



پژوهش آب در کشاورزی

Wra.areeo.ac.ir

ISSN: 2228-7140

ب / جلد ۳۶ / شماره ۴ / سال ۱۴۰۱

صفحه

عنوان

۳۵۹..... بررسی اثر تنش کم آبی بر کارایی مصرف آب و تحمل خشکی ارقام جدید آفتابگردان.....
مجید اسماعیلی، حمید مدنی، بهرام مجد نصیری، سعید چاوشی و نورعلی ساجدی

۳۷۷..... تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی نخل خرماي رقم برچی در خوزستان.....
مجید علی حوری

۳۹۱..... ارزیابی بهره‌وری فیزیکی - اقتصادی آب در روش‌های مختلف کاشت و آبیاری برنج رقم فجر در استان گلستان.....
پروین ذوالفقاری، ابوطالب هزار جریبی، اسماعیل اسدی و ابراهیم امیری

۴۰۵..... تعیین ضریب گیاهی و نیاز آبی گیاه کینوا به روش لایسیمتری در دشت بیرجند.....
فرزانه گلستانی‌فر، عباس خاشعی سیوکی و سهراب محمودی

۴۲۱..... شناسایی ویژگی‌های مؤثر بر هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با استفاده از روش‌های انتخاب ویژگی.....
مسعود پورغلام آمیجی، خالد احمدآلی و عبدالمجید لیاقت

۴۴۱..... اثر تنش آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد توت فرنگی با استفاده از آب مغناطیسی شده.....
مجتبی خوش‌روش و مسعود پورغلام آمیجی

۴۵۵..... برآورد تبخیر- تعرق مرجع با داده‌های محدود و کامل ایستگاه‌های سینوپتیک ساری، قراخیل قائم‌شهر و آمل.....
عاطفه رودباری و علی باقری

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

جلد ۳۶ شماره (۴)
۱۴۰۱

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

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

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

چهار شماره
دکتر حمید سیادت
مهندس فاطمه آقاجانی

تعداد انتشار در سال:
ویراستار انگلیسی:
صفحه آرایی:

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

- ۳۵۹..... بررسی اثر تنش کم آبی بر کارایی مصرف آب و تحمل خشکی ارقام جدید آفتابگردان.....
مجید اسماعیلی، حمید مدنی، بهرام مجد نصیری، سعید چاوشی و نورعلی ساجدی
- ۳۷۷..... تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی نخل خرماي رقم برچی در خوزستان.....
مجید علی حوری
- ۳۹۱..... ارزیابی بهره‌وری فیزیکی- اقتصادی آب در روش‌های مختلف کاشت و آبیاری برنج رقم فجر در استان گلستان.....
پروین ذوالفقاری، ابوطالب هزار جریبی، اسماعیل اسدی و ابراهیم امیری
- ۴۰۵..... تعیین ضریب گیاهی و نیاز آبی گیاه کینوا به روش لایسیمتری در دشت بیرجند.....
فرزانه گلستانی‌فر، عباس خاشعی سیوکی و سهراب محمودی
- ۴۲۱..... شناسایی ویژگی‌های مؤثر بر هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با استفاده از روش‌های انتخاب ویژگی.....
مسعود پورغلام آمیجی، خالد احمدآلی و عبدالمجید لیاقت
- ۴۴۱..... اثر تنش آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد توت فرنگی با استفاده از آب مغناطیسی شده
مجتبی خوش‌روش و مسعود پورغلام آمیجی
- ۴۵۵..... برآورد تبخیر- تعرق مرجع با داده‌های محدود و کامل ایستگاه‌های سینوپتیک ساری، قراخیل قائم‌شهر و آمل.....
عاطفه رودباری و علی باقری

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

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

الف) اصول کلی

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

ب) نحوه تهیه و ارسال مقاله

نحوه نگارش مقاله

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

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

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

شناسنامه مقاله

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

برگ شناسه

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

عنوان مقاله

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

چکیده

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

واژه‌های کلیدی

واژه های کلیدی بایستی ۳-۶ کلمه باشد. واژه‌های کلیدی چکیده انگلیسی نیز بایستی ترجمه دقیق واژه‌های چکیده فارسی باشد. در انتخاب واژه‌های کلیدی از تکرار واژه‌هایی که در عنوان مقاله آمده است خودداری فرمایید

مقدمه

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

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

مواد و روشها

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

نتایج

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

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

بحث

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

تشکر و قدردانی

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

فهرست منابع

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

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

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

فهرست منابع مورد استفاده در پایان متن به صورت پیوسته و به ترتیب منابع فارسی و انگلیسی ارائه شوند. منابع مورد استفاده به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی نگارنده، (یا اولین نگارنده برای منابعی که بیش از یک نگارنده دارند) زیر هم آورده شوند. چنانچه از یک نگارنده چندین منبع ذکر شود، ترتیب درج آن‌ها بر حسب سال انتشار، از جدید به قدیم است. اگر از نگارنده‌ای چندین منبع همسال وجود داشته باشد، با گذاشتن حروف b، a و c پس از سال انتشار منابع از یکدیگر متمایز شوند. چنانچه مقالات منفرد و مشترک از یک نگارنده ارائه شود، نخست مقالات منفرد و سپس مقاله‌های مشترک به ترتیب حروف الفبای نام نگارندگان بعدی مرتب شوند.

برای یک مقاله به ترتیب نام خانوادگی نگارنده، حرف اول اسم کوچک نگارنده، تاریخ انتشار، عنوان مقاله عنوان کامل مجله، شماره جلد و اولین و آخرین صفحه مقاله ارائه شود. برای یک کتاب به ترتیب نام خانوادگی و سپس حرف اول نام کوچک نگارنده، تاریخ انتشار، عنوان کامل کتاب، شماره جلد، نام ناشر، محل انتشار و تعداد کل صفحات ارائه شود. در مورد مقاله یا کتاب‌هایی که بیش از یک نویسنده دارند به ترتیب نام خانوادگی و حرف اول نام اولین نویسنده و سپس اول نام نویسندگان بعدی و پس از آن نام خانوادگی آن‌ها ذکر شود.

در مورد مرجعی که نویسنده آن مشخص نیست به جای نام نگارنده از "Anonymous" برای منابع انگلیسی و (بی نام) برای منابع فارسی استفاده شود.

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

مثال‌های برای تنظیم منابع

مقاله از مجله

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

مقاله از کارگاه آموزشی یا علمی

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

مطلب از کتاب

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

مطلب نقل شده یک نویسنده در یک مجموعه مقالات

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

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

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

ذکر مطلب از اینترنت

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

منابع مورد استفاده در متن بدین صورت نگاشته شوند:

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

اسمیت (۲۰۰۲) گزارش کرد ...

اسمیت و جونز (۲۰۰۲) گزارش کردند...

اسمیت و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند...

– در صورت عدم رعایت دقیق مطالب فوق الذکر، مقاله پذیرفته نمی شود و پیش از بررسی به اطلاع نویسنده مسئول می رسد. بدیهی است چنانچه مقاله ارسالی با شرایط ذکر شده تهیه و عودت داده شود مجدداً از زمان برگشت که تاریخ واقعی مقاله منظور می شود مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

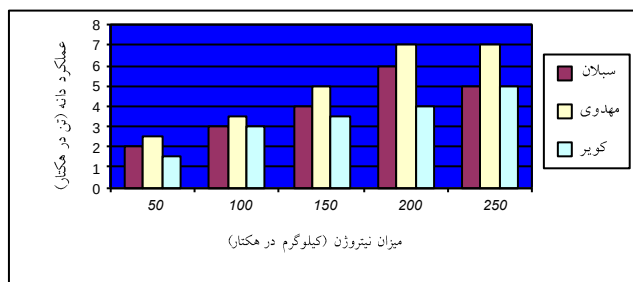
جدول نامناسب

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

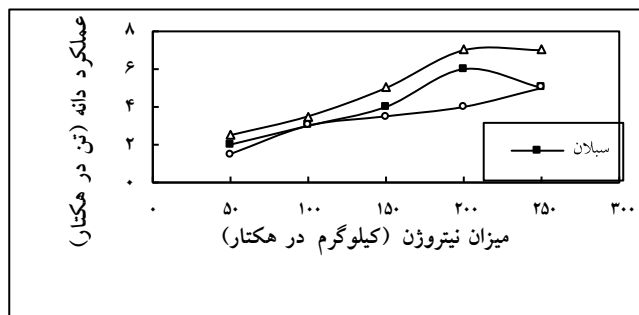
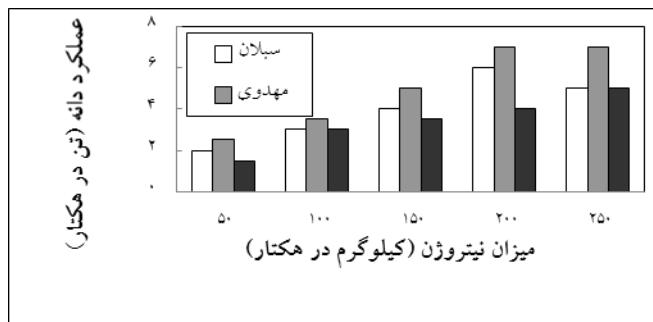
جدول مناسب

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

شکل نامناسب



شکل مناسب



مجله پژوهش آب در کشاورزی

دکتر آرش تافته.....	۲ دآوری
دکتر ناصر دواتگر.....	۶ دآوری
دکتر حمیدرضا سالمی.....	۳ دآوری
دکتر علی شاهنظری.....	۲ دآوری
دکتر علی قدمی فیروزآبادی.....	۲ دآوری
دکتر عبدالمجید لیاقت.....	۶ دآوری
دکتر رضا محمدی کیا.....	۲ دآوری
دکتر علی مرشدی.....	۳ دآوری
دکتر فاطمه مسکینی.....	۱ دآوری
دکتر محمدحسین مهدیان.....	۱ دآوری
دکتر سید مجید میرلطیفی.....	۱ دآوری
دکتر مریم نوابیان.....	۱ دآوری

بررسی اثر تنش کم آبی بر کارایی مصرف آب و تحمل خشکی ارقام جدید آفتابگردان

مجید اسماعیلی، حمید مدنی^۱، بهرام مجد نصیری، سعید چاوشی و نورعلی ساجدی

دانشجوی دکترا دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان، گروه زراعت، اهواز، ایران. me3185@yahoo.com

دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، گروه زراعت، اراک، ایران. H-madani@iau.arak.ac.ir

دانشیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

اصفهان، ایران. N-S5959@yahoo.com

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، گروه زراعت، اراک، ایران. Chavoshi.S@gmail.com

دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، گروه زراعت، اراک، ایران. N-sajedi@iau-arak.ac.ir

دریافت: مهر ۱۴۰۱ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۱

چکیده

به منظور بررسی اثر کم آبیاری در مرحله‌ی زایشی بر کارایی مصرف آب و تحمل خشکی ارقام آفتابگردان، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در منطقه برآآن جنوبی در استان اصفهان در سال ۱۳۹۹ انجام شد. کرت اصلی شامل آبیاری سطحی در سه سطح بر اساس میزان تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A شامل: بدون تنش کم آبی (۹۰ میلی‌متر تبخیر)، تنش کم آبی ملایم (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) و تنش کم آبی شدید (۱۵۰ میلی‌متر تبخیر) و کرت فرعی شامل پنج هیبرید جدید آفتابگردان روغنی به نام‌های کیارا، اسکار، فانتازیا، های سان ۳۳ و شمس بود. عملکرد بیولوژیک، عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت، کارایی مصرف آب و شاخص‌های مقاومت به خشکی اندازه‌گیری و محاسبه شد. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک (۱۳۴۵۷ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد اقتصادی (۴۸۵۴ کیلوگرم در هکتار)، و شاخص برداشت (۴۳٪) در تیمار بدون تنش کم آبی و پس از آن در تیمار ۱۲۰ میلی‌متر به دست آمد. در بین ارقام، رقم فانتازیا با عملکرد بیولوژیک معادل ۱۲۲۶۸ کیلوگرم در هکتار، عملکرد اقتصادی معادل ۴۰۸۱ کیلوگرم در هکتار و شاخص برداشت ۴۳٪ بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داد. بیشترین کارایی مصرف آب، در شرایط تنش کم آبی ملایم و تنش کم آبی شدید به ترتیب با ۰/۸۵ و ۰/۷۲ کیلوگرم در مترمکعب به دست آمد. در بین ارقام آفتابگردان بیشترین کارایی مصرف آب متعلق به رقم های سان ۳۳ با ۱/۰۴ کیلوگرم در مترمکعب بود. رقم فانتازیا با ۰/۹۶ و رقم شمس با ۰/۸۴ کیلوگرم در مترمکعب در رتبه‌های بعد قرار گرفتند. هم‌چنین کمترین مقادیر کارایی مصرف آب مربوط به ارقام اسکار و کیارا به ترتیب با مقدار ۰/۸۱ و ۰/۷۵ کیلوگرم در مترمکعب بود. در مجموع، کم آبیاری در تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر کمترین اثر منفی را بر عملکرد و شاخص برداشت داشت و از نظر کارایی مصرف آب نیز مناسب بود. هم‌چنین رقم فانتازیا با دارا بودن بالاترین عملکرد، بیشترین تحمل خشکی و شاخص برداشت، از کارایی مصرف آب مناسبی برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی کارایی مصرف آب، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، عملکرد اقتصادی

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، گروه زراعت، اراک، ایران.

مقدمه

کشاورزی پایدار بدون استفاده بهینه از منابع آب میسر نخواهد شد. کشور ایران دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک و اراضی مستعد کشاورزی زیادی است. حدود ۹۳/۵ درصد آب استحصال از منابع سطحی و زیرزمینی کشور در بخش کشاورزی مصرف می شود و در عین حال کمبود آب عامل اصلی محدودکننده تولید است (غفاری و همکاران، ۲۰۲۰). در این راستا کم آبیاری^۱ با صرفه جویی در مصرف آب می تواند به عنوان یک راهکار سودمند در وضعیت محدودیت آب و با هدف حداکثر استفاده از واحد حجم آب مصرفی، مطرح شود. با کم آبیاری به طور آگاهانه به گیاه اجازه داده می شود با دریافت آب کمتر از نیاز، محصول خود را کاهش دهد (انگلیش^۲ و همکاران، ۱۹۹۰؛ صارمی راد و مصطفوی (۲۰۲۰)). هر چند به اعتقاد گوکسوی^۳ و همکاران (۲۰۰۴) قبل از شروع فعالیت زراعی اثرات کم آبیاری بر عملکرد و کیفیت گیاه باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد.

گیاهانی که برای کم آبیاری انتخاب می شوند بایستی مقاوم به تنش آبی باشند (توکلی، ۱۳۸۵). آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) به عنوان یکی از چهار گیاه مهم زراعی تأمین کننده روغن و پروتئین (غفاری و همکاران، ۲۰۲۰) دارای دامنه سازگاری اقلیمی گسترده بوده و بهتر از سایر گیاهان زراعی یکساله قادر به تحمل کم آبی است. توانایی آفتابگردان در تحمل دوره های کوتاه تنش کم آبی با کاهش عملکرد در حد قابل قبول، یک خصوصیت ارزشمند در مناطق خشک محسوب می شود (راضی و آساد، ۱۳۷۷). نیاز آبی آفتابگردان از ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی متر بسته به اقلیم و طول دوره رشد متفاوت است (دورنبوس و کسام^۴، ۱۹۷۹).

به اعتقاد اهدائی و وینز^۵ (۱۹۹۳) یکی از مهم ترین عوامل مؤثر در برنامه ریزی آبیاری، کارایی مصرف آب^۶

(WUE) یا مقدار ماده خشک تولیدی به ازای واحد آب مصرفی است که از عوامل تعیین کننده آن، عملکرد اقتصادی (عملکرد دانه)، عملکرد بیولوژیک و میزان آب مصرفی را می توان نام برد. به عبارت دیگر در شرایط نزدیک به تنش کم آبی، گیاه در مقایسه با شرایط آبی، نسبت به میزان آب مصرف شده محصول بیشتری تولید می کند (غفاری و همکاران، ۲۰۲۰). کرام^۷ و همکاران (۲۰۰۷) کارایی مصرف آب را در شرایط بدون تنش کم آبی آفتابگردان ۰/۷۴ کیلوگرم در مترمکعب برآورد نموده و نشان دادند با کم آبیاری در اوایل گل دهی این مقدار کاهش یافته و در مراحل بعدی افزایش می یابد. به طوری که با کم آبیاری در اوایل تشکیل دانه به بالاترین مقدار رسید. در اغلب گیاهان زراعی بازده استفاده از آب بیشتر برای دانه، مربوط به بهبود زیست توده نیست بلکه عمدتاً مربوط به بهبود شاخص برداشت^۸ (HI) است. در بررسی ارقام جدید و قدیم اغلب گیاهان زراعی، شاخص برداشت مسئول افزایش عملکرد بوده است (ریچاردز^۹ و همکاران، ۱۹۹۳). ریچاردز و همکاران (۲۰۰۲) معتقدند شاخص برداشت در شرایط خشکی تابع مقدار آب استفاده شده پس از گرده افشانی بوده که هر چه بیشتر باشد شاخص برداشت نیز بیشتر خواهد بود.

در مناطق خشک و نیمه خشک، دستیابی به ارقامی که در شرایط محدودیت آب و کم آبیاری تحمل بیشتری نشان داده و کاهش عملکرد کمتری داشته باشند، بسیار مهم است. به طوری که می توان از اتلاف منابع آب جلوگیری نمود و در عین حال در شرایط محدودیت آب عملکرد مطلوبی به دست آورد (سالمی و افیونی، ۱۳۸۴). انتخاب مستقیم برای عملکرد معمولاً ساده ترین راه برای بهبود عملکرد و افزایش بازده استفاده از آب در گیاهان زراعی و در شرایط تنش کم آبی است. در این رابطه فیشر و مورر^{۱۰} (۱۹۷۸) شاخص حساسیت به تنش^{۱۱} (SSI) را

⁷ -Karam, Lahoud, Masaad, Kabalan, Breidi, Chalita, & Rouphael

⁸ -Harvest Index

⁹ -Richards, Rebetzke, Condon & van Herwaarden

¹⁰ -Fisher & Maurer

¹¹ -Stress Susceptibility Index

¹ -Deficit irrigation

² -English, Musick, & Murty

³ -Göksoy

⁴ -Doorenbos & Kassam

⁵ -Ehdaie & Waines

⁶ -Water use efficiency

مواد و روش‌ها

این مطالعه در منطقه برآآن جنوبی در استان اصفهان طی دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام گرفت. این منطقه بر اساس طبقه‌بندی کوپن دارای اقلیم خشک بسیار گرم با تابستان‌های خشک است. تعداد پنج هیبرید جدید آفتابگردان روغنی به اسامی کیارا، اسکار، فانتازیا، های سان ۳۳ و شمس تحت شرایط مختلف رطوبتی مورد ارزیابی قرار گرفتند. مطالعه فوق در قالب طرح اسپلیت کرت بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. رژیم‌های مختلف آبیاری سطحی در سه سطح شامل آبیاری معمول (شاهد) یا آبیاری بر اساس ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به‌عنوان کرت-های اصلی و پنج رقم آفتابگردان به‌عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. کاشت با تراکم ۱۰ بوته در مترمربع و در تاریخ ۲۰ تیرماه به‌عنوان کشت دوم صورت پذیرفت. بین تکرارها نیز سه متر فاصله به‌منظور عدم تأثیرگذاری رطوبت از تیمارهای مجاور مدنظر قرار گرفت. کشت بذور در وسط پشته‌های ۵۰ سانتی‌متری و با فاصله ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر (چیت بند و همکاران، ۱۳۹۴) و در تاریخ دهم تیرماه هر سال به‌عنوان کشت دوم انجام گردید. این تراکم بوته برای غالب ارقام زودرس در کشت دوم مناسب است. آبیاری هر یک از کرت‌های اصلی با رسیدن میزان تبخیر انجام‌شده به حد در نظر گرفته‌شده در آزمایش از تشتک تبخیر کلاس A که در محل انجام طرح نصب شد، به‌طور یکنواخت صورت پذیرفت. مقدار آب استفاده‌شده در هر بار آبیاری به‌وسیله کنتورهای مزرعه‌ای که در محل مجرای ورودی آب به کرت‌های اصلی نصب‌شده بود، اندازه‌گیری و ثبت گردید. آزمون خاک (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) برای تعیین میزان کودشیمیایی مصرفی انجام شد (جداول ۱ و ۲) و پس از اختلاط میزان کود لازم با خاک در زمان

معرفی کردند. هم‌چنین رزلی و هامبلین^۱ (۱۹۸۱) شاخص تحمل به تنش^۲ (TOL) و نیز شاخص متوسط محصول‌دهی یا بهره‌وری^۳ (MP) را ارائه دادند. هرچه TOL و SSI کمتر باشد، نشان‌دهنده این است که گیاه مقاومت بیشتری نسبت به تنش دارد. انتخاب بر اساس TOL و SSI باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که در شرایط تنش عملکرد بالایی دارند، ولی پتانسیل عملکردشان کم است (فرناندز، ۲۰۱۷: فرناندز و همکاران^۴، ۲۰۱۸). انتخاب بر اساس MP باعث افزایش عملکرد در هر دو محیط می‌شود. البته در صورتی که هم‌بستگی عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش شدیداً منفی باشد، انتخاب بر اساس MP باعث کاهش عملکرد در شرایط تنش می‌شود (رزلیه و هامبلین^۵، ۱۹۸۱). فرناندز (۱۹۹۲) شاخص تحمل به تنش^۶ (STI) و میانگین هندسی محصول‌دهی^۷ (GMP) را ارائه نمود. شاخص GMP در مقایسه با MP قدرت بیشتری دارد. بنابراین در صورت اختلاف زیاد بین عملکرد در شرایط مطلوب و عملکرد در شرایط تنش، گیاه نسبت به مقادیر آستانه‌ای حساسیت کمتری دارد. ژنوتیپ‌هایی که مقادیر STI آن‌ها بالاتر است، هم تحمل به خشکی و هم پتانسیل عملکرد بالاتر دارند. در مطالعه غفاری (۱۳۸۶) روی ارقام آفتابگردان در شرایط تنش کم آبی و بدون تنش، شاخص STI با شاخص برداشت هم‌بستگی مثبت و شاخص SSI با شاخص برداشت هم‌بستگی منفی داشت.

با توجه به اهمیت آب آبیاری در کشت تابستانه گیاهان، کمبود آب در این زمان و نیاز سایر محصولات زراعی به آب، اعمال کم آبیاری تا حدی که به گیاه تنش شدیدی وارد نشود، از اهمیت خاصی برخوردار است. پژوهش حاضر به بررسی کارایی مصرف آب و تحمل خشکی ارقام جدید آفتابگردان در شرایط کم آبیاری آخر فصل پرداخته است.

^۱-Rosielle & Hamblin^۲-Stress Tolerance Index^۳-Geometric Mean Productivity^۱-Rosielle & Hamblin^۲-Tolerance Index^۳-Mean Productivity^۴-Fernandez, Alcon, Diaz-Espejo, Hernandez-Santana, & Cuevas

و یک سوم کود نیتروژن دار قبل از کاشت و مابقی آن در مرحله شش تا هفت برگی به خاک اضافه شد. تمام کرت‌ها عاری از آفت و بیماری بوده و کنترل علف‌های هرز به‌طور کامل طی دو مرحله در دوره رشد رویشی با دست انجام شد.

کاشت، یک سوم از کود ازت نیز به‌عنوان سرک و در مرحله شش تا هشت برگی بوته‌ها در اختیار خاک قرارگرفت. کودهای مورد نیاز بر اساس نتایج آزمایشگاه خاک‌شناسی و بر اساس توصیه کودی، به میزان ۲۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم، ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار استفاده شد. تمام کودهای فسفردار و پتاس

جدول ۱- نتایج آزمون خاک و آب در منطقه مورد مطالعه

مشخصه	رطوبت دائم (FC)	رطوبت تبادل	کاتیون	ظرفیت زراعی (PWP)	رطوبت در اشباع خاک	pH	EC	مواد آلی	کربنات کلسیم	نیتروژن	منگنز	روی	آهن	فسفر	پتاسیم	سدیم	سولفات	رس	سیلیک	بافت خاک
واحد	درصد حجمی	cmol+·kg-1	درصد حجمی	درصد حجمی	%	-	ds m-1	%	-	%	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	meq l-1	meq l-1	%	%	%
مقدار	۹	۱۰/۴۰	۲۱	۲۱	۴۵	۷/۳۸	۳/۱	۰/۷۲	۲۰	۰/۵۱	۲/۹	۳/۸	۲/۴۱	۴۶/۱۱	۴۴۷	۴/۷	۲/۱	۳۸	۳۰	

جدول ۲- تغییرات ماهیانه دمای هوا و بارندگی طی فصل رشد در سال‌های ۱۳۹۸-۹۹ و ۱۳۹۹-۱۴۰۰

ماه‌های فصل رشد	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)	مجموع بارندگی (میلی‌متر)	دمای مطلق (درجه سانتی‌گراد)
	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۳۹۸
فروردین	۱۲/۳	۱۲/۴	۴۵/۵
اردیبهشت	۱۶/۴	۱۶/۱	۱۹/۶
خرداد	۲۲/۲	۲۲/۵	۱۸/۸
تیر	۳۰/۵	۳۰/۶	۹/۳
مرداد	۳۴/۴	۳۴/۶	۲/۳
شهریور	۲۴/۷	۲۴/۱	۴/۵
مهر	۱۹/۴	۱۹/۷	۵/۶

دانه‌ها جدا گردیدند. پس از خشک شدن دانه‌ها وزن صد دانه تیمارها و درصد مغز دانه به همراه عملکرد دانه و سایر صفات تعیین گردید. درصد روغن نمونه‌های حاصل از دانه‌های کامل هر کرت در آزمایشگاه با روش سوکسله^۱ و با استفاده از حلال پترولیوم اتر^۲ (ACS) برآورد شد (کاظمی و عبدالحسینی، ۱۳۹۱).

در این مطالعه هر کرت فرعی شامل پنج خط کاشت به طول چهار متر بوده که سه خط میانی به‌عنوان

در مرحله رسیدگی (مرحله‌ای که طبق‌ها زرد و براکته‌ها قهوه‌ای بودند) ده بوته متوالی از چهار ردیف وسطی هر کرت انتخاب شد. بعد از تعیین قطر طبق، تعداد دانه‌های پر و توخالی شمارش گردید. به‌منظور تعیین عملکرد دانه و شاخص برداشت در مرحله رسیدگی نمونه‌هایی از محل خروج ساقه از ردیف‌های دوم تا چهارم و با حذف نیم متر طولی از ابتدا و انتهای ردیف‌ها به‌عنوان اثر حاشیه‌ای برداشته شد. طبق‌ها در هوای آزاد خشک‌شده و

^۲ -Petroleum ether^۱ -Soxhlet extractor دستگاهی برای جداسازی چربی‌ها (لیپیدها) از مواد جامد

ضریب گیاهی دو جزئی

ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) برای گیاه آفتابگردان از جدول ۱۷ فائو ۵۶ برای مراحل اولیه، میانی و انتهایی رشد انتخاب می‌شوند (جدول ۳). در شرایطی که لایه خاک سطحی خشک بوده، اما مقدار آب برای تعرق کامل به میزان کافی برای گیاه وجود داشته باشد، ضریب گیاهی پایه را از نسبت تبخیر تعرق گیاه به تبخیر تعرق مرجع به دست می‌آورند، لذا ضریب گیاهی پایه همان ضریب گیاهی یک جزئی در شرایطی است که اثر تبخیر اضافی ناشی از خیس شدن سطح خاک با آبیاری و یا بارندگی وجود نداشته باشد.

ردیف برداشت و دو خط کناری به عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند (شکل ۱). همچنین کاشت با تراکم ده بوته در مترمربع در وسط پشته‌های ۵۰ سانتی متری و با فاصله ۲۰ سانتی متر از یکدیگر انجام گرفت. در طول فصل رشد صفات رویشی شامل تاریخ ظهور هر یک از مراحل نمو، سبز شدن کامل، ستاره‌ای شدن، غنچه‌دهی، شروع و پایان گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک همچنین ارتفاع بوته، قطر ساقه و قطر طبق اندازه‌گیری و ثبت شد.

جدول ۳- ضرایب گیاهی ارائه شده توسط فائو برای مراحل مختلف رشد آفتابگردان

مراحل رشد	اولیه	میانی	پایانی
ضریب گیاهی پایه	۰/۱۵	۰/۹۵-۱/۱	۰/۲۵

$$HI = \frac{EY}{BY} * 100 \quad (3)$$

در این روابط: WUE کارایی مصرف آب برحسب کیلوگرم در مترمکعب، EY عملکرد اقتصادی برحسب کیلوگرم در هکتار، ETCrop نیاز آبی برحسب مترمکعب در هکتار، HI شاخص برداشت برحسب درصد و BY عملکرد بیولوژیک برحسب کیلوگرم در هکتار است. همچنین برای محاسبه شاخص‌های تحمل به خشکی از روابط زیر استفاده شد (ردی^۲ و همکاران، ۲۰۲۰):

$$SI = 1 - \left(\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P} \right) \quad (4)$$

$$SSI = \frac{1 - \left(\frac{Y_S}{Y_P} \right)}{SI} \quad (5)$$

$$TOL = Y_P - Y_S \quad (6)$$

$$MP = \frac{Y_S + Y_P}{2} \quad (7)$$

$$STI = \frac{Y_S \times Y_P}{\bar{Y}_P^2} \quad (8)$$

$$GMP = \sqrt{Y_S \times Y_P} \quad (9)$$

با تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) به روش فائو-پنمن مونیتث با استفاده از داده‌های ۳۰ ساله اداره هواشناسی سینوپتیک و جو باران‌سنجی برآن جنوبی و نیز تعیین ضرایب گیاهی (K_c) در مراحل مختلف رشد به روش فائو-پنمن مونیتث، نیاز آبی گیاه در منطقه (ET_{Crop}) در منطقه مورد آزمایش از رابطه ۱ تعیین شده (آلن^۱ و همکاران، ۱۹۹۸) و سپس با در نظر گرفتن بارندگی مؤثر، راندمان آبیاری (۶۰ درصد: درصدی از مقدار آب تأمین شده برای مزرعه است که بتواند مفید واقع گردد. با محاسبه نسبت ماده خشک تولیدی به مقدار آب مصرفی بر حسب تبخیر و تعرق پتانسیل) (کریمی کاخکی و سپهری، ۱۳۸۸) و ۴۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی در منطقه توسعه ریشه برآورده شد (دورنبوس و کسام، ۱۹۷۹):

$$ET_{Crop} = K_c * ET_0 \quad (1)$$

آبیاری با استفاده از لوله پلی اتیلن انجام و مقدار آب مصرفی در هر بار آبیاری با استفاده از کنتور حجمی کنترل گردید برای محاسبه کارایی مصرف آب و شاخص برداشت از روابط زیر استفاده شد (کرم و همکاران، ۲۰۰۷):

$$WUE = \frac{EY}{ET_{Crop}} \quad (2)$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش با استفاده از نرم افزار MSTATC انجام و مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD صورت گرفت.

در این روابط: YS عملکرد دانه در شرایط تنش، YP عملکرد دانه در شرایط بدون تنش کم آبی (بدون تنش)، $\bar{Y}_S$ میانگین عملکرد در شرایط تنش و $\bar{Y}_P$ میانگین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش می‌باشد.



شکل ۱- نمایی از مزرعه آفتابگردان

میانگین‌های مربوط به ارتفاع بوته، قطر ساقه و عملکرد دانه نیز استنباط نمود، زیرا که بوته‌هایی با ارتفاع بلند ساقه‌های ضخیم و محصول دانه بلند توانستند حداکثر عملکرد بیولوژیک را تولید نمایند (جدول ۵). در آزمایش فلنت^۱ و همکاران (۱۹۹۷) معلوم شد که تنش خشکی ملایم و شدید عملکرد بیولوژیکی آفتابگردان را به ترتیب ۴۳ و ۶۹ درصد کاهش داد. مقایسه میانگین‌های مربوط به عملکرد بیولوژیک ارقام آزمایشی نشان داد که ارقام فانتازیا و های-سان ۳۳ (به ترتیب با عملکرد ۱۲/۲۶۸ و ۱۲/۱۳۱ تن در هکتار) بالاترین عملکرد را داشتند. پس از آن‌ها ارقام اسکار، شمس و کیارا (به ترتیب ۱۱۶۹۴/۳، ۱۱۲۷۴/۲ و ۱۱۱۹۸/۵) تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۵). به نظر می‌رسد ارقام فانتازیا و های‌سان ۳۳ در مقایسه با ارقام دیگر از تجمع ماده خشک بالاتری برخوردار باشد. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ارقام فانتازیا و های‌سان ۳۳ پتانسیل بیشتری در انتقال مواد از اندام‌ها به دانه دارند که موجب

نتایج و بحث

عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک شامل کل زیست‌توده اندام هوایی که ملاحظه می‌شود اثر تیمارهای آبیاری و رقم بر عملکرد بیولوژیک در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۴). براین اساس بیشترین عملکرد بیولوژیک در بین تیمارهای آبیاری از تیمار آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر با ۱۳۴۵۷/۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. همچنین با توجه به تأثیر معنی‌دار هر دو عامل آزمایشی بر عملکرد بیولوژیک آفتابگردان، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با کاهش مصرف آب و اعمال تنش کم آبی، مخصوصاً در تیمار آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از وزن خشک اندام‌های هوایی کاسته شد (جدول ۵). نتایج آزمایش نشان داد که در تیمارهای تنش ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر؛ عملکرد بیولوژیک نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۱ و ۲۷/۳۴ درصد کاهش یافته است. البته چنین نتیجه‌ای را می‌توان از مقایسه

^۱ -Flénet, Bouniols & Saraiva

چراغی زاده و همکاران (۱۳۹۷) شدت تولید ماده خشک آفتابگردان در تیمار آبیاری محدود، به طور معنی داری کمتر از شرایط آبیاری مطلوب بود. کاهش تجمع ماده خشک در شرایط کم آبیاری آفتابگردان توسط کرم و همکاران (۲۰۰۷) گزارش شد. آن‌ها با اعمال کم آبیاری در اوایل و اواسط گل دهی و اوایل تشکیل دانه نتیجه گرفتند که تجمع نهایی ماده خشک در کم آبیاری اوایل گل دهی نسبت به سایر تیمارهای کم آبیاری و بدون تنش کم آبی کمتر بود.

افزایش عملکرد دانه می شود (علی پور و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج مقایسات میانگین‌ها نشان داد که زیست توده تولیدی در تیمار شاهد از بقیه تیمارها به طور غیر معنی داری بیشتر بود. عملکرد بیولوژیک در تیمار ۱۵۰ میلی متر نسبت به بقیه تیمارها کمتر بود. کاهش ماده خشک تجمعی یا عملکرد بیولوژیک با قطع آبیاری در بسیاری از آزمایش‌ها از جمله توسط رئوف^۱ و همکاران (۲۰۱۲) و یوسفی و بش^۲ نیز گزارش شده است. در تحقیقات کریمی کاخکی و همکاران (۲۰۱۰)، سی و سه مرده و همکاران (۲۰۱۱) و

جدول ۴- تجزیه واریانس عملکرد بیولوژیک، عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب ارقام آفتابگردان

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص برداشت (%)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد اقتصادی (کیلوگرم در هکتار)	میانگین مربعات	کارایی مصرف آب (کیلوگرم در مترمکعب)
تکرار	۲	۰/۰۰۳**	۵۴۹۸۴۶۱/۴**	۲۷۳۵۱۲/۴**	۰/۰۱۵**	
آبیاری	۲	۰/۰۰۵۷ **	۳۲۳۶۴۰۵۴/۳۶**	۸۱۴۹۸۲۱/۳**	۰/۲۷۸**	
خطای فرعی	۴	۰/۰۰۰۲	۵۴۱۷۶۵/۱۲	۵۲۱۷۷/۶	۰/۰۰۶	
رقم	۴	۰/۰۰۱۷ **	۱۱۶۴۶۰۵۳/۳۶**	۲۲۵۱۴۷۶/۴**	۰/۳۹۴**	
آبیاری×رقم	۸	۰/۰۰۰۳	۱۸۵۴۶۳۴/۳۸ ^{n.s}	۱۴۱۴۶۰/۹**	۰/۰۸۴**	
خطای اصلی	۲۰	۰/۰۰۰۵ ^{n.s}	۲۱۳۲۳۴۱/۱۶	۷۴۱۲۵/۲	۰/۰۰۴	
ضریب		۷/۱۱	۸/۸۹	۶/۹۴	۷/۳۱	
تغییرات (%)						

^{n.s}، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪

شاخص برداشت

بر اساس نتایج تجزیه واریانس صفت شاخص برداشت، اثر تیمارهای آبیاری و رقم در سطح یک درصد معنی دار شد. ولی اثرات متقابل آبیاری و رقم در سطح پنج درصد معنی دار نبود (جدول ۴). نتایج آزمایش نشان داد که شاخص برداشت در ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به تیمار شاهد (آبیاری پس از ۹۰ میلی متر تبخیر از تشتک) به ترتیب برابر ۹۵/۱۲٪ و ۸۷/۸۰٪ شاخص برداشت شاهد است.

نتایج نشان داد که با افزایش محدودیت آبی، شاخص برداشت در تیمارها کاهش یافت. ولی این کاهش از نظر آماری معنی دار نبود. عدم معنی دار شدن شاخص برداشت در تیمارهای مختلف آبیاری می تواند بیانگر این مسئله باشد که عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه تیمارها در تیمارهای مختلف به طور یکسان تغییر کرده اند. هاشم و همکاران^۳ (۱۹۹۸) نیز با بررسی اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد گلرنگ نتیجه گرفتند که شاخص برداشت در تیمارهای مختلف تنش به طور معنی دار تحت تأثیر قرار نگرفت. اثر متقابل رقم در سطوح تنش نیز معنی دار نبود (جدول ۲ تا ۴).

³ -Hashem, Amin Majumdar, & Hossain

¹ -Rauf, Maqsood, Ahmad, & Gondal

² -Yousefi & Besh

جدول ۵- تجزیه واریانس عملکرد بیولوژیک، عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب ارقام آفتابگردان تحت تأثیر تیمارهای آبیاری طی دو سال تحقیق

فاکتورهای آزمایشی	شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک	عملکرد اقتصادی (کیلوگرم در هکتار)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم در مترمکعب)
سطوح آبیاری پس از				
۹۰ میلی متر تبخیر	۰/۴۱ ^a	۱۳۴۵۷/۳ ^a	۴۸۵۴ ^a	۰/۶۵ ^c
۱۲۰ میلی متر تبخیر	۰/۳۹ ^b	۱۱۹۸۴/۴ ^a	۳۳۱۳/۲ ^b	۰/۸۵ ^a
۱۵۰ میلی متر تبخیر	۰/۳۷ ^b	۹۷۷۸/۸ ^b	۲۹۲۰/۴ ^c	۰/۷۲ ^b
رقم				
کیارا	۰/۴ ^b	۱۱۱۹۸/۵ ^c	۳۲۷۴/۷ ^c	۰/۷۵ ^e
های سان	۰/۳۸ ^b	۱۲۱۳۱/۴ ^a	۳۶۷۱/۳ ^b	۱/۰۴ ^a
اسکار	۰/۴۳ ^a	۱۱۶۹۴/۳ ^b	۳۵۲۷/۶ ^b	۰/۸۱ ^d
فانتازیا	۰/۴۳ ^a	۱۲۲۶۸/۷ ^a	۴۰۸۱/۵ ^a	۰/۹۶ ^b
شمس	۰/۳۹ ^b	۱۱۲۷۴/۲ ^c	۳۴۳۵/۶ ^b	۰/۸۴ ^c

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه ایی دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

مطالعات پرونتی (۱۹۸۳)، کاکس و جولیف (۱۹۸۶)، جیمنز و فرس (۱۹۸۶) دی آندریا و همکاران (۱۹۹۵)، راضی و آساد (۱۳۷۷)، رشدی و رضادوست (۱۳۸۳) و صارمی راد و مصطفوی (۲۰۲۰) نیز گزارش شد. این در حالی است که کرم و همکاران (۲۰۰۷) تغییر معنی‌داری را در شاخص برداشت آفتابگردان مشاهده نکردند.

عملکرد اقتصادی

در آفتابگردان وزن دانه، که حاصل تبدیل انرژی نورانی، آب و عناصر غذایی به مواد فتوسنتزی است، به عنوان عملکرد اقتصادی گیاه در نظر گرفته می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس عملکرد دانه یا اقتصادی اثر تیمارهای آبیاری و رقم در سطح یک درصد معنی‌دار است. همچنین آثار متقابل آبیاری و رقم در سطح پنج درصد معنی‌دار است (جدول ۴). بیشترین عملکرد اقتصادی بین تیمارهای آبیاری از آبیاری پس از ۹۰ میلی متر تبخیر از تشتک با ۴۸۵۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۲ و ۳). با اعمال کم آبیاری عملکرد اقتصادی کاهش یافت. نتایج آزمایش نشان داد که عملکرد اقتصادی در آبیاری پس از ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به تیمار شاهد (آبیاری پس از ۹۰ میلی متر تبخیر از

میانگین‌های برخوردار از حروف مشابه نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن است. همچنین نتایج مربوط به صفت شاخص برداشت نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ارقام و تیمارهای مختلف آبیاری وجود ندارد. بالاترین شاخص برداشت مربوط به ارقام فانتازیا و اسکار (به ترتیب ۰/۴۳ و ۰/۴۲) و کمترین شاخص برداشت مربوط به ارقام کیارا، شمس و های سان ۳۳ (به ترتیب ۰/۴۰، ۰/۳۹ و ۰/۳۸) بود. در بین تیمارهای آبیاری، بیشترین شاخص برداشت (۴۱ درصد) از آبیاری پس از ۹۰ میلی متر تبخیر از تشتک به دست آمد (جدول ۴). با اعمال کم آبیاری، شاخص برداشت کاهش یافت. بیشترین کاهش با آبیاری پس از ۱۵۰ میلی متر تبخیر از تشتک با شاخص برداشت ۰/۳۸ دیده شد. این امر نشان می‌دهد که با وقوع تنش خشکی از مرحله زایشی، تخصیص مواد فتوسنتزی گیاه در بخش زایشی (دانه‌ها) در مقایسه با شاهد کمتر بوده است. علت کاهش شاخص برداشت، کاهش بیشتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش کم آبی و به ویژه در زمان گل‌دهی است. این نتیجه با نتایج سادراس و همکاران (۱۹۹۳)، سوریانو^۱ و همکاران (۲۰۰۴) و غفاری (۱۳۸۶) هم‌آهنگی دارد. کاهش شاخص برداشت بر اثر تنش کم آبی در

کارایی مصرف آب

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفت کارایی مصرف آب بر حسب کیلوگرم دانه در مترمکعب آب مصرفی در این طرح نشان داد اثر تیمارهای آبیاری و رقم، همچنین آثار متقابل آبیاری و رقم در سطح یک درصد معنی دار است (جدول ۴). براین اساس بیشترین کارایی مصرف آب در بین تیمارهای آبیاری، آبیاری پس از ۱۲۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر به مقدار ۰/۸۵ کیلوگرم در مترمکعب به دست آمد (جدول ۲ و ۳). پس از آن آبیاری پس از ۱۵۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر به مقدار ۰/۷۲ کیلوگرم جای داشت. کمترین مقدار نیز از آبیاری پس از ۹۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر با ۰/۶۵ کیلوگرم در مترمکعب حاصل شد.

در بین ارقام آفتابگردان بیشترین کارایی مصرف آب متعلق به رقم های سان ۳۳ با ۱/۰۴ کیلوگرم در مترمکعب بود (جدول ۵). رقم فانتازیا با ۰/۹۶ کیلوگرم در مترمکعب و رقم شمس با ۰/۸۴ کیلوگرم در مترمکعب با اختلاف معنی داری در رتبه های بعد قرار گرفتند. همچنین کمترین مقادیر مربوط به ارقام اسکار و کیارا به ترتیب با مقدار ۰/۸۱ و ۰/۷۵ کیلوگرم در مترمکعب بود. مقادیر کارایی مصرف آب در این پژوهش با مقادیر کارایی مصرف آب به دست آمده برای آفتابگردان توسط کانور^۱ و همکاران (۱۹۸۵)، رینالدی^۲ (۲۰۰۱)، کرام و همکاران (۲۰۰۷) و کانور و همکاران (۲۰۱۴)، به ترتیب برابر با ۰/۸۹، ۰/۹۹ و ۰/۸۵ مطابقت دارد. افزایش کارایی مصرف آب آفتابگردان در شرایط تنش کم آبی نسبت به بدون تنش کم آبی توسط فلنت و همکاران (۱۹۹۶) و جامی و همکاران (۱۳۹۸) نیز مورد تأیید قرار گرفته است. این در حالی است که استون^۳ و همکاران (۱۹۹۶) و گوکسوی^۴ و همکاران (۲۰۰۴) تغییرات معنی داری را گزارش نکردند.

تشتک) به ترتیب برابر ۶۸/۲۵٪ و ۶۰/۱۶٪ عملکرد اقتصادی شاهد است. کمترین کاهش در پس از ۱۲۰ میلی-متر تبخیر از تشتک با ۳۳۱۳/۲ کیلوگرم در هکتار اتفاق افتاد. تیمار آبیاری پس از ۱۵۰ میلی متر تبخیر از تشتک با ۲۹۲۰/۴ کیلوگرم در هکتار در جایگاه بعدی قرار گرفت. در بین ارقام آفتابگردان، بیشترین عملکرد اقتصادی از رقم فانتازیا با ۴۰۸۱/۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۵). رقم های سان، اسکار، شمس و کیارا به ترتیب با ۳۶۷۱/۳، ۳۵۲۷/۶، ۳۵۳۴/۶ و ۳۲۷۴/۷ کیلوگرم در هکتار پس از فانتازیا در جایگاه بعد قرار گرفتند.

با توجه به کاهش عملکرد بیولوژیک با اعمال کم آبیاری، کاهش عملکرد دانه که جزئی از آن است، قابل توجه است. کانور و سادراس (۱۹۹۲)، دی آندریا و همکاران (۱۹۹۵)، فلنت و همکاران (۱۹۹۶)، مظفری و همکاران (۱۳۷۵)، راضی و آساد (۱۳۷۷)، غفاری (۱۳۸۶) و جامی و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی واکنش آفتابگردان به کم آبیاری، کاهش عملکرد دانه را با اعمال کم آبیاری گزارش نمودند. گوکسوی و همکاران (۲۰۰۴) بیشترین عملکرد دانه را از بدون تنش کم آبی، آبیاری محدود در مرحله غنچه دهی و ۶۰ درصد کم آبیاری در مرحله شیری شدن دانه به دست آوردند. آن ها گزارش کردند که عملکرد دانه با کاهش مقدار و تعداد آبیاری کاهش یافت. به طوری که کمترین عملکرد دانه از تیمار بدون آبیاری به دست آمد و کمبود آب در زمان گل دهی به طور معنی داری عملکرد بذر را کاهش داد. کرم و همکاران (۲۰۰۷)، کاهش ۲۰ و ۱۵ درصدی عملکرد دانه را با کم آبیاری در اوایل و اواسط گل-دهی آفتابگردان گزارش نمودند. همچنین آن ها کاهش معنی داری را از کم آبیاری مرحله دانه بندی در مورد عملکرد دانه مشاهده نکردند.

³ -Stone

⁴ -Göksöy, Demir, Turan, & Dagustu

¹ -Connor, Jones & Palta

² -Rinaldi

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات دانه تحت تأثیر اثرات متقابل تنش کمبود آب و رقم و نیز شاخص های خشکی ارقام آفتابگردان

سطح تنش کمبود آب	رقم	رسیدگی فیزیولوژیک		زمان برداشت (روز بعد از کاشت)	مقدار آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)	آب صرفه جویی شده (%)
		روز بعد از کاشت	درجه-روز رشد			
آبیاری پس از ۹۰ میلی متر تبخیر	کیارا	۱۱۰	۱۷۵۱	۱۲۴	۷۶۲۴	-
های سان	۹۶	۱۵۸۶	۱۱۱	۵۸۱۷	-	-
اسکار	۱۰۵	۱۷۱۹	۱۱۹	۶۷۹۱	-	-
فانتازیا	۱۰۳	۱۶۸۸	۱۱۷	۶۶۷۳	-	-
شمس	۹۹	۱۶۳۲	۱۱۳	۶۱۴۴	-	-
آبیاری پس از ۱۲۰ میلی متر تبخیر	کیارا	۹۹	۱۷۳۶	۱۲۱	۵۰۲۷	۱۱
های سان	۹۷	۱۵۶۳	۱۰۹	۵۰۴۳	۱۸	۱۸
اسکار	۹۴	۱۷۱۱	۱۱۷	۵۰۸۱	۱۳	۱۳
فانتازیا	۱۰۲	۱۶۶۴	۱۱۵	۵۱۴۹	۱۴	۱۴
شمس	۱۰۵	۱۶۲۴	۱۱۱	۵۷۶۳	۱۵	۱۵
آبیاری پس از ۱۵۰ میلی متر تبخیر	کیارا	۱۰۲	۱۷۱۱	۱۲۰	۴۷۸۸	۴۷
های سان	۱۰۰	۱۵۵۱	۱۰۷	۴۸۱۵	۶۰	۶۰
اسکار	۹۷	۱۷۰۲	۱۱۵	۴۹۱۴	۵۳	۵۳
فانتازیا	۱۰۵	۱۶۶۳	۱۱۳	۴۹۷۵	۶۳	۶۳
شمس	۱۰۷	۱۶۱۹	۱۰۹	۴۹۶۳	۵۹	۵۹

مقدار آب مصرفی در شرایط بدون تنش کم آبی و با تأمین نیاز آبی در مراحل مختلف رشد گیاه برای ارقام کیارا، اسکار، فانتازیا، شمس و های سان ۳۳ به ترتیب ۷۶۲۴، ۶۷۹۱، ۶۶۷۳، ۵۸۱۷ و ۶۱۴۴ مترمکعب در هکتار بود (جدول ۶). طبق گزارش فائو (۲۰۰۹) نیاز آبی آفتابگردان از ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی متر بسته به اقلیم و طول دوره رشد متفاوت است (دورنبوس و کسام، ۱۹۷۹). کمترین کاهش آب مصرفی با اعمال کم آبیاری در شرایط آبیاری پس از ۱۲۰ میلی متر تبخیر از سطح تشنگ تبخیر حاصل شد. این امر به دلیل میزان تبخیر و تعرق کمتر و در نتیجه نیاز آبی کمتر محصول در این مرحله از رشد است. کمترین آب صرفه جویی شده در این حالت مربوط به رقم فانتازیا بود که رقمی زودرس و با طول دوره رشد کوتاه است. آب صرفه جویی شده برای ارقام کیارا، اسکار، فانتازیا، شمس و های سان ۳۳ به ترتیب ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۸ درصد بود.

بیشترین کاهش آب مصرفی در شرایط آبیاری پس از ۱۵۰ میلی متر تبخیر از سطح تشنگ تبخیر به دست آمد. بیشترین آب صرفه جویی شده در این حالت مربوط به رقم فانتازیا است. آب صرفه جویی شده برای ارقام کیارا، اسکار، شمس، های سان ۳۳ و فانتازیا به ترتیب به ترتیب ۴۷، ۵۳، ۵۹، ۶۰ و ۶۳ درصد بود. با توجه به نیاز آبی کمتر و آب صرفه جویی شده بیشتر، کمترین مقدار آب مصرف شده در این طرح متعلق به رقم فانتازیا در شرایط آبیاری پس از ۱۵۰ میلی متر تبخیر از سطح تشنگ تبخیر است. در بررسی کرام و همکاران (۲۰۰۷) روی آفتابگردان، با کم آبیاری در اوایل و اواسط گل دهی و اوایل تشکیل دانه به ترتیب ۲۲، ۱۶ و ۹ درصد در مصرف آب صرفه جویی شد. با توجه به نتایج این پژوهش و سایر مطالعات چنین نتیجه می شود که کارایی مصرف آب بیشتر، مربوط به آبیاری پس از ۱۲۰ میلی متر تبخیر از سطح تشنگ تبخیر است که ضمن صرفه جویی بیشتر در مصرف آب، عملکرد

نیز کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد (جامی و همکاران، ۱۳۹۸).

طول دوره رشد

ارقام کیارا، اسکار، فانتازیا، شمس و های سان ۳۳ با بدون تنش کم‌آبی به ترتیب در زمان‌های ۱۱۰، ۱۰۵، ۱۰۳، ۹۹ و ۹۶ روز بعد از کاشت و با دریافت ۱۷۵۱، ۱۶۸۸، ۱۷۱۹، ۱۶۳۲ و ۱۵۸۶ درجه-روز رشد به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند. زمان برداشت به‌منظور کاهش رطوبت بذر ۱۴ تا ۱۵ روز بعد از رسیدن فیزیولوژیک بود (جدول ۶). با اعمال کم‌آبیاری، طول دوره رشد کاهش یافت. به‌طوری‌که در شرایط آبیاری پس از ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب دو و پنج روز نسبت به بدون تنش کم‌آبی کمتر بود. این امر نشان‌دهنده واکنش گیاه در جهت تکمیل و اتمام زودتر دوره رشد خود با افزایش مدت تنش کم‌آبی است که واکنشی در جهت فرار از خشکی است. این نتیجه با نتایج چراغی زاده و همکاران (۱۳۹۷) در مورد آفتابگردان مطابقت دارد. به گزارش راضی و آساد (۱۳۷۷) و نیز صارمی راد و مصطفوی (۲۰۲۰) با آبیاری محدود دوره گل‌دهی به میزان کمی کوتاه‌تر شد ولی زمان رسیدن فیزیولوژیک تحت تأثیر کم‌آبی به‌طور محسوسی کاهش یافت.

مقاومت به خشکی

نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های SSI، TOL، MP، GMP و STI در شرایط مختلف آبیاری و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها در جدول ۷ آورده شده است. مقادیر بالای این شاخص‌ها نشان‌دهنده تحمل بیشتر ژنوتیپ‌ها به تنش کم‌آبی بوده و موجب انتخاب ارقام با پتانسیل عملکرد بالا هم در محیط تنش و هم در محیط بدون تنش می‌شود. مقادیر کمتر شاخص‌های SSI و TOL نشان‌دهنده حساسیت کمتر و تحمل بیشتر ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش کم‌آبی و موجب انتخاب ارقام با پتانسیل عملکرد بالا در این شرایط می‌شود. از طرفی مقادیر بیشتر سه شاخص دیگر (MP، GMP و STI) نشان‌دهنده تحمل بیشتر ژنوتیپ‌ها به تنش کم‌آبی بوده و موجب انتخاب ارقام با پتانسیل عملکرد بالا هم در محیط تنش و هم در محیط بدون تنش می‌شود (چراغی زاده و همکاران، ۱۳۹۷). مقادیر عملکرد در شرایط آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، برای ارقام فانتازیا، های سان ۳۳، اسکار، شمس و کیارا به ترتیب برابر با ۴۵۵۲/۹، ۴۲۱۹/۷، ۴۱۷۸/۱، ۴۰۳۸/۴ و ۳۶۷۶/۱ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج نشان داد ارقام فانتازیا و در رتبه بعدی، های سان ۳۳ بر اساس تمام شاخص‌های مورد بررسی و در همه مراحل آبیاری، هم‌چنین میانگین شرایط تنش، متحمل‌ترین ارقام به کمبود آب می‌باشند. این امر می‌تواند در ارتباط با پتانسیل عملکرد بالای این ارقام قرار گیرد.

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات دانه تحت تأثیر اثرات متقابل تنش کمبود آب و رقم و نیز شاخص های خشکی ارقام آفتابگردان در مراحل مختلف آبیاری و میانگین شرایط تنش کم آبی

STI		GMP		MP		TOL		SSI		رقم	سطح تنش کمبود آب
رتبه	مقدار	رتبه	مقدار	رتبه	مقدار	رتبه	مقدار	رتبه	مقدار		
۵	۰/۶۵	۵	۳۶۷۸/۱	۴	۴۳۰۲/۷	۴	۱۲۰۴	۵	۰/۹۸	کیارا	آبیاری پس
۲	۰/۷۶	۲	۴۲۱۹/۷	۲	۴۴۱۷/۳	۲	۱۰۲۵/۴	۲	۰/۸۵	های	از ۹۰
										سان	میلی متر
۳	۰/۷۴	۳	۴۱۷۸/۱	۵	۴۲۸۸/۶	۵	۱۲۴۶/۳	۴	۰/۹۳	اسکار	تبخیر
۱	۰/۸۸	۱	۴۵۵۲/۹	۱	۴۵۶۱/۳	۱	۸۷۲/۲	۱	۰/۶۶	فانتازیا	
۴	۰/۶۹	۴	۴۰۳۸/۴	۳	۴۳۴۷/۲	۳	۱۱۱۷/۵	۳	۰/۸۸	شمس	
۵	۰/۶۴	۵	۳۷۸۰/۵	۵	۴۱۴۷/۸	۵	۱۴۵۳/۹	۵	۱/۰۲	کیارا	آبیاری پس
۲	۰/۷۴	۲	۳۹۹۴/۲	۲	۴۲۴۳/۴	۲	۱۳۶۹/۴	۲	۰/۹۳	های	از ۱۲۰
										سان	میلی متر
۳	۰/۷۲	۳	۳۹۳۳/۳	۴	۴۱۷۳/۴	۴	۱۴۳۸/۲	۴	۰/۹۸	اسکار	تبخیر
۱	۰/۸۲	۱	۴۱۸۸/۷	۱	۴۴۳۲	۱	۱۱۲۴/۲	۱	۰/۸۵	فانتازیا	
۴	۰/۶۸	۴	۳۸۱۵/۴	۳	۴۲۱۱/۷	۳	۱۴۱۰/۸	۳	۰/۹۵	شمس	
۵	۰/۵۸	۵	۳۳۱۵/۴	۵	۳۹۵۴/۷	۴	۱۶۸۴/۷	۴	۰/۹۵	کیارا	آبیاری پس
۳	۰/۷۱	۳	۳۳۵۹/۷	۳	۳۹۸۸/۳	۲	۱۶۲۲/۱	۲	۰/۸۳	های	از ۱۵۰
										سان	میلی متر
۴	۰/۶۵	۴	۳۳۰۵/۱	۴	۳۹۷۲/۸	۵	۱۷۱۴/۶	۵	۰/۸۹	اسکار	تبخیر
۱	۰/۷۵	۱	۳۵۱۴/۵	۱	۴۰۲۷	۱	۱۵۰۷	۱	۰/۸۱	فانتازیا	
۲	۰/۷۳	۲	۳۴۴۷/۲	۲	۴۰۱۰/۴	۳	۱۶۷۰/۵	۳	۰/۸۵	شمس	

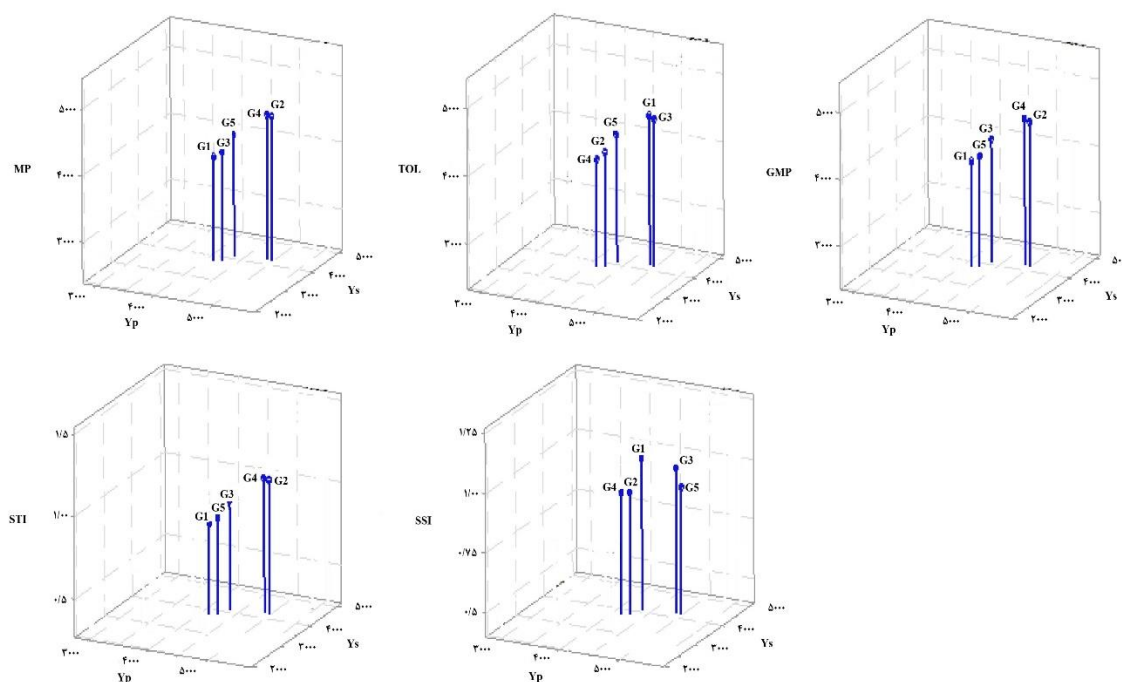
میانگین های برخورد از حروف مشابه نشانگر عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن است

خشکی، نمودار سه بعدی برای هر سه شاخص مناسب متحمل به خشکی (STI، GMP و MP) ترسیم و در شکل ۲ به نمایش گذاشته شد. این نمودارهای سه بعدی روابط میان سه متغیر عملکرد دانه در شرایط نرمال (Yp) روی محور X ها، عملکرد دانه تحت شرایط تنش (Ys) روی محور Y ها و یکی از شاخص های کمی شناسایی شده تحمل به خشکی (STI، GMP و MP) روی محور Z ها، را به نمایش می گذارد (فرناندز، ۱۹۹۲).

نمودارهای سه بعدی حاصل از شاخص های مطلوب شناخته شده، ژنوتیپ های فانتازیا و های سان را به عنوان ژنوتیپ های متحمل به تنش خشکی و دارای پتانسیل عملکرد دانه بالا تحت شرایط نرمال و تنش خشکی اعلام نمودند. این ژنوتیپ ها در گروه A قرار گرفتند.

رقم های سان ۳۳ بر اساس تمام شاخص ها و در شرایط آبیاری پس از ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی متر تبخیر از تشک تبخیر و میانگین شرایط تنش، پس از فانتازیا در رتبه دوم قرار داشت. رقم شمس بر اساس تمام شاخص ها و در میانگین شرایط تنش کم آبی، هم چنین شرایط آبیاری پس از ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی متر تبخیر از تشک تبخیر در رتبه سوم بود. کم تحمل ترین و حساس ترین رقم بر اساس تمام شاخص ها و در تمام شرایط کم آبیاری، رقم کیارا بود. تنها در شرایط آبیاری پس از ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی متر تبخیر از تشک تبخیر و با دو شاخص SSI و TOL این رقم جایگاه خود را به اسکار داد.

با شناسایی شاخص های مناسب تحمل به تنش خشکی، به منظور تعیین ژنوتیپ های با عملکرد دانه بالا و متحمل به تنش خشکی در هر دو شرایط نرمال و تنش



شکل ۲- نمودار سه بعدی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های آفتابگردان در شرایط بدون تنش (Y_p) و تنش (Y_s) برای شاخص‌های شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط (GMP)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص عملکرد (YI) و شاخص تحمل به تنش (STI)

STI کارایی بیشتری در شناسایی ارقام مقاوم به خشکی دارد. گنجعلی و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعات خود اظهار داشتند که گزینش برای تحمل به خشکی در بین ژنوتیپ‌های نخود، می‌بایست بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش انجام شود. بر این اساس، ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و بدون تنش باشند به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی قابل توصیه هستند. کریمی کاخکی و سپهری (۱۳۸۸) اعلام نمودند که از بین شاخص‌های مختلف مقاومت به خشکی شامل TOL، SSI، MP، GMP و STI، شاخص‌های GMP و STI از کارایی بیشتری در تعیین ارقام متحمل به خشکی برخوردارند.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج نشان داد کم‌آبایی بر عملکرد، شاخص برداشت، کارایی مصرف آب و تحمل خشکی ارقام آفتابگردان اثر داشته است. رقم فانتازیا بر اساس تمام شاخص‌های مقاومت به خشکی به عنوان متحمل‌ترین رقم شناسایی و کارایی شاخص تحمل به تنش و شاخص

به‌طور کلی در مناطق نیمه‌خشک که پراکنش بارندگی غیریکنواخت است، پایداری عملکرد در مقایسه با میزان عملکرد در شرایط تنش و مطلوب، به عنوان معیار مناسب‌تری برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش رطوبتی پذیرفته شده است. عموماً هدف از گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی، معرفی ارقامی است که شرایط تنش را بهتر تحمل کرده و تحت شرایط تنش از ثبات عملکرد بیشتری برخوردار بوده و افت عملکرد کمتری داشته باشند (ارشدی، ۲۰۱۶: دربانی و همکاران، ۱۳۹۹). همان‌طور که در این مطالعه ملاحظه می‌شود، شاخص‌های MP، GMP و STI از کارایی بیشتری در تعیین ارقام متحمل به خشکی برخوردار بوده و در این میان شاخص GMP از MP بهتر است. به اظهار فرناندز و همکاران (۲۰۲۰) شاخص GMP در مقایسه با MP قدرت بیشتری دارد، بنابراین در صورت اختلاف زیاد بین عملکرد در شرایط مطلوب و عملکرد در شرایط تنش نسبت به مقادیر آستانه‌ای حساسیت کمتری دارد. غفاری (۲۰۱۷) در مطالعه خود با عنوان ارزیابی و انتخاب لاین‌های اینبرد آفتابگردان در شرایط نرمال و تنش خشکی گزارش نمود از بین شاخص‌های تحمل، شاخص

متوسط کارایی در شناسایی ارقام متحمل به خشکی که هم در شرایط تنش و هم بدون تنش کم آبی دارای عملکرد بالایی باشند، مورد تأیید قرار گرفت. از بین شاخص‌های مقاومت، کارایی بیشتر شاخص‌های GMP و STI برای بررسی در مطالعات آینده مورد تأیید قرار می‌گیرد. به‌طور کلی نتایج حاصل از پژوهش حاضر حاکی از وجود تنوع میان ژنوتیپ‌های تحت بررسی از نظر تحمل به تنش خشکی بود. از اینرو با شناسایی و تعیین میزان تحمل و حساسیت به تنش خشکی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، امکان اجرای برنامه‌های به نژادی جهت حصول ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و نیز ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد دانه قابل قبول، در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی را فراهم

می‌آورد. در میان پنج ژنوتیپ آفتابگردان روغنی مورد بررسی، طبق این شاخص‌ها و بای پلات‌های حاصل، ژنوتیپ‌های فانتازیا و های سان ۳۳ دارای بیشترین تحمل و ژنوتیپ کیارا دارای بیشترین حساسیت در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها از نظر تنش خشکی بودند. دو ژنوتیپ فانتازیا و های سان در هر دو محیط نرمال و تنش از بیشترین پتانسیل عملکرد دانه و نیز عملکرد نسبتاً یکسان برخوردار بودند. این موضوع می‌تواند مبین وجود ژن‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های نامبرده باشد؛ بنابراین می‌توان این ژنوتیپ‌ها را برای کشت در مناطقی که با محدودیت منابع آب روبرو هستند، پیشنهاد نمود.

فهرست منابع

۱. ارشادی، م. ج.، پارسا، م.، لکزیان، ا.، و کافی، م.، ۱۳۹۹. بررسی خصوصیات ریشه نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تیمارهای ریزوبیوم، میکوریزای آرباسکولار و شبه میکوریزای داخلی در شرایط خاک استریل و غیراستریل. تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک، دوره ۲، شماره ۲، صفحه‌های ۲۵۴-۲۴۱. doi: 10.22034/csrar.2021.268645.1080
۲. دربانی، س. پ.، مهربانی، ع. ا.، پورداد، س. س.، ملکی، ع.، و فرشادفر، م.، ۱۳۹۹. بررسی عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) به تنش رطوبتی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، دوره ۱۳، شماره ۴، صفحه‌های ۱۰۷۶-۱۰۶۳.
۳. جامی، م. ق.، قلاوند، ا.، مدرس ثانوی، س. ع. م.، مختصی بیدگلی، ع.، باغبانی آرانی، ا.، و نامداری، ا.، ۱۳۹۸. واکنش صفات رویشی و کیفی دانه آفتابگردان به منابع مختلف نیتروژن (کود آلی و شیمیایی) و ژنولیت تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، دوره ۱۲، شماره ۱، صفحه‌های ۱۵۲-۱۴۱.
۴. چراغی زاده، م.، شاهنظری، ع.، و ضیاءتباراحمدی، م. خ.، ۱۳۹۷. بررسی اثر دور آبیاری با اعمال کم آبیاری بخشی ریشه و آبیاری کامل روی گیاه آفتابگردان. تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۹۴، شماره ۲، صفحه‌های ۴۵۱-۴۳۹.
۵. چیت بند، ع. ا.، قربانی، ر.، راشد محصل، م. ح.، عباسی، ر.، و نبی زاده، م.، ۱۳۹۴. ارزیابی دزهای مخلوط برخی از مهم‌ترین پهن برگ کش‌های اراضی چغندر قند در کنترل علف‌های هرز خرفه و تاجریزی سیاه. ششمین همایش علوم علف‌های هرز ایران، بیرجند، ۱۰ الی ۱۲ شهریور، مدیریت شیمیایی علف‌های هرز و علف‌کش‌ها، صفحه‌های ۸۸۴-۸۸۹.
۶. راضی، ه.، و آساد، م.، ۱۳۷۷. ارزیابی تغییرات صفات مهم زراعی و معیارهای سنجش تحمل به خشکی در ارقام آفتابگردان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۱، صفحه‌های ۴۳-۳۱.
۷. رشدی، م.، و رضادوست، س.، ۱۳۸۳. بررسی اثرات سطوح مختلف آبیاری بر خصوصیات کمی و کیفی ارقام آفتابگردان. مجله علوم کشاورزی ایران، شماره ۵، صفحه‌های ۱۲۵۰-۱۲۴۱.

۸. سی و سه مرده، ع.، رنجبر بلخکانلو، ح.، سهرابی، ی.، و بهرام نژاد، ب.، ۱۳۹۰. اثر تنش خشکی و محدودیت منبع و مخزن بر تبادلات گازی و عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.). علوم گیاهان زراعی ایران، دوره ۴۲، شماره ۳، صفحه‌های ۵۸۵-۵۹۶.
۹. صارمی راد، ع.، و مصطفوی، خ.، ۱۳۹۹. مطالعه تنوع فنوتیپی و ژنتیکی ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی (*Helianthus annuus* L.) از نظر صفات اگرو-مورفولوژیکی تحت شرایط نرمال و تنش خشکی. تولیدات گیاهی، دوره ۴۳، شماره ۲، صفحه‌های ۲۲۷-۲۴۰. doi: 10.22055/ppd.2020.27588.1671
۱۰. کاظمی، م.، و عبدالحسینی، ص.، ۱۳۹۱. بهینه‌سازی استخراج روغن هسته خرما در مقیاس آزمایشگاهی و نیم صنعتی. نشریه پژوهش‌های کاربردی در شیمی، شماره ۳، صفحه‌های ۲۵-۳۰.
۱۱. گنجعلی، ع.، پرسا، ح.، و باقری، ع.ر.، ۱۳۹۰. واکنش عملکرد و خصوصیات مورفوفیزیولوژیک ژنوتیپ‌های زودرس نخود (*Cicer arietinum* L.) به تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران، جلد ۲، شماره ۱، صفحه ۸۰-۶۵.
۱۲. کریمی کاخکی، م.، و سپهری، ع.، ۱۳۸۸. اثر کم آبیاری در دوره زایشی بر کارایی مصرف آب و تحمل خشکی ارقام جدید آفتابگردان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌و خاک، سال ۱۳، شماره ۵، صفحه‌های ۱۶۳-۱۷۶.
۱۳. علی پور، ز.، محمودی، س.، گلوی، م.، و مهدیانی، ز.، ۱۳۹۳. بررسی اثر تراکم و رقم بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus*). دومین همایش ملی گیاهان دارویی و کشاورزی پایدار، همدان. <https://civilica.com/doc/306079>.
۱۴. غفاری، م.، ۱۳۸۶. ارزیابی و انتخاب لاین‌های اینبرد آفتابگردان در شرایط نرمال و تنش خشکی. مجله نهال و بذر، دوره ۲۳، شماره ۴، صفحه‌های ۶۴۹-۶۳۳.
۱۵. مظفری، ک.، عرشی، ی.، و زینالی خانقاه، ح.، ۱۳۷۵. بررسی اثر تنش خشکی در برخی از صفات مورفوفیزیولوژیکی و اجزای عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.). مجله نهال و بذر، دوره ۱۲، شماره ۳، صفحه‌های ۳۳-۲۴.
۱۶. یوسفی، ع.ر.، بش، ز.، ۱۳۹۳. ارزیابی واکنش آفتابگردان به تداخل علف‌های هرز در شرایط کم آبیاری. پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)، دوره ۲۸، شماره ۲، صفحه‌های ۴۳۱-۴۴۱.
17. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome, Italy.
18. Connor, D.J., Sadras, V.O., 1992. Physiology of yield expression in sunflower. Field Crops Research, 30: 333-389.
19. Connor, D.J., Gómez-del-Campo, M., Rousseaux, M.C., Searles, P.S., 2014. Structure, management and productivity of hedgerow olive orchards: a review. Scientia Horticulturae, 169: 71-93.
20. Doorenbos, J., Kassam, A.H., 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. FAO, Rome, Italy.
21. Ehdaie, B., and Waines, J.G., 1993. Variation in water-use efficiency and its components in wheat: I. Well watered pot experiment. Crop Sciences, 33: 294-299.
22. English, M.J., Musick, J.T., Murty, V.V.N., 1990. Deficit irrigation. pp: 631-663. In: G.J. Hoffman, T.A. Howell, and K.H. Solomon (Eds.), Management of Farm Irrigation Systems. ASAE Monograph No. 9, American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI.
23. FAO, 2009. CROPWAT 8.0 Model. FAO, Rome.

24. Fernández, J.E., 2017. Plant-based methods for irrigation scheduling of woody crops. *Horticulturae*, 3 (35): 37. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020035>.
25. Fernández, J.E., Diaz-Espejo, A., Romero, R., Hernandez-Santana, V., García, J.M., Padilla-Díaz, C.M., Cuevas, M.V., 2018. Precision irrigation in olive (*Olea europaea* L.) Tree Orchards. In: García-Tejero, I.F., Durán-Zuazo, V.H. (Eds.), *Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment: Tools, Strategies and Challenges for Woody Crops*. Elsevier, pp. 179–218 Chapter 9 ISBN: 978-0-12-813164-0.
26. Fernandez, J.E., Alcon, F., Diaz-Espejo, A., Hernandez-Santana, V., Cuevas, M.V., 2020. Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high-density olive tree orchard. *Agricultural water management*, 237: 106074. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106074>
27. Fisher, R.A., and Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat, cultivar, I grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29: 897–912.
28. Flénet, F., Bouniols, A., Saraiva, C., 1996. Sunflower response to a range of soil water contents. *European Journal of Agronomy*, 5: 161–167.
29. Ghaffari, M., Andarkhor, S.A., Homayonifar, M., Kalantar Ahmadi, S.A., Shariati, F., Jamali, H., Rahmanpour, S., 2020. Agronomic attributes and stability of exotic sunflower hybrids in Iran. *Helia*, 43(72):1-15. <https://doi.org/10.1515/helia-2020-0004>
30. Göksoy, A.T., Demir, A.O., Turan, Z.M., Dagustu, N., 2004. Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. *Field Crops Research*, 87: 167–178.
31. Hashem, L., Amin Majumdar, M.N., Hossain, M. 1998. Drought stress on seed yield, yield attributes, growth, cell membrane stability and gas exchange of synthesized Brassica napus L. *Crop Science*, 180: 129-136.
32. Karam, F., Lahoud, R., Masaad, R., Kabalan, R., Breidi, J., Chalita, C., Roupahel, Y., 2007. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. *Agricultural water management*, 90: 213–223.
33. Rauf, A., Maqsood, M., Ahmad, A., Gondal, A.S., 2012. Yield and oil content of sunflower (*Helianthus annuus* L.) as influenced by spacing and reduced irrigation condition. *eSci Journal of Crop Production*, 1:41-45.
34. Reddy, K.P., Devi, M.U., Ramulu, V., Mdhavi, M. 2020. Water productivity and economics of rabi sunflower as influenced by nitrogen and potassium fertigation schedules. *Journal of Crop and Weed*, 16(2): 244-248.
35. Richards, R.A., Lopez-Castaneda, C., Gomez-Macpherson, H., Condon, A.G. 1993. Improving the efficiency of water use by plant breeding and molecular biology. *Irrigation Science*, 14: 93–104.
36. Richards, R.A., G.J. Rebetzke, A.G., Condon, van Herwaarden, A.F. 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Science*. 42: 111–121.
37. Rinaldi, M. 2001. Application of EPIC model for irrigation scheduling in southern Italy. *Agricultural Water Management*, 49: 185–196.
38. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Sci*. 21: 943–946.
39. Sadras, V.O., D.J. Connor and D.M. Whitfield. 1993. Yield, yield components and source-sink relationships in water stressed sunflower. *Field Crops Research*, 31: 27–39.
40. Soriano, M.A., Orgaz, F., Villalobos, F.J., Fereres, E., 2004. Efficiency of water use of early plantings of sunflower. *European Journal of Agronomy*, 21: 465–476.
41. Stone, L.R., A.J. Schlege, R.E. Gwin and A.H. Khan. 1996. Response of corn, grain sorghum, and sunflower to irrigation in the high plains of Kansas. *Agricultural Water Management*, 30: 251–259.
42. Viets, F.G. 1962. Fertilizer and the efficient use of water. *Advances in Agronomy*, 14: 223–264.
43. Shafiq, B.A., Nawaz, F., Majeed, S. et al. 2021. Sulfate-Based Fertilizers Regulate Nutrient Uptake, Photosynthetic Gas Exchange, and Enzymatic Antioxidants to Increase Sunflower

- Growth and Yield Under Drought Stress. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21: 2229–2241. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00516-x>
44. Wasaya, A., Abbas, T., Yasir, T.A. et al. 2021. Mitigating Drought Stress in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Through Exogenous Application of β -Aminobutyric Acid. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21: 936–948. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00412-4>

تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی نخل خرماي رقم برحي در خوزستان

مجید علی حوری^۱

استادیار پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

alihouri_m@hotmail.com

دریافت: شهریور ۱۴۰۱ و پذیرش: آذر ۱۴۰۱

چکیده

با تنظیم صحیح برنامه آبیاری گیاهان بر اساس تعیین دقیق نیاز آبی هر گیاه، می‌توان میزان مصرف آب و اتلاف آن را در کشاورزی کاهش داد. به منظور تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی درختان خرماي رقم برحي، سه لایسیمتر زهکش‌دار برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق درختان خرما در نظر گرفته شد. میزان تبخیر و تعرق نخل خرما با استفاده از رابطه بیلان آب در خاک و میزان تبخیر و تعرق مرجع از روش پنمن-مانتیث تعیین شد. بر پایه نتایج، مقدار نیاز آبی نخل شش، هفت و هشت ساله خرما به ترتیب معادل ۱۴۹۳، ۱۶۱۳ و ۱۶۹۵ میلی‌متر بود، در حالی که مقدار تبخیر و تعرق مرجع در سال‌های مذکور به ترتیب معادل ۲۰۷۰، ۱۹۵۰ و ۱۹۴۵ میلی‌متر برآورد شد. میزان افزایش سالانه نیاز آبی نخل خرما از سال ششم به هفتم رشد برابر ۸٪ و از سال هفتم به هشتم رشد برابر ۷/۸٪ بود. مقدار ضریب گیاهی نخل شش ساله خرما، بین ۵۴/۰ تا ۸۰/۰ در نوسان بود. کمترین مقدار ضریب گیاهی در آبان‌ماه و بیشترین مقدار آن در ماه‌های خرداد و تیر بود. اما مقدار ضریب گیاهی نخل هفت ساله خرما، از ۶۲/۰ تا ۹۷/۰ و نخل هشت ساله خرما از ۴۷/۰ تا ۱۰۱/۰ متغیر بود. کمترین مقدار ضریب گیاهی برای سال‌های هفتم و هشتم رشد به ترتیب در ماه‌های آبان و آذر و بیشترین مقدار این ضریب برای سال‌های مذکور در مردادماه بود.

واژه‌های کلیدی: آب کشاورزی، برنامه آبیاری، بیلان آب در خاک، تبخیر و تعرق

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

مقدمه

محدودیت منابع آب تجدیدشونده و تقاضای روزافزون برای مصرف آب در بخش‌های مختلف مصرف، اهمیت مدیریت منابع آب کشور را افزایش داده است. در شرایط کنونی، تأمین امنیت غذایی در کشور (از نظر کمی و کیفی مانند تأمین غذای سالم و عاری از آفت‌کش‌ها و هورمون‌ها) با توجه به دو عامل افزایش سرانه مصرف فراورده‌های کشاورزی و کاهش دسترسی به منابع آب، با چالش‌های جدی مواجه است. یکی از راهکارهای مؤثر برای برون‌رفت از این مشکل، کاهش مصرف آب کشاورزی و استفاده بهینه از آب در تولید فراورده‌های کشاورزی است. پایه و اساس این مسئله را تعیین نیاز آبی گیاهان تشکیل می‌دهد. با تعیین دقیق میزان نیاز آبی گیاهان می‌توان مقدار آب مناسب را در اختیار گیاه قرار داد و از مشکلات ناشی از بیش‌بود و کمبود آب جلوگیری کرد. معمول‌ترین روش مستقیم در تعیین تبخیر و تعرق گیاهان، استفاده از اصل بیلان آب در یک حجم کنترل‌شده از خاک یا لایسیمتر است. در لایسیمتر وضعیت آب، خاک و گیاه بسیار دقیق‌تر از محیط طبیعی خاک تنظیم و بررسی می‌گردد و لایسیمتر به‌عنوان یک روش پایه‌ای و مبنا برای بررسی اعتبار سایر روش‌های برآورد تبخیر و تعرق است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

خرما از اهمیت قابل‌توجهی در کشاورزی و بخش باغبانی کشور برخوردار است. گنجینه ارقام خرماي کشور شامل بیش از ۴۰۰ رقم است که از این نظر به‌عنوان غنی‌ترین کشور جهان از نظر ژرم‌پلاس و تنوع خرما مطرح است. از میان این مجموعه حدود ۵۰ رقم به‌صورت اقتصادی و حدود ۱۲ رقم به‌صورت تجاری کشت‌وکار می‌شوند (مستعان و همکاران، ۱۳۹۶). بر اساس آمار منتشرشده توسط وزارت جهاد کشاورزی، در سال ۱۳۹۹ سطح زیر کشت خرما در کشور ۲۶۸۸۱۱ هکتار (۲۲۷ هزار هکتار بارور) و میزان تولید آن ۱۳۳۵۶۵۲ تن بود. خرما با سهم ۸/۹ درصد از کل سطح زیر کشت (بارور) و ۵/۵ درصد از کل تولید محصولات باغبانی کشور، به ترتیب رتبه

سوم و چهارم را به خود اختصاص داده است. خرما در سیزده استان کشور کشت می‌شود که استان خوزستان با سطح زیر کشت ۴۲۴۰۶ هکتار، یکی از مناطق عمده خرماخیز کشور است و ۱۴/۹ درصد از کل تولید خرما در کشور را شامل می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰).

آب و آبیاری به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم نقش بسزایی در فرایند تولید خرما و به‌تبع آن در عملکرد کمی و کیفی، قیمت و صادرات این محصول دارد. نخل خرما هر چند که درختی متحمل به تنش‌های محیطی از قبیل خشکی و شوری شناخته‌شده، اما برای تولید محصول بهینه نیاز به آب کافی و با کیفیت مناسب دارد. در حال حاضر ۹۳/۴ درصد اراضی نخلستان‌های کشور زیر کشت آبی است که ۹۷/۵ درصد از کل خرماي کشور از این اراضی تولید می‌شود (محمد و همکاران، ۲۰۱۸؛ احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). نیاز آبی درختان بارور خرما بر اساس روش پنمن - مانیت فائو، بین ۱۴۳۱۰ تا ۲۳۳۸۰ مترمکعب در هکتار برای مناطق مختلف کشور برآورد شده است (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶). در مطالعه دیگری آب مصرفی نخل خرما در استان‌های خرماخیز کشور بین ۲۴۱۶۰ تا ۴۱۰۷۰ مترمکعب در هکتار برای روش آبیاری کرتی (بازده ۵۵ درصد)، بین ۱۳۹۵۰ تا ۲۳۷۲۰ مترمکعب در هکتار برای آبیاری تشتکی (بازده ۷۵ درصد) و بین ۱۱۶۲۰ تا ۱۹۷۵۰ مترمکعب در هکتار برای آبیاری قطره‌ای (بازده ۹۰ درصد) برآورد شد (وزیری و شریعتی، ۱۳۷۷).

در استان فارس (شهرستان جهرم)، آب موردنیاز درختان بارور خرماي رقم شاهانی بر اساس ۷۵ درصد تبخیر تجمعی از تشت کلاس A، معادل ۱۰۰۰۰ مترمکعب در هکتار اعلام گردید (دانش نیا، ۱۳۷۸). در استان کرمان (شهرستان بم) میزان نیاز خالص آبیاری درختان بارور خرماي رقم مضافتی بر اساس روش بلانی-کریدل، معادل ۱۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار برآورد گردید (احسانی، ۱۳۷۱). در پژوهش دیگری، میزان تبخیر و تعرق (بر مبنای روش تشت تبخیر فائو) و نیاز خالص آبیاری خرماي رقم مضافتی (روش قطره‌ای) به ترتیب بین ۳۳۰۸/۶ تا ۴۰۲۴

میلی‌متر و ۳۳۴۱/۱ تا ۱۱۴۸۵/۱ مترمکعب در هکتار برای سال اول تا نهم رشد برآورد شد (غفاری نژاد، ۱۳۸۰). درحالی‌که برای همین شهرستان، آب خالص موردنیاز درختان خرما می‌ضافتی (روش سطحی) بر اساس مقادیر بهینه عملکرد میوه و بهره‌وری آب، معادل ۱۰۹۸۵ مترمکعب در هکتار (بر مبنای ۸۰ درصد تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A) توصیه شده است (فرزنامیا و راوری، ۱۳۸۴).

در استان هرمزگان (شهرستان حاجی‌آباد)، میزان نیاز خالص آبیاری (روش قطره‌ای) درختان خرما می‌رقم پیارم بین ۴۳۶۶/۸ تا ۸۴۳۸/۴ مترمکعب بر هکتار برای سال ششم تا دهم گزارش شده است (محبی و علی‌حوری، ۱۳۹۲). در صورتی‌که در پژوهش دیگری در همین شهرستان، میزان تبخیر و تعرق نخل خرما ۲۴۹۶ میلی‌متر برآورد شده بود (مرادی دالینی و همکاران، ۱۳۸۴). همچنین آب موردنیاز درختان بارور خرما می‌رقم هلیلی (شهرستان میناب) معادل ۱۲۷۹۸ مترمکعب در هکتار برای روش آبیاری سطحی برآورد گردیده که این میزان بر اساس ۷۵ درصد تبخیر تجمعی از تشت تبخیر فائو گزارش شده است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۱).

در استان خوزستان (شهرستان اهواز)، میزان تبخیر و تعرق خرما می‌رقم استعمار بر اساس روش تشت تبخیر فائو و نیاز خالص آبیاری در سال اول رشد، به ترتیب معادل ۱۸۱۰/۴ میلی‌متر و ۱۹۱۲/۵ مترمکعب در هکتار برای روش آبیاری بابلر برآورد گردید (علی‌حوری و تراهی، ۱۳۸۹). در تحقیق دیگر در همین استان، میزان نیاز خالص آبیاری خرما می‌رقم برخی بر اساس ۸۰ درصد تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A (آبیاری بابلر)، معادل ۱۸۵۴/۶ و ۲۸۱۱/۵ مترمکعب در هکتار به ترتیب در سال اول و دوم رشد برآورد گردید (علی‌حوری، ۱۳۹۶ ب).

سازمان جهانی خواربار و کشاورزی (فائو)، مقدار آب مصرفی نخل خرما در روش آبیاری کرتی را برای کشورهای آسیایی مانند عراق و هند به ترتیب معادل ۱۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ و ۲۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار

گزارش نموده است (زید، ۱۹۹۹). مقدار تبخیر و تعرق درختان ۱۵ ساله خرما می‌رقم Sukariah در کشور عربستان سعودی بر اساس روش بیلان آب در خاک برابر ۱۶۴۴ میلی‌متر در سال اندازه‌گیری شد (کاسم، ۲۰۰۷). در مطالعه دیگری برای هفت منطقه از کشور عربستان سعودی، مقدار تبخیر و تعرق درختان بارور خرما با روش بیلان آب در خاک بین ۲۱۰۰ و ۲۸۲۹ میلی‌متر اعلام گردید (العمود و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین در دو ناحیه از کشور عربستان سعودی، میزان نیاز آبی سالانه درختان بارور خرما می‌رقم Klayas با روش بیلان آب در خاک بین ۳۵۱۵ تا ۳۶۰۴ مترمکعب در هکتار گزارش شد (العمران و همکاران، ۲۰۱۹). در تحقیقات مذکور، آبیاری درختان با روش قطره‌ای انجام گرفت. در کشور اردن نیز اندازه‌گیری تبخیر و تعرق درختان ۱۱ ساله خرما می‌رقم مجول با روش بیلان آب در خاک نشان داد که میزان تبخیر و تعرق نخل خرما برابر ۱۸۲۸ میلی‌متر بود (مزهریح و همکاران، ۲۰۱۲). در پژوهش دیگری، اندازه‌گیری لایسیمتری تبخیر و تعرق خرما می‌رقم مجول نشان داد که میزان تبخیر و تعرق در سال‌های سوم تا هشتم رشد، بین ۱۵/۱ تا ۷۴/۶ مترمکعب به ازای هر اصله نخل بود (تریپلر و همکاران، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۱).

به‌طورکلی بررسی منابع علمی مختلف نشان داد که در تحقیقات انجام‌شده در کشور، میزان تبخیر و تعرق نخل خرما بر اساس روش‌های غیرمستقیم (معادلات تبخیر و تعرق) برآورد گردیده و تاکنون مقدار دقیق تبخیر و تعرق و ضریب گیاهی درختان بارور خرما تعیین نشده است؛ بنابراین تعیین میزان دقیق تبخیر و تعرق و ضریب گیاهی درختان بارور خرما می‌رقم برخی که یکی از ارقام مهم و تجاری کشور است و در برنامه‌های اصلاح و احیای نخلستان‌ها و توسعه سطح زیرکشت خرما توصیه می‌شود (علی‌حوری و تیشه‌زن، ۱۳۹۰)، از اهداف این تحقیق بودند. لازم به ذکر است که این تحقیق در ادامه دو پژوهش دیگری که در آن میزان ضریب گیاهی و تبخیر و تعرق خرما می‌رقم برخی در سال‌های اول تا پنجم رشد تعیین شد (علی‌حوری،

۱۳۹۶ الف؛ علی حوری، ۱۴۰۰، اجرا گردید.

دوره آماری ۵۰ ساله، برابر ۲۱۳/۳ میلی متر است و اقلیم منطقه بر اساس طبقه بندی دومارتن و اقلیم نمای آمبرژه به ترتیب خشک و بیابانی گرم میانه است. میانگین آمار هواشناسی ایستگاه کشاورزی اهواز مستقر در محل اجرای تحقیق، در جدول ۱ تا ۳ ارائه شده است. در این تحقیق، سه لایسیمتر بتنی زهکش دار به قطر دو متر و ارتفاع ۱/۲ متر برای تعیین نیاز آبی نخل خرما (رقم برچی) ساخته شدند و در یک نخلستان به وسعت ده هکتار قرار گرفتند (شکل ۱).

مواد و روش ها

این تحقیق در پژوهشکده خرما و میوه های گرمسیری واقع در شهر اهواز (استان خوزستان) به طول جغرافیایی ۴۸°۴۰' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱°۲۰' شمالی و با ارتفاع ۲۲/۵ متر از سطح دریا به مدت سه سال (۱۳۹۸-۱۳۹۶) اجرا شد. میانگین بارندگی سالانه در اهواز برای یک

جدول ۱- میانگین آمار هواشناسی ایستگاه کشاورزی اهواز در سال ۱۳۹۶

ماه	حداکثر درجه حرارت (سانتی گراد)	حداقل درجه حرارت (سانتی گراد)	حداکثر رطوبت نسبی (درصد)	حداقل رطوبت نسبی (درصد)	بارندگی (میلی متر)	تبخیر از تشت (میلی متر)
فروردین	۳۱/۴	۱۶/۶	۷۳/۲	۲۷/۵	۲۰/۸	۲۲۱/۹
اردیبهشت	۴۱/۰	۲۲/۸	۵۰/۸	۱۱/۶	۰/۱	۳۸۳/۸
خرداد	۴۵/۸	۲۵/۴	۳۲/۹	۵/۹	۰/۰	۶۴۰/۲
تیر	۴۸/۱	۲۸/۶	۴۸/۶	۱۰/۴	۰/۰	۵۴۲/۶
مرداد	۴۸/۱	۲۹/۰	۶۲/۰	۱۵/۹	۰/۰	۴۴۷/۶
شهریور	۴۵/۲	۲۶/۵	۷۱/۵	۱۸/۷	۰/۰	۳۱۸/۵
مهر	۳۸/۷	۱۹/۷	۵۸/۴	۱۸/۲	۰/۰	۲۵۵/۱
آبان	۳۲/۲	۱۵/۷	۷۴/۹	۲۸/۳	۰/۰	۱۳۰/۱
آذر	۲۲/۶	۷/۸	۸۲/۹	۳۶/۴	۹/۳	۹۰/۹
دی	۲۳/۵	۸/۲	۸۲/۴	۳۱/۳	۰/۶	۱۱۶/۲
بهمن	۲۳/۳	۸/۵	۸۲/۱	۳۲/۷	۸/۰	۱۰۶/۳
اسفند	۲۷/۳	۱۳/۱	۸۱/۹	۳۳/۹	۴۱/۱	۱۳۴/۲
مجموع	---	---	---	---	۷۹/۹	۳۲۸۷/۴

جدول ۲- میانگین آمار هواشناسی ایستگاه کشاورزی اهواز در سال ۱۳۹۷

ماه	حداکثر درجه حرارت (سانتی گراد)	حداقل درجه حرارت (سانتی گراد)	حداکثر رطوبت نسبی (درصد)	حداقل رطوبت نسبی (درصد)	بارندگی (میلی متر)	تبخیر از تشت (میلی متر)
فروردین	۳۳/۱	۱۶/۷	۷۱/۵	۲۳/۹	۲۸/۰	۲۳۳/۵
اردیبهشت	۳۶/۱	۲۱/۵	۶۱/۴	۲۰/۰	۲۳/۶	۲۹۲/۲
خرداد	۴۵/۷	۲۷/۸	۳۷/۳	۹/۱	۰/۰	۶۳۳/۰
تیر	۴۸/۳	۲۸/۸	۳۷/۴	۸/۹	۰/۰	۶۷۳/۶
مرداد	۴۷/۴	۲۷/۹	۳۸/۰	۱۰/۸	۰/۰	۶۵۱/۶
شهریور	۴۶/۶	۲۶/۶	۶۱/۳	۱۴/۳	۰/۰	۴۶۳/۷
مهر	۴۰/۷	۲۲/۰	۵۹/۴	۱۷/۷	۴۵/۸	۲۸۰/۰
آبان	۲۶/۷	۱۶/۲	۸۷/۶	۴۹/۹	۴۲/۲	۹۹/۴
آذر	۲۱/۳	۱۱/۹	۹۵/۶	۶۱/۳	۷۸/۰	۵۷/۷
دی	۱۷/۵	۸/۴	۹۲/۲	۶۰/۱	۲۴/۸	۵۴/۶
بهمن	۲۰/۱	۸/۸	۹۰/۵	۴۴/۳	۴۰/۴	۸۰/۱
اسفند	۲۲/۹	۹/۲	۸۷/۲	۳۱/۲	۱۶/۷	۱۱۹/۵
مجموع	---	---	---	---	۲۹۹/۵	۳۶۳۸/۹

جدول ۳- میانگین آمار هواشناسی ایستگاه کشاورزی اهواز در سال ۱۳۹۸

ماه	حداکثر درجه حرارت (سانتی گراد)	حداقل درجه حرارت (سانتی گراد)	حداکثر رطوبت نسبی (درصد)	حداقل رطوبت نسبی (درصد)	بارندگی (میلی متر)	تبخیر از تشت (میلی متر)
فروردین	۲۶/۳	۱۶/۰	۷۹/۹	۳۱/۴	۳۲/۰	۱۶۵/۳
اردیبهشت	۳۶/۳	۱۹/۵	۶۶/۲	۱۶/۷	۰/۳	۳۱۲/۹
خرداد	۴۶/۱	۲۶/۳	۵۲/۱	۱۰/۶	۰/۰	۴۹۱/۰
تیر	۴۶/۳	۲۶/۸	۵۰/۷	۱۲/۰	۰/۰	۵۵۴/۴
مرداد	۴۵/۸	۲۷/۲	۵۵/۰	۱۶/۵	۰/۰	۴۷۲/۶
شهریور	۴۳/۶	۲۴/۸	۶۵/۷	۱۹/۹	۰/۰	۳۷۱/۲
مهر	۳۹/۹	۲۲/۵	۷۳/۰	۲۵/۷	۰/۲	۲۲۴/۱
آبان	۲۹/۲	۱۴/۸	۷۸/۶	۳۴/۴	۶۰/۱	۱۲۰/۶
آذر	۲۰/۵	۱۱/۱	۹۱/۰	۵۹/۰	۹۹/۰	۳۹/۸
دی	۲۰/۲	۸/۰	۸۷/۵	۴۳/۳	۲/۲	۵۴/۴
بهمن	۱۹/۸	۷/۱	۸۴/۸	۴۰/۹	۲۲/۷	۸۲/۴
اسفند	۲۵/۷	۱۱/۸	۸۵/۶	۳۵/۸	۳۲/۹	۱۰۶/۰
مجموع	---	---	---	---	۲۴۹/۴	۲۹۹۴/۷



شکل ۱- لایسیمتر نخل خرما و راهروی اندازه گیری زه آب

شیمیایی به آزمایشگاه ارسال گردید (جدول ۴ و ۵). میانگین ماهانه شوری آب در سال های ۹۸-۱۳۹۶ به ترتیب برابر ۲/۳، ۲/۴ و ۱/۶ دسی زیمنس بر متر بود. آبیاری درختان خرما، با استفاده از آب رودخانه کارون انجام گرفت که در یک استخر ذخیره می شد. دور آبیاری بر اساس یافته های تحقیقاتی، پس از ۷۵ میلی متر تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A در نظر گرفته شد (علی حوری، ۱۳۹۶ ب). میزان تبخیر و تعرق واقعی نخل

در هر یک از لایسیمترهای خرما، یک قطعه لوله پلی اتیلن به قطر ۲/۵۴ سانتی متر و طول ۲۰۵ سانتی متر قرار گرفت که منافذی به قطر دو میلی متر بر جدار لوله ایجاد شد. لوله مذکور به عنوان زهکش، در فاصله پنج سانتی متر از کف هر لایسیمتر نصب گردیده و سپس توسط یک لایه فیلتر شنی به ضخامت ۱۵ سانتی متر پوشانده شد. عملیات آبیاری نیز با یک لوله پلی اتیلن به قطر ۱۶ میلی متر و مجهز به کنتور حجمی انجام گرفت. نمونه هایی از خاک لایسیمترها و آب آبیاری برای تعیین خصوصیات فیزیکی و

خرما در هر آبیاری، با استفاده از رابطه بیلان آب در خاک تعیین گردید:

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

در این رابطه، $ET_c(ly)$ تبخیر و تعرق گیاه (میلی متر در لایسمتر)، I آب آبیاری (میلی متر)، P بارندگی (میلی متر)، RO روان آب سطحی که برابر صفر بود (میلی متر)، DP نفوذ عمقی یا زه آب جمع آوری شده از هر لایسمتر (میلی متر) و ΔS تغییرات رطوبت خاک که با توجه به برنامه آبیاری، مقدار ماهانه آن برابر صفر بود (میلی متر). حجم زه آب خروجی از هر لایسمتر بعد از جمع آوری در بشکه ای از جنس پلی اتیلن، توسط استوانه مدرج اندازه گیری شد. به منظور اطمینان از تأمین آب مورد نیاز گیاه (وارد نشدن تنش آبی به گیاه) و داشتن زه آب خروجی، حجم آب آبیاری در هر مرتبه آبیاری به مقدار ۲۰ درصد افزایش یافت (شهابی فر و رحیمیان، ۱۳۸۶؛ بنتانا و لازارویچ، ۲۰۱۰):

$$V = 1.2 (d.a) \quad (2)$$

در این رابطه، V حجم آب آبیاری (لیتر)، d عمق خالص آبیاری یا تفاوت بین میزان تبخیر و تعرق گیاه و بارندگی (میلی متر) و a مساحت لایسمتر (مترمربع) است. همچنین با توجه به مقادیر اندازه گیری شده تبخیر و تعرق گیاه، میزان ضریب گیاهی (K_c) خرما تعیین شد. بدین منظور با توجه به این که در گیاهان باغی معمولاً تمام سطح زمین در موقع آبیاری خیس نمی شود، ابتدا لازم است میزان تبخیر و تعرق به دست آمده از لایسمتر (نخل خرما) اصلاح شود. سپس براساس میزان تبخیر و تعرق اصلاح شده (میلی متر) و میزان تبخیر و تعرق مرجع (ET_o)، میزان ضریب گیاهی در ماه های مختلف محاسبه گردید (بومن، ۱۹۹۴؛ مرکلی و آلن، ۲۰۰۴؛ ویلیامز و آیزر، ۲۰۰۵؛ آلوزجر و همکاران، ۲۰۰۷؛ نزر و همکاران، ۲۰۰۹):

$$ET_c = 0.1 ET_c (ly) \sqrt{P_d} \quad (3)$$

$$K_c = ET_c / ET_o \quad (4)$$

جدول ۴- خصوصیات خاک درون لایسمتر

نسبت جذب سدیم (SAR)	هدایت الکتریکی (dS/m)	رطوبت جرمی نقطه پژمردگی (%)	رطوبت جرمی ظرفیت زراعی (%)	وزن مخصوص (g/cm ³)	بافت خاک
۶/۴	۳/۴	۷/۱	۱۸/۷	۱/۳	لوم شنی

جدول ۵- نتایج تجزیه کیفی آب آبیاری

EC (dS/m)	SAR	pH	آن یون های محلول (meq/lit)			کاتیون های محلول (meq/lit)		
			Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
۲/۳	۴/۱	۸/۰	۱۸/۲	۲/۷	-	۱۱/۰	۴/۵	۹/۹

در این معادله ها، ET_c تبخیر و تعرق گیاه (میلی متر) و P_d سطح سایه انداز گیاه (درصد) است. به منظور تعیین درصد سطح سایه انداز گیاه، مساحت لایسمتر بر مساحت زیر پوشش هر نخل در نخلستان (۶۴ مترمربع برای فواصل کاشت هشت در هشت متر) تقسیم گردید. البته قابل ذکر است که اگر روش آبیاری به صورتی باشد که تمام سطح نخلستان خیس شود (مانند روش غرقابی و یا کرتی)، نیازی به اصلاح میزان تبخیر و تعرق نخل خرما بر اساس رابطه (۳) نیست.

تبخیر و تعرق مرجع در سال های اجرای این تحقیق، با استفاده از نرم افزار CROPWAT برآورد شد. اساس این نرم افزار که توسط سازمان جهانی خواربار کشاورزی (FAO) طراحی شده، روش پنمن-مانتیت است که در حال حاضر به عنوان معتبرترین روش برآورد تبخیر-تعرق گیاه مورد استفاده متخصصان قرار می گیرد. بر اساس تحقیقات انجام شده در دنیا، روش پنمن-مانتیت-فائو پس از روش لایسمتری، به عنوان روشی استاندارد، دقیق و مناسب برای محاسبه تبخیر-تعرق گیاه معرفی شده است و حتی به عنوان روش مبنا، برای ارزیابی سایر معادلات تبخیر-

تعرق گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸؛ کومار و همکاران، ۲۰۰۲؛ سوزی و همکاران، ۲۰۰۳؛ تراج‌کویک و همکاران، ۲۰۰۳).

نتایج و بحث

میانگین مقادیر ماهانه آب آبیاری (I در رابطه ۱) یا آب‌داده شده به سه لایسیمتر نشان داد که در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷، بیشترین مقدار آب مصرفی به ترتیب با ۱۰۵۳/۳ و ۱۳۵۵/۰ میلی‌متر در لایسیمتر در تیرماه و کمترین مقدار آب مصرفی به ترتیب با ۲۹۱/۹ و ۱۸۳/۱ میلی‌متر در لایسیمتر در آذرماه و دی‌ماه بود؛ اما در سال ۱۳۹۸، بیشترین مقدار آب مصرفی با ۱۳۶۶/۲ میلی‌متر در لایسیمتر مربوط به مردادماه و کمترین مقدار آب مصرفی با ۶۳/۷ میلی‌متر در لایسیمتر مربوط به آذرماه بود. مقدار کل آب آبیاری نیز در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ به ترتیب معادل ۷۴۹۵/۴، ۸۰۴۱/۵ و ۸۶۴۸/۰ میلی‌متر در لایسیمتر بود.

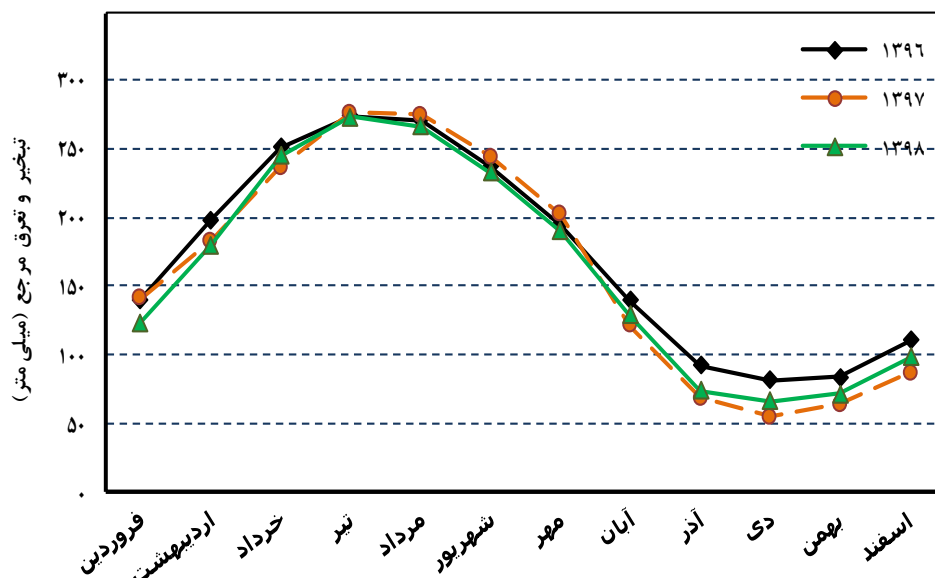
میانگین میزان نیاز آبی یا تبخیر و تعرق نخل خرما طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ که با استفاده از رابطه بیلان آب در خاک به دست آمد، در شکل ۳ ارائه شده است. بیشترین میزان نیاز آبی نخل خرما در سال ۱۳۹۶، در تیرماه با ۹۹۱/۷ میلی‌متر در لایسیمتر و کمترین میزان نیاز آبی در دی‌ماه با ۲۲۵/۹ میلی‌متر در لایسیمتر بود. در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ بیشترین میزان نیاز آبی نخل خرما به ترتیب با ۱۱۹۸/۴ و ۱۲۱۵/۴ میلی‌متر در لایسیمتر مربوط به تیرماه و کمترین میزان نیاز آبی به ترتیب با ۱۵۴/۴ و ۱۵۵/۱ میلی‌متر در لایسیمتر مربوط به ماه‌های دی و آذر بود. بررسی مقادیر ماهانه نیاز آبی نخل خرما نشان داد که میزان نیاز آبی گیاه از مهرماه دچار افت قابل توجهی شده است که کاهش فعالیت‌های متابولیکی و فتوسنتز گیاه در اثر کم شدن دمای هوا می‌تواند دلیل آن باشد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). مقدار کل نیاز آبی نخل خرما شش تا هشت ساله نیز به ترتیب معادل ۶۷۴۳/۹، ۷۲۸۳/۰ و ۷۶۵۵/۹ میلی‌متر در لایسیمتر به دست آمد. این مقادیر (با توجه به سن گیاه) با میزان تبخیر و تعرق گزارش شده برای نهال یک ساله

خرمای رقم برچی که معادل ۲۱۸۳ میلی‌متر در لایسیمتر بود (تیشه‌زن و همکاران، ۱۳۹۲)، متناسب است. سپس براساس معادله (۳)، ابتدا مقادیر نیاز آبی گیاه (میلی‌متر) محاسبه شد و با استفاده از معادله (۴)، میزان ضریب گیاهی (Kc) برای ماه‌های مختلف سال‌های ششم تا هشتم رشد تعیین شد که در جدول ۶ تا ۸ ارائه گردیده است.

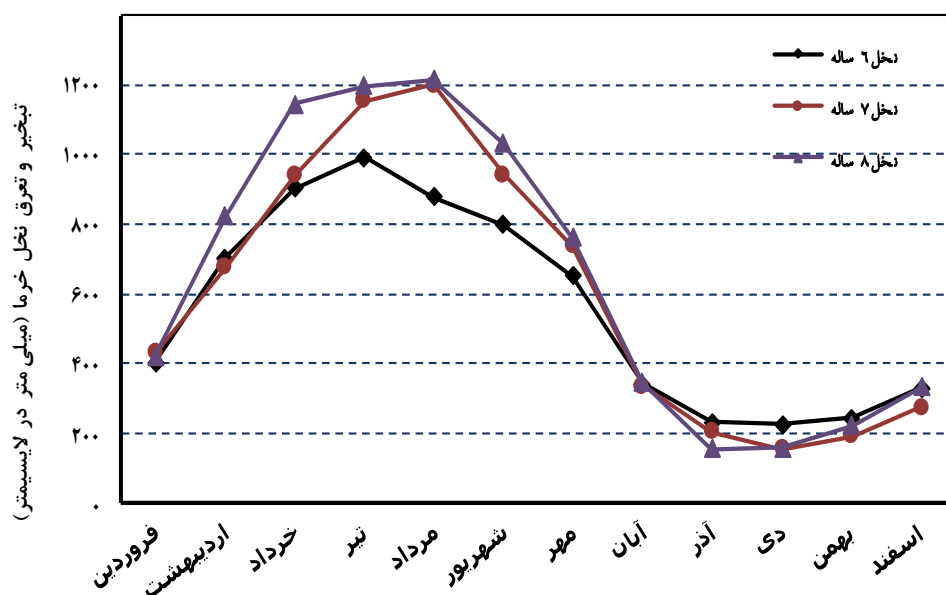
میزان تبخیر و تعرق مرجع در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ که با استفاده از روش پنمن-مانتیث-فائو برآورد شد، در شکل ۲ ارائه شده است. بیشترین میزان تبخیر و تعرق مرجع در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸، به ترتیب با ۲۷۳/۷، ۲۷۶/۵ و ۲۷۳/۳ میلی‌متر در تیرماه و کمترین میزان تبخیر و تعرق مرجع در سال ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ به ترتیب با ۸۱/۳، ۵۴/۱ و ۶۵/۶ میلی‌متر مربوط به دی‌ماه بود. مقدار کل تبخیر و تعرق مرجع نیز در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ به ترتیب معادل ۲۰۷۰/۰، ۱۹۵۰/۴ و ۱۹۴۵/۹ میلی‌متر به دست آمد. علت عمده نوسان مقدار کل تبخیر و تعرق مرجع در سال‌های مذکور را می‌توان تغییرات عوامل اقلیمی نظیر درجه حرارت دانست.

میزان سالانه نیاز آبی نخل خرما (در هکتار) از ۱۴۹۳/۸ میلی‌متر در سال ۱۳۹۶ به ۱۶۱۳/۲ میلی‌متر در سال ۱۳۹۷ و سپس به ۱۷۳۹/۴ میلی‌متر در سال ۱۳۹۸ افزایش یافته است، به‌طوری که مقدار افزایش سالانه نیاز آبی نخل خرما از سال ششم به هفتم برابر ۸/۰ درصد و از سال هفتم به هشتم برابر ۷/۸ درصد بود. در حالی که مقدار افزایش سالانه نیاز آبی خرمای رقم برچی بین سال‌های اول، دوم و سوم رشد به ترتیب برابر ۴۶/۸ و ۴۸/۳ درصد و بین سال‌های چهارم و پنجم رشد، معادل ۴۴/۳ درصد بود (علی‌حوری، ۱۳۹۶ الف و ۱۴۰۰). در مطالعه تریپلر و همکاران (۲۰۱۱) نیز میزان نیاز آبی درختان خرمای رقم مجول بین سال‌های چهارم و پنجم رشد، ۴۸/۲ درصد افزایش داشت. هر چند که افزایش فعالیت‌های متابولیکی گیاه در اثر بالا رفتن سن گیاه را می‌توان علت اصلی این روند صعودی نیاز آبی درختان خرما در سال‌های ششم تا هشتم رشد دانست، اما با توجه به کاهش درصد افزایش

نیاز آبی نخل خرما در سال‌های ششم تا هشتم به نظر می‌رسد که وضعیت رشد نخل خرما در سال هشتم به یک ثبات نسبی رسیده است.



شکل ۲- میانگین ماهانه میزان تبخیر و تعرق مرجع در سال‌های ۱۳۹۶-۹۸



شکل ۳- میانگین ماهانه میزان تبخیر و تعرق نخل خرما ی شش، هفت و هشت ساله

جدول ۶- میزان ضریب گیاهی نخل شش ساله خرما ی رقم برحی

ماه	تبخیر و تعرق مرجع (میلی متر)	تبخیر و تعرق نخل خرما (میلی متر در لایسمتر)	تبخیر و تعرق نخل خرما (میلی متر)	ضریب گیاهی
فروردین	۱۳۹/۷	۴۴۵/۵	۹۸/۷	۰/۷۱
اردیبهشت	۱۹۸/۲	۷۰۲/۹	۱۵۵/۷	۰/۷۹
خرداد	۲۵۰/۸	۹۰۳/۹	۲۰۰/۲	۰/۸۰
تیر	۲۷۳/۷	۹۹۱/۷	۲۱۹/۷	۰/۸۰
مرداد	۳۷۰/۶	۸۷۷/۷	۱۹۴/۴	۰/۷۲
شهریور	۳۳۷/۵	۷۹۷/۳	۱۷۶/۶	۰/۷۴
مهر	۱۹۴/۵	۶۵۲/۲	۱۴۴/۵	۰/۷۴
آبان	۱۳۸/۹	۳۴۱/۶	۷۵/۷	۰/۵۴
آذر	۹۱/۵	۲۳۰/۹	۵۱/۱	۰/۵۶
دی	۸۱/۳	۲۲۵/۹	۵۰/۰	۰/۶۲
بهمن	۸۳/۰	۲۴۵/۸	۵۵/۴	۰/۶۶
اسفند	۱۱۰/۲	۳۲۸/۷	۷۲/۸	۰/۶۶
مجموع	۲۰۷۰/۰	۶۷۴۳/۹	۱۴۹۳/۸	---

جدول ۷- میزان ضریب گیاهی نخل هفت ساله خرما ی رقم برحی

ماه	تبخیر و تعرق مرجع (میلی متر)	تبخیر و تعرق نخل خرما (میلی متر در لایسمتر)	تبخیر و تعرق نخل خرما (میلی متر)	ضریب گیاهی
فروردین	۱۴۰/۹	۴۷۳/۴	۱۰۴/۹	۰/۷۴
اردیبهشت	۱۸۲/۹	۶۷۷/۴	۱۵۰/۰	۰/۸۲
خرداد	۲۳۶/۶	۹۳۷/۹	۲۰۷/۷	۰/۸۸
تیر	۲۷۶/۵	۱۱۵۳/۹	۲۵۵/۶	۰/۹۲
مرداد	۲۷۴/۸	۱۱۹۸/۴	۲۶۵/۴	۰/۹۷
شهریور	۲۴۴/۲	۹۴۱/۳	۲۰۸/۵	۰/۸۵
مهر	۲۰۱/۸	۷۳۸/۰	۱۶۳/۵	۰/۸۱
آبان	۱۲۰/۶	۳۳۵/۰	۷۴/۲	۰/۶۲
آذر	۶۸/۰	۲۰۳/۷	۴۵/۱	۰/۶۶
دی	۵۴/۱	۱۵۴/۴	۳۴/۲	۰/۶۳
بهمن	۶۳/۶	۱۹۳/۱	۴۲/۸	۰/۶۷
اسفند	۸۶/۵	۲۷۶/۵	۶۱/۳	۰/۷۱
مجموع	۱۹۵۰/۴	۷۲۸۳/۰	۱۶۱۳/۲	---

جدول ۸- میزان ضریب گیاهی نخل هشت ساله خرما ی رقم برحی

ماه	تبخیر و تعرق مرجع (میلی متر)	تبخیر و تعرق نخل خرما (میلی متر در لایسمتر)	تبخیر و تعرق نخل خرما (میلی متر)	ضریب گیاهی
فروردین	۱۲۳/۵	۴۶۴/۱	۱۰۲/۹	۰/۸۳
اردیبهشت	۱۷۹/۴	۷۳۹/۸	۱۶۳/۹	۰/۹۱
خرداد	۲۴۴/۵	۱۰۳۱/۳	۲۲۸/۴	۰/۹۳
تیر	۲۷۳/۳	۱۱۹۶/۴	۲۶۵/۰	۰/۹۷
مرداد	۲۶۶/۱	۱۲۱۵/۴	۲۶۹/۲	۱/۰۱
شهریور	۲۳۲/۶	۱۰۳۰/۲	۲۲۸/۲	۰/۹۸
مهر	۱۸۹/۶	۷۶۱/۹	۱۶۸/۸	۰/۸۹
آبان	۱۲۸/۵	۳۴۵/۳	۷۶/۵	۰/۶۰
آذر	۷۳/۶	۱۵۵/۱	۳۴/۴	۰/۴۷
دی	۶۵/۶	۱۶۰/۳	۳۵/۵	۰/۵۴
بهمن	۷۰/۹	۲۲۳/۴	۴۹/۵	۰/۷۰
اسفند	۹۸/۲	۳۳۲/۸	۷۳/۷	۰/۷۵
مجموع	۱۵۲۷/۷	۷۶۵۵/۹	۱۶۹۵/۸	---

بررسی مقادیر نیاز آبی نخل خرما و تبخیر از تشت کلاس A (جدول ۱ تا ۳) نشان می‌دهد که نسبت نیاز آبی نخل خرما به تبخیر از تشت کلاس A در دوره‌های ماهانه سال ۱۳۹۶ از ۰/۳۱ تا ۰/۵۸ نوسان دارد. این نسبت در دوره‌های ماهانه سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به ترتیب از ۰/۳۳ تا ۰/۷۸ و ۰/۴۷ تا ۰/۸۶ متغیر است. این نسبت‌ها نیز می‌تواند راهنمای مناسبی برای برآورد میزان نیاز آبی درختان خرما و برنامه‌ریزی آبیاری گیاه بر اساس میزان تبخیر از تشت باشد.

سامانه نیاز آبی گیاهان در سطح کشور که نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی را به‌نگام سازی نموده، نیاز آبی نخل بارور خرما را برای آبیاری سطحی ۱۶۴۴ میلی‌متر و برای آبیاری موضعی ۱۳۱۵ میلی‌متر برآورد کرده است (موسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۴۰۰). فرش و همکاران (۱۳۷۶) میزان نیاز آبی سالانه درختان بارور خرما را برای شهرستان اهواز با روش پنمن-مانیت فائو برای روش آبیاری سطحی و موضعی به ترتیب معادل ۱۹۳۳/۱ و ۱۵۲۱/۷ میلی‌متر برآورد نمودند. سپس برای دوره‌های زمانی از سن چهار تا شش سالگی و از هفت تا نه سالگی گیاه، به ترتیب ضرایب ۰/۷ و ۰/۹ را برای تعدیل میزان نیاز آبی نخل خرما پیشنهاد دادند. بدین ترتیب میزان نیاز آبی سالانه درختان خرما در

سال ششم برای روش آبیاری سطحی و موضعی به ترتیب برابر ۱۳۵۳/۲ و ۱۰۶۵/۲ میلی‌متر و در سال‌های هفتم و هشتم رشد برای روش آبیاری سطحی و موضعی به ترتیب برابر ۱۷۳۹/۸ و ۱۳۶۹/۵ میلی‌متر خواهد بود. در صورتی که در این تحقیق، میزان نیاز آبی درختان خرما ی رقم برحی در سال‌های ششم تا هشتم رشد (برای روش‌های موضعی که تمام سطح زمین خیس نمی‌شود) به ترتیب معادل ۱۴۹۳/۸، ۱۶۱۳/۲ و ۱۶۹۵/۸ میلی‌متر بود (جدول ۶ تا ۸)؛ به عبارت دیگر، میزان نیاز آبی درختان خرما بر اساس اندازه‌گیری لایسمتری در سال‌های ششم، هفتم و هشتم رشد به ترتیب ۴۲۸/۶، ۲۴۳/۷ و ۳۲۶/۳ میلی‌متر (۴۰/۲، ۱۷/۸ و ۲۳/۸ درصد) بیشتر از برآورد پژوهشگران مذکور است. به نظر می‌رسد که تفاوت عوامل اقلیمی نظیر درجه حرارت در سال‌های آماری و همچنین ضرایب تعدیل سن گیاه از مهم‌ترین علل اختلاف در مقادیر نیاز آبی نخل خرماست. بدین منظور میزان نیاز آبی سالانه نخل خرما مجدداً با روش پنمن-مانیت فائو بر اساس آمار هواشناسی شهرستان اهواز در سال‌های اجرای این پژوهش (۹۸-۱۳۹۶) برآورد گردید. میزان نیاز آبی سالانه نخل خرما (بارور) برای روش آبیاری سطحی در سال‌های ۹۸-۱۳۹۶ به ترتیب معادل ۲۰۲۱/۰، ۱۹۰۰/۳ و ۱۸۹۰/۳ میلی‌متر و

برای روش آبیاری موضعی در سال‌های ۹۸-۱۳۹۶ به ترتیب معادل ۱۷۹۱/۱، ۱۶۸۴/۱ و ۱۶۷۵/۲ میلی‌متر به دست آمد. چنانچه ضرایب تعدیل سن گیاه بر اساس منبع مذکور (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶) اعمال شود، میزان نیاز آبی سالانه نخل خرما در سال‌های ۹۸-۱۳۹۶ به ترتیب معادل ۱۲۵۳/۷، ۱۵۵۱/۷ و ۱۵۰۷/۷ میلی‌متر برای روش آبیاری موضعی خواهد بود که به ترتیب ۱۶/۱، ۳/۸ و ۱۱/۱ درصد کمتر از مقادیر نیاز آبی اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر است. درحالی‌که اگر فقط برای سال‌های ششم و هفتم رشد نخل خرما به ترتیب ضرایب ۰/۸ و ۰/۹ استفاده شود، میزان نیاز آبی سالانه نخل خرما در سال‌های ۹۸-۱۳۹۶ (سال‌های ششم تا هشتم رشد) به ترتیب معادل ۱۴۳۲/۹، ۱۵۵۱/۷ و ۱۶۷۵/۲ میلی‌متر برای روش آبیاری موضعی خواهد بود که به ترتیب ۴/۱، ۳/۸ و ۱/۲ درصد کمتر از مقادیر نیاز آبی اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر است.

همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود مقدار ضریب گیاهی (KC) نخل خرما برحی در سال ششم رشد، بین ۰/۵۴ تا ۰/۸۰ در نوسان است. بیشترین مقدار ضریب گیاهی در ماه‌های خرداد و تیر و کمترین مقدار آن در آبان ماه وجود داشت؛ اما مقدار ضریب گیاهی در سال هفتم رشد نخل خرما برحی، از ۰/۶۲ تا ۰/۹۷ و در سال هشتم رشد از ۰/۴۷ تا ۱/۰۱ متغیر است (جدول ۷ و ۸). بیشترین مقدار ضریب گیاهی برای نخل ۷ و ۸ ساله خرما در مرداد ماه و کمترین مقدار آن به ترتیب در ماه‌های آبان و آذر بود. بررسی منابع علمی نشان داد که در دوره رشد زایشی نخل خرما (بارور)، سازمان جهانی خواربار و کشاورزی (فائو)، مقدار ضریب گیاهی را در مراحل اولیه، میانی و پایانی رشد به ترتیب برابر ۰/۹، ۰/۹۵ و ۰/۹۵ اعلام نموده است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). در کشور عربستان سعودی، اندازه‌گیری نیاز آبی درختان ۱۷ ساله خرما برحی رقم خلاص نشان داد که ضریب گیاهی بین ۰/۸۵ تا ۱/۳۷ بوده است. فواصل کاشت درختان برابر شش متر و میزان تبخیر و تعرق مرجع با روش پنمن برآورد شد (سعید و همکاران،

۱۹۹۰)؛ اما اندازه‌گیری نیاز آبی درختان ۱۵ ساله خرما برحی رقم Sukariah نشان داد که میزان ضریب گیاهی در مرحله رشد زایشی بین ۰/۵۶ تا ۰/۷۰ نوسان داشت. فواصل کاشت درختان برابر ۸ متر و عملیات آبیاری، به روش قطره‌ای بود (کاسم، ۲۰۰۷). در مطالعه دیگری در برخی مناطق کشور عربستان سعودی، میزان ضریب گیاهی برای مرحله رشد زایشی درختان خرما بین ۰/۸۰ تا ۰/۹۹ به دست آمد. آبیاری درختان به روش قطره‌ای و فواصل کاشت درختان برابر ۱۰ متر بود (العمود و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین در بررسی اثرات مقادیر مختلف آبیاری روی درختان هفت ساله خرما برحی، میزان ضریب گیاهی بین ۰/۸۱ تا ۱/۵۸ تعیین شد. در این پژوهش، آبیاری درختان به روش قطره‌ای و فواصل کاشت درختان برابر ۱۰ متر بود. بیشترین عملکرد و بهره‌وری آب مربوط به آبیاری به میزان ۱۱۵ درصد نیاز آبی بود که از روش پنمن-مانیتیت فائو برآورد گردید (القریشی و همکاران، ۲۰۱۶). در کشور اردن، میزان ضریب گیاهی در مرحله رشد زایشی درختان ۱۱ ساله خرما برحی مجول بین ۰/۵۰ تا ۱/۱۸ بود. آبیاری درختان به روش قطره‌ای و فاصله ردیف کاشت و فاصله بین درختان برابر ۸ متر بود (مزه‌ریح و همکاران، ۲۰۱۲).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که میزان نیاز آبی سالانه نخل شش، هفت و هشت ساله خرما بر مبنای اندازه‌گیری لایسیمتری (بیان آبی)، به ترتیب معادل ۱۴۹۳/۸، ۱۶۱۳/۲ و ۱۶۹۵/۸ میلی‌متر بود. چنانچه میزان نیاز آبی نخل خرما با روش پنمن-مانیتیت فائو برآورد شود، در صورت اصلاح ضرایب تعدیل سن گیاه و در نظر گرفتن ضرایب ۰/۸ و ۰/۹ به ترتیب برای سال‌های ششم و هفتم رشد نخل خرما، میزان نیاز آبی سالانه نخل خرما در سال‌های ششم تا هشتم رشد، به ترتیب ۴/۱، ۳/۸ و ۱/۲ درصد کمتر از مقادیر نیاز آبی اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر بود؛ بنابراین به نظر می‌رسد در صورت اصلاح ضرایب تعدیل سن نخل خرما و استفاده از آمار هواشناسی

روزانه (بروز)، می‌توان از روش پنمن-مانتیث فائو نیز با خرما از ۰/۵۴ تا ۰/۸۰ متغیر بود، درحالی‌که مقدار ضریب دقت خوبی برای برآورد نیاز آبی درختان بارور خرما گیاهی در نخل ۷ ساله و ۸ ساله خرما به ترتیب بین ۰/۹۷- استفاده نمود. همچنین مقدار ضریب گیاهی نخل ۶ ساله ۰/۶۲ و ۰/۴۷-۱/۰۱ نوسان داشت.

فهرست منابع

۱. احسانی، ۱۳۷۱. تعیین بهترین دور و عمق آبیاری پاجوش مضافتی به روش قطره‌ای. اولین سمینار خرما، ۱۷ دی ۱۳۷۱، کرمان: ۲۷-۳۰.
۲. احمدی ک، عبادزاده ح، حاتمی ف، محمدنیا افروزی ش، طاقانی ر، یاری ش و کلاتری م، ۱۴۰۰. آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۹، جلد سوم: محصولات باغبانی. تهران: وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.
۳. تیشه‌زن پ، ناصری ع، حسن اقلی ع و مسکرباشی م، ۱۳۹۲. بررسی لایسیمتری موازنه آب و نمک ناحیه ریشه نهال خرما در مدیریت‌های مختلف زراعی. پژوهش آب ایران، ۷(۱): ۲۰۳-۲۱۲.
۴. دانش‌نیا ع، ۱۳۷۸. اثر دور و عمق آبیاری به روش قطره‌ای بر عملکرد و رشد نخل شاهانی. مجله علوم خاک و آب، ۱۳(۲): ۱۳۹-۱۳۰.
۵. شهابی فر م و رحیمیان م، ۱۳۸۶. تعیین نیاز آبی چغندر قند به روش لایسیمتری در مشهد. چغندر قند، ۲۳(۲): ۱۷۷-۱۸۴.
۶. علی‌حوری م، ۱۳۹۶ الف. تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی خرما در مرحله رشد رویشی با استفاده از لایسیمتر. پژوهش آب در کشاورزی، ب، ۳۱(۳): ۳۲۹-۳۴۰.
۷. علی‌حوری م، ۱۳۹۶ ب. دور و عمق مناسب آبیاری در مرحله رشد رویشی خرما ی رقم برحی. مدیریت آب در کشاورزی، ۴(۱): ۲۸-۲۱.
۸. علی‌حوری م، ۱۴۰۰. تعیین لایسیمتری ضریب گیاهی و تبخیرتغرق نخل خرما در سال‌های چهارم و پنجم رشد. علوم و مهندسی آبیاری ۴۴(۱): ۳۳-۴۵.
۹. علی‌حوری م و تراهی ع، ۱۳۸۹. اثرات دور و میزان آبیاری بر گیرایی و رشد رویشی پاجوش‌های نخل خرما. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۰-۱۲ اسفند ۱۳۸۹، دانشگاه شهید چمران اهواز: ۱۳۱-۱۲۳.
۱۰. علی‌حوری م و تیشه‌زن پ، ۱۳۹۰. برنامه راهبردی بخش خرما در کشور/ زیر برنامه آبیاری. اهواز: انتشارات کردگار.
۱۱. غفاری‌نژاد ع، ۱۳۸۰. تعیین بهترین دور و عمق آبیاری نخل مضافتی به روش قطره‌ای. ب.م: مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان.
۱۲. فرزانه‌نیا م و راوری ذ، ۱۳۸۴. تأثیر کم آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب خرما ی مضافتی در ب.م. مجله علمی کشاورزی، ۲۸(۱): ۷۹-۸۶.
۱۳. فرشعی ع، شریعتی م، جاراللهی ر، قائمی م، شهابی فر م و تولایی م، ۱۳۷۶. برآورد آب موردنیاز گیاهان عهده زراعی و باغی کشور. جلد دوم. کرج: نشر آموزش کشاورزی.
۱۴. کرمی ی، حسینی ی و رضازاده ر، ۱۳۹۱. تأثیر عمق و روش آبیاری بر عملکرد و برخی خصوصیات میوه خرما ی هلیلی در میناب. همایش ملی خرما ی ایران، ۱۲ و ۱۳ شهریور ۱۳۹۱، کرمان: ۱۲.

۱۵. محبی ع و علی حوری م، ۱۳۹۲. اثر عمق و روش آبیاری بر میزان بهره‌وری، عملکرد و صفات رویشی نخل پیارم. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ب، ۲۷(۴): ۴۵۵-۴۶۴.
۱۶. مرادی دالینی ا، صالح ج، کرمی ی و مقیمی ا، ۱۳۸۴. تعیین نیاز آبی خرما در منطقه حاجی آباد هرمزگان. خلاصه مقالات اولین جشنواره و همایش بین المللی خرما. بندر عباس، ۲۹ و ۳۰ آبان ۱۳۸۴: ۵۴-۵۵.
۱۷. موسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۴۰۰. سامانه نیاز آبی گیاهان در سطح کشور. کرج.
۱۸. وزیری ژ و شریعتی م، ۱۳۷۷. راهنمای آبیاری باغ‌های میوه. موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه فنی شماره ۳۷. کرج: نشر آموزش کشاورزی.
19. Al-Qurashi AD, Ismail SM and Awad MA, 2016. Effect of water regimes and palm coefficient on growth parameters, date yield and irrigation water use of tissue culture-regenerated *Barhee* date palms grown in a newly established orchard. *Irrigation and Drainage*, 65(4): 491-501.
20. Al-Omran A, Eid, Alshammari S and Alshammari F, 2019. Crop water requirements of date palm based on actual applied water and Penman-Monteith calculations in Saudi Arabia. *Applied Water Science*, 9(4): 1-9.
21. Alamoud AI, Mohammad FS, Al-Hamed SA and Alabdulkader AM, 2012. Reference evapotranspiration and date palm water use in the kingdom of Saudi Arabia. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, Vol. 2(4): 155-169.
22. Allen RG, Pereira LS, Raes D and Smith M, 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy.
23. Alves Jr J, Folegatti MV, Parsons LR, Bandaranayake W, Silva CR, Silva T JA and Campeche LFSM, 2007. Determination of the crop coefficient for grafted 'Tahiti' lime trees and soil evaporation coefficient of Rhodic Kandiudalf clay soil in Sao Paulo, Brazil. *Irrigation Science*, 25; 419-428.
24. Bhantana P and Lazarovitch N, 2010. Evapotranspiration, crop coefficient and growth of two young pomegranate (*Punica granatum* L.) varieties under salt stress. *Agricultural Water Management*, 97: 715-722.
25. Boman B, 1994. Evapotranspiration by young Florida Flatwoods citrus trees. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 120 (1): 80-88.
26. Kassem MA, 2007. Water requirements and crop coefficient of date palm trees "*sukariah* cv.". *Misr J. Ag. Eng.*, 24(2): 339-359.
27. Kumar M, Raghuwanshi NS, Singh R, Wallender W and Pruitt, WO, 2002. Estimating evapotranspiration using artificial neural network. *Irrigation and Drainage Engineering*, 128(4): 224-233.
28. Mazahrih NT, AL-Zu'bi Y, Ghnaim H, Lababdeh L, Ghananeem M and Abu Ahmadeh H, 2012. Determination actual evapotranspiration and crop coefficients of date palm trees (*Phoenix dactylifera*) in the Jordan Valley. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 12 (4): 434-443.
29. Merkley GP and Allen RG, 2004. Sprinkle and trickle irrigation lectures. Biological and Irrigation Engineering Department, Utah State University, Logan, Utah.
30. Netzer Y, Yao C, Shenker M, Bravdo BA and Schwartz A, 2009. Water use and the development of seasonal crop coefficients for Superior Seedless grapevines trained to an open-gable trellis system. *Irrigation Science*, 27: 109-120.
31. Mohamed AS, Ali AA, El-Ghany A and Yosri A, 2018. Irrigation water management of date palm under El-Baharia Oasis conditions. *Egyptian Journal of Soil Science*, 58(1): 27-44.
32. Saeed AB, Etewy HA and Hassan OSA, 1990. Watering requirement and scheduling of date palm. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America (Japan)*, 21(4): 49-52.

33. Sudhee KP, Gosian AK and Ramasarti KS, 2003. Estimating actual evapotranspiration from limited climatic data using neural computing technique. J. Irrigation and Drainage Engineering, 129(3): 214-218.
34. Trajkovic S, Todorovic B and Stankovic , 2003. Forecasting of reference evapotranspiration by artificial neural network. J. Irrigation and Drainage Engineering, 129(6): 454-457.
35. Tripler E, Ben-Gal A and Shani U, 2007. Consequence of salinity and excess boron on growth, evapotranspiration and ion uptake in date palm (*Phoenix dactylifera* L., cv. Medjool). Plant Soil (297): 147–155.
36. Tripler E, Shani U, Mualem Y and Ben-Gal A, 2011. Long-term growth, water consumption and yield of date palm as a function of salinity. Agricultural Water Management (99): 128-134.
37. Williams LE and Ayars JE, 2005. Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. Agricultural and Forest Meteorology, 132: 201–211.
38. Zaid A, 1999. Date palm cultivation, FAO Plant Production and Protection paper, No. 156. Rome, Italy.

ارزیابی بهره‌وری فیزیکی - اقتصادی آب در روش‌های مختلف کاشت و آبیاری برنج رقم فجر در استان گلستان

پروین ذوالفقاری^۱، ابوطالب هزار جریبی، اسماعیل اسدی و ابراهیم امیری

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه گرگان، استان گلستان، ایران.

Parniyan.zolfaghary@gmail.com

دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه گرگان، استان گلستان، ایران. Hezab10@yahoo.com

استادیار پژوهش و کارشناس ارشد بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، استان گلستان، ایران.

IWC977127@yahoo.com

استاد، گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران. eamiri57@yahoo.com

دریافت: مهر ۱۴۰۱ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۱

چکیده

برنج از محصولات مهم غذایی است که عموماً به صورت نشایی کشت شده و مصرف آب بالایی دارد. روش خشکه کاری برنج رویکردی نوین است که فرصت افزایش بهره‌وری آب را فراهم نموده است. در این پژوهش، تغییر روش کاشت از نشایی به خشکه کاری و استفاده از روش‌های آبیاری تحت فشار برای کشت برنج در پنج مزرعه کشت برنج در استان گلستان مطالعه شد. مزرعه کشت نشایی، با روش آبیاری غرقابی به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. در دیگر مزارع، برنج در بستر خشک کاشته شد و با روش‌های قطره‌ای و بارانی آبیاری گردید. در مزرعه کشت نشایی یا روش آبیاری غرقابی، تمام پارامترهای مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد، مقدار بیشتری را به خود اختصاص داد. مطالعه اقتصادی مراحل کاشت، داشت و برداشت در روش‌های مختلف آبیاری نشان داد که با تغییر روش کاشت و حذف مرحله گل‌خراپی می‌توان ۴۰۰ تا ۷۰۰ مترمکعب صرفه‌جویی در مصرف آب داشت. روش آبیاری بارانی میانگین عملکرد بالاتری (۴۹۹۸ کیلوگرم در هکتار) نسبت به آبیاری قطره‌ای (۴۴۲۶ کیلوگرم در هکتار) نشان داد و قابلیت تولید ۷۰ درصد عملکرد را با ۶۱ درصد صرفه‌جویی آبی داشت که نتیجه قابل توجهی است. بالاترین و پایین‌ترین نرخ بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی به ترتیب مربوط به آبیاری بارانی و آبیاری غرقابی به ترتیب ۰/۵۳ و ۰/۳ کیلوگرم بر مترمکعب و ۱۴۱،۷۹۱ و ۸۲،۷۰۴ ریال بر مترمکعب بود که نشان دهنده بهره‌وری بسیار پایین آب در مزارع کشت برنج استان و لزوم افزایش بهره‌وری آب در شرایط اقلیمی فعلی کشور است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی، آبیاری قطره‌ای، خشکه کاری برنج، کشت نشایی

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه گرگان، استان گلستان، ایران.

مقدمه

برنج به‌عنوان دومین محصول راهبردی پس از گندم، از گونه‌های مهم غلات در سراسر جهان به شمار می‌رود و یکی از اساسی‌ترین نیازهای روزانه کشور، کالایی ضروری است که در سبد مصرفی خانوارهای ایرانی جایگاه ویژه‌ای دارد (کمال‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ صابر و همکاران، ۱۴۰۱). با این وجود نمی‌توان از مصرف زیاد آب برای تولید برنج چشم‌پوشی نمود (اشفق و همکاران، ۲۰۲۱). متداول‌ترین سیستم کشت برنج، روش کشت نشایی است که در شالیزارها به‌صورت غرقاب پیوسته، اجرا می‌شود و به حجم زیادی از آب نیاز دارد (رائو و همکاران، ۲۰۰۷). بسیاری از محققان بر این موضوع توافق دارند که روش آبیاری غرقابی یک ابزار مدیریتی برای کنترل آفات و علف‌های هرز، دسترسی آسان عناصر غذایی (به‌عنوان مثال، آهن، روی و فسفر) و جلوگیری از تنش آبی است و یک ضرورت برای گیاه برنج نیست (چندلر و همکاران، ۱۹۸۹). از طرفی تولید گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه متان یکی دیگر از مشکلاتی است که در شالیزارهای برنج به دلیل بالا بودن سطح فعالیت باکتری‌های متانوژن از بسترهای آلی ایجاد می‌شود و کمینه کردن انتشار متان در شالیزارهای برنج از راه کاهش سطح غرقاب و مدیریت بهینه آبیاری یک فرصت قابل توجه برای کاهش گازهای گلخانه‌ای به شمار می‌رود (شی و همکاران، ۲۰۱۰؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ هوگتون و همکاران، ۱۹۹۶). تلفات زیاد آب، تبخیر سطحی و نفوذ عمقی، کاهش منابع آب برای کشاورزی به دلیل تغییرات آب و هوایی (امین و همکاران، ۲۰۱۷)، لزوم کاهش گازهای گلخانه‌ای (لیانگ و همکاران، ۲۰۱۶)، نیاز به نیروی انسانی زیاد، دشواری عملیات آماده‌سازی زمین (اصطلاحاً بستر گل خراب^۲) و نیاز به نیروی انسانی ماهر برای ایجاد آن، ایجاد خزانه و انتقال نشاء به زمین (اسلام و همکاران، ۲۰۰۸) کشاورزان را با چالش‌های کمبود آب، انرژی و نیروی کار ماهر در کشت برنج روبه‌رو ساخته و مجبور به تغییر جهت به‌سوی روش‌های صرفه‌جویی در راستای بهبود

بهره‌وری آب، مانند تغییر سیستم کشت برنج از حالت نشایی به کشت مستقیم شده است (اشفق و همکاران، ۲۰۱۸). به‌طوری‌که تغییر خط‌مشی تولید به‌وسیله جایگزینی و تکمیل روش‌های سنتی با روش‌های نوین برای بهبود بهره‌وری آب در اراضی شالیزاری به یک اولویت تبدیل شده است (دریجانی و همکاران، ۱۳۹۱). بهره‌وری آب (WP^3) یک مفهوم نسبی بوده و در واقع بیانگر مقدار یا ارزش تولید به ازای حجم یا مقدار آب مصرف شده است. نتایج تحقیقات در نقاط مختلف جهان و ایران، اثرگذار بودن مدیریت آبیاری غیرغرقاب و کشت مستقیم بر عملکرد دانه و افزایش بهره‌وری آب در برنج را ثابت نموده است (تانگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ بومان و همکاران، ۲۰۰۷؛ قلی‌نژاد بهمنمیری و همکاران، ۱۳۹۹). خشکه‌کاری یا کشت مستقیم، فرآیند تولید برنج به شیوه کاشت بذر در مزرعه به‌جای انتقال نشاء از خزانه است. رزاقی و همکاران (۱۳۹۹) خشکه‌کاری برنج را موجب کاهش مصرف نهاده‌ها و هزینه‌های تولید معرفی نمودند که اگرچه محصول کمتری نسبت به روش مرسوم نشایی دارد اما با مدیریت صحیح سودآوری بیشتری برای کشاورزان خواهد داشت. به‌طورکلی خشکه‌کاری فرصتی برای تغییر شیوه‌های تولید برای بهره‌وری بیشتر آب در مناطقی است که با محدودیت منابع آبی روبه‌رو هستند (فاروق و همکاران، ۲۰۱۱). کاشت بذر در بستر خشک، کاشت بذر در بستر مرطوب و کاشت بذر در بستر اشباع سه روش اصلی کاشت مستقیم بذر می‌باشند (رزاقی و همکاران، ۱۳۹۹). کشت مستقیم بذر برنج، با حذف مرحله گل‌خرابی^۴، تلفات خزانه، نفوذ و تبخیر، ورودی آب به مزارع را بین ۴۰ تا ۶۰ درصد کاهش می‌دهد (پاتک و همکاران، ۲۰۱۱؛ کومار و همکاران، ۲۰۱۸). با این حال میزان صرفه‌جویی در روش کشت مستقیم به شرایط آب و هوایی، نوع رقم، تاریخ کاشت و نوع خاک بستگی دارد (اشفق و همکاران، ۲۰۲۲). مطالعات متعددی در زمینه انواع روش‌های مدیریت آبیاری در روش‌های خشکه‌کاری انجام شده است. مطالعات یوناس و

4 - Puddling

2 - Puddled

3 - Water Productivity

آبیاری غرقابی ۲۰ درصد کود نیتروژن کمتر نیاز داشت و بازدهی خالص آن بیشتر بود.

علی‌رغم نقش مهم روش کاشت و مدیریت آبیاری در بازده تولید و میزان آب مصرفی، در مطالعات انجام‌شده به اندازه کافی به تفاوت اجرای روش‌های مختلف آبیاری بر میزان بهره‌وری فیزیکی- اقتصادی آب و هزینه‌های مربوط به آن توجه نشده است. با توجه به بحران کاهش منابع آبی در اثر نابسامانی‌های اقلیمی لازم است راهکارهای کاهش مصرف آب با دقت بیشتری مورد ارزیابی قرار گیرند. از این‌رو در این مطالعه نقش تغییر سیستم کشت از نشایی به خشکه‌کاری و روش آبیاری (از غرقابی پیوسته به روش‌های آبیاری تحت‌فشار) در سه مزرعه کشت برنج، در استان گلستان ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در پنج مزرعه تحقیقاتی واقع در روستاهای سرخنکلاته (شهرستان گرگان)، آقچه‌لی (شهرستان آزادشهر) و شرکت صحرا (شهرستان مینودشت) به‌عنوان مزارع پایلوت طرح خشکه‌کاری برنج در استان گلستان در نیمه دوم سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام شد. از آنجاکه اثر روش کاشت و پس‌از آن روش آبیاری در هر روش کاشت در نظر بوده است، از دو روش کشت نشایی و خشکه‌کاری برای مزارع استفاده شد. روش‌های آبیاری در مزارع خشکه‌کاری شامل آبیاری قطره‌ای و بارانی بودند. تیمارهای آزمایشی شامل سه مزرعه یک هکتاری مجاور هم و تحت یک مدیریت در روستای سرخنکلاته، یک مزرعه در روستای آقچه‌لی و یک مزرعه در شرکت صحرا بودند. خاک مزارع دارای بافت لومی- سیلت و رقم مطالعه شده، رقم فجر بود. مزرعه شاهد با روش کشت نشایی و آبیاری سنتی غرقابی و مزارع دیگر به‌عنوان روش‌های مختلف آبیاری (در روش خشکه‌کاری از روش‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی استفاده شد) در نظر گرفته شد. برای نمونه‌برداری از هر مزرعه سه کرت مجزا انتخاب (از هر مزرعه سه تکرار) و نمونه‌برداری انجام شد و آنالیز نتایج به‌صورت

همکاران (۲۰۱۵) در رابطه با هفت روش خشکه‌کاری در پاکستان نشان داد، روش‌های خشکه‌کاری نسبت سود به هزینه بیشتری نسبت به روش کاشت نشایی داشته و بهره‌وری آبی بیشتری در زمینه آب مصرفی و نیروی کارگری مورد نیاز دارند. این افزایش بهره‌وری در مطالعات کریجو و همکاران (۲۰۱۷) در روش آبیاری متناوب تا ۲۴/۲ درصد گزارش شده است. همچنین بر اساس مطالعات متعدد استفاده از روش غرقابی متناوب بر غرقابی پیوسته برتری داشته و می‌تواند منجر به بهبود بهره‌وری اراضی شالیزاری شود (بومان و همکاران، ۲۰۰۷؛ چو و همکاران، ۲۰۱۴؛ یانگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ یوسفیان و همکاران، ۲۰۱۴؛ درزی و همکاران، ۲۰۱۴). گیلانی و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی به اثر آبیاری بارانی بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و راندمان مصرف آب مورد نیاز گیاه در سطوح ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ پرداختند و نتایج نشان داد که بالاترین بهره‌وری آب مربوط به سطح ۷۵ درصد به دلیل صرفه‌جویی و آبیاری در زمان‌های مناسب و حساس رشد بوده است. در دیگر تحقیقات در رابطه با آبیاری بارانی برنج صرفه‌جویی در مصرف آب اما کاهش محصول نسبت به حالت غرقاب پیوسته گزارش شده است (وستکات و وینز، ۱۹۸۶؛ مک کالی، ۱۹۹۰؛ سرک و همکاران، ۱۹۹۶). همچنین نگهداشت رطوبت خاک نزدیک به حالت اشباع با کاهش محصول پنج درصدی، ۳۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب را نشان داد (تابال و همکاران، ۲۰۰۲). سینگ و همکاران (۲۰۱۸) به مقایسه آبیاری غرقابی و قطره‌ای در اراضی شالیزاری پرداختند. نتایج نشان داد، بالاترین میزان عملکرد به روش آبیاری قطره‌ای با فاصله یک روز (۸۰۷۶/۲۵) کیلوگرم بر هکتار) نسبت به آبیاری غرقابی- نشایی (۵۲۲۴/۵۰) کیلوگرم بر هکتار) با ۳۵/۳۱ درصد افزایش محصول دانه تعلق گرفت. نتایج پژوهش‌های سیدو و همکاران (۲۰۱۹) بر روی اثر آبیاری قطره‌ای زیر سطحی در کشت برنج در هند، ۴۸ تا ۵۳ درصد صرفه‌جویی آب آبیاری نسبت به روش غرقاب نشان داد، به‌طوری‌که برای تیمارهای آبیاری قطره‌ای، رسیدن به عملکرد مشابه با

طرح کاملاً تصادفی برای مقایسه بین انواع روش‌های کشت و آبیاری با کشت نشایی با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گرفت. اطلاعات پایه در مزارع مطالعاتی در جدول (۱) نشان داده شد.

جدول ۱- اطلاعات مزارع تحقیقاتی مورد بررسی

مزرعه	شهرستان	روستا	نوع کشت	روش آبیاری	آماده‌سازی زمین	تاریخ بذرپاشی / کاشت نشا	تاریخ فیزیولوژیک
TFG ^۱	گرگان	سرخنگلاته	نشایی	غرقابی	۱۴۰۰/۰۳/۱۲	۱۴۰۰/۰۳/۲۰	۱۴۰۰/۰۶/۲۱
DSG ^۲	گرگان	سرخنگلاته	خشکه‌کاری - کشت بذر	بارانی/کلاسیک ثابت	۱۴۰۰/۰۳/۰۵	۱۴۰۰/۰۳/۰۹	۱۴۰۰/۰۷/۰۸
DTG ^۳	گرگان	سرخنگلاته	خشکه‌کاری - کشت بذر	قطره‌ای/ تیپ	۱۴۰۰/۰۳/۰۵	۱۴۰۰/۰۳/۰۹	۱۴۰۰/۰۷/۰۸
DTA ^۴	آزادشهر	آقچه‌لی	خشکه‌کاری - کشت بذر	قطره‌ای/ تیپ	۱۴۰۰/۰۲/۲۴	۱۴۰۰/۰۲/۲۶	۱۴۰۰/۰۶/۲۹
DGM ^۵	مینودشت	شرکت صحرا	خشکه‌کاری - کشت بذر	بارانی/ قرقره‌ای بوم دار	۱۴۰۰/۰۳/۱۰	۱۴۰۰/۰۳/۱۳	۱۴۰۰/۰۷/۰۶

۱. آبیاری نشایی غرقابی گرگان: (TFG) Transplanted Flooding Gorgan، ۲. خشکه کاری بارانی گرگان: (DSG) Dryseeding Sprinkler Gorgan، ۳. خشکه کاری قطره ای گرگان: (DTG) Dryseeding Tape Gorgan، ۴. خشکه کاری قطره ای آزادشهر: (DTA) Dryseeding Tape Azadshahr، ۵. خشکه کاری بارانی مینودشت: Dryseeding (DSM) Sprinkler Minudasht

نمونه‌گیری از خاک برای آزمون خاک و تعیین توصیه‌های کودی در مزارع پیش از عملیات کشاورزی و در فروردین ماه ۱۴۰۰ در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر انجام شد. بنابر آزمایش‌های خاک و توصیه کودی ارائه‌شده، هریک از مزارع برای کشت کوددهی شدند. برای کنترل آفات و علف‌هرز در مزارع از علف‌کش پیش‌کشت و پیش از کاشت و نشای بذور از قارچ‌کش استفاده شد. کنترل آفات و علف‌های هرز در مرحله داشت، در چهار مرحله سم‌پاشی با حشره‌کش و یک مرحله وجین دستی انجام شد. آبیاری قطره‌ای با استفاده از نوارهای تیپ درزدار با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از هم دارای فاصله مجاری ۲۰ سانتی‌متر و قطر ۱۶ میلی‌متر و آبدهی سه لیتر در ساعت و آبیاری بارانی به‌صورت سیستم کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک و قرقره‌ای بوم‌دار و کشت در مزارع خشکه‌کاری به‌صورت کاشت در بستر خشک انجام شد. برای اندازه‌گیری آب مصرفی، پیش از شروع عملیات خاک‌ورزی اقدام به نصب کنتور حجمی گردید و حجم آب مصرفی برای هر مزرعه از ابتدا با استفاده از کنتور حجمی ثبت شد. همچنین برای قطع و وصل جریان، روی لوله‌ی ورودی به زمین شیر نصب شد.

برای نمونه‌برداری از مزارع در زمان رسیدن فیزیولوژیک و پیش از برداشت محصول از داخل مزارع،

هر مزرعه یک تیمار فرض شده و برای هر تیمار، سه کرت به‌عنوان تکرار در نظر گرفته شد. ابتدا در هر مزرعه از هر کرت، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و پارامترهای متوسط ارتفاع بوته، طول خوشه، تعداد دانه پر و پوک اندازه‌گیری شد. در زمان برداشت محصول در هر مزرعه، از میانه کرت-ها با فاصله حداقل پنج متر از حاشیه‌ها، محل انشعاب لوله‌های تیپ از مانیفولد و حوالی رایزر آبپاش، سه نمونه هریک به مساحت یک متر مربع برداشت گردید. پس از خشک شدن مقابل آفتاب، متغیرهای مرتبط با دانه، خوشه و عملکرد بیولوژیک شامل عملکرد دانه در متر مربع، عملکرد بیولوژیک، عملکرد کل، وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد داده‌های بارندگی (آب سبز) از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی برای هر مزرعه دریافت شد.

پس از اندازه‌گیری صفات، شاخص بهره‌وری آب (CPD^۶) و شاخص سودمندی اقتصادی آب (NBPD^۶) به ترتیب بر اساس معادلات (۱) و (۲) محاسبه شدند (قلی نژاد و همکاران، ۱۳۹۹):

$$CPD = \frac{Y}{V} \quad (۱)$$

که در آن: Y، مقدار محصول تولید شده بر حسب کیلوگرم و V، حجم آب مصرفی بر حسب متر مکعب است.

$$NBPD = \frac{NB}{V} \quad (۲)$$

که در آن: NB، سود خالص بر حسب ریال و V، حجم آب مصرفی بر حسب متر مکعب است.

هزینه و درآمد حاصل از تولید محصول در واحد هکتار برای هر مزرعه پایش و محاسبه گردید. هزینه‌ها به‌صورت ارزش زمین با احتساب حقایق مورد نیاز، آماده-سازی زمین شامل تهیه بذر، خزان و انتقال نشاء، علف‌کش خاکی، خاک‌ورزی غرقاب (عملیات گل خرابی) یا غیر غرقاب (شخم و دیسک) و نیروی انسانی طی مصاحبه با کشاورز و بر اساس قیمت روز محاسبه شد. همچنین هزینه‌های مرتبط با اجرای سیستم آبیاری تحت فشار (هزینه سرمایه‌گذاری اولیه سیستم تحت فشار در هر زمین برای هر یک از روش‌ها بر اساس مصاحبه با پیمانکاران سامانه‌های آبیاری تحت فشار استان گلستان محاسبه و به ارزش جاری سالانه در یک دوره ۱۰ ساله با نرخ ۲۲ درصد به‌علاوه هزینه احتمالی سالانه تبدیل شد (به‌طور مثال در مزرعه آبیاری قطره‌ای، هزینه جاری خرید و اجرای نوارهای درزدار تیپ برای هر فصل کشت هم در نظر گرفته شده است). هزینه‌های داشت شامل عملیات ماشینی یا نیروی انسانی برای وجین، سم‌پاشی و آبیاری، هزینه‌های برداشت شامل کمباین، حمل بار و شالیکوبی محاسبه شد. این هزینه‌ها به تفکیک در جدول (۴) برای استفاده در بحث و تحلیل نشان داده‌شده‌اند. درآمد حاصل از فروش محصول تولیدشده بر

اساس قیمت سال ۱۴۰۰، هر کیلوگرم برنج رقم فجر ۳۵۰۰۰۰ ریال است.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد

بر اساس یافته‌های این پژوهش روش کاشت (نشایی و خشکه کاری) به‌طور معنی‌داری بر ارتفاع بوته، طول خوشه و وزن تک‌خوشه مؤثر بود. به‌طوری میانگین هر سه متغیر در روش غرقابی (به ترتیب ۱۲۱/۶ سانتیمتر، ۲۷/۴ سانتیمتر ۲۷/۴، ۲/۸۹ گرم) بیشتر از میانگین روش‌های خشکه‌کاری (به ترتیب ۱۰۷/۴۱ سانتیمتر، ۲۵/۰۶ سانتیمتر، ۲/۰۰ گرم) بود. همچنین روش آبیاری بر روی ارتفاع بوته و وزن تک خوشه اثر معنی‌داری نشان داد، به‌طوری‌که میانگین آن در روش آبیاری غرقابی (به ترتیب ۱۲۱/۶ سانتیمتر و ۲/۸۹ گرم) نسبت به دو روش آبیاری بارانی (به ترتیب ۱۰۳/۷۸ سانتی‌متر، ۱/۹۷ گرم) و قطره‌ای (به ترتیب ۱۱۱/۰۵ سانتی‌متر، ۲/۰۲ گرم)، مقدار بیشتری داشت. جدول (۲) تجزیه واریانس اجزای عملکرد را نشان می‌دهد. چنانچه مشاهده می‌شود، روش‌های مختلف کشت و آبیاری اثر معنی‌داری روی ارتفاع بوته، طول خوشه، وزن تک خوشه، درصد دانه پر، درصد دانه پوک داشت.

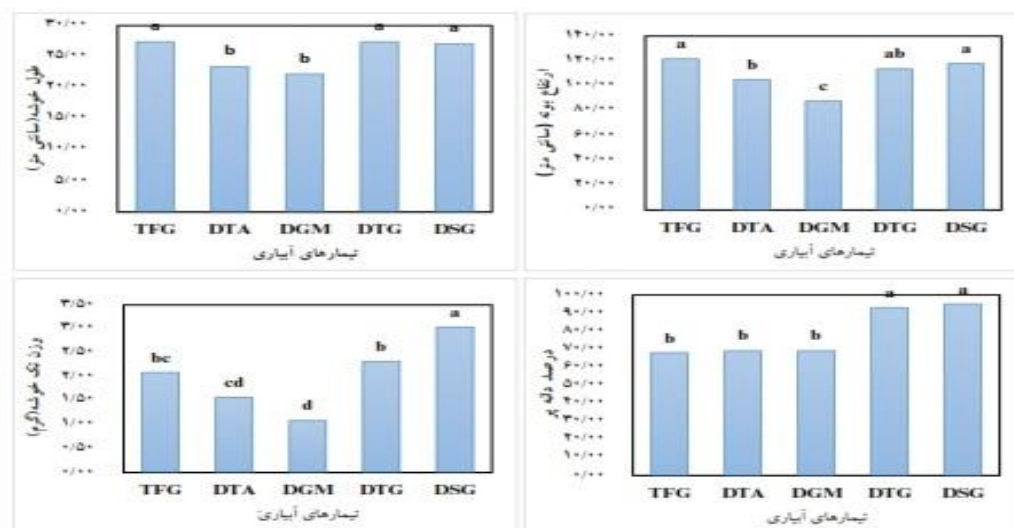
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اجزای عملکرد در مزارع

منبع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع (سانتیمتر)	طول خوشه (سانتیمتر)	وزن تک خوشه (گرم)	تعداد دانه در خوشه	درصد دانه پر	درصد دانه خالی	درصد باروری
تیمار	۴	۱۶۴۷/۸**	۵۹/۶**	۳/۵**	۲۱۴/۸ n.s	۰/۱۲**	۰/۱۲**	۳۲۲/۱ n.s
تکرار	۴۴	۱۳۱/۶ n.s	۷/۶ n.s	۰/۳۵ n.s	۵۵۶/۹ n.s	۰/۰۱۰ n.s	۰/۱۲ n.s	۲۰۴/۹ n.s
کل	۴۸	۲۵۸**	۱۱/۹۵**	۰/۵۳**	۵۲۸/۴ n.s	۰/۰۳**	۰/۰۳**	۲۱۴/۷ n.s

*در سطح پنج درصد معنی‌دار است، ** در سطح یک درصد معنی‌دار است، n.s معنی‌دار نیست

مقایسه میانگین این متغیرها (شکل ۱) نشان می‌دهد، تیمار TFG دارای بیشترین مقدار در ارتفاع بوته و طول خوشه بوده و پس از آن تیمار DSG قرار دارد. اگرچه

درصد باروری در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان نداد، اما مقدار آن در تیمار آبیاری DSG، نسبت به دیگر روش‌ها بیشتر بود.



شکل ۱- مقایسه میانگین اجزای عملکرد شامل ارتفاع بوته، طول خوشه، وزن تک خوشه و درصد دانه بر

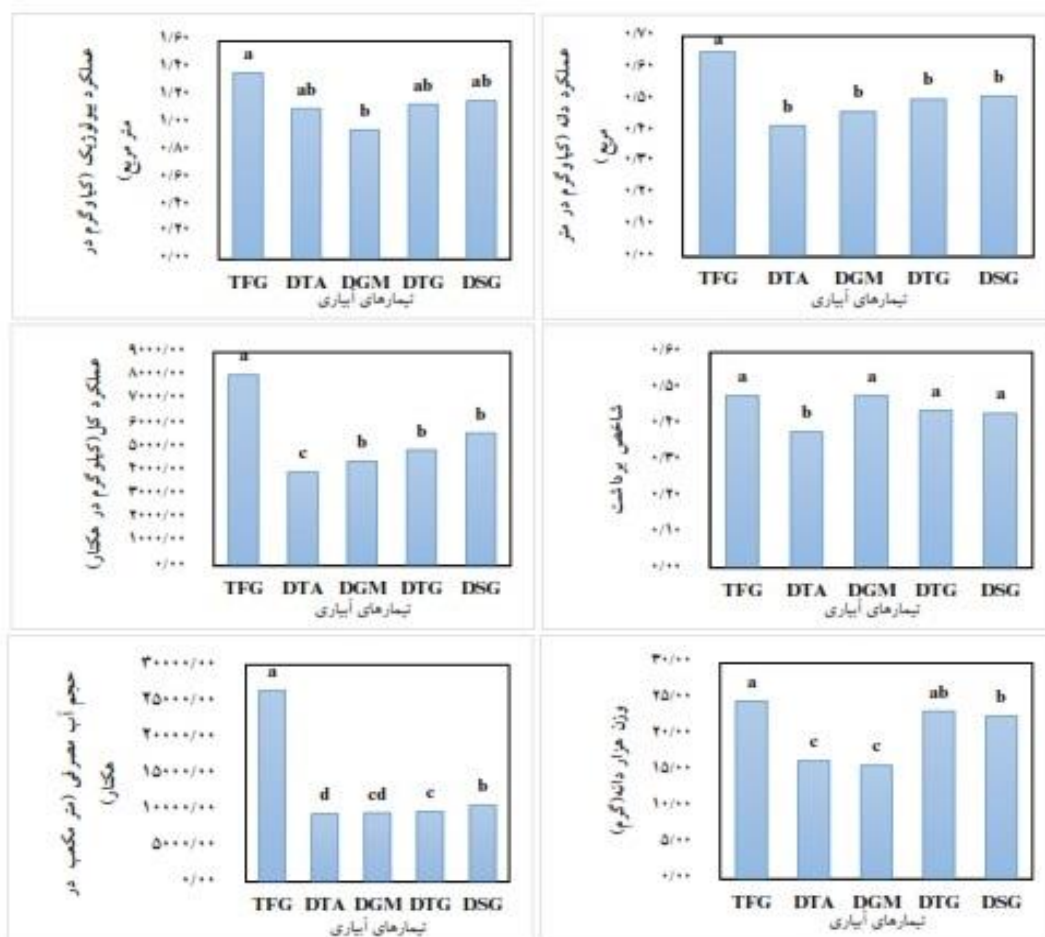
هکتار) به‌طور معنی‌داری بیشتر از میانگین مقادیر در روش‌های مختلف خشکه‌کاری بودند. در میان روش‌های مختلف آبیاری نیز، آبیاری غرقابی بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده و به‌طور معنی‌داری از دیگر روش‌ها میانگین بالاتری داشت و پس از آن آبیاری بارانی (DSG) قرار گرفت.

نتیجه تجزیه واریانس وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد کل (جدول ۳) اختلاف معنی‌داری بین روش‌های کشت (نشایی-خشکه کاری) نشان داد، به‌صورتی که میانگین تمامی متغیرها تیمار TFG به‌عنوان تیمار شاهد (به ترتیب ۲۴/۷۴ گرم، ۰/۶۵ کیلوگرم بر مترمربع، ۰/۳۷ کیلوگرم بر مترمربع، ۸۰۴۵ کیلوگرم بر

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس عملکرد در مزارع

منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (گرم بر متر مربع)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر متر مربع)	شاخص برداشت	عملکرد کل (کیلوگرم بر هکتار)	حجم آب مصرفی در هکتار (متر مکعب)
تیمار	۴	۵۲/۰۵**	۰/۲۴*	۰/۰۶۸**	۰/۰۰۵**	۷۷۷۲۸۲۸/۵**	۱۶۷۰۲۳۶۳۵/۰**
تکرار	۴۴	۰/۹ n.s	۰/۰۰۶ n.s	۰/۰۲۹ n.s	۰/۰۰۱ n.s	۶۱۱۵۶۴/۵ n.s	۲۱۹۳۰/۸ n.s
کل	۴۸	۱۵/۵۰**	۰/۱۱*	۰/۰۴**	۰/۰۰۲**	۲۶۵۷۶۳۹/۹**	۴۷۷۳۶۷۰۳/۵**

*در سطح پنج درصد معنی‌دار است، ** در سطح یک درصد معنی‌دار است، n.s معنی‌دار نیست



شکل ۲- مقایسه میانگین اجزای عملکرد شامل عملکرد دانه در متر مربع، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، عملکرد کل، وزن هزار دانه و حجم آب مصرفی

مطالعات دیگری افزایش عملکرد را گزارش کرده‌اند (کاتو و همکاران، ۲۰۰۹). به‌طور کلی، مدیریت نامناسب آبیاری، علف‌های هرز و ایجاد ورس را از مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد در روش خشکه‌کاری گزارش کردند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۷).

همچنین بررسی اختلاف میانگین بین روش‌های مختلف آبیاری نشان می‌دهد در تمامی پارامترها به‌جز وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک، میانگین آبیاری بارانی از میانگین آبیاری قطره‌ای بیشتر بود. عملکرد دانه در مترمربع برای مزارع TFG (۰/۶۵ کیلوگرم) اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها داشت. همچنین وزن هزار دانه برای تیمار DSG (۲۲/۶۲ گرم) دارای کمترین اختلاف (حدود هشت

در تیمارهای خشکه‌کاری عملکرد و اجزای عملکرد نسبت به حالت غرقاب کمتر بودند. عملکرد بیشتر تیمار غرقاب را می‌توان به نبود تنش رطوبتی و کنترل مؤثرتر علف‌های هرز و اثر رقابتی آن نسبت داد. این نتایج با یافته‌های گیلانی و همکاران (۱۳۹۵)، عرب زاده و همکاران (۱۳۸۱) و رمضانی و دهقانی (۱۴۰۰) در رابطه با کاهش عملکرد در روش خشکه‌کاری نسبت به نشاکاری مطابقت دارد. نتایج پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه تغییر عملکرد و اجزای عملکرد متفاوت بودند. به‌طوری‌که در برخی مطالعات، عملکرد در روش خشکه‌کاری مشابه با روش نشاکاری (سینگ و همکاران، ۲۰۰۹)، برخی کاهش عملکرد (کومار و همکاران، ۲۰۱۱؛ غلامی، ۱۳۸۰) و

درصد) با تیمار TFG (۲۴/۷۴ گرم) بود. بررسی اختلاف عملکرد کل بین تیمارها نشان می‌دهد روش آبیاری بارانی کاهش ۳۰ درصدی نسبت به سیستم سنتی معمول داشت ولی صرفه‌جویی آب مصرفی برابر با (۱۰۴۶۵/۳ مترمکعب) یعنی تقریباً ۶۱ درصد کل آب مصرفی در روش غرقابی (۲۷۱۶۵ مترمکعب) را فراهم نمود. تیمار DTA، کمترین مقدار در تمامی متغیرهای مطالعه شده به جز عملکرد بیولوژیک داشت. جبران و همکاران (۲۰۱۵) با مطالعه‌ی روش‌های مختلف کشت مستقیم با خشکه‌کاری برنج گزارش کردند که استفاده از روش خشکه‌کاری اگرچه دارای صرفه‌جویی در مصرف آب بود و میزان بهره‌وری آبی بالاتری داشت ولی میانگین عملکرد دانه کمتری نسبت به روش غرقابی نشان داد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. زبیر (۲۰۰۷) نشان داد عملکرد آبیاری بارانی در شرایط مدیریتی مناسب ۱۸ درصد بیشتر از روش غرقابی بود و میزان مصرف آب آبیاری نیز ۳۵ درصد نسبت روش غرقابی کاهش یافت، وی همچنین روش آبیاری بارانی را روشی مناسب در مزارع خشکه‌کاری برنج معرفی نمود که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. مطالعات پژوهشگران دیگر، همچون بومان و همکاران (۲۰۰۷) و پنگ و همکاران (۲۰۰۶) نیز استفاده از روش خشکه‌کاری برنج را به دلیل حذف مرحله گل‌خرابی و کاهش آب مصرفی، دارای ۳۵-۵۷ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب در کشت سنتی

نشایی نشان داده است که با نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار آب مصرفی در مرحله گلخرابی (۳۰۰۰-۴۰۰۰ مترمکعب در مزارع مختلف) مطابقت داشت. علت دیگر کاهش مصرف آب در تیمارهای خشکه‌کاری، به‌طور عمده کاهش نفوذ جانبی و عمقی در خاک و کاهش میزان تلفات تبخیر بود که در دیگر مطالعات به آن‌ها اشاره شده است. رمضانی و دهقانی (۱۴۰۰) گزارش کردند روش آبیاری قطره‌ای نواری، مصرف آب آبیاری در برنج را تا ۶۴ درصد نسبت به آبیاری غرقابی کاهش و شاخص کارایی مصرف آب آبیاری را نسبت به روش نشایی دو برابر افزایش داد. اسدی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند در تیمارهای خشکه‌کاری میزان آب مصرفی از ۷۴۰۰ متر مکعب به ۳۰۰۰ متر مکعب در هکتار (۶۰ درصد) کاهش و کارایی آن از ۰/۲ به ۰/۷ افزایش یافت. عرب زاده و توکلی (۱۳۸۴) ۲۵ درصد صرفه‌جویی آبی با کاهش عملکرد ۸ درصدی گزارش کردند.

برآورد اقتصادی

برای انجام آنالیز اقتصادی هزینه‌های هر مزرعه به تفکیک مراحل آماده‌سازی و کاشت، داشت و برداشت ثبت شد. این مقادیر در جدول (۴) به تفکیک مراحل کاشت، داشت و برداشت نشان داده شدند.

جدول ۴- هزینه‌های جاری برای کشت برنج در مزارع مطالعاتی (ریال)

آیتم	TFG	DTA	DGM	DTG	DSG
آب بهای کل	۹۲,۷۱۴,۱۴۵	۲۹,۱۹۴,۸۰۲	۳۰,۶۱۰,۳۴۴	۳۲,۷۹۲,۱۰۴	۳۵,۷۱۸,۰۹۰
هزینه زمین	۱۳۰,۰۰۰,۰۰۰	۸۰,۰۰۰,۰۰۰	۸۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۳۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۳۰,۰۰۰,۰۰۰
هزینه کاشت	۱۴۰,۶۵۶,۰۰۰	۲۳۷,۴۸۲,۲۴۰	۱۷۰,۰۹۹,۰۹۰	۲۳۸,۶۸۸,۲۴۰	۱۱۸,۸۰۳,۹۹۳
هزینه داشت	۲۰۹,۰۸۱,۱۴۵	۱۴۲,۲۱۴,۸۰۲	۶۷,۳۱۰,۳۴۴	۱۵۵,۴۰۹,۱۰۴	۱۵۸,۳۳۵,۰۹۰
هزینه برداشت	۸۹,۳۸۳,۶۹۰	۶۵,۶۳۴,۸۰۰	۸۲,۷۸۳,۷۰۰	۶۲,۵۶۶,۵۳۰	۶۸,۵۹۰,۹۰۵
مجموع هزینه‌های کشت	۵۶۹,۱۲۰,۸۳۵	۵۲۵,۳۲۱,۸۴۲	۴۰۰,۱۹۳,۱۳۳	۵۸۶,۶۳۸,۷۷۴	۴۷۵,۷۲۹,۹۸۸

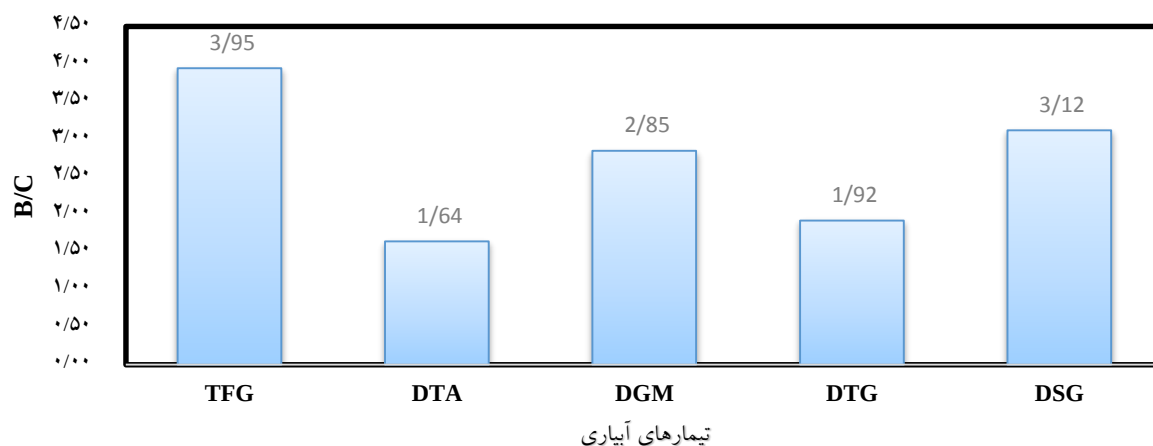
بدون در نظر گرفتن سرمایه‌های آغازین برای اجرای سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار، آبیاری غرقابی (TFG) به دلیل نیاز به انجام عملیات گلخرابی بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد. با اضافه کردن مقدار هزینه میانگین سالانه برای اجرای سامانه‌های بارانی و قطره‌ای در یک بازه

۱۰ ساله و دیگر هزینه‌های سالانه مانند خرید و نصب لوله-های تیپ در سیستم آبیاری قطره‌ای که در هر فصل رشد نیاز است، خشکه‌کاری به روش آبیاری قطره‌ای (DTA, DTG) به‌عنوان پرهزینه‌ترین سیستم نشان داده شد و

میانگین نسبت سود به هزینه در روش آبیاری بارانی (۲/۹۸)، نسبت به آبیاری قطره‌ای (۱/۷۸) بیشتر بود. آبیاری قطره‌ای به دلیل عملکرد کمتر و هزینه‌ها جاری بیشتر، نسبت سود به هزینه‌ی پایین‌تری داشت و دستیابی به عملکرد بالاتر برای افزایش سوددهی و توجیه اقتصادی استفاده از آن ضروری است (شکل ۳).

پس‌از آن روش آبیاری بارانی - قرقه‌ای بوم‌دار (DSG) قرار گرفت (جدول ۴).

نسبت سود به هزینه برای سامانه‌های مختلف در شکل (۳) ارائه شده است. با توجه به نتایج پیشین مزرعه آبیاری غرقابی به‌عنوان تیمار شاهد دارای بیشترین عملکرد و همچنین بیشترین مقدار درصد سود به هزینه (۳/۹۵) است و پس‌از آن تیمار DSG (۳/۱۲) قرار دارد. به‌طورکلی



شکل ۳- نسبت سود به هزینه در روش‌های مختلف آبیاری

بهره‌وری آبی مقدار عملکرد دانه به ازای واحد آب مصرفی یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی و تعیین راهکارهای مدیریتی در بخش کشاورزی است. مقادیر عملکرد کل و حجم آب مصرفی برای مقایسه بهره‌وری آب و سودمندی اقتصادی در جدول (۵) نشان داده شدند. چنانچه مشاهده می‌شود روش آبیاری غرقابی به‌عنوان تیمار شاهد بالاترین میزان عملکرد برنج (۸۰۴۵/۱۴) کیلوگرم در هکتار) و بیشترین میزان آب مصرفی (۲۷/۱۶۵ مترمکعب بر هکتار) را به خود اختصاص داده است ولی کمترین بهره‌وری فیزیکی - اقتصادی (۰/۳۰) کیلوگرم بر مترمکعب -

بهره‌وری آبی

مقدار عملکرد دانه به ازای واحد آب مصرفی یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی و تعیین راهکارهای مدیریتی در بخش کشاورزی است. مقادیر عملکرد کل و حجم آب مصرفی برای مقایسه بهره‌وری آب و سودمندی اقتصادی در جدول (۵) نشان داده شدند. چنانچه مشاهده می‌شود روش آبیاری غرقابی به‌عنوان تیمار شاهد بالاترین میزان عملکرد برنج (۸۰۴۵/۱۴) کیلوگرم در هکتار) و بیشترین میزان آب مصرفی (۲۷/۱۶۵ مترمکعب بر هکتار) را به خود اختصاص داده است ولی کمترین بهره‌وری فیزیکی - اقتصادی (۰/۳۰) کیلوگرم بر مترمکعب -

جدول ۵- مقادیر عملکرد، آب مصرفی و بهره‌وری آبی اندازه‌گیری شده در مزارع

نام تیمار	مزرعه	عملکرد کل (کیلوگرم در هکتار)	حجم آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)	بهره‌وری آب (کیلوگرم در مترمکعب)	سودمندی اقتصادی آب آبیاری (ریال در مترمکعب)	بهره‌وری آب کل (بارندگی مؤثر + آبیاری) (کیلوگرم در مترمکعب)
TFG	غرقابی-گرگان	۸۰۴۵/۱۴	۲۷۱۶۵	۰/۳۰	۸۲۰۷۰۴/۸۸	۰/۲۹
DTA	قطره ای-آزادشهر	۳۹۶۲/۴۸	۸۵۵۴	۰/۴۶	۱۰۰۰۷۱۸/۵۱	۰/۴۲
DGM	بارانی-مینودشت	۴۳۹۸/۳۷	۸۹۶۸/۸	۰/۴۹	۱۲۷۰۰۲۲/۸۷	۰/۴۶
DTG	قطره‌ای-گرگان	۴۸۹۰/۱۸	۹۶۰۸	۰/۵۱	۱۱۷۰۰۷۹/۴۳	۰/۵۰
DSG	بارانی-گرگان	۵۵۹۸/۹۳	۱۰۴۶۵/۳	۰/۵۳	۱۴۱۰۷۹۱/۸۹	۰/۵۳

صحیح آبیاری، بهره‌وری آب در بخش کشاورزی در حد ممکن افزایش داده شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به تغییرات اقلیمی و بحران کم آبی، نیاز به استفاده از روش‌های صرفه‌جویان در مصرف آب، امری ضروری است. نتایج این پژوهش نشان داد در صورت مدیریت صحیح آبیاری و تأمین به‌موقع نیاز آبی گیاه برنج، روش خشکه کاری جایگزین مناسبی برای کشت نشایی به روش غرقابی است. به‌طوری‌که با حذف مرحله گل‌خراشی می‌توان بین ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ مترمکعب آب در هکتار در میزان مصرف صرفه‌جویی نمود زیرا مرحله گل‌خراشی بیشترین مرحله مصرف آب را به خود اختصاص می‌دهد. در واقع با ۶۱ درصد صرفه‌جویی آبی می‌توان به ۷۰ درصد عملکرد در شرایط غرقابی دست یافت که در شرایط تغییر اقلیم و کاهش منابع آبی، مقدار صرفه‌جویی آبی قابل توجهی به شمار می‌رود. کاهش عملکرد در این پژوهش زیاد بوده و لازم است همان‌طور که بسیاری از مطالعات دستیابی به عملکرد برابر و گاهی بیشتر از آبیاری غرقابی با استفاده از روش‌های خشکه‌کاری را گزارش نموده‌اند، مقادیر کاهش عملکرد به ازای کاهش آب مصرفی مورد مطالعه بیشتر قرار گرفته و نقطه بهینه آن محاسبه شود. مقایسه روش‌های آبیاری نشان داد روش آبیاری بارانی دارای عملکرد بیشتری نسبت به روش قطره‌ای بود. نتایج میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آبیاری بارانی نسبت به روش آبیاری قطره‌ای بیشتر بود و آبیاری غرقابی کم‌ترین

بررسی روش‌های آبیاری مشابه خشکه‌کاری در شهرستان‌های آزادشهر و مینودشت نشان می‌دهد که تاریخ کشت و مدیریت صحیح رطوبتی مزرعه تا اندازه زیادی می‌تواند بر مطلوبیت روش آبیاری بر عملکرد اثرگذار باشد. به‌طوری‌که بین دو روش آبیاری صورت گرفته، تیمار DSG با مصرف ۱۴ درصد مصرف آب آبیاری بیشتر نسبت به DSM، دارای عملکرد بهتر (۲۱ درصد افزایش عملکرد) بود. همچنین بین تیمارهای آبیاری قطره‌ای، تیمار DTG با مصرف ۱۱ درصد آب مصرفی بیشتر، افزایش عملکرد ۱۹ درصدی داشته است که با نتایج گیلانی و همکاران (۱۳۹۶) در رابطه با افزایش عملکرد با بهبود مدیریت رطوبتی مزرعه مطابقت دارد. همچنین این تیمارها، بهره‌وری فیزیکی اقتصادی و نسبت سود به هزینه‌ی بیشتری نسبت به تیمارهای مشابه خود داشتند.

میانگین آبیاری بارانی در هریک از مقادیر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی بالاتر از مقادیر محاسبه‌شده برای سامانه‌های قطره‌ای است. اگرچه بسیاری از مطالعات (سینگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ سیدو و همکاران، ۲۰۱۹) عملکرد دانه بالاتری برای روش آبیاری قطره‌ای گزارش کرده‌اند ولی در این پژوهش عملکرد آبیاری قطره‌ای از روش‌های غرقابی و بارانی کمتر بود. توصیه می‌شود این موضوع، تحت مدیریت‌های مختلف رطوبتی موردبررسی بیشتر قرار گیرد؛ زیرا نقش مهم مدیریت آبیاری در استفاده مناسب از منابع و افزایش بازده تولید و توجه بیشتری بر روش‌های صرفه‌جویان ضروری است و لازم است از منابع آبی موجود به بهترین شکل استفاده‌شده و با اعمال مدیریت

نرخ بهره‌وری را داشت که می‌توان آن را به مصرف زیاد آب آبیاری، بویژه در مرحله گل‌خراپی نسبت داد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از تغییر نحوه کشت برنج از روش پرمصرف آبی به روش‌های صرفه‌جویانه‌تر، لازم است ابعاد مختلف روش‌های خشکه‌کاری در شرایط استانداردتری بیشتر ارزیابی شود. تعیین دامنه رطوبتی مطلوب برای دستیابی به حداقل کاهش محصول با بیشترین مقدار صرفه‌جویی ممکن می‌تواند نقش مهمی در افزایش کارایی نظام خشکه‌کاری برنج در کشور داشته باشد.

فهرست منابع

۱. اسدی، ر.، نصیری، م.، ستاری، م.، محمدیان، م.، طبری، م.، رستمی، م.، لطیفی، ع.، عمرانی، م.، یوسفیان، م. و خلیلی، ر. ۱۳۹۰. بررسی تنش خشکی ارقام هوازی در کشت نشایی به روش خشکه‌کاری و مقایسه‌ی آن با روش کشت نشایی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. گزارش نهایی پروژه‌ی تحقیقاتی. گزارش نهایی پروژه‌ی تحقیقاتی. شماره ثبت: ۴۲۸۱۴. ۳۰ ص.
۲. حیدری کمال‌آبادی، ر.، نبی‌زاده ذوالپیرانی، م.، مجاوریان، س.م.، خانکشی‌پور، غ.ر.، دزیانی، س. ۱۳۹۵. عوامل مؤثر بر مقدار مصرف برنج در سبد غذایی خانوارهای شهرستان رشت. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۲۴(۹۶): ۱۰۹-۱۲۶
۳. دریجانی، ع.، احمدی کلیجی، س. و تابلی، ح. ۱۳۹۱. محاسبه و تحلیل شاخص‌های ناپارامتری بهره‌وری جزئی نهاده آب. نشریه تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۴(۳): ۲۰۷-۲۰۱۹.
۴. رزاقی، م.ح.، کیانی، ع.ر. و آبیاری، ن. م. ۱۳۹۹. کشت نشایی و خشکه‌کاری برنج، راهکاری فنی و اقتصادی برای تولید برنج در شرایط استان گلستان. نشریه مدیریت آب در کشاورزی، ۷(۱): ۳۳-۴۴
۵. رمضان، ا. و دهقانی، م. ۱۴۰۰. کاربرد آبیاری قطره‌ای نواری در خشکه‌کاری برنج (مطالعه موردی: لنجان اصفهان). مجله پژوهش آب ایران. ۱۵(۲): ۱۱۹-۱۲۷.
۶. صابر، ز.، اسماعیلی، م.ع.، پیردشتی، ه.ا.، متولی، ع. و نبوی پله سرایی، ا. ۱۴۰۱. بررسی مؤلفه‌های انرژی و اثرات زیست‌محیطی در سامانه‌های مختلف زراعی تولید برنج (*Oryza sativa L.*) با استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی در مازندران. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۴(۳): ۴۲۹-۴۴۸.
۷. عرب زاده، ب. و توکلی، ع. ۱۳۸۴. تحلیل اقتصادی مدیریت آبیاری در خشکه‌کاری برنج. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۷(۲۶): ۹۹-۱۱۰.
۸. غلامی، م. ۱۳۸۰. بررسی میزان مصرف آب در ارقام مختلف برنج با دو روش خشکه‌کاری و نشاکاری با استفاده از آبیاری بارانی. سازمان کشاورزی مازندران، مدیریت ترویج. نشریه ترویجی، ۲۲ ص
۹. قلی‌نژاد بهمنمیری، ق.، غلامی سفیدکوهی، م.ع. و موسوی طغانی، س.ی. ۱۳۹۹. اثرات آبیاری موضعی نواری بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی در اراضی شالیزاری شهرستان ساری. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱(۱۲): ۳۱۲۸-۳۱۳۴.
۱۰. گیلانی، ا.ع.، آبسالان، ش.ا.، جلالی، س. و بهیانی، ل. ۱۳۹۸. اثر آبیاری بارانی بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و راندمان مصرف آب ارقام برنج در کشت مستقیم خشکه‌کاری در خوزستان. مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۴۲(۱): ۶۳-۷۳

۱۱. گیلانی، ا.ع.، آبسالان، ش.ا.، جلالی، س. ۱۳۹۵. مقایسه روش خشکه کاری با شیوه‌های رایج کاشت ارقام برنج از نظر میزان آب مصرفی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. شماره ثبت: ۴۹۸۰۲. ص ۲۷
۱۲. یوسفیان، م، ۱۳۸۹. مطالعه بهره‌وری آب در کشت نشایی برنج (ارقام طارم و شیرودی). پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان. ۸۹ صفحه
13. Amin A, Nasim W, Mubeen M, kazmi D H, Lin Z, Wahid A, Sultana S R, Gibbs J, Fahad S, 2017. Comparison of future and base precipitation anomalies by SimCLIM statistical projection through ensemble approach in Pakistan. *Atmospheric Research*, 194, 214–225.
14. Aslam M, Hussain S, Ramzan M, Akhter M, 2008. Effect of different stand establishment techniques on rice yields and its attributes. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 18, 80–82.
15. Bouman, B. A. M., Humphreys, E., Tuong, T. P. and Barker, R, 2007. Rice and water. *Advances in Agronomy* 92:187–237.
16. Bouman, B. A. M., Lampayan, R. M. and Tuong, T. P, 2007. Water Management in Irrigated Rice Coping with Water Scarcity. IRRI. Los Banos. Philippines. P: 55.
17. Bouman, B. A. M., Peng, S., Castaneda, A. R. and Visperas, R. M, 2005. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. *Agricultural Water Management* 74:87–105.
18. Carrijo D R, Lundy M E, Linquist B A, 2017. Rice yields and water use under alternate wetting and drying irrigation: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 203, 173–180.
19. Chandler, F. R, 1989. Rice in the tropics: A guide to the development of national programs. Westview press. Boulder Co.
20. Chu, G., Chen, T., Wang, Z., Yang, J. and Zhang, J, 2014. Morphological and physiological traits of roots and their relationships with water productivity in water-saving and drought-resistant rice. *Field Crop.Res.*162: 108–119
21. Darzi-Naftchali, A. and Shahnazari, A, 2014. Influence of subsurface drainage on the productivity of poorly drained paddy fields. *Eur. J. Agron.*56: 1-8.
22. Farooq, M., Siddique, K.H., Rehman, H., Aziz, T., Lee, D.J. and Wahid, A, 2011. Rice direct seeding: experiences, challenges and opportunities. *Soil and Tillage Research*, 111(2), pp.87-98.
23. Houghton, J.T., Meira-Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., Marskell, K. (Eds.), 1996. Cambridge Univ. Press, New York, p. 572.
24. Ishfaq M, Akbar N, khan I, Anjum S A, Zulfiqar U, Ahmad M, Ahmad M, Chattha M U, 2018. Optimizing row spacing for direct seeded aerobic rice under dry and moist fields. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 4, 291–299.
25. Ishfaq, M., Akbar, N., Zulfiqar, U. et al., 2022. Economic assessment of water-saving irrigation management techniques and continuous flooded irrigation in different rice production systems. *Paddy Water Environ* 20, 37–50. <https://doi.org/10.1007/s10333-021-00871-6>
26. Jabran, K., Ullah, E., Hussain, M., Farooq, M., Haider, N. and Chauhan, B.S, 2015. Water saving, water productivity and yield outputs of fine-grain rice cultivars under conventional and water-saving rice production systems. *Experimental agriculture*, 51(4), pp.567-581.
27. Kahlown, M. A., Raoof, A., Zubair, M. & Kemper, W. D., 2007. Water use efficiency and economic feasibility of growing rice and wheat with sprinkler irrigation in the Indus Basin of Pakistan. *Agricultural water management*, 87(3), pp.292-298
28. Kato Y. Okami M. and Katsura K. 2009. Yield potential and water use efficiency of aerobic rice (*Oryza sativa* L.) in Japan. *Field Crops Research*. 113(3): 328-334.
29. Kumar V. and Ladha J. K. 2011. Direct seeding of rice: recent developments and future research needs. in *Advances in agronomy*, Academic Press. 111: 297-413.
30. Kumar V, Jat HS, Sharma PC, Singh B, Gathala MK, Malik RK, Kamboj BR, Yadav AK, Ladha JK, Raman A, Sharma DK, McDonald A ,2018. Can productivity and profitability be enhanced in intensively managed cereal systems while reducing the environmental

- footprint of production? Assessing sustainable intensification options in the breadbasket of India. *Agric Ecosyst Environ*. ۱۴۷-۲۵۲:۱۳۲ <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.006>
31. Liang, K., Zhong, X., Huang, N., Lampayan, R.M., Pan, J., Tian, K. and Liu, Y, 2016. Grain yield, water productivity and CH₄ emission of irrigated rice in response to water management in south China. *Agricultural Water Management*, 163, pp.319-331.
32. McCauley, G.N, 1990. Sprinkler vs flood irrigation in traditional rice production regions of southeast Texas. *Agron. J.* 82, 677-683.
33. Pathak H, Tewari AN, Sankhyan S, Dubey DS, Mina U, Singh VK, Jain N, Bhatia A, 2011 . Direct-seeded rice: potential, performance and problems—a review. *Cur Adv Agric Sci* 3:77–88
34. Peng, S. B., Bouman, B., Visperas, R. M., Castaneda, A., Nie, L. X. and Park, H. K, 2006. Comparison between aerobic and flooded rice in the tropics: agronomic performance in an eight-season experiment. *Field Crops Research*. ۲۵۹-۹۶:۲۵۲
35. Rao A N, Nagamani A, 2007. Available technologies and future research challenges for managing weeds in India. [2018-04-12]. <http://ricepedia.org/rice-as-food/the-global-staple-rice-consumers>
36. Shi, S.W., Li, Y.E., Liu, Y.T., Wan, Y.F., Gao, Q.Z., Zhang, Z.X, 2010. CH₄ and N₂O emission from rice field and mitigation options based on field measurements in China: an integration analysis. *Sci. Agric. Sin.* 43 (14), 2923–2936 (in Chinese with English abstract).
37. Sidhu, H. S., Jat, M. L., Singh, Y., Sidhu, R. K., Gupta, N., Singh, P., Singh, P., Jat, H.S., Gerard, B. (2019). Sub-surface drip fertigation with conservation agriculture in a rice-wheat system: A breakthrough for addressing water and nitrogen use efficiency. *Agricultural Water Management*, 216, 273-283.
38. Singh U. P. Singh Y. Kumar V. and Ladha J. K. 2009. Evaluation and promotion of resource conserving tillage and crop establishment techniques in rice-wheat system in Eastern India. In: Ladha J. yandvider S. Erenstein O. and hard B. editors integrated crop and resource management in the rice-wheat system of South Asia. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. 2009. 395 p.
39. Singh.T.C., Prajapati.B., Bhardwaj.A.K. (2018). Effect of drip irrigation on growth and yield of direct seeded rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Chemical Studies* 2018; 6(1): 161-164
40. Surek, H., Aydin , H., Cakir, R., Karaata, H., Negis, M. and Kusku, H, 1996. Rice yield under sprinkler irrigation. *International Rice Research Notes*. 21, 2-3.
41. Tabbal, D. F., Bouman, B. A. M., Bhuiyan, S. I., Sibayan, E.B. and Satter, M.A, 2002. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice, case studies in the pilippines. *Agric. Water Manage.* 56, 93-112.
42. Tuong, T.P., Bouman, B.A.M. and Mortimer, M, 2005. More rice, less water—integrated approaches for increasing water productivity in irrigated rice-based systems in Asia. *Plant Prod. Sci.* 8(3): 229-239
43. Westcott, M.P. and Vines, K. W, 1986. A comparison of sprinkler and flood irrigation for rice. *Agron. J.* 82, 667-683.
44. Wang W. Peng S. Liu H. Tao Y. Huang J. Cui K. and Nie L. 2017. The possibility of replacing puddled transplanted flooded rice with dry seeded rice in central China: a review. *Field Crops Research*. 214: 310-320.
45. Yang, J., Zhou,Q. and Zhang, J, 2017. Moderate wetting and drying increases rice yield and reduces water use, grain arsenic level, and methane emission. *Crop J.* 5: 151-158
46. Younas, M., Rehman, M.A., Hussain, A., Ali, L. and Waqar, M.Q, 2015. Economic comparison of direct seeded and transplanted rice: Evidences from adaptive research area of Punjab Pakistan. *Asian J Agri. Biol*, 4(1), pp.1-7.
47. Zhang, W., Yu, Y., Huang, Y., Li, T., Wang, P., 2011. Modeling methane emissions from irrigated rice cultivation in China from 1960 to 2050. *Global Change. Biol.* -۳۵۱۱ , (۱۲) ۱۷

48. Zubair, M, 2007. Water Use Efficiency and Economic Feasibility of Growing Rice and Wheat with Sprinkler Irrigation in the Indus Basin of Pakistan. *Agricultural Water*.

تعیین ضریب گیاهی و نیاز آبی گیاه کینوا به روش لایسیمتری در دشت بیرجند

فرزانه گلستانی^۱، عباس خاشعی سیوکی و سهراب محمودی

دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند. Farzane.golestanifar@yahoo.com

استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند. Abbaskhashei@birjand.ac.ir

دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند. Smahmoodi@birjand.ac.ir

دریافت: مهر ۱۴۰۱ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۱

چکیده

برآورد مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل برای محاسبه‌ی نیاز آبی در راستای برنامه‌ریزی کشاورزی برای محصولات مختلف، از اهمیت زیادی برخوردار است. بدین منظور در پژوهش حاضر، برای تعیین ضریب گیاهی و نیاز آبی کینوا به روش لایسیمتری، از سه لایسیمتر زهکش‌دار از جنس پلی‌اتیلن و کاملاً آب‌بندی شده با قطر ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر استفاده گردید. بذور کینوا رقم تی‌تی‌کاکا در تاریخ هفت اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۹ با احتساب ۶۰ بوته در مترمربع به عنوان تراکم مطلوب، کشت شد. میزان رطوبت خاک با دستگاه TDR و آب خروجی زهکش در هر لایسیمتر قبل از آبیاری اندازه‌گیری گردید. به منظور سنجش تبخیر و تعرق مرجع از معادلات پنمن-مانتیث، بلانی-کریدل (مبتنی بر درجه حرارت) و پریستلی-تیلور (مبتنی بر تشعشع) استفاده شد. نتایج نشان داد که مجموع میزان تبخیر و تعرق مرجع در طول فصل رشد به روش پنمن-مانتیث (ET_p) ۷۲۰ میلی‌متر، به روش بلانی-کریدل، ۵۸۱ میلی‌متر و به روش پریستلی-تیلور ۷۵۴ میلی‌متر بود و مجموع تبخیر و تعرق گیاه کینوا (ET_c) با روش لایسیمتری، ۵۵۳ میلی‌متر محاسبه شد. همچنین مقدار ضریب گیاهی کینوا (K_c) در مرحله اول (دوره ۲۱ روزه)، مرحله دوم (دوره ۲۶ روزه)، مرحله سوم (دوره ۳۸ روزه) و مرحله چهارم رشد کینوا (دوره ۳۴ روزه) در روش پنمن-مانتیث به ترتیب برابر با ۰/۴۲، ۰/۶۶، ۱/۰۳ و ۰/۷۱، در روش بلانی-کریدل به ترتیب ۰/۵۴، ۰/۸۸، ۱/۲۸ و ۰/۸۲ و در روش پریستلی-تیلور به ترتیب ۰/۴۰، ۰/۶۲، ۰/۹۷ و ۰/۶۸ بود. نتایج نشان می‌دهد که روش پنمن-مانتیث به عنوان بهترین روش، می‌تواند ملاکی برای تعیین ضریب تبخیر و تعرق مرجع در منطقه قرار گیرد ولی روش بلانی-کریدل نیاز به واسنجی در منطقه دارد.

واژه‌های کلیدی: روش پنمن-مانتیث، روش بلانی-کریدل، روش پریستلی-تیلور، بیلان آبی

^۱- آدرس نویسنده مسئول: گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند.

مقدمه

تولید محصولات در بخش کشاورزی نیازمند منابع فراوان آب است و با توجه به ثبات منابع تجدیدشونده آب در جهان، تأمین آب به عنوان یکی از مشکلات اساسی برای بشر بوده است (سلجوقی و همکاران، ۱۴۰۰). به نقل از رضایی و منتظری، (۲۰۰۸). با توجه به محدود بودن منابع آب و بالا بودن میزان تبخیر، مسئله بحران آب یکی از عمده ترین مسائل در کشور است. لذا یکی از مهم ترین و اساسی ترین راهکارهای مقابله با بحران آب در کشور مدیریت صحیح آبیاری در کشاورزی می تواند باشد. بر این اساس شناخت صحیح از فرآیند آبیاری و مدیریت بهینه آن، ضروری به نظر می رسد (حقیقی، ۱۳۹۲).

برآورد مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل برای محاسبه-ی نیاز آبی در راستای برنامه ریزی کشاورزی برای محصولات مختلف، از اهمیت زیادی برخوردار است (امامقلی زاده مینایی، ۱۳۸۵). نیاز آبی را به دو جزء می توان تقسیم نمود، قسمتی از آن صرف تبخیر از سطح خاک شده و بخش دیگر به صورت تعرق از سطح برگ وارد اتمسفر می شود (هاشمی-زاده، ۱۳۸۵). محاسبه دقیق نیاز آبی مستلزم استفاده از روش دقیق در برآورد تبخیر و تعرق گیاه است. دقیق ترین روش برآورد تبخیر و تعرق گیاه (ET_c)، اندازه گیری مستقیم آن با استفاده از لایسیمتر است. از طرفی عمومی ترین روش برای برآورد نیاز آبی هر گیاه، حاصل ضرب تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) در ضریب گیاهی مربوط به گیاه موردنظر (K_c) است؛ ضریب گیاهی عاملی برای لحاظ نمودن خصوصیات گیاه از قبیل مساحت سطح برگ، ارتفاع بوته، درصد پوشش سبز و مقاومت تاج گیاه است (دورنبوس و پرویت، ۱۹۷۷). محمدی و همکاران (۱۳۹۹) به تعیین ضرایب گیاهی گل نرگس به روش لایسیمتری در دشت بیرجند پرداختند و گزارش نمودند که مقادیر مربوط به ضرایب گیاهی در مراحل مختلف رشد شامل مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و مرحله

انتہایی، به ترتیب برابر ۰/۹۱، ۱/۱۳، ۱/۱۱ و ۰/۹۶ بود. قوام-سعیدی و همکاران (۱۳۹۹) نیز به برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی شاهدانه در مراحل مختلف رشد را در ایستگاه لایسیمتری بیرجند پرداختند و بیان نمودند که طول مراحل مختلف رشد گیاه شامل مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتہایی به ترتیب برابر ۳۰، ۵۵، ۷۵ و ۲۰ روز و همچنین مقادیر ضریب گیاهی شاهدانه در مراحل چهارگانه رشد گیاه به ترتیب برابر ۰/۲۸، ۰/۶۸، ۱/۰۱ و ۰/۵۴ بود. علی آبادی و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی ضریب گیاهی خاکشیر به روش لایسیمتری در شهرستان بیرجند گزارش نمودند که ضریب گیاهی منفرد برای چهار مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی به ترتیب برابر ۰/۵۲، ۰/۶۸، ۰/۹۶ و ۰/۸۱ و ضریب گیاهی پایه به ترتیب برای چهار مرحله رشد برابر ۰/۳۸، ۰/۵۹، ۰/۹۴ و ۰/۷۵ میلی متر بود.

تبخیر و تعرق گیاه مرجع یا به طور مستقیم به وسیله لایسیمتر و یا به صورت غیرمستقیم با استفاده از داده های هواشناسی یا تبخیر از تشتک تبخیر برآورد می گردد (هاشمی نسب خبیصی و همکاران، ۱۳۹۶). جهت محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع روش های متعددی ارائه شده است. از سوی کمیسیون بین المللی آبیاری و زهکشی ($ICID^1$) و سازمان خواربار جهانی (FAO^2)، روش پنمن-مانتیث - فائو (Penman-Monteith FAO) به عنوان روش استاندارد برای محاسبه آن معرفی گردیده است (پیرمادی و همکاران، ۱۳۹۲). به نقل از آلن و همکاران، (۱۹۹۸). چن و همکاران (۲۰۰۵) به منظور تعیین بهترین روش برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل که در کشور تایوان انجام شد، به این نتیجه رسیدند که روش پنمن مانتیث برآورد دقیق تری نسبت به روش های دیگر ارائه می دهد. برای تدوین برنامه آبیاری مناسب و اعمال مدیریت کارا و آگاهانه، تعیین ضرایب گیاهی بر مبنای مراحل رشد و نیز تخمین تبخیر و تعرق گیاه امری ضروری است (قمرنیا و موسی بیگی، ۱۳۹۳). شرقی و همکاران (۱۳۸۹)

² -Food and Agriculture Organization¹ -International Commission on Irrigation and Drainage

مطالعاتی با عنوان برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش پنمن-مانتیت-فائو و پهنه‌بندی آن در استان یزد انجام دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که پس از روش بیلان آبی با استفاده از لایسیمتر وزنی، روش پنمن-مانتیت-فائو برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع هم در شرایط آب و هوایی خشک و هم در شرایط آب و هوایی مرطوب روش مناسبی است. احمدپری و همکاران (۱۳۹۸) بیان کردند که روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق مرجع بر پایه روش پنمن، تطابق بیشتری با روش پنمن-مانتیت-فائو دارند ولی به دلیل اینکه نیازمند داده‌های تابش، دما، رطوبت و سرعت هستند و در برخی ایستگاه‌های هواشناسی، دما تنها داده‌ی ثبت شده است استفاده از روش تجربی هارگریوز و سامانی را که فقط به عامل دما نیازمند است، ترجیح داده می‌شود؛ بنابراین می‌توان در صورت کمبود آمار می‌توان از روش هارگریوز-سامانی (Hargreaves-Samani) برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و نیاز آبی گیاه در منطقه استفاده نمود. امیری و پورقاسمی (۱۳۹۸) براساس ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق و با توجه به معیار MAE و RMSE، روش بلانی-کریدل (Blaney-Criddle) کمترین میزان خطا (به ترتیب ۸/۶۴ و ۲/۴۹) و روش هارگریوز-سامانی بیش‌ترین مقدار خطا (به ترتیب ۱۲/۰۶ و ۳/۴۸) را داشتند و بیان نمودند که در مجموع روش بلانی-کریدل بهترین روش تبخیر و تعرق پتانسیل به‌دلیل پایین بودن میزان خطا نسبت به روش‌های هارگریوز-سامانی و تورنت-وایت (Thornth-Waite) است.

کینوا^۱ گیاهی علفی، یک‌ساله، دولپه از خانواده تاج-خروسیان^۲، بومی منطقه آند (شامل کلمبیا، پرو، اکوادور، آرژانتین، شیلی و بولیوی) است (روئیز و همکاران، ۲۰۱۴) که معمولاً هدف از کشت آن تولید بذر است، کینوا دارای ریشه-

های قوی، عمیق و منشعب شیری‌رنگ، ساقه استوانه‌ای، برگ-ها مثلثی، گل‌ها ناقص، بدون گلبرگ و دوجنسه (باقری، ۱۳۹۷)، میوه فندقه و دارای رنگ سفید و زرد تا بنفش و سیاه است (آدولف و همکاران، ۲۰۱۲). کینوا از حدود ۷۰۰۰ سال قبل از آغاز دهه ۱۹۸۰ میلادی، وارد منطقه آند شده است و تعداد کشورهایی که کینوا در آنجا رشد نموده از هشت کشور در سال ۱۹۸۰ میلادی به ۷۵ کشور در سال ۲۰۱۴ رسیده است و در اوایل سال ۲۰۱۵ نیز در ۲۰ کشور دیگر مورد کشت قرار گرفت (بازیل و همکاران، ۲۰۱۶). تولیدکنندگان اصلی کینوا در جهان، بولیوی و پرو می‌باشند به‌نحوی که در سال ۲۰۱۷ میلادی، سطح برداشت‌شده در بولیوی و پرو به ترتیب ۱۱۰۶۳۹ و ۶۱۷۲۱ هکتار و عملکرد به ترتیب ۶۰۳۷ و ۱۲۷۴۴ کیلوگرم در هکتار بود (قائو، ۲۰۱۹). براساس گزارش گارسیا و همکاران (۲۰۰۳) ضریب گیاهی کینوا رقم چاکاپاکا^۳ بومی بولیوی، در اوایل، اواسط و انتهای فصل رشد به ترتیب ۰/۵۲، ۱ و ۰/۷ و طبق گزارش رازقی و همکاران (۲۰۱۲) برای رقم تی‌تی‌کاکا، به ترتیب ۱/۰۵، ۱/۲۲ و ۱ بود. با توجه به نیاز آبی ذاتی کم، کینوا توانایی مقابله با کمبود آب، مهارت بازگشت سریع به سطح فتوسنتزی و سطح برگ قبلی خودش از یک دوره تنش آبی را دارد (جاکوبسن و همکاران، ۲۰۰۹). لذا هدف از این مطالعه بررسی نیاز آبی و ضریب گیاهی کینوا در منطقه بیرجند با توجه به قرارگیری در اقلیم خشک و نیمه خشک است.

مواد و روش‌ها

خصوصیات محل آزمایش

مطالعه در ایستگاه لایسیمتری دانشگاه بیرجند واقع در پنج کیلومتری جاده بیرجند-کرمان با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریاها، آزاد، انجام

^۳ -Chucapaca

^۱ -*Chenopodium quinoa* Willd.

^۲ -Amaranthaceae

شد. بنی‌واهب و علیجانی (۱۳۸۲) در دوره مطالعه ۴۷ ساله ایستگاه هواشناسی بیرجند، گزارش نمودند که میانگین بارش سالانه ۱۷۰/۳۹ میلی‌متر و دمای سالانه ۱۶/۲۵ درجه سانتی-گراد است. استان خراسان جنوبی از شرایط اقلیمی خشک و بیابانی در نواحی پست و آب‌وهوای نیمه‌خشک در نواحی کوهستانی برخوردار است (کوزه گران و همکاران، ۱۳۹۶). نمونه‌برداری آب‌وخاک قبل از کشت به‌منظور اطلاع از خصوصیات فیزیکی خاک و خصوصیات شیمیایی خاک و آب

از لایسیمترها انجام شد که نتایج به شرح جدول ۱ ارائه شده است و همچنین داده‌های هواشناسی از قبیل دمای حداقل، حداکثر و متوسط دما بر حسب درجه‌سنتی‌گراد، متوسط سرعت باد برحسب متر بر ثانیه، تعداد ساعت آفتابی و میزان بارندگی برحسب میلی‌متر در بازه مورد مطالعه از سازمان هواشناسی استان خراسان جنوبی دریافت گردید (جدول ۲).

جدول ۱- نتایج آزمایش‌های خاک و آب ایستگاه لایسیمتری

آزمایش‌های شیمیایی آب‌و خاک											
Co ₃ ⁻² meq/lit	HCO ₃ ⁻ meq/lit	Cl ⁻ meq/lit	K ⁺ meq/lit	Na ⁺ meq/lit	Mg ²⁺ meq/lit	Ca ²⁺ meq/lit	SAR	ECe mS/cm	pH	نمونه	
۱۴	۴۶	۵۰	۰/۴۱	۳/۰۴	۱۰	۱۰	۰/۹۶	۱/۱۴۷	۸/۱	خاک	
-	۵/۶	۴/۴۵	۰/۰۷	۰/۶۵	۶/۵	۲	۰/۳۱	۳/۹۰۵	۷/۶	آب	
آزمایش‌های فیزیکی خاک											
وزن مخصوص حقیقی g/cm ³		وزن مخصوص ظاهری g/cm ³		نقطه پژمردگی (%)		ظرفیت زراعی (%)		فراوانی نسبی ذرات (%)		بافت خاک	
								رس	سیلت	شن	
۲/۶۵		۱/۵۸		۹		۱۶		۶۱	۳۲	۷	شنی لومی

نحوه‌ی اجرای آزمایش

در مطالعه حاضر جهت تعیین ضریب گیاهی و نیاز آبی کینوا به روش لایسیمتری، از سه لایسیمتر زهکش‌دار از جنس پلی‌اتیلن و کاملاً آب‌بندی شده با قطر ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر استفاده گردید (شکل ۱). جهت ایجاد زهکش نیز لوله‌هایی در انتهای لایسیمترها تعبیه شد و در فاصله ۱/۵ متری از سطح خاک نیز ظروف مدرج جهت جمع-آوری آب زهکش، قرار گرفت. در این مطالعه از گیاه کینوا

رقم تی‌تی‌کاکا استفاده شد که در تاریخ هفت اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۹ کشت گردید و با احتساب ۶۰ بوته در مترمربع به‌عنوان تراکم مطلوب (صمدزاده و همکاران، ۱۴۰۰) و همچنین با توجه به مساحت لایسیمترها (۰/۲۸۳ مترمربع)، تعداد ۱۷ بوته پس از تنک کردن درون هر لایسیمتر باقی ماند. از ابتدای کاشت، میزان رطوبت خاک توسط دستگاه TDR یادداشت‌برداری و همچنین خروجی زهکش در هر لایسیمتر قبل از آبیاری، اندازه‌گیری شد.



شکل ۱ - نمایی از لایسیمترها در زمان کاشت

تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o)

در این مطالعه به منظور سنجش تبخیر و تعرق مرجع از معادلات پنمن-مانتیش-فائو (روش ترکیبی، آلن و همکاران، ۱۹۹۸) بلانی-کریدل (مبتنی بر درجه حرارت، آلن و پروت، ۱۹۹۱) و پرستلی-تیلور (مبتنی بر تشعشع، پرستلی و تیلور، ۱۹۷۲) استفاده شد که معادلات در جدول ۲ ارائه گردیده است.

تبخیر و تعرق (نیاز آبی) گیاه کینوا (ET_c)

برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی گیاه از معادله بیلان آب استفاده شد. این روش شامل بررسی جریان ورودی و خروجی به محدوده توسعه ریشه گیاه در طول یک دوره مشخص است. آبیاری (I) و بارندگی (P) منابع آب ورودی به محدوده توسعه ریشه گیاه محسوب می‌شوند که در این رابطه، ET_c: تبخیر و تعرق واقعی گیاه برحسب میلی‌متر، P: بارندگی برحسب میلی‌متر، I: آب آبیاری برحسب میلی‌متر، D: آب زهکش شده برحسب میلی‌متر و ΔS: تغییرات ذخیره ای رطوبت خاک بر حسب میلی‌متر می‌باشند (ابراهیمی پاک و همکاران، ۱۳۹۷).

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

زمان و حجم آبیاری، مطابق با پژوهش نامداریان و همکاران (۱۳۹۵)، به گونه‌ای تنظیم شد که جهت عدم مواجه گیاه با تنش رطوبتی، رطوبت خاک، کمتر از ۷۰ درصد ظرفیت زراعی نشود. بدین منظور باید رطوبت خاک قبل از آبیاری (توسط TDR) اندازه‌گیری و با محاسبه اختلاف این میزان و حد ظرفیت زراعی، حجم آب مورد نیاز برای آبیاری تعیین شد. با توجه به اینکه لایسیمتر یک محیط کنترل‌شده و قابل زهکشی است، همواره حجم آبیاری بیشتر بود تا حداکثر ۱۰ درصد زه‌آب ایجاد شود. در نتیجه دور آبیاری یک هفته و در زمان‌های خیلی گرم، چهار روز بسته شد و دوره بیلان ده روزه تعیین گردید.

ضریب گیاهی (K_c)

ضریب گیاهی نیز به صورت اساسی به ویژگی‌های گیاه و به طور محدودی به اقلیم بستگی دارد. ضریب گیاهی (K_c) نسبت تبخیر و تعرق گیاه تحت شرایط استاندارد (ET_c) به تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) بوده است (هاشمی نسب خبیصی و همکاران، ۱۳۹۶).

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (2)$$

نتایج و بحث

تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o)

داده‌های هواشناسی جهت برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع، از اداره هواشناسی استان خراسان جنوبی و برای شهرستان بیرجند جمع‌آوری و سپس به کمک معادلات ارائه‌شده در جدول (۲)، ابتدا اجزای هر معادله و در نهایت میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع به‌صورت روزانه در طی فصل رشد محاسبه گردید (جدول ۳). در شکل ۲ روند تغییرات تبخیر و تعرق مرجع به هر سه روش و در جدول ۴ میزان آن به‌صورت هفتگی ارائه گردید. در مجموع میزان تبخیر و تعرق مرجع به روش پنمن-مانتیث-فائو ۷۲۰/۰۹ میلی‌متر، به

روش بلانی-کریدل، ۵۸۱/۳۹ میلی‌متر و به روش پریستلی-تیلور، ۷۵۴/۳۹ میلی‌متر در طول فصل رشد، محاسبه به دست آمد. روش پنمن-مانتیث-فائو با روش‌های بلانی-کریدل و پریستلی-تیلور به ترتیب دارای ضریب تبیین ۰/۶۴ و ۰/۹۳ و خطای RMSE ۰/۴۸ و ۰/۲۳ و روش بلانی-کریدل با روش پریستلی-تیلور نیز دارای ضریب تبیین ۰/۴۵ و خطای ۰/۶۸ بود. با توجه به این موضوع که هر چه مقدار R^2 بالاتر و مقدار RMSE کوچک‌تر باشد، برآورد به‌دست‌آمده دقیق‌تر است، در نتیجه داده‌های حاصل از روش پنمن-مانتیث-فائو با روش پریستلی-تیلور دارای همبستگی بیشتری می‌باشند.

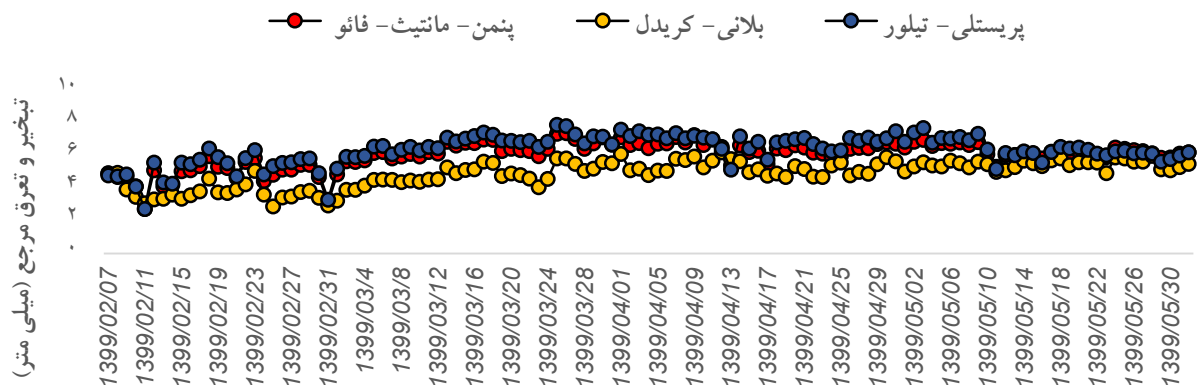
جدول ۲ - معادلات مورد استفاده در آزمایش

روشن	معادلات	توضیحات
بنام - مانیت - فایر	$ET_o = \frac{0.408 \Delta(R_n - G) + \gamma [890/(T + 273)] U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 U_2)}$ $R_n = 0.77 \left(0.25 + 0.5 \frac{n}{N} \right) R_a - 2.45 \times 10^{-9} (0.9 \frac{n}{N} + 0.1) (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) (T_{kx}^4 + T_{kn}^4)$ $R_a = 37.6 dr (W_s \sin \phi \sin \sigma + \cos \phi \cos \sigma \sin W_s)$ $W_s = \arccos(1 - \tan \phi \tan \sigma)$ $\sigma = 0.409 \sin(0.0172 J - 1.39)$ $J = \text{integer}(30.5M - 14.6)$ $dr = 1 + 0.033 \cos(0.0172 J)$ $N = 7.64 W_s$ $U_2 = U_z \left(\frac{2}{Z} \right)^{1.5}$ $\Delta = \frac{2504 \exp(17.27 \frac{T}{T + 237.3})}{(T_p + 237.3)^2} e_s - e_a = \left[0.611 \exp\left(\frac{17.27 T}{T + 237.3}\right) \right] - \left[0.611 \exp\left(\frac{17.27 T_{min}}{T_{min} + 237.3}\right) \right]$ $\gamma = 0.00163 \frac{\lambda}{\lambda}$ $p = 101.3 \left(\frac{239 - 0.0065 Z}{293} \right)^{5.26} \quad \lambda = 2.501 - (2.361 \times 10^{-3})$	ET_o: تبخیر و تعرق مرجع (mm d⁻¹) R_n: تابش خالص در سطح پوشش گیاهی (MJm⁻²d⁻¹) T: متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (°C) U₂: متوسط سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (m s⁻¹) e_s-e_a: کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (KPa) Δ: شیب منحنی فشار بخار (KPa °C⁻¹) γ: ضریب رطوبتی (KPa °C⁻¹) G: شار گرما به داخل خاک (MJm⁻²d⁻¹) که صفر است R_a: تابش برون زمینی (MJm⁻²d⁻¹) W_s: زاویه ساعتی غروب خورشید (رادیان) σ: زاویه میل خورشید (رادیان) J: شماره روز ژولیه‌ای از ابتدای سال مسیحی dr: فاصله نسبی زمین تا خورشید N: تعداد ساعات روشنایی روز n: تعداد ساعات واقعی آفتاب (hr) M: شماره ماه میلادی که تبخیر و تعرق آن محاسبه می‌شود φ: عرض جغرافیایی (رادیان) T_{kx} و T_{kn}: به ترتیب حداقل دما و حداکثر دما برحسب کلون U_z: متوسط سرعت باد (متر بر ثانیه) و Z: ارتفاع از سطح دریا T_{min}: حداقل دما (°C)
بنام - کریل - بلای	$ET_o = \{a + b[0.46T + 8.13]\} \left[1 + 0.1 \left(\frac{Elve}{1000} \right) \right]$ $a = 0.0043(RH_{min}) - \left(\frac{n}{N} \right) - 1.41$ $b = 0.908 - 0.0048(RH_{min}) + 0.0768[\ln(U_{day} + 1)]^2 - 0.0038(RH_{min}) \left(\frac{n}{N} \right)$ $- 0.000433(RH_{min})(U_{day} + 1) \ln \left(\frac{n}{N} + 1 \right) - 0.00975 \times \ln \left(\frac{n}{N} + 1 \right) b$ $= 0.908 - 0.0048(RH_{min}) + 0.0768[\ln(U_{day} + 1)]^2 - 0.0038(RH_{min}) \left(\frac{n}{N} \right)$ $- 0.000433(RH_{min})(U_{day} + 1) \ln \left(\frac{n}{N} + 1 \right) - 0.00975 \times \ln \left(\frac{n}{N} + 1 \right)$	T میانگین درجه حرارت روزانه (°C) Elve متوسط ارتفاع مکان مورد مطالعه از سطح دریا (m). (n/N) نسبت ساعات آفتابی به حداکثر ساعات آفتابی ممکن RH_{min} متوسط حداقل رطوبت نسبی روزانه (%) U_{day} میانگین سرعت باد در طول روز در ارتفاع دو متری (m s⁻¹).
بنام - سیسی - کلپور	$ET_o = 1.26 \times \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times \frac{R_n - G}{\lambda}$	Δ شیب منحنی فشار بخار (KPa °C⁻¹) λ گرمای نهان تبخیر (MJ Km⁻¹) R_n تابش خالص در سطح پوشش گیاهی G شار گرما به داخل خاک γ ضریب رطوبتی

به سایر روش‌ها در مقایسه با روش استاندارد نشان دادند، اما مدل‌های دمایی و تشعشعی مانند مدل تورک، جنسن-هیز (Jensen-Haise)، هارگریوز-۴ و بلانی-کریدل می‌توانند جایگزین مناسبی برای روش ترکیبی نسبتاً پیچیده پنمن-مانتیث-فائو، برای اقلیم گرم و خشک شهرستان زاهدان باشند. میرموسوی و همکاران (۱۳۹۱)، جهت محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع در استان کرمانشاه از پنج روش پنمن-مانتیث-فائو، تورنت-وایت، بلانی-کریدل اصلاح شده (M. Blaney-Criddle)، هارگریوز و پنمن اصلاح شده (M. Penman) استفاده نمودند و بیان کردند که روش پنمن-مانتیث-فائو، برآورد دقیق‌تری برای تبخیر و تعرق مرجع ارائه می‌کند. عابدی کوپایی و همکاران (۱۳۸۷) گزارش نمودند که معادله‌ی پنمن-مانتیث-فائو از دقت بیشتری نسبت به سایر معادلات برخوردار است و پس از آن به ترتیب معادلات تورک، هارگریوز و تشت تبخیر (Pan Evaporation) روش‌های مناسبی می‌باشند. سلیمان و هوگنبوم (۲۰۰۹)، استفاده از روش پنمن-مانتیث-فائو را به دلیل اینکه در تخمین تبخیر و تعرق مرجع در شرایط آب و هوایی مختلف نتایج قابل قبولی می‌دهد را برای تمام دنیا توصیه نمودند. استادی و همکاران (۱۴۰۰) نیز بیان کردند که ضریب R^2 بین مقادیر برآورد شده تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) از میکرولایسیمترها و به دست آمده از فرمول پنمن-مانتیث-فائو برابر با ۰/۸۸ بود که بیانگر همبستگی خوب و دقت بالای آزمایش است.

میزان تبخیر و تعرق مرجع به روش پنمن-مانتیث-فائو و پرستلی-تیلور، در دامنه‌ی نتایج ارائه‌شده در سامانه نیاز آبی کشور (۱۴۰۱) قرار دارد، در نتیجه می‌توان بیان نمود که روش پنمن-مانتیث-فائو، به‌عنوان بهترین روش، می‌تواند ملاکی برای تعیین ضریب تبخیر و تعرق مرجع در منطقه قرار گیرد ولی روش بلانی-کریدل نیاز به واسنجی در منطقه دارد.

علی‌آبادی و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از هفت مدل محاسباتی تبخیر و تعرق گیاه مرجع، از جمله پنمن-مانتیث-فائو، بلانی-کریدل، هارگریوز (Hargreaves)، لینیاکر (Linacre)، رومانکو (Romanenko)، پرستلی-تیلور و تورک (Turk)، میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع را برآورد نمودند. نتایج نشان داد که معادله پنمن-مانتیث-فائو در برآورد میزان تبخیر و تعرق با ضریب تبیین ۰/۷۷ و خطای RMSE کمتر نسبت به سایر روش‌ها تطابق بیشتری با داده‌های اندازه‌گیری شده و روش لینیاکر با بیشترین خطا کمترین تطابق را با داده‌های اندازه‌گیری شده از لایسیمتر را دارد. کهخامقدم (۱۳۹۷) مقادیر میانگین ماهانه تبخیر و تعرق گیاه مرجع را با استفاده از ۳۰ مدل تعیین نمودند و گزارش کردند که تبخیر و تعرق محاسبه شده از معادله اشنايدر (Snyder)، هارگریوز-۴ (Hargreaves-4)، تورک و همچنین دالتون (Dalton) به ترتیب از روش‌هایی که بر پایه ضریب تشت، دما، تشعشع و انتقال جرم هستند، با کمترین درصد خطا از هر گروه، بهترین برآورد را نشان دادند. به‌طورکلی، روش‌های بر پایه انتقال جرم از نظر آماری ضعیف‌ترین عملکرد را نسبت



شکل ۲ - روند تغییرات تبخیر و تعرق مرجع

تبخیر تعرق (نیاز آبی) گیاه کینوا (ETc)

تبخیر و تعرق گیاه کینوا از معادله‌ی بیلان آب محاسبه و پارامترهای معادله بیلان و مقدار تبخیر و تعرق در دوره بیلان (۱۰ روزه) محاسبه گردید و در نهایت با تقسیم آن بر تعداد روزهای موجود در دور، تبخیر و تعرق گیاه به صورت روزانه به دست آمد (جدول ۴). میزان کل تبخیر و تعرق گیاه کینوا در لایسمترهای یک، دو و سه به ترتیب معادل ۵۶۰/۲۲، ۵۳۵/۵۷ و ۵۶۴/۶۱ میلی‌متر در طول فصل رشد آن تعیین گردید که این مقدار در بازه‌ی زمانی هفت اردیبهشت ماه ۱۳۹۹ الی یک شهریور ماه ۱۳۹۹ اندازه‌گیری شد. در نتیجه با توجه به تعیین نیاز آبی از تبخیر و تعرق گیاه، می‌توان بیان نمود که نیاز آبی گیاه کینوا در طول فصل رشد در شهرستان بیرجند ۵۵۳۴/۶۷ مترمکعب در هکتار بود. نتایج فوق با نتایج سامانه نیاز آبی گیاهان کشور (۱۴۰۱) در شهرستان بیرجند ۵۴۴ میلی‌متر (میزان تبخیر و تعرق) و ۵۴۷۰ مترمکعب در هکتار (نیاز آبی)، منطبق است. در سایر مطالعات نیز تبخیر و تعرق گیاه کینوا و نیاز آبی آن، برآورد گردیده است. گارسیا و همکاران (۲۰۰۳)، میزان کل ETc کینوا را در بولیوی ۴۵۰ میلی‌متر در طول فصل رشد گزارش نمودند. آن‌ها میزان تبخیر و تعرق گیاهی کینوا را در ۹ مرحله فنولوژیکی گیاه شامل مراحل سبز شدن (هفته ۱-۳)، چهار برگ‌گی واقعی (هفته ۴)، رشد رویشی (هفته ۵-۶)، تشکیل جوانه گل (هفته ۶-۷)،

گلدهی (هفته ۸)، پایان گلدهی (هفته ۹-۱۰)، دانه شیری (هفته ۱۱-۱۲)، دانه خمیری (هفته ۱۳-۱۴) و رسیدگی فیزیولوژیکی (هفته ۱۵) مورد بررسی قرار دادند و میزان آن را به ترتیب ۲/۸۰، ۲/۷۷، ۳/۱۲، ۳/۳۲، ۴/۲۱، ۴/۵۴، ۴/۷۱، ۴/۰۸ و ۳/۲۵ میلی‌متر در روز گزارش نمودند. در مطالعه آلوگوسی و همکاران (۲۰۱۷) نیز نیاز آبی گیاه کینوا را در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس به ترتیب ۵۱۵، ۸۶۰، ۱۱۴۰ و ۵۱۴/۲۵ مترمکعب در هکتار گزارش نمودند که در نهایت مجموع نیاز آبی کینوا ۳۰۲۹/۲۵ مترمکعب در هکتار بود که از نیاز آبی گندم کمتر است. آن‌ها همچنین بیان نمودند که نیاز آبی کینوا با کاهش در مقدار آبیاری تغییر می‌نماید به نحوی که در تیماری که هر چهار روز یکبار آبیاری می‌گردد، میزان آب مصرفی ۶۹۲۱ مترمکعب در هکتار، در آبیاری به صورت هفته‌ای یکبار، به میزان ۳۹۵۵ مترمکعب در هکتار و در آبیاری هر دو هفته یکبار به میزان ۱۸۴۶ مترمکعب در هکتار بود. سلیم و همکاران (۲۰۱۹)، میزان تبخیر و تعرق روزانه کینوا و همچنین تبخیر و تعرق مرجع (میلی‌متر در روز) به کمک سه روش، مورد بررسی قرار دادند. میانگین تبخیر و تعرق مرجع (ETo) برای روش تشت تبخیر در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل و می به ترتیب ۲/۴، ۳/۶۲، ۵/۶۹ و ۷/۵۲ میلی‌متر در روز در روش دورنبوس و پرویت (۱۹۷۷) به ترتیب ۲/۴۷، ۳/۶۳، ۳/۷۵ و ۷/۵۷ میلی‌متر در روز و در روز فائو

پنمن - مانتیث به ترتیب ۳/۲۶، ۴/۸۲، ۵/۷۵ و ۱۰/۷۱ میلی متر در روز محاسبه شد. میانگین تبخیر و تعرق روزانه کینوا (ETc) در ماه‌های مورد بررسی نیز به ترتیب ۱/۶، ۱/۵، ۴، ۴/۱ به دست آمد. براساس مطالعه امداد و همکاران (۱۴۰۱) که در بازه ۹۰ روزه در استان البرز اجرا گردید، میزان تبخیر و تعرق گیاه کینوا رقم تی تی کاکا در شرایط شاهد (آبیاری پس از ۳۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک: T₁) به ترتیب ۳۲۰ و ۳۴۵ میلی متر در سال اول و دوم آزمایش بود.

ضریب گیاهی یک جزئی (Kc)

با در اختیار داشتن تبخیر و تعرق گیاهی حاصل از داده‌های لایسیمتر و همچنین تبخیر و تعرق مرجع که با سه روش محاسبه شده بود ضریب گیاهی کینوا بر پایه این سه روش به صورت روزانه محاسبه گردید. دوره رشد کینوا در لایسیمتر به چهار مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی تقسیم بندی شد که ضریب گیاهی یک جزئی کینوا در طول مراحل مختلف رشد در جدول ۵ ارائه شده است. مطابق مطالعه قمرنیا و همکاران (۱۳۹۱)، دوره رشد گیاه به صورت استاندارد به چهار مرحله اولیه (جوانه زنی تا ۱۰ درصد رشد گیاه)، مرحله توسعه (۱۰ درصد رشد تا شروع گلدهی)، مرحله میانی (آغاز گلدهی تا رسیدن محصول) و مرحله پایانی (انتهای مرحله میانی تا برداشت محصول) تقسیم شد که ارزیابی مراحل به صورت چشمی و زمانی که ۵۰ درصد جامعه گیاهی به آن مرحله رسیده بودند، انجام شد. در دوره اولیه رشد به دلیل اینکه میزان ضریب گیاهی وابسته به توان تبخیرکنندگی اتمسفر است، در نتیجه عدد آن (به ترتیب ۰/۴۲۴ در روش پنمن - مانتیث - فائو، ۰/۵۴۳ در روش بلانی - کریدل و ۰/۴۰۲ در روش پریستلی - تیلور) کمتر است. در دوره توسعه رشد، ضریب گیاهی تحت تأثیر شرایط اقلیمی و خصوصیات گیاهی است. دوره میانی رشد، اثر مدیریت آبیاری

و عملیات زراعی در این ضریب تأثیرگذار است. در دوره پایانی رشد، بدلیل اینکه گیاه تا زمان نزدیک به برداشت آبیاری انجام گردید در نتیجه لایه خاک سطحی مرطوب بوده و با توجه به اینکه علاوه بر تعرق، تبخیر هم در تعیین نیاز آبی مؤثر است، در نتیجه میزان ضریب گیاهی ۰/۷۰۶ در روش پنمن - مانتیث - فائو، ۰/۸۲۲ در روش بلانی - کریدل و ۰/۶۸۵ در روش پریستلی - تیلور به دست آمد. نتایج فوق نشان می دهد که بر اساس روش بلانی - کریدل نمی توان ضریب گیاهی استاندارد تولید نمود زیرا داده تبخیر و تعرق مرجع برای این منطقه پایین است.

آلگوسی و همکاران (۲۰۱۷) نیز از طریق جمع نمودن ضریب پایه گیاه و ضریب تبخیر، ضریب گیاهی را در طی فصل رشد محاسبه و بیان نمودند که مقدار آن در مرحله اول (دوره ۲۱ روزه)، مرحله دوم (دوره ۲۵ روزه)، مرحله سوم (دوره ۴۰ روزه) و مرحله چهارم رشد کینوا (دوره ۲۱ روزه) به ترتیب برابر با ۰/۵، ۰/۶، ۱ و ۰/۲۵ بود. سلیم و همکاران (۲۰۱۹) نیز ضریب گیاهی کینوا را در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل و می به ترتیب ۰/۶۷، ۰/۴۱، ۰/۷۰ و ۰/۵۵ گزارش نمودند. تلاهیگ و همکاران (۲۰۱۷) ضریب گیاهی کینوا را در چهار مرحله ابتدایی (۱۵ روز)، توسعه (۵۰ روز)، میانه فصل (۵۰ روز) و انتهای فصل (۴۵ روز) به ترتیب ۰/۱۴، ۰/۱۴، ۱/۱۴ الی یک، یک و همچنین یک الی ۰/۶ گزارش نمودند. جمالی و همکاران (۱۴۰۰) به نقل از طالب نژاد و سپاس خواه (۲۰۱۵) میزان ضریب گیاهی کینوا را در سه مرحله ابتدایی، میانه و انتهایی به ترتیب ۰/۵۵، ۱/۲ و ۰/۷۵ گزارش نمودند. براساس نتایج بدست آمده در مطالعه تافته و امداد (۱۴۰۰) بر روی کینوا، به طور کلی در دو سال مورد آزمایش، دوره رشد اولیه ۲۰ روز، دوره توسعه ۳۰ روز، دوره میانی ۲۸ روز و دوره پایانی ۱۲ روز تعیین شد؛ بنابراین کل دوره رشد این گیاه در منطقه مشکین دشت (استان البرز) ۹۰ روز اندازه گیری شد

جدول ۳- میانگین اطلاعات هواشناسی و اجزاء معادلات تبخیر و تعرق مرجع به صورت هفتگی

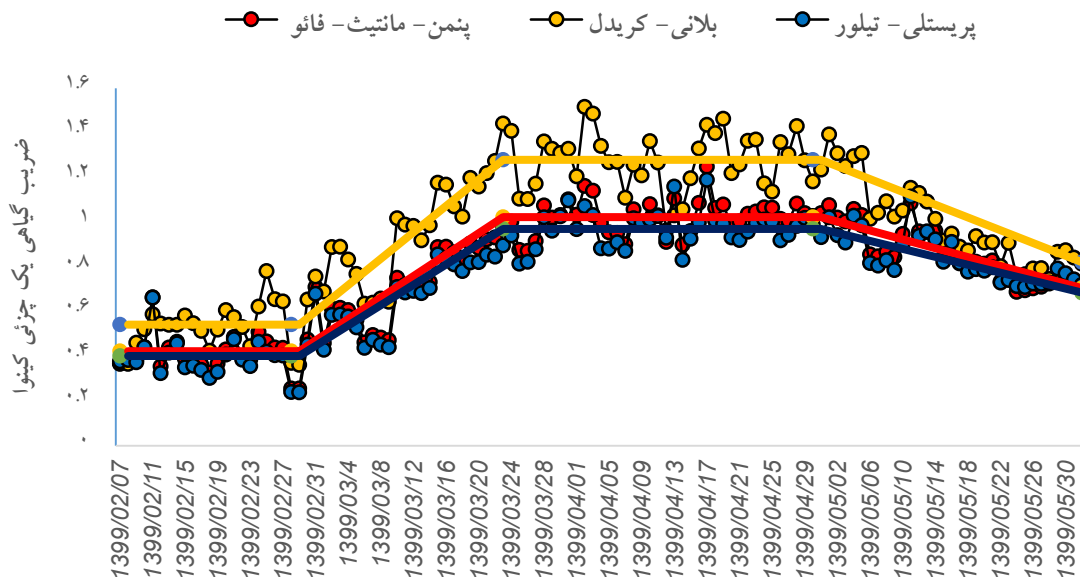
ردیف	اجزاء اصلی معادلات										اطلاعات هواشناسی			
	n/N (hr)	B	a	λ (MJ/km)	γ (kpa/c)	Δ (kpa/c)	U_2 (m/s)	$e_s - e_a$ (kpa)	R_n (MJ m ⁻² d ⁻¹)	سرعت باد (m s ⁻¹)	ساعت آفتابی (hr)	متوسط دما (°C)	دمای حداکثر (°C)	دمای حداقل (°C)
۱	۰/۳۰۰	۱/۰۲	-۱/۶۴	۲/۴۵۳	۰/۰۵۶۴	۰/۱۴۷	۱/۶۲۹	۰/۸۶۰	۱۲/۹۷۴	۴/۳۹	۸/۵۴	۲۰/۲۰	۲۷/۲۹	۱۳/۱۱
۲	۰/۳۱۰	۱/۰۰	-۱/۶۷	۲/۴۵۲	۰/۰۵۶۴	۰/۱۵۱	۱/۲۵۶	۱/۰۲۹	۱۵/۸۳۱	۳/۴۱	۱۱/۰۶	۲۰/۷۷	۲۹/۳۱	۱۲/۲۳
۳	۰/۳۱۰	۱/۰۲	-۱/۶۸	۲/۴۵۴	۰/۰۵۶۴	۰/۱۴۸	۱/۴۰۴	۰/۹۷۱	۱۵/۷۸۱	۳/۷۹	۱۱/۱۷	۲۰/۱۱	۲۸/۴۰	۱۱/۸۱
۴	۰/۳۱۰	۰/۹۹	-۱/۶۶	۲/۴۵۴	۰/۰۵۶۴	۰/۱۴۳	۱/۳۰۴	۱/۰۱۷	۱۵/۲۴۹	۳/۵۲	۱۰/۷۴	۱۹/۸۱	۲۸/۸۹	۱۰/۷۴
۵	۰/۳۲۰	۱/۰۴	-۱/۶۸	۲/۴۴۵	۰/۰۵۶۶	۰/۱۷۶	۱/۴۳۷	۱/۳۱۰	۱۷/۲۴۵	۳/۸۸	۱۲/۷۴	۲۳/۶۶	۳۳/۱۹	۱۴/۱۴
۶	۰/۳۲۰	۱/۰۷	-۱/۷۰	۲/۴۳۸	۰/۰۵۶۷	۰/۲۰۴	۱/۵۴۳	۱/۵۸۲	۱۸/۱۶۱	۴/۱۶	۱۲/۴۶	۲۶/۴۹	۳۶/۵۰	۱۶/۴۷
۷	۰/۳۲۰	۱/۰۶	-۱/۷۰	۲/۴۴۲	۰/۰۵۶۷	۰/۱۹۱	۱/۴۹۶	۱/۳۴۸	۱۸/۳۰۸	۴/۰۴	۱۲/۷۴	۲۵/۱۳	۳۴/۰۴	۱۶/۲۱
۸	۰/۳۲۰	۱/۰۸	-۱/۷۱	۲/۴۳۳	۰/۰۵۶۹	۰/۲۳۱	۱/۵۶۹	۱/۷۹۷	۱۸/۴۴۵	۴/۲۳	۱۲/۲۹	۲۸/۸۹	۳۸/۸۷	۱۸/۹۱
۹	۰/۳۲۰	۱/۰۶	-۱/۷۰	۲/۴۳۴	۰/۰۵۶۸	۰/۲۲۷	۱/۵۳۰	۱/۵۶۲	۱۸/۶۹۰	۴/۱۳	۱۲/۳۴	۲۸/۵۸	۳۷/۱۱	۲۰/۰۴
۱۰	۰/۳۲۰	۱/۱۲	-۱/۶۹	۲/۴۳۳	۰/۰۵۶۹	۰/۲۳۱	۲/۰۳۳	۱/۵۹۵	۱۷/۱۸۹	۵/۴۸	۱۰/۹۹	۲۸/۹۳	۳۷/۵۰	۲۰/۳۶
۱۱	۰/۳۱۵	۱/۰۸	-۱/۶۹	۲/۴۴۰	۰/۰۵۶۷	۰/۱۹۶	۱/۸۱۳	۱/۲۹۰	۱۷/۶۸۸	۴/۸۹	۱۲/۳۷	۲۵/۷۲	۳۳/۸۳	۱۷/۶۱
۱۲	۰/۳۱۵	۱/۰۳	-۱/۶۸	۲/۴۳۶	۰/۰۵۶۸	۰/۲۱۶	۱/۵۳۰	۱/۳۸۲	۱۷/۳۳۷	۴/۱۳	۱۱/۴۴	۲۷/۵۶	۳۵/۳۹	۱۹/۷۴
۱۳	۰/۳۱۵	۱/۱۰	-۱/۶۹	۲/۴۳۵	۰/۰۵۶۸	۰/۲۲۱	۱/۸۷۷	۱/۴۶۹	۱۸/۳۹۱	۵/۰۶	۱۲/۶۰	۲۸/۰۴	۳۶/۲۶	۱۹/۸۱
۱۴	۰/۳۱۰	۱/۰۹	-۱/۶۸	۲/۴۳۵	۰/۰۵۶۸	۰/۲۲۰	۱/۹۲۰	۱/۴۴۶	۱۷/۳۴۴	۵/۱۸	۱۱/۹۰	۲۷/۹۶	۳۶/۰۳	۱۹/۸۹
۱۵	۰/۳۰۰	۱/۰۹	-۱/۶۷	۲/۴۳۴	۰/۰۵۶۸	۰/۲۲۵	۱/۸۵۴	۱/۵۷۶	۱۵/۸۲۲	۵/۰۰	۱۱/۶۴	۲۸/۴۱	۳۷/۱۳	۱۹/۷۰
۱۶	۰/۳۰۰	۱/۱۰	-۱/۶۸	۲/۴۳۴	۰/۰۵۶۸	۰/۲۲۴	۱/۸۵۶	۱/۵۶۷	۱۶/۲۰۲	۵/۰۱	۱۲/۱۶	۲۸/۲۹	۳۷/۰۱	۱۹/۵۷
۱۷	۰/۳۰۰	۱/۰۹	-۱/۶۸	۲/۴۳۴	۰/۰۵۶۸	۰/۲۲۳	۱/۷۴۸	۱/۷۵۱	۱۵/۵۶۰	۴/۷۱	۱۱/۷۰	۲۸/۲۰	۳۸/۳۱	۱۸/۰۹

جدول ۴- میانگین هفتگی تبخیر و تعرق مرجع، تبخیر و تعرق گیاه کینوا

هفته	میانگین ETc (mm/day)	ETo محاسباتی (mm/day)		
		پنمن-مانتیت-فائو	بالانی-کریدل	پریستلی-تیلور
۱	۱/۸۱۰	۴/۳۳۳	۳/۸۴۶	۴/۴۳۷
۲	۱/۹۹۵	۵/۱۶۶	۳/۷۶۶	۵/۵۵۱
۳	۲/۲۵۳	۵/۰۸۲	۳/۸۰۳	۵/۴۵۶
۴	۲/۳۴۳	۴/۹۶۸	۳/۵۶۶	۵/۲۵۶
۵	۳/۲۷۵	۵/۹۸۰	۴/۴۱۸	۶/۳۳۵
۶	۵/۲۴۴	۶/۶۱۰	۵/۰۱۹	۶/۹۳۷
۷	۵/۸۵۳	۶/۳۷۱	۴/۷۳۵	۶/۸۷۸
۸	۶/۸۲۰	۶/۹۴۵	۵/۴۹۷	۷/۲۴۶
۹	۶/۹۲۹	۶/۷۹۴	۵/۲۹۹	۷/۳۱۹
۱۰	۶/۶۶۲	۶/۶۰۰	۵/۷۴۳	۶/۷۲۲
۱۱	۶/۶۲۲	۶/۲۶۱	۴/۹۹۵	۶/۶۸۲
۱۲	۶/۴۹۷	۶/۲۱۰	۴/۹۹۹	۶/۶۷۷
۱۳	۶/۹۸۲	۶/۷۲۳	۵/۴۷۵	۷/۱۵۵
۱۴	۵/۹۳۳	۶/۴۴۴	۵/۴۰۷	۶/۷۲۱
۱۵	۵/۳۷۴	۶/۰۷۰	۵/۴۹۲	۶/۱۲۲
۱۶	۴/۷۲۶	۶/۱۹۷	۵/۵۳۲	۶/۲۷۲
۱۷	۴/۴۶۳	۶/۱۱۳	۵/۴۶۳	۶/۰۰۱
جمع کل	۵۵۳/۴۷	۷۲۰/۰۹	۵۸۱/۳۹	۷۵۴/۳۹

جدول ۵- محاسبه ضریب گیاهی یک گانه کینوا

مراحل رشد	طول دوره (روز)	میانگین ضریب گیاهی بر پایه روش		
		پنمن-مانتیت-فائو	بالانی-کریدل	پریستلی-تیلور
ابتدایی	۲۱	۰/۴۲۴	۰/۵۴۳	۰/۴۰۲
توسعه	۲۶	۰/۶۶۳	۰/۸۸۴	۰/۶۲۵
میانی	۳۸	۱/۰۲۴	۱/۲۸۰	۰/۹۷۱
انتتهایی	۳۴	۰/۷۰۶	۰/۸۲۲	۰/۶۸۵



شکل ۳- روند تغییرات ضریب گیاهی یک جزئی کینوا

نتیجه گیری کلی

فصل رشد محاسبه شد. همچنین مقدار ضریب گیاهی کینوا (Kc) چهار مرحله رشد بر پایه محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش پنمن-مانتیث-فائو به ترتیب برابر با ۰/۴۲۴، ۰/۶۶۳، ۱/۰۳۴ و ۰/۷۰۶، به روش بلانی-کریدل به ترتیب ۰/۵۴۳، ۰/۸۸۴، ۱/۲۸۰ و ۰/۸۲۲ و به روش پرستلی-تیلور به ترتیب ۰/۴۰۲، ۰/۶۲۵، ۰/۹۷۱ و ۰/۶۸۵ بود. در نتیجه روش پنمن-مانتیث-فائو، به عنوان بهترین روش، می تواند ملاکی برای تعیین ضریب تبخیر و تعرق مرجع در منطقه قرار گیرد ولی روش بلانی-کریدل نیاز به واسنجی در منطقه دارد.

مجموع میزان تبخیر و تعرق مرجع به روش پنمن-مانتیث-فائو (ETO) ۷۲۰/۰۹ میلی متر، به روش بلانی-کریدل، ۵۸۱/۳۹ میلی متر و به روش پرستلی-تیلور، ۷۵۴/۳۹ میلی متر در طول فصل رشد بدست آمد. داده های حاصل از روش پنمن-مانتیث-فائو با روش پرستلی-تیلور دارای همبستگی بیشتری بود. براساس داده های لایسمتری، مجموع تبخیر و تعرق گیاه کینوا (ETc) ۵۵۳/۴۷ میلی متر در طول

فهرست منابع

۱. ابراهیمی پاک، ن.ع.، آ.، تافته، ا.، آگدرنژاد، و ص.، اسدی کپورچال. ۱۳۹۷. تعیین ضرایب تبخیر و تعرق ماهانه گندم با استفاده از روش های مختلف تخمین تبخیر و تعرق و تشت تبخیر در دشت قزوین. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۸ (۳۲): ۱۰۷-۱۲۱.
۲. احمدپری، ه.، م. صفوی گردینی، و م.، ابراهیمی. ۱۳۹۸. انتخاب روش مناسب برآورد تبخیر تعرق مرجع در شرایط کمبود داده های هواشناسی (مطالعه موردی شهرستان خرمبید در استان فارس). نشریه مدیریت زراعی. ۷ (۲): ۲۲۳-۲۳۰.
۳. استادی، ا.، ع. خاشعی سیوکی، و ا.، سالاری. ۱۴۰۰. برآورد ضرایب گیاهی مراحل مختلف رشد و مقدار نیاز آبی گیاه دارویی سیاهدانه در منطقه خشک بیرجند. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۵ (۳): ۲۷۷-۲۸۷.

۴. امامقلی‌زاده مینایی، م. ۱۳۸۵. بررسی شرایط آب و هوایی شمال استان آذربایجان غربی به منظور کشت زیتون و پهنه بندی زراعی آن منطقه، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز.
۵. امداد، م.ر.، آ، تافته.، و ن.ع، ابراهیمی‌پاک. ۱۴۰۱. کارایی مد آکواکراپ در شبیه‌سازی عملکرد کینوا در مدیریت-های مختلف کم آبیاری. نشریه آب و خاک. ۳۶(۳): ۳۱۹-۳۳۱.
۶. امیری، م.، و ح.ر، پورقاسمی. ۱۳۹۸. مقایسه روش‌های مختلف تبخیر و تعرق پتانسیل و بررسی تغییرات زمانی-مکانی آن در حوزه آبخیز مهارلو، استان فارس با استفاده از GIS. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. ۱۰(۱۹): ۲۲-۳۴.
۷. باقری، م. ۱۳۹۷. دستنامه زراعت کینوا. انتشارات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. چاپ اول. ۴۸ صفحه.
۸. پیرمردیان، ن.، ف، ذکری.، م، رضایی.، و و، عبداللهی. ۱۳۹۲. استخراج ضرایب گیاهی سه رقم برنج برا پایه روش برآورد تبخیر و تعرق مرجع منطقه رشت. تحقیقات غلات. ۳(۲): ۹۵-۱۰۶.
۹. تافته، آ.، و م.ر، امداد. ۱۴۰۰. تعیین ضرایب حساسیت عملکرد محصول نسبت به آب (Ky) در مدیریت‌های کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه کینوا. نشریه مدیریت آب در کشاورزی. ۸(۲): ۱۰۱-۱۱۶.
۱۰. جمالی، ص.، ح، انصاری.، و س.م، زین‌الدین. ۱۴۰۰. ارزیابی اثر کود نیتروژن و روش‌های آبیاری جویچه‌ای یک درمیان بر کارایی کاربرد آب در کشت گیاه کینوا. مدیریت آب و آبیاری. ۱۱(۲): ۹۹-۱۱۲.
۱۱. حقیقی، ب. ۱۳۹۲. گزارش طرح ترویجی بهبود مدیریت و مصرف بهینه آب در فرآیند تولید محصولات کشاورزی. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری. ۳۳ صفحه.
۱۲. سامانه نیاز آبی گیاهان کشور (مؤسسه تحقیقات خاک و آب). ۱۴۰۱. <http://niwr.ir/Login.aspx>. {برخط: ۲۰ آبان ۱۴۰۱}
۱۳. سلجوقی، ش.، م، سالارپور.، م، احمدپور برازجانی.، و ع، سرگزی. ۱۴۰۰. تعیین الگوی بهینه کشت با تأکید بر محدودیت منابع آب در شهرستان ارزوئیه. اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۲۹(۱۱۳): ۹۳-۱۱۶.
۱۴. شرقی، ط.، ح، بری ابرقویی.، م.ا، اسدی.، و م.ر، کوثری. ۱۳۸۹. برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش فائو- پنمن- مانتیث و پهنه‌بندی آن در استان یزد. فصلنامه علمی- پژوهشی خشکبوم. ۱: ۲۵-۳۲.
۱۵. صمدزاده، ع.ر.، غ.ر، زمانی.، و ح.ر، فلاحی. ۱۳۹۹. امکان سنجی تولید گیاه جدید کینوا در شرایط اقلیمی خراسان جنوبی تحت تأثیر تاریخ و تراکم کاشت. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی. ۳۳(۱): ۸۲-۱۰۴.
۱۶. عابدی کوپایی، ج.، س.س، اسلامیان.، و م.ج، امیری. ۱۳۸۷. مقایسه چهار روش تخمین تبخیر و تعرق سطح مرجع با داده‌های میکرو لایسیمتری در منطقه اصفهان. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۱ بهمن- تهران.
۱۷. علی‌آبادی، م. م. ح. نجفی‌مود.، ع، خاشعی‌سیوکی.، و ع، شهیدی. ۱۴۰۰. تعیین نیاز آبی و ضرایب یک گانه و دوگانه گیاهی خاکشیر (*Descurainia sophia* L.) با استفاده از روش لایسیمتری. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه بیرجند. ۱۱۰ صفحه.

۱۸. عزیززاده، ا.، غ.ع.، کمالی، م.ج.، خانجانی، و.م.ر.، رهنورد. ۱۳۸۳. ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق در مناطق خشک ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۹: ۹۷-۱۰۵.
۱۹. قمرنیا، ه.، و ف.، موسی‌بیگی. ۱۳۹۳. برآورد نیاز آبی، ضرایب گیاهی یک جزئی و دو جزئی نعنا فلفلی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۸: ۶۷۰ - ۶۷۸.
۲۰. قمرنیا، ه.، ا. میری، م.، جعفری‌زاده، و.م.ا.، قبادی. ۱۳۹۱. تعیین نیاز آبی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) به روش لایسیمتری در منطقه‌ای با اقلیم خشک و نیمه خشک. مجله علوم مهندسی و آبیاری. ۳۵ (۴): ۷۵-۸۲.
۲۱. قوام‌سعیدی نوقابی، س.، ع.، شهیدی، و ح.، حمای. ۱۳۹۹. برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی شاهدانه در مراحل مختلف رشد در دشت بیرجند. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۴ (۴): ۵۶۳-۵۷۳.
۲۲. کهخامقدم، پ. ۱۳۹۷. ارزیابی مدل‌های تبخیر و تعرق مرجع برای اقلیم گرم و خشک (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک زاهدان). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۵ (۱): ۳۰۹ - ۳۱۷.
۲۳. محمدی، ا.، م.ح.، نجفی مود.، ع.، خاشعی سیوکی، و ع.، شهیدی. ۱۳۹۹. تعیین ضرایب گیاهی گل نرگس به روش لایسیمتری در دشت بیرجند. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۴ (۴): ۵۹۱-۶۰۱.
۲۴. میرموسوی، ح.، ح.، پناهی، ح.، اکبری، و ی.، اکبرزاده. ۱۳۹۱. واسنجی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_o) و محاسبه‌ی نیاز آبی گیاه (ET_c) زیتون در استان کرمانشاه. جغرافیا و پایداری محیط، ۳: ۶۴-۴۵.
۲۵. نامداریان، ک.، ع.ع.، ناصری، ز.، ایزدپناه.، و ع.، ملکی. ۱۳۹۵. برآورد ضریب گیاهی نخود با استفاده از لایسیمتر در منطقه خرم آباد. مجله پژوهش آب ایران. ۱۰ (۲): ۱۱۸-۱۲۳.
۲۶. هاشمی‌نسب خبیصی، ف.، م.، موسوی بایگی، و ب.، بختیاری. ۱۳۹۶. برآورد تبخیر و تعرق واقعی و ضرایب یک جزئی و دوجزئی گیاه دارویی همیشه بهار در منطقه کرمان. علوم و مهندسی آبیاری. ۴۰ (۳): ۱۰۹-۱۲۱.
۲۷. هاشمی‌نیا، س.م. ۱۳۸۵. مدیریت آب در کشاورزی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ دوم، ۵۳۵ صفحه.
28. Adolf, V.I., S, Shabala., M.n, Andersen., F, Razzaghi., and S.E, Jacobsen. 2012. Varietal differences of quinoa's tolerance to saline conditions. Plant Soil. 357:117-129.
29. Algosaiibi, A.M., A.E, Badran., A.M, Almadini., and M, El-Garawany. 2017. The effect of irrigation intervals on the growth and yield of quinoa crop and its components. Journal of Agricultural Science. 9 (9): 183-191.
30. Allen R, Pruitt W O (1991) FAO-24 reference evapotranspiration factors. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE 117(5):758-773.
31. Allen, R.G., L.S, Pereira., D, Raes., and M, Smith. 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.
32. Bazile, D., C, Pulvento., A, Verniau., M.S, Al-Nusairi., D, Ba., J, Breidy., L, Hassan., M.I, Mohammed., O, Mambetov., M, Otambekova., N.A, Sepahvand., A, Shams, D, Souici., K, Miri., and S, Padulosi. 2016 b. Worldwide Evaluations of Quinoa: Preliminary results from post international year of quinoa FAO projects in nine countries. Frontiers in plant science. 7: 1-18.
33. Doorenbos, J., and W.O, Pruitt. 1977. Guideline for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, Paper No. 24, Rome, Italy. pp: 193.
34. Food and Agriculture Organization. 2019. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. [Online: 2 July 2019].

35. Garcia, M., D, Raes., and S.E, Jacobsen. 2003. Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. *Agricultural Water Management*. 60: 119–134.
36. Jacobsen, S.E., F, Liu., and C.R, Jensen. 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Horticultural*, 122(2), 281–287.
37. Jin-Fa Chen, J.F., H.F, Yeh., CH.H, Lee., and W.H, Lo. 2005. Optimal Comparison of Empirical Equations for Estimating Potential Evapotranspiration in TAIWAN, XXXI IAHR Congress, Seoul, Korea.
38. Priestley, C.H.B., and R.J, Taylor. 1972. On the assessment of the surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Monthly Weather Review*. 100: 81–92.
39. Razzaghi, F., F, Plauborg., S.E, Jacobsen., C.R, Jensen., and M.N, Andersen. 2012. Effect of nitrogen and water availability of three soil types on yield, radiation use efficiency and evapotranspiration in field-grown quinoa. *Agricultural Water Management*. 109: 20–29.
40. Ruiz, K.B., S, Biondi, R, Oses., I.S, Acuña-Rodríguez., F, Antognoni., E.A, Martinez-Mosqueira., A, Coulibaly., A, Canahua-Murillo., M, Pinto., A, Zurita-Silva., D, Bazile., S.E, Jacobsen., and M.A, Molina-Montenegro. 2014. Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 34: 349-359.
41. Salim, S., I, Al-Hadeethi., and S, Juper Alobaydi. 2019. Role of irrigation scheduling and potassium fertilization on soil moisture depletion and distribution of quinoa root (irrigation scheduling fertilization and their effect on moisture depletion and yield). *Plant Archives*. 19(2): 3844-3852.
42. Suleiman, A.A., and G, Hoogenboom. 2009. A comparison of ASCE and FAO-56 reference evapotranspiration for a 15-min time step in humid climate conditions. *Journal of Hydrology*. 375: 326–333.
43. Telahigue, D., L, Yahia., F, Aljane., KH, Belhoucett., and L, Toumi. 2017. Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. *Journal of Scientific Agriculture*, 1: 222-232.

شناسایی ویژگی‌های مؤثر بر هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با استفاده از روش‌های انتخاب ویژگی

مسعود پورغلام آمیجی، خالد احمدآلی^۱ و عبدالمجید لیاقت

دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. Mpourgholam6@ut.ac.ir

استادیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. Khahmadauli@ut.ac.ir

استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. Aliaghat@ut.ac.ir

دریافت: دی ۱۴۰۱ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۱

چکیده

این پژوهش با هدف انتخاب ویژگی‌های مهم برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری تحت فشار با استفاده از داده‌های ۵۱۵ پروژه آبیاری قطره‌ای در چهار بخش شامل هزینه ایستگاه پمپاژ و سامانه کنترل مرکزی (TCP)، هزینه لوازم داخل مزرعه (TCF)، هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TCI) و هزینه کل (TCT) انجام شد. در مرحله اول بانک اطلاعاتی شامل ۳۹ متغیر تأثیرگذار در هزینه بخش‌های یادشده، تهیه و قیمت تمام پروژه‌ها (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸) برای سال پایه ۱۴۰۰ به‌روزرسانی شد. سپس انتخاب ویژگی با الگوریتم‌های مختلف در محیط MATLAB و در دو بخش شامل (۱) کل ویژگی‌ها (ویژگی‌های قبل از طراحی و ویژگی‌های بعد از آن شامل ۳۹ ویژگی) و (۲) ویژگی‌های قبل از مرحله طراحی (شامل ۱۸ ویژگی) انجام شد. نتایج انتخاب ویژگی نشان داد که مقادیر RMSE و R^2 برای بخش کل ویژگی‌ها به ترتیب برابر با ۰/۰۰۷ و ۰/۹۲ و برای بخش ویژگی‌های قبل از طراحی به ترتیب برابر ۰/۰۰۳ و ۰/۸۹ است. از بین الگوریتم‌های مختلف برای انتخاب ویژگی، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و الگوریتم‌های بهینه‌سازی (Wrapper) به ترتیب عنوان بهترین یادگیرنده و روش انتخاب ویژگی شناسایی شدند. نتایج معیارهای ارزیابی نشان داد که دو الگوریتم LCA و FOA برآورد مناسبی را به دست دادند و معیار خطای آن در بخش کل ویژگی‌ها به ترتیب ۰/۰۰۲۰ و ۰/۰۰۱۸ و همبستگی آن ۰/۹۴ و ۰/۹۴ به دست آمد. در بخش ویژگی‌های قبل از طراحی نیز این معیارها به ترتیب ۰/۰۰۰۶ و ۰/۹۵ و برای هر دو الگوریتم بود. در نهایت در بخش کل ویژگی‌ها، ۱۰ مورد از ۳۹ ویژگی و در بخش ویژگی‌های قبل از طراحی، ۸ مورد از ۱۸ ویژگی به‌عنوان مؤثرترین ویژگی‌ها انتخاب شد. نتایج انتخاب مؤثرترین ویژگی‌ها که بر هزینه بخش‌های مختلف سامانه آبیاری قطره‌ای اثرگذارند، می‌تواند مدل‌سازی هزینه سامانه‌ها را ساده‌تر و سریع‌تر کرده و ضمن کاربرد در کارهای پژوهشی، در عمل نیز برآورد و مدیریت هزینه‌ها را قبل از طراحی و اجرای این طرح‌ها ممکن کند.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی اقتصادی، سامانه‌های نوین آبیاری، تحلیل حساسیت، شناخت الگو، الگوریتم‌های فراکاوشی

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

مقدمه

در کشور ایران کمتر از ۳۰ درصد اراضی فاریاب تحت پوشش سامانه‌های نوین آبیاری قرار گرفته‌اند (نعلبندان و همکاران، ۲۰۲۳) و این موضوع، اهمیت بررسی نقاط ضعف و قوت، تعیین عوامل اثرگذار بر هزینه‌های سامانه‌های مختلف آبیاری و سپس مدل‌سازی اقتصادی سامانه‌ها و به‌ویژه برآورد هزینه یک سامانه آبیاری پیش از احداث را نشان می‌دهد. از سویی یکی از مهم‌ترین نیازهای متولیان صنعت آب و همچنین کارفرمایان، مشاوران و پیمانکاران پیش‌بینی هزینه‌های پروژه‌ها در مرحله اولیه طراحی است. از آنجایی‌که توسعه سامانه‌های مختلف آبیاری تحت فشار جزء سیاست‌های راهبردی وزارت جهاد کشاورزی است، بنابراین داشتن دانش، اطلاعات و پیش‌آگاهی از عوامل مؤثر بر هزینه‌های یک سامانه آبیاری در مناطق مختلف و قبل از اجرا، کمک مؤثری به مدیریت هزینه خواهد نمود. همچنین با توجه به وسعت قابل توجه اراضی تحت پوشش آبیاری تحت فشار و همچنین پتانسیل توسعه آن در کشور، این شناسایی ویژگی‌های تأثیرگذار بر هزینه و سپس مدل‌سازی آن، در بودجه‌بندی سالانه کشور نیز نقش بسزایی ایفا خواهد کرد و توجه به آن از اهم امور است؛ بنابراین نداشتن آگاهی کامل از هزینه تمام‌شده پروژه در ابتدای کار، وجه اجتناب‌ناپذیر بیشتر پروژه‌های توسعه و ساختمانی بوده است، به‌گونه‌ای که زبده‌ترین مجریان و پیمانکاران نیز در این رابطه با مشکلاتی مواجه هستند. این‌گونه تخمین‌ها به مالکان و طراحان امکان‌پذیری انجام پروژه با اطمینان بالاتر و نیز کنترل هزینه‌های مؤثر در طراحی و اجرای پروژه را ارائه می‌دهد (پورغلام آمیجی و همکاران، ۲۰۲۱). به‌عنوان یک نتیجه‌گیری کلی در مورد روند توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار در برنامه‌های اول تا ششم توسعه کشور می‌توان مطرح کرد که مسائل اقتصادی و درواقع پرداخت تسهیلات از سوی دولت برای اجرای این سامانه‌ها به‌عنوان مهم‌ترین و همچنین تأثیرگذارترین عامل تغییر روند در مساحت سامانه‌های آبیاری اجراشده در

کشور است. در مجموع طبق آمار ارائه‌شده در آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی، از سال ۱۳۶۹ تا پایان سال ۱۳۹۸ مجموعاً ۱۹۸۷۵۴۸ هکتار سامانه نوین آبیاری تحت فشار در کشور اجراشده است. اگرچه روند توسعه کمی سامانه‌های نوین آبیاری تحت فشار به علت نوسانات اقتصادی و معادلات تجاری دست‌خوش تغییراتی شده است، اما در مجموع روند کلی سطوح اجراشده در کشور صعودی است. طبق بررسی‌ها چنانچه آمار منتهی به سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اجراشده به‌وسیله معاونت آب‌و خاک و دیگر معاونت‌ها در نظر گرفته شود، سطوح اجراشده به بیش از ۲/۴ میلیون هکتار افزایش‌یافته است (کیانی و شاکر، ۲۰۲۲).

انتخاب ویژگی (FS^۱) و پردازش داده‌ها یک مؤلفه اساسی بسیاری از مشکلات طبقه‌بندی، مدل‌سازی و رگرسیون است زیرا برخی داده‌ها اثر یکسانی دارند، برخی دارای اثر گمراه‌کننده و برخی دیگر تأثیری در طبقه‌بندی یا مشکلات رگرسیون ندارند و بنابراین انتخاب اندازه بهینه و حداقل برای ویژگی‌ها می‌تواند مفید باشد (چاندرشکار و ساهین، ۲۰۱۴؛ میائو و نیو، ۲۰۱۶؛ سولوریو-فرناندز و همکاران، ۲۰۲۰؛ التریچی و همکاران، ۲۰۲۳). از آنجایی‌که انتخاب ویژگی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات پردازش داده‌ها، یک موضوع تحقیق مهم و به‌روز در تشخیص الگو (PR^۲)، یادگیری ماشین (ML^۳) و داده‌کاوی (DM^۴) است، لذا بسیار پرکاربرد بوده و پروژه‌ها زمانی ارزشمند خواهند بود که از تکنیک انتخاب ویژگی و آنالیز حساسیت (SA^۵) در آن‌ها استفاده شود (متل و همکاران، ۲۰۲۲). با توسعه ذخیره‌سازی اطلاعات، داده‌های ورودی دارای تعداد زیادی ویژگی هستند که ممکن است شامل انبوهی از ویژگی‌های بی‌ربط و یا کم‌اهمیت باشند. ویژگی‌های غیرضروری اغلب منجر به راندمان پایین یادگیری الگوریتم و مشکل می‌شوند؛

^۱ -Feature Selection

^۲ -Pattern Recognition

^۳ -Machine Learning

^۴ -Data Mining

^۵ -Sensitivity Analysis

بنابراین، انتخاب ویژگی‌های مرتبط و لازم برای یک کار یادگیری معین، یک قدم بسیار مهم است (احمدآلی و همکاران، ۲۰۱۳؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۷؛ پازوکی و همکاران، ۲۰۲۰؛ تالوکدر و همکاران، ۲۰۲۲؛ تاخار و لوهیا، ۲۰۲۳).

استفاده از فنون و فرمول‌هایی که با استفاده از یک سری اطلاعات اولیه از طرح مورد نظر بتواند هزینه آن را برآورد کند، کمک شایانی به شرکت‌های مهندسی مشاور فعال در مهندسی آب خواهد نمود و می‌تواند به‌عنوان یک دستورالعمل جامع برای برآورد هزینه‌های احداث سامانه‌های آبیاری تحت فشار قبل از اجرای آن مورد استفاده قرار گیرد (پورغلام آمیجی و همکاران، ۲۰۲۱a)؛ بنابراین برآورد هزینه یک کار مبتنی بر تجربه است که شامل ارزیابی شرایط ناشناخته و روابط پیچیده عوامل مؤثر بر هزینه است. شبکه عصبی مصنوعی (ANN^۱)، یک فرآیند مبتنی بر قیاس است که به بهترین وجه برای برآورد هزینه مناسب است. مزایای اصلی ANN‌ها شامل توانایی آن‌ها در یادگیری با مثال (پروژه‌های گذشته) و تعمیم راه‌حل‌ها برای برنامه‌های کاربردی آینده (پروژه‌های آینده) است (آرورا و میشر، ۲۰۱۸؛ مولک، ۲۰۲۱). به‌طور کلی مکانیزمی که فناوری‌های پیشرو را هدایت کرده و باعث ظهور ابزارهای نوآورانه به‌ویژه در بخش کشاورزی می‌شود، یادگیری ماشین (ML) است (آرورا و میشر، ۲۰۱۷؛ شارما و همکاران، ۲۰۲۰؛ تسکین و همکاران، ۲۰۲۲). در همین باره، الهاگ و بوساباین (۱۹۹۸) به بررسی یک سیستم عصبی مصنوعی برای برآورد هزینه پروژه‌های ساخت‌وساز پرداختند. در این مطالعه، دو مدل ANN برای پیش‌بینی پایین‌ترین قیمت مناقصه ساختمان‌های مدارس ابتدایی و متوسطه توسعه یافت. ۳۰ پروژه در این بررسی شرکت داشتند و داده‌های مربوط به آن‌ها از پایگاه داده BCIS استخراج شد. در مدل I از ۱۳ ویژگی تعیین‌کننده هزینه استفاده شد اما در مقابل تنها چهار متغیر

ورودی در توسعه مدل II دخیل بودند. یافته‌ها نشان داد که دو مدل ANN به‌طور خوبی در مرحله آموزش یاد گرفته‌اند و در مرحله آزمون قابلیت تعمیم خوبی به دست آوردند. مدل I و II به‌ترتیب به میانگین درصد دقت ۷۹/۳ و ۸۲/۲ درصد دست یافتند. همچنین ونکتاچالم (۱۹۹۳) در برآورد هزینه نرم‌افزار با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی به چنین نتایجی دست یافتند.

مطالعه‌ای توسط کیم (۲۰۱۳) با هدف مقایسه نکات مثبت و منفی استفاده از روش‌های مختلف برآورد هزینه ساخت از جمله تحلیل رگرسیون، ANN و ماشین بردار پشتیبان (SVM^۲)، در برآورد هزینه ساخت ساختمان مدارس انجام شد و نتیجه گرفتند که مدل ANN برآورد دقیق‌تری نسبت به مدل‌های تحلیل رگرسیون و ماشین بردار پشتیبانی ایجاد کرده و نتیجه مدل برآورد تحلیل رگرسیون نیز مناسب‌تر از مدل برآورد SVM بوده است. الفکی و همکاران (۲۰۱۴) نیز یک بررسی ۱۰ ساله از فنون هوشمند در برآورد هزینه پروژه ساخت‌وساز انجام دادند و بر قابلیت بالایی ANN در شناخت، بررسی، وزن‌دهی معیارهای مهم و در نهایت تخمین اولیه و نهایی پروژه‌ها تأکید کردند. در همین رابطه، آهیاگا-داگبوی و اسمیت (۲۰۱۲) از ANN برای مدل‌سازی هزینه نهایی پروژه‌های آب استفاده کردند. بدین منظور، از داده‌های مربوط به ۹۸ پروژه ساخت‌وساز مربوط به آب در بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱ در اسکاتلند استفاده شد. مدل‌های جداگانه هزینه برای هزینه‌های هدف نرمالیزه‌شده و ورود به هزینه‌های هدف توسعه داده شد. سپس وزن متغیرها تعیین و به‌منظور بهبود عملکرد مدل نهایی مورد بررسی قرار گرفت. به‌عنوان نمونه اولیه یک تحقیق گسترده، عملکرد مدل نهایی بسیار رضایت‌بخش بود و نتایج حاکی از توانایی بالای ANN در ثبت تعامل بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و هزینه نهایی بود. همچنین روکساس و اونگ‌پنگ (۲۰۱۴) از رویکرد شبکه عصبی مصنوعی برای برآورد هزینه ساختاری پروژه‌های

^۲ -Support Vector Machine^۱ -Artificial Neural Networks

ساختمانی در فیلیپین استفاده کردند. هدف از این مطالعه، توسعه یک مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) بود که می‌تواند کل هزینه ساختاری پروژه‌های ساختمانی در فیلیپین را پیش‌بینی کند. در این مطالعه از داده‌های ۳۰ پروژه ساختمانی استفاده شد. نتایج حاکی از آن بود که مدل ANN حاصل‌شده، به‌طور منطقی کل هزینه ساختاری پروژه‌های ساختمانی را با نتایج مطلوب مرحله آموزش و آزمایش پیش‌بینی کرد. در پژوهشی یاداو و همکاران (۲۰۱۶) نیز یک مدل برآورد هزینه (CEM^۱) را با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) توسعه دادند که قادر به پیش‌بینی کل هزینه ساختاری مجتمع‌های مسکونی با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف است. در این پژوهش، داده‌های ۲۳ سال اخیر جمع‌آوری شد. مدل ANN حاصل به‌طور منطقی کل هزینه ساختاری پروژه‌های ساختمانی را با فاکتور همبستگی برابر ۰/۹۹۶۰ و R^2 برابر با ۰/۹۹۰۵ پیش‌بینی کرد که نتایج فاز آموزشی و آزمایشی مطلوبی را ارائه می‌دهد.

برآورد هزینه ساخت‌وساز پروژه‌های ساختمانی در مراحل اولیه با درجه دقت بالاتر، نقشی حیاتی در موفقیت هر پروژه ساختمانی دارد. به همین منظور، برآورد هزینه ساخت ساختمان با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی توسط چاندانشیو و کامبکار (۲۰۱۹) بررسی شد. بر اساس بررسی و بازخورد متخصصان طراحی و پیمانکاران ساخت‌وساز، مجموعه داده‌ای از ۷۸ پروژه ساخت‌وساز ساختمان از شهر بزرگ بمبئی (هند) و منطقه جغرافیایی نزدیک به آن جمع‌آوری شد. تأثیرگذارترین پارامترهای طراحی هزینه ساخت‌وساز ساختمان‌ها به‌عنوان ورودی شناسایی و اختصاص داده شد و هزینه کل اسکلت سازه نشان‌دهنده خروجی مدل‌های شبکه عصبی بود. نتایج به‌دست‌آمده از مدل شبکه عصبی آموزش‌دیده نشان داد که قادر به برآورد هزینه پروژه‌های ساختمانی در مراحل اولیه ساخت‌وساز بوده است. در تحقیق دیگری، اوموتایو و همکاران (۲۰۲۰) یک رویکرد شبکه عصبی

مصنوعی برای برآورد کاربردی‌ترین فنون کنترل هزینه پس از قرارداد (PCCTs^۲) در پروژه‌های ساختمانی ارائه کردند. هدف از این مطالعه پیشنهاد یک روش ساختاریافته پشتیبانی تصمیم برای برآورد کاربردی‌ترین PCCTها با استفاده از ANN بود و بدین منظور از داده‌های ۱۳۵ نمونه استفاده شد. ابزاری بودن شبکه‌های عصبی مصنوعی در این مطالعه، توسعه یک متدولوژی پشتیبانی تصمیم ساخت‌یافته را برای تجزیه و تحلیل مناسب‌ترین PCCTها برای استقرار در مراحل مختلف فرآیند ساخت‌وساز امکان‌پذیر کرد و معیارهای RMSE برابر ۰/۰۷۳ و RSquare برابر با ۰/۷۲۶ در مرحله صحت‌سنجی حاصل شد.

بنابراین روش‌های مختلفی برای تخمین هزینه‌ها در دسترس است. با افزایش قدرت محاسبات، اکنون تمایل به استفاده از روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین (ML) مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)، منطق فازی (FL^۳)، یادگیری عمیق (DL^۴)، الگوریتم ژنتیک (GA^۵) شامل برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP^۶) و برنامه‌ریزی ژنتیک (GP^۷) و غیره برای برآورد دقیق‌تر مدت و هزینه‌های پروژه وجود دارد که می‌تواند با وجود جزئیات ناکافی در مرحله اولیه و با داده‌های کم اما همچنان قابل اعتماد باشند و روابط غیرخطی بین عوامل هزینه و هزینه پروژه را شناسایی کنند (چنگ و همکاران، ۲۰۱۰؛ بابایی و همکاران، ۲۰۲۲). درحالی‌که استفاده از ANN برای برآورد هزینه از دید پیمانکاران به وفور مورد بررسی قرار گرفته است، مطالعات محدودی در مورد توسعه و کاربرد روش‌های مبتنی بر ML برای شرکت‌های مهندسی مشاور وجود دارد. با توجه به اینکه ماهیت محصولات / خدمات ارائه‌شده توسط شرکت‌های مهندسی مشاور ذاتاً با پیمانکاران متفاوت است (آنها انتزاعی‌تر و دارای ماده کمتری هستند) و همچنین با توجه به اینکه نوع و سطح

^۲ -Post-Contract Cost Controlling Techniques

^۳ -Fuzzy Logic

^۴ -Deep Learning

^۵ -Genetic Algorithm

^۶ -Gene Expression Programming

^۷ -Genetic Programming

^۱ -Cost Estimation Model

اتوکید و فایل اکسل مربوط به محاسبات طراحی استخراج و هزینه سامانه‌ها به دو بخش کلی هزینه ایستگاه پمپاژ و هزینه مزرعه دسته‌بندی شد. انواع متغیرهای کاندید برای ورودی مدل برآورد هزینه‌های سامانه آبیاری قطره‌ای شامل متغیرهای هندسی زمین، متغیرهای مربوط به خاک، متغیرهای مربوط به منبع آبی، متغیرهای مربوط به گیاه و اقلیم، متغیرهای مدیریت آبیاری و متغیرهای هیدرولیکی هستند که متغیرهای یادشده به شرح زیر استخراج شد:

اطلاعات عمومی طرح (استان، شهرستان، مالک، نوع محصول، نوع منبع آب، نوع انرژی و سال اجرا)، اطلاعات مربوط به منبع آبی (میزان و وضعیت حقایه، هدایت الکتریکی، اسیدیته، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کربنات و بی‌کربنات)، اطلاعات مربوط به گیاه (فاصله ردیف‌های درختان، فاصله درختان روی ردیف، حداکثر تبخیر-تعرق روزانه گیاه، سطح سایه‌انداز و عمق توسعه ریشه)، اطلاعات مربوط به خاک (ظرفیت نگهداری آب در خاک، درصد تخلیه مجاز رطوبتی، درصد سطح خیس‌شده، نفوذپذیری نهایی و جرم مخصوص ظاهری)، اطلاعات مربوط به سامانه آبیاری (دبی متوسط کارکرد، فشار متوسط کارکرد، نوع آرایش لترال‌ها، تعداد گسیلنده برای هر گیاه و فاصله گسیلنده)، اطلاعات مربوط به مدیریت آبیاری مزرعه (دور آبیاری طراحی، نیاز خالص آبیاری، نیاز ناخالص آبیاری، مدت آبیاری، حداکثر ساعات آبیاری در یک شبانه‌روز، حداکثر تعداد نوبت آبیاری در هر دور، تعداد نوبت آبیاری، مساحت متوسط هر واحد آبیاری و دبی متوسط هر واحد آبیاری)، اطلاعات مربوط به ویژگی‌های مزرعه‌ای (شکل هندسی زمین، شیب متوسط، اختلاف ارتفاع منبع آبی تا بلندترین نقطه زمین، طول لترال‌ها، قطر و طول لوله‌های اصلی، نیمه‌اصلی و مانیفولدها و اتصالات)، اطلاعات ایستگاه پمپاژ (نوع پمپ، توان موتور، ارتفاع پمپاژ، دبی پمپاژ، اتصالات و لوازم سامانه کنترل مرکزی).

جزئیات اطلاعات موجود در مرحله مناقصه تفاوت دارد، بررسی کاربرد روش‌های مبتنی بر ML برای برآورد هزینه در شرکت‌های مشاوره مهم است (لستر، ۲۰۱۷؛ الشاهتی و رادیکا، ۲۰۱۸؛ درنتی و همکاران، ۲۰۱۹؛ گرنس‌برگ و روئدا، ۲۰۲۰؛ متل و همکاران، ۲۰۲۲؛ والیولو و آدی، ۲۰۲۲). با توجه به مرور منابع ملاحظه می‌شود که در خصوص انتخاب ویژگی‌های مؤثر بر هزینه سامانه‌های آبیاری، مطالعه‌ای همانند پژوهش حاضر به شناخت ویژگی‌های مؤثر بر هزینه‌های سامانه‌های آبیاری تحت فشار نپرداخته و تأثیر تک‌تک اجزای سامانه و شناخت مهم‌ترین ویژگی‌ها اعم از بخش مزرعه‌ای و ایستگاه پمپاژ بر هزینه اولیه اجرای یک سامانه تازه‌حال بررسی نشده است. پژوهش حاضر با هدف شناسایی مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر بر هزینه بخش‌های مختلف سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در سطح کشور انجام شد. به عبارتی این تحقیق برای فرموله کردن هزینه نهایی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای انجام شده است.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش ابتدا به جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، به‌روزرسانی هزینه تمام‌شده پروژه‌ها، پیش‌پردازش داده‌ها و انتخاب ویژگی‌های برتر پرداخته‌شده و سپس آموزش و آزمایش الگوریتم‌های مختلف انتخاب ویژگی‌های مؤثر بر هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای شامل هزینه ایستگاه پمپاژ و سامانه کنترل مرکزی (TCP)، هزینه لوازم داخل مزرعه (TCF)، هزینه نصب و اجرای سامانه داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TCI) و هزینه کل (TCT) انجام شد.

جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز

در این پژوهش از آمار و اطلاعات ۵۱۵ سامانه آبیاری قطره‌ای اجراشده بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸ در نقاط مختلف کشور استفاده شد. برای هر سامانه، آمار و اطلاعات مورد استفاده از دفترچه‌های طرح، نقشه‌های

به‌روزرسانی هزینه پروژه‌ها و پیش‌پردازش داده‌ها

در پژوهش حاضر با استفاده از تورم سالانه (به‌صورت پله‌ای)، قیمت سال‌های پیشین به سال پایه تبدیل و هزینه پروژه‌های آبیاری قطره‌ای بر اساس نرخ‌های تورم برای سال ۱۴۰۰ به‌روز رسانی شد. برای پیش‌پردازش داده‌ها از روش‌های مختلف استانداردسازی، داده‌ها استاندارد شده و پس از اطمینان از تصادفی بودن داده‌ها، دسته‌بندی داده‌ها برای آموزش مدل و همچنین برای اعتبارسنجی انجام شد. در این پژوهش ۸۰ درصد از داده‌ها به‌عنوان داده‌های آموزش^۱ و ۲۰ درصد به‌عنوان داده‌های آزمایش^۲ یا آزمون در نظر گرفته شد (مسعودی سبحان‌زاده و همکاران، ۲۰۱۹). پس از استخراج متغیرهای مؤثر بر هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، در گام بعد اقدام انتخاب ویژگی‌های برتر که بیشترین تأثیر را بر مقدار خروجی مدل (هزینه) دارند، انجام شد. جدول (۱) متغیرهای کاندید برای تعیین رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته را نشان می‌دهد.

روش‌های انتخاب ویژگی

انتخاب برترین ویژگی‌ها که بیشترین تأثیر را بر مقدار خروجی مدل که همان هزینه هست، بسیار حائز اهمیت است (پورغلام آمیجی و همکاران، ۲۰۲۱؛ a ۲۰۲۱؛ b). انتخاب زیرمجموعه‌ای از ویژگی‌ها، یکی از حوزه‌های جدید و فعال تحقیقات در مبحث یادگیری ماشین بوده که برای مسائل رگرسیون و دسته‌بندی استفاده می‌شود. فنون و روش‌های مختلفی برای انتخاب زیرمجموعه بهینه از ویژگی‌ها ارائه شده که دلیل آن‌هم اهمیت و تأثیر بسزایی است که بر کارایی الگوریتم‌های یادگیری ماشین دارد. انتخاب و استخراج ویژگی‌ها یک از دو مرحله اصلی در برنامه‌های یادگیری ماشین و مدل‌سازی‌ها است؛ یعنی باید مهم‌ترین ویژگی‌های با استفاده از مدل، روش و الگوریتم-های مختلف شناسایی شود (غدار و نائوم-ساواوا، ۲۰۱۸؛ مسعودی سبحان‌زاده و همکاران، ۲۰۱۹). یک طبقه‌بندی یا

یک مدل رگرسیون می‌تواند با استفاده از سه روش ایجاد شود (شیخ‌پور و همکاران، ۲۰۱۷؛ متین، ۲۰۱۸): (۱) روش تحت نظارت^۳ که در آن یک یادگیرنده از نوع و روند داده‌ها آگاه است. (۲) روش بدون نظارت^۴ که در آن یک یادگیرنده از روند تغییرات داده‌ها بی‌خبر است و سعی می‌کند رابطه بین داده‌ها را پیدا کند. (۳) روش نیمه نظارت^۵ که در آن روند و رابطه برخی از داده‌ها تعیین می‌شود؛ درحالی‌که سایر موارد مشخص نشده‌اند. در این روش، یک یادگیرنده معمولاً با استفاده از هر دو نمونه تعیین شده و نامعین آموزش داده می‌شود. فنون انتخاب ویژگی با استفاده از مدل‌های نظارت‌شده عمدتاً به سه دسته اصلی و یا در برخی ادبیات پیشین به پنج دسته طبقه‌بندی می‌شوند (چاندرشکار و ساهین، ۲۰۱۴؛ شیخ‌پور و همکاران، ۲۰۱۷؛ رحمانی‌نیا و مرادی، ۲۰۱۸؛ پازوکی و همکاران، ۲۰۲۰؛ سولوریو-فرناندز و همکاران، ۲۰۲۰) که شامل روش‌های فیلتر (FM^۶)، روش‌های لفاف (WM^۷)، روش‌های تعبیه‌شده (EM^۸)، روش‌های آنالین (OM^۹) و روش‌های ترکیبی (HM^{۱۰}) است.

^۳ -Supervised^۴ -Unsupervised^۵ -Semi-Supervised^۶ -Filter Methods^۷ -Wrapper Methods^۸ -Embedded Methods^۹ -Online Methods^{۱۰} -Hybrid Methods^۱ -Training Data^۲ -Testing Data

جدول ۱- متغیرهای کاندید مؤثر بر هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

نماد	توضیح	نماد	توضیح
A (ha)*	مساحت زمین	L16mm (m)*	طول کل لترال
P/A (1/m)*	شکل زمین (نسبت محیط به مساحت)	L32mm (m)	طول لوله رابط یک
N _{PL} *	تعداد قطعات زمین	L40mm (m)	طول لوله رابط دو
D _{SF} (m)*	فاصله منبع آبی تا زمین	L50mm (m)	طول لوله مانیفولد
ΔH_{SF} (m)*	اختلاف ارتفاع منبع آبی و زمین (بحرانی)	L63mm (m)	طول لوله فرعی
Q _T (l/s)*	مقدار کل دبی آب قابل‌دسترس	L75mm (m)	طول لوله نیمه اصلی
N _{HO} *	نسبت ساعتی در دور آبیاری که آب در اختیار مالک است	L90mm (m)	طول لوله اصلی
S _R (m)*	فاصله ردیف گیاهان	L110mm (m)	طول لوله جانبی
S _P (m)*	فاصله گیاه روی هر ردیف	L125mm (m)	طول لوله جانبی
ET _P (mm/day)*	تبخیر-تعرق گیاه	L160mm (m)	طول لوله جانبی
F _{SP} (mm/hr)*	نفوذپذیری نهایی خاک	L200mm (m)	خط انتقال طولانی
AW (mm/m)*	ظرفیت نگهداری آب در خاک (FC-PWP)	W _Q *	کیفیت آب از نظر نیاز به فیلتراسیون
W _A (%)	سطح خیس‌شده	Q _S (l/s)	دبی سامانه
Q _E (l/s)*	دبی گسیلنده	P _P (kw)	توان پمپ مورد نیاز
N _E *	تعداد کل گسیلنده	H _P (m)	ارتفاع پمپاژ
T (h)	تعداد ساعات کاری در شبانه‌روز	D _{FE} (m)*	فاصله زمین تا خطوط برق
N _{IT}	تعداد نوبت‌های آبیاری	S (%)*	نوع منطقه یا شیب غالب (کوهستانی، دشت)
A _{IT} (ha)	مساحت نوبت‌های آبیاری	TC _P (Rial)	هزینه ایستگاه پمپاژ و سامانه کنترل مرکزی (ریال)
N _{IU}	تعداد واحدهای آبیاری	TC _F (Rial)	هزینه لوازم داخل مزرعه (ریال)
A _{IU} (ha)	مساحت واحدهای آبیاری	TC _I (Rial)	هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (ریال)
F (day)	دور آبیاری	TC _T (Rial)	هزینه کل (ریال)
N _{IUS}	تعداد واحدهای آبیاری که همزمان آبیاری می‌شوند		

*: ویژگی‌های فاز قبل طراحی (۱۸ متغیر) که قبل از طراحی یک سامانه آبیاری می‌توان به آن‌ها دست یافت

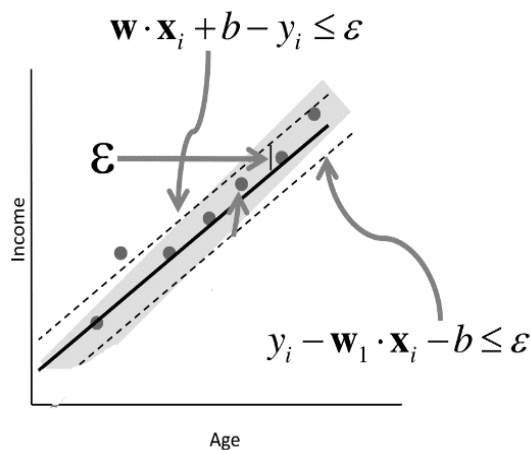
انتخاب ویژگی دو دسته کلی برای (۱) مسائل رگرسیون و (۲) مسائل طبقه‌بندی^۱ دارد که با توجه به نوع داده و خروجی‌های مورد انتظار، در این مطالعه از دسته اول استفاده شد. از آنجایی که نرم‌افزار MATLAB یک زبان برنامه‌نویسی متن‌باز و رایج در علوم مختلف بوده و همه پژوهشگران می‌توانند برخی از قابلیت‌های جدید را به آن اضافه کنند، برای به‌کارگیری روش‌های فوق‌الذکر از این نرم‌افزار استفاده شد.

انتخاب نوع یادگیرنده

برای حل مسائل رگرسیونی برای انتخاب ویژگی، سه نوع یادگیرنده موجود است. اولین مورد SVM است. دومی ANN هست که فقط شامل یک پارامتر (تکرار آموزش) است. سومین یادگیرنده درخت

از بین پنج روش انتخاب ویژگی فوق و بر اساس نتایج مطالعه مسعودی سبحان‌زاده و همکاران (۲۰۱۹)، سه نوع آن بهترین نتایج را به دست می‌دهند که به‌صورت زیر هستند: (۱) روش Wrapper (الگوریتم بهینه‌سازی)، (۲) روش فیلتر: این نوع انتخاب ویژگی از پنج روش رایج تشکیل شده است. نتایج تجربی نشان می‌دهد که هر یادگیرنده و هر روشی دیدگاه خاص خود را نسبت به مجموعه داده دارد، اما در حالت کلی، روش‌های Wrapper نسبت به روش‌های فیلتر می‌توانند منجر به نتایج بهتری شوند. (۳) روش ترکیبی (Hybrid-Ensemble): کاربر می‌تواند از انتخاب ویژگی دومرحله‌ای با استفاده از ترکیب روش‌های فیلتر و Wrapper استفاده کند. بر اساس کارایی مناسب روش الگوریتم‌های بهینه‌سازی و تأیید آن در سایر مطالعات (مسعودی سبحان‌زاده و همکاران، ۲۰۱۹)، در این پژوهش از روش انتخاب ویژگی Wrapper استفاده شده است.

^۱ -Classification



شکل ۱- شماتیک یک رگرسیون بردار پشتیبان

الگوریتم‌های قابل استفاده

۱۱ الگوریتم برای انتخاب بهترین ویژگی (ها) از مجموعه ویژگی‌ها در بخش روش wrapper توسعه داده شده است. توصیه شده که الگوریتم‌های بهینه‌سازی بیش از ۳۰ بار به دلیل ماهیت تصادفی آن‌ها تکرار شوند. همچنین می‌توان تعداد تکرارها را در هنگام استفاده از هر الگوریتم، تنظیم کرد. تمامی پارامترهای الگوریتم‌ها شامل تعداد تکرار، تیم، فصل، تولید و ... قابل تغییر است. الگوریتم‌های موجود برای این کار که می‌توان از آن‌ها بهره گرفت، شامل WCC^۸، LCA^۹، GA^{۱۰}، PSO^{۱۱}، ACO^{۱۲}، JCA^{۱۳}، LA^{۱۴}، HTS^{۱۵}، FOA^{۱۶}، DSOS^{۱۷} و CUK^{۱۸} می‌باشند. در خصوص نوع و تعداد الگوریتم‌های انتخابی در بخش نتایج و بحث توضیح داده شده است.

معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی و مقایسه نتایج مدل‌ها و الگوریتم‌ها با داده‌های واقعی در مرحله آموزش و آزمایش از ضریب تعیین یا تبیین^{۱۸} (R^2) و جذر میانگین مربعات

تصمیم (DT^1) است. این زبان‌آموز نیازی به تنظیم پارامتر ندارد. درصد داده‌های آموزشی و حداکثر تعداد ویژگی‌هایی که برای هر پروژه مطلوب است را می‌توان در هر شرایطی تنظیم کرد. با توجه به انتخاب یادگیرنده SVM بر اساس نتایج مطالعه مسعودی سبحان‌زاده و همکاران (۲۰۱۹)، در زیر توضیحاتی ارائه شده است.

ماشین بردار پشتیبان (SVM)

به کمک SVM می‌توان مدل‌های خطی و غیرخطی را ایجاد و پارامترهای آن را محاسبه کرد. این کار با به‌کارگیری یک تابع هسته^۲ غیرخطی (مانند چندجمله‌ای) حاصل می‌شود. محاسبه پارامترهای این تابع به این شکل است که خطا کمینه شود؛ به‌طوری‌که فاصله بین صفحاتی که عمل جداسازی بین دسته‌ها را ایجاد می‌کنند، بیشینه شود. SVM برای حل مسائل غیرخطی، ابعاد مسئله را از طریق توابع کرنل تغییر می‌دهند. انتخاب کرنل برای رگرسیون بردار پشتیبان (SVR^3)، به حجم داده‌های آموزشی و ابعاد بردار ویژگی بستگی دارد (کرتس و وپنیک، ۱۹۹۵)؛ به عبارت دیگر، با توجه به این پارامترها باید تابع کرنلی را انتخاب نمود که توانایی آموزش برای ورودی‌های مسئله را داشته باشد. در عمل چهار نوع کرنل خطی^۴، کرنل چندجمله‌ای^۵، کرنل تانژانت هیپربولیک^۶ و کرنل گوسی^۷ به کار گرفته می‌شوند. شماتیک مسئله SVR اغلب با استفاده از مثال یک بعدی در شکل (۱) نشان داده شده است (اواد و خانا، ۲۰۱۵):

$$y = f(x) = \langle w, x \rangle + b = \sum_{i=1}^M w_i x_i + b, \quad y, b \in \mathbb{R}, \quad x, w \in \mathbb{R}^M \quad (1)$$

$$f(x) = \begin{bmatrix} w \\ b \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} x \\ 1 \end{bmatrix} = w^T x + b \quad x, w \in \mathbb{R}^{M+1} \quad (2)$$

⁸ -World Competitive Contest

⁹ -League Championship Algorithm

¹⁰ -Particle Swarm Optimization

¹¹ -Ant Colony Optimization

¹² -Imperialist Competitive Algorithm

¹³ -Learning Automata

¹⁴ -Heat Transfer Optimization Algorithm

¹⁵ -Forest Optimization Algorithm

¹⁶ -Discrete Symbiotic Organisms Search

¹⁷ -Cuckoo Optimization

¹⁸ -Coefficient of Determination

¹ -Decision Tree

² -Kernel

³ -Support Vector Regression

⁴ -Linear Kernel

⁵ -Polynomial Kernel

⁶ -Hyperbolic Tangent Kernel

⁷ -Radial Base Function Kernel

به ترتیب برابر با ۰/۵۵۰، ۰/۶۳۱ و ۰/۶۳۸ بود. با توجه به آماره P-value، همگی این متغیرها در سطح اطمینان یک درصد معنی دار شد. با افزایش مساحت و بالطبع افزایش تعداد کل گسیلنده و لوله های آبد، هزینه نهایی لوازم داخل مزرعه افزایش یافته و به عبارتی این متغیرها، نماینده ۳۹ متغیر مورد مطالعه برای بررسی پیوند بین این پارامترها با هزینه نهایی لوازم داخل مزرعه (TC_F) هستند. البته متغیرهای L_{90mm} و L_{75mm}، L_{63mm}، N_{IT}، D_{SF}، N_{PL} ضریب همبستگی بالایی از خود نشان دادند که همگی آن ها در سطح اطمینان یک درصد معنی دار شد (جدول ۲).

در بخش هزینه نصب و اجرای سامانه داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I)، متغیرهای ΔH_{SF} (اختلاف ارتفاع منبع آبی و زمین در بحرانی ترین حالت)، S_R (فاصله ردیف گیاهان) و L_{40mm} (طول لوله رابط دو) به ترتیب با مقدار ۰/۲۹۴، ۰/۳۵۵ و ۰/۳۳۵ دارای بیشترین ضریب همبستگی و در سطح اطمینان یک درصد هستند (جدول ۲). علت کاهش مقدار عددی ضریب همبستگی در بخش TC_I نسبت به بخش های دیگر هزینه به این دلیل است که همه متغیرها، به گونه ای تأثیر مستقیم خود را بر TC_F و TC_P گذاشته اند و اکنون چون تأثیر غیرمستقیم خود را بر متغیر وابسته TC_I می گذارند، مقدار عددی ضریب همبستگی نسبت به دو بخش قبل کاهش یافته است. بیشترین مقدار ضریب همبستگی منفی که رابطه عکس بین متغیرها و TC_I را نشان می دهد، مربوط به متغیرهای ET_P (تبخیر-تعرق گیاه)، W_A (سطح خیس-شده) و L_{200mm} (خط انتقال طولانی) به ترتیب برابر با -۰/۲۸۲، -۰/۴۷۸ و -۰/۲۴۷ است که هر سه متغیر در سطح اطمینان یک درصد معنی دار شد. A (مساحت زمین)، P_P (توان پمپ مورد نیاز) و H_P (ارتفاع پمپاژ) به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۴۰۰، ۰/۴۲۸ و ۰/۴۲۹ بیشترین همبستگی را با هزینه کل (TC_T) داشتند. سه مورد از متغیرهایی که ضریب همبستگی منفی و به عبارتی رابطه عکس با TC_T دارند، متغیرهایی هستند که در بخش

خطا^۱ (RMSE) استفاده شد. این معیارها به صورت زیر تعریف می شوند:

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})(p_i - \bar{p})]^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2 \times \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2} \quad (3)$$

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

که در آن ها O_i مقادیر مشاهداتی، P_i مقادیر برآوردشده، $\bar{O}$ میانگین مقادیر مشاهداتی، $\bar{P}$ میانگین مقادیر برآوردشده و n تعداد داده ها می باشند (وینستون، ۱۹۹۲؛ نورویگ و اینتلیجنس، ۲۰۰۲). هر مدل که دارای R² بیشتر و RMSE کمتر باشد، از مطلوبیت بیشتری برخوردار است.

نتایج و بحث

همبستگی بین متغیرها

نتایج همبستگی بین ۳۹ متغیر مستقل یادشده با هزینه ایستگاه پمپاژ و سامانه کنترل مرکزی (TC_P)، هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F)، هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I) و هزینه کل (TC_T) در جدول (۲) ارائه شده است. بیشترین ضریب همبستگی (R) مثبت بین پارامترهای Q_S (دبی سامانه)، P_P (توان پمپ مورد نیاز) و H_P (ارتفاع پمپاژ) با TC_P به ترتیب با مقدار ۰/۶۱۸، ۰/۷۶۶ و ۰/۶۶۶ به دست آمد و هر سه در سطح یک درصد دارای اختلاف معنی داری بود. از آنجایی که عمده هزینه بخش ایستگاه پمپاژ و سامانه کنترل مرکزی مربوط به تجهیزات ایستگاه پمپاژ است، لذا سه متغیر یادشده بیشترین همبستگی را با TC_P داشته و مهم ترین پارامترهای این بخش به حساب می آیند و با افزایش دبی سامانه، توان پمپ و ارتفاع پمپاژ، هزینه نهایی ایستگاه پمپاژ و سامانه کنترل مرکزی افزایش می یابد. سه پارامتری که بیشترین همبستگی را با هزینه TC_F داشتند عبارت اند از A (مساحت زمین)، N_E (تعداد کل گسیلنده) و L_{16mm} (طول کل لترال) که ضریب همبستگی آن ها

^۱ -Normalized Root Mean Square Error

TC_P و TC_I تکرار شدند و این‌ها شامل P/A (شکل زمین، نسبت محیط به مساحت)، ET_P (تبخیر-تغرق گیاه) و W_A (سطح خیس‌شده) به‌ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۲۱۱، -۰/۳۶۸ و -۰/۴۵۴ هر سه در سطح یک درصد دارای اختلاف معنی‌داری هستند (جدول ۲). به‌طورکلی نتایج همبستگی را می‌توان به این صورت جمع‌بندی کرد که ۱۲ متغیر با سطح معنی‌داری یک درصد، چهار متغیر با سطح معنی‌داری پنج درصد و ۲۳ متغیر عدم تفاوت معنی‌دار با هزینه ایستگاه پمپاژ و سامانه کنترل مرکزی (TC_P) داشتند. این موضوع برای دیگر بخش‌ها بدین

شرح بود که در بخش هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F)؛ ۱۱ متغیر در سطح معنی‌داری یک درصد و ۲۸ متغیر با عدم تفاوت معنی‌دار، در بخش هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I)؛ هفت متغیر در سطح معنی‌داری یک درصد، چهار متغیر در سطح معنی‌داری پنج درصد و ۲۸ متغیر با عدم تفاوت معنی‌دار و در نهایت در بخش هزینه کل (TC_T)؛ نه متغیر در سطح معنی‌داری یک درصد، شش متغیر در سطح معنی‌داری پنج درصد و ۲۴ متغیر با عدم تفاوت معنی‌دار به ثبت رسید (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج ضریب همبستگی و معنی‌داری (P-Value) متغیرهای مستقل با متغیر وابسته

پارامتر	TC _T		TC _I		TC _F		TC _P	
	P-Value	R	P-Value	R	P-Value	R	P-Value	R
A (ha)	۰/۰۰۰ **	۰/۴۰۰	۰/۱۵۸ ^{NS}	۰/۱۴۲	۰/۰۰۰ **	۰/۵۵۰	۰/۰۰۲ **	۰/۳۰۱
P/A (1/m)	۰/۰۳۵ *	-۰/۲۱۱	۰/۷۹۰ ^{NS}	-۰/۰۲۷	۰/۰۵۴ ^{NS}	-۰/۱۹۳	۰/۰۰۲ **	-۰/۳۰۴
N _{PL}	۰/۲۶۲ ^{NS}	۰/۱۱۳	۰/۷۰۶ ^{NS}	۰/۰۳۸	۰/۰۰۱ **	۰/۳۳۰	۰/۷۴۳ ^{NS}	-۰/۰۳۳
D _{SF} (m)	۰/۰۹۷ ^{NS}	۰/۱۶۷	۰/۲۴۳ ^{NS}	۰/۱۱۸	۰/۰۰۰ **	۰/۴۵۲	۰/۲۲۰ ^{NS}	-۰/۱۲۴
ΔH _{SF} (m)	۰/۰۰۱ **	۰/۳۳۶	۰/۰۰۳ **	۰/۲۹۴	۰/۵۸۶ ^{NS}	۰/۰۵۵	۰/۰۱۰ *	۰/۲۵۷
Q _T (l/s)	۰/۷۶۶ ^{NS}	-۰/۰۳۰	۰/۵۶۳ ^{NS}	۰/۰۵۹	۰/۶۷۹ ^{NS}	-۰/۰۴۲	۰/۱۸۴ ^{NS}	-۰/۱۳۴
N _{HO}	۰/۳۵۶ ^{NS}	۰/۰۹۳	۰/۸۸۷ ^{NS}	۰/۰۱۴	۰/۳۱۲ ^{NS}	-۰/۱۰۲	۰/۰۰۹ **	۰/۲۶۱
S _R (m)	۰/۰۰۱ **	۰/۳۲۲	۰/۰۰۰ **	۰/۳۵۵	۰/۵۴۳ ^{NS}	-۰/۰۶۲	۰/۰۳۹ *	۰/۲۰۷
S _P (m)	۰/۰۱۱ *	۰/۲۵۲	۰/۰۱۲ *	۰/۲۵۱	۰/۳۲۸ ^{NS}	-۰/۰۹۹	۰/۰۱۶ *	۰/۲۴۰
ET _P (mm/day)	۰/۰۰۰ **	۰/۳۶۸	۰/۰۰۵ **	-۰/۲۸۲	۰/۷۵۳ ^{NS}	۰/۰۳۲	۰/۰۰۰ **	-۰/۴۰۹
F _{SP} (mm/hr)	۰/۷۸۳ ^{NS}	-۰/۰۲۸	۰/۹۵۷ ^{NS}	-۰/۰۰۵	۰/۸۸۵ ^{NS}	۰/۰۱۵	۰/۵۱۹ ^{NS}	-۰/۰۶۵
AW (mm/m)	۰/۹۶۲ ^{NS}	-۰/۰۰۵	۰/۹۱۲ ^{NS}	۰/۰۱۱	۰/۶۴۹ ^{NS}	-۰/۰۴۶	۰/۹۷۶ ^{NS}	۰/۰۰۳
W _A (%)	۰/۰۰۰ **	-۰/۴۵۴	۰/۰۰۰ **	-۰/۴۷۸	۰/۲۴۴ ^{NS}	۰/۱۱۸	۰/۰۰۰ **	-۰/۳۵۰
Q _E (l/s)	۰/۷۴۴ ^{NS}	۰/۰۳۳	۰/۹۱۳ ^{NS}	۰/۰۱۱	۰/۲۲۷ ^{NS}	۰/۱۲۲	۰/۷۸۶ ^{NS}	-۰/۰۲۸
N _E	۰/۵۱۰ ^{NS}	۰/۰۶۷	۰/۱۴۱ ^{NS}	-۰/۱۴۸	۰/۰۰۰ **	۰/۶۳۱	۰/۶۲۶ ^{NS}	-۰/۰۴۹
T (h)	۰/۸۲۸ ^{NS}	۰/۰۲۲	۰/۴۵۸ ^{NS}	-۰/۰۷۵	۰/۹۱۴ ^{NS}	-۰/۰۱۱	۰/۰۷۵ ^{NS}	۰/۱۷۹
N _{IT}	۰/۱۷۳ ^{NS}	۰/۱۳۷	۰/۷۳۲ ^{NS}	۰/۰۳۵	۰/۰۰۰ **	۰/۳۵۸	۰/۹۳۷ ^{NS}	۰/۰۰۸
A _{IT} (ha)	۰/۰۲۰ *	۰/۲۳۲	۰/۳۸۸ ^{NS}	۰/۰۸۷	۰/۰۸۸ ^{NS}	۰/۱۷۲	۰/۰۰۷ **	۰/۲۶۹
N _{IU}	۰/۱۹۱ ^{NS}	۰/۱۳۲	۰/۶۵۷ ^{NS}	۰/۰۴۵	۰/۰۰۰ **	۰/۵۲۰	۰/۱۸۳ ^{NS}	-۰/۱۳۴
A _{IU} (ha)	۰/۲۵۰ ^{NS}	۰/۱۱۶	۰/۹۰۵ ^{NS}	-۰/۰۱۲	۰/۷۸۳ ^{NS}	-۰/۰۲۸	۰/۰۰۲ **	۰/۳۰۴
F (day)	۰/۲۱۷ ^{NS}	۰/۱۲۴	۰/۰۴۳ *	۰/۲۰۲	۰/۸۸۴ ^{NS}	-۰/۰۱۵	۰/۷۵۶ ^{NS}	-۰/۰۳۱
N _{IUS}	۰/۴۵۰ ^{NS}	۰/۰۷۶	۰/۵۴۲ ^{NS}	۰/۰۶۲	۰/۰۰۹ **	۰/۲۵۹	۰/۲۹۶ ^{NS}	-۰/۱۰۶
L _{16mm} (m)	۰/۴۰۹ ^{NS}	۰/۰۸۳	۰/۱۳۹ ^{NS}	-۰/۱۴۹	۰/۰۰۰ **	۰/۶۳۸	۰/۸۸۱ ^{NS}	-۰/۰۱۵
L _{32mm} (m)	۰/۳۶۲ ^{NS}	۰/۰۹۲	۰/۲۲۸ ^{NS}	۰/۱۲۲	۰/۳۹۲ ^{NS}	-۰/۰۸۶	۰/۴۵۷ ^{NS}	۰/۰۷۵
L _{40mm} (m)	۰/۰۰۷ **	۰/۲۶۶	۰/۰۰۱ **	۰/۳۳۵	۰/۲۹۳ ^{NS}	-۰/۱۰۶	۰/۱۵۶ ^{NS}	۰/۱۴۳
L _{50mm} (m)	۰/۲۹۹ ^{NS}	۰/۱۰۵	۰/۱۹۸ ^{NS}	۰/۱۳۰	۰/۴۵۸ ^{NS}	۰/۰۷۵	۰/۸۳۱ ^{NS}	-۰/۰۲۲
L _{63mm} (m)	۰/۲۷۹ ^{NS}	۰/۱۰۹	۰/۷۰۶ ^{NS}	-۰/۰۳۸	۰/۰۰۰ **	۰/۳۶۲	۰/۵۶۴ ^{NS}	۰/۰۵۸
L _{75mm} (m)	۰/۴۷۱ ^{NS}	-۰/۰۷۳	۰/۰۴۰ *	-۰/۲۰۵	۰/۰۰۱ **	۰/۳۲۸	۰/۵۲۱ ^{NS}	-۰/۰۶۵
L _{90mm} (m)	۰/۰۲۹ *	۰/۲۱۸	۰/۱۷۳ ^{NS}	۰/۱۳۷	۰/۰۰۰ **	۰/۴۶۴	۰/۶۴۳ ^{NS}	-۰/۰۴۷
L _{110mm} (m)	۰/۳۴۹ ^{NS}	-۰/۰۹۵	۰/۴۴۸ ^{NS}	-۰/۰۷۷	۰/۰۵۷ ^{NS}	۰/۱۹۱	۰/۰۲۴ *	-۰/۲۲۶
L _{125mm} (m)	۰/۳۴۷ ^{NS}	-۰/۰۹۵	۰/۶۷۸ ^{NS}	-۰/۰۴۲	۰/۰۸۳ ^{NS}	۰/۱۷۴	۰/۰۰۶ **	-۰/۲۷۱
L _{160mm} (m)	۰/۳۳۵ ^{NS}	-۰/۰۹۷	۰/۵۶۴ ^{NS}	-۰/۰۵۸	۰/۳۶۸ ^{NS}	۰/۰۹۱	۰/۰۵۵ ^{NS}	-۰/۱۹۲
L _{200mm} (m)	۰/۳۱۳ ^{NS}	۰/۲۴۷	۰/۰۱۳ *	-۰/۲۴۷	۰/۶۰۷ ^{NS}	۰/۰۵۲	۰/۲۰۲ ^{NS}	۰/۱۲۹
W _Q	۰/۰۸۳ ^{NS}	-۰/۱۷۴	۰/۰۹۳ ^{NS}	-۰/۱۶۹	۰/۳۸۸ ^{NS}	-۰/۰۸۷	۰/۵۱۶ ^{NS}	-۰/۰۶۶
Q _S (l/s)	۰/۰۰۴ **	۰/۲۸۷	۰/۸۳۴ ^{NS}	۰/۰۲۱	۰/۹۵۰ ^{NS}	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰ **	۰/۶۱۸
P _P (kw)	۰/۰۰۰ **	۰/۴۲۸	۰/۱۲۵ ^{NS}	۰/۱۵۴	۰/۵۹۷ ^{NS}	-۰/۰۵۴	۰/۰۰۰ **	۰/۷۶۶
H _P (m)	۰/۰۰۰ **	۰/۴۲۹	۰/۰۰۷ **	۰/۲۶۹	۰/۰۹۰ ^{NS}	-۰/۱۷۱	۰/۰۰۰ **	۰/۶۶۶
D _{FE} (m)	۰/۰۲۹ *	۰/۲۱۸	۰/۵۷۳ ^{NS}	۰/۰۵۷	۰/۰۸۸ ^{NS}	۰/۱۷۱	۰/۰۰۴ **	۰/۲۸۷
S (%)	۰/۰۲۷ *	۰/۲۲۲	۰/۰۰۸ **	۰/۲۶۴	۰/۹۶۱ ^{NS}	-۰/۰۰۵	۰/۴۰۲ ^{NS}	۰/۰۸۵

علامت * و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد و ^{NS} عدم تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهد

ارزیابی الگوریتم‌ها در مرحله آموزش

نتایج این مقاله به دو بخش جداگانه تقسیم شده است. بخش اول تمامی ویژگی‌هایی که بر هزینه‌های یک

سامانه آبیاری قطره‌ای تأثیر می‌گذارند که تعداد آن ۳۹ است. بخش دوم ویژگی‌هایی که مربوط به فاز قبل طراحی بوده که می‌توان قبل از طراحی و اجرای یک

سامانه آبیاری به آن دسترسی پیدا کرد. تعداد این ویژگی‌ها ۱۸ هست و از بین آن انتخاب ویژگی صورت گرفت. آموزش مدل با ۸۰ درصد داده‌ها و پیش‌پردازش اولیه انجام شد و معیارهای ارزیابی در بخش کل ویژگی‌ها به دست آمد. نتایج آموزش مدل در بخش کل ویژگی‌ها که شامل ۳۹ ویژگی بود، نشان داد که معیار RMSE، زمان سپری‌شده SVM بر حسب ثانیه و R^2 به‌ترتیب برابر ۰/۰۰۷، ۱/۳۰ و ۰/۹۲ به دست آمد. در تمامی منابع مطالعاتی مطرح‌شده که این مقدار عددی این معیارها کاملاً معقول بوده و نشان از دقت داده‌های ورودی و آموزش صحیح الگوریتم‌ها است (مسعودی سبحان‌زاده و مطیع‌قادر، ۲۰۱۶؛ مسعودی سبحان‌زاده و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین آموزش مدل و دستیابی به پارامترهای ارزیابی اولیه در بخش ویژگی‌های فاز قبل طراحی که ۱۸ ویژگی بود نیز انجام شد. در این بخش نیز معیار RMSE، زمان سپری‌شده SVM بر حسب ثانیه و R^2 به‌ترتیب برابر ۰/۰۰۳۰۵، ۲/۰۱۳۲ و ۰/۸۸۷۹۵ به دست آمد. تغییر ناچیز مقدار معیارهای ارزیابی در این بخش نسبت به قبل در این است که از مجموعه ویژگی‌های تأثیرگذار بر هزینه‌های سامانه آبیاری قطره‌ای (هزینه ایستگاه پمپاژ و سامانه کنترل مرکزی (TCP)، هزینه لوازم داخل مزرعه (TCF)، هزینه نصب و اجرای سامانه داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TCI) و هزینه کل (TCT))، ۱۸ ویژگی جدا شده و سپس از بین آن انتخاب ویژگی صورت گرفت. لذا کمی دقت کار افت کرده اما این معیارها کاملاً مجاز و در محدوده بسیار عالی قرار گرفته است. دیگر محققین این معیارها را در مطالعات خود گزارش کرده و این را دال بر آموزش صحیح دانستند (کاشان، ۲۰۱۴).

نتایج الگوریتم‌های منتخب

نتایج الگوریتم‌های منتخب برای مسائل رگرسیون در بخش کل ویژگی‌های مؤثر بر هزینه‌های سامانه آبیاری قطره‌ای در شکل (۲) و ویژگی‌های فاز قبل طراحی در شکل (۳) نشان داده شده است. شایان ذکر

است که از بین ۱۱ الگوریتم، چهار الگوریتم WCC، LCA، LA و FOA برای شناسایی مهم‌ترین ویژگی‌ها انتخاب شدند. انتخاب این‌ها دو دلیل داشت: نخست اینکه مسعودی سبحان‌زاده و همکاران (۲۰۱۹) که توسعه‌دهندگان نرم‌افزار FeatureSelect هستند، بعد از بررسی‌های فراوان و آزمایش‌های بسیار بیان نمودند که این الگوریتم‌ها بهترین نتایج را حاصل خواهند کرد. ثانیاً اجرای همین الگوریتم‌ها، ساعت‌ها و گاهی چند شبانه‌روز به طول انجامیده و لذا منطقی نیست که زمان بیشتری صرف الگوریتم‌های دیگر شود. با توجه به این مقدمه، نمودارهای تولیدشده با استفاده از مدل یادگیرنده SVM و روش انتخاب ویژگی الگوریتم‌های بهینه‌سازی (شکل‌های ۲ و ۳)، عملکرد الگوریتم‌ها را بر اساس خطا، RMSE و نمرات همبستگی با یکدیگر مقایسه می‌کند. برای هر امتیاز، نمودارهای همگرایی^۱، میانگین همگرایی^۲ و پایداری^۳ نشان داده شده است. هدف از ارائه این شکل‌ها این است که آیا الگوریتم‌ها به‌درستی پیاده‌سازی شده‌اند یا خیر؟ معیار میانگین همگرایی برای این است که وقتی تعداد تکرارها^۴ یا زمان اجرای^۵ اختصاص داده‌شده به الگوریتم‌ها افزایش می‌یابد، پاسخ‌ها باید بهبود یابند. علاوه بر همگرایی، مفهوم میانگین همگرایی نیز وجود دارد. تفاوت این دو در این است که همگرایی با استخراج بهترین پاسخ در پایان هر تکرار به دست می‌آید، درحالی‌که میانگین همگرایی بر اساس میانگین نمرات راه‌حل بالقوه در پایان هر تکرار محاسبه می‌شود. پایداری نیز نتایج الگوریتم‌ها در گذر زمان و بعد اجراهای بیشتر را بازگو می‌کند.

همان‌طور که قابل مشاهده است، تمام پاسخ‌های بالقوه تولیدشده توسط الگوریتم‌ها (WCC، LCA و FOA) به جز LA با افزایش تکرار بهبود می‌یابند. در شکل (۲) مشخص است که برای معیار همگرایی خطا، با

^۱ -Convergence

^۲ -Average Convergence

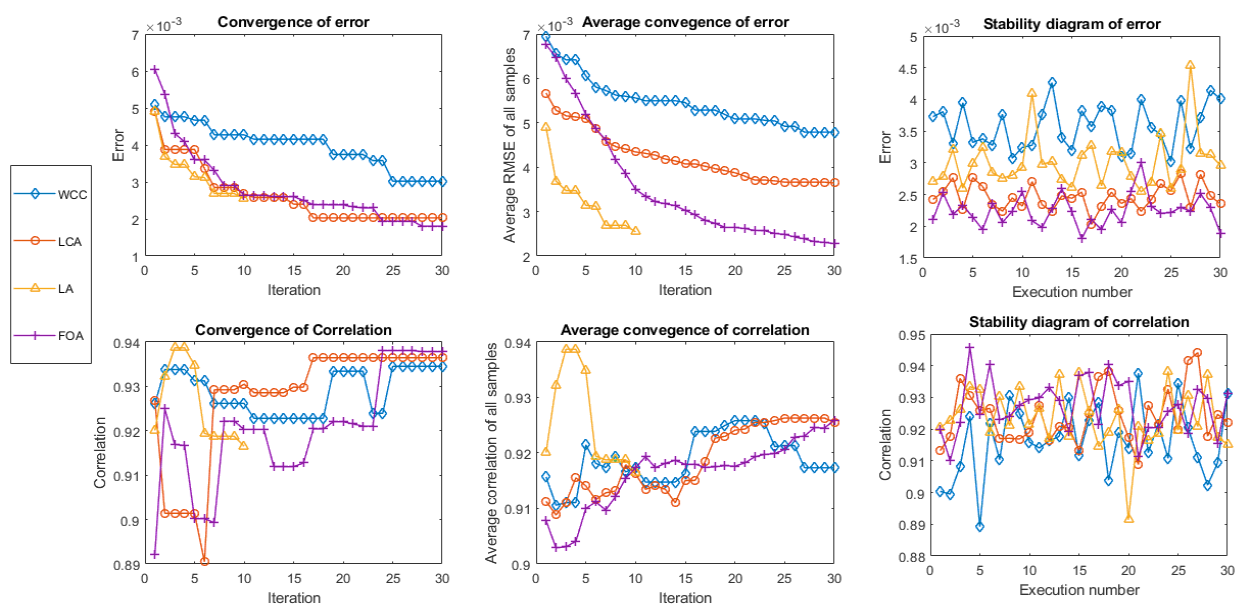
^۳ -Stability

^۴ -Iteration

^۵ -Execution

داد. نمودارهای پایداری نیز نشان می‌دهد که اگر الگوریتمی بهتر از سایر الگوریتم‌ها باشد، نتایج آن در نمودار به جلو بوده و میانگین نتایج آن بهتر از الگوریتم‌های دیگر است. در بخش پایداری می‌توان یافت که الگوریتم FOA و LCA کمترین نوسان را داشته و با اجرای بیشتر، مقداری خطا-همبستگی آن کاهشی و در نهایت ثابت شده است. آماره خطا و همبستگی بهترین الگوریتم‌ها به ترتیب در حدود $0.002-0.025$ و -0.94 است. لازم به ذکر است که هرچند الگوریتم WCC نتایج بهتری نسبت به LA گزارش کرده است اما نسبت به دو الگوریتم منتخب دارای ضعف‌هایی است. یافته‌های سایر محققین نیز همسو با نتایج این پژوهش است (کاشان، ۲۰۱۴؛ الوشاه، ۲۰۲۱).

تکرار زیاد (۳۰ بار) مقدار خطا برای همه الگوریتم‌ها کاهش داشته و به یک حد ثابتی می‌رسد اما الگوریتم LA روندی غیر از این را طی کرده و از یک مقدار مشخص تکرار به بعد، دیگر کارایی نداشته است. در بخش همگرایی، بهترین مدل‌ها خطای زیر 0.002 و همبستگی بالای 0.93 را به ثبت رساندند. در معیار همگرایی همبستگی نیز همین روند طی شده است. در بخش میانگین همگرایی خطا و همبستگی، با تکرار زیاد الگوریتم LA به نتیجه معقول و منطقی نرسیده و الگوریتم WCC در عین اینکه به حد ثابتی رسیده اما مقدار RMSE آن بیشتر از الگوریتم LCA و FOA است. در بخش میانگین همگرایی، بهترین مدل (FOA) معیار RMSE کمتر از 0.003 و همبستگی بالای 0.92 را نشان



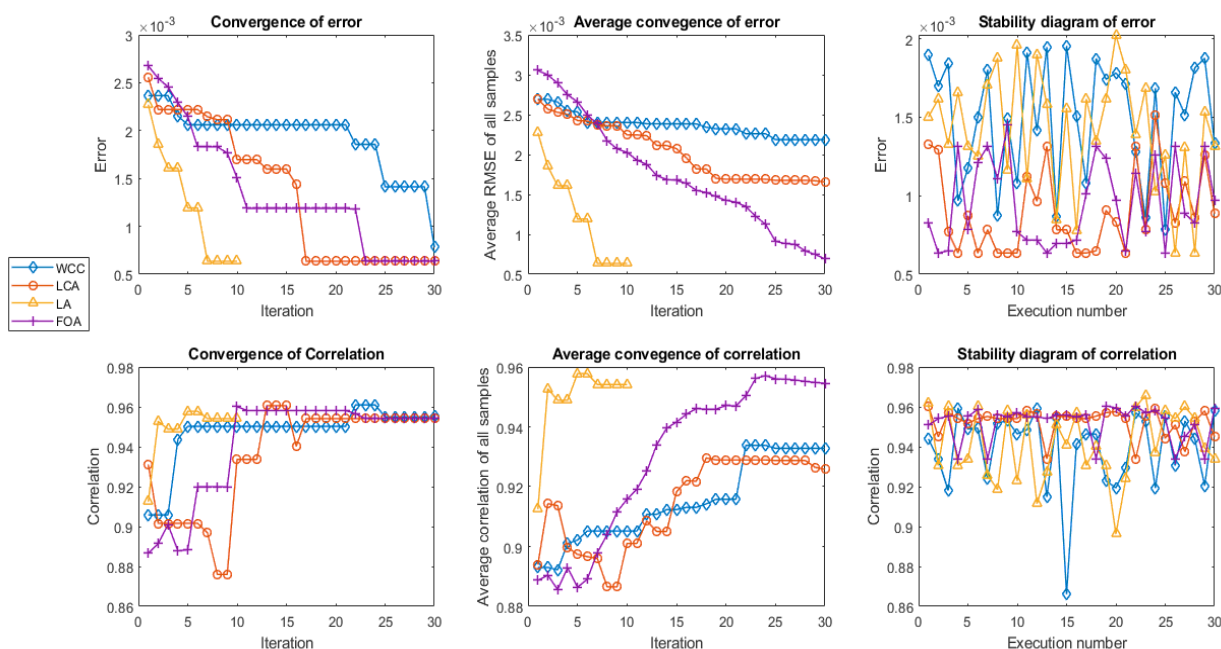
شکل ۲- نتایج کارایی الگوریتم‌های منتخب برای مسائل رگرسیون در بخش کل ویژگی‌ها

و FOA) در حدود 0.0006 بوده و همبستگی بهترین الگوریتم بالای 0.95 به دست آمده که نشان از آموزش خوب الگوریتم و دقت برآورد/تخمین آن در طول تکرار زیاد است. در بخش ویژگی‌های فاز قبل طراحی، الگوریتم FOA با اختلاف بهتر از سایرین بوده و با LCA و WCC نیز رقابتی ندارد. نتایج میانگین همگرایی خطا-همبستگی نیز حاکی از آن است که بهترین الگوریتم

در شکل (۳) که نتایج الگوریتم‌های منتخب برای ویژگی‌های فاز قبل طراحی مؤثر بر هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای به نمایش درآمده است، همانند شکل (۲)، معیارهای همگرایی، میانگین همگرایی و پایداری تحلیل و تفسیر شده است. در بخش همگرایی خطا و همبستگی، به‌غیر از نتیجه الگوریتم LA، بقیه همگرا شده و به حد ثابت رسیده‌اند. خطای الگوریتم‌های برتر (LCA، WCC)

نتایج این بخش مشخص است که الگوریتم‌ها آموزش مناسبی دیده و این خود را در آماره‌های همگرایی، میانگین همگرایی و پایداری در دو قسمت خطا و همبستگی نشان داده است (شکل‌های ۲ و ۳). یافته‌های این بخش با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (رستگار و همکاران، ۲۰۰۵؛ قائمی و فیضی-درخشی، ۲۰۱۶).

آموزش دیده شده FOA بوده و خطای آن نسبت به دیگر الگوریتم‌ها حداقل (۰/۰۰۷) و همبستگی آن حداکثر (۰/۹۶) شد. آماره پایداری نیز بعد از ۳۰ بار اجرا نشان داد که الگوریتم‌های FOA و LCA با اختلاف بهتر از دو الگوریتم LA و WCC بوده و ضمن حداقل بودن مقدار خطا، همبستگی بالای ۰/۹۵ را ثبت کردند (شکل ۳).



شکل ۳- نتایج کارایی الگوریتم‌های منتخب برای مسائل رگرسیون در بخش ویژگی‌های فاز قبل طراحی

معیار اصلی و چندین زیر معیار دارد. معیارهای اصلی شامل آماره خطا (ER)، همبستگی (CR)، تعداد ویژگی انتخابی (NOF) و زمان سپری شده (ET) بوده و زیرمعیارهای انحراف استاندارد (STD)، فاصله اطمینان (CI)، مقدار احتمال (P-Value) و رد یا پذیرش فرضیه (TS) برای معیارهای خطا و همبستگی تکرار شده است. در جدول (۳)، تعداد ویژگی‌هایی (NOF) که هر الگوریتم آن‌ها را شناسایی کرده، نشان داده شده و برای این پژوهش پارامتر بسیار مهمی است. تعداد ویژگی‌های انتخاب شده بر اساس نتایج الگوریتم‌های WCC، LCA، LA و FOA به ترتیب برابر با ۱۵، ۱۱، ۱۸ و ۸ به دست آمده است. پس از ۳۰ بار اجرای الگوریتم‌ها، بهترین نتایج برای هر کدام انتخاب شد. ET نشان می‌دهد که چه مدت زمان بر حسب ثانیه در اجرای آن سپری شده

ارزیابی الگوریتم‌ها در مرحله آزمایش

نتایج نشان داده شده در جداول (۳) و (۴) به ترتیب بر اساس نتایج پایداری شکل‌های (۲) و (۳) محاسبه شده است. بعد از بررسی چگونگی آموزش مدل‌ها و همچنین بررسی کارایی الگوریتم‌های مختلف و شناسایی آن در دو بخش قبلی، در نهایت نوبت به آزمایش (صحت‌سنجی یا آزمون) و انتخاب ویژگی با این الگوریتم‌ها و ارائه نتایج معیارهای ارزیابی رسیده است. در جدول (۳)، نتایج معیارهای ارزیابی انتخاب مهم‌ترین ویژگی‌ها از بین کل ویژگی‌های مؤثر بر هزینه کل سامانه‌های آبیاری قطره‌ای (۳۹ ویژگی) در مرحله صحت‌سنجی ارائه شده است. چون این جدول برگرفته از نتایج پایداری شکل‌های قبلی هست، بر این اساس دو

تا بهترین نتیجه برای یک الگوریتم به دست آید. الگوریتم‌ها به دلیل طی مراحل مختلف در اجرا، دارای ET های متفاوتی هستند. معیار خطا (ER) نیز مهر تأییدی بر الگوریتم‌های شناسایی شده در مرحله قبل بوده و مقدار آن برای الگوریتم‌های برتر LCA و FOA به ترتیب ۰/۰۰۲۰ و ۰/۰۰۱۸ به دست آمده و از بقیه کمتر است. زیرمعیار خطا-انحراف استاندارد (ER-STD) نشان می‌دهد که نتایج چقدر با میانگین نتایج متفاوت است؛ بنابراین مطلوب است که این معیار حداقل باشد و در نتایج نیز مشخص است که برای الگوریتم‌های WCC و LA برابر با ۰/۰۰۴ و الگوریتم‌های LCA و FOA برابر با ۰/۰۰۲ حاصل شد. زیرمعیار خطا-فاصله اطمینان (ER-CI)، محدوده‌ای از مقادیر را نشان می‌دهد و انتظار می‌رود نتایج با حداکثر احتمال خاص در این محدوده قرار گیرند و برای حصول افزایش دقت، این معیار دو بار تکرار شد. در هر دو بار، نتیجه تقریباً مشابهی گزارش و بازهم دو الگوریتم برتر LCA و FOA کمترین مقدار را داشتند. زیرمعیار خطا-مقدار احتمال (ER-P) یکی از مهم‌ترین آماره‌ها در ارزیابی نتایج مدل‌ها و الگوریتم‌هاست. P- Value میزان شباهت نتایج به دست آمده را با مقادیر

تصادفی بیان می‌کند. الگوریتمی با حداقل مقدار P-Value، قابل اعتمادتر از بقیه است. در نتایج نیز مشخص است که هر چهار الگوریتم قابل اعتماد بود و دلیل آن تمایل به صفر مقدار این آماره است. زیرمعیار خطا-رد یا پذیرش فرضیه (ER-TS) معمولاً برای رد یا پذیرش یک فرضیه صفر استفاده می‌شود. هنگامی که TS حداکثر باشد، مقدار P حداقل است. نکته جالب توجه، معیار همبستگی (CR) نزدیک و بالای همه الگوریتم‌ها بوده و مقدار آن برای چهار الگوریتم WCC، LCA، LA و FOA به ترتیب برابر با ۰/۹۳۴۵، ۰/۹۳۶۵، ۰/۹۱۶۵ و ۰/۹۳۷۸ به دست آمد و نشان از توانایی و دقت این الگوریتم‌ها به ویژه دو الگوریتم LCA و FOA دارد. دیگر زیرمعیارها که در بخش خطا مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت، برای همبستگی (CR) نیز تکرار شده و روند نتایج همانند زیرمعیارهای خطا (ER) است. به دلیل حجم بیش از حد مجاز مقاله، از ارائه توضیحات بیشتر خودداری می‌شود (جدول ۳). نتایج این بخش با یافته‌های شوبرت و همکاران (۲۰۱۷)، پاندی و همکاران (۲۰۱۸)، مسعودی سبحان‌زاده و همکاران (۲۰۱۹) و متل و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد.

جدول ۳- نتایج معیارهای ارزیابی انتخاب مهم‌ترین ویژگی‌ها از بین کل ویژگی‌های مؤثر بر هزینه کل سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

الگوریتم‌های منتخب				نماد	معیار
FOA	LA	LCA	WCC		
۸	۱۵	۱۱	۱۷	NOF	تعداد ویژگی
۱۵۶/۶۰۶۴	۷۵/۰۹۸۸	۶۲۷/۲۷۸۱	۱۴۴/۳۵۸۵	ET	زمان سپری شده
۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۳۰	ER	خطا
۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۴	ER_STD	خطا-انحراف استاندارد
۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۳۴	ER_CI_1	خطا-فاصله اطمینان ۱
۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۳۷	ER_CI_2	خطا-فاصله اطمینان ۲
۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	ER_P	خطا-مقدار احتمال
۴۹/۷۶۱۴	۳۸/۴۵۵۷	۶۹/۱۱۵	۵۵/۵۲۳۶	ER_TS	خطا-رد یا پذیرش فرضیه
۰/۹۳۷۸	۰/۹۱۶۵	۰/۹۳۶۵	۰/۹۳۴۵	CR	همبستگی
۰/۰۰۸۶	۰/۰۰۹۶	۰/۰۰۸۸	۰/۰۱۱۲	CR_STD	همبستگی-انحراف استاندارد
۰/۹۲۴۰	۰/۹۲۰۱	۰/۹۲۰۸	۰/۹۱۲۳	CR_CI_1	همبستگی-فاصله اطمینان ۱
۰/۹۳۰۴	۰/۹۲۷۲	۰/۹۲۷۳	۰/۹۲۰۷	CR_CI_2	همبستگی-فاصله اطمینان ۲
۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	CR_P	همبستگی-مقدار احتمال
۵۸۹/۳۲۳۲	۵۲۸/۹۵۶۳	۵۷۶/۷۵۷۸	۴۴۶/۳۴۷۹	CR_TS	همبستگی-رد یا پذیرش فرضیه

همچنین در جدول (۴)، نتایج معیارهای ارزیابی انتخاب مهم‌ترین ویژگی‌ها از بین ویژگی‌های فاز قبل طراحی مؤثر بر هزینه کل سامانه‌های آبیاری قطره‌ای (۱۸ ویژگی) نشان داده شده است. به غیر از معیار تعداد ویژگی انتخابی (NOF) که برای همه الگوریتم‌ها (WCC، LCA، LA و FOA) برابر ۶ انتخاب از بین ۱۸ ویژگی شد، در بقیه معیار و زیرمعیارها، الگوریتم‌های LCA و FOA دقت و همبستگی بالاتر و خطای کمتری داشتند. برای دو الگوریتم منتخب LCA و FOA، معیار زمان سپری‌شده (ET) به ترتیب ۳۴۴/۵۷۴۰ و ۱۵۳/۷۳۸۶ ثانیه، خطا (ER) برابر با ۰/۰۰۰۶ برای هر دو الگوریتم، زیرمعیار خطا-انحراف استاندارد (ER-STD) برابر با

۰/۰۰۰۳ برای هر دو الگوریتم، زیرمعیار خطا-فاصله اطمینان (ER-CI) به ترتیب ۰/۰۰۰۸ و ۰/۰۰۰۹ در تکرار اول و ۰/۰۰۱۰ و ۰/۰۰۱۱ در تکرار دوم، زیرمعیار خطا-مقدار احتمال (ER-P) برابر با صفر برای هر دو الگوریتم، زیرمعیار خطا-رد یا پذیرش فرضیه (ER-TS) به ترتیب ۱۸/۷۷۰۶ و ۱۹/۲۵۱۱ و معیار همبستگی (CR) برابر با ۰/۹۵۴۱ برای هر دو الگوریتم به دست آمد. همین روند که در زیرمعیارهای خطا طی شد، برای همبستگی نیز صدق می‌کند (جدول ۴). نتایج این بخش با یافته‌های دیگر پژوهشگران همخوانی دارد (قائم و فیضی-درخشی، ۲۰۱۶؛ مسعودی سبحان‌زاده و همکاران، ۲۰۱۹).

جدول ۴- نتایج معیارهای ارزیابی انتخاب مهم‌ترین ویژگی‌ها از بین ویژگی‌های فاز قبل طراحی مؤثر بر هزینه کل سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

الگوریتم‌های منتخب				نماد	معیار
FOA	LA	LCA	WCC		
۶	۶	۶	۶	NOF	تعداد ویژگی
۱۵۳/۷۳۸۶	۷۳/۶۷۹۴	۳۴۴/۵۷۴۰	۱۴۷/۹۲۹۷	ET	زمان سپری‌شده
۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۸	ER	خطا
۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۴	ER_STD	خطا-انحراف استاندارد
۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱۴	ER_CI_1	خطا-فاصله اطمینان ۱
۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۱۶	ER_CI_2	خطا-فاصله اطمینان ۲
۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	ER_P	خطا-مقدار احتمال
۱۹/۲۵۱۱	۲۰/۷۷۱	۱۸/۷۷۰۶	۲۱/۷۰۷۵	ER_TS	خطا-رد یا پذیرش فرضیه
۰/۹۵۴۱	۰/۹۵۴۱	۰/۹۵۴۱	۰/۹۵۵۲	CR	همبستگی
۰/۰۰۸۷	۰/۰۱۷۶	۰/۰۰۷۰	۰/۰۱۹۸	CR_STD	همبستگی-انحراف استاندارد
۰/۹۴۸۷	۰/۹۳۴۴	۰/۹۴۹۷	۰/۹۳۱۵	CR_CI_1	همبستگی-فاصله اطمینان ۱
۰/۹۵۵۳	۰/۹۴۷۶	۰/۹۵۴۹	۰/۹۴۶۳	CR_CI_2	همبستگی-فاصله اطمینان ۲
۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	CR_P	همبستگی-مقدار احتمال
۵۹۷/۱۹۹۳	۲۹۲/۸۶	۷۴۹/۳۱۳۶	۲۵۹/۴۲۲۳	CR_TS	همبستگی-رد یا پذیرش فرضیه

انتخاب برترین ویژگی‌ها

بعد از صحت‌سنجی (یا آزمایش) نتایج الگوریتم‌ها و بررسی معیارهای ارزیابی، ضمن تأیید این نتایج، ویژگی‌های مدنظر استخراج شد (جدول ۵). آنچه این پژوهش به دنبال آن بود، انتخاب مجموعه‌ای از مفیدترین، بهترین، مؤثرترین، مهم‌ترین و دقیق‌ترین ویژگی‌هاست که بتوان با آن مدل‌سازی هزینه اولیه

سامانه‌های آبیاری تحت فشار و بالأخص قطره‌ای را انجام داد. در بخش انتخاب ویژگی از بین کل ویژگی‌ها (۳۹ عدد)، نتایج الگوریتم‌های WCC، LCA، LA و FOA به ترتیب برابر با ۱۷، ۱۱، ۱۵ و ۸ به دست آمد و برای انتخاب ویژگی از بین ویژگی‌های فاز قبل طراحی (۱۸ عدد)، الگوریتم‌های WCC، LCA، LA و FOA همگی به اتفاق دست روی شش ویژگی گذاشتند. بر همین اساس

و در این ایستگاه آخر، ویژگی‌های برتر در هر بخش مشخص شد. ویژگی‌های برتر از ترکیب کردن ویژگی‌های مشترک در هر بخش، حاصل شد. با یک نگاه کارشناسانه مشخص است که ویژگی‌های منتخب در هر دو بخش، در نوع طراحی و اجرای سامانه‌ها بسیار حیاتی بوده و نقش اساسی در هزینه‌ها ایفا می‌کند. حتی هر فرد غیرحرفه‌ای و یا یک کارشناس کم‌تجربه در شرکت‌های مهندسی مشاور

و یا پیمانکاری نیز می‌تواند بر روی این ادعا صحه بگذارد. آنچه در این تحقیق مهم بود، ابتدا به‌کارگیری روش‌های جدید انتخاب ویژگی بود که بدین‌منظور از کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. سپس الگوریتم‌ها، مدل‌ها و روش‌های مختلف انتخاب ویژگی، آموزش و آزمایش شد. در نهایت ویژگی‌های برتر از دل آن استخراج و در جدول (۵) ارائه شد.

جدول ۵- انتخاب ویژگی‌های برتر از بین کل ویژگی‌ها و ویژگی‌های فاز قبل طراحی مؤثر بر هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

بخش	ویژگی‌ها و نماد آن
کل ویژگی‌ها (انتخاب ۱۰ از ۳۹ ویژگی)	توان پمپ مورد نیاز (P_p (kW)، طول لوله جانبی (L_{125mm} (m)، مساحت زمین (A (ha)، مقدار کل دبی آب قابل‌دسترس (Q_T (l/s)، طول لوله جانبی (L_{160mm} (m)، طول لوله جانبی (L_{110mm} (m)، دبی سامانه (Q_S (l/s)، ظرفیت نگهداری آب در خاک (AW (mm/m)، خط انتقال طولانی (L_{200mm} (m) و مساحت واحدهای آبیاری (A_{IU} (ha)
ویژگی‌های فاز قبل طراحی (انتخاب ۷ از ۱۸ ویژگی)	مقدار کل دبی آب قابل‌دسترس (Q_T (l/s)، مساحت زمین (A (ha)، شکل زمین (نسبت محیط به مساحت) (P/A (1/m)، طول کل لترال (L_{16mm} (m)، فاصله منبع آبی تا زمین (D_{SF} (m)، تعداد قطعات زمین (N_{PL}) و دبی گسیلنده (Q_E (l/s)

نتیجه‌گیری

استفاده از روش‌های دانش‌مبنا و عددی که دسترسی به تمام پارامترهای مورد نیاز آن‌ها، مشکل و یا اندازه‌گیری آن‌ها نیازمند صرف هزینه و زمان زیادی است، کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در عوض از مدل‌های هوش محاسباتی داده‌مبنا که از دقت و اعتبار بالایی برخوردار هستند و پارامترهای ورودی کمتر و در دسترس‌تر نیاز دارند، استفاده می‌شود. به‌طور سنتی، یک مدل‌ساز برای ساخت مدل‌های ریاضی مانند شبکه عصبی مصنوعی برای ترکیبات مختلف ورودی باید از آزمون و خطا استفاده کند که این بسیار وقت‌گیر است زیرا مدل‌ساز نیاز به آموزش و آزمایش مدل‌های مختلف با تمام ترکیبات ورودی احتمالی دارد. الگوریتم‌های مختلف یادگیری ماشین این امکان را فراهم می‌سازد که بتوان با صرف کمترین زمان و هزینه، بهترین داده‌ها را با بالاترین معیارهای ارزیابی شناسایی کرده و یک مدل‌سازی دقیق و کم‌خطا حاصل کرد. از سویی، در گذشته و هنگام استفاده از روابط خطی و رگرسیونی، مدل‌های هوش مصنوعی و به‌طور کلی الگوریتم‌های یادگیری ماشین، از تمام ویژگی‌ها و متغیرها استفاده می‌شد. این کار چند عیب اساسی داشت؛ (۱) باعث طولانی شدن زمان اجرا و صرف زمان-

هزینه بالا می‌شد. (۲) نتایج کاربرپسند نبوده و هر فرد نمی‌توانست از روابط مستخرج بهره کافی را ببرد. (۳) از همه مهم‌تر اینکه استفاده از کل ویژگی‌ها، منجر به نتایج بسیار پیچیده و غیرکاربردی می‌شد. حال با پیشرفت فناوری اطلاعات، رویکرد انتخاب ویژگی به دنبال تسهیل در همین روند است.

به‌طور خلاصه، نتایج این مطالعه حاکی از آن بود که مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) به‌عنوان بهترین یادگیرنده شناسایی شد. روش الگوریتم‌های بهینه‌سازی (Wrapper)، بهترین روش انتخاب ویژگی شد. الگوریتم‌های LCA و FOA نیز بهترین راه برای رسیدن به نتایج مطلوب (خطای کم و همبستگی بالا) برای انتخاب مهم‌ترین ویژگی‌ها بودند. نتایج انتخاب ویژگی نیز نشان داد که از بین کل ویژگی‌های مؤثر بر هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای (۳۹ ویژگی)، ۱۰ ویژگی شامل توان پمپ مورد نیاز (P_p (kW)، طول لوله جانبی (L_{125mm} (m)، مساحت زمین (A (ha)، مقدار کل دبی آب قابل‌دسترس (Q_T (l/s)، طول لوله جانبی (L_{160mm} (m)، طول لوله جانبی (L_{110mm} (m)، دبی سامانه (Q_S (l/s)، ظرفیت نگهداری آب در خاک (AW (mm/m)، خط انتقال طولانی (L_{200mm} (m) و مساحت واحدهای

آبیاری پیش از انجام کار می‌توان درک درستی از میزان هزینه‌ها داشت و بودجه‌بندی برای تخصیص اعتبار را به‌درستی مدیریت کرد.

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از رساله دکتری نویسنده اول است. بدین‌وسیله از شرکت مهندسين مشاور آب‌وخاک البرز و معاونت آب‌وخاک وزارت جهاد کشاورزی به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌ها و همچنین گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران به دلیل تأمین امکانات لازم برای انجام این پژوهش و تهیه مقالات مربوطه تشکر و قدردانی می‌شود. از آقای دکتر یوسف مسعودی سبحان‌زاده و آقای مهندس ایمان حاجی‌راد نیز به دلیل کمک‌های بی‌دریغشان، کمال قدردانی به عمل می‌آید.

آبیاری ((A_{IU} (ha) به‌عنوان برترین ویژگی‌ها شناسایی شد. در بخش ویژگی‌های مؤثر بر هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در فاز قبل از طراحی (۱۸ ویژگی) نیز، هفت ویژگی شامل مقدار کل دبی آب قابل‌دسترس (Q_T (l/s)، مساحت زمین ((A (ha)، شکل زمین (نسبت محیط به مساحت) ((P/A (1/m)، طول کل لترال ((L_{16mm} (m)، فاصله منبع آبی تا زمین ((D_{SF} (m)، تعداد قطعات زمین ((N_{PL}) و دبی گسیلنده ((Q_E (l/s) به‌عنوان مؤثرترین ویژگی‌ها بر هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای انتخاب شد. نتایج کلی این پژوهش نشان داد که برای سهولت مدل‌سازی هزینه‌های سامانه‌های آبیاری قطره‌ای می‌توان به نتایج این پژوهش تکیه کرد، مدل‌های بهینه را به دست آورد و مدل‌هایی را برای این کار توسعه داد. طبیعتاً آن مدل دینامیک بوده و با استفاده از تورم همان سال، اجرا خواهد شد. لذا تحلیل اقتصادی آن قابل استناد، دقیق و به‌روز خواهد بود. سپس با مدل‌سازی هزینه سامانه‌های

فهرست منابع

1. Ahiaga-Dagbui, D. D., and Smith, S. D. 2012. Neural networks for modelling the final target cost of water projects.
2. Ahmadaali, K., Liaghat, A., Heydari, N., and Bozorg-Haddad, O. 2013. Application of artificial neural network and adaptive neural-based fuzzy inference system techniques in estimating of virtual water. *International Journal of Computer Application*, 76: 12-19.
3. Alshahethi, A. A. A., and Radhika, K. L. 2018. Estimating the Final Cost of Construction Project Using Neural Networks: A Case of Yemen Construction Projects. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 6(11): 2141-2151.
4. Altarabichi, M. G., Nowaczyk, S., Pashami, S., and Mashhadi, P. S. 2023. Fast Genetic Algorithm for feature selection—A qualitative approximation approach. *Expert Systems with Applications*, 211: 118528.
5. Alweshah, M. 2021. Solving feature selection problems by combining mutation and crossover operations with the monarch butterfly optimization algorithm. *Applied Intelligence*, 51(6): 4058-4081.
6. Arora, S., and Mishra, N. 2017. Software cost estimation using single layer artificial neural network. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 4(9): 237250.
7. Arora, S., and Mishra, N. 2018. Software cost estimation using artificial neural network. In *Soft Computing: Theories and Applications* (pp. 51-58). Springer, Singapore.
8. Awad, M., and Khanna, R. 2015. Support vector regression. In *efficient learning machines* (pp. 67-80). Apress, Berkeley, CA.
9. Babaei, M., Rashidi-baqhi, A., and Rashidi, M. 2022. Estimating Project Cost under Uncertainty Using Universal Generating Function Method. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(2): 04021194.

10. Chandanshive, V., and Kambekar, A. R. 2019. Estimation of building construction cost using artificial neural networks. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 3(1): 91-107.
11. Chandrashekar, G., and Sahin, F. 2014. A survey on feature selection methods. *Computers & Electrical Engineering*, 40(1): 16-28.
12. Cheng, M. Y., Tsai, H. C., and Sudjono, E. 2010. Conceptual cost estimates using evolutionary fuzzy hybrid neural network for projects in construction industry. *Expert Systems with Applications*, 37(6): 4224-4231.
13. Cortes, C., and Vapnik, V. 1995. Support-vector networks. *Machine learning*, 20(3): 273-297.
14. Drenthe, N. T., Zandbergen, B. T. C., Curran, R., and Van Pelt, M. O. 2019. Cost estimating of commercial smallsat launch vehicles. *Acta Astronautica*, 155: 160-169.
15. Elfaki, A. O., Alatawi, S., and Abushandi, E. 2014. Using intelligent techniques in construction project cost estimation: 10-year survey. *Advances in Civil Engineering*, 2014: 1-11.
16. Elhag, T. M. S., and Boussabaine, A. H. 1998. An artificial neural system for cost estimation of construction projects. In *14th Annual ARCOM Conference* (Vol. 1, pp. 219-226). University of Reading: Association of Researchers in Construction Management.
17. Ghaddar, B., and Naoum-Sawaya, J. 2018. High dimensional data classification and feature selection using support vector machines. *European Journal of Operational Research*, 265(3): 993-1004.
18. Ghaemi, M., and Feizi-Derakhshi, M. R. 2016. Feature selection using forest optimization algorithm. *Pattern Recognition*, 60: 121-129.
19. Gransberg, D. D., and Rueda, J. A. 2020. *Construction equipment management for engineers, estimators, and owners*. CRC Press.
20. Kashan, A. H. 2014. League Championship Algorithm (LCA): An algorithm for global optimization inspired by sport championships. *Applied Soft Computing*, 16: 171-200.
21. Kiani, A., and Shaker, M. 2022. Evaluating the Effectiveness of Pressurized Irrigation Systems in Iran. *Water Management in Agriculture*, 8(2): 167-182. (In Persian)
22. Kim, G. H., Shin, J. M., Kim, S., and Shin, Y. 2013. Comparison of school building construction costs estimation methods using regression analysis, neural network, and support vector machine. *Journal of Building Construction and Planning Research*, 1(1): 1-7.
23. Lester, E. I. A. 2017. Estimating. In: Project management, planning and control. *The Netherlands: Elsevier*, 61-65.
24. Liu, J., Lin, Y., Lin, M., Wu, S., and Zhang, J. 2017. Feature selection based on quality of information. *Neurocomputing*, 225: 11-22.
25. Masoudi-Sobhanzadeh, Y., and Motieghader, H. 2016. World Competitive Contests (WCC) algorithm: A novel intelligent optimization algorithm for biological and non-biological problems. *Informatics in Medicine Unlocked*, 3: 15-28.
26. Masoudi-Sobhanzadeh, Y., Motieghader, H., & Masoudi-Nejad, A. 2019. FeatureSelect: a software for feature selection based on machine learning approaches. *BMC Bioinformatics*, 20(1): 1-17.
27. Matel, E., Vahdatikhaki, F., Hosseinyalamdary, S., Evers, T., and Voordijk, H. 2022. An artificial neural network approach for cost estimation of engineering services. *International Journal of Construction Management*, 22(7): 1274-1287.
28. Metin, S. K. 2018. Feature selection in multiword expression recognition. *Expert Systems with Applications*, 92: 106-123.
29. Mevellec, P. 2021. Cost systems: A new approach. *Academia Letters*, 2.
30. Miao, J., and Niu, L. 2016. A survey on feature selection. *Procedia Computer Science*, 91: 919-926.
31. Nalbandan, R. B., Delavar, M., Abbasi, H., and Zaghiyan, M. R. 2023. Model-based water footprint accounting framework to evaluate new water management policies. *Journal of Cleaner Production*, 382: 135220.

32. Norvig, P. R., and Intelligence, S. A. 2002. A modern approach. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ, USA: Rani, M., Nayak, R., & Vyas, OP (2015). An ontology-based adaptive personalized e-learning system, assisted by software agents on cloud storage. *Knowledge-Based Systems*, 90: 33-48.
33. Omotayo, T., Bankole, A., and Olubunmi Olanipekun, A. 2020. An artificial neural network approach to predicting most applicable post-contract cost controlling techniques in construction projects. *Applied Sciences*, 10(15): 5171-5195.
34. Panday, D., de Amorim, R. C., and Lane, P. 2018. Feature weighting as a tool for unsupervised feature selection. *Information processing letters*, 129: 44-52.
35. Pazoki, M., Yadav, A., and Abdelaziz, A. Y. 2020. Pattern-recognition methods for decision-making in protection of transmission lines. In *Decision making applications in modern power systems* (pp. 441-472). Academic Press.
36. Pourgholam-Amiji, M., Ahmadaali, K., and Liaghat, A. 2021a. Sensitivity Analysis of Parameters Affecting the Early Cost of Drip Irrigation Systems Using Meta-Heuristic Algorithms. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 15(4): 737-756. (In Persian)
37. Pourgholam-Amiji, M., Liaghat, A., and Ahmadaali, K. 2021b. Early Stage Cost Modeling of Drip Irrigation Systems. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 22(82): 1-22. (In Persian)
38. Rahmaninia, M., and Moradi, P. 2018. OSFSMI: online stream feature selection method based on mutual information. *Applied Soft Computing*, 68: 733-746.
39. Rastegar, R., Rahmati, M., and Meybodi, M. R. 2005. A clustering algorithm using cellular learning automata based evolutionary algorithm. In *Adaptive and Natural Computing Algorithms* (pp. 144-150). Springer, Vienna.
40. Roxas, C. L. C., and Ongpeng, J. M. C. 2014. An artificial neural network approach to structural cost estimation of building projects in the Philippines. *Proc. DLSU Res. Congr.*
41. Schubert, A. L., Hagemann, D., Voss, A., and Bergmann, K. 2017. Evaluating the model fit of diffusion models with the root mean square error of approximation. *Journal of Mathematical Psychology*, 77: 29-45.
42. Sharma, A., Jain, A., Gupta, P., and Chowdary, V. 2020. Machine learning applications for precision agriculture: A comprehensive review. *IEEE Access*, 9: 4843-4873.
43. Sheikhpour, R., Sarram, M. A., Gharaghani, S., and Chahooki, M. A. Z. 2017. A survey on semi-supervised feature selection methods. *Pattern Recognition*, 64: 141-158.
44. Solorio-Fernández, S., Carrasco-Ochoa, J. A., and Martínez-Trinidad, J. F. (2020): A review of unsupervised feature selection methods. *Artificial Intelligence Review*, 53(2): 907-948.
45. Talukdar, S., Naikoo, M. W., Mallick, J., Praveen, B., Sharma, P., Islam, A. R. M. T. ... and Rahman, A. 2022. Coupling geographic information system integrated fuzzy logic-analytical hierarchy process with global and machine learning based sensitivity analysis for agricultural suitability mapping. *Agricultural Systems*, 196: 103343.
46. Teksin, S., Azginoglu, N., and Akansu, S. O. 2022. Structure estimation of vertical axis wind turbine using artificial neural network. *Alexandria Engineering Journal*, 61(1): 305-314.
47. Thakkar, A., and Lohiya, R. 2023. Fusion of statistical importance for feature selection in Deep Neural Network-based Intrusion Detection System. *Information Fusion*, 90: 353-363.
48. Venkatachalam, A. R. 1993. Software cost estimation using artificial neural networks. In *Proceedings of 1993 International Conference on Neural Networks (IJCNN-93-Nagoya, Japan)* (Vol. 1, pp. 987-990). IEEE.
49. Waliulu, Y. E. P. R., and Adi, T. J. W. 2022. A system dynamic thinking for modeling infrastructure project duration acceleration. *Procedia Computer Science*, 197: 420-427.
50. Winston, P. H. 1992. *Artificial intelligence*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
51. Yadav, R., Vyas, M., Vyas, V., and Agrawal, S. 2016. Cost estimation model (CEM) for residential building using artificial neural network. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 5(1): 430-432.

اثر تنش آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد توت فرنگی با استفاده از آب مغناطیسی

شده

مجتبی خوش‌روش^۱ و مسعود پورغلام آمیجی

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

khoshravesh_m24@yahoo.com

دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

mpourgholam6@ut.ac.ir

دریافت: مرداد ۱۴۰۱ و پذیرش: آذر ۱۴۰۱

چکیده

جستجوی راه‌کارهایی جهت کاهش مصرف و حفظ منابع آب از اهمیت بالایی برخوردار است. استفاده از آب مغناطیسی ممکن است در این مورد موثر باشد. در این پژوهش، تاثیر تنش آبی با استفاده از آب مغناطیسی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه توت‌فرنگی بررسی شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در شهرستان نکا انجام شد. فاکتور اصلی شامل نوع آب آبیاری (آب غیرمغناطیسی (W1) و آب مغناطیسی (W2)) و فاکتور فرعی شامل سطح آبیاری در سه سطح (۱۰۰ FI، ۸۰ FI، ۶۰ FI) و I2= ۸۰ FI، I1= ۶۰ FI و I3= ۱۵/۱، ۱۶/۶، ۱۸، ۲۰/۲، ۲۳، ۱۶/۸ و ۱۱/۷٪ افزایش یافت. با کاهش مقدار آب آبیاری، خصوصیات ظاهری میوه توت‌فرنگی و عملکرد کم شد ولی بهره‌وری مصرف آب افزایش یافت. بیشترین کاهش مربوط به تعداد میوه در هر بوته در سطح آبیاری ۶۰٪ بود که نسبت به تیمار شاهد ۴۲/۷٪ کمتر بود. در نتیجه، با استفاده از فناوری آب مغناطیسی و کم آبیاری، مقدار عملکرد فرنگی بهبود یافت.

واژه‌های کلیدی: آب مغناطیسی، مقدار آبیاری، بهره‌وری آب، وزن میوه

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زارعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

مقدمه

با توجه به ارزش آب در کشاورزی و محدودیت این منبع مهم و حیاتی و وجود خشکسالی‌های متناوب در کشور، صرفه‌جویی در مصرف و استفاده بهینه از آب موجود امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد. امروزه روش کم آبیاری یکی از راه‌های عملی و مؤثر است که می‌تواند حداقل آب مصرفی با عملکرد قابل قبول و اقتصادی را تعیین و توجیه نماید. توت‌فرنگی در سطح وسیعی از جهان کشت می‌شود و میوه‌ای است که زود به بار نشسته و در فاصله کوتاهی بعد از کاشت، محصول می‌دهد. مطابق گزارش فائو، سطح زیر کشت جهانی توت‌فرنگی ۳۹۵۸۴۴ هکتار و تولید آن ۹۲۳۳۸۱۵ تن و میانگین عملکرد آن ۲۳۳۰۱/۷ کیلوگرم در هکتار است. سطح زیر کشت توت‌فرنگی در ایران ۵۷۱۸ هکتار با میانگین عملکرد ۱۱۸۳۱ کیلوگرم در هکتار و تولید کل کشور ۶۴۰۹۷ تن است که استان‌های کردستان، مازندران و گلستان به‌ترتیب بیشترین تولید در کشور را دارند (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). توت‌فرنگی میوه‌ای خوشمزه با ارزش غذایی و سلامتی بالایی است. عناصر غذایی قابل استفاده طی رشد و نمو میوه یکی از مهم‌ترین عواملی است که کمیت و کیفیت میوه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (رنجبر و همکاران، ۱۳۹۰). توت‌فرنگی ارزش اقتصادی و تغذیه‌ای قابل توجهی دارد و عطر، طعم و محتویات سرشار از ویتامین آن، این گیاه را به یکی از مهم‌ترین میوه‌های زراعی دنیا تبدیل کرده است (فاطمی و همکاران، ۱۳۸۸). قسمت‌های مختلف میوه، برگ و ریشه (حاوی تانن) گیاه توت‌فرنگی، از دیرباز مصرف دارویی داشته است. گونه توت‌فرنگی به‌طور موفقیت‌آمیز و تجاری به دامنه وسیعی از شرایط آب و هوایی و اقلیمی شامل شرایط معتدله، مدیترانه‌ای، نیمه‌گرمسیری و حتی در ارتفاعات مناطق گرمسیری سازگاری داشته و پرورش داده می‌شود (دودمان و امیری، ۱۳۹۲). با این حال، تولید توت‌فرنگی به‌وسیله دامنه‌ای از تنش‌های زنده و غیرزنده محدود می‌شود.

حدود یک سوم اراضی قابل کشت دنیا از نبود آب کافی برای کشاورزی رنج می‌برند. کاهش بارندگی و افزایش تبخیر و تعرق از جمله مشکلات پیش روی کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است و تنش خشکی و کمبود آب، مهم‌ترین و مخرب‌ترین تنش غیرزنده و یکی از شایع‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر رشد و بهره‌وری گیاهان و محدودکننده تولید گیاهان زراعی در بسیاری از مناطق است (رامانکوتی و همکاران، ۲۰۱۸؛ رینگلر و همکاران، ۲۰۲۲). در حالی که حدود ۷۰ درصد منابع آب قابل استفاده در دنیا به مصرف کشاورزی فاریاب می‌رسد، گسترش جهانی جمعیت طی چند دهه، نیاز به آب بیشتری برای مصارف خانگی، شهری، صنعتی و زیست‌محیطی را سبب خواهد شد. با توجه به تغییرات کلی آب و هوایی و افزایش خشکسالی، انتظار می‌رود که چنین موردی شدیدتر هم شود؛ بنابراین، برای تأمین نیاز غذایی مورد تقاضا، تولید محصول بیشتر به ازای مصرف آب (بارندگی) کمتر (افزایش راندمان مصرف آب) لازم است (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۷).

گیاه توت‌فرنگی به دلیل داشتن سیستم ریشه‌ای سطحی، سطح برگ زیاد و آب‌دار بودن میوه به حجم آب بالایی نیاز دارد و حساسیت زیادی به کمبود رطوبت از خود نشان می‌دهد؛ بنابراین در مناطقی با تابستان‌های گرم و خشک و دارای محدودیت منابع آب، تنش خشکی می‌تواند تأثیر معنی‌داری در عملکرد و کیفیت میوه توت-فرنگی داشته باشد (کلامکووسکی و تریدر، ۲۰۰۶؛ وی و همکاران، ۲۰۱۶). قسمت‌های مختلف توت‌فرنگی که می‌تواند تحت تأثیر کمبود آب قرار گیرد شامل تولید و رشد و نمو برگ، تولید ساقه رونده، گسترش ریشه، وزن و تعداد میوه‌ها می‌باشند. میزان صدماتی که در اثر کمبود آب وارد می‌گردد، به مرحله رشد و نمو گیاه و رقم بستگی دارد (قادری و سی‌وسه مرده، ۱۳۹۲). در کم آبیاری با وجود این که عملکرد در واحد سطح کاهش پیدا می‌کند، کاهش در مقدار آب مصرفی، هزینه‌های استحصال، انتقال و توزیع آب موجب کسب سود بیشتر خواهد شد (زگبی

و همکاران، ۲۰۰۴). کاهش آب در دسترس باعث تغییرات فیزیولوژی و بیوشیمیایی زیادی در اندامهای گیاهی می‌شود و این فعالیت‌ها در گیاه به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم دچار اختلال می‌گردد (رائینی سرجاز و چلاوی، ۲۰۱۱). اولین فرایندهایی که در گیاهان تحت تأثیر تنش‌های غیرزنده قرار می‌گیرند، فتوسنتز، پتانسیل اسمزی، هدایت روزنه‌ای و یا ترکیبی از این ویژگی‌ها می‌باشند که نهایتاً ممکن است به‌صورت تأثیر بر مورفولوژی و فیزیولوژی و مکانیزم‌های بیوشیمیایی، سلولی و مولکولی گیاهان دیده شوند (رشید و همکاران، ۲۰۱۴).

کمبود آب با تأثیر بر ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مراحل مختلف رشد و نمو گیاه باعث کاهش فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، عملکرد ماده خشک و در نهایت عملکرد گیاه می‌شود (قادری و همکاران، ۲۰۱۵). بر اساس مطالعات انجام‌شده، میزان تعرق در ارقام توت‌فرنگی کاماروسا، مراک و گایوتا با کاهش محتوای آب خاک کاهش می‌یابد (قادری و سی-وسه مرده، ۱۳۹۲). همچنین میزان تعرق، تعداد و سطح برگ‌های جدید، وزن خشک برگ و ریشه، پتانسیل آب برگ و راندمان مصرف آب گیاه در ۱۰ رقم توت‌فرنگی مورد بررسی در شرایط تنش کم‌آبی، به‌طور معنی‌داری کاهش و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی افزایش می‌یابد (گرنه و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین اسدی اقدم و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند که تنش خشکی در توت-فرنگی باعث کاهش ۲۰ درصدی طول برگچه‌ها شد که معادل ۸۵٪ کاهش در سطح برگچه‌ها بود. در بررسی اثر تنش موضعی خشکی در ناحیه ریشه توت‌فرنگی رقم سلوا، مشخص شد که با افزایش شدت تنش، وزن تر اندام‌های هوایی و میوه، تعداد برگ و میوه کاهش یافت. از سوی دیگر، وزن خشک اندام هوایی و میوه با افزایش تنش خشکی، افزایش نشان داد. کاهش در تعداد میوه و برگ و کاهش در میزان سطح برگ در گیاه توت‌فرنگی در مواجهه با تنش خشکی به‌منظور جلوگیری از هدررفت آب صورت می‌گیرد و افزایش وزن خشک اندام‌های

هوایی و میوه به‌دلیل کاهش در میزان آب بافت‌ها و به دنبال آن، ذخیره مواد فتوسنتزی بیان شده است. خشکی در برخی ارقام توت‌فرنگی از قبیل السانتا، سوناتا و سمفونی سبب کاهش در اندازه میوه و عملکرد میوه و افزایش در ماده خشک میوه شد (گین-بوردونابا و تری، ۲۰۱۶). اسماعیل و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که تقسیط مقدار آبیاری و تحویل آن در دفعات متعدد باعث افزایش و حفظ رطوبت بستر شده و گیاه در وضعیت مناسب فتوسنتزی و رشد قرار گرفته و میزان عملکرد آن افزایش می‌یابد. شاهنظری و رضائیان (۱۳۹۴) با بررسی کم آبیاری تنظیم‌شده و کم آبیاری ناقص ریشه بر عملکرد توت‌فرنگی نشان دادند که وزن تر، وزن خشک، سطح برگ، شاخص سطح برگ و عملکرد در تیمار آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای کم آبیاری بود. زگی و همکاران (۲۰۰۴) نیز اثر کم آبیاری ناقص ریشه را بر عملکرد و کیفیت محصول گوجه‌فرنگی بررسی و گزارش کردند که نرخ فتوسنتز، وزن تر و خشک میوه نسبت به آبیاری کامل کاهش معنی‌دار داشت.

یکی از راهکارها جهت کاهش اثرات تنش خشکی، استفاده از فناوری‌های نوین از جمله فناوری مغناطیسی است. عبور دادن آب مورد استفاده برای آبیاری گیاهان از یک میدان مغناطیسی و پاسخ متفاوت گیاهان به شدت‌های مختلف امواج الکترومغناطیسی می‌تواند راهی جهت افزایش کیفیت آب، کمیت و کیفیت محصول باشد (قدمی فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ پورغلام آمیچی و همکاران، ۱۴۰۱). عبور آب از یک میدان مغناطیسی باعث تغییر بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب مانند کشش سطحی، قابلیت حل نمک‌ها، تغییر ساختار خوشه-ای، زنجیره پیوند هیدروژنی مولکول‌ها، افزایش اثرات دوقطبی مولکول‌های آب و تغییر در ضریب شکست نور و اسیدیته آب می‌شود (حیدرپور و همکاران، ۱۳۹۵؛ خوش‌روش و همکاران، ۲۰۱۸). این تغییرات به‌وجود آمده به‌واسطه عبور آب از یک میدان مغناطیسی به پارامترهای مختلف شدت میدان مغناطیسی، جهت میدان،

مدت زمان قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی، نرخ جریان محلول، کیفیت و pH آب بستگی دارد (مصطفی‌زاده فرد و همکاران، ۲۰۱۱).

اثر آب مغناطیسی در افزایش رشد به افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، ایندول و سنتز پروتئین‌ها نسبت داده می‌شود (کلیک و همکاران، ۲۰۰۸). بیروکوف و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که آب مغناطیسی ممکن است سبب افزایش نفوذپذیری غشای سلولی دانه، تغییر pH دو طرف غشای سلولی، افزایش فعالیت یون کلسیم و کاهش فعالیت موجودات ذره‌بینی مضر گردد. آب مغناطیسی شده از طریق جذب راحت‌تر و سریع‌تر توسط گیاه، آسیب ناشی از کم آبی را به حداقل می‌رساند و همچنین با افزایش جذب مواد غذایی و املاح از خاک، سبب بهبود عملکرد گیاهان می‌شود (ال‌خزان و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج پژوهش زلوتوپولسکی (۲۰۱۷) نشان داد که میزان محصول و غلظت عناصر میکرو و ماکرو در گیاه کاهو تحت تأثیر آب مغناطیسی افزایش معنی‌دار داشت. احمد و ال‌کادر (۲۰۱۶) در بررسی اثر متقابل تنش خشکی و آب مغناطیسی دریافتند که کیفیت و میزان محصول، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب در گیاه سیب‌زمینی افزایش داشت. حیدری و همکاران (۱۳۹۹) با بررسی کم آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری ناقص ریشه بر گیاه ریحان تحت تأثیر آب مغناطیسی نشان دادند که وزن تر اندام هوایی، شاخص سطح برگ، وزن خشک ریشه و حجم ریشه به ترتیب ۵، ۱۳، ۲۸ و ۲۴ درصد افزایش یافت. نتایج بهره‌وری مصرف آب نیز در آبیاری ۱۰۰ درصد بیشترین میزان را نشان داد اما باوجود کاهش ۵۰ درصد میزان حجم آب آبیاری در تیمار کم آبیاری ناقص ریشه، تنها ۱۰ درصد کاهش بهره‌وری مصرف آب مشاهده شد.

با توجه به کاهش منابع آب و افزایش رقابت بین بخش‌های مختلف مصرف آب، اتخاذ راه‌کارهای صرفه‌جویی آب در مناطقی با تولید وسیع محصولات کشاورزی به‌ویژه شمال کشور ضروری است. یکی از راه‌کارها استفاده از کم آبیاری و فن‌آوری آب مغناطیسی

است. تاکنون در مورد اثر تنش‌های کم آبی در حضور میدان مغناطیسی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه توت‌فرنگی پژوهشی صورت نگرفته است؛ بنابراین، هدف از این پژوهش، بررسی استفاده از آب مغناطیسی و تنش کم آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه توت‌فرنگی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی دو سال کشت ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در مزرعه‌ای واقع در روستای میانگله شهرستان نکا (استان مازندران) با مختصات طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳۲ دقیقه (°E) و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۶۷ دقیقه (°N) انجام شد. طبق داده‌های درازمدت و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن، منطقه دارای آب و هوای نیمه مرطوب است. مطابق آمار درازمدت ۳۰ ساله (۱۹۹۱-۲۰۲۱)، متوسط بارندگی سالانه منطقه ۴۷۰ میلی‌متر و میانگین سالانه دمای هوا ۱۷/۶ درجه سانتی‌گراد است.

کشت گیاه توت‌فرنگی رقم سیلوا در کرت‌هایی به ابعاد سه در چهار متر انجام شد. در این طرح فاصله کشت روی ردیف و فاصله ردیف‌ها از هم ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمار شاهد شامل آبیاری کامل در تمام مراحل رشد گیاه و با آب معمولی (غیرمغناطیسی) بود. فاکتور اصلی شامل نوع آب آبیاری (آب غیرمغناطیسی (W1) و آب مغناطیسی (W2)) و فاکتور فرعی شامل سطح آبیاری در سه سطح (۱۰۰ درصد FI^۱ (I1)، ۸۰ درصد FI (I2) و ۶۰ درصد FI (I3)) بود. مغناطیس نمودن آب آبیاری با عبور آب از میان یک آهن‌ربای دائمی با شدت میدان مغناطیسی ۰/۳ تسلا ایجاد شد. خصوصیات شیمیایی آب چاه (قبل از عبور از میدان مغناطیسی) و آب مغناطیسی‌شده در جدول (۱) نشان داده شده است. عدم برقراری تعادل یونی به این دلیل است که برخی کاتیون‌ها و آنیون‌ها که مقدار

شروع آزمایش و اعمال تیمارها، نمونه‌برداری از خاک مزرعه انجام شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده

نوع منبع	EC (dS/m)	pH	Ca	Mg	Na	Cl	HCO ₃
meq/l							
آب چاه	۰/۸۶	۷/۲	۱۲/۶	۱/۳	۴/۴	۲/۴	۹/۷
آب مغناطیسی شده	۰/۶۱	۷/۱	۱۰/۹	۱/۱	۳/۵	۱/۹	۸/۷

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

عمق (سانتی‌متر)	ذرات تشکیل‌دهنده خاک (%)			بافت خاک	ρ_b (g/cm ³)	pH	EC (dS/m)
	رس	سیلت	شن				
۳۰-۰	۲۲/۳۵	۳۷/۸۲	۳۹/۸۳	لومی	۱/۵۲	۷/۳	۱/۵۸

اول (۱۴۰۰) در تیمار I1، I2 و I3 به ترتیب ۲۰۸، ۱۶۶ و ۱۲۵ و در سال دوم (۱۴۰۱) در تیمار I1، I2 و I3 به ترتیب ۲۱۶، ۱۷۳ و ۱۳۰ میلی‌متر آب به گیاه توت‌فرنگی داده شد. میزان آب مصرفی در تیمارهای مختلف تنش آبی متفاوت بود و در تیمار مغناطیسی و غیرمغناطیسی تفاوتی نداشت زیرا همان آب از میدان مغناطیسی عبور کرده تا بتوان تأثیر این دو عامل را در عملکرد گیاه مشاهده کرد. در این پژوهش مقادیر عملکرد و تعداد میوه در هر بوته، طول و قطر میوه، وزن خشک میوه و زیست‌توده اندازه‌گیری شد. وزن میوه‌ها با استفاده از ترازوی حساس دیجیتال اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، مواد گیاهی در داخل پاکت قرار گرفتند و در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از ۴۸ ساعت با ترازوی دیجیتال وزن شدند. از کولیس دیجیتال برای اندازه‌گیری طول و قطر میوه‌ها استفاده شد. همچنین از معادله (۳) جهت محاسبه بهره‌وری آب گیاه توت‌فرنگی استفاده شد.

$$WP=y/V \quad (3)$$

که در آن: WP بهره‌وری آب آبیاری (kg/m³)، Y عملکرد (kg) و V حجم آب آبیاری (m³) است. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS9.4 مورد تحلیل آماری قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن انجام شد.

قابل توجهی نداشتند، در جدول ذکر نشدند. فقط موارد اصلی که حائز اهمیت بالاتری بودند، قرار گرفتند. این کاتیون‌ها و آنیون‌ها شامل پتاسیم، سولفات و غیره بودند. برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از

روش آبیاری به کار برده شده، قطره‌ای نواری بود و میزان آب آبیاری و دور آبیاری بر اساس نیاز گیاه انجام شد. برای محاسبه مقدار آب کاربردی از پایش رطوبت خاک استفاده شد. عمق آب آبیاری مبتنی بر اندازه‌گیری رطوبت خاک و محاسبه کمبود رطوبت خاک در تیمار آبیاری کامل در بازه زمانی ۵ روزه که تخلیه رطوبت خاک به ۶۰ درصد آب قابل دسترس می‌رسید، به شرح زیر برآورد شد. میزان رطوبت حجمی خاک در زمان آبیاری از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\theta_{RI} = \theta_{FC} - (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) * MAD \quad (1)$$

که در آن: θ_{RI} میزان رطوبت حجمی خاک در زمان آبیاری، θ_{FC} میزان رطوبت در حد ظرفیت زراعی، θ_{PWP} میزان رطوبت در نقطه پژمردگی دائم (اندازه‌گیری رطوبت حجمی با روش مستقیم و بقیه با دستگاه صفحات فشاری) و MAD میزان تخلیه مجاز رطوبتی است که برابر ۶۰ درصد در نظر گرفته شد (۱۱، ۱۶ و ۱۷). پایش رطوبت به‌صورت روزانه در هر سه سطح آبیاری انجام گرفت و کمبود رطوبت خاک (SMD) از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$SMD = \sum_{i=1}^n (\theta_{FC} - \theta_{BI}) * D_i \quad (2)$$

که D_i عمق لایه خاک و θ_{BI} رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری (اندازه‌گیری شده با روش مستقیم) است. در سال

نتایج و بحث

آب آبیاری و سطح آبیاری بر تعداد میوه در هر بوته، طول و قطر میوه در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد؛ اثر متقابل نوع آب آبیاری و سطح آبیاری نیز در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد.

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع آب آبیاری و سطح آبیاری بر خصوصیات ظاهری میوه توت فرنگی در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به جدول (۳)، اثر نوع

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر فاکتورهای مختلف بر خصوصیات ظاهری میوه توت فرنگی

سال کشت	منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد میوه در هر بوته	طول میوه	قطر میوه
۱۴۰۰	بلوک	۲	۲۳۳/۰۸**	۵۵۹/۴۷**	۴۳۸/۲۷**
	نوع آب آبیاری	۱	۵۰۴/۳۱**	۹۷۸/۳۳**	۷۴۹/۰۷**
	سطح آبیاری	۲	۸۱۱/۰۱**	۱۴۵۸/۰۸**	۱۰۰۲/۳۱**
	نوع آب آبیاری × سطح آبیاری	۲	۱۱/۷۸**	۴۸/۱۲**	۲۹/۶۱**
	خطا	۱۰	۰/۱۸	۱/۱۸	۰/۹۷
۱۴۰۱	بلوک	۲	۲۴۸/۱۴**	۵۷۸/۱۹**	۴۶۰/۵۳**
	نوع آب آبیاری	۱	۵۳۱/۰۹**	۹۹۶/۸۲**	۷۹۶/۱۹**
	سطح آبیاری	۲	۸۵۱/۷۰**	۱۵۳۱/۴۴**	۱۱۰۸/۴۰**
	نوع آب آبیاری × سطح آبیاری	۲	۱۴/۹۱**	۵۶/۸۰**	۳۶/۱۱**
	خطا	۱۰	۰/۲۰	۱/۱۲	۱/۰۴

ns و *، ** به ترتیب معنی داری در سطح احتمال یک درصد، معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی دار

بوته، طول و قطر میوه در سطوح مختلف آبیاری دارای اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد بود. حداکثر تعداد میوه در هر بوته، طول و قطر میوه به ترتیب برابر ۱۸/۹۸، ۴۱/۸۵ میلی متر و ۳۳/۶ میلی متر و در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد حاصل شد.

مقایسه میانگین اثرات نوع آب آبیاری و سطح آبیاری بر خصوصیات ظاهری میوه توت فرنگی در جدول (۴) نشان داده شده است. مقادیر تعداد میوه در هر بوته، طول و قطر میوه در تیمار آب مغناطیسی بیشتر از تیمار آب غیرمغناطیسی شد و این اختلاف در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد. همچنین مقادیر تعداد میوه در هر

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر نوع آب آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر اجزای عملکرد توت فرنگی

سال کشت	فاکتور	تعداد میوه در هر بوته (عدد)	طول میوه (میلی متر)	قطر میوه (میلی متر)
۱۴۰۰	نوع آب آبیاری	۱۵/۸۲ a	۳۶/۷۲ a	۲۹/۲۱ a
		۱۳/۷۸ b	۳۱/۴۶ b	۲۴/۷۹ b
	سطح آبیاری	۱۸/۹۶ a	۴۱/۷۵ a	۳۳/۲۸ a
		۱۴/۶۵ b	۳۳/۲۸ b	۲۶/۶۱ b
		۱۰/۷۹ c	۲۷/۲۴ c	۲۱/۱۱ c
۱۴۰۱	نوع آب آبیاری	۱۵/۹۷ a	۳۶/۸۳ a	۲۹/۴۶ a
		۱۳/۸۳ b	۳۱/۵۹ b	۲۴/۹۲ b
	سطح آبیاری	۱۸/۹۸ a	۴۱/۸۵ a	۳۳/۶۰ a
		۱۴/۷۸ b	۳۳/۴۴ b	۲۶/۷۰ b
		۱۰/۹۴ c	۲۷/۳۴ c	۲۱/۲۷ c

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی دار نیست

غیرمغناطیسی افزایشی معنی دار داشت. طول میوه در تیمارهای مغناطیسی در سال اول و دوم کشت به ترتیب ۱۶/۷۲ و ۱۶/۵۸ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی

با اعمال میدان مغناطیسی، تعداد میوه در هر بوته در تیمارهای مغناطیسی در سال اول و دوم کشت به- ترتیب ۱۴/۸ و ۱۵/۴۷ درصد نسبت به تیمارهای

افزایشی معنی‌دار داشت. قطر میوه در تیمارهای مغناطیسی در سال اول و دوم کشت به ترتیب $17/83$ و $18/21$ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی افزایشی معنی‌دار داشت (جدول ۴). آب مغناطیسی سبب افزایش نفوذ آب به غشای سلولی و جذب بیشتر آب و عناصر غذایی در سلول‌های ریشه می‌شود (الگذری و یاو، ۲۰۰۶؛ صادقی‌پور و آقایی، ۱۳۹۳). همچنین علت افزایش خصوصیات ظاهری میوه توت‌فرنگی در تیمار آب مغناطیسی می‌تواند مربوط به رشد ریشه و هدایت روزنه‌ای باشد که جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهد (صادقی‌پور و آقایی، ۲۰۱۳). ال سید (۲۰۱۴) گزارش کرد که آب مغناطیسی با افزایش سطح برگ گیاه باعث می‌شود که سطح برخورد نور بیشتر شده و در نتیجه سرعت فتوسنتز افزایش می‌یابد. حبیبی و همکاران (۱۳۹۸) بیان کردند که آبیاری با آب مغناطیسی باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه نسبت به تیمار شاهد شده و این افزایش به واسطه سهولت جذب آب توسط گیاه و در نتیجه افزایش رشد رویشی است.

در سال اول کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، تعداد میوه در هر بوته به ترتیب $22/73$ و $43/09$ درصد کاهش یافت. در سال دوم کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، تعداد میوه در هر بوته به ترتیب $22/12$ و $42/36$ درصد کاهش یافت و این اختلاف در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های قاسمی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد. تأخیر در تولید اندام زایشی و کاهش در آغازش و تشکیل میوه، یکی از دلایل کاهش در تعداد میوه توت‌فرنگی در شرایط تنش کم آبی است (لی و همکاران، ۲۰۰۲؛ رشید و همکاران، ۲۰۱۴).

در سال اول کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، طول میوه به ترتیب $20/28$ و $34/75$ درصد کاهش یافت. در سال دوم کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، طول میوه به ترتیب $20/09$ و $34/67$ درصد کاهش یافت و این اختلاف در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری در سال اول کشت، قطر میوه به ترتیب $20/04$ و $36/56$ درصد کاهش یافت. در سال دوم کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، قطر میوه به ترتیب $20/53$ و $36/69$ درصد کاهش یافت و این اختلاف در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). اندازه و وزن میوه با مقدار آب موجود در بستر کشت ارتباط مستقیمی داشته و قدرت میوه در جذب آب و مواد مغذی در بسترها با کاهش ذخیره آب، به شدت کاهش می‌یابد (دیلمقانی حسنلویی و همتی، ۱۳۹۰). گویلی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که کاهش مولفه‌های رشد در مواجهه با آب کمتر می‌تواند به دلیل کاهش رطوبت قابل دسترس گیاه، کاهش جذب دی‌اکسید کربن به دلیل بسته شدن روزنه‌ها در شرایط خشکی و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز و کربوهیدرات‌های تولید شده طی فرایند فتوسنتز باشد.

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع آب آبیاری و سطح آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب توت‌فرنگی در جدول (۵) ارائه شده است. با توجه به جدول (۵)، اثر نوع آب آبیاری و سطح آبیاری بر وزن میوه، زیست‌توده، عملکرد بوته و بهره‌وری آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد؛ اثر متقابل نوع آب آبیاری و سطح آبیاری نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر فاکتورهای مختلف بر عملکرد و بهره‌وری آب توت‌فرنگی

سال کشت	منابع تغییر	درجه آزادی	وزن میوه	زیست‌توده	عملکرد هر بوته	بهره‌وری آب
۱۴۰۰	بلوک	۲	۱۹۸/۹۳**	۱۹۸۴/۲۲**	۱۲۸۹/۰۷**	۷۲/۵۱**
	نوع آب آبیاری	۱	۴۷۶/۰۸**	۲۷۴۸/۰۷**	۱۶۷۵/۷۱**	۱۶۷/۱۹**
	سطح آبیاری	۲	۷۵۱/۲۵**	۳۹۱۲/۹۱**	۲۳۰۱/۶۰**	۲۴۸/۷۷**
	نوع آب آبیاری × سطح آبیاری	۲	۹/۱۳**	۱۹۸/۰۶**	۱۱۹/۴۲**	۳/۹۶**
	خطا	۱۰	۰/۱۱	۲/۳۸	۱/۲۴	۰/۰۸
۱۴۰۱	بلوک	۲	۲۳۰/۰۸**	۲۰۱۹/۶۷**	۱۳۳۵/۲۴**	۸۰/۰۲**
	نوع آب آبیاری	۱	۵۰۲/۱۴**	۲۸۰۹/۳۶**	۱۷۱۸/۰۸**	۱۷۴/۸۶**
	سطح آبیاری	۲	۸۰۶/۱۹**	۴۰۰۲/۱۱**	۲۴۱۸/۰۱**	۲۸۲/۱۴**
	نوع آب آبیاری × سطح آبیاری	۲	۹/۹۸**	۲۲۵/۴۶**	۱۲۷/۹۳**	۵/۱۷**
	خطا	۱۰	۰/۱۳	۲/۴۵	۱/۰۸	۰/۱۰

*, ** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

طالعی، ۱۳۹۸). نیکبخت و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که سطح برگ، وزن تر و بهره‌وری مصرف آب ذرت در تیمار آب مغناطیسی به ترتیب ۹/۵، ۸/۳ و ۹ درصد افزایش یافت.

مقادیر وزن میوه، زیست‌توده، عملکرد بوته و بهره‌وری آب در سطوح مختلف آبیاری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بود (جدول ۶). حداکثر وزن میوه، زیست‌توده، عملکرد بوته و بهره‌وری آب به ترتیب برابر ۱۷/۵۷ گرم، ۲۵۳/۴۱ گرم، ۱۷۸/۵۴ گرم و ۵/۵۱ کیلوگرم بر مترمکعب و در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد حاصل شد.

مقایسه میانگین اثرات نوع آب آبیاری و سطح آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب توت‌فرنگی در جدول (۶) نشان داده شده است. مقادیر وزن میوه، زیست‌توده، عملکرد بوته و بهره‌وری آب در تیمار آب مغناطیسی بیشتر از تیمار آب غیرمغناطیسی شد و این اختلاف در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. با اعمال میدان مغناطیسی به دلیل منظم‌تر شدن مولکول‌های آب و اشغال فضای کمتر توسط آن‌ها و افزایش توانایی جذب آب توسط گیاه، کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد (بلیاوس‌کایا، ۲۰۰۴). همچنین افزایش جذب آب و مواد غذایی محلول توسط ریشه، باعث افزایش تولید ماده‌ی غذایی و در نهایت عملکرد گیاه می‌شود (نیکبخت و

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر نوع آب آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب توت‌فرنگی

سال کشت	فاکتور	وزن میوه (گرم)	زیست‌توده (گرم)	عملکرد بوته (گرم)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
۱۴۰۰	نوع آب	۱۵/۵۲ a	۲۱۹/۳۹ a	۱۴۸/۱۸ a	۵/۷۶ a
	آبیاری	۱۲/۸۶ b	۱۸۰/۷۲ b	۱۲۵/۶۳ b	۵/۱۸ b
	۱۰۰	۱۷/۴۵ a	۲۵۳/۴۱ a	۱۷۱/۳۲ a	۵/۴۹ a
	۸۰	۱۴/۶۳ b	۱۹۹/۶۶ b	۱۳۹/۵۳ b	۵/۵۹ a
	۶۰	۱۰/۴۹ c	۱۴۷/۰۹ c	۹۹/۸۷ c	۵/۳۳ b
۱۴۰۱	نوع آب	۱۵/۶۱ a	۲۱۵/۲۵ a	۱۵۴/۰۵ a	۵/۸۶ a
	آبیاری	۱۳/۰۳ b	۱۷۲/۶۳ b	۱۳۲/۹۷ b	۵/۲۲ b
	۱۰۰	۱۷/۵۷ a	۲۴۷/۳۰ a	۱۷۸/۵۴ a	۵/۵۱ a
	۸۰	۱۴/۷۶ b	۱۹۴/۲۸ b	۱۴۳/۶۳ b	۵/۵۴ a
	۶۰	۱۰/۶۳ c	۱۴۰/۲۴ c	۱۰۸/۳۶ c	۵/۵۷ a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیست

با اعمال میدان مغناطیسی، وزن میوه در تیمارهای مغناطیسی در سال اول و دوم کشت به ترتیب ۲۰/۶۸ و ۱۹/۸۰ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی افزایشی معنی دار داشت. مقدار زیست توده در تیمارهای مغناطیسی در سال اول و دوم کشت به ترتیب ۲۱/۳۹ و ۲۴/۶۸ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی افزایشی معنی دار داشت. مقدار عملکرد بوته در تیمارهای مغناطیسی در سال اول و دوم کشت به ترتیب ۱۷/۹۴ و ۱۵/۸۵ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی افزایشی معنی دار داشت. بهره‌وری آب در تیمارهای مغناطیسی در سال اول و دوم کشت به ترتیب ۱۱/۱۹ و ۱۲/۲۶ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی افزایشی معنی دار داشت (جدول ۶). با عبور آب از میدان مغناطیسی، پیوندهای هیدروژنی و واندروالس بین مولکول‌های آب شکسته شده و در نتیجه کشش سطحی آب کاهش و حلالیت آب افزایش می‌یابد و در نتیجه املاح معدنی مورد نیاز گیاه در آب به خوبی حل شده و در نهایت افزایش کمیت محصول را سبب می‌شود (خوش‌روش و کیانی، ۱۳۹۴). یداللهی و همکاران (۱۴۰۰) نشان دادند که آبیاری با آب مغناطیسی به‌طور متوسط باعث افزایش عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب نخودفرنگی به ترتیب به میزان ۸/۶٪ و ۸/۷٪ نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی شد. خوش‌روش و همکاران (۱۴۰۰) نشان دادند که آب مغناطیسی با افزایش قدرت حلالیت آب، باعث افزایش فتوسنتز و رشد بذرهای آبیاری شده با آب مغناطیسی شده و جذب مواد غذایی از خاک نیز بیشتر خواهد شد. همچنین آب مغناطیسی با افزایش رطوبت در خاک و کاهش شوری پروفیل خاک باعث افزایش کمیت محصول خواهد شد. مصطفی‌زاده فرد و همکاران (۲۰۱۲) اثر آب مغناطیسی بر رطوبت عمق‌های مختلف خاک در آبیاری قطره‌ای را بررسی و گزارش نمودند که مقدار رطوبت خاک در تیمار آب مغناطیسی به‌طور متوسط ۷/۵ درصد بیشتر از تیمار آب غیرمغناطیسی بود. در شرایط آب مغناطیسی، مولکول‌های آب تحت تأثیر پیوندهای هیدروژنی و

نیروهای واندروالس قرار گرفته و از آنجایی که در واکنش با یون‌ها بودند، آزاد شدند و آب را منسجم‌تر کردند؛ بنابراین مولکول‌های آب در شرایط مغناطیسی به راحتی به ذرات خاک چسبیده و به اعماق پایین خاک حرکت نکردند. این یعنی مولکول‌های آب مغناطیسی به راحتی به داخل منافذ و خلل و فرج خاک نفوذ کرده و به اعماق پایین خاک منتقل نشدند.

در سال اول کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، وزن میوه به ترتیب ۱۶/۱۶ و ۳۹/۸۸ درصد کاهش یافت. در سال دوم کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، وزن میوه به ترتیب ۱۵/۹۹ و ۳۹/۵ درصد کاهش یافت و این اختلاف در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۶). نتایج این بخش با یافته‌های قادری و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. کاهش در وزن میوه به دلیل کاهش در هدایت روزنه‌ای و میزان فتوسنتز ناشی از آن و کاهش در سطح برگ به دلیل تنش کم آبی است نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های رضایی و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد.

مقدار زیست توده در سال اول کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، به ترتیب ۲۱/۲۱ و ۴۱/۹۵ درصد کاهش یافت. در سال دوم کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، مقدار زیست توده به ترتیب ۲۱/۴۳ و ۴۳/۲۹ درصد کاهش یافت و این اختلاف در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۶). کاهش وزن تر اندام هوایی در گیاهان تحت شرایط کمبود آب به علت عدم توسعه و رشد سلولی ناشی از فشار تورژسانس است (رضایی و همکاران، ۱۳۹۹). نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های قاسمی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد. آن‌ها با بررسی اثر کم آبیاری بر گیاه توت‌فرنگی نشان دادند که کمترین سطح برگ در سطح تنش ۶۰ درصد و بیشترین سطح برگ در سطح عدم تنش بود. کاهش پتانسیل آب خاک، باعث کوچک شدن یا کاهش تولید برگ‌های جدید و در نتیجه باعث کاهش زیست توده گیاه می‌شود. از آنجایی که در شرایط کمبود آب،

دهیدراسیون و کاهش حجم سلولی در شاخه‌ها و برگ‌ها بیشتر از ریشه رخ می‌دهد لذا رشد اندام هوایی بیشتر از رشد ریشه‌ها تحت تأثیر کمبود آب قرار می‌گیرند. برخی از گیاهان در پاسخ به کمبود آب، میزان جذب آب را از طریق حفظ نسبی رشد ریشه افزایش می‌دهند و بدین ترتیب گستره جذب رطوبتی خود را افزایش می‌دهند. کمبود آب باعث توسعه ریشه به بخش‌های عمیق‌تر و مرطوب‌تر خاک شده و با جلوگیری از توسعه برگ، میزان مصرف کربن و انرژی را در اندام‌های هوایی کاهش می‌دهد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۹).

مقدار عملکرد بوته در سال اول کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، به ترتیب ۱۸/۵۵ و ۴۱/۷ درصد کاهش یافت. در سال دوم کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، مقدار عملکرد بوته به ترتیب ۱۹/۵۵ و ۳۹/۳ درصد کاهش یافت و این اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۶). کاهش در سطح برگ گیاه، ترفند گیاه برای جلوگیری از هدر رفت آب بوده و به دلیل کاهش در سطح فتوسنتز کننده، منجر به کاهش عملکرد می‌شود (رشید و همکاران، ۲۰۱۴).

بهره‌وری آب در سال اول کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، به ترتیب ۱/۸۲ درصد افزایش و ۲/۹۱ درصد کاهش یافت. در سال دوم کشت با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی سطح آبیاری، بهره‌وری آب افزایش یافت به طوری که بیشترین بهره‌وری آب در تیمار ۶۰

درصد آبیاری اتفاق افتاد (جدول ۶). رضایی و همکاران (۱۳۹۹) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. آن‌ها نشان دادند که بیشترین و کمترین مقدار بهره‌وری آب به ترتیب مربوط به آبیاری کامل و سطح آبیاری ۶۰ درصد بود.

نتیجه‌گیری

توت‌فرنگی یکی از محصولات مهم تجاری است که افزایش کمی و کیفی عملکرد آن از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌است. کم آبیاری راه‌کاری مناسب برای کسب عملکرد قابل قبول و اقتصادی با مصرف حداقل آب است که در کنار اعمال میدان مغناطیسی می‌توان به نتایج مناسبی دست یافت. در این پژوهش، تأثیر آب مغناطیسی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه توت‌فرنگی تحت شرایط کم آبیاری مورد بررسی قرار گرفت. به طور کلی نتایج پژوهش نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی باعث اثرات مثبت و معنی‌دار بر عملکرد و اجزای عملکرد توت‌فرنگی نسبت به تیمار شاهد داشت. همچنین کم آبیاری نیز بر صفات مورد بررسی توت‌فرنگی اثر معنی‌دار داشت و بهترین نتایج در تیمار آبیاری کامل با استفاده از آب مغناطیسی حاصل شد. با استفاده از آب مغناطیسی، می‌توان در مصرف آب صرفه‌جویی نمود و اثرات تنش آبی را تا حدی کاهش داد.

فهرست منابع

۱. احمدی، ک.، عبادزاده، ح. ر.، حاتمی، ف.، محمدنیا افروزی، ش.، عباس طالقانی، ر.، یاری، ش. و کلانتری، م. ۱۴۰۰. آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۹. انتشارات مرکز فناوری و اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی، جلد ۳، ۱۶۴ ص.
۲. اسدی اقدم، ا.، طباطبایی، ج. و حاجیلو، ج. ۱۳۹۲. تأثیر خشکی قسمتی از منطقه ریشه بر ویژگی‌های کمی و کیفی توت‌فرنگی رقم سلوا. تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی. جلد ۳، شماره ۸، ۷۳-۸۰.
۳. پورغلام آمیجی، م.، خوش‌روش، م.، دیوبند هفشجانی، ل. و قدمی فیروزآبادی، ع. ۱۴۰۱. اثر آبیاری با پساب مغناطیسی تصفیه‌شده بر بهره‌وری آب ذرت. آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۱۶، شماره ۱، ۲۴۳-۲۵۳.

۴. حبیبی، ه.، موحدی نائینی، س. ع.، خوش‌روش، م. و صابری، ع. ۱۳۹۸. تأثیر آب مغناطیسی بر عملکرد و جذب برخی از عناصر در ذرت در شرایط مزرعه. مهندسی زراعی. جلد ۴۲. شماره ۲. ۱۴۲-۱۳۱.
۵. حیدرپور، م.، خوش‌روش، م. و مشاور، ی. ۱۳۹۵. اثر آب شور مغناطیسی شده بر اصلاح آب‌وخاک در آبیاری قطره‌ای. پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک. جلد ۲۳. شماره ۲. ۱۷۹-۱۹۳.
۶. حیدری، ط.، شاهدی، ب. و بانژاد، ح. ۱۳۹۹. تأثیر آب مغناطیسی بر خصوصیات رشدی ریحان تحت کم آبیاری و آبیاری ناقص ریشه. مدیریت آب در کشاورزی. جلد ۷. شماره ۲. ۱۴۹-۱۵۸.
۷. خوش‌روش، م. و کیانی، ع. ر. ۱۳۹۴. اثر آب شور مغناطیسی شده بر نفوذپذیری و هدایت الکتریکی بافت‌های مختلف خاک. آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۹. شماره ۴. ۶۵۴-۶۴۶.
۸. خوش‌روش، م.، عرفانیان، ف. و پورغلام آمیچی، م. ۱۴۰۰. اثر آبیاری با پساب مغناطیسی تصفیه‌شده بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. مدیریت آب در کشاورزی. جلد ۸. شماره ۱. ۱۱۵-۱۲۸.
۹. دودمان، م. و امیری، م. ا. ۱۳۹۲. اثر N, K و Mg بر عملکرد و کیفیت میوه توت‌فرنگی (*Fragaria* *ananassa* cv. Sun Rise) در شرایط کشت هیدروپونیک. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. جلد ۴. شماره ۱۶. ۱۱۱-۱۱۸.
۱۰. دیلمقانی حسنلویی، م. ر. و همتی، س. ۱۳۹۰. اثر بسترهای مختلف کشت بر میزان عناصر غذایی، عملکرد و خصوصیات کیفی توت‌فرنگی رقم سلوا در کشت بدون خاک. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. جلد ۲. شماره ۷. ۷-۱.
۱۱. رضایی، ش.، زارع ابیانه، ح.، ساری‌خانی، ح. و جوزی، م. ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه توت‌فرنگی گلخانه‌ای تحت سطوح مختلف آبیاری در بسترهای کشت خاکی و غیرخاکی. آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۱۴. شماره ۵. ۱۷۰۷-۱۶۹۷.
۱۲. رنجبر، ر.، عشقی، س. و رستمی، م. ۱۳۹۰. اثر محلول‌پاشی سولفات نیکل و اوره بر رشد زایشی و ویژگی‌های کمی و کیفی میوه توت‌فرنگی رقم پاجارو (*Fragaria ananassa* Duch. cv. Pajaro). علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. جلد ۲. شماره ۷. ۴۸-۴۱.
۱۳. شاهنظری، ع. و رضائیان، م. ۱۳۹۴. تأثیر کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه بر خصوصیات کمی و کیفی توت‌فرنگی. آب‌وخاک. جلد ۲۹. شماره ۴. ۸۲۷-۸۲۰.
۱۴. صادقی‌پور، ا. و آقایی، پ. ۱۳۹۳. بررسی اثر تنش خشکی و کاربرد آب مغناطیسی بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش. پژوهش‌های به‌زراعی. جلد ۱۶. شماره ۱. ۸۰-۸۶.
۱۵. فاطمی، ل.، طباطبایی، ج. و فلاحی، ا. ۱۳۸۸. تأثیر سیلیسیوم بر شدت فتوستیز و غلظت عناصر غذایی گیاه توت‌فرنگی در شرایط تنش شوری. دانش کشاورزی و تولید پایدار. جلد ۱۹. شماره ۱. ۱۰۷-۱۱۸.
۱۶. قادری، ن.، و سی‌وسه‌مرده، ع. ۱۳۹۲. تأثیر تنش خشکی بر برخی از ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در ارقام توت‌فرنگی. علوم باغبانی ایران. جلد ۴۴. شماره ۲. ۱۲۹-۱۳۶.
۱۷. قاسمی، ح.، امیری فلهیانی، ر.، کاوسی، ب. و دهداری، م. ۱۳۹۷. واکنش برخی ارقام توت‌فرنگی (*Fragaria* *ananssa* Duch.) به کم‌آبیاری از نظر سطح برگ و برخی ویژگی‌های کمی و کیفی میوه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. جلد ۹. شماره ۱. ۳۸-۲۵.

۱۸. قدمی فیروزآبادی، ع.، خوش‌روش، م.، شیرازی، پ. و زارع ایبانه، ح. ۱۳۹۵. اثر آبیاری مغناطیسی بر عملکرد دانه و بیوماس گیاه سویا رقم DPX در شرایط کم آبیاری و شوری آب. پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۳۰. شماره ۱. ۱۳۱-۱۴۳.
۱۹. نیکبخت، ج. و طالعی، ا. ۱۳۹۸. تأثیر آب مغناطیسی بر خصوصیات هیدرولیکی آبیاری قطره‌ای-نواری و عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت. حفاظت منابع آب و خاک. جلد ۸. شماره ۴. ۲۱-۳۶.
۲۰. یداللهی، ا. ح.، خوش‌روش، م. و غلامی سفیدکوهی، م. ع. ۱۴۰۰. تأثیر کم‌آبیاری تنظیم‌شده با آب مغناطیسی بر خواص کمی، کیفی و بهره‌وری آب نخودفرنگی. پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۳۵. شماره ۴. ۳۷۳-۳۸۹.
21. Ahmed, M. E. M. and EL-Kader, N. I. A. B. D. 2016. The influence of magnetic water and water regimes on soil salinity, growth, yield and tubers quality of potato plants. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 5(2), 132-143.
22. Algozari, H. and Yao, A. 2006. Effect of the magnetizing of water and fertilizers on some chemical parameters of soil and growth of maize. MS.c. Thesis. University of Baghdad, Baghdad, Iraq.
23. Al-Khazan, M., Mohamed Abdullatif, B. and AlAssaf, N. 2011. Effects of magnetically treated water on water status, chlorophyll pigments and some elements content of Jojoba (*Simmondsia chinensis* L.) at different growth stages. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(9), 722-731.
24. Belyavskaya, N. A. 2004. Biological effects due to weak magnetic field on plants. *Advances in space Research*. 34, 1566-1574.
25. Biryukov, A. S., Gavrikov, V. F., Nikiforov, L. O., and Shcheglov, V. A. 2005. New physical methods of disinfection of water. *Journal of Russian Laser Research*, 26(1), 1913-1925.
26. Celik, O., Atak, C., and Rzakulieva, A. 2008. Stimulation of rapid regeneration by a magnetic field in paulownia node cultures. *Journal of Central European Agriculture*, 9(2), 297-303.
27. El Sayed, H. E. S. A. 2014. Impact of magnetic water irrigation for improve the growth, chemical composition and yield production of broad bean (*Vicia faba* L.) plant. *American journal of experimental agriculture*, 4(4), 476-496.
28. Gavili, E., Moosavi, A. A., and Moradi Choghamarani, F. 2018. Cattle manure biochar potential for ameliorating soil physical characteristics and spinach response under drought. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(12), 1714-1727.
29. Ghaderi, N., Nourmohammadi, S. and Javadi, T. 2015. Morpho-physiological responses of strawberry (*Fragaria ananassa*) to exogenous salicylic acid application under drought stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17, 167-178.
30. Giné-Bordonaba, J., and Terry, L. A. 2016. Effect of deficit irrigation and methyl jasmonate application on the composition of strawberry (*Fragaria x ananassa*) fruit and leaves. *Scientia Horticulturae*, 199, 63-70.
31. Grant, O. M., Johnson, A. W., Davies, M. J., James, C. M., and Simpson, D. W. 2010. Physiological and morphological diversity of cultivated strawberry (*Fragaria x ananassa*) in response to water deficit. *Environmental and Experimental Botany*, 68(3), 264-272.
32. Ismail, S., Ozava, K., and Khondaker, N. 2008. Influence of single and multiple water application timing on yield and water use efficiency in tomato (var. first power). *Agriculture Water Management*. 95, 116-122.
33. Khoshravesh, M., Mirzaei, S. M. J., Shirazi, P., and Valashedi, R. N. 2018. Evaluation of dripper clogging using magnetic water in drip irrigation. *Applied Water Science*, 8(3), 1-8.
34. Klamkowski, K. and Treder, W. 2006. Morphological and physiological responses of strawberry plants to water stress. *Agriculture Conspectus Scientific*. 71, 159-165.
35. Li, H., Lascano, R. J., Booker, J., Wilson, L. T., Bronson, K. F., and Segarra, E. 2002. State-space description of field heterogeneity: Water and nitrogen use in cotton. *Soil Science Society of America Journal*, 66(2), 585-595.

36. Mostafazadeh-Fard, B., Khoshravesh, M., Mousavi, S. F., and Kiani, A. R. 2011. Effects of magnetized water on soil sulphate ions in trickle irrigation. In 2nd International conference on environmental engineering and applications. IACSIT Press, Singapore (Vol. 17). 19-21 August 2011, Shanghai, China.
37. Mostafazadeh-Fard, B., Khoshravesh, M., Mousavi, S. F., and 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.
38. Nikbakht, J., Khandeh Rouyan, M., Tavakoli, A. and Tahheri, M. 2014. The effect of magnetic water deficit on yield and water use efficiency of corn. *Journal of Water Research in Agriculture*. 24(4), 551-563.
39. Raeini-Sarjaz, M., and Chalavi, V. 2011. Effects of water stress and constitutive expression of a drought induced chitinase gene on water-use efficiency and carbon isotope composition of strawberry. *J. Appl. Bot. Food Qual*, 84, 90-94.
40. Ramankutty, N., Mehrabi, Z., Waha, K., Jarvis, L., Kremen, C., Herrero, M., and Rieseberg, L. H. 2018. Trends in global agricultural land use: implications for environmental health and food security. *Annual review of plant biology*, 69(1), 789-815.
41. Rashid, B., Husnain, T., and Riazuddin, S. 2014. Genomic approaches and abiotic stress tolerance in plants. In *Emerging technologies and management of crop stress tolerance* (pp. 1-37). Academic Press.
42. Ringler, C., Agbonlahor, M., Barron, J., Baye, K., Meenakshi, J. V., Mekonnen, D. K., and Uhlenbrook, S. 2022. The role of water in transforming food systems. *Global Food Security*, 33, 100639.
43. Sadeghipour, O., and Aghaei, P., 2013. Improving the growth of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) by magnetized water. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 3(1), 37-43.
44. Wei, W., Hu, Y., Han, Y. T., Zhang, K., Zhao, F. L., and Feng, J. Y. 2016. The WRKY transcription factors in the diploid woodland strawberry *Fragaria vesca*: identification and expression analysis under biotic and abiotic stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, 105, 129-144.
45. Zegbe, J. A., Behboudian, M. H., and Clothier, B. E. 2004. Partial rootzone drying is a feasible option for irrigating processing tomatoes. *Agricultural water management*, 68(3), 195-206.
46. 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.

برآورد تبخیر- تعرق مرجع با داده‌های محدود و کامل ایستگاه‌های سینوپتیک ساری، قراخیل قائم‌شهر و آمل

عاطفه رودباری و علی باقری^۱

دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، واحد قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر، ایران. atefehroudbari@yahoo.com

استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد قائمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر، ایران. ali523b@yahoo.com

دریافت: مرداد ۱۴۰۱ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۱

چکیده

متأسفانه امکانات اندازه‌گیری برخی از پارامترهای آب و هوایی در بعضی از ایستگاه‌های هواشناسی وجود ندارد و آن‌ها را باید برآورد کرد. در چنین مواردی، تشخیص درستی روش‌های تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ET_0) با استفاده از داده‌های آب و هوایی برآورد شده بسیار مهم است. بر این اساس، هدف از این مطالعه، ارزیابی عملکرد روش پنمن - مانتیت در برآورد ET_0 در استان مازندران است در زمانی که داده‌های خورشیدی (R_s)، فشار بخار (e_a) و رطوبت نسبی (RH) موجود نباشد. داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک ساری، آمل و قائم‌شهر به‌منظور مقایسه با ET_0 برآورد شده توسط روش پنمن- مانتیت با مجموعه داده‌های کامل و محدود، مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد هنگامی که داده‌های RH و e_a موجود نباشند، برآورد آن‌ها با استفاده از روش پنمن- مانتیت گزینه مناسبی برای به دست آوردن ET_0 در هر سه ایستگاه ساری، قائم‌شهر و آمل با $RMSE$ کمتر از ۰/۳ میلی‌متر در روز است. اما، در حالت فقدان داده R_s ، مقدار $RMSE$ برای سه ایستگاه مزبور بیش از یک بود و در نتیجه برآورد ET_0 با استفاده از روش پنمن- مانتیت مناسب نیست. نتایج نشان داد که تابش خورشیدی مؤثرترین پارامتر برای برآورد تبخیر- تعرق بوده و تأثیر داده‌های فشار بخار و رطوبت نسبی بر دقت برآورد ET_0 تقریباً به یک‌میزان است.

واژه‌های کلیدی: روش پنمن- مانتیت، داده‌های تابش خورشیدی، مازندران

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم و مهندسی آب، واحد قائمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر، ایران.

مقدمه

استفاده نکردن بهینه از آب آبیاری، محدودیت منابع و نیازهای فزاینده بشر به آب و غذا، سبب شده است تا مهندسان آبیاری با شیوه‌های مدیریتی، به صرفه-جویی در مصرف آب و افزایش بازده آبیاری اقدام کنند. تعیین بخش‌های بیلان آبی در حوضه‌های خشکی از راهکارهای مؤثر در مدیریت منابع آب با توجه به شرایط کمبود آب است. یکی از عوامل مهم در چرخه هیدرولوژی فرآیند تبخیر- تعرق است که در دامنه‌ی متفاوتی از مقیاس‌های زمانی و مکانی تغییر می‌کند و برای برآورد آب مصرفی گیاه و طراحی سامانه‌های آبیاری ضروری است (یاوری و همکاران، ۱۳۹۲). تعیین دقیق مقدار آبی که برای تبخیر - تعرق مصرف می‌شود، از عوامل تعیین‌کننده در برنامه‌ریزی آبیاری برای رسیدن به محصول بیشتر است. در بیشتر روش‌هایی که برای تعیین میزان تبخیر - تعرق معرفی شده است، مقدار تبخیر - تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_0) تخمین زده و با استفاده از آن، نیاز آبی گیاه هدف محاسبه می‌شود (رودباری و باقری، ۱۳۹۵). تعیین نیاز آبی گیاهان در بهره‌برداری بهینه از منابع آب، طراحی شبکه آبیاری و برنامه‌ریزی آبیاری ضروری است (پناهی و همکاران، ۱۳۸۵). تخمین درست ET_0 به دلیل اینکه در تبخیر - تعرق گیاه (ET_c) یا نیاز آبی خالص گیاه استفاده می‌شود، بسیار بااهمیت است. تخمین بیش‌ازاندازه آب موردنیاز ضمن هدر دادن آب آبیاری، باعث ماندابی شدن اراضی، شستشوی مواد غذایی خاک و آلوده نمودن منابع زیرزمینی می‌شود (لیو و همکاران، ۲۰۰۵). ضمن آنکه تخمین کمتر نیز باعث تنش رطوبتی به گیاه شده و در نتیجه کاهش محصول را به همراه دارد (کوچک زاده و همکاران، ۱۳۸۳).

دقیق‌ترین روش برآورد مقدار تبخیر-تعرق مرجع استفاده از لایسیمتر وزنی است اما از آنجاکه احداث این نوع لایسیمتر هزینه بسیار زیادی را به همراه دارد بیشتر از روش‌های غیرمستقیم برای تخمین ET_0 استفاده

می‌شود. تحقیقات انجام‌گرفته در نقاط مختلف جهان نشان‌دهنده این نکته است که صحت مقادیر تبخیر- تعرق برآورد شده با رابطه پنمن- مانیتث فائو در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده لایسیمتر از دیگر روابط برآورد شده تبخیر-تعرق مرجع بهتر است و در شرایطی که داده-های لایسمتری در دسترس نباشند به‌عنوان یک رابطه استاندارد توصیه شده است. برای استفاده از این رابطه لازم است از داده‌های ثبت‌شده ایستگاه‌های استاندارد هواشناسی استفاده شود. این روش نیازمند داده‌های تابش، دما، رطوبت و سرعت باد بوده و با درجه اعتماد بالایی در دامنه وسیعی از مناطق و شرایط آب و هوایی، برآورد صحیحی از تبخیر- تعرق گیاه مرجع ارائه می‌کند (فولادمند، ۱۳۸۹). روش‌های مختلفی برای تخمین ET_0 وجود دارد، اما عملکرد آن‌ها در محیط‌های مختلف متفاوت است، زیرا همه آن‌ها دارای پیشینه تجربی هستند. روش پنمن- مانیتث فائو نسبت به معادله‌های تجربی این برتری را دارد که هر دو مکانیسم انرژی و انتقال جرم در پدیده تبخیر در نظر گرفته شده است. از این‌رو ارائه یک روش برای حل این معادله بدون حذف مکانیسم‌های فوق که داده‌های کمتری برای اندازه‌گیری لازم داشته باشد، راهکار مناسبی برای توسعه‌ی ایستگاه‌های هواشناسی با هزینه کم برای مناطق کشاورزی کشور است (رحیمی خوب، ۱۳۸۵). پس از آلن و همکاران (۱۹۹۸)، روش پنمن - مانیتث فائو به‌عنوان تنها روش برای تعیین ET_0 توصیه می‌شود، حتی با توجه به اینکه در شرایط آب و هوایی خاص می‌تواند منجر به خطاهایی تا ۳۰٪ شود (ویدموزر، ۲۰۰۹).

سبزواری و سعیدی نیا (۱۴۰۰) در تحقیقی به ارزیابی مدل‌های تجربی و هوش مصنوعی در برآورد تبخیر- تعرق مرجع در ایستگاه بروجرد پرداختند و نتیجه گرفتند که برنامه‌ریزی بیان ژن توانایی قابل قبولی در تخمین تبخیر - تعرق مرجع در شرایط آب و هوایی بروجرد دارد و می‌تواند به‌عنوان یک مدل مناسب ارائه شود. دهقان و مکاری (۱۳۹۷) به ارزیابی و اصلاح

مدل‌های والیانتر برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع در شرایط کمبود داده پرداختند و نتیجه گرفتند که در شرایط کمبود داده سرعت باد و رطوبت نسبی مدل والیانتر اصلاح شده نسبت به دیگر روش‌ها بالاترین صحت را داشت، به طوری که مقدار R^2 ، RMSE و MAE به ترتیب ۰/۸۵، ۱/۵۹ و ۱/۲۶ روز به دست آوردند. همچنین نتایج نشان داد در شرایطی که در ایستگاه هواشناسی تنها داده دما موجود باشد، روش هارگریوز اصلاح شده بالاترین صحت را داشت. بهمنش و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی به برآورد تبخیر- تعرق مرجع در شرایط داده‌های محدود و کامل در ایستگاه‌های سینوپتیک تبریز و ارومیه پرداختند و نتیجه گرفتند زمانی که داده‌های فشار بخار واقعی یا رطوبت نسبی در دسترس نباشد، روش پنمن- مانتیث فائو می‌تواند برای برآورد ET_0 روزانه در شمال غرب ایران، با درستی قابل قبولی استفاده شود ولی در دسترس نبودن داده‌های تابش خورشیدی باعث افزایش در پراکندگی برآوردهای ET_0 می‌شود. شیخ‌الاسلامی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک مشهد تأثیر نسبی پارامترهای دما (حداکثر، متوسط و حداقل)، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین را بر برآورد تبخیر- تعرق مرجع با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی و تحلیل عاملی پرداختند و نشان دادند که دمای حداقل، دمای متوسط، دمای حداکثر و رطوبت نسبی برای برآورد تبخیر- تعرق به ترتیب از اهمیت بیشتری نسبت به دیگر متغیرها (ساعات آفتابی و سرعت باد) برخوردار بودند. بویس و همکاران (۲۰۰۵) یک تحلیل حساسیت از مدل تبخیر- تعرق پتانسیل پنمن مانتیث انجام دادند و نتیجه گرفتند که سرعت باد و تغییرات دمایی تابش خورشیدی تأثیر به سزایی در محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل دارد. تراجکوویک و همکاران (۲۰۰۹) در شش ایستگاه هواشناسی در کشور صربستان در شمال شرق اروپا به برآورد تبخیر- تعرق مرجع ماهانه با داده‌های محدود آب و هوایی پرداختند. نتایج نشان داد که در بیشتر موارد

معادله پنمن- مانتیث فائو با داده‌های محدود برآورد نزدیک‌تری به همین روش ولی با داده‌های کامل دارد. کمترین متغیرهای لازم برای اقلیم مرطوب، حداقل و حداکثر دما و سرعت باد منطقه بودند. سنتلهاس و همکاران (۲۰۱۰) در جنوب اونتاریو کانادا برای ارزیابی عملکرد روش پنمن- مانتیث فائو در برآورد ET_0 با داده‌های کامل و محدود عملکرد قابل قبول روش پنمن- مانتیث فائو را در برآورد ET_0 زمانی که داده‌های سرعت باد و رطوبت نسبی موجود نباشد نشان داد. مقادیر زیاد RMSE نشان از عدم عملکرد قابل قبول روش پنمن- مانتیث فائو در برآورد ET_0 در شرایط فقدان داده‌های تابش خورشیدی بود. وانگ و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه خود در مالاوی آفریقا به این نتیجه رسیدند که در منطقه نیمه خشک زمانی که فقط داده‌های دما در دسترس باشند روش پنمن- مانتیث فائو به منظور برآورد متغیرهای آب و هوایی که در مدل پنمن- مانتیث فائو مورد نیاز است، مناسب است. باین حال در مناطق دارای سرعت باد زیاد، زمانی که داده‌های سرعت باد و رطوبت نسبی موجود نباشد در استفاده از این روش می‌بایست احتیاط نمود. فولادمند (۲۰۱۲) بر اساس تحقیقی که در استان فارس انجام داد نتیجه گرفت که استفاده از داده‌های ساعات آفتابی ماهانه برآورد شده از داده‌های درجه حرارت، در مناطقی که ساعات آفتابی موجود نیستند، مشابهت زیادی در برآورد ET_0 ماهانه با معادله پنمن- مانتیث فائو دارد. تعداد کمی از ایستگاه‌های هواشناسی در ایران مجموعه داده‌های آب و هوایی کامل را اندازه‌گیری می‌کنند. آلن و همکاران (۱۹۹۸) روش‌هایی را برای تخمین متغیرهای آب و هوایی از دست رفته، مانند تشعشع خالص، کمبود فشار بخار و سرعت باد پیشنهاد کردند. چنین رویه‌هایی نیاز به ارزیابی در کشورها و اقلیم‌های مختلف برای آزمایش امکان‌سنجی آن‌ها دارند. هدف از تحقیق حاضر تعیین ET_0 برآورد شده با استفاده از داده‌های محدود در مقابل ET_0 محاسبه شده با مجموعه داده‌های کامل در شرایط محیطی برخی از مناطق استان

مازندران است. همچنین با استفاده از رابطه‌ی پنمن-مانیتث فائو، مؤثرترین متغیر هواشناسی بر تبخیر-تفرق مرجع برآورد شده، تعیین شدند.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده

استان مازندران در شمال ایران با حدود ۲۳۳۲۲ کیلومترمربع مساحت بین مختصات جغرافیای ۳۳ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و دو دقیقه عرض شمالی و ۲۱ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۲۲ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. میزان بارندگی در منطقه مطالعه شده از غرب به شرق کاهش یافته و منابع اصلی رطوبت، دریای مازندران و توده‌های هوای مرطوب مدیترانه و اقیانوس اطلس است (رحیمی پول و همکاران، ۱۴۰۰). میانگین بارندگی سالانه استان حدود ۶۵۶ میلی-متر، میانگین دمای سالانه هوای استان ۱۷/۶ درجه سانتی‌گراد با بیشینه دمای ۲۲/۴ درجه سانتی‌گراد و کمینه دمای ۱۲/۹ درجه سانتی‌گراد است. میانگین رطوبت نسبی سالانه استان ۷۵ درصد، میانگین سرعت باد روزانه استان

۲/۶ متر بر ثانیه و تبخیر سالانه در استان ۱۱۸۷ میلی‌متر است. استان مازندران را بر اساس خصوصیات دما و بارش و توپوگرافی منطقه می‌توان به دو نوع آب‌وهوای معتدل خزری و آب‌وهوای کوهستانی تقسیم کرد. آب‌وهوای کوهستانی خود بر دو نوع معتدل کوهستانی و سرد کوهستانی است (رودباری و باقری، ۱۳۹۵).

داده‌های موردنیاز این تحقیق برای محاسبه تبخیر - تفرق گیاه مرجع از ایستگاه‌های سینوپتیک قراخیل قائم‌شهر، ساری و آمل در دوره آماری ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ تهیه شدند. این داده‌ها شامل مقادیر روزانه بیشینه و کمینه دمای هوا، دمای نقطه شبنم، فشار بخار، تابش خورشیدی، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد بودند. ارتفاع اندازه‌گیری متغیرهای یادشده ۲ متر بالای سطح زمین بوده و داده‌های سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری بود که برای تبدیل سرعت باد به ارتفاع ۲ متری از معادله لگاریتمی پروفیل سرعت باد استفاده شده است. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده‌شده در جدول (۱) نشان داده شدند.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده شده در تحقیق

نوع ایستگاه	نام ایستگاه	سال تأسیس	ارتفاع از سطح آزاد دریا (m)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
سینوپتیک اصلی	قراخیل قائم‌شهر	۱۳۶۳	۱۴/۷	۳۶/۴۳	۵۲/۸۲
سینوپتیک اصلی	آمل	۱۳۷۹	۲۹	۳۶/۴۷	۵۲/۴۷
سینوپتیک اصلی	ساری	۱۳۷۸	۲۲/۰۷	۳۶/۵۵	۵۳

در این تحقیق برای برآورد تبخیر - تفرق مرجع از رابطه-ی پنمن-مانیتث فائو (۵۶) به شرح زیر استفاده شد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸):

$$ET_0 = \frac{1}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \times [0.408\Delta(R_n - G) + (\gamma(900/(T + 273)))U_2(e_s - e_a)] \quad (1)$$

در رابطه بالا ET_0 تبخیر - تفرق مرجع (mm/day)، R_n تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$)، T متوسط دمای هوای روزانه در ارتفاع دو متری از سطح زمین ($^{\circ}C$)، U_2 متوسط سرعت باد در ارتفاع دو متری از

سطح زمین $e_s - e_a$ ($m\ s^{-1}$) کمبود فشار بخار در ارتفاع دو متری (KPa)، Δ شیب منحنی فشار بخار ($KPa/^{\circ}C$)، γ ضریب رطوبتی ($KPa/^{\circ}C$)، و G جریان گرما در داخل خاک ($MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$) می‌باشند.

در این مطالعه، رطوبت نسبی، فشار بخار واقعی

و تابش خورشیدی به‌عنوان متغیرهای غیر موجود، برای استفاده از روش پنمن-مانیتث فائو مطرح شدند (جدول ۲):

جدول ۲- ترکیب داده‌ها در مدل برآورد داده‌های غیر موجود پنمن-مانتیت فائو

نام روش	نماد روش
تبخیر-تعرق برآورد شده در شرایط فقدان داده‌های فشار بخار واقعی	ET ₀ -ea
تبخیر-تعرق برآورد شده در شرایط فقدان داده‌های تابش خورشیدی	ET ₀ -R _s
تبخیر-تعرق برآورد شده در شرایط فقدان داده‌های رطوبت نسبی و تابش خورشیدی	ET ₀ -R _s -RH
تبخیر-تعرق برآورد شده در شرایط فقدان داده‌های فشار بخار و رطوبت نسبی	ET ₀ -ea,-RH
تبخیر-تعرق برآورد شده در شرایط فقدان داده‌های فشار بخار و تابش خورشیدی	ET ₀ -ea,-R _s
تبخیر-تعرق برآورد شده در شرایط فقدان داده‌های فشار بخار، رطوبت نسبی و تابش خورشیدی	ET ₀ -ea,-R _s ,-RH

تابش خورشیدی

در صورت امکان نداشتن اندازه‌گیری مستقیم تابش خورشیدی، می‌توان مقدار تابش رسیده به زمین را از رابطه ۴ برآورد نمود. برای محاسبه تابش خالص خورشیدی از روابط ۲ تا ۷ استفاده می‌شود (آلن و همکاران، ۱۹۹۸):

$$R_a = 37.6dr(\omega_s \sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \sin\omega_s) \quad (2)$$

$$R_{nl} = \frac{\delta}{2}(T_{max}^4 + T_{min}^4) \times (0.34 - 0.14\sqrt{e_a})(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35) \quad (3)$$

$$R_s = K_{rs}\sqrt{(T_{max} - T_{min})}R_a \quad (4)$$

$$R_{so} = (0.75 + 2Z * 10^{-5})R_a \quad (5)$$

$$R_{ns} = (0.77)R_s \quad (6)$$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (7)$$

در رابطه‌های بالا، R_a تابش برون زمینی (مگا ژول بر مترمربع بر روز)، dr فاصله زمین تا خورشید، δ زاویه انحراف خورشید از خط استوا (رادیان)، ϕ عرض جغرافیایی ایستگاه (رادیان)، ω_s زاویه ساعتی غروب خورشید (رادیان)، R_{nl} تابش طول‌موج بلند خالص در سطح پوشش گیاهی (مگا ژول بر مترمربع بر روز)، e_a فشار بخار واقعی (کیلوپاسکال)، T_{min} کمینه دمای روزانه (کلوین) و T_{max} بیشینه دمای روزانه (کلوین)، R_{ns} تابش طول‌موج کوتاه خالص (مگاژول بر مترمربع بر روز)، R_s تابش خورشیدی رسیده به زمین (مگا ژول بر مترمربع بر روز) R_{so} تابش خورشیدی در آسمان صاف (مگاژول بر مترمربع بر روز)، R_n تابش خالص خورشیدی (مگاژول بر مترمربع بر روز)، Z ارتفاع محل از سطح دریا (متر) و

K_{rs} ضریبی است که از $0.16 (C^{-1})$ در نواحی ساحلی تا $0.19 (C^{-1})$ در نواحی داخلی و دور از ساحل متغیر است. متغیرهای یادشده در همان دوره یکسان تعیین شدند. تابش طول‌موج کوتاه نسبی معیاری برای توصیف ابرناکی اتمسفر است. با افزایش ابرناکی هوا، این نسبت کوچک‌تر خواهد شد.

فشار بخار

هنگامی که داده‌های فشار بخار واقعی هوا (e_a) مستقیم اندازه‌گیری نشده باشد، مقدار آن از رابطه آن با رطوبت نسبی به شرح زیر به دست می‌آید (آلن و همکاران ۱۹۹۸):

$$e_s = \frac{1}{2} \times \left[\left(0.611 \exp \left(\frac{17.27T_{max}}{T_{max} + 237.3} \right) \right) + \left(0.611 \exp \left(\frac{17.27T_{min}}{T_{min} + 237.3} \right) \right) \right] \quad (8)$$

$$e_a = \left(\frac{RH}{100} \right) e_s \quad (9)$$

در این رابطه، T_{max} و T_{min} به ترتیب، کمینه و بیشینه دمای روزانه (درجه سلسیوس)، e_s فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال) و RH رطوبت نسبی است.

محاسبه فشار بخار واقعی از دمای نقطه شبنم

از آنجایی که دمای نقطه شبنم دمایی است که هوا باید در آن خنک شود تا هوا از بخار آب اشباع شود، فشار بخار واقعی (e_a)، فشار بخار اشباع در نقطه شبنم است. فشار بخار واقعی (e_a) را می‌توان با استفاده از دمای نقطه شبنم T_{dew} و از رابطه زیر محاسبه نمود (آلن و همکاران ۱۹۹۸):

همبستگی معنی‌دار بین مقادیر تبخیر - تعرق روزانه برآورد شده با داده‌های کامل و محدود، از آزمون فرض صفر و روابط زیر استفاده شد:

$$\begin{aligned} H_0: r &= 0 \\ H_1: r &\neq 0 \\ t_0 &= \frac{r\sqrt{n-2}}{1-r^2} \end{aligned} \quad (15)$$

در روابط بالا H_0 ، فرض صفر، H_1 ، ادعا، t_0 آماره آزمون، R^2 و r به ترتیب ضریب تبیین و ضریب همبستگی خطی و n تعداد زوج داده‌های بررسی شده است.

نتایج و بحث

شاخص‌های آماری درستی برآوردهای ET_0

روزانه با داده‌های محدود، در مقایسه با مقادیر ET_0 برآورد شده با داده‌های کامل (ET_{0-Full}) در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های آماری برای تعیین صحت برآورد ET_0 روزانه با داده‌های محدود در مقایسه با داده‌های کامل

ایستگاه	آماره	ET_{0-ea}	ET_{0-RH}	ET_{0-Rs}	$ET_{0-ea-Rs}$	$ET_{0-Rs-RH}$	$ET_{0-ea-Rs-RH}$
ساری	RMSE	۰/۷۶۷	۰/۲۲۹	۱/۰۹۳	۰/۷۵۲	۰/۷۰۹	۰/۷۵۱
	MBE	۰/۰۲۱	-۰/۰۰۱	۰/۴۳۰	۰/۰۲۰	۰/۰۳۰	۰/۰۲۰
	MAE	۰/۴۱۴	۰/۰۷۳	۰/۶۷۵	۰/۳۹۱	۰/۳۵۳	۰/۳۹۱
	ME	۲/۸۵	۲/۵۶۹	۹/۰۰۱	۵/۶۱۰	۵/۷۲۳	۶/۴۱۱
قائم‌شهر	RMSE	۰/۷۷۹	۰/۲۲۸	۱/۱۰۰	۰/۷۵۶	۰/۷۱۳	۰/۷۵۵
	MBE	۰/۰۱۸	-۰/۰۰۴	۰/۴۱۳	۰/۰۱۷	۰/۰۲۷	۰/۰۱۷
	MAE	۰/۴۱۵	۰/۰۷۰	۰/۶۶۹	۰/۳۹۱	۰/۳۵۳	۰/۳۹۱
	ME	۲/۸۸۴	۲/۵۹۱	۹/۰۸۷	۵/۶۶۲	۵/۷۷۷	۶/۴۷۱
آمل	RMSE	۰/۷۸۴	۰/۲۳۶	۱/۱۰۳	۰/۷۶۱	۰/۷۱۸	۰/۷۶۰
	MBE	۰/۰۲۶	-۰/۰۰۴	۰/۴۳۷	۰/۰۲۶	۰/۰۳۶	۰/۰۲۶
	MAE	۰/۴۲۲	۰/۰۷۹	۰/۶۸۳	۰/۳۹۸	۰/۳۶۰	۰/۳۹۸
	ME	۲/۸۷۷	۲/۵۸۶	۹/۰۴۶	۵/۶۴۰	۵/۷۵۳	۶/۴۴۵

$$e_a = [0.611 \exp \frac{17.27T_{dew}}{T_{dew} + 237.3}] \quad (10)$$

ارزیابی صحت تخمین ET_0 با کاربرد داده‌های کامل و محدود با استفاده از شاخص‌های ارزیابی صحت برآورد ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین (R^2)، میانگین خطای اریب (MBE)، بیشینه خطا (ME) و میانگین خطای مطلق (MAE) انجام شد. شاخص‌های یادشده از روابط زیر محاسبه شدند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - p_i)^2}{n}} \quad (11)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_i - p_i) \quad (12)$$

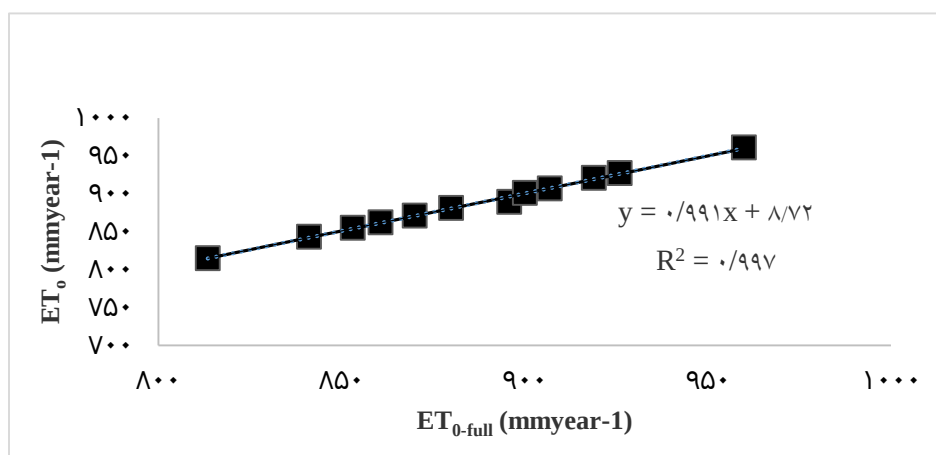
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |o_i - p_i| \quad (13)$$

$$ME = MAX(p_i - o_i)_{i=1}^n \quad (14)$$

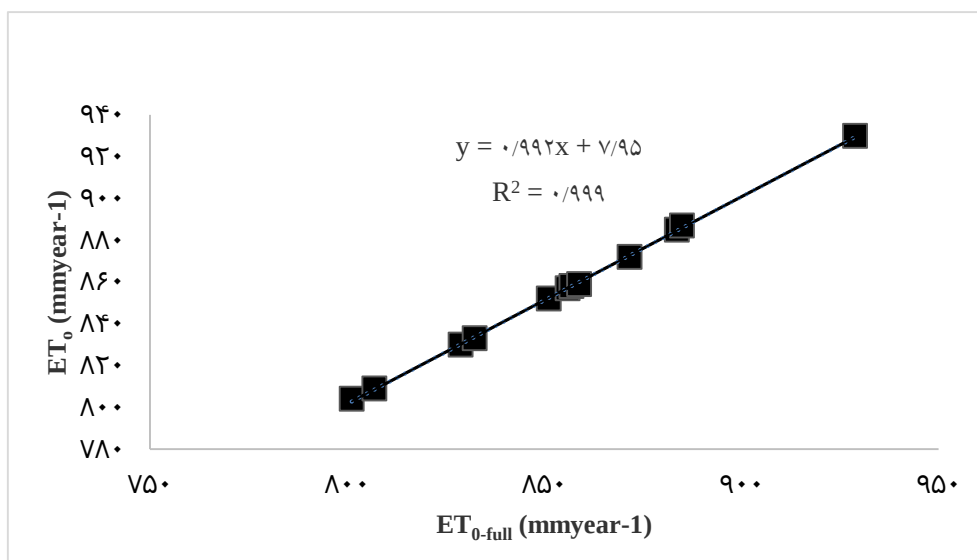
در روابط بالا: n ، تعداد مشاهدات، P_i ، مقادیر برآورد شده و O_i ، مقادیر اندازه‌گیری شده است. برای بررسی

در شرایط فقدان مقادیر فشار بخار واقعی با استفاده از داده‌های رطوبت نسبی بسیار مشابه با برآورد ET_0 در شرایط موجود بودن داده‌های فشار بخار واقعی بودند. شکل‌های ۱ تا ۳ مقدار شیب، عرض از مبدأ و ضریب تبیین بین مقادیر ET_0 برآورد شده با داده‌های کامل و محدود در شرایط فقدان داده‌های فشاربخار و رطوبت نسبی را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

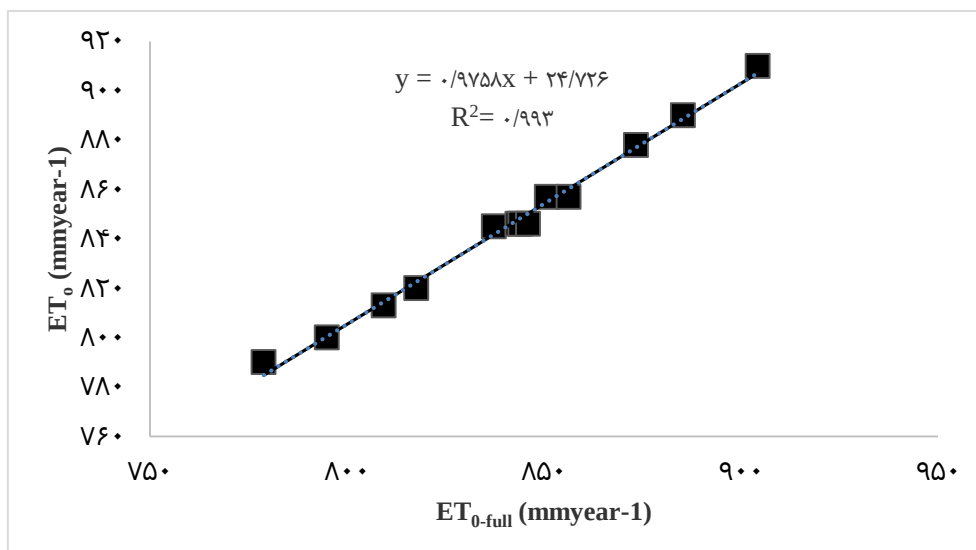
شاخص‌های آماری صحت‌سنجی نشان داد که در هر سه ایستگاه هنگامی که داده تابش خورشیدی در دسترس نباشد باعث افزایش پراکندگی برآوردهای ET_0 شده و بیشترین عدم قطعیت مشاهده شد. ولی هنگامی که داده‌های رطوبت نسبی و فشار بخار واقعی در دسترس نبودند روش پنمن-مانتیش فائو توانست برآورد ET_0 روزانه در سه ایستگاه یادشده را با صحت قابل قبولی انجام دهد. R_s تعیین شده از رابطه (۴) در برآورد ET_0 به‌خوبی R_s اندازه‌گیری شده عمل نمی‌کند. برآورد ET_0



شکل ۱- شیب و ضریب تبیین (R^2) برای رابطه بین ET_{0-full} و $ET_{0-ea-RH}$ در ایستگاه ساری



شکل ۲- شیب و ضریب تبیین (R^2) برای رابطه بین ET_{0-full} و $ET_{0-ea-RH}$ در ایستگاه قراخیل قائم‌شهر

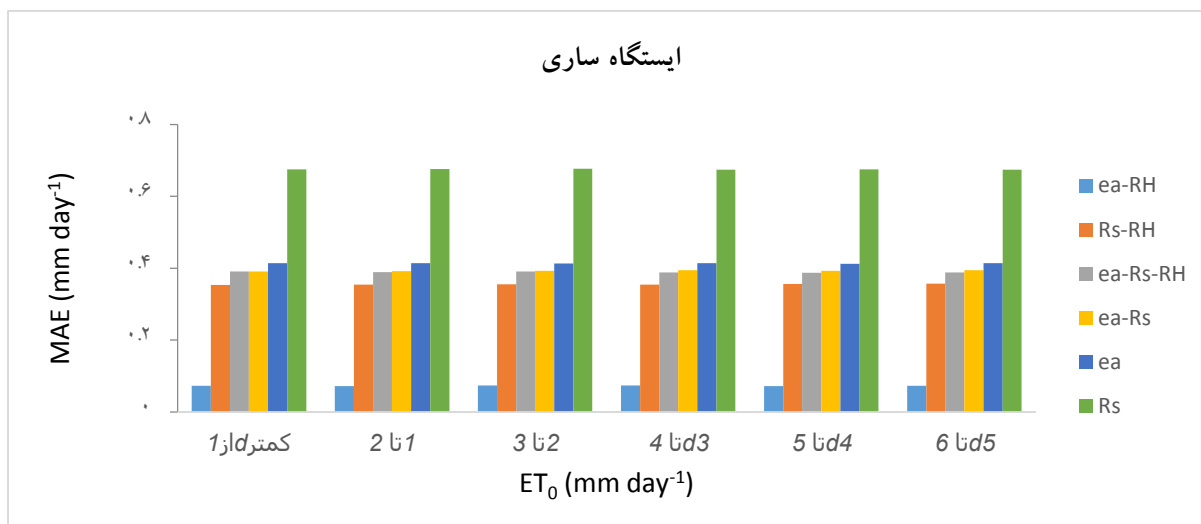


شکل ۳- شیب و ضریب تبیین (R^2) برای رابطه بین $ET_{0-ea-RH}$ و ET_{0-full} در ایستگاه آمل

برآوردی جزئی $ET_{0-ea-RH}$ نسبت به ET_{0-full} است که این مقدار قابل‌اغماض بوده و در شرایط فقدان داده‌های رطوبت نسبی و فشار بخار، استفاده از رابطه ۸ و سپس محاسبه ET_0 از رابطه - مانیت فائو نتایج کاملاً قابل قبولی را ارائه می‌دهد که با نتایج بهمنش و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت داشت.

شکل ۴ مقادیر MAE برای متوسط طولانی‌مدت روزانه ET_0 برآورد شده با داده‌های محدود و کامل را در ایستگاه ساری به تفکیک مقادیر تبخیر - تعرق کمتر از یک میلی‌متر در روز تا بیش از شش میلی‌متر در روز، نشان می‌دهد.

با توجه به شکل‌های ۱ تا ۳ مقدار ضریب تبیین (R^2) برای ساری، قائم‌شهر و آمل به ترتیب ۰/۹۹۷، ۰/۹۹۹ و ۰/۹۹۳ به‌دست‌آمده و همبستگی بسیار خوبی را بین دو حالت برآورد ET_{0-full} و $ET_{0-ea-RH}$ نشان می‌دهد. مقدار شیب ۰/۹۹۱، ۰/۹۹۲ و ۰/۹۷۵ به یک نزدیک و عرض از مبدأ ۸/۷۲، ۷/۹۵ و ۲۴/۷۲۶ به‌ویژه برای ایستگاه‌های ساری و قراخیل قائم‌شهر به صفر نزدیک بودند که بیانگر این است که مقادیر برآوردهای ET_{0-full} و $ET_{0-ea-RH}$ بسیار نزدیک به هم بودند که نشان‌دهنده‌ی برقراری یک تابع یک به یک پوشا است. همچنین مقدار MBE به ترتیب برای ایستگاه ساری ۰/۰۰۱-، قائم‌شهر ۰/۰۰۴- و آمل ۰/۰۰۴- بودند که نشان‌دهنده‌ی کم



شکل ۴- مقادیر MAE برای میانگین طولانی مدت تبخیر-تعرق مرجع روزانه برآورد شده از روش پنمن-مانتیت فانو با داده‌های محدود در مقایسه با ET_{0-full} در ایستگاه ساری

به‌خوبی R_s اندازه‌گیری شده عمل نمی‌کند. در میان عوامل مؤثر بر تبخیر تابش خورشیدی از بقیه کلیدی‌تر است، تابش خورشیدی یک متغیر فراجوی است هنگامی-که این متغیر در ترکیب داده‌های اندازه‌گیری نباشد و بر پایه رابطه (۴) با کمک متغیر دما برآورد شود از عدم قطعیت زیادی برخوردار خواهد بود، زیرا دما یک متغیر درون جوی است که به نوبه خود تحت تأثیر عوامل متعدد زمینی (مانند طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع) و جوی (مانند رطوبت نسبی و باد) قرار دارد. در جدول ۴ نتایج آزمون t برآوردهای ET_0 با داده‌های محدود، در مقایسه با مقادیر ET_0 برآورد شده با داده‌های کامل، در سطح احتمال ۹۵ درصد ارائه شده است؛ که نشان می‌دهد در سطح احتمال ۹۵ درصد بین تمام مقادیر برآورد شده با داده‌های کامل و محدود اختلاف معنی‌دار وجود ندارد و دارای همبستگی هستند.

آماره MAE که بیانگر حداکثر خطای ممکن در برآورد است نشان داد که از گروه‌بندی ET_0 در بازه‌های مختلف کمتر از یک تا بیش از شش میلی‌متر در روز نقش نمی‌پذیرد و مقدار آن ثابت است (شکل ۴) و در هر ترکیب داده‌های محدود هنگامی که فشار بخار واقعی وجود نداشته باشد و از رطوبت نسبی برآورد شود، کمترین MAE بدست آمد. این یافته برای دو ایستگاه قراخیل قائم‌شهر و آمل نیز مشابه بود.

در ترکیب‌های مختلف وقتی اختلاف تبخیر-تعرق مرجع محاسباتی با داده کامل و داده محدود بیشتر-شود خطا هم افزایش می‌یابد، بیشترین مقدار MAE زمانی است که داده تابش خورشیدی موجود نبوده و کمترین خطا زمانی است که داده‌های فشار بخار و رطوبت نسبی موجود نبود (جدول ۳). هنگامی که داده‌های R_s در دسترس نباشد، برآورد این متغیر طبق آنچه قبلاً توضیح داده شد (آلن و همکاران ۱۹۹۸)، در برآورد، ET_0

جدول ۴- نتایج آزمون t برای ET_0 برآورد شده با داده‌های محدود در مقایسه با ET_{0-full} در ایستگاه‌های ساری، قائم‌شهر و آمل

نام ایستگاه	ET_{0-ea}	$ET_{0-ea-RH}$	ET_{0-Rs}	$ET_{0-ea-Rs}$	$ET_{0-Rs-RH}$	$ET_{0-ea-Rs-RH}$
ساری	۰/۴۲	۰/۲۴	۱/۱۵	۰/۶۱	۰/۷۵	۰/۸۱
قراخیل قائم‌شهر	۰/۴۶	۰/۳۳	۱/۰۸	۰/۸۱	۰/۸۲	۰/۹۹
آمل	۰/۴۵	۰/۳۱	۱/۰۹	۰/۸۰	۰/۸۲	۰/۹۸

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت تبخیر - تعرق گیاه مرجع و نیز لزوم استفاده از روش‌های نوین در برآورد آن در این پژوهش به ارزیابی روش پنمن-مانتیت فائو جهت برآورد ET_0 با داده‌های کامل و محدود در استان مازندران، ایستگاه‌های ساری، قائم‌شهر و آمل پرداخته شد. نتایج نشان داد که زمانی که داده تابش خورشیدی در دسترس نباشد پراکندگی برآوردهای ET_0 بیشتر است. زمانی که داده‌های رطوبت نسبی و فشار بخار واقعی در دسترس نباشد روش پنمن-مانتیت فائو می‌تواند برای برآورد ET_0 روزانه در مازندران با صحت قابل قبولی مورد استفاده قرار گیرد. برآورد ET_0 در شرایط فقدان مقادیر فشار بخار واقعی هنگامی که با استفاده از داده‌های رطوبت نسبی محاسبه شدند، بسیار مشابه با برآورد ET_0 در شرایط موجود بودن داده‌های فشار بخار واقعی بود.

تابش خورشیدی در مقایسه با سایر داده‌ها تأثیر قابل توجهی در برآورد ET_0 دارد و بیشترین خطای برآورد شده زمانی است که داده تابش خورشیدی موجود نبوده و برای محاسبه در معادله پنمن-مانتیت فائو از داده‌های

دمای کمینه و بیشینه استفاده می‌شود زیرا این متغیرهای دمایی خود تحت تأثیر عوامل متعدد زمینی و درون جوی هستند و از این رو استفاده از آن‌ها در برآورد تابش خورشیدی و سپس ET_0 با عدم قطعیت زیادی همراه است. کمترین خطا زمانی است که داده رطوبت نسبی و فشار بخار واقعی موجود نبوده و برای برآورد فشار بخار واقعی از دمای نقطه شبنم استفاده می‌شود. زمانی که داده تابش خورشیدی و فشار بخار واقعی وجود ندارد میزان صحت برآورد تبخیر - تعرق تقریباً یکسان با زمانی است که داده‌های تابش و رطوبت موجود نباشد. از طرفی صحت این برآوردها در هر سه ایستگاه تقریباً یکسان بوده و در برخی موارد ایستگاه ساری برتر بود؛ بنابراین، زمانی که رطوبت نسبی اندازه‌گیری نشده باشد، استفاده از دمای نقطه شبنم در معادله پنمن-مانتیت فائو می‌تواند پیشنهاد خوبی برای برآورد E_a باشد. پیشنهاد می‌شود صحت روش برآورد تابش خورشیدی از داده‌های بیشینه و کمینه درجه حرارت هوا که همیشه اندازه‌گیری می‌شوند مورد ارزیابی قرار گیرد.

فهرست منابع

۱. بهمنش، ج. مرتضوی، ن. محمدنژاد، ب. ۱۳۹۴. برآورد تبخیر- تعرق مرجع تحت شرایط داده‌های محدود و کامل (مطالعه موردی: ایستگاه‌های سینوپتیک تبریز و ارومیه)، نشریه دانش آب‌وخاک، جلد ۲۵، شماره ۳، صفحه‌های ۱۳ تا ۲۶.
۲. پناهی، م. عقدایی، م. رضایی، م. ۱۳۸۵. تعیین تبخیر و تعرق استاندارد گیاه چغندر قند در کبوترآباد اصفهان، نشریه علمی پژوهشی چغندر قند، جلد ۲۲، شماره ۱، صفحه‌های ۲۵ تا ۳۷.
۳. دهقان، ه. مکاری، م. ۱۳۹۴. ارزیابی و اصلاح مدل‌های والیانتر برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع در شرایط کمبود داده، نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، سال نهم، شماره ۳۶، صفحه‌های ۸۶ تا ۹۸.
۴. رحیمی پول، م. اکبری نودهی، د. اسدی، ر. باقری، ع. شیردل شهیری، ف. ۱۴۰۰. تأثیر آبیاری قطره‌ای و غرقابی بر عملکرد و بهره‌وری آب در دو روش کشت برنج در مازندران، نشریه پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۳۵، شماره ۴، صفحه‌های ۳۹۱ تا ۴۰۴.

۵. رحیمی خوب، ع، ۱۳۸۵. بررسی استفاده از کمینه داده‌های هواشناسی در معادله پنمن مانتیث (مطالعه موردی استان خوزستان). اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران، دانشکده مهندسی علوم و مهندسی آب، اهواز، ایران.
۶. رودباری، ع، باقری، ع، ۱۳۹۵. برآورد تبخیر - تعرق مرجع تحت شرایط داده‌های محدود و کامل در شرایط اقلیمی استان مازندران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر.
۷. سبزواری، ی. سعیدی نیا، م، ۱۴۰۰. ارزیابی مدل‌های تجربی و هوش مصنوعی در برآورد تبخیر- تعرق مرجع (مطالعه موردی: ایستگاه بروجرد)، نشریه علوم آب‌وخاک، جلد ۲۵، شماره ۲، صفحه‌های ۲۳۷ تا ۲۵۳.
۸. شیخ‌الاسلامی، ن. قهرمان، ب. مساعدی، ا. داوری، ک. مهاجریور، م، ۱۳۹۳. پیش‌بینی تبخیر و تعرق گیاه مرجع ET₀ با استفاده از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی PCA و توسعه مدل رگرسیونی خطی چندگانه MLR-PCA (مطالعه موردی: ایستگاه مشهد)، نشریه آب‌وخاک، جلد ۲۸، صفحه‌های ۴۲۰ تا ۴۲۹.
۹. کوچک زاده، م. نیک‌بخت، ج، ۱۳۸۳. مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر - تعرق مرجع در اقلیم‌های مختلف ایران با روش استاندارد فائو - پنمن. مجله علوم کشاورزی، دوره ۱۰، شماره ۳، صفحه‌های ۴۳ تا ۵۷.
۱۰. فولادمند، ح، ۱۳۸۹. پیش‌بینی ماهانه تبخیر - تعرق پتانسیل گیاه مرجع در استان فارس، مجله‌دانش آب‌وخاک، جلد ۱، شماره ۴، صفحه‌های ۱۵۷ تا ۱۶۹.
۱۱. یاوری، م. امیدوار، ج. داوری، ک. فرید حسینی، ع، ۱۳۹۳. ارزیابی روش‌های تجربی برآورد تبخیر و تعرق واقعی سالانه در مقیاس بزرگ به کمک تبخیر و تعرق برآوردی از روش سبال در دشت نیشابور، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال پنجم، شماره هفدهم.
12. Allen RG, Pereira LS, Raes D and Smith M, 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy, 300 p.
13. Bois B, Pieri P, Van Leeuwen C and Gaudillere JP, 2005. Sensitivity analysis of the Penman-Monteith evapotranspiration formula and comparison of empirical methods used in viticulture soil water balance. Pp 187-193. Proceedings of the XIV International GESCO Viticulture Congress. Geisenheim, Germany.
14. Fooladmand HR, 2012. Comparing reference evapotranspiration using actual and estimated sunshine hours in south of Iran. African Journal of Agricultural Research 7(7): 1164-1169.
15. Liu Y, Pereira LS, 2001. Calculation methods for reference evapotranspiration with limited weather data (in Chinese). Journal of Hydrologic Engineering 3: 11-17.
16. Sentelhas PC, Gillespie TJ and Santos EA, 2010. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. Agricultural Water Management 97: 635-644.
17. Trajkovic S and Kolakovic S, 2009. Evaluation of Reference Evapotranspiration Equations under Humid Conditions. Water Resource Management, 23: 3057-3067.
18. Wang YM, Namaona W, Gladen AL, Traore S and Deng LT, 2011. Comparative study on estimating reference evapotranspiration under limited climate data condition in Malawi. African Journal of Physics Sciences 6(9): 2239-2248.
19. Widmoser P, 2009. A discussion on and alternative to the Penman-Monteith equation. Agricultural water management. 96(4): 711-721.

Estimation of Reference Evapotranspiration Using Full and Limited Data of Sari, Qarakheil and Amol Synoptic Stations

A. Roudbari and A. Bagheri¹

Graduate of Irrigation and Drainage, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.

atefroudbari@yahoo.com

Assistant Prof., Department of Water Science and Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University,

Qaemshahr, Iran. ali523b@yahoo.com

Received: August 2022 and Accepted: February 2023

Abstract

Unfortunately, at some meteorological stations, there are no facilities for measurement of some weather parameters, so, they should be estimated. Therefore, determining the correctness of the reference evapotranspiration (ET_o) method by using the estimated data is very important. Based on this, the objective of the present study was to evaluate the performance of the Penman-Monteith method for estimating ET_o in Mazandaran Province, Iran, when solar radiation (R_s), vapor pressure (e_d) and relative humidity (RH) data are not available. Data of Sari, Qarakheil, and Amol synoptic stations were used to compare the estimated ET_o by the Penman-Monteith method for the complete and limited data sets. The results showed that when RH and e_d data were missing, the Penman-Monteith method was still a very good option for estimating ET_o in Sari, Ghaemshahr and Amol station, with RMSE values smaller than 0.3 mm day^{-1} . However, when R_s was missing, the Penman-Monteith method was not good enough for estimating ET_o , and RMSE increased to more than 1 mm day^{-1} . The results also showed that solar radiation was the most effective parameter on ET_o estimation and both vapor pressure and relative humidity had the same effect on ET_o estimation.

Keywords: Penman-Monteith method, solar radiation data, Mazandaran

¹ - Corresponding author: Department of Water Science and Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.

Effect of Water Stress on Strawberry Yield and Yield Components using Magnetized Water

M. Khoshravesh¹ and M. Pourgholam-Amiji

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

khoshravesh_m24@yahoo.com

Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

mpourgholam6@ut.ac.ir

Received: August 2022 and Accepted: December 2022

Abstract

Searching for ways to reduce consumption and preserve water resources is of great importance. Using magnetized water may be effective in this regard. In this research, the effect of water stress using magnetized water on the yield and yield components of strawberry plants was investigated. The factorial experiment was conducted in the form of randomized complete block design with three replications in 2021 and 2022 in Neka Region. The main factor included the type of irrigation water (Non-Magnetized Water (W1) and Magnetized Water (W2)) and the secondary factor included the level of irrigation in three levels (100% FI: Flood irrigation =I1, 80%FI =I2, and 60%FI =I3). The results showed that the effect of irrigation water type and irrigation level on the number of fruits per plant, length, diameter and weight of fruit, biomass, and plant yield and water productivity was significant ($p < 1\%$). On average, by application of magnetized water, the number of fruits per plant, length, diameter and fruit weight, biomass, plant yield, and water productivity were increased by 15.1%, 16.6%, 18%, 20/2%, 23%, 16.8%, and 11.7%, respectively. By reducing the amount of irrigation water, the appearance characteristics of strawberry fruit and yield decreased, but the water productivity increased. The biggest decrease was related to the number of fruits per plant at the irrigation level of 60%, which decreased by 42.72% compared to the control treatment. In conclusion, use of magnetized water technology and deficit irrigation improved strawberry yield.

Keywords: Magnetized water, Amount of irrigation, Water productivity, Fruit weight

¹ - Corresponding author: Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

Identifying the Features Affecting the Cost of Drip Irrigation Systems Using Feature Selection Methods

M. Pourgholam-Amiji, K. Ahmadaali¹, and A. Liaghat

Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Mpourgholam6@ut.ac.ir

Assistant Prof., Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Khahmadauli@ut.ac.ir

Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Aliaghat@ut.ac.ir

Received: December 2022 and Accepted: February 2023

Abstract

This research aimed to select essential features for modeling the cost of pressurized irrigation systems using the data of 515 drip irrigation projects in four parts, including the cost of pumping station and central control system (TC_P), cost of on-farm equipment (TC_F), cost of installation and operation on-farm and pumping station (TC_I), and total cost (TC_T). In the first stage, a database including 39 features influencing the cost of the mentioned sectors was prepared and the price of all projects (2006 to 2019) was updated for the base year of 2021. Then, feature selection was done with different algorithms in MATLAB environment and in two parts including (1) all features (39 features before and after the design stage) and (2) 18 features before the design phase (BD). The results showed that the amounts of RMSE and R^2 for all the features were equal to 0.007 and 0.92, respectively, and for the BD section, they were equal to 0.003 and 0.89, respectively. Among the different algorithms for feature selection, support vector machine (SVM) and optimization algorithms (Wrapper) were identified as the best learner and feature selection method, respectively. The results of the evaluation criteria showed that the two LCA and FOA algorithms achieved the best estimation, and their error criterion in all the features were 0.0020 and 0.0018, respectively, while their correlations were 0.94 and 0.94. In the BD features, these criteria were 0.0006 and 0.95 for both algorithms, respectively. Finally, in the all features section, 10 out of 39 features and for BD section, 8 out of 18 were selected as the most effective features. The results of choosing the most effective features that affect the cost of different parts of the drip irrigation system can make the cost modeling of the systems simpler and faster and, while being useful for research works, it facilitates estimation and management of costs before implementation of each project.

Keywords: Economic modeling, Modern irrigation systems, Sensitivity analysis, Pattern recognition, Meta-heuristic algorithms

¹ - Corresponding author: Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Determination of Crop Coefficient and Water Requirement for Quinoa by Lysimetric Method in Birjand Plain

F. GolestaniFar¹, A. Khashei Siyoki, and S. Mahmoodi

PhD candidate, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Birjand University.

Farzane.golestanifar@yahoo.com

Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University.

Abbaskhashei@birjand.ac.ir

Associate Prof., Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Birjand University.

Smahmoodi@birjand.ac.ir

Received: October 2022 and Accepted: February 2023

Abstract

Estimating potential evapotranspiration values is very important for calculating the water requirement in line with agricultural planning for different crops. For this purpose, in the present study, three polyethylene lysimeters with drains and completely sealed, with a diameter of 60 cm and a height of 100 cm were used to determine the crop coefficient and water requirement of quinoa. Titicaca quinoa seeds were planted on May 7, 2019, with 60 plants/m². The soil moisture level was recorded by TDR and also the drainage output in each lysimeter was measured before irrigation. In order to measure potential evapotranspiration, the equations of Penman-Monteith, Blaney-Criddle (based on temperature) and Priestley-Taylor (based on radiation) were used. The results showed that the total amount of potential evapotranspiration during the growing season according to the FAO Penman-Monteith (ET_o) method was 720 mm, according to the Blaney-Criddle method 581 mm, and according to the Priestley-Taylor method, 754 mm, while the total evapotranspiration of quinoa (ET_c) in lysimeters was 553 mm. Also, the value of quinoa crop coefficient (K_c) in the first stage (21 days period), second stage (26 days period), third stage (38 days period) and fourth stage of quinoa growth (34 days period) using the Penman-Monteith method was equal to 0.42, 0.66, 1.03 and 0.71, in Blaney-Criddle method, 0.54, 0.88, 1.28 and 0.82, and in Priestley-Taylor method 0.40, 0.62, 0.97 and 0.68, respectively. These results show the Penman-Monteith method, as the best method, can be used as a criterion for determining the potential evapotranspiration, but the Blaney-Criddle method needs to be calibrated in the region.

Key words: Penman-Monteith method, Blaney-Criddle method, Priestley-Taylor method, Water balance.

¹ - Corresponding author: Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Birjand University.

Evaluation of Physico-Economical Productivity of Water in Different Methods of Planting and Irrigating Rice cv. Fajr in Golestan Province

P. Zolfaghary¹, A. T. Hazar Jaribi, I. Asadi, and E. Amiri

PhD student of Irrigation and Drainage, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University, Golestan Province, Iran. Parniyan.zolfaghary@gmail.com

Associate Prof., Department of Water Science and Engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University, Golestan Province, Iran. Hezab10@yahoo.com

Research Assistant Prof., Senior Expert of Technical and Engineering Research Department, Golestan Agriculture and Natural Resources Research Center, Golestan Province, Iran. IWC977127@yahoo.com

Professor Water Engineering Department Islamic Azad University - Lahijan Branch, Lahijan, Iran. eamiri57@yahoo.com

Received: October 2022 and Accepted: February 2023

Abstract

Rice is one of the important food products that is generally transplanted. The rice “dry seeding method (DSM)” is a new approach that has provided an opportunity to increase water productivity. In this research, changing the cultivation method from transplanting to DSM and using pressurized irrigation instead of flooding method was studied in 5 rice fields in Golestan Province. The field with flood irrigation method was considered as the control treatment. Other fields were cultivated in dry soil and irrigated by drip and sprinkler methods. The results showed that, in all parameters related to grain yield and yield components, the field with flood irrigation method had higher values. Economic study at the different growth stages with different irrigation methods showed that by changing the planting method and removing the puddling in rice field, 4000 to 7000 cubic meters of water can be saved. Comparison between different irrigation methods showed that the sprinkler irrigation had a higher average yield (4998 kg/ha) than drip irrigation) 4426 kg/ha). With 30% yield reduction, this method saved 61% in water use, which is a significant amount. The highest and lowest physical (0.53 and 0.3 kg/m³) and economical productivity rates (141,791 and 82,704 Rials/m³) were related to sprinkler irrigation and flood irrigation, respectively, which show very low water productivity in the rice fields of the province. This shows the need to increase water productivity under the current climatic conditions of the country.

Keywords: Dry Seeding Rice, Transplanting, Sprinkler irrigation, Drip irrigation

¹ - Corresponding author: Department of Water Science and Engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University, Golestan Province, Iran.

Determining Water Requirement and Crop Coefficient of Date Palm cv. Barhee in Khuzestan Province

M. Alihour¹

Assistant Prof., Date Palm and Tropical Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute,
Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.
alihouri_m@hotmail.com

Received: October 2021 and Accepted: August 2022

Abstract

The amount of agricultural water consumption and water waste can be reduced by properly adjusting the irrigation schedule of plants based on the precise determination of the water requirement of each plant. This research was carried out to determine water requirement and crop coefficient of Barhee date palm. Three drainage lysimeters were applied to measure date palm evapotranspiration. The amounts of date palm evapotranspiration and reference evapotranspiration were calculated using soil water balance equation and Penman-Monteith method, respectively. The results showed that water requirement of 6, 7, and 8 years old date palm were 1493, 1613 and 1695 mm, respectively, while the amounts of reference evapotranspiration were 2070, 1950, and 1945 mm, respectively. The amount of date palm water requirement increased by 8%, for 6 to 7 years-old and 7.8% for 7 to 8 years. The crop coefficient of 6 years old date palm varied in the range of 0.54-0.80. The minimum crop coefficient was in November, while the maximum was in June and July. For the 7 and 8 years old date palm, crop coefficient varied in the range of 0.62-0.97 and 0.47-1.01, respectively. In 7 and 8 years old date palm, the minimum crop coefficient was in November and the maximum was in August.

Keywords: Agricultural water, Irrigation schedule, Water balance in soil, Evapotranspiration

¹ - Corresponding author: Date Palm and Tropical Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.

Study of Water Stress Effects on Water Use Efficiency and Drought Tolerance of New Sunflower Cultivars

M. Esmaeili, H. Madani¹, B. Majd Nassiry, S. Chavoshi, and N.A. Sajedi

Department of Agronomy, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

me3185@yahoo.com

Associate Prof., Department of Agronomy, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

H-madani@iau.arak.ac.ir

Assistant Prof., Agricultural Sciences Research Department, Esfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Esfahan, Iran. **N-S5959@yahoo.com**

Associate Prof., Department of Agronomy, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

Chavoshi.S@gmail.com

Associate Prof., Department of Agronomy, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

N-sajedi@iau-arak.ac.ir

Received: October 2022 and Accepted: February 2023

Abstract

To investigate sensitivity indicators of five new sunflower cultivars under water stress conditions in terms of drought tolerance (DT) and water use efficiency (WUE), a split plot experiment based on the randomized complete block design (RCBD) with three replications was conducted in 2020 in the Braun Area of Isfahan Province, Iran. The surface irrigation treatments included three levels based on evaporation from class A evaporation pan: 90 (no-stress), 120 (mild stress), and 150 mm (severe stress), as the main factor, and sunflower hybrids Chiara, Oscar, Fantasia, Hysun33, and Shams, as the secondary factors. Indicators such as economic yield (EY), biological yield (BY), WUE, harvest index (HI) and DT were analyzed. The highest rates of HI (43%), WPe (4854 kg.ha⁻¹), and BY (13457 kg.ha⁻¹) were obtained from no-stress treatment, followed by 120 mm treatment. Among the cultivars, Fantasia variety with BY equal to 12268 kg.ha⁻¹, economic yield (4081kg.ha⁻¹), and HI of 43% had the highest values. The highest WUE was obtained in the conditions of mild stress and severe stress equal to 0.85 and 0.72 kg.m⁻³, respectively. Among sunflower cultivars, the highest WUE belonged to Hysun 33 with 1.04 kg.m⁻³. Fantasia with 0.96 kg.m⁻³ and Shams with 0.84 kg.m⁻³ ranked next. Also, the lowest values of WUE were related to Oscar and Chiara cultivars with values of 0.81 and 0.75 kg.m⁻³, respectively. In total, deficit irrigation in the 120 mm treatment had the least negative effect on yield and harvest index, and it was suitable in terms of WUE. Finally, Fantasia showed the highest BY, DT, and HI with suitable WUE.

Keywords: Water use efficiency, Harvest index, Biological yield, Economic yield

¹ - Corresponding author: Department of Agronomy, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

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

Journal of Water Research in Agriculture

Vol. 36, No. 4
2023

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

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

Editorial Board

Mohammad Bybordi, PhD
Naser Davatgar, PhD
Niaz Ali Ebrahimi Pak, PhD
Nader Heydari, PhD
Heydar Ali Kashkuli, PhD
Abdolmajid Liaghat, PhD
Mohammad Hosein Mahdian, PhD
Seyed Majid Mirlatifi, PhD
Seyed Farhad Moosavi, PhD
Ebrahim Pazira, PhD

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

English Editor
Design

Hamid Siadat, PhD
Fatemeh Aghajani

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



Journal of Water Research in Agriculture

wra.areeo.ir

Volume 36/ No 4/ 2023

ISSN: 2228-7140

Contents

Subject

Page

- Study of Water Stress Effects on Water Use Efficiency and Drought Tolerance of New Sunflower Cultivars.....22**

M. Esmaili, H. Madani, B. Majd Nassiry, S. Chavoshi, and N.A. Sajedi

- Determining Water Requirement and Crop Coefficient of Date Palm cv. Barhee in Khuzestan Province.....23**

M. Alihour

- Evaluation of Physico-Economical Productivity of Water in Different Methods of Planting and Irrigating Rice cv. Fajr in Golestan Province.....24**

P. Zolfaghary, A. T. Hazar Jaribi, I. Asadi, and E. Amiri

- Determination of Crop Coefficient and Water Requirement for Quinoa by Lysimetric Method in Birjand Plain.....25**

F. GolestaniFar, A. Khashei Siyoki, and S. Mahmoodi

- Identifying the Features Affecting the Cost of Drip Irrigation Systems Using Feature Selection Methods.....26**

M. Pourgholam-Amiji, K. Ahmadaali, and A. Liaghat

- Effect of Water Stress on Strawberry Yield and Yield Components using Magnetized Water....27**

M. Khoshnavesh and M. Pourgholam-Amiji

- Estimation of Reference Evapotranspiration Using Full and Limited Data of Sari, Qarakheil and Amol Synoptic Stations.....28**

A. Roudbari and A. Bagheri