند موجب افزایش دقت مدل شود. بر این اساس معمولاً برای حل مسائل پیچیده، آن را به چند مسئله کوچک‌تر و ساده‌تر تقسیم نموده و سپس جواب‌های به دست آمده را با هم ترکیب می‌کنند. همین ایده ساده در مدل‌های درخت تصمیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این

منظور، فضا یا محدوده مقادیر داده‌های ورودی به چند زیربازه یا ناحیه تقسیم شده و برای هر ناحیه یک معادله یا مدل مناسب استخراج می‌شود (باتاچاریا و همکاران، ۲۰۰۷). درخت تصمیم روشی برای نمایش یک سری از قوانین هستند که منتهی به یک رده یا مقدار می‌شوند. درخت‌های تصمیم به کمک جداسازی متوالی داده‌ها به یک سری گروه مجزا تشکیل شده و سعی می‌شود در فرآیند جداسازی، فاصله بین گروه‌ها افزایش یابد. ساختار یک مدل درختی شامل ریشه، گره‌های داخلی و برگ است. از مدل‌های درخت تصمیم در حل بسیاری از مسائل طبقه‌بندی و رگرسیون استفاده شده است. برای اولین بار کوئینلن (۱۹۹۲) مدل درخت تصمیم موسوم به M5 را برای پیش‌بینی داده‌های پیوسته ارائه نمود. توسعه مدل درختی M5 Stepwise برای تعیین عوامل مؤثر بر پیش‌بینی جهت رفع مشکل الگوریتم توسط قربانی و همکاران (۲۰۲۲) انجام شد. آن‌ها در کاربرد و توسعه این مدل به این نتیجه رسیدند که مدل درختی M5 ابزاری امیدوارکننده برای مدل‌سازی سامانه‌های پیچیده و شناخت مهم‌ترین متغیرها است و از یک الگوریتم حریصانه استفاده می‌کند که در آن لزوماً افزایش تعداد متغیرها منجر به افزایش دقت نمی‌شود؛ بلکه با تعداد متغیر وابسته کم هم دقت مدل بهبود می‌یابد. لذا این مدل باید به صورت گام به گام اجرا شود. این مدل، بر خلاف مدل‌های درخت تصمیم معمول که کلاس یا رده‌های گسسته را به عنوان خروجی ارائه می‌نمایند، یک مدل خطی چند متغیره را برای داده‌ها در هر گره از مدل درختی می‌سازد. تشکیل ساختار مدل‌های درخت تصمیم‌گیری شامل مراحل ایجاد درخت و هرس کردن آن است. در

مانند رگرسیون چند متغیره خطی به صورت گام به گام اجرا شود.

معیارهای دقت برازش

به منظور ارزیابی کارایی مدل تخمین تنش آبی گیاه پنبه، ارزیابی کمی از مقادیر حاصله از تصاویر ماهواره‌ای و اندازه‌گیری شده در سطح مزرعه ارائه شده و نمایانگر درجه انطباق مشاهدات واقعیت زمینی و شاخص‌های ماهواره‌ای است که در جدول (۳) به آنها اشاره شده است.

مرحله ساختن درخت، از یک الگوریتم استنتاجی یا معیار تقسیم (انشعاب) برای تولید یک درخت تصمیم استفاده می‌شود. در پژوهشی که توسط قربانی و همکاران (۱۴۰۰) بر روی عملکرد گندم با استفاده از تصاویر ماهواره لندست به روش مقایسه رگرسیون چند متغیره و درخت تصمیم M5 انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که با توجه به غیرخطی بودن رابطه بین عملکرد گندم با داده‌های مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای، بکار بردن مدل درخت تصمیم M5، دقت نتایج را نسبت به مدل رگرسیون چند متغیره خطی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد. از طرفی در مدل رگرسیون درخت تصمیم M5، لزوماً افزایش تعداد متغیرها باعث افزایش دقت مدل نشد. لذا لازم است تا این مدل نیز

جدول ۳- معیارهای ارزیابی مدل

Evaluation criteria	Definition	Equation
RMSE	Root Mean Square Error	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}}$
NRMSE	Normalized Root Mean Square Error	$NRMSE = \frac{RMSE(O_x, O_y)}{Max(O_x) - Min(O_y)}$
MAE	Mean Absolute Error	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i - P_i $
EF	Efficiency	$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$
MBE	Mean Bias Error	$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)$
R ²	Coefficient Of Determination	$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \times \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}$

تعیین (R²) جهت ارزیابی بهره گرفته شد. RMSE به عنوان معیار اصلی ارزیابی خطا است و با این معیار مجموع خطاهای هر نقطه نسبت به مدل ساخته شده ارزیابی می‌شود. NRMSE در واقع به منظور کمی سازی مقدار مؤثر خطای یک مدل به کار می‌رود، با این تفاوت که این کار را نسبت به دامنه اعداد به کار رفته در مدل استاندارد سازی می‌کند. در معیار به جای به توان دو رساندن خطاها، از تابع قدر

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری رطوبت خاک در مزرعه به عنوان معیار ارزیابی داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای (شامل بازتاب‌ها و شاخص‌های طیفی) جهت ایجاد یک رابطه بهینه بین متغیرها، از تکنیک‌های میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، کارایی مدل (EF)، میانگین خطای اریب (MBE) و ضریب

مطلق استفاده می‌کند و با توجه به اینکه مقادیر به توان نرسیده‌اند، واحد میانگین قدر مطلق خطا با ویژگی هدف یکسان خواهد بود. EF مقادیر برآورد شده را نسبت به مقدار میانگین اندازه‌گیری‌ها مقایسه می‌کند. مقدار EF دلالت بر آن دارد که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده تخمین بهتری را نسبت به مقادیر برآورد شده ارائه می‌دهند. MBE بیانگر اریبی روش است و در یک تخمینگر نسبتاً دقیق بایستی نزدیک به صفر باشد. R^2 مشخص می‌کند که مدل رگرسیون تا چه میزان روی یک داده سازگار است و این زمانی است که اختلاف بین خروجی واقعی و خروجی تخمین زده شده توسط مدل حداقل باشد.

نتایج و بحث

روش رگرسیون چند متغیره خطی

در مطالعات آماری معمولاً همبستگی یک عامل تنها با یک عامل در نظر گرفته می‌شود و اثر دیگر عوامل و ترکیب این عوامل بر عامل مورد نظر نادیده گرفته می‌شود. در صورتی که بخواهیم اثر چند عامل را بر روی یک عامل در نظر بگیریم یکی از ساده‌ترین راه‌ها استفاده از رابطه خطی چند متغیره است. لذا جهت بررسی رابطه چند متغیره بین رطوبت خاک به عنوان نماینده‌ای از تنش آبی در نقش متغیر وابسته و باندها طیفی، شاخص‌های گیاهی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای و نسبت‌های باندی به عنوان متغیر

مستقل، وجود رابطه چند متغیره بین آن‌ها در محیط نرم‌افزار Minitab بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد که با کمک این روش در بهترین حالت در چهار گام و با دخالت دادن چهار متغیر مستقل با ضریب تعیین $46/13\%$ درصد، در ماهواره لندست، میزان رطوبت خاک را تخمین می‌زند. همچنین در ماهواره سنتینل ۲ در بهترین حالت در پنج گام و با دخالت دادن چهار متغیر مستقل با ضریب تعیین $34/51\%$ درصد، میزان رطوبت خاک را در مزارع پنبه به عنوان نماینده‌ای از تنش آبی تخمین می‌زند. طبق نتایج روش انتخاب بهترین زیرمجموعه مطابق جدول ۴ و جدول ۵، در صورت افزایش متغیرهای مستقل در رگرسیون چند متغیره، در ماهواره لندست مقدار ضریب تبیین از $23/95\%$ درصد به $46/13\%$ درصد و برای ماهواره سنتینل ۲، مقدار ضریب از $15/76\%$ درصد به $34/51\%$ درصد افزایش می‌یابد. همچنین در شکل (۲) مقادیر مشاهده شده و تخمینی تنش آبی با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره خطی به روش گام‌به‌گام برای تصاویر ماهواره‌های لندست و سنتینل ۲ ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که بازتاب طیفی یک باند، شاخص یا نسبت طیفی به تنهایی نمی‌تواند توصیف‌کننده تغییرات تنش آبی باشد؛ بنابراین در ادامه روش رگرسیون درخت تصمیم M5 بر مبنای جداسازی داده‌ها به گروه‌های مجزا و با توانایی مدل کردن رابطه غیرخطی بین داده‌ها ارائه می‌شود.

جدول ۴- ضرایب و نتایج رگرسیون گام‌به‌گام در تخمین تنش آبی پنبه با کمک تصویر ماهواره‌ای لندست

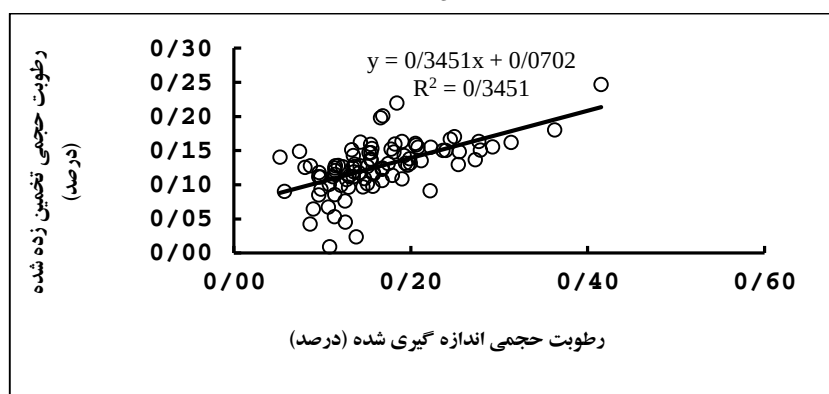
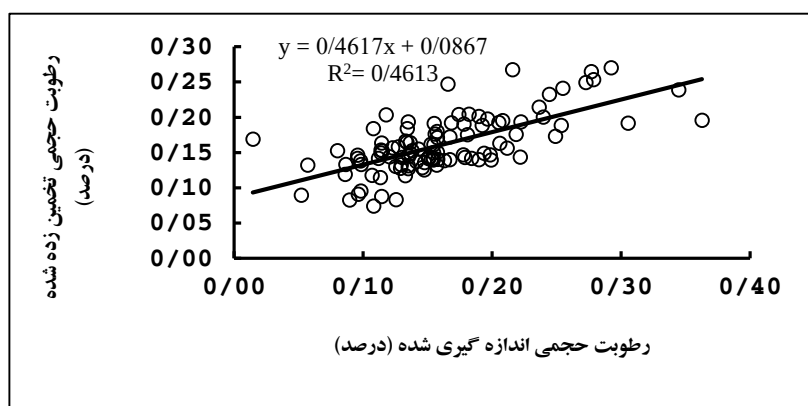
متغیر	گام ۱	گام ۲	گام ۳	گام ۴
عدد ثابت	۰/۰۴۳۷	-۰/۰۲۲۵	-۰/۰۰۵۰	-۰/۱۰۹۴
B5	۰/۳۸۳۰	۰/۹۷۷۰	۱/۰۱۸۵	۱/۰۸۹۹
B5-7		-۰/۰۵۲۷	-۰/۰۸۹۹	-۰/۰۹۸۲
NDWI			۰/۱۶۵۵	۰/۲۹۱۵
B3-5				۰/۱۷۵
R^2	۲۳/۹۵	۴۳/۱۳	۴۵/۳۵	۴۶/۱۳
RMSE	۰/۰۵۲	۰/۰۴۵	۰/۰۴۴	۰/۰۴۳

جدول ۵- ضرایب و نتایج رگرسیون گام به گام در تخمین تنش آبی پنبه با کمک تصویر ماهواره‌ای سنتینل ۲

متغیر	گام ۱	گام ۲	گام ۳	گام ۴	گام ۵
عدد ثابت	۰/۰۲۶۷	۰/۱۱۸۷	۰/۰۳۲۲	۰/۰۸۷	۰/۰۸۵
B8	۰/۳۸۸	۰/۶۳۲	۰/۶۹۳	-۰/۰۲۸	
B3-12	-۰/۲۶۲۶	-۰/۲۴۳۳	-۰/۶۱۲	-۰/۶۰۱	
B3			۰/۳۹۶	۲/۵۲۱	۲/۴۵۱
NDWI				۰/۶۰۴	۰/۵۸۳۷
R ²	۱۵/۷۶	۲۵/۶۸	۲۹/۷۸	۳۴/۵۰	۳۴/۵۱
RMSE	۰/۰۶۰	۰/۰۵۶	۰/۰۵۵	۰/۰۵۳	۰/۰۵۲

۰/۰۶۰ به ۰/۰۵۲ در پنج گام کاهش یافته است. لذا با افزایش تعداد متغیرها و در گام‌های بالاتر، میزان خطا به طور تقریبی ۱۳ تا ۱۷ درصد برای هر دو ماهواره مطابق نتایج قربانی و همکاران (۲۰۲۲) و قربانی و همکاران (۱۴۰۰) کاهش یافته است.

مطابق نتایج مندرج در جدول (۴ و ۵)، در بررسی میزان ریشه مربعات خطا (RMSE)، برای ماهواره لندست میزان خطا در چهار گام از ۰/۰۵۲ به ۰/۰۴۳ کاهش یافته است. مشابه همین نتیجه در میزان خطای کاهشی برآورد در ماهواره سنتینل نیز مشاهده شد. بطوریکه این میزان خطا از



شکل ۲- رگرسیون چند متغیره در روش گام به گام، تصاویر ماهواره لندست و سنتینل ۲

درخت تصمیم M5 در محیط نرم افزار Rapid Miner، بررسی شد. در این روش به شیوه گام به گام، تمامی حالات رگرسیون درختی یک تا چند متغیره مورد بررسی قرار گرفت و بهترین زیر مجموعه از متغیرهای مستقل که بهترین

روش رگرسیون درخت تصمیم M5

در این تحقیق رابطه بین رطوبت خاک به عنوان متغیر وابسته و باندها، شاخص‌های طیفی به همراه نسبت‌های باندها به عنوان متغیر مستقل به روش رگرسیون

تخمین از تنش آبی را ارائه کردند، مشخص شد (جدول ۶ و ۷). در روش رگرسیون درخت تصمیم، برخلاف رگرسیون چند متغیره خطی، با افزایش تعداد متغیرها لزوماً دقت مدل افزایش نمی‌یابد. به دلیل اینکه مدل‌های درخت تصمیم از الگوریتم‌هایی استفاده می‌کنند که قادر به برگشت و انتخاب متغیر دیگری نمی‌باشند. بر این اساس اگر متغیری اضافه شود، امکان دارد این متغیر در ریشه قرار گیرد و جداسازی که بر اساس این متغیر صورت می‌گیرد، منجر شود تا داده‌ها به خوبی جدا نشوند. بر این اساس ضرورت ایجاد می‌کند تا تمام حالات ورود متغیرها بررسی شود.

جدول ۶- نتایج انتخاب بهترین زیرمجموعه برای تخمین تنش آبی پنبه با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست

متغیرهای مورد استفاده	تعداد متغیر	R ²	RMSE
B5	۱	۲۳/۹	۰/۰۵۲
B5, NDWI	۲	۵۱/۷	۰/۰۴۲
B3, B3-7, NDWI	۳	۵۴/۹	۰/۰۴۲
B5, B6, B2-7, B4-6	۴	۶۴/۷	۰/۰۳۶
B2, B5, B6, B2-7, B5-6	۵	۶۸/۲	۰/۰۳۵
B5, B6, B2-5, B2-7, B3-4, B3-7	۶	۷۰/۶	۰/۰۳۳
B5, B6, B2-7, B3-6, B5-6, NDVI, EVI	۷	۶۹/۸	۰/۰۳۴
B5, B6, B7, B2-7, B3-4, B4-7, NDWI, NDVI	۸	۶۶/۹	۰/۰۳۵
B5, B6, B7, B2-3, B2-7, B4-5, B4-7, EVI, NDVI	۹	۶۶/۳	۰/۰۳۶
B2, B4, B6, B2-5, B3-7, B4-5, B4-7, NDWI, NDVI, EVI	۱۰	۶۶/۲	۰/۰۳۶
B3, B5-7, B2-4, B2-7, B4-6, B5-7, NDWI, NDVI, EVI, WI	۱۱	۶۶/۲	۰/۰۳۶

جدول ۷- نتایج انتخاب بهترین زیرمجموعه برای تخمین تنش آبی پنبه با استفاده از تصویر ماهواره‌ای سنتینل ۲

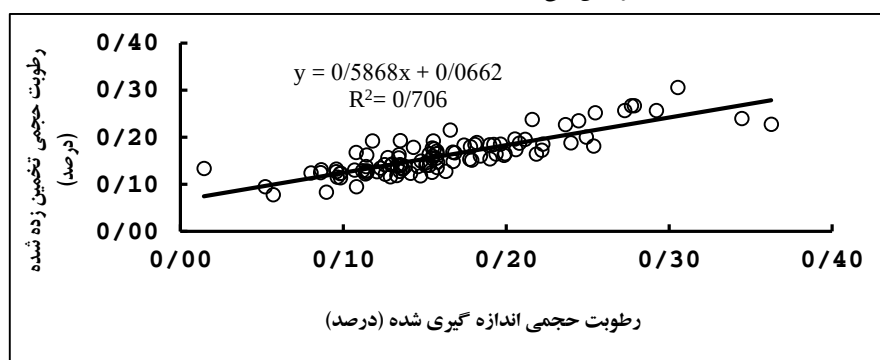
متغیرهای مورد استفاده	تعداد متغیر	R ²	RMSE
B8	۱	۱۵/۸	۰/۰۵۹
NDWI, WI	۲	۴۲/۶	۰/۰۵۰
B12, B2-11, SAVI	۳	۵۷/۲	۰/۰۴۳
B2, B11, B11-12, NDWI,	۴	۶۵/۶	۰/۰۴۱
B8, B2-8, B2-11 NDVI, NDWI	۵	۶۷/۲	۰/۰۳۹
B2, B8, B2-11, B3-12, B11-12, SAVI	۶	۶۷/۵	۰/۰۳۸
B8, B11, B2-4, B3-11, B4-11, NDWI, NMDI	۷	۶۷/۶	۰/۰۳۸
B3, B8, B2-11, B4-11, B8-11, B11-12, NDVI, NDWI	۸	۶۷/۱	۰/۰۳۹
B3, B12, B2-4, B2-8, B3-11, B4-11, B11-12, SAVI, NDWI	۹	۶۶/۹	۰/۰۴۰
B3, B11, B12, B2-12, B3-12, B4-11, B11-12, NDWI, NMDI, EVI	۱۰	۶۶/۷	۰/۰۳۹
B3, B8, B2-8, B2-11, B3-11, B4-11, B8-11, B11-12, NDVI, NDWI, SAVI	۱۱	۶۶/۷	۰/۰۳۹

کردند. در مسائل رگرسیونی، افزایش تعداد متغیرها باعث پیچیدگی مدل می‌شود (دوو و همکاران، ۲۰۲۲). در رگرسیون درخت تصمیم M5 بکار گرفته شده طبق نتایج مشاهده شده در جدول (۶) و (۷)، مشابه نتایج پژوهش انجام شده توسط دوو و همکاران (۲۰۲۲) بیشترین همبستگی بین رطوبت خاک اندازه‌گیری شده به عنوان نماینده تنش آبی و شاخص‌های گیاهی ماهواره‌ای در ماهواره لندست با تعداد شش متغیر، مربوط به امواج مرئی و طول موج کوتاه است که نشان‌دهنده تأثیر میزان طیف

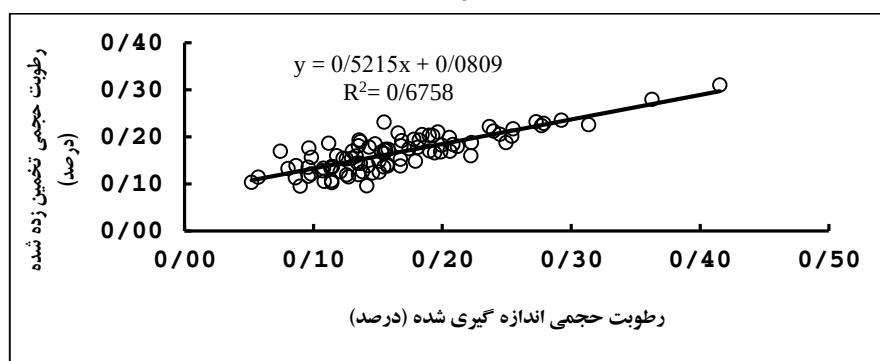
رگرسیون درخت تصمیم M5، می‌تواند با جداسازی داده‌ها به گروه‌های مجزا و ارائه یک رابطه رگرسیون چند متغیره خطی برای هر گروه، توانایی مدل کردن رابطه غیرخطی بین داده‌ها را دارد. در این پژوهش با کد نویسی در محیط نرم‌افزار Miner Rapid، مشابه روش رگرسیون گام‌به‌گام، تمامی حالات رگرسیون درختی یک تا چند متغیره مورد بررسی قرار گرفت و بهترین زیرمجموعه از متغیرهای مستقل که بهترین تخمین از تنش آبی را ارائه

بطوریکه با افزایش بیشتر تعداد متغیر تا ۱۰ متغیر، روند همبستگی بین متغیرها روند کاهش پیدا می‌کند تا جاییکه این روند با تعداد ۱۱ متغیر ثابت می‌شود. در ماهواره سنتینل ۲ هم طبق جدول (۷) ضریب تعیین بین متغیرها از ۱۵/۸ تا ۶۷/۶ درصد به ترتیب تا تعداد هفت متغیر، روند افزایش داشته بطوریکه این روند از تعداد هشت متغیر به بالا، کاهشی می‌شود تا جاییکه از ۱۰ متغیر به بالا این روند تغییر، ثابت می‌ماند.

حاصل از بازتاب کلروفیل و میزان رطوبت موجود در تاج پوشش گیاهی در تخمین تنش آبی پنبه دارد. در صورتی‌که در ماهواره سنتینل ۲ با تعداد هفت متغیر در کنار نسبت‌های بانندی امواج مرئی به امواج طول موج کوتاه، امواج مادون قرمز و شاخص‌های گیاهی مرتبط با رطوبت موجود در تاج پوشش گیاهی بیشترین همبستگی با رطوبت خاک را دارند. طبق نتایج مشاهده شده در جدول (۶)، مربوط به ماهواره لندست، مشاهده شد که با افزایش تعداد متغیر تا شش متغیر، میزان ضریب تعیین از ۲۳/۹ تا ۷۰/۶ درصد افزایش می‌یابد.



لندست



سنتینل ۲

شکل ۳- رگرسیون درخت تصمیم M5 در روش گام به گام، تصاویر ماهواره لندست ۹ و سنتینل ۲

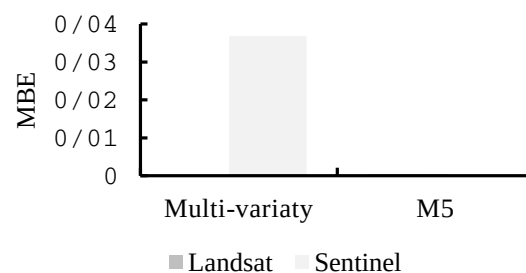
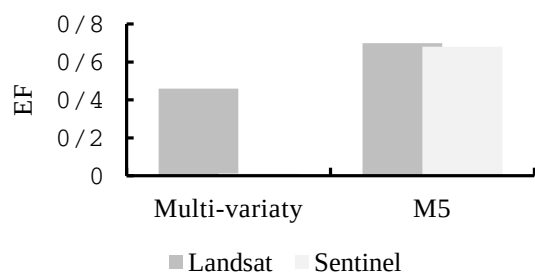
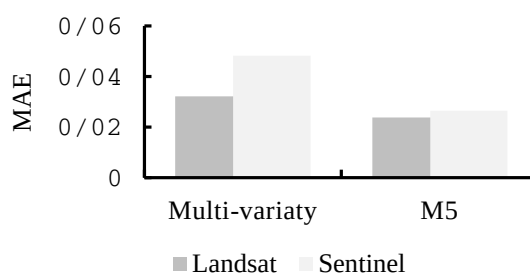
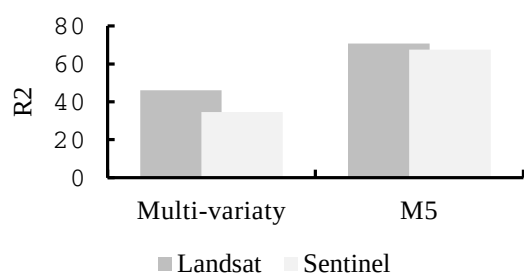
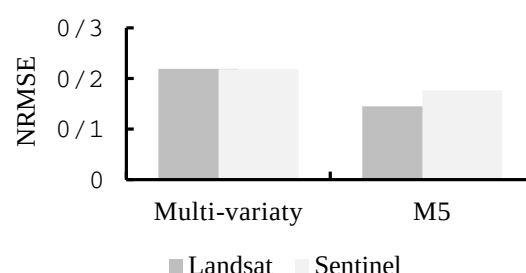
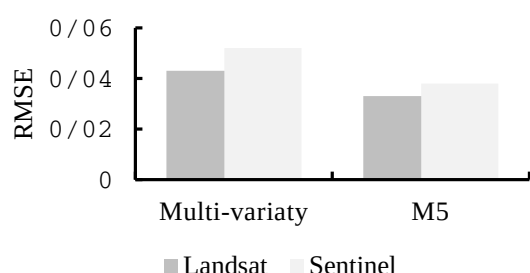
تعداد به بالا میزان خطا به ۰/۳۶ رسیده که در نهایت در رابطه‌ای با متغیرهای بالاتر میزان خطا ثابت مانده است. در ماهواره سنتینل ۲ میزان خطا از ۰/۰۵۹ تا ۰/۰۳۸ تا ۷ متغیر، روند کاهشی داشته و از این تعداد به بالا میزان خطا به ۰/۰۳۸ رسیده که در نهایت در رابطه‌ای با متغیرهای بالاتر میزان خطا ثابت مانده است.

این نتایج در گزارشی از پژوهش قربانی و همکاران (۲۰۲۲) و قربانی و همکاران (۱۴۰۰) مشاهده شده است. در مسائل رگرسیونی، افزایش تعداد متغیرها باعث پیچیدگی مدل می‌شود. بر این اساس در صورتی‌که افزایش متغیری باعث افزایش قابل توجهی در دقت مدل نشود، بهتر است مدل با تعداد متغیر کمتر ارائه شود. همچنین در بررسی تغییر خطای برآورد تنش آبی در یک رابطه بهینه بین متغیرها، مشخص شد در ماهواره لندست میزان خطا از ۰/۰۵۲ تا ۰/۰۳۳ تا شش متغیر، روند کاهشی داشته و از این

نتایج بررسی برآورد دقت تخمین تنش آبی پنبه

مطابق شکل (۴) مقایسه‌ای بین مدل‌های تخمین رطوبت خاک با معیارهای ارزیابی خطا صورت گرفته است. در بررسی دقت تخمین تنش آبی به دو روش رگرسیون خطی چند متغیره و مدل درختی M5، با توجه به غیرخطی بودن رابطه بین متغیرها، رگرسیون خطی چند متغیره نتایج رضایت‌بخشی را نشان نداد. بطوریکه در هر دو ماهواره لندست و سنتینل ۲ ضریب تعیین بین متغیرها در روش رگرسیون درختی M5 نسبت به رگرسیون خطی چند متغیره

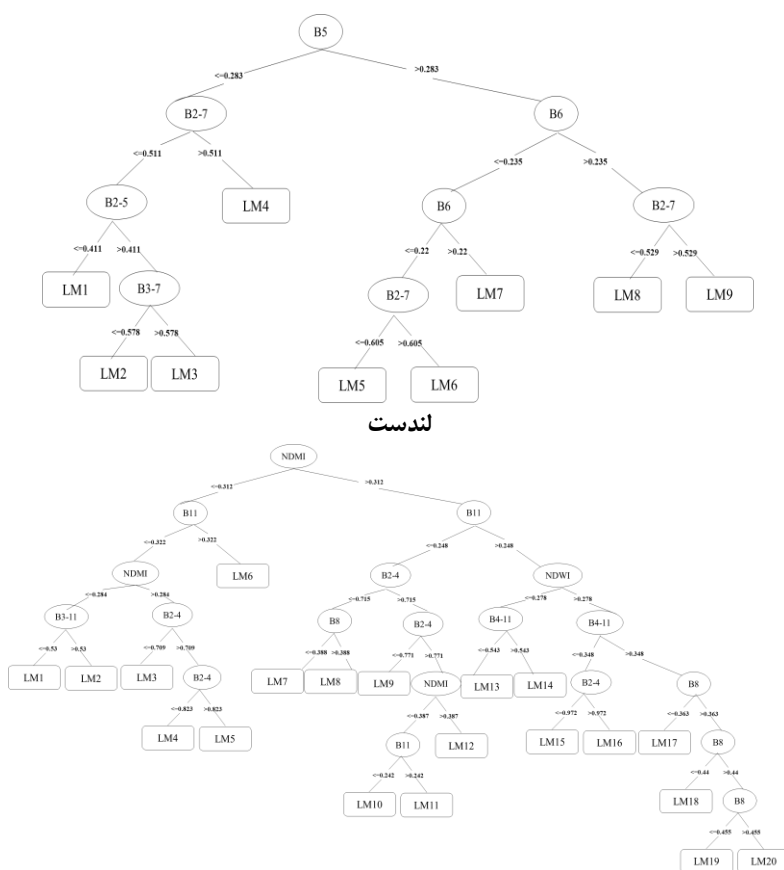
در یک رابطه بهینه به ترتیب ۵۳/۲۶ درصد و ۹۵/۸۸ درصد افزایش داشته است (شکل ۴). لذا روش رگرسیون درختی M5 با دقت بالاتر می‌تواند به‌عنوان یک روش بهینه در تخمین تنش آبی پنبه در نظر گرفته شود. همچنین در مقایسه بین ماهواره لندست و سنتینل ۲ در تخمین تنش آبی با استفاده از مدل درختی M5 این نتیجه حاصل شد که ماهواره لندست ۹ با ضریب تعیین ۷۰/۶ درصد نسبت به ماهواره سنتینل ۲ با ضریب تعیین ۶۷/۶ درصد، ۴/۵۸ درصد متغیر رطوبت خاک را به‌عنوان نماینده‌ای از تنش آبی تخمین می‌زند.



شکل ۴- مقایسه روش‌های رگرسیونی در تخمین تنش آبی پنبه

آبی با شش و هفت متغیر بهینه در نمودار درختی شکل (۵) ارائه شده است.

نحوه تفکیک داده‌ها در ماهواره لندست ۹ و سنتینل ۲ به ترتیب به ۱۶ و ۲۰ زیرمجموعه و روابط رگرسیونی چند متغیره هر یک از آن‌ها برای تخمین تنش



شکل ۵- نمودار درختی پیش‌بینی تخمین تنش آبی با روش رگرسیون درختی M5

نتیجه‌گیری

در این تحقیق قابلیت ماهواره‌های لندست و سنتینل ۲ با استفاده از شاخص‌های گیاهی و باندهای طیفی مستخرج از این ماهواره‌ها جهت تخمین تنش آبی در رابطه با رطوبت سطحی خاک در مزارع شمالی استان گلستان مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل ترکیبی بهینه با استفاده از رابطه رگرسیونی خطی چند متغیره مورد بررسی قرار گرفت. در این روش برای ماهواره لندست در چهار گام با ضریب تعیین ۴۶/۱۳ درصد و برای ماهواره سنتینل ۲ در پنج گام با ضریب تعیین ۳۴/۵۱ درصد بهترین رابطه تخمین زده شد که با توجه به غیرخطی بودن رابطه رطوبت خاک و دیگر متغیرها، نتایج چندان رضایت‌بخشی حاصل نشد. از این رو الگوریتم پیشنهادی بر اساس مدل رگرسیون درخت تصمیم M5 مدلی را با دقت قابل قبول برای ماهواره لندست ۹ و سنتینل ۲ به ترتیب با ضریب تعیین ۷۰/۶ و ۶۷/۶ درصد تخمین زد. این مطلب نشان دهنده این است که داده‌های

حاصل از ماهواره لندست، اختلاف کمتری را بین خروجی واقعی و خروجی تخمین زده شده توسط نشان می‌دهد. دیگر معیارهای ارزیابی خطا در برآورد دقت مدل پیش‌بینی نتایج مشابهی را ارائه دادند. بطوریکه میزان EF که نشان دهنده کارایی مدل هستند نشان داد که روش رگرسیون مدل درختی M5، حاصل از ماهواره لندست، مقادیر برآورد شده را نسبت به مقدار میانگین اندازه‌گیری‌ها، تخمین بهتری را ارائه می‌دهد. در نمودار مقایسه‌ای معیار MBE، ماهواره لندست تقریباً مقادیری نزدیک به صفر دارد که نشان‌دهنده تخمین دقیق‌تری نسبت به ماهواره سنتینل ۲ است. میزان رطوبت خاک به‌عنوان نماینده تنش آبی بر اساس داده‌های ماهواره‌ای لندست و با روش رگرسیون مدل درختی M5 همبستگی خوبی با شاخص‌های گیاهی و امواج طول موج کوتاه مرتبط با رطوبت تاج پوشش گیاهی و همچنین باند مادون قرمز دارد. به دست آوردن اطلاعات قابل اعتماد با اندازه‌گیری میدانی برای مدیران و برنامه‌ریزان کاری زمان‌بر

و هزینه‌بردار است. لذا ارائه این چنین تکنیک‌هایی مانند
مدل‌های تخمین تنش آبی با استفاده از روش‌های
سنجش‌ازدور این امکان را برای بهبود مدیریت درازمدت
منابع آب فراهم می‌کند.

فهرست منابع

۱. ربیعی، س.، و تجربی، م.، ۱۳۹۹. بررسی و ارزیابی تأثیرات رطوبت سطحی خاک بر داده‌های تصاویر چند طیفی ماهواره سنتینل ۲ و ارائه الگوریتمی برای برآورد مقدار رطوبت خاک، دوازدهمین کنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه صنعتی سهند تبریز.
۲. رنجبر، ص.، و آخوندزاده هنزایی، م.، ۱۳۹۸. برآورد رطوبت سطح خاک با استفاده از روش‌های SVR و ANN در تصاویر ماهواره‌های سنتینل ۱ و ۲، نشریه علمی و پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی. سال ۷. شماره ۴. ۲۱۵-۲۳۲.
۳. غفاری، الف.، داوری، ک.، و حسینی، ف.، ۱۳۹۹. توسعه الگوریتم‌های بهبودیافته برای ریز مقیاس‌سازی رطوبت خاک سطحی ماهواره SMAP با استفاده از داده ماهواره‌های نوری/حرارتی، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۲. جلد ۱۴. ۶۶۰-۶۵۰.
۴. فشائی، م.، ثنائی‌نژاد، ح.، و داوری، ک.، ۱۳۹۴. تخمین رطوبت خاک با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس (مطالعه موردی: محدوده دشت مشهد). نشریه آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۹. شماره ۶. ۱۷۴۸-۱۷۳۵. قربانی، خ.، تیموری، ر.، و سالارجزی، م.، ۱۴۰۰. برآورد عملکرد گندم با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در استان گلستان. نشریه هواشناسی کشاورزی (وابسته به انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران). جلد ۹. شماره ۱. ۳۸-۵۲.
5. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome, 300pp.
6. Alvino, A., and Marino, S., 2017. Remote sensing for irrigation of horticultural crops. Journal of Horticulturae.3:40-76.
7. Baret, F., Houlès, V., Guérif, M., 2007. Quantification of plant stress using remotesensing observations and crop models: the case of nitrogen management. Experimental Botany Journal. 58: 869-880.
8. Bhattacharya, B., Price, R.K., and Solomatine, D.P., 2007. Machine learning approach to modeling sediment transport. Hydraulic Engineering Journal. 133:440-450.
9. Brillante, L., Mathieu, O., Lévêque, J., and Bois, B., 2016. Ecophysiological modeling of grapevine water stress in burgundy terroirs by a machine-learning approach. Frontiers in Plant Science Front Journal. 7: 796-899.
10. Caturegli, L., Matteoli, S., Gaetani, M., Grossi, N., Magni, S., Minelli, A., Corsini, G., Remorini, D., and Volterrani, M., 2020. Effects of water stress on spectral reflectance of bermudagrass. Scientific Report Journal. 16:2-14.
11. Dou, Z., Fang, Z., Han, X., Liu, Y., Duan, L., Zeeshan, M., and Arshad, M., 2022. Comparison of the Effects of Chemical Topping Agent Sprayed by a UAV and a Boom Sprayer on Cotton Growth. Agronomy Journal. 12:7-25.
12. Enciso, J., Porter, D., and Peries, X., 2007. Irrigation monitoring with soil water sensors (Spanish). Fact sheet B-6194. College Station, Texas, USA, Texas AgriLife Extension Service, Texas A&M System.
13. GAO B, 1996. NDWI—a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment Journal. 58: 257-266.

14. Gerhards, M., Schlerf, M., Mallick, K., and Udelhoven, T., 2019. Challenges and Future Perspectives of Multi- /Hyperspectral Thermal Infrared Remote Sensing for CropWater-Stress Detection: A Review. *Remote Sensing Journal*.11: 124-138.
15. Ghorbani, K., Salarijazi, M., and Ghahreman, N., 2022. Developing Stepwise m5 Tree Model to Determine the Influential Factors on Rainfall Prediction and to Overcome the Greedy Problem of its Algorithm. *Water Resources Management Journal*. 36:3327-3348.
16. Gonzalez-Dugo, V., L. Testi, F. J., Villalobos, A., Lopez-Bernal, F., Orgaz, P. J., Zarco-Tejada., and Fereres, E., 2020. Empirical Validation of the Relationship between the Crop Water Stress Index and Relative Transpiration in Almond Trees. *Agricultural and Forest Meteorology Journal*. 292:108-128.
17. Huete, A.R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25: 295-309.
18. Ihuoma, S. O., and Madramootoo, C. A., 2017. Recent advances in crop water stress detection. *Computers and Electronics in Agriculture Journal*. 141:267–275.
19. Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J., and Pinter, P.J., 1981. Canopy temperature as acropwater stress indicator. *Water Resources Reaserch Journal*. 17:1133–1138.
20. Lin, L., Chen, J., and CAI, C., 2012. High rate of nitrogen fertilization increases the cropwater stress index of corn under soil drought. *Commun Soil Science Plant Journal*. 43:2865–2877.
21. Lisar, S.Y., Motafakkerazad, R., Hossain, M.M., and Rahman, I.M., 2012. Water stress in plants: Causes, effects and responses. In *Water Stress*; InTech: London, UK.
22. López López. 2014. Water stress index as an indicator of irrigation timing in agricultural.
23. Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., and Tran, L.-S. 2014. Response of plants to water stress. *Frontiers in Plant Science Front Journal*, 5: 325-339.
24. Penuelas, J., Filella, I., Biel, C., Serrano, L., and Save, R., 1993. The reflectance at the950–970 mm region as an indicator of plant water status. *Remote Sens Journal*. 14:1887–1905.
25. Quinlan, J.R., 1992. Learning with continuous classes. In 5th Australian joint conference on artificial intelligence. 343-348.
26. Rapaport, T., Hochberg, U., Shoshany, M., Karnieli, A., and Rachmilevitch, S., 2015. Combining leaf physiology, hyperspectral imaging and partial least squares-regression (PLS-R) for grapevine water status assessment. *Photogrammetry and Remote Sensing Journal*. 109: 88–97.
27. Romero, M., Luo, Y., Su, B., and Fuentes, S., 2018. Vineyard water status estimation using multispectral imagery from an UAV platform and machine learning algorithms for irrigation scheduling management. *Computers and Electronics in Agriculture Journal*. 147:109–117.
28. Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., and Deering, D.W., 1974. Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Greenwave Effect) of Natural Vegetation; NASA/GSFC Type III Final Report. NASA: Greenbelt, MD, USA, GSFC: Greenbelt, MD, USA.
29. Shyamal, S., Virnodkar, Vinod K., and Pachghare, V. C., 2020. Remote sensing and machine learning for crop water stress determination in various crops: a critical review. *Precision Agriculture Journal*, 21:1121–1155.
30. Tanriverdi, C. A., Atilgan, H., and Akyuz, A., 2017. Comparasion of Crop Water Stress Index (CWSI) and Water Deficit Index (WDI) by Using Remote Sensing (RS). *Infrastruktura I Ekologia Terenow Wiejskich*. 3:879-894.
31. Veysi, S., Naseri, A. A., Hamzeh, S., and Bartholomeus, H., 2017. A satellite based crop water stress index for irrigation scheduling in sugarcane fields. *Journal of Agricultural Water Management*, 189, PP. 70–86.
32. Wang, L., and Qu, J.J., 2007. NMDI: A normalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite remote sensing. *Geophysical Research Letters*. 34:20.
33. Yi, Q.X., Bao, A., Wang, Q., and Zhao, J., 2013. Estimation of leaf water content in cottonby means of hyperspectral indices. *Computing Electronic Agriculute Journal*. 90: 144–151.

34. Zarco-Tejada, P. J., Rueda, C. A., and Ustin, S. L., 2003. Water content estimation in vegetation with MODIS reflectance data and model inversion methods. *Remote Sensing of Environment Journal*. 85:109– 124.
35. Zhou, C.J., Zhang, S.W., Wang, L.Q., and Miao, F., 2005. Effect of fertilization on the canopy Temperature of winter wheat and its relationship with biological characteristics. *Acta Ecologica Sinica*. 25: 18–22.

پاسخ گیاه دارویی مریم گلی به آب آبیاری شور مغناطیسی شده

فهیمة کریم پور، مجتبی خوش‌روش*، محمدعلی غلامی سفیدکوهی و وحید اکبرپور

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

karimpour.fahim@gmail.com

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

khoshhravesh_m24@yahoo.com & m.khoshhravesh@sanru.ac.ir

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

magholamis@yahoo.com

استادیار گروه باغبانی، دانشکده علوم زارعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

v_akbarpour60@yahoo.com

دریافت: خرداد ۱۴۰۲ و پذیرش: دی ۱۴۰۲

چکیده

بخش کشاورزی بیش‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین در جهان است. از این رو یافتن جایگزین مناسب برای آب شیرین مورد استفاده در کشاورزی می‌تواند راهگشای مشکلات مرتبط با بحران آب در آینده باشد. کاربرد آب شور با استفاده از راهکارهای مناسب می‌تواند یک گزینه برای آبیاری گیاهان متحمل به شوری باشد. یکی از این راهکارها ممکن است مغناطیسی کردن آب آبیاری باشد. در پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر وزن تر و خشک و اسانس گیاه دارویی مریم گلی، یک آزمایش گلدانی در فضای باز به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل شوری آب آبیاری تهیه شده از غلظت‌های مختلف آب دریا (اختلاف ۳۰٪، ۵۰٪، ۷۰٪ و ۱۰۰٪ آب دریای خزر) و یک تیمار شاهد (آب چاه) در دو حالت مغناطیسی و غیر مغناطیسی بود. به دلیل بارندگی در طول فصل رشد، در پایان آزمایش شوری عصاره اشباع خاک متناظر با تیمار شاهد و اختلاف ۳۰٪، ۵۰٪، ۷۰٪ و ۱۰۰٪ آب دریای خزر به ترتیب ۳/۱۵ (I0)، ۳/۶۵ (I1)، ۴/۵۵ (I2)، ۴/۷۵ (I3) و ۵/۰۶ (I4) دسی زیمنس بر متر بود. نتایج نشان داد که تیمار I4 وزن خشک و تر گیاه را به ترتیب ۴۰٪ و ۲۵٪ کاهش داد اما در مورد تأثیر آب مغناطیس شده نتایج بیانگر آن بود که در تیمارهای شوری با عصاره اشباع خاک کمتر از ۳/۶۵ دسی زیمنس بر متر (تیمارهای I0 و I1) استفاده از آب مغناطیسی از کاهش معنی‌دار وزن بوته‌های گیاه مریم گلی جلوگیری کرد. همچنین آبیاری با تیمارهای مختلف شوری و آب مغناطیسی تغییرات معنی‌داری در اسانس گیاه مریم گلی نداشت. بر مبنای نتایج این تحقیق توصیه می‌شود که مدیریت آبیاری گیاه مریم گلی با استفاده از آب شور مغناطیسی به نحوی انجام گیرد تا در طول فصل رشد شوری عصاره اشباع خاک بیشتر از ۳/۶۵ دسی زیمنس بر متر نباشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری با آب دریا، اسانس مریم گلی، شوری عصاره اشباع خاک

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: khoshhravesh_m24@yahoo.com & m.khoshhravesh@sanru.ac.ir

مقدمه

آب بدلیل ویژگی‌های دو قطبی، حلال خوبی برای مواد بیولوژیک است. تأثیر مغناطیس بر روی آب به‌طور اتفاقی توسط دانشمندان روسی مشاهده شد به‌طوری‌که با اعمال این انرژی می‌توان آب ساده را به مایعی با اثرات شیمیایی خاص تبدیل کرد، اصطلاحاً آب از حالت یونی به‌صورت ذرات معلق میکرونی در می‌آید و باعث تغییر و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی آن می‌شود (کاسترو پالاسیو و همکاران، ۲۰۰۷). هیگاشیتانی و همکاران (۱۹۹۳) به بررسی اثر میدان مغناطیسی بر مراحل ته‌نشینی کربنات کلسیم و سولفات کلسیم پرداختند و دریافتند که اگر آب به‌دفعات زیاد تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار گیرد، تشکیل آراگونیت افزایش می‌یابد. تکنولوژی آب مغناطیسی بر مبنای برهمکنش میدان مغناطیسی و یون‌های آب توجیه می‌شود به‌این‌ترتیب که وقتی آب از میدان مغناطیسی عبور داده می‌شود، در سطح یون‌های مثبت و منفی بار الکتریکی القا می‌شود و در نتیجه به‌جای اینکه یون‌های با بار مخالف یکدیگر را جذب کنند، همدیگر را دفع می‌کنند که موجب کاهش تعداد مولکول‌ها در حلقه‌های مولکولی آب‌شده و این امر منجر به کاهش کشش سطحی و افزایش حلالیت آب مغناطیسی می‌شود (محمدیان و همکاران، ۱۳۹۵). گیلانی و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که آب مغناطیسی در برابر آب معمولی کارایی بهتری در زمینه‌های کشاورزی دارد. مغناطیس کردن آب باعث کاهش گرمای ویژه و نقطه‌جوش می‌شود همچنین خواص دیگری مانند وزن مخصوص، کشش سطحی، ویسکوزیته، قابلیت هدایت الکتریکی و قدرت حلالیت نیز تغییر می‌کند. رئیسی و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از فناوری آبیاری مغناطیسی می‌توان از شور شدن خاک جلوگیری کرد. برای سال‌های متمادی، از آب مغناطیسی برای شسته شدن یون‌های خاصی از خاک استفاده شده که نتایج رضایت‌بخشی را به همراه داشته است (نیاز و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین چندین مطالعه نشان داد که آبیاری محصولات کشاورزی با آب مغناطیسی باعث بهبود

رشد و تولیدات گیاهان می‌شود (ژو و همکاران، ۲۰۲۲؛ آلاتار و همکاران، ۲۰۲۲). تورکر و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی از تأثیر میدان مغناطیسی بر افزایش وزن خشک ریشه گیاه ذرت و آفتابگردان خبر دادند. نیرپور دیزج (۱۳۹۶) دریافت که استفاده از آب مغناطیسی در آبیاری گیاه دارویی مرزه موجب افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی و ارتفاع گیاه نسبت به آبیاری با آب معمولی شده است. همچنین نتایج پژوهش صادقی‌پور و آقایی (۱۳۹۳) نشان داد که آبیاری با آب مغناطیسی از طریق بهبود شرایط رشد گیاه باعث افزایش عملکرد گیاه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی شد. شاهدهی و همکاران (۱۳۹۹) با بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر جوانه‌زنی بذر و خصوصیات رشد گیاه اسفناج در شرایط کم‌آبیاری به این نتیجه رسیدند که استفاده از آب مغناطیسی باعث افزایش عملکرد گیاه اسفناج و کاهش اثرات منفی ناشی از کم‌آبیاری می‌شود. متانت و همکاران (۱۳۹۷) اثر شدت‌های مختلف آب مغناطیسی بر عملکرد گیاه تربچه را بررسی کردند. به‌طورکلی نتایج نشان داد که آب مغناطیسی اثرات معنی‌دار و مثبتی بر فاکتورهای مورد مطالعه داشته است؛ همچنین تغییر در شدت میدان مغناطیسی نیز می‌تواند تأثیرات متفاوتی بر جای بگذارد. ایسا و همکاران (۲۰۱۶) طی پژوهشی دریافتند که آبیاری بوته‌های خیار با آب مغناطیسی باعث ایجاد اختلاف معنی‌دار در سطح برگ به میزان ۳۰ درصد و تعداد میوه در بوته به میزان ۲۲ درصد شد. نتایج پژوهش زلوتوپولسکی (۲۰۱۷) نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی باعث افزایش معنی‌دار میزان محصول و غلظت عناصر میکرو و ماکرو در گیاه کاهو شد. توسعه گیاهان دارویی با منشأ طبیعی در سال‌های اخیر رشد زیادی داشته است و کشورهای آسیایی به‌ویژه چین به‌دلیل تنوع آب و هوایی تأمین‌کننده‌های اصلی گیاهان و کشورهای اروپایی، آمریکایی و برخی از کشورهای آسیایی تولیدکننده عمده داروهای گیاهی محسوب می‌شود.

مریم‌گلی (*L. officinalis* S) گیاهی بوته‌ای مقاوم به شوری به ارتفاع ۲۰ تا ۶۰ سانتی‌متر است و دارای

بیش از ۹۰۰ گونه است. این گیاه ۵۸ گونه علفی یک‌ساله و چندساله دارد که ۱۷ گونه آن بومی ایران است (مظفریان، ۱۳۷۵). این گیاه با ارزش‌ترین نوع دارویی تیره نعناع و دارای اختصاصات درمانی مهم با اثر قاطع است. برگ آن به علت دارا بودن اسانس دارای اثر نیروبخش است. برگ‌های آن حاوی دیترپن^۱، سالوین^۲، پیکروسالوین^۳ عصاره‌های تلخ و تانن‌ها است (سلیم‌پور و همکاران، ۱۳۹۲). دریای خزر با حجم بالغ بر ۷۷۰۰۰ کیلومتر مکعب (درویش‌زاده، ۱۳۸۲) و غلظت نمک ۱۴ میلی‌گرم بر لیتر که در حدود یک سوم غلظت دریا‌های آزاد (۳۵ الی ۴۰ میلی‌گرم در لیتر) است (چنگیزی و چنگیزی، ۱۳۹۱)، می‌تواند یک منبع آب مناسب برای توسعه برخی محصولات دارویی مقاوم به شوری باشد. یکی از کاربردهای مهم آب مغناطیسی، اصلاح خاک‌ها با کمترین میزان استفاده از مواد شیمیایی است (هزرو، ۱۹۸۹؛ دوبلوسکی، ۱۹۹۳).

با توجه به اهمیت دارویی و تجاری گیاه مریم‌گلی و وجود اراضی نسبتاً شور در سواحل دریای خزر، بررسی امکان استفاده از آب شور مغناطیس شده در اراضی ساحلی بر رشد این گیاه، اهمیت ویژه‌ای در استفاده از آب‌های نامتعارف دارد. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری (تهیه‌شده با آب دریا) و آبیاری مغناطیسی بر روی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی مریم‌گلی و شوری خاک انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش گلدانی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌منظور بررسی تأثیر آب مغناطیس

شده دریا و اختلاط یافته بر رشد گیاه دارویی مریم‌گلی انجام شد. بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی دشت ناز، متوسط بارندگی منطقه، ۷۸۹ میلی‌متر بر سال و متوسط دمای هوا ۱۷/۵ درجه سلسیوس است. میزان تحمل به شوری گیاه مریم‌گلی قبلاً توسط اصلانی و رزمجو (۲۰۱۸) بررسی شده است. ایشان دریافتند در غلظت‌های شوری آب آبیاری بیشتر از ۱۲/۳ دسی زیمنس بر متر این گیاه دچار تنش شده و عملکرد آن کاهش می‌یابد. لذا در این پژوهش از گیاه مریم‌گلی استفاده شد. بذره‌های مریم‌گلی در تاریخ دوم اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۷ در ظرف نشا کاشته شد و پس از چهار برگی شدن، نشاها به گلدان‌هایی به قطر ۱۵ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر انتقال یافتند و تعداد سه بوته در هر گلدان استفاده شد. با توجه به اینکه مریم‌گلی یک گیاه دارویی چندساله است اما در این پژوهش از برداشت سال اول این گیاه استفاده شد. خاک گلدان‌ها از قسمت سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) مزرعه‌ی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری واقع در منطقه‌ی سوته با بافت لومی، تهیه و پس از خشک‌کردن از الک چهار میلی‌متری گذرانده شد و به‌صورت دستی در گلدان‌ها اضافه شد. اعمال شوری زمانی که گیاه مریم‌گلی به چهار برگی رسید (۲۱ تیرماه)، انجام شد. آب دریا نیز از سواحل گوهر باران ساری تأمین شد که شوری آن در حدود ۲۰/۳ دسی زیمنس بر متر بدست آمد. به‌منظور تهیه نمونه خاک گلدان‌ها، با استفاده از اوگر از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر از پنج نقطه از مزرعه برداشت و پس از ترکیب این خاک‌ها، خصوصیات آن در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد که در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

عمق (سانتی‌متر)	بافت خاک	چگالی ظاهری (g.cm ⁻³)	هدایت الکتریکی (dS/m)	pH	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
۲۰-۰	لومی	۱/۳	۳	۷/۱۱	۳/۲۷	۲۶/۱۴	۱/۰۵

دو سطح (مغناطیسی (M1) و غیر مغناطیسی (M2)) و نوع آبیاری با پنج سطح (۱۰۰ درصد آب دریا

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با تیمارهای آزمایش روش آبیاری (M) شامل

³ - Picrosalvin

¹ - Diterpene

²- Salvin

آبان) که در این مدت دور آبیاری بین سه تا چهار روز متغیر بود که البته با در نظر گرفتن میزان بارش جوی در مجموع حدوداً ۳۰ بار آبیاری انجام شد. برای دستیابی به داده‌های واقعی بارش از داده‌های ایستگاه هواشناسی دشت ناز ساری که نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی هم اقلیم با محل انجام آزمایش بود استفاده شد. بررسی این داده‌ها نشان داد که طی دوره رشد گیاه در مجموع ۲۳۱/۶ میلی‌متر بارش جوی به وقوع پیوست که در جدول ۲ زمان و میزان وقوع بارش نشان داده شده است.

جدول ۲- مقدار و زمان بارش‌های جوی دوره رشد بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی دشت ناز ساری

ردیف	تاریخ	مقدار آبیاری (میلی‌متر)
۱	۳۰ تیر تا ۲ مرداد	۶/۹
۲	۲۰ تا ۲۲ مرداد	۱۰/۲
۳	۲۸ مرداد	۶/۲
۴	۲۸ تا ۲۹ شهریور	۶/۴
۵	۲ مهر	۱۰
۶	۱۳ تا ۱۴ مهر	۱۰/۸
۷	۲۱ تا ۲۴ مهر	۳۵/۹
۸	۵ آبان	۳۸
۹	۱۰ تا ۱۱ آبان	۳/۱
۱۰	۱۵ تا ۱۶ آبان	۳/۱
۱۱	۲۲ تا ۲۳ آبان	۰/۵
۱۲	۲۷ تا ۲۸ آبان	۳/۳

($EC=20.3 \text{ dS m}^{-1}$)، اختلاط ۷۰ درصد آب دریا و چاه
 ($EC=14.2 \text{ dS m}^{-1}$)، اختلاط ۵۰ درصد آب دریا و چاه
 ($EC=10.14 \text{ dS m}^{-1}$)، اختلاط ۳۰ درصد آب دریا و چاه
 ($EC=6.1 \text{ dS m}^{-1}$) و ۱۰۰ درصد آب چاه، در سه تکرار انجام شد. شوری عصاره اشباع خاک متناظر با تیمار شاهد، اختلاط ۳۰٪، ۵۰٪، ۷۰٪ و ۱۰۰٪ آب دریای خزر به ترتیب ۳/۱۵ (I0)، ۳/۶۵ (I1)، ۴/۵۵ (I2)، ۴/۷۵ (I3) و ۵/۰۶ (I4) دسی‌زیمنس بر متر بود. همچنین طول دوره اعمال تیمارهای آبیاری در حدود ۱۳۰ روز بوده (۲۱ تیرماه تا ۲۹

تعیین شوری خاک پس از اتمام دوره رشد، در ابتدا خاک با استفاده از آب مقطر به حالت اشباع در آمد و سپس با دستگاه عصاره‌گیر اشباع، عصاره گل اشباع جدا و با دستگاه EC متر، مقدار شوری اندازه‌گیری شد (واروی پور، ۱۳۸۹). برای گرفتن اسانس مریم‌گلی، ابتدا نمونه‌ها در دمای ۳۵ درجه آون به مدت ۴۸ ساعت خشک‌شده و مقدار ۳۵ گرم نمونه خشک برای تمامی تیمارها در نظر گرفته شد. سپس نمونه‌ها با استفاده از دستگاه آسیاب به‌صورت پودر در آمد و به بالن کلونجر منتقل شد (شکل ۱) و به نسبت ۱ به ۲۰ با آب مقطر (۷۰۰ میلی‌لیتر) مخلوط گردید. مدت‌زمان لازم برای گرفتن اسانس مریم‌گلی سه ساعت در نظر گرفته شد (مشت‌زن و همکاران، ۱۴۰۱). برای شستن اسانس جدا شده لوله کلونجر در انتهای کار با استفاده از سه سی‌سی هگزان شسته شد و اسانس به همراه هگزان و کمی

برای ایجاد میدان مغناطیسی، از آهنربای دائمی استفاده شد و مگنت‌هایی به دور لوله و در خروجی منبع آب نصب شدند. مگنت‌های مورد استفاده (Big Magnet)، مغناطیس‌هایی از جنس سرامیک دائم بوده که با اعمال میدان مغناطیسی با قدرت مناسب، با جهت تحریک معین، ساختار سیال و خواص فیزیکی آن را تغییر می‌دهد. قدرت میدان مغناطیسی بکار برده شده در این پژوهش برابر ۰/۳ تسلا بود. در این پژوهش از برداشت سال اول گیاه مریم‌گلی استفاده شد که برداشت نمونه‌ها به‌منظور اندازه‌گیری وزن تر و خشک در تاریخ ۲۹ آبان ماه انجام شد.

برای اندازه‌گیری وزن تر ابتدا زیست‌توده بالای خاک جدا شده و با دقت ۰/۰۰۱ گرم، نمونه‌ها وزن شدند. به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک، گیاه به آون با دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت منتقل شد و برای

آزمایشی روش و نوع آبیاری و همچنین اثرات متقابل روش و نوع آبیاری را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، اثر روش و نوع آبیاری و همچنین اثرات متقابل این دو بر شوری خاک و وزن تر و خشک گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. علاوه بر این نتایج حاکی از آن است که روش و نوع آبیاری و اثرات متقابل آن‌ها بر تغییر اسانس گیاه مریم‌گلی تأثیر معنی‌داری ندارد.

عرق مریم‌گلی به فریزر با دمای ۲۰- درجه انتقال یافت و پس از ۲۴ ساعت، نمونه با استفاده از سمپلر اسانس، هگزان از آن جدا شد (برنستین و همکاران، ۲۰۰۹).

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها نرم‌افزار SAS ویرایش ۹/۲ به کار گرفته شد. همچنین از آزمون Duncan برای مقایسه میانگین تیمارها استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس تیمارهای



شکل ۱- اسانس‌گیری مریم‌گلی با دستگاه کلونجر

جدول ۳- تجزیه واریانس روش و نوع آبیاری و اثرات متقابل آن‌ها بر پارامترهای مورد بررسی

منابع	درجه آزادی	میانگین مربعات			اسانس
		شوری خاک	وزن تر	وزن خشک	
روش آبیاری	۱	۲/۰۵۳**	۰/۹۹۲*	۲/۵۲۸**	۰/۰۰۰۳ ^{NS}
نوع آبیاری	۴	۱/۹۹۰**	۲/۸۳۷**	۵/۲۹۷**	۰/۰۰۲۶ ^{NS}
روش آبیاری × نوع آبیاری	۴	۰/۰۱۹**	۰/۲۱۲**	۱/۳۶۶**	۰/۰۰۷۰ ^{NS}
خطای آزمایش	۲۰	۰/۰۲۳	۰/۳۹۱	۰/۰۱۲	۰/۰۲۵
کل	۲۹	-	-	-	-

* معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و ^{NS} عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد

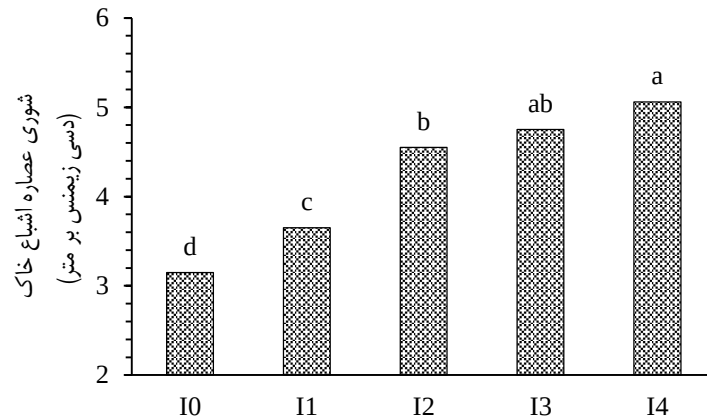
تأثیر نوع آبیاری بر شوری خاک

اندازه‌گیری شوری عصاره اشباع خاک در پایان فصل رشد نشان داد که به دلیل رخداد بارندگی در طول فصل رشد، شوری عصاره اشباع خاک متناظر با تیمار شاهد، اختلاط ۳۰٪، ۵۰٪، ۷۰٪ و ۱۰۰٪ آب دریای خزر به ترتیب ۳/۱۵ (I0)، ۳/۶۵ (I1)، ۴/۵۵ (I2)، ۴/۷۵ (I3) و ۵/۰۶ (I4) دسی‌زیمنس بر متر بود. بر اساس این شکل، بین استفاده از آب چاه (I0) بر شوری باقیمانده در خاک در

آبیاری گیاه مریم‌گلی با سایر تیمارهای آبیاری اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($p \leq 0.01$)، به‌طوری‌که هدایت الکتریکی خاک، افزایش ۶۰ درصدی به‌همراه داشت و از ۳/۱۵ دسی‌زیمنس بر متر به ۵/۰۶ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که اختلاف شوری بین تیمارهای I3 و I4 و تیمارهای I2 و I3 معنی‌دار نبود، ولی در سایر موارد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در این پژوهش، اختلاف بین

اختلافی معادل ۰/۲ دسی‌زیمنس بر متر شوری داشتند که معنادار نبود. همچنین اختلاف شوری ۰/۲۶ دسی‌زیمنس بر-متر بین تیمارهای I3 و I4 معنادار نشان نداد.

تیمار I0 و تیمار I1 نزدیک به ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر به-دست آمد که معنادار بود و اختلاف تیمارهای آبیاری در تیمارهای I1 و I2 نزدیک به ۰/۹ دسی‌زیمنس بر متر بود که این اختلاف نیز معنادار شد؛ اما تیمارهای I2 و I3

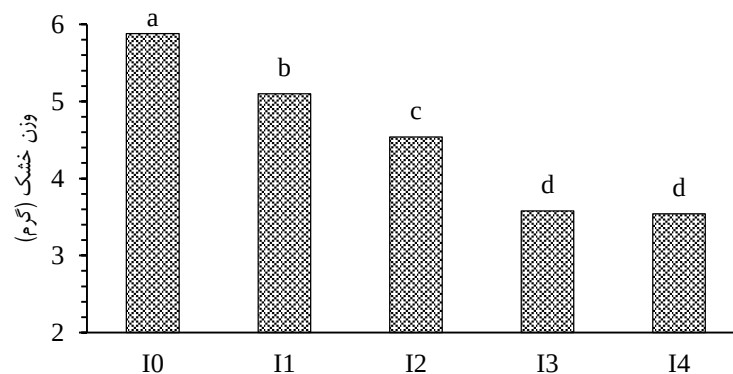


شکل ۲- شوری نهایی خاک (متأثر از شوری آب آبیاری و بارندگی) در تیمارهای مختلف نوع آبیاری

گرم بود؛ بنابراین استفاده از تیمار I4 در آبیاری گیاه مریم‌گلی باعث کاهش ۴۰ درصدی وزن خشک گیاه شد که دلیل آن تأثیر تنش شوری بر رشد گیاه مریم‌گلی است. البته در مورد وزن خشک گیاه نیز همانند شوری خاک در غلظت‌های کمتر آب دریا سرعت کاهش وزن خشک شدیدتر بوده و به نظر در استفاده بیشتر از I3، وزن خشک تغییر معناداری ندارد که ممکن است به دلیل سازگاری گیاه با شرایط تنش شوری باشد. کاهش وزن خشک اندام هوایی و عملکرد دانه گیاه کینوا در آبیاری با آب شور در پژوهشی توسط بکر و همکاران (۲۰۱۷) مورد تأیید قرار گرفت و نشان دادند که این کاهش در شرایط تنش دمایی تشدید می‌یابد.

تأثیر نوع آبیاری بر وزن خشک گیاه مریم‌گلی

مهم‌ترین اثر استفاده از آب دریا در آبیاری گیاه مریم‌گلی را می‌توان تأثیر بر وزن خشک گیاه به دلیل ایجاد تنش شوری نامید که در شکل ۳ وزن خشک گیاه در بوته در تیمارهای مختلف آبیاری نشان داده شده است. بر اساس نتایج این شکل همه تیمارهای نوع آبیاری کاهش معنی‌داری در وزن خشک گیاه نسبت به تیمار شاهد نشان دادند. همچنین اختلاف وزن خشک گیاه مریم‌گلی در تیمارهای مختلف آبیاری (به جز تیمار I3 و I4) با یکدیگر معنادار بود؛ که بیش‌ترین وزن خشک مربوط به تیمار I0 با مقدار ۵/۸۸ گرم و کم‌ترین مقدار مربوط به تیمار I4 با مقدار ۳/۵۴

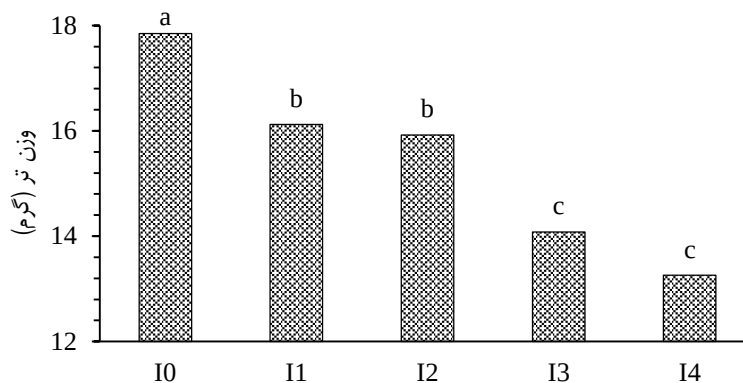


شکل ۳- وزن خشک گیاه مریم‌گلی در تیمارهای مختلف نوع آبیاری

تأثیر نوع آبیاری بر وزن تر مریم گلی

در تیمارهای نوع آبیاری نیز همان گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، وزن تر گیاه مریم گلی کاهش معنی دار نسبت به وضعیت شاهد را تجربه نموده که به دلیل تنش شوری بر زیست توده این گیاه است. البته اختلاف تیمارهای I1 و I2 و همچنین I3 و I4 با یکدیگر معنی دار نشد. بیشترین وزن تر مربوط به تیمار شاهد و کمترین آن

مربوط به تیمار I4 بود. به طوری که استفاده از آب دریا به طور خالص در آبیاری این گیاه کاهش حدوداً ۳۰ درصدی وزن تر را به همراه داشت که با یافته های فرهادی و همکاران (۱۳۹۳) در مورد گیاه آفتابگردان مطابقت دارد. به علاوه قربانی و جلالی (۱۴۰۰) با بررسی تأثیر آبیاری با آب دریای خزر بر عملکرد کینوا رقم ساجاما در شرایط آب و هوایی گرگان، دریافتند که آبیاری با آب شور منجر به کاهش عملکرد گیاه در مقایسه با آبیاری با آب چاه می شود.



شکل ۴- وزن تر گیاه مریم گلی در تیمارهای مختلف نوع آبیاری

تأثیر روش آبیاری (مغنطیس و غیرمغنطیس) بر

پارامترهای مورد بررسی

در ادامه پژوهش حاضر، هر یک از ترکیبات مختلف آب دریا و چاه (چهار نوع تیمار آبیاری) در قالب دو روش آبیاری مغنطیسی و غیرمغنطیسی مورد بررسی قرار گرفتند؛ بنابراین علاوه بر نوع آبیاری، تأثیر روش آبیاری نیز بر میزان شوری خاک، وزن تر و خشک گیاه ارزیابی شد که این نتایج در جدول ۴ آورده شده است. بر اساس نتایج، تأثیر مغنطیس و غیرمغنطیس بودن روش آبیاری بر میزان شوری خاک و وزن تر و خشک گیاه معنی دار شد ($P \leq 0.01$). نتایج حاکی از آن است که آبیاری با آب مغنطیسی باعث کاهش معنی دار ۱۳ درصدی شوری خاک شده است (جدول ۴). در مورد تغییر وزن تر و خشک گیاه، نتایج نشان داد که آبیاری مغنطیسی افزایش معنادار وزن تر و خشک را به همراه دارد به طوری که در آبیاری مغنطیسی افزایش ۱۶ درصدی وزن خشک و افزایش سه درصدی وزن تر را به همراه داشت (جدول ۴). عبور آب

از میدان مغنطیس، سبب شکسته شدن پیوندهای هیدروژنی و واندروالسی بین مولکول های آب شده و در نتیجه کشش سطحی آب کاهش یافته و حلالیت آب افزایش یافته و املاح معدنی مورد نیاز گیاه در آب به خوبی حل شده و باعث افزایش کمیت محصول می شود. مغنطیس یا غیرمغنطیس بودن آب آبیاری تأثیر معناداری (در حد ۹۵ درصد) بر افزایش یا کاهش اسانس این گیاه نداشت. در مطالعات مشابه حسن (۲۰۱۴) دریافت که استفاده از میدان مغنطیسی برای آبیاری گیاه دارویی گل همیشه بهار، بر روی پارامترهای رشد این گیاه شامل طول برگ، طول و قطر ریشه و وزن خشک گیاه اثر مثبت دارد. همچنین عابدین پور و روحانی (۱۳۹۵) و خوش روش و همکاران (۱۴۰۰) اثر میدان مغنطیسی بر آب آبیاری با آب شور و پساب مغنطیسی بر اجزای عملکرد ذرت را بررسی کرده و دریافتند که این روش تأثیر مثبتی بر شاخص های رشد و عملکرد ذرت دارد.

جدول ۴- اثر ساده روش‌های آبیاری بر میزان شوری خاک و وزن تر و خشک گیاه

روش آبیاری	شوری خاک (دسی‌زیمنس بر متر)	وزن تر (گرم بر بوته)	وزن خشک (گرم بر بوته)	اسانس (۱/۵ سی‌سی در ۱۰۰ گرم)
مغناطیس	۳/۹۰ ^b	۱۳/۸۴ ^a	۴/۷۸ ^b	۱/۳۰۸ ^a
غیر مغناطیس	۴/۴۹ ^a	۱۳/۴۳ ^b	۴/۱۳ ^a	۱/۳۰۰ ^a

اعداد دارای حروف یکسان در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری ندارد

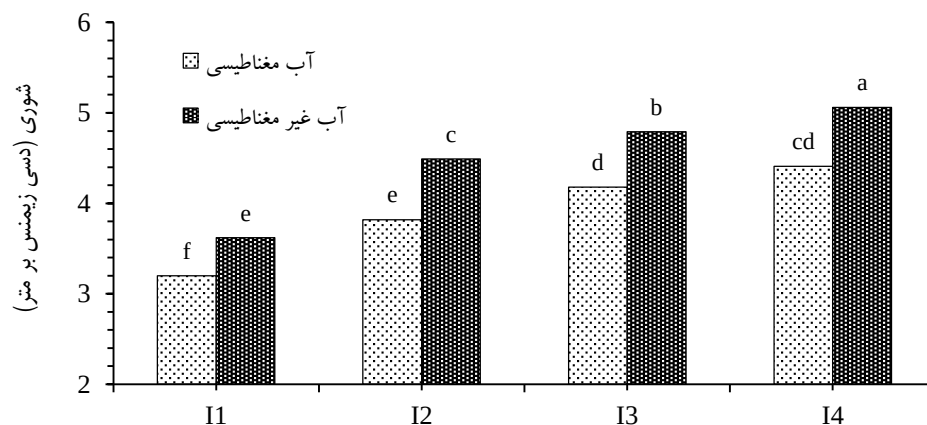
اثرات متقابل نوع آبیاری و روش آبیاری بر صفات مورد

مطالعه

اثرات متقابل نوع آبیاری و روش آبیاری بر شوری خاک

نتایج اثرات متقابل نوع و روش آبیاری در شکل ۵ نشان داده شده است. بر اساس نتایج این شکل در هر چهار تیمار مورد بررسی آبیاری، اختلاف بین آبیاری مغناطیس و غیرمغناطیس معنادار است. به عبارتی در یک تیمار آبیاری مشخص که مخلوطی از آب دریا و چاه است استفاده از آب مغناطیس نسبت به آب غیرمغناطیس باعث کاهش معنادار شوری خاک شده است. با توجه به شکل ۵ بیشترین میزان شوری مربوط به تیمار غیرمغناطیس I4 بوده که مقدار آن ۵/۰۶ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد. پس از آن تیمار غیرمغناطیس I3 دارای بیشترین شوری به مقدار ۴/۷۹ دسی‌زیمنس بر متر است. به علاوه نتایج نشان می‌دهد که بین تیمار مغناطیس I2 و I3 اختلاف معناداری وجود دارد که اختلاف آن در حدود ۰/۳۱ دسی‌زیمنس بر متر است اما بین دو تیمار مغناطیس I3 و تیمار غیرمغناطیس I2 اختلاف معناداری وجود ندارد. در مورد غلظت‌های بالای آب دریا، بین تیمار مغناطیس I4 و دو تیمار مغناطیس I3 و غیرمغناطیس I2 اختلاف معناداری وجود نداشت.

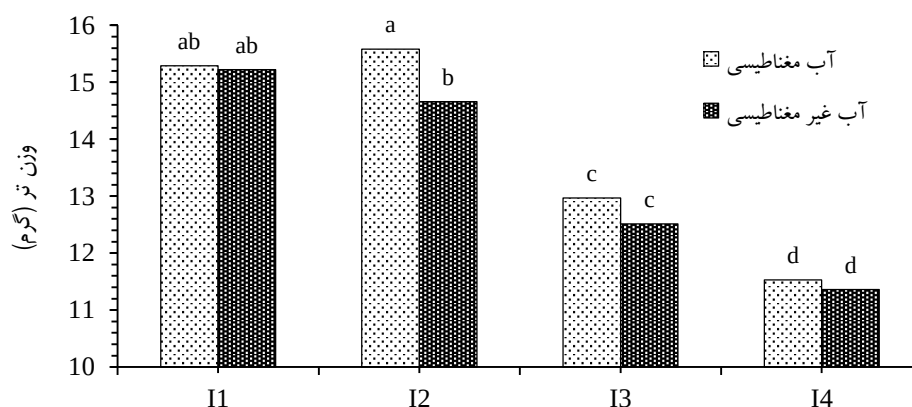
به عبارتی دیگر در صورت عدم دسترسی به آب شیرین کافی برای اختلاط ۳۰ درصد آب دریا با ۷۰ درصد آب چاه می‌توان ۵۰ درصد آب دریا را با ۵۰ درصد آب چاه مخلوط کرده و با مغناطیسی کردن آب به همان کیفیت ۳۰-۷۰ رسید. در نهایت کم‌ترین میزان شوری مربوط به تیمار مغناطیس I1 با مقدار ۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. همچنین خوش‌روش و کیانی (۱۳۹۴) در بررسی اثر آب شور مغناطیسی شده بر نفوذپذیری و هدایت الکتریکی بافت‌های مختلف خاک، دریافتند که استفاده از آب مغناطیس باعث کاهش معنی‌دار (سطح احتمال یک درصد) هدایت الکتریکی در عمق‌های مختلف خاک می‌شود. همچنین شاهنظری و شیرازی (۱۳۹۵) نیز دریافتند که آبیاری مغناطیسی باعث افزایش سرعت نفوذ آب در بافت‌های مختلف خاک شده و هدایت الکتریکی خاک را در عمق‌های مختلف خاک کاهش می‌دهد. به علاوه سرباستاوا و همکاران (۱۹۷۶) نیز با بررسی قابلیت حل نمک‌های مختلف در آب مغناطیسی دریافتند که استفاده از آب مغناطیسی باعث افزایش کیفیت آب آبیاری و بهبود خصوصیات خاک می‌شود.



شکل ۵- اثر متقابل نوع آبیاری و روش آبیاری بر میزان شوری خاک

دو حالت آب مغناطیس و غیرمغناطیس اختلاف وزن تر معنادار نشد؛ اما تیمارهای I3 و I4 با یکدیگر اختلاف معنادار داشتند. با توجه به شکل ۶ می‌توان مشاهده کرد که بیش‌ترین و کم‌ترین وزن تر به ترتیب مربوط به تیمارهای آزمایشی I1 و I4 است. در مجموع می‌توان گفت در غلظت‌های برابر آب دریا، آبیاری مغناطیسی تأثیری بر افزایش وزن تر گیاه مریم‌گلی ندارد.

اثرات متقابل نوع و روش آبیاری بر وزن تر گیاه مریم‌گلی
شکل ۶ اثرات متقابل نوع و روش آبیاری بر وزن تر گیاه مریم‌گلی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این شکل در همه تیمارهای مورد بررسی به جز تیمار I3 بین آب مغناطیس و غیرمغناطیس اختلاف معناداری در وزن تر گیاهان مشاهده نشد. همچنین بین تیمارهای I1 و I2 در هر



شکل ۶- اثر متقابل نوع آبیاری و روش آبیاری بر وزن تر گیاه مریم‌گلی

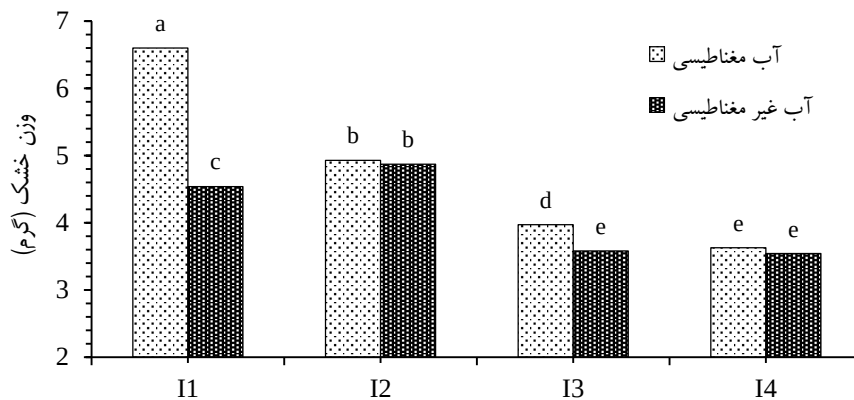
اختلاف وزن خشک در آبیاری مغناطیسی و غیرمغناطیسی معنادار بوده که در مورد تیمار I1، اختلاف بیشتری در وزن خشک گیاه بین آبیاری مغناطیسی و غیرمغناطیسی وجود دارد. بیش‌ترین وزن خشک مشاهده شده به ازای هر بوته در کل تیمارهای مورد بررسی ۶/۶ گرم بود که مربوط به تیمار I1 در حالت مغناطیس است و کم‌ترین مقدار به ازای هر بوته ۳/۵ گرم بوده که در تیمار غیرمغناطیس I4 مشاهده

اثرات متقابل نوع و روش آبیاری بر وزن خشک گیاه مریم‌گلی

در مورد اثر متقابل آبیاری مغناطیسی و غلظت-های مختلف آب دریا بر وزن خشک گیاه، همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است، آبیاری مغناطیسی و غیرمغناطیسی اثر معناداری در تغییرات وزن خشک تیمارهای I2 و I4 نداشته است؛ اما در تیمارهای I3 و I1

گیاه در آبیاری با آب مغناطیسی را گزارش کردند. همچنین عثمان و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که اثر آبیاری با استفاده از آب مغناطیسی بر گیاهچه گلایی در شرایط استفاده از سطوح مختلف غلظت آب دریا، با افزایش شوری، وزن تر و خشک گیاه کاهش می‌یابد که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

شد. به نظر می‌رسد که تأثیر آبیاری مغناطیسی در کاهش اثرات سوء تنش شوری ناشی از آب دریا بر روی وزن خشک گیاه بیشتر از وزن تر است که این مطلب بیانگر آن است که استفاده از آبیاری مغناطیسی بر فتوسنتز و تولید بیشتر ماده خشک گیاه مریم گلی تأثیر معنادار دارد که جمالی و همکاران (۱۳۹۹) نیز در بررسی تأثیر آب مغناطیسی در شرایط تنش آبی بر گیاه نعنای فلفلی افزایش وزن خشک



شکل ۷- اثر متقابل نوع آبیاری و روش آبیاری بر میزان وزن خشک گیاه مریم گلی

درصد وزن خشک را کاهش می‌دهد اما کاهش وزن تر ۳۰ درصد خواهد بود.

در مورد تأثیر آب مغناطیسی بر وزن تر و خشک بر خلاف شوری خاک، مشاهده شد که آب مغناطیس به-خصوص در مورد شوری‌های بیشتر در این آزمایش اثر معناداری در افزایش رشد گیاه ندارد و تأثیر استفاده از آب مغناطیس بر عملکرد گیاه کمتر خواهد بود. در شوری‌های اشباع خاک کمتر از ۳/۶۵ دسی‌زیمنس بر متر، مغناطیس کردن آب آبیاری تأثیر بسیار زیاد و معناداری در جلوگیری از کاهش عملکرد وزن تر و خشک گیاه دارد. همچنین تأثیر آبیاری مغناطیسی در کاهش اثرات منفی ناشی از تنش آب در رشد گیاه دارویی چای ترش توسط حمامی و ایمانی (۱۴۰۰) نیز نشان داده شده است. با توجه به این که در مطالعات مشابه نیز غلظت خاصی از شوری آب آبیاری توصیه می‌شود مانند مطالعه خادم الحسینی و همکاران (۱۴۰۰) که شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر را به عنوان بهترین تیمار آبیاری با آب شور برای گیاه دارویی آویشن

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج پژوهش نشان‌دهنده افزایش شوری خاک و کاهش وزن تر و خشک گیاه در شرایط آبیاری با آب شور بود. به‌علاوه در یک ترکیب مشخص از آب شور و آب چاه، استفاده از آبیاری مغناطیسی باعث کاهش شوری خاک می‌شود اما در مورد تغییرات اسانس گیاه مریم گلی نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که در تیمارهای مختلف شوری و همچنین مغناطیس بودن و نبودن آن تأثیر معناداری بر کاهش و یا افزایش اسانس این گیاه ندارد. مهم‌ترین تأثیر قابل انتظار در استفاده از آب شور در آبیاری گیاه مریم گلی، کاهش وزن تر و خشک گیاه است که به‌نظر کاهش وزن خشک روند مشخص‌تری نسبت به وزن تر دارد. همچنین اختلاف وزن خشک به‌دست آمده در آبیاری‌های مختلف نیز معنادار شد به‌طوری‌که با افزایش شوری وزن خشک گیاه کاهش معنادار داشت؛ اما در مورد وزن تر سرعت کاهش رشد کمتر بود؛ بنابراین در شرایط شوری خاک معادل ۵/۰۶ دسی‌زیمنس بر متر حداکثر ۴۰

معرفی می‌کند. گیاه در شوری‌های بالاتر کاهش می‌یابد، توصیه می‌شود مدیریت آبیاری گیاه مریم‌گلی با استفاده از آب شور مغناطیس شده به نحوی انجام گیرد که شوری عصاره اشباع خاک در منطقه توسعه ریشه از میزان ۳/۶۵ دسی‌زیمنس بر متر فراتر نرود. به‌طور کلی از نتایج این پژوهش می‌توان استنباط نمود که آبیاری مغناطیسی قطعاً شوری خاک ناشی از کاربرد آب شور را کاهش می‌دهد. با توجه به اینکه اثرگذاری آبیاری مغناطیسی در جلوگیری از کاهش وزن تر و خشک

فهرست منابع

۱. چنگیزی، م.، و چنگیزی، م.، (۱۳۹۱). اکوسیستم دریای خزر و عوامل تخریب‌کننده آن. مغلوب فن‌آوری بشر. دهمین همایش بین‌المللی سواحل بنادر و سازه‌های دریایی. ۲۹ آبان تا ۱ آذر، تهران.
۲. حسن‌پور، ر.، نیشابوری، م.ر.، و زارع‌حقی، د.، (۱۳۹۳). اثر توأم شوری و تراکم خاک بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی ذرت (*Zea mays L.*). مدیریت خاک و تولید پایدار، ۴(۴)، ۲۷۳-۲۹۵.
۳. حمامی، ح.، و ایمانی، ن.، اثر تیمار آب آبیاری مغناطیسی بر خصوصیات رشدی و عملکردی چای ترش (*L. sabdariffa Hibiscus*) تحت تنش کمبود آب. (۱۴۰۰). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۷(۲)، ۲۲۸-۲۱۴.
۴. جمالی، ص.، و سجادی، ف.، (۱۳۹۸). بررسی اثر آبیاری تلفیقی با آب دریا و آب شیرین بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی شوید. علوم آب‌و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۳(۱)، ۴۳-۵۵.
۵. خادم‌الحسینی، ز.، جعفریان، ز.، روشن، ج.، و رنجبر، غ.، (۱۴۰۰). تأثیر سطوح شوری آب آبیاری بر برخی صفات بیوشیمیایی گیاه دارویی آویشن باغی (*Thymus vulgaris L.*). فرآیند و کارکرد گیاهی، ۱۰(۴۱)، ۹۷-۱۱۳.
۶. خوش‌روش، م.، عرفانیان، ف.، و پورغلام آمیجی، م.، (۱۴۰۰). اثر آبیاری با پساب مغناطیسی تصفیه‌شده بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. مدیریت آب در کشاورزی، ۸(۱)، ۱۱۵-۱۲۸.
۷. خوش‌روش، م.، و کیانی، ع.، (۱۳۹۴). اثر آب شور مغناطیسی شده بر نفوذپذیری و هدایت الکتریکی بافت‌های مختلف خاک. آبیاری و زهکشی ایران، ۴(۹)، ۶۴۶-۶۵۴.
۸. درویش‌زاده، ع.، (۱۳۸۲). زمین‌شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، چاپ سوم، ۹۰۲ ص.
۹. رئیس، ا.، مهرفر، ح.ا.، و ترابی آزاد، م.، (۱۴۰۰). تأثیر میدان مغناطیسی بر خواص فیزیکی آب و کاربرد آن در صنعت، کشاورزی و مدیریت منابع آب. انسان و محیط‌زیست، ۵۹. ۷۱-۶۱.
۱۰. سلیمپور، ف.، مازوجی، ع.، مظهر، ف.، و برزین، گ.، (۱۳۹۲). مقایسه خواص ضد باکتریایی اسانس چهار گونه گیاه دارویی مریم‌گلی. پژوهش در پزشکی، ۳۷(۴)، ۲۱۵-۲۱۰.
۱۱. شاهدی، ب.، بانژاد، ح.، گلدانی، م.، و قلی‌زاده، م.، (۱۳۹۹). آبیاری و زهکشی ایران، ۵(۱۴)، ۱۵۳۸-۱۵۸۹.
۱۲. صادقی‌پور، ا.، و آقایی، پ.، (۱۳۹۳). بررسی اثر تنش خشکی و کاربرد آب مغناطیسی بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش. پژوهش‌های به‌زراعی. ۱(۶)، ۷۹-۸۶.
۱۳. شاهنظری، ع.، و شیرازی، پ.، (۱۳۹۵). اثر آبیاری با آب مغناطیسی بر نفوذپذیری و شوری خاک. علوم و مهندسی آبیاری، ۴۰(۳)، ۱۱-۱۹.
۱۴. عابدین‌پور، م.، و روحانی، ا.، (۱۳۹۵). اثرات کاربرد آب مغناطیسی بر شاخص‌های رشد خاک و ذرت تحت مقادیر مختلف نمک در آب. استفاده مجدد و نمک‌زدایی آب، ۷(۳)، ۳۱۹-۳۲۵.

۱۵. فرهادی، م.، شاهنظری، ع.، احمدی، م.، و آقاجانی مازندرانی، ق.، (۱۳۹۳). بررسی اثر غلظت های مختلف آب دریای مازندران بر عملکرد آفتابگردان. اولین همایش ملی زهکشی در کشاورزی پایدار. هشت اسفند، ساری.
۱۶. قربانی، خ.، و جمالی، ص.، (۱۴۰۰). بررسی تأثیر آبیاری با اختلاط آب دریای خزر و چاه بر عملکرد کینوا رقم Sajama در شرایط گلخانه ای. پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۸(۲)، ۸۱-۶۳.
۱۷. گیلانی، ع.، کرمانشاهی، ح.، قلی زاده، م.، و گلیان، ا.، (۱۳۹۶). آب کشاورزی مدیریت از طریق مغناطیسی آبیاری و آب آشامیدنی: بررسی مجله آریلند کشاورزی، ۳، ۲۳-۲۷.
۱۸. متانت، م.، بانژاد، ح.، قلی زاده، م.، و گلدانی، م.، (۱۳۹۷). بررسی تأثیر شدت های مختلف آب مغناطیسی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه تربچه. آبیاری و زهکشی ایران، ۲(۱۲)، ۴۷۲-۴۸۰.
۱۹. محمدیان، م.، ر.، فتاحی، و.م.، و نوری، ا.، (۱۳۹۵). بررسی تأثیر آب شور مغناطیسی شده بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه فلفل سبز. علوم و مهندسی آبیاری، ۳۹(۱)، ۱۲۱-۱۳۰.
۲۰. مظفریان. (۱۳۷۵). فرهنگ گیاهان ایران. انتشارات فرهنگ معاصر. تهران، ۶۷۱ ص.
۲۱. مشتزن، ا.، یاور، ع.، و سلیمانی زاده، م.، (۱۴۰۱). بررسی کیفی مریم گلی دارویی (*Salvia officinalis* L). تازه و خشک در نوبت های مختلف برداشت. نشریه علمی علوم باغبانی. دانشگاه فردوسی مشهد.
۲۲. نیرپور دیزج، آ.، (۱۳۹۶). بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر رشد و خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی و عملکرد اسانس گیاه دارویی مرزه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تبریز.
۲۳. واروی پور، م.، (۱۳۸۹). خاک شناسی عمومی پیام نور. انتشارات پیام نور. ۳۳۶ ص.
24. Alattar, E., Radwan, E., & Elwasife, Kh., (2022). Improvement in growth of plants under the effect of magnetized water. AIMS Biophysics, 9(4): 346-387.
25. Aslani, H., and Razmjoo, J., (2018). Common sage (*Salvia officinalis* L.) responses to salinity and drought stresses in Isfahan region. Acta Hort, 1190, 145-150.
26. Becker, V.I., Goessling, J.W., Duarte, B., Caçador, I., Liu, F., Rosenqvist, E. & Jacobsen, S.E., (2017). Combined effects of soil salinity and high temperature on photosynthesis and growth of quinoa plants (*Chenopodium quinoa*). Functional Plant Biology, 44(7), 665-678.
27. Castro Palacio, J.C., Morejon, L.P., Velazquez Abud, L., & Govea, A.P., (2007). Stimulation of *Pinus tropicalis* M. seeds by magnetically treated water. International Agrophysics, 21, 173-177.
28. Dobrevski, I., Boneva, M., & Bonev, B., (1993). Semi industrial experiments evaluating the effect of the magnetic treatment of cooling water in decreasing deposit formation. Russian Journal of Applied Chemistry, 66, 422-425.
29. Hassan A. Z., (2014). Effect of magnetized irrigation water with different gaussens on the growth and mucilage percentage on two varieties of *Calendula officinalis* L. Journal of Biotechnology Research Center, 8(3), 5-10.
30. Herzog, R.E., Qihong, S., Patil, T.J.N., & Katz, J.L., (1989). Magnetic water treatment: The effect of iron on calcium carbonate nucleation and growth. Longmuir, 5, 861-867.
31. Higashitani, K. A., Kage, Katamura, S., Imai, K. & S. Hatade. (1993). Effects of magnetic field on the formation of CaCO_3 particles. Colloid and Interface Science Journal, 156(1), 90-95.
32. Issa, F.H., Shanoon, R.W., & El Kaaby, E.J., (2016). Effect of magnetized water with spraying (Amino Alexine) on growth and yield of (*Cucumis Sativus* L.) growth in plastic house. Journal of University of Duhok, 19(1), 418-424.
33. Mostafazadeh-Fard, B., Khoshravesh, M., Mousavi, S. F., & Kiani, A. R., (2012). Effects of magnetized water on soil chemical components underneath trickle irrigation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 138(12), 1075-1081.
34. Niaz, N., Tang, C., Zhang, R., Chu, G., (2021). Application of magnetic treated water

- irrigation increased soil salt leachate by altering water property. *Eurasian Soil Science*, 54, 26-32.
35. Osman, E.A., Abd El-Latif, K.M., Hussien, S.M., & Sherif, A.E.A., (2014). Assessing the effect of irrigation with different levels of saline magnetic water on growth parameters and mineral contents of pear seedlings. *Global Journal of Scientific Researches*, 2(5), 128-136.
36. Srivastava, S. C., Lal, P. B. B., Sharma, B. N., (1976). Application of solar energy in conjunction with magnetized water to boost food output. *National Solar Energy Convention*, Calcutta, India, pp. 248-250.
37. Turker, M., Temirici, C., Battal, P., & Erez, M.E., (2007). The effects of an artificial and static magnetic field on plant growth, chlorophyll and phytohormone levels in maize and sunflower plants. *Phyton*, 46, 271-284.
38. Yasmeen, R., & Siddiqui, Z.S., (2018). Ameliorative effects of *Trichoderma harzianum* on monocot crops under hydroponic saline environment. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(1), 4.22.
39. Zhao, G., Mu, Y., Wang, Y., & Wang, L., (2022). Magnetization and oxidation of irrigation water to improve winter wheat (*Triticum aestivum* L.) production and water-use efficiency. *Agricultural Water Management*, 259, 107254.
40. Zlotopolski, V., (2017). Magnetic Treatment Reduces Water Usage in Irrigation Without Negatively Impacting Yield, Photosynthesis and Nutrient Uptake in Lettuce. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*, 3(5), 117-122.

اثر متقابل کم آبیاری و بیوپار روی ویژگی های کمی گیاه گشنیز در یک خاک شنی لومی

سولماز مکرم حصار، جواد بهمنش* و وحید رضوردی نژاد

کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

solmazmokaram432@gmail.com

استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

j.behmanesh@urmia.ac.ir

استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

v.verdinejad@urmia.ac.ir

دریافت: شهریور ۱۴۰۲ و پذیرش: دی ۱۴۰۲

چکیده

بیوپار ماده ای متخلخل و غنی از کربن زیستی (بیولوژیک) به شکل پایدار است که ساختار آن قادر به ذخیره سازی آب و عناصر غذایی بوده و به همین دلیل به عنوان نگهدارنده این مواد (به ویژه در خاک های شنی) در نظر گرفته می شود. برای نیل به امنیت غذایی در شرایط تنش خشکی، بیوپار می تواند بهره وری آب را در بخش کشاورزی ارتقا بخشد. این پژوهش به منظور بررسی اثر کم آبیاری و سطوح مختلف بیوپار بر عملکرد گیاه گشنیز در خاکی با بافت سبک در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه و بر پایه فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه و سه سطح کاربرد بیوپار شامل ۰، ۲/۵٪ و ۵٪ وزنی هر گلدان بود که در مجموع شامل ۲۷ تیمار شد. آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه و جبران کمبود آب خاک تا حد ظرفیت زراعی (FC) با افزودن مقدار آب لازم به آن ها اعمال شد و آب اضافه شده نیز در طول فصل رشد اندازه گیری گردید. پارامترهای کمی وزن تر و خشک کل گیاه، ساقه، برگ، و ریشه در هر گلدان به دقت اندازه گیری شد. همچنین عملکرد محصول و بهره وری مصرف آب آبیاری در پایان فصل کشت در هر تیمار تعیین گردید. نتایج نشان داد که اثرات سطوح آبیاری و بیوپار بر برخی پارامترهای اندازه گیری شده در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ معنی دار بود. با اعمال کم آبیاری، مقادیر پارامترهای کمی اندازه گیری شده و عملکرد گیاه کاهش یافت. بیشترین مقدار پارامترهای مذکور از تیمار ۱۰۰٪ مقدار آب آبیاری به دست آمد و استفاده از بیوپار تا سطح ۲/۵٪ وزنی خاک باعث افزایش آن پارامترها شد. بر این پایه، استفاده از مقدار مناسب بیوپار به عنوان اصلاح کننده خاک باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه گشنیز می شود.

واژه های کلیدی: بهره وری آب، تنش آبی، رشد گیاه گشنیز

مقدمه

ایران از اقلیمی خشک و نیمه‌خشک برخوردار است و کمبود آب به‌ویژه در این مناطق یک فاکتور محدودکننده مهم برای کشاورزی است. تنش خشکی بر گیاهان اثر منفی می‌گذارد؛ ازجمله آن می‌توان به کاهش محتوی آب برگ، جذب مواد مغذی، فتوسنتز، رشد و عملکرد گیاهان اشاره کرد؛ بنابراین مقابله با تنش خشکی یک وظیفه مسئله‌ساز برای دستیابی به امنیت غذایی در سراسر جهان است (صفاهانی و همکاران، ۱۳۸۷). یکی از راه‌کارهای افزایش نگهداشت آب در خاک استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک است (لیو و همکاران، ۲۰۱۸). امروزه با سوزاندن بقایای گیاهی و ضایعات کشاورزی و دامی در دمای زیاد و در شرایط بدون اکسیژن، ترکیبی آلی به دست می‌آید که بیوپار (زغال زیستی) نام دارد. بیوپار ماده‌ای متخلخل و غنی از کربن بیولوژیک به شکل پایدار است که ساختار آن قادر به ذخیره‌سازی آب و عناصر غذایی است؛ به همین دلیل آن را به‌عنوان محافظ در برابر خشکی به‌ویژه در خاک‌های شنی در نظر می‌گیرند (پورمنصور و همکاران، ۱۳۹۸). وقتی که بیوپار با خاک مخلوط می‌شود نقش مهمی را در ماهیت فیزیکی سیستم؛ از جمله عمق مؤثر، چگالی خاک، ظرفیت نگهداری آب (WHC^1)، نفوذ ریشه، بافت، ساختمان، تخلخل، جرم مخصوص خاک سطحی، توزیع اندازه ذرات، منافذ و فعالیت میکروبی خاک ایفا می‌کند. بیوپار ممکن است به دلیل افزایش عمق مؤثر و در دسترس قرار دادن آب‌وهوا در منطقه ریشه بر رشد گیاه تأثیر مستقیم داشته باشد (قربانی و همکاران، ۱۳۹۷). گشنیز با نام انگلیسی *Coriander* و نام علمی *Coriandrum sativum L* گیاهی یک‌ساله از خانواده چتریان *Apiaceae* به ارتفاع ۶۰ تا ۱۰۰ سانتیمتر و با طول دوره رشد ۱۰۰ تا ۱۲۰ روز است که در بسیاری از کشورها به‌عنوان گیاهی بهاره و در برخی کشورهای مدیترانه و جنوب شرقی آسیا گیاهی زمستانه کشت می‌شود (اکبری نیا و همکاران، ۱۳۸۵). از این گیاه به‌عنوان نیرودهنده قلب،

هضم‌کننده غذا، ضدنفخ، اشتهاآور، برطرف کننده دردهای عضلانی و آرام‌بخش نیز استفاده می‌شود (دیدریچسن، ۱۹۹۶). هاریشا و همکاران (۲۰۱۹) رشد، عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گشنیز را تحت تأثیر سطوح کم آبیاری و کوددهی مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه در چهار سطح آبیاری ($0.4ET, 0.6ET, 0.8ET, 1ET$) و سه سطح کوددهی ($F1=50\%, F2=75\%, F3=100\%$) مواد مغذی) بودند. این مطالعه نشان داد که آبیاری در $0.8ET$ بهینه، راندمان مصرف آب در $0.4ET$ بالاتر و کم‌ترین آن در $1.0ET$ بود. نتیجه‌گیری شد که آبیاری قطره‌ای در $0.8ET$ همراه با ۷۵ درصد دوز توصیه‌شده از مواد مغذی برای تولید گشنیز بهینه بود. عثمان و همکاران (۲۰۲۳) تأثیر بیوپار بر عملکرد و کیفیت غذایی گوجه‌فرنگی را تحت تنش خشکی مورد بررسی قرار دادند. گیاهان تحت دو سطح بیوپار ($0/1\%$ و $0/2\%$) و چهار سطح رطوبت ($100\%, 70\%, 60\%$ و 50%) ظرفیت مزرعه (FCs) قرار گرفتند. تنش خشکی، به‌ویژه 50% (FC)، به‌شدت بر مورفولوژی، فیزیولوژی، عملکرد و ویژگی‌های کیفیت محصول تأثیر گذاشت. نتایج نشان داد بیوپار در نرخ کاربرد $0/2$ درصد بیوپار افزایش بارزتری را در پارامترهای مورد مطالعه نسبت به $0/1$ درصد داشت و توانست ۳۰ درصد آب را بدون به خطر انداختن عملکرد محصول و ارزش غذایی گوجه‌فرنگی ذخیره کند. عصری (۲۰۲۲) تأثیر بیوپار و کاربرد کود بر خصوصیات خاک و مواد مغذی کاهو را مورد بررسی قرار داد. تحقیق ایشان به‌منظور تعیین تأثیر بیوپار تولید شده از ضایعات گیاهی گوجه‌فرنگی بر حاصلخیزی خاک و وضعیت تغذیه گیاه کاهو انجام شد. برای این منظور اثر ترکیبی پنج دوز مختلف بیوپار (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ تن در هکتار) و سه کود شیمیایی (شاهد، NPK^2 نیم دوز و NPK دوز کامل) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آن‌ها نشان داد که بیوپار تولیدشده از ضایعات گیاهی گوجه‌فرنگی یک ماده مؤثر در بهبود خاک بوده و ممکن است منبع جایگزین پتاسیم باشد. چاکماچی و

^۲ نیتروژن N، پتاسیم P، فسفر K^۱ -Water-holding capacity

همکاران (۲۰۲۰) عملکرد پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بهره‌وری آب آبیاری فلفل کاپیا را در شرایط کم‌آبیاری و سطوح مختلف بیوپار را ارزیابی کردند. این مطالعه به‌صورت آزمایشی گلدانی با سه تکرار برای هر تیمار در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه انجام شد. این آزمایش شامل سه سطح آبیاری ۱۰۰، ۵۰، ۲۵ و چهار تیمار بیوپار ۰، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۳ درصد بود. نتایج نشان داد افزودن بیوپار باعث افزایش حفظ رطوبت خاک و صرفه‌جویی در آب آبیاری شد. در این مطالعه بیشترین اثربخشی با تیمار بیوپار سه درصد به دست آمد. فخرآبادی و خوش‌سیمای-چنار (۱۴۰۰) اثر کم‌آبیاری و بیوپار بر روی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی ریحان را بررسی کردند. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر بیوپار بر رشد و غلظت عناصر غذایی در گیاه ریحان تحت تنش آبی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری کامل ۱۰۰، کم‌آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه ریحان و سه سطح کاربرد بیوپار ۰، ۵، ۱۰ درصد حجمی هر گلدان بودند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده نشان داد که این صفات تحت تأثیر سطوح مختلف کم‌آبیاری و کاربرد بیوپار اختلاف معنی‌داری داشتند؛ که در نهایت منجر به افزایش رشد رویشی و بهره‌وری آب گیاه ریحان شد. میر و همکاران (۱۴۰۰) اثرات سطوح مختلف بیوپار گندم و تنش آبی بر ویژگی‌های کمی و کیفی کارلا (خربزه تلخ) در شرایط گلدانی را بررسی کردند. پژوهش مذکور در شرایط گلخانه خصوصی با ابعاد ۹×۶۰ متر به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سه تیمار آب آبیاری (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز) و چهار تیمار بیوپار (صفر، ۱/۲۵، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی خاک گلدان) بودند. نتایج مربوطه نشان داد که بیشترین مقدار پارامترهای مذکور از تیمار ۱۰۰٪ آبیاری و ۲/۵٪ وزنی بیوپار به‌دست آمد. پورمنصور و همکاران (۱۳۹۸) رشد و محصول گندم تحت سطوح مختلف بیوپار

و کم‌آبیاری در شرایط گلخانه را بررسی کردند. به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد سطوح مختلف بیوپار و کم‌آبیاری بر رشد و محصول گندم پاییزه، چهار سطح مختلف بیوپار (صفر، ۱/۲۵، ۲/۵ و ۳/۷۵ درصد وزنی) و سه سطح آبیاری (۵۰، ۷۵، ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) در سه تکرار و در قالب طرح کامل تصادفی اعمال گردید. نتایج مربوطه نشان داد به‌طورکلی ارتفاع گیاه، هدایت روزنه‌ای و دمای پوشش سبز گیاه در تیمار حاوی بیوپار نسبت به تیمار بدون بیوپار افزایش نشان داد که ناشی از توانایی بیوپار در نگهداشت رطوبت و کاهش اثر تنش خشکی بود. عباسعلیان و همکاران (۱۴۰۰) تأثیر کاربرد بیوپار و کاه گندم بر بهره‌وری آب آبیاری در گیاه جو را مورد بررسی قرار دادند. در پژوهش مذکور تیمارهای آزمایشی شامل (۰، ۲/۵، ۵، ۷/۵ درصد وزنی بیوپار) و همچنین (۲/۵ و ۵ درصد وزنی کاه) با بافت لوم رسی و لوم شنی بودند. این آزمایش گلدانی بر پایه طرح کامل تصادفی در سه تکرار و در گلخانه انجام شد. کاربرد بیوپار سبب شد بهره‌وری آب افزایش یابد و کاه بر عملکرد زراعی و بهره‌وری آب تأثیر منفی داشت. این پژوهش نشان داد که کاربرد بیوپار می‌تواند راهکاری برای بهبود عملکرد و در نتیجه، بهره‌وری آب در بخش کشاورزی باشد. هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر کاربرد بیوپار بر روی خصوصیات کمی گیاه گشنیز در یک خاک سبک در گلخانه است. از آنجایی که کشت گلخانه‌ای گشنیز در سطح استان آذربایجان غربی و کشور ناچیز بوده ولی بنا به اهمیت دارویی و صادرات بذر و تخم آن و ارزآوری بسیار خوب صادرات مذکور تحقیق حاضر در جهت بررسی کشت گلخانه‌ای آن صورت پذیرفت. چون گشنیز در زمستان در مزرعه کشت نمی‌شود لذا کشت گلخانه‌ای آن در زمستان می‌تواند نیاز به آن را در زمستان مرتفع سازد.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل آزمایش: این تحقیق در گلخانه

تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه به مدت ۴۲

روز از تاریخ ۱۴۰۱/۱۲/۰۶ تا ۱۴۰۲/۱/۲۰ انجام گردید. گلخانه تحقیقاتی از نوع کوانست با پوشش پلی اتیلن ۲۰۰ میکرون به صورت چهار گلخانه‌ی ۲۵۰ متری که ابعاد هر واحد ۸×۳۱ متر است، به صورت شمالی- جنوبی با مختصات جغرافیایی ۳۷/۶۵° درجه شرقی، ۴۴/۹۷° درجه شمالی و ارتفاع ۱۳۶۵ متر از سطح آب‌های آزاد انجام شد. بر اساس اطلاعات ثبت شده توسط دستگاه‌های موجود در گلخانه، حداکثر مطلق، حداقل مطلق و میانگین دمای منطقه به ترتیب ۵/۵+، ۵/۵+ و ۲۴/۶+ درجه سانتی گراد است.

خاک مورد استفاده: از مخلوط ماسه رودخانه‌ای و خاک باغچه که در آزمایشگاه الک شده، تهیه شد، بدین منظور نمونه خاک گردآوری شده و درصد اجزای بافت به روش هیدرومتری و بافت خاک‌ها به کمک مثلث بافت خاک وزارت کشاورزی آمریکا تعیین و بافت خاک بر

اساس درصد اجزای خاک (شن: ۸۴/۶۷٪، سیلت: ۱۰/۶۹٪، رس: ۴/۶۴٪) *Loamy sand* تعیین گردید. رطوبت ظرفیت زراعی به روش مستقیم اندازه‌گیری شد. بر اساس اندازه‌گیری به روش آون، رطوبت *FC* حدود ۲۰ درصد حجمی و جرم مخصوص ظاهری خاک به همراه پرلیت یک گرم بر سانتیمتر مکعب به دست آمد. به منظور تعیین برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تحت آزمایش قبل از کاشت، نمونه برداری انجام گرفت، آنالیز شیمیایی نشان داد خاک مورد استفاده از نظر نیتروژن، فسفر و پتاسیم بسیار فقیر و نزدیک به صفر بوده، لذا برنامه تغذیه گیاهی بر اساس نیاز کودی خاک تأمین گردید. کودهای مورد استفاده شامل کود *NPK 10 52 10*، کود *NPK 20 20 20* و کود آهن بودند. با توجه به این که مقدار آب داده شده به گلدان‌ها به اندازه نیاز آبی گیاه بوده، نتایج کیفیت آب گلخانه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی آب گلخانه

SAR	TDS (mg/l)	pH	Na ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	CO ₃ ⁻² (mg/l)	EC (mho/cm)
۰/۲	۲۶۶	۷/۳۲	۶/۷	۰/۳۸	۳/۷۹	.	۴۱۷

بیوچار: مواد اولیه برای تهیه بیوچار، چوب آلو بوده که توسط مهندسین مشاور خاک آزمانگین (کانیکو) انجام گرفت. این فرایند به صورت پیرولیز آهسته با درجه

حرارت در حدود ۵۰۰ درجه سانتی گراد و در فشار دو بار و در مدت زمان ۲۴ ساعت تولید شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوچار مورد استفاده در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- وضعیت فیزیکی و شیمیایی بیوچار

ردیف	ویژگی / شرح آزمون	واحد	نتیجه آزمون
۱	مواد آلی (OM)	%	۱۳/۸۹
۲	نسبت C/N	-	۱۰/۲
۳	OC	%	۸/۰۶
۴	Mg	%	۵/۷۷
۵	pH	-	۸/۲
۶	شوری (salt)	%	۰/۲
۷	N	%	۰/۷۹
۸	P	%	۰/۱۴
۹	K	%	۰/۱۷
۱۰	Ca	%	۴/۲۶
۱۱	خاکستر	%	۲۴/۶

طرح آزمایشی و تیمارها: این آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت گلدانی با دو فاکتور کم آبیاری و بیوچار در سه تکرار و در مجموع با نه تیمار و ۲۷ گلدان انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری کامل (۱۰۰)، کم آبیاری (۷۵) و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه گشنیز به ترتیب (a_1, a_2, a_3) و سه سطح کاربرد صفر، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی هر گلدان بیوچار

(b_1, b_2, b_3) بود. آزمایش به صورت گلدانی و در گلدانهای استوانه‌ای به ارتفاع ۲۵، قطر ۲۱ سانتیمتر و وزن چهار کیلوگرم انجام شد. دلیل پر شدن گلدانها با چهار کیلوگرم خاک و پرلیت، کم بودن جرم حجمی پرلیت‌ها بود. فاصله بین دو ردیف گلدان ۵۰ سانتی‌متر و فاصله هر گلدان از یکدیگر ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. شکل ۱ طرح آزمایشی در گلخانه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- طرح گلدانهای آزمایشی در گلخانه

عملیات زراعی: به منظور آماده‌سازی خاک برای کشت، ابتدا خاک و پرلیت (۷۵٪ خاک، ۲۵٪ پرلیت) را با هم ترکیب کرده و سپس با توجه به سطوح ۰، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی بیوچار (به ترتیب ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم بیوچار) به خاک اضافه و به صورت دستی گلدانها پر شدند. پرلیت به دلیل قابلیت ذخیره آب اضافی، مقاوم در برابر رطوبت و همین‌طور سبک‌سازی خاک مورد استفاده قرار گرفت. از طرفی چون مقدار پرلیت در همه گلدانها یکسان است، لذا تفاوت در نتایج حاصله به علت تفاوت در مقدار بیوچار بوده است. در شروع کار، به دلیل سهولت در کاشت، بذرها را ابتدا خیس کرده و سپس به مدت یک هفته در میان یک پارچه قرار گرفته و با آبپاش مرطوب می‌شدند و بعد از رویش جوانه‌ها، به گلدانها انتقال داده شد. در هر گلدان ۱۰ جفت بذر قرار داده شد، در مراحل ابتدایی رشد گیاه بعد از انتقال جوانه‌ها به گلدان جهت جلوگیری از خفگی ریشه، آبیاری به میزان یکسان برای اطمینان از جوانه‌زنی گیاه انجام گردید، (یک روز در میان ۲۰۰ میلی‌لیتر آب به گلدانها داده شد). بعد از جوانه‌زنی و تنک‌کاری ۱۰ بوته

نگهداری شد. سپس از طریق رابطه ۲ مقدار حجم آب داده شده تعیین گردید:

$$W_{Aw} = \left(\frac{VWC_{fc} - VWC}{100} \right) \times \pi r^2 h \quad (1)$$

که در آن: W_{Aw} مقدار آب قابل استفاده (Kg)، VWC_{fc} رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی (%)، VWC حجم آب خاک قبل از آبیاری (%)، r شعاع گلدان (cm)، h ارتفاع گلدان (cm) است. بعد از ثبات ریشه‌ها در خاک به کمک دستگاه TDR رطوبت به صورت حجمی در هر گلدان اندازه‌گیری شد. نوع رطوبت‌سنج خاک $Spectrum TDR$ (USA) و مدل آن $TDR150$ بوده که قابل تنظیم برای اندازه‌گیری رطوبت در سه عمق مختلف است که در این تحقیق از سنسور عمق ۱۲ سانتی‌متر استفاده شد. همچنین TDR مذکور در موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی برای سه نوع بافت خاک کالیبره گردیده بود که برای بافت مورد نظر، واسنجی و اصلاح گردید و بر اساس سطوح آبیاری، تیمارها آبیاری گردید. به این ترتیب مقدار رطوبت حجمی در هر تیمار توسط دستگاه TDR ثبت گردید، سپس در رابطه ۱ قرار داده و برای سطوح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در عدد یک ضرب و برای سطوح

به دست آمده که این تفاوت ناشی از خطای اندازه‌گیری و همچنین رند کردن اعداد برداشت شده است. در مجموع ۱۵ بار آبیاری با فواصل آبیاری مختلف انجام شد. میزان کل آب مصرفی طی دوره رشد، از مجموع آب مصرفی در تمام روزهای دوره رشد به دست آمد. جدول ۳ عمق آب مورد استفاده در هر تیمار را نشان می‌دهد.

آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب در ۰/۷۵ و ۰/۵ ضرب گردید و حجم آب محاسبه شده در اختیار گیاه قرار گرفت. به دلیل خطای دستگاه و سیستماتیک که ممکن است توسط شخص صورت بگیرد، اعداد ستون دو و سه مضربی از ۰/۷۵ و ۰/۵ نیست. به عنوان مثال ۰/۷۵ و ۰/۵۰ مجموع اعداد ستون دو و سه بایستی به ترتیب ۲۷۰/۶ و ۱۸۰/۴ باشد که در جدول فوق ۲۶۲/۱ و ۱۸۹/۹

جدول ۳- عمق آب مورد استفاده در هر تیمار در هر آبیاری (میلی‌متر)

دفعات آبیاری	تیمار ۱	تیمار ۲	تیمار ۳
۱	۱۵/۹	۱۴/۴	۹/۷
۲	۲۰/۷	۱۳/۱	۸/۷
۳	۱۸/۸	۱۵/۹	۱۱/۶
۴	۱۴/۴	۱۳/۰	۱۰/۱
۵	۲۴/۶	۱۷/۳	۱۱/۶
۶	۳۱/۸	۱۹/۳	۱۱/۶
۷	۳۷/۶	۲۰/۹	۱۲/۶
۸	۵۴/۳	۳۹/۲	۲۸/۹
۹	۲۷/۴	۱۹/۰	۱۳/۰
۱۰	۱۳/۰	۹/۰	۶/۰
۱۱	۳۸/۴	۳۳/۲	۳۰/۲
۱۲	۱۴/۴	۱۰/۷	۷/۲
۱۳	۲۰/۲	۱۵/۹	۱۳/۰
۱۴	۲۲/۱	۱۶/۹	۱۳/۰
۱۵	۷/۲	۴/۳	۲/۹
کل دوره رشد (میلی‌متر)	۳۶۰/۸	۲۶۲/۱	۱۸۹/۹

$$WP = \frac{Y}{ET} \quad (2)$$

که در آن: Y میزان عملکرد (Kg / m^2) و ET کل آب مصرفی (m^3/m^2) را بیان می‌کند (سینچر و همکاران، ۱۹۸۴). در این پژوهش، تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 انجام گرفت. در تحلیل داده‌ها، تجزیه واریانس برای صفات اندازه‌گیری شده انجام و سپس میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون SNK در سطح یک و پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

در پایان فصل رشد از هر گلدان در هر تیمار آزمایشی دو بوته جدا گردید، یک بوته برای اندازه‌گیری وزن تر کل گیاه (gr) و یک بوته برای اندازه‌گیری وزن تر یک عدد ساقه، برگ و ریشه (gr) که در ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید. بعد از آن برای اندازه‌گیری وزن خشک گیاه، ساقه، برگ و ریشه نمونه‌ها را در فویل قرار داده و به مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد (اسمارت و بینهام، ۱۹۷۴). بهره‌روی آب (WP) مقدار ماده گیاهی تولید شده به ازای واحد مصرف آب است. برای محاسبه بهره‌وری از رابطه (۲) استفاده شد.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات و درجه آزادی) پارامترهای کمی اندازه‌گیری شده
 تیمار ۱: ۱۰۰٪ آبیاری، تیمار ۲: ۷۵٪ آبیاری، تیمار ۳: ۵۰٪ آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی (DF)	وزن تر تک بوته (گرم)			وزن خشک تک بوته (گرم)			بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)			
		کل گیاه	ساقه	برگ	ریشه	کل گیاه	ساقه	برگ			
(A) آبیاری	۲	۱۵/۵۷۹۷**	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۸۵۶۰**	۰/۳۹۳۶**	۰/۰۰۰۰۳**	۰/۰۰۰۰۳**	۰/۰۴۰۰**	۰/۹۴۳۰**	۰/۰۳۰۶**
(B) بیوپچار	۲	۳/۵۹۱۷**	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۴۳**	۰/۱۱۵۸**	۰/۰۶۱۶*	۰/۰۰۰۰۳**	۰/۰۰۰۰۳**	۰/۰۰۸۵**	۰/۰۶۴۵۱**	۰/۰۰۹۶*
آبیاری* بیوپچار (AB)	۴	۱/۴۵۲۳**	۰/۰۱۱۹**	۰/۰۰۰۹**	۰/۱۴۲۷**	۰/۰۲۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳**	۰/۰۰۰۰۱۸**	۰/۰۰۰۸۰**	۰/۰۲۲۶۱**	۰/۰۰۰۳۴ ^{ns}
خطا	۱۸	۰/۰۳۹۴	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۶۳	۰/۰۱۷۱	.	.	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۶۸	۰/۰۰۲۷
ضریب تغییرات	-	۶/۲۲۰۶	۲۴/۵۸۱۰	۱۶/۹۷۰۶	۱۰/۰۵۲۴	۲۶/۱۰۳۹	.	.	۱۸/۴۴۷۹	۶/۸۶۲۲	۲۷/۰۵۰۵

** و *** به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪ و ns اختلاف معنی‌دار وجود ندارد

جدول ۵- مقایسه میانگین پارامترهای کمی اندازه‌گیری شده

تیمارهای آزمایشی		وزن تر تک بوته (گرم)				وزن خشک تک بوته (گرم)			
کل گیاه	ساقه	برگ	ریشه	کل گیاه	ساقه	برگ	ریشه	کل گیاه	ساقه
۱۰۰٪	۴/۳۰a	۰/۲۰a	۰/۰۹a	۱/۰۷a	۰/۶۳a	۰/۰۲a	۰/۰۱۶a	۰/۲۵a	۰/۰۱۶a
مقدار آب آبیاری	۳/۵۳b	۰/۱۸a	۰/۰۸a	۰/۸۲b	۰/۶۱a	۰/۰۲b	۰/۰۱۳b	۰/۱۹b	۰/۰۱۳b
۵۰٪	۱/۷۳c	۰/۱۶a	۰/۰۷a	۰/۴۶c	۰/۲۶b	۰/۰۲b	۰/۰۱۳b	۰/۱۲c	۰/۰۱۳b
۰٪	۲/۹۱b	۰/۱۷a	۰/۰۸b	۰/۷۵b	۰/۴۷a	۰/۰۲b	۰/۰۱۳b	۰/۱۷a	۰/۰۱۳b
مقدار بیوپار	۳/۹۱a	۰/۲۰a	۰/۱۰a	۰/۹۱a	۰/۵۹a	۰/۰۲a	۰/۰۲a	۰/۲۲a	۰/۰۲a
۵٪	۲/۷۴b	۰/۱۷a	۰/۰۶b	۰/۷۰b	۰/۴۳a	۰/۰۲b	۰/۰۱c	۰/۱۷a	۰/۰۱c

در هر ستون حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ است

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل مقدار آب آبیاری و بیوپار پارامترهای کمی اندازه‌گیری شده

آبیاری	کاربرد بیوجار	وزن تر تک بوته (گرم)				وزن خشک تک بوته (گرم)			
		کل گیاه	ساقه	برگ	ریشه	کل گیاه	ساقه	برگ	ریشه
۱۰۰٪	۰٪	۴/۲۶b	۰/۲۱ba	۰/۰۷bdc	۱/۰۹ba	۰/۶۲bac	۰/۰۲b	۰/۰۱c	۰/۲۲ba
	۲/۵٪	۵/۱a	۰/۲۹a	۰/۱۲a	۱/۲۲a	۰/۸۱a	۰/۰۳a	۰/۰۳a	۰/۲۹a
	۵٪	۴/۰۸b	۰/۱۵ba	۰/۰۶dc	۰/۹۲b	۰/۶۱bac	۰/۰۲b	۰/۰۱c	۰/۲۵ba
	۰٪	۲/۹۶c	۰/۲۰ba	۰/۰۷bdc	۰/۹۲b	۰/۵۳bac	۰/۰۲b	۰/۰۱c	۰/۲۰bac
۷۵٪	۲/۵٪	۴/۵۶b	۰/۱۹ba	۰/۱۱ba	۱/۰۹ba	۰/۶۷ba	۰/۰۲b	۰/۰۲b	۰/۲۶ba
	۵٪	۲/۵۴dc	۰/۱۶ba	۰/۰۸bdac	۰/۴۷c	۰/۴۹bac	۰/۰۲b	۰/۰۱c	۰/۱۱dc
	۰٪	۱/۹۳e	۰/۱۴ba	۰/۰۹bdac	۰/۴۱c	۰/۲۸abc	۰/۰۲b	۰/۰۲b	۰/۱۱dc
	۲/۵٪	۲/۰۸de	۰/۲ba	۰/۱۰bac	۰/۵۷c	۰/۳bc	۰/۰۲b	۰/۰۱c	۰/۱۶bdc
۵۰٪	۵٪	۱/۲۰f	۰/۱۲b	۰/۰۵d	۰/۴۱c	۰/۲۰c	۰/۰۲b	۰/۰۱c	۰/۰۹d

در هر ستون حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ است

نتایج و بحث

نموده است. جدول ۵ مقایسه میانگین و جدول ۶ اثرات متقابل پارامترهای کمی اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

نتایج تجزیه واریانس پارامترهای کمی اندازه‌گیری شده در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر بیوپار بر پارامترها در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار و در برخی سطوح معنی‌دار

وزن تر و خشک کل گیاه

نتایج مقایسه میانگین به روش *SNK* در سطح یک درصد نشان داد، با توجه به جدول ۵ وزن تر و خشک کل گیاه در تیمار آبیاری کامل، بیشترین مقدار و در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب کاهش یافت. همچنین با توجه به جدول ۵ افزودن بیوپار باعث افزایش وزن تر و خشک گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین مقدار آن از تیمار ۲/۵ درصد وزنی بیوپار به ترتیب برای وزن تر و خشک (۳/۹۱ و ۰/۵۹ گرم) به دست آمد. استفاده بیشتر از بیوپار (سطح پنج درصد وزنی) باعث کاهش وزن تر و خشک گیاه شد. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوپار (جدول ۶) نشان داد، بیشترین وزن تر و خشک گیاه در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و ۲/۵ درصد وزنی بیوپار به ترتیب (۵/۱ و ۰/۸۱ گرم) و کمترین وزن تر و خشک گیاه در تیمار ۵۰ درصد آبیاری و پنج درصد وزنی بیوپار به ترتیب (۱/۲ و ۰/۲ گرم) به دست آمد؛ بنابراین می‌توان گفت سطوح بالای بیوپار بر رشد و نمو گیاه تأثیر داشته و باعث کاهش وزن گیاه می‌شود. کمترین وزن گیاه در تیمار ۵۰ درصد آب آبیاری و پنج درصد وزنی بیوپار به دست آمد که نشان‌دهنده کاهش اثرات بیوپار در تنش‌های آبی شدید است. افزایش وزن گیاه در اثر کاربرد ۲/۵ درصد وزنی بیوپار به دلیل افزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی در خاک و بهبود شرایط رشد گیاه و کاهش وزن گیاه در اثر کاربرد پنج درصد وزنی گیاه می‌تواند به دلیل افزایش شوری ناشی از کاربرد بیوپار در مقادیر بالا باشد (رزاقی و همکاران، ۲۰۲۰).

وزن تر و خشک ساقه

نتایج مقایسه میانگین به روش *SNK* در سطح یک درصد نشان داد، با توجه به جدول ۵ وزن تر و خشک ساقه در تیمار آبیاری کامل، بیشترین مقدار و در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب کاهش یافت. همچنین با توجه به جدول ۵ افزودن بیوپار باعث افزایش وزن تر و خشک ساقه نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین

مقدار آن از تیمار ۲/۵ درصد وزنی بیوپار به ترتیب برای وزن تر و خشک ساقه (۰/۲ و ۰/۰۲ گرم) به دست آمد. استفاده بیشتر از بیوپار (سطح پنج درصد وزنی) باعث کاهش وزن تر و خشک ساقه شد. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوپار (جدول ۶) نشان داد، بیشترین وزن تر و خشک ساقه در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و ۲/۵ درصد وزنی بیوپار به ترتیب (۰/۲۹ و ۰/۰۳ گرم) به دست آمد؛ بنابراین می‌توان گفت کاربرد بیوپار تا ۲/۵ درصد وزنی بیوپار اثرات تنش رطوبتی را کاهش داده و ارتفاع گیاه و در نهایت وزن تر ساقه را بهبود بخشیده است. نتایج حاصله با نتیجه پژوهشگران بر گیاهانی مانند ریحان (فخرآبادی و خوش‌سیمای چنار، ۱۴۰۰) و رزماری (ضیائی و همکاران، ۱۳۹۳) و بادرشبو (رهبریان و افشارمنش، ۱۳۹۰) مطابقت داشت.

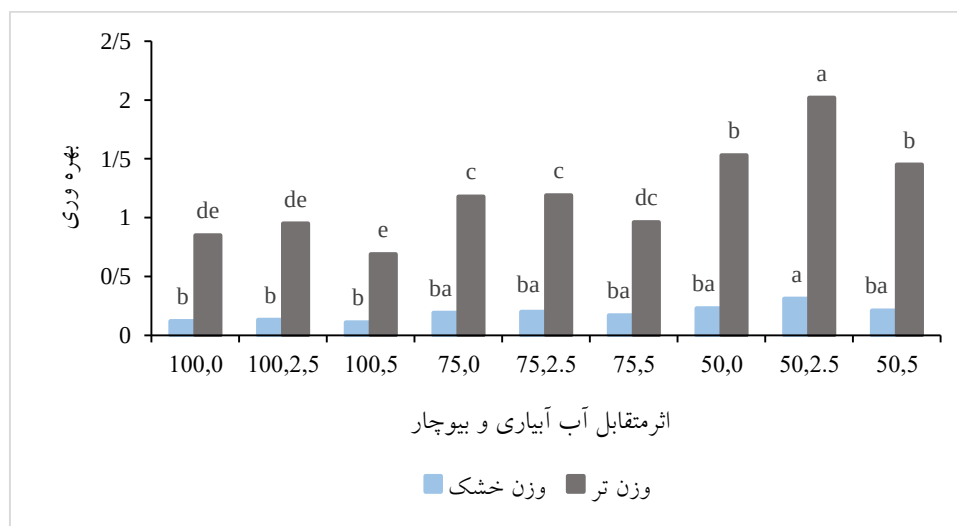
وزن تر و خشک برگ

نتایج مقایسه میانگین به روش *SNK* در سطح یک درصد نشان داد، با توجه به جدول ۵ وزن تر و خشک برگ در تیمار آبیاری کامل، بیشترین مقدار و در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب کاهش یافت. همچنین با توجه به جدول ۵ افزودن بیوپار باعث افزایش وزن تر و خشک برگ نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین مقدار آن از تیمار ۲/۵ درصد وزنی بیوپار به ترتیب برای وزن تر و خشک برگ (۰/۱ و ۰/۰۲ گرم) به دست آمد. استفاده بیشتر از بیوپار (سطح پنج درصد وزنی) باعث کاهش وزن تر و خشک برگ شد. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوپار (جدول ۶) نشان داد، بیشترین وزن تر و خشک برگ در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و ۲/۵ درصد وزنی بیوپار به ترتیب (۰/۱۲ و ۰/۰۳ گرم) به دست آمد؛ بنابراین می‌توان گفت بیوپار در شدت تنش‌های بالا کارایی مؤثر ندارد. نتیجه حاصله با نتیجه پژوهشگران فخرآبادی و همکاران (۱۴۰۰)، میر و همکاران (۱۴۰۰) و حیدری و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد.

وزن تر و خشک ریشه

نتایج مقایسه میانگین به روش SNK در سطح یک درصد نشان داد، با توجه به جدول ۵ وزن تر و خشک ریشه در تیمار آبیاری کامل، بیشترین مقدار و در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب کاهش یافت. همچنین با توجه به جدول ۵ افزودن بیوپار باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین مقدار آن از تیمار ۲/۵ درصد وزنی بیوپار به ترتیب برای وزن تر و خشک ریشه (۰/۹۱ و ۰/۲۲ گرم) به دست آمد. استفاده بیشتر از بیوپار (سطح پنج درصد وزنی) باعث کاهش وزن تر و خشک ریشه شد. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوپار (جدول ۶) نشان داد، بیشترین وزن تر و خشک ریشه در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و ۲/۵ درصد وزنی

بیوپار به ترتیب (۱/۲۲ و ۰/۲۹ گرم) به دست آمد. تخلخل بالا، جرم مخصوص کم، ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد و ظرفیت نگهداری رطوبت بالای بیوپار باعث افزایش حاصلخیزی خاک شده و رشد گیاه و ریشه را موجب می شود (میر و همکاران، ۱۳۹۹). افزایش بیشتر بیوپار (پنج درصد وزنی) در تمامی تیمارهای آبیاری باعث کاهش وزن گیاه شد، چون در تیمار کاربرد پنج درصد وزنی بیوپار صعود موئیگی کمتر شده و از طرف دیگر گیاه برای جذب رطوبت، انرژی بیشتری صرف می کند، لذا عملکرد گیاه نسبت به تیمار ۲/۵ درصد وزنی کاهش می یابد. بدین معنی که در تنش شدید، رشد ریشه گیاه کاهش یافته و متوقف می شود که با نتایج پژوهشگران فخرآبادی و همکاران، قیصری و همکاران (۱۳۹۳) و حیدری و همکاران (۱۳۹۹) نیز مطابقت دارد.



شکل ۲- اثرات متقابل آب آبیاری و بیوپار بر بهره‌وری

بهره‌وری بر اساس وزن تر و خشک

نتایج مقایسه میانگین به روش SNK در سطح یک درصد نشان داد، با توجه به شکل ۲، بهره‌وری در تیمار آبیاری ۵۰ درصد، بیشترین مقدار و در تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب کاهش یافت. همچنین با توجه به شکل ۲ افزودن بیوپار تا ۲/۵ درصد وزنی، باعث افزایش بهره‌وری نسبت به تیمار شاهد شد. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوپار (شکل ۲) نشان داد با کاهش آب آبیاری تا سطح ۵۰ درصد و افزایش بیوپار تا سطح ۲/۵ درصد وزنی باعث

افزایش بهره‌وری آب آبیاری شد. بیشترین مقدار آن از تیمار ۵۰ درصد آب آبیاری و ۲/۵ درصد وزنی بیوپار به ترتیب برای وزن تر و خشک (۲/۰۲ و ۰/۳۱ کیلوگرم بر مترمکعب) حاصل شد. میر و همکاران (۱۴۰۰)، آقاباری و همکاران (۱۳۹۵) و همچنین خلیلی و همکاران (۲۰۲۰) افزایش بهره‌وری آب در اثر کم آبیاری و کاربرد بیوپار را گزارش کردند.

نتیجه‌گیری

محاسبه و نتایج نشان داد که با اعمال کم‌آبیاری در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گشنیز و ۲/۵ درصد وزنی بیوپار می‌توان به بیشترین بهره‌وری آب دست پیدا کرد؛ اما باید به این نکته توجه کرد این میزان بهره‌وری در مقیاس کوچک و شرایط گلخانه‌ای به دست آمده است و نمی‌توان نتیجه‌گیری کرد که در مزرعه نیز شرایط به این شکل باشد. با توجه به اینکه بیوپار بر خلاف کودهای شیمیایی نیاز به استفاده هرساله ندارد، لذا به جهت اقتصادی می‌توان به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک و یک ماده مغذی توصیه کرد و همین‌طور استفاده از مقدار مناسب بیوپار سبب کاهش اثرات منفی تنش رطوبتی و بهبود شاخص‌های رشد و نمو گیاه می‌شود. همچنین با توجه به اهمیت دارویی گیاه گشنیز پیشنهاد می‌گردد، تحقیقات بیشتری در زمینه کاشت این گیاه در منطقه انجام گیرد.

در شرایط کم‌آبیاری، گیاه در طول فصل رشد دچار تنش آبی می‌شود. کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان وزن‌تر و خشک کل گیاه، برگ، ساقه و ریشه گیاه گشنیز داشت و بیشترین مقدار این صفات در آبیاری کامل به دست آمد که نشان‌دهنده حساسیت گیاه گشنیز نسبت به تنش خشکی است. این تنش تغییراتی را در پاسخ به گیاه به‌وجود می‌آورد که همواره یکسان نیست و بعضی مواقع غیرقابل پیش‌بینی است. کاربرد بیوپار تأثیر معنی‌دار بر اجزاء عملکرد گیاه گشنیز داشت. استفاده از بیوپار تا سطح ۲/۵ درصد وزنی خاک باعث افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد شد. استفاده بیشتر بیوپار (پنج درصد وزنی خاک) باعث کاهش عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه شد. بهره‌وری آب بر اساس وزن‌تر و خشک کل گیاه گشنیز در تیمارهای مختلف

فهرست منابع

۱. اکبری‌نیا، ا.، دانشیان، ج.، محمدبیگی، ف.، ۱۳۸۵. اثر کود نیتروژن و تراکم بر عملکرد بذر، اسانس و روغن گیاه گشنیز. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، جلد ۲۲، شماره ۴، صفحه ۴۱۹-۴۱۰.
۲. آقاییاری، ف.، خلیلی، ف.، و اردکانی، م. ر.، ۱۳۹۵. اثر روش‌های متفاوت آبیاری و پلیمر سوپر جاذب بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی. ۸ (۲۴): ۳۵-۴۸.
۳. پورمنصور، س.، رزاقی، ف.، سپاسخواه، ع.، موسوی، ع. ا.، ۱۳۹۸. بررسی رشد و محصول گندم تحت سطوح مختلف بیوپار و کم‌آبیاری در شرایط گلخانه‌ای، مدیریت آب و آبیاری، دوره ۹، شماره ۱، صفحه ۲۸-۱۵.
۴. حیدری، ط.، شاهدی، ب.، بانژاد، ح.، ۱۳۹۹. تأثیر آب مغناطیسی بر خصوصیات رشدی ریحان تحت کم‌آبیاری و آبیاری ناقص ریشه. نشریه مدیریت آب در کشاورزی، جلد ۷، شماره ۲، صفحه ۱۵۸-۱۴۹.
۵. رزاقی، ف.، پورمنصور، س.، سپاسخواه، ع.، ۱۳۹۹. اثر بیوپار تولید شده از کاه و کلش گندم و آب آبیاری بر ویژگی‌های هیدرولیکی و شیمیایی در خاک لوم شنی بعد از کاشت باقلا. تحقیقات کشاورزی ایران. ۳۹ (۱)، صفحه ۶۷-۶۷.
۶. رهبریان، پ.، افشارمنش، غ.، ۱۳۹۰. اثر کم‌آبیاری و کود دامی بر عملکرد و برخی صفات مورفولوژیکی گیاه دارویی بادرنشبو در جیرفت. مجله علمی _ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی و علف‌های هرز، سال پنجم، شماره ۱۷، صفحه ۴۱-۵۲.
۷. صفاهانی‌لنگرودی، ع.، نورا، ر.، ۱۳۹۷. اثر سطوح مختلف بیوپار بر صفات فیزیولوژیک کدو تحت تنش کمبود آب. نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال سیزدهم، شماره ۴۹، صفحه ۳۲-۱۳.

۸. ضیائی، ع.، مقدم، م.، و کاشفی، ب.، ۱۳۹۵. تأثیر پلیمرهای سوپر جاذب بر خصوصیات مورفولوژیک گیاه رزماری در شرایط تنش خشکی. فصلنامه علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، دوره ۷، شماره ۲۶، صفحه ۱۱۱-۹۹.
۹. عباسعلیان، ح.، سلطانی، ج.، بهرامی‌سامانی، ع.، هاشمی‌گرم‌دره، س.ا.، برزویی، ا.، احمدوند، م.، ۱۴۰۰. بررسی تأثیر کاربرد بیوجار و کاه گندم بر بهره‌وری آب آبیاری در گیاه جو. مدیریت آبی آبیاری، دوره ۱۱، شماره ۴، صفحه ۶۹۹-۷۱۱.
۱۰. فخرآبادی، ح.، خوش‌سیمای‌چنار، م.، ۱۴۰۰. اثر کم‌آبیاری و بیوجار بر روی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی ریحان. مقاله علمی و پژوهشی، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۴، جلد ۱۵، صفحه ۹۵۴-۹۴۱.
۱۱. قربانی، م.، امیراحمدی، ا.، ۱۳۹۷. اثر بیوجار پوسته برنج بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک و رشد ذرت در یک خاک لومی، نشریه پژوهش خاک (علوم خاک و آب)، الف، جلد ۳۲، شماره ۳.
۱۲. قیصری، م.، مجیدی، م.م.، میرلطیفی، س.م.، زارعیان، م.ج.، امیری، س.، بنی‌فاطمه، س.م.، ۱۳۹۳. اثر مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری بر طول ریشه گیاه ذرت. نشریه آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۸، شماره ۵، صفحه ۸۹۰-۸۹۸.
۱۳. میر، م.، پیری، ح.، نصریان، ا.، ۱۴۰۰. اثرات سطوح مختلف بیوجار گندم و تنش آبی بر ویژگی‌های کمی و کیفی کرلا (خربزه تلخ) در شرایط گلدانی، نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ب، جلد، شماره ۲.
14. Asri, F. O., 2020. Effect of biochar and fertilizer application on soil properties and nutrient status of lettuce. Chilean journal of agricultural research. 82(3). 469 – 483.
15. Cakmakci, T., Sahin, U., 2020. Yield, Physiological Responses and Irrigation Water Productivity of Capia Pepper (*Capsicum annuum* L.) at Deficit Irrigation and Different Biochar Levels. Original article, originalbeitrag. 75:317 – 327.
16. Diederichsen, A., 1996. Coriander (*Coriandrum sativum* L.) promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben, International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
17. Harisha, C. B., Asangi, H. A., and Singh, R., 2019. Growth, yield, water use efficiency of coriander (*Coriandrum sativum*) affected by irrigation levels and fertigation. Indian Journal of Agricultural Sciences. 89(7). 1167–72.
18. Khalili, f., Aghayari, F., and Ardakani, M. R., 2020. Effect of alternate furrow irrigation on maize productivity in interaction with different irrigation regimes and biochar amendment. Communications in soil Science and Plant Analysis. 51(6):757–768.
19. Li, J., Li, Y. E., Wan, Y., Wang, B., Waqas, M. A., Cai, W., and Gao, Q., 2018. Combination of modified nitrogen fertilizers and water saving irrigation can reduce greenhouse gas emissions and increase rice yield. Geoderma, 315: 1-10.
20. Sinclair, T. R., Tanner, C. B., and Bennett, J. M., 1984. Water-use efficiency in crop production. Bioscience. 34(1):36-40.
21. Smart, R. E., and Bingham, G. E., 1974. Rapid estimates of relative water content. Plant physiology. 53(2): 258-260.
22. Usman, M., Ahmad, N., Raza, W., Zhao, Zh., Abubakar, M., Rehman, S. U., Ikram, S., Tariq, H., 2023. Impact of biochar on the yield and nutritional quality of tomatoes (*Solanum lycopersicum*) under drought stress. Journal of the science of food and Agriculture- Volume 103, Issue 7. p. 3479-3488.

Interaction Effect of Deficit Irrigation and Biochar on Quantitative Characteristics of Coriander in Sandy Loam Soil

S. Mokarram hesar, J. Behmanesh*, and V. Rezaverdinejad

M. Sc., Irrigation and Drainage Group, Water Engineering Department, Urmia University, Urmia, Iran.
solmazmokaram432@gmail.com

Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran. j.behmanesh@urmia.ac.ir

Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran. v.verdinejad@urmia.ac.ir

Received: September 2023 and Accepted: December 2023

Abstract

Biochar as a porous material is rich in biological carbon in a stable form. Its structure is capable to store water and nutrients. Therefore, it is used for retention of such materials, especially in sandy soils. Biochar can improve water productivity in the agricultural sector in drought stress condition to achieve food security in the world. In order to study the effect of deficit irrigation and biochar on yield of coriander in a coarse-grained soil under water stress, this research was conducted using a factorial manner and a completely randomized design in the research greenhouse of Urmia University. The experimental treatments included three levels of irrigation: 100%, 75%, and 50% of the plant water requirement, and three levels of biochar application: 0, 2.5%, and 5% of the weight of each pot, which totally included 27 treatments. Irrigation was applied on the basis of plant requirement and soil water content below field capacity and the applied water was measured during the growing season. For each pot, quantitative parameters including weights of dry and wet plant, stem, leaf, and root were accurately measured. The results showed that the effects of irrigation levels and biochar on some measured parameters were significant at the probability level of 1% and 5%. The results demonstrate that by applying deficit irrigation, the measured quantitative parameters and plant yield decreased. The highest value of the parameters was obtained from the treatment of 100% water requirement and use of biochar up to the level of 2.5% of the soil. Therefore, applying suitable amount of the biochar as soil amendment improves coriander plant's growth and yield.

Keywords: Water Productivity, Water stress, Coriander growth

*- Corresponding author's email: j.behmanesh@urmia.ac.ir

Response of the Medicinal Plant *Salvia L.* to Magnetized Saline Irrigation Water

F. Karimpour, M. Khoshravesh*, M. A. Gholami Sefidkouhi, and
V. Akbarpour

PhD Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. karimpour.fahim@gmail.com

Associate Prof., Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Khoshravesh_m24@yahoo.com & m.khoshravesh@sanru.ac.ir

Associate Prof., Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. magholamis@yahoo.com

Assistant Prof., Department of Horticulture, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. v_akbarpour60@yahoo.com

Received: June 2023 and Accepted: December 2023

Abstract

Agricultural sector is the largest consumer of fresh water worldwide. Therefore, finding a suitable alternative for the use of fresh water in agriculture can be a key solution to future water crisis issues. Application of saline water by using appropriate methods can be an option for irrigating salt-tolerant plants. One of these methods may be magnetizing irrigation water. In the present study, to investigate the effect of magnetized water on the fresh and dry weight, as well as the essential oil of the medicinal plant Maryam Goli (*Salvia L.*), a pot experiment was conducted in an open space using a factorial design and completely randomized layout with four replications. The experimental treatments included salinity of irrigation water prepared from different concentrations of Caspian Sea water (30%, 50%, 70%, and 100% mixing with well water) and a control treatment (well water), in both magnetic and non-magnetic conditions. Due to rainfall during the growth season, at the end of the experiment, the saturation extract salinity (EC) of the soil corresponding to the control treatment and the 30%, 50%, 70%, and 100% water mixtures were 3.15 (I0), 3.65 (I1), 4.55 (I2), 4.75 (I3), and 5.06 (I4) dS/m, respectively. The results showed that, in the I4 treatment, both the dry and fresh weights of the plant decreased by 40% and 25%, respectively. However, regarding the effect of magnetized water, the results indicated that in saline treatments with soil EC less than 3.65 dS/m (I0 and I1), use of magnetized water prevented a significant decrease in the weight of Maryam Goli plant shoots. Furthermore, the research results demonstrated non-significant changes in the essential oil of Maryam Goli plant due to irrigation with different salinities as well as magnetic water. Based on the results, it is recommended that irrigation management of Maryam Goli plants using magnetized saline water be carried out in such a way that the saturation extract salinity of the soil does not exceed 3.65 dS/m during the growing season.

Key words: Irrigation by seawater, Essential oil, Soil saturation extract salinity

* - Corresponding author's email: Khoshravesh_m24@yahoo.com & m.khoshravesh@sanru.ac.ir

Evaluation of Cotton Water Stress Estimation Using Multispectral Satellite Images Based on M5 Tree Model

M. Mazidi, M. Hesam*, Gh. Khalili, and Ch B Komaki

Ph.D. candidate, Irrigation and Drainage Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. maryam.mazidi@gmail.com

Associate Prof., Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. hesamm@gau.ac.ir

Associate Prof., Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. ghorbani.khalil@gau.ac.ir

Assistant Prof., Desert Area Management Department, Faculty of Pasture and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. bkomaki@gau.ac.ir

Received: September 2023 and Accepted: December 2023

Abstract

Water stress occurs as a result of the imbalance between soil water in the root zone and plant water use, which necessitates determining the water stress index of the plant. Surface soil moisture is directly related to plant water content. Availability of satellite data has led to temporal and spatial resolution of field data and offers new opportunities for monitoring crop conditions. In this research, accurate and continuous monitoring of soil moisture content, as a representative of soil moisture stress, was done with field measurements of soil moisture, and comparison with multispectral data of Landsat 9 and Sentinel 2 satellite images. The relationship between plant indices, as an independent variable, and soil surface moisture, as a dependent variable, was studied using linear multivariate regression and M5 tree regression methods. Considering the non-linearity of the relationship between soil moisture and spectral reflectance, linear multivariate regression did not show satisfactory results with coefficient of determination (R^2) of 0.46 and 0.34 for Landsat 9 and Sentinel 2 satellites, respectively, as well as the root mean square error (RMSE) equal to 0.043 and 0.052. However, M5 tree regression showed more acceptable results, such that by establishing 16 and 20 regression relationships for Landsat 9 and Sentinel 2 satellites, the soil moisture was estimated with R^2 of 0.70 and 0.67 and RMSE of 0.033 and 0.038, respectively. The results showed that the estimation of soil moisture with methods based on machine learning, such as the M5 model, increases the accuracy of calculations. In the M5 decision tree regression, a high number of variables does not necessarily lead to an increase in the accuracy of soil moisture estimation, and a relationship with the highest accuracy was found in the low number of variables. Therefore, the relationship obtained at the field level can be used to evaluate soil water stress and determine irrigation time in agricultural lands on a large scale, without measuring soil data.

Keywords: Landsat 9, Sentinel 2, Data mining, Decision tree regression

* - Corresponding author's email: hesamm@gau.ac.ir

Economic Valuation of Water in Agricultural Sector of Hamedan Province, Iran

A. M. Jafari*, A. Ghadami Firouzabadi, M. Solgi, G. Zarei, and K. Shanazi

Assistant Prof., of Economic, Social and Extension Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Hamedan, Iran.

a-jafari@areeo.ac.ir

Associate Prof., Agricultural Engineering Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Hamedan, Iran.

a-ghadami@areeo.ac.ir

Assistant Prof., of Economic, Social and Extension Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Hamedan, Iran.

m-solgi@areeo.ac.ir

Associate prof., of Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. **g.zarei@areeo.ac.ir**

PhD student in agricultural development- Department of Agricultural Education and Extension-Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. **Karo_4pk@yahoo.com**

Received: September 2023 and Accepted: December 2023

Abstract

Water scarcity is the biggest problem in Hamadan Province. In the meantime, agricultural sector is more vulnerable than other economic sectors due to its high share of water consumption. Policymakers are interested in adopting appropriate policies and tools to manage crisis and tackle water scarcity problems. This study aimed to determine the economic value of water in the agricultural sector of the province and the potential for revenue generation of this resource in the production of irrigated crops. Selected products for the study included wheat, barley, alfalfa, potato, sugar beet, corn, grain fodder, watermelon, garlic, cucumber, tomato, grape, and walnut products. Data was obtained through questionnaires and interviews with farmers for the 2018-19 crop year and for estimating economic value of water using Cobb-Douglas production form. The results showed that the economic value of water in different crops was greater than the water supply costs. The economic value of water for the mentioned products was equal to 2043, 3775, 6023, 3506, 2136, 1956, 1778, 4902, 36750, 16337 and 4929, 15840 and 20064 Rials/m³ and, on average, 9232 Rials/m³ of water, respectively. These figures are compared to the cost of extracting water from underground sources the most expensive source is 496 Rials/m³, which shows a big gap between these numbers; therefore, it is possible to price water at the same rate as the above figures. This provides incentives towards more efficient water use in this economic sector.

Keywords: Marginal production value, Production function, Cobb Douglas method

* - Corresponding author's email: a-jafari@areeo.ac.ir

Evaluation of Some Yield Responses of Canola Cultivars under Supplementary Irrigation and Dry Land Conditions

R. Mohtashami *

Assistants Prof., Seed and Plant Improvement Department, Research and Education Center of Agricultural and Natural Resources of Kohgiluyeh and Boyerahmad, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Yasooj, Iran. r.mohtashami@areeo.ir

Received: May 2023 and Accepted: December 2023

Abstract

In most arid and semi-arid areas, water limitations are one of the main reasons for the reduced plant growth and yield under irrigation and dry land (rainfed) conditions. The aim of this study was to compare the morphophysiological responses of rapeseed cultivars to supplementary irrigation and dryland conditions. For this purpose, an experiment was carried out as a split plot in the form of a randomized complete block design with three replications during 2017-2018 in the Gachsaran Agricultural Research Station. Irrigation treatments were at four levels (no irrigation= I_0 , supplementary irrigation at flowering stage= I_1 , supplementary irrigation at grain filling stage= I_2 , and supplementary irrigation at flowering stage+ grain filling= I_3) in the main plot, and cultivars Hayola 401, R. J. S, and Shirali as factorial in the sub-plots. The results showed that supplementary irrigation increased plant height, number of sub-branches per plant, 1000- grain weight, grain yield, and oil percentage compared to rainfed conditions. With supplementary irrigation, the weight of 1000 grains increased by 32% compared to rainfed. Grain yield increased from 755 in rainfed conditions to 2350 kg.ha⁻¹ with two supplementary irrigations. With two supplementary irrigations, the oil content increased by 11.8% compared to the rainfed conditions. In all irrigation treatments, grain yield and oil content of Hayola 401 were higher than R. J. S and Shirali cultivars. In general, supplementary irrigation improved morphophysiological traits, yield, and percentage of grain oil. In rainfed rapeseed cultivation, with supplemental irrigations at flowering and grain filling, water productivity increased from 0.21 to 0.53 kg m⁻³ grain yield from 755 to 2350 kg ha⁻¹ and oil percentage from 35.4 to 36.9.

Keywords: Water productivity; Grain yield; Oil percentage; rapeseed

* - Corresponding author's email: r.mohtashami@areeo.ir

Effect of Application of Soil Amendments in Deficit Irrigation Conditions on the Yield and Physical Productivity of Maize in Khoram Abad Region

M. Saeidinia*, S. H. Mousavi, and S. Rahimi Moghadam

Assistant Prof., Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. mehri_saeidinia@yahoo.com

M.Sc. student, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. hoseinmousavi8@gmail.com

Assistant Prof., Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. sajadr.moghaddam@yahoo.com

Received: June 2, 2023 and Accepted: December 2023

Abstract

Iran is located in the dry belt of the earth and its rainfall is one third of the global average. Therefore, proper management of water resources is necessary, especially in the agricultural sector. For this purpose, in 2022, a research was conducted with the aim of investigating the effect of several soil amendments in Khorram Abad region, in the research farm of Lorestan University. The experiment was factorial with a randomized complete block design in three replications. Treatments were irrigation water at 4 levels of $I_1=100\%$, $I_2=80\%$, $I_3=60\%$, and $I_4=40\%$ of the water requirement and different soil moisture amendments including vermicompost (C) 6 t/ha, biochar (B) 1.5 t/ha, superabsorbent (S) 63 kg/ha, and organic mulch (M) 7.5 t/ha and the control treatment (I). Results showed that the highest productivity, biological yield, and plant height were related to I_1 -C treatment, which were 126.71 t/ha, 46.27 t/ha and 2.35 meters, respectively. The highest water productivity and biological productivity at the probability level of 5% was I_2 -C, which was calculated as 16.79 kg of fresh fodder/m³ of irrigation water and 5.9 kg of dry matter/m³ water. In general, vermicompost and biochar also increased the fresh and biological yield, height, and water productivity of corn. The use of mulch in 100% and 80% treatments had better effect, but with the increase in water stress (i.e. I_3 and I_4), effect of mulch decreased (5.3% and 1% relative to the control). Superabsorbent in I_{100} , I_{80} , I_{60} treatments showed lower effect (9.3%, 7.2%, 3% less fresh weight than the control, respectively). However, with increasing stress, I_4 had better results (7.6% higher fresh yield than the control). Therefore, in Khorram Abad region, the amount of 6 t/ha of vermicompost and 80% of the water requirement applied by drip tape irrigation for fodder corn is recommended to increase the production rate while saving 20% of water consumption.

Keyword: Super absorbent, Organic fertilizers, Mulch, Farm water management

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

Investigating the Effect of Drip and Furrow Irrigation Methods on the Simulation of Sugar Beet Yield by Using AquaCrop Model

**M. Yaghoobzadeh*, F. Azarmi Atajan, M. Arabi Ayask, and
A. H. Ghadirian**

Associate Prof., Department of Water Science and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
Research Group of Drought and Climate change, University of Birjand, Birjand, Iran.

M.yaghoobzadeh@birjand.ac.ir

Assistant Prof., Department of Soil Science and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.
Research Group of Drought and Climate change, University of Birjand, Birjand, Iran.

farhadazarmi@birjand.ac.ir

M.Sc. of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, University of Birjand.

mehdiarabi11@yahoo.com

M.Sc. of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, University of Birjand.

amir.0017h@gmail.com

Received: September 2023 and Accepted: December 2023

Abstract

Optimal use and management of water resources is very important. Also, choosing the appropriate irrigation method plays a vital role in saving water consumption in the agricultural sector. Therefore, in the current research, the effect of the irrigation method on the simulation of sugar beet yield was investigated using the AquaCrop model. In this study, the effect of two methods of drip irrigation (tape) and surface irrigation (furrow) and three levels of irrigation water (50%, 75%, and 100% of the plant's water requirement) on the yield of sugar beet plants was investigated in Sarayan-Ayask region, Iran. A factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with 4 replications in 2021-22. The results showed that irrigation method had a significant effect on leaf diameter, leaf length, leaf weight, tuber diameter, and tuber length and weight of sugar beet tuber. Also, according to the results, drip irrigation had greater effect than furrow irrigation on the studied traits. Then, the grain and biomass yield was simulated using the AquaCrop model and the simulated values were calibrated and verified using observational data. Calibration was done using two replications of 100% and 50% stress levels, and validation was done using the replication of 75% stress level. The NRMSE, RMSE, RD and R^2 coefficients of the model calibration values showed that the simulated and validated values were close to each other and these values were more precise in drip irrigation than in furrow irrigation. Validation values of two irrigation methods also showed the ability of model in simulating grain yield and biomass.

Keywords: Plant model, Calibration, Drought stress

* - Corresponding author's email: M.yaghoobzadeh@birjand.ac.ir

Investigating the Effect of Drip and Furrow Irrigation Methods on the Simulation of Sugar Beet Yield by Using AquaCrop Model.....20

M. Yaghoobzadeh, F. Azarmi Atajan, M. Arabi Ayask, and A. H. Ghadirian

Effect of Application of Soil Amendments in Deficit Irrigation Conditions on the Yield and Physical Productivity of Maize in Khoram Abad Region21

M. Saeidinia, S. H. Mousavi, and S. Rahimi Moghadam

Evaluation of Some Yield Responses of Canola Cultivars under Supplementary Irrigation and Dry Land Conditions.....22

R. Mohtashami

Economic Valuation of Water in Agricultural Sector of Hamedan Province, Iran.....23

A. M. Jafari, A. Ghadami Firouzabadi, M. Solgi, G. Zarei, and K. Shanazi

Evaluation of Cotton Water Stress Estimation Using Multispectral Satellite Images Based on M5 Tree Model.....24

M. Mazidi, M. Hesam, Gh. Khalili, and Ch B Komaki

Response of the Medicinal Plant Salvia L. to Magnetized Saline Irrigation Water.....25

F. Karimpour, M. Khoshnavesh, M. A. Gholami Sefidkouhi, and V. Akbarpour

Interaction Effect of Deficit Irrigation and Biochar on Quantitative Characteristics of Coriander in Sandy Loam Soil.....26

S. Mokarram hesar, J. Behmanesh, and V. Rezaverdinejad

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

Journal of Water Research in Agriculture

Vol. 37, No. 4
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 37/ No 4/ 2023

ISSN: 2228-7140

Contents

Subject

Page

Investigating the Effect of Drip and Furrow Irrigation Methods on the Simulation of Sugar Beet Yield by Using AquaCrop Model.....20

M. Yaghoobzadeh, F. Azarmi Atajan, M. Arabi Ayask, and A. H. Ghadirian

Effect of Application of Soil Amendments in Deficit Irrigation Conditions on the Yield and Physical Productivity of Maize in Khoram Abad Region21

M. Saeidinia, S. H. Mousavi, and S. Rahimi Moghadam

Evaluation of Some Yield Responses of Canola Cultivars under Supplementary Irrigation and Dry Land Conditions.....22

R. Mohtashami

Economic Valuation of Water in Agricultural Sector of Hamedan Province, Iran.....23

A. M. Jafari, A. Ghadami Firouzabadi, M. Solgi, G. Zarei, and K. Shanazi

Evaluation of Cotton Water Stress Estimation Using Multispectral Satellite Images Based on M5 Tree Model.....24

M. Mazidi, M. Hesam, Gh. Khalili, and Ch B Komaki

Response of the Medicinal Plant Salvia L. to Magnetized Saline Irrigation Water.....25

F. Karimpour, M. Khoshravesh, M. A. Gholami Sefidkouhi, and V. Akbarpour

Interaction Effect of Deficit Irrigation and Biochar on Quantitative Characteristics of Coriander in Sandy Loam Soil.....26

S. Mokarram hesar, J. Behmanesh, and V. Rezaverdinejad