فصلنامه

نشریه علمی

پژوهش آب در کشاورزی

Wra.areeo.ac.ir

ISSN: 2228-7140

ب / جلد ۳۷ / شماره۲/ سال ۱۴۰۲

عنوان | صفحه

تعیین بهره‌وری آب یونجه در مناطق مختلف کشور.....۱۱۹

مهدی اکبری، فریبرز عباسی، ابوالفضل ناصری، افشین یوسف گمرکچی، مصطفی گودرزی، امیر اسلامی، مسعود فرزام‌نیا، رحیم علیمحمدی نافچی، نادر کوهی چله‌کران، رضا بهراملو، علی قدمی فیروزآبادی، سید ابوالقاسم حقایقی مقدم، اردلان ذوالفقاران، جمال احمدآلی، محمد عباسی، حمید ریاحی‌مدوار و محمدمهدی نخجوانی‌مقدم

بررسی تأثیر دور آبیاری در سامانه قطره‌ای نواری بر عملکرد برنج و تغییرات شوری خاک با روش کشت مستقیم در بستر خشک در دشت خوزستان.....۱۳۹

علی مختاران، عبدالعلی گیلانی، سامی جلالی، لیلا بهبهانی، مجتبی رضایی و کبری تجددی‌طلب

استفاده از سامانه نیاز آب در تعیین مقدار آب مصرفی سویا بر اساس حل معکوس توابع عملکرد در شرایط مختلف آبیاری....۱۵۹

علی عبدزادگوهری، امیر نیک‌اختر، نیازعلی ابراهیمی‌پاک و آرش تافته

بررسی احتمال وقوع مقادیر مختلف تبخیر و تعرق در اقلیم‌ها و تاریخ‌های مختلف کشت برنج در مناطقی غیر از شمال کشور.۱۷۱

محمدرضا یزدانی، حدیث صادقی، ابراهیم اسعدی‌اسکویی، سعیده کوزه‌گران و بهاره دلسوزخاکی

ارزیابی عملکرد پایگاه داده‌های WaPOR و ERA5 با هدف برآورد تبخیر و تعرق مرجع در حوضه آبریز دریای خزر.....۱۹۳

شادمان ویسی، میلاد نوری و آناهیتا جباری

برآورد بهره‌وری آب باغ‌های انگور در روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای.....۲۰۷

حسن اوجاقلو، محمد مهدی جعفری، محمد بابا اکبری ساری، فرهاد اوجاقلو و فرهاد میثاقی

فصلنامه

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

جلد ۳۷ شماره (۲)
۱۴۰۲

مدیر مسؤول: **دکتر هادی اسدی رحمانی** — **رئیس مؤسسه تحقیقات خاک و آب**

سردبیر: **دکتر حمید سیادت** — **استاد پژوهش مؤسسه تحقیقات خاک و آب**

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

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

تعداد انتشار در سال: **چهار شماره**

ویراستار انگلیسی: **دکتر حمید سیادت**

صفحه آرایی: **مهندس فاطمه آقاجانی**

پایگاه الکترونیکی نشریه پژوهش آب در کشاورزی:http://www.wra.areo.ir
پایگاه الکترونیکی موسسه تحقیقات خاک و آب: www.swri.ir
آدرس الکترونیکی مجله: journalwater@yahoo.com

این نشریه در پایگاه‌های علمی زیر نمایه می شود:
پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی: www.sid.ir
پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC): www.isc.gov.ir
پایگاه سیویلیکا: https://civilica.com
پایگاه بانک اطلاعات نشریات کشور(Magiran): https://www.magiran.com

آدرس: کرج - میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بعد از رزکان نو، بلوار امام خمینی - کد پستی ۳۱۷۷۹۹۳۵۴۵
تلفن و نمابر۳۶۲۲۰۱۶۰ (۰۲۶) آدرس پایگاه الکترونیکی مجله: **http://www.wra.areo.ir**

بسم الله الرحمن الرحيم

عنوان **صفحه**

تعیین بهره‌وری آب یونجه در مناطق مختلف کشور.....۱۱۹

مهدی اکبری، فریبرز عباسی، ابوالفضل ناصری، افشین یوسف گمرکچی، مصطفی گودرزی، امیر اسلامی، مسعود فرزام‌نیا، رحیم علیمحمدی نافچی، نادر کوهی چله‌کران، رضا بهراملو، علی قدمی فیروزآبادی، سید ابوالقاسم حقایقی مقدم، اردلان ذوالفقاران، جمال احمدآلی، محمد عباسی، حمید ریاحی‌مدوار و محمدمهدی نخجوانی‌مقدم

بررسی تأثیر دور آبیاری در سامانه قطره‌ای نواری بر عملکرد برنج و تغییرات شوری خاک با روش کشت مستقیم در بستر خشک در دشت خوزستان.....۱۳۹

علی مختاران، عبدالعلی گیلانی، سامی جلالی، لیلا بهبهانی، مجتبی رضایی و کبری تجددی‌طلب

استفاده از سامانه نیاز آب در تعیین مقدار آب مصرفی سویا بر اساس حل معکوس توابع عملکرد در شرایط مختلف آبیاری....۱۵۹

علی عبدزادگوهری امیر نیک‌اختر، نیازعلی ابراهیمی‌پاک و آرش تافته

بررسی احتمال وقوع مقادیر مختلف تبخیر و تعرق در اقلیم‌ها و تاریخ‌های مختلف کشت برنج در مناطقی غیر از شمال کشور.۱۷۱

محمدرضا یزدانی، حدیث صادقی، ابراهیم اسعدی‌اسکویی، سعیده کوزه‌گران و بهاره دلسوزخاکی

ارزیابی عملکرد پایگاه داده‌های WaPOR و ERA5 با هدف برآورد تبخیر و تعرق مرجع در حوضه آبریز دریای خزر.....۱۹۳

شادمان ویسی، میلاد نوری و آناهیتا جباری

برآورد بهره‌وری آب باغ‌های انگور در روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای.....۲۰۷

حسن اوجاقلو، محمد مهدی جعفری، محمد بابا اکبری ساری، فرهاد اوجاقلو و فرهاد میثاقی

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 صرفا مقالات پژوهشی منتج از پژوهش‌های نویسنده و یا نویسندگان در زمینه علوم آب و خاک در کشاورزی را منتشر می نماید.

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

نحوهٔ 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 اندازهٔ 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 اندازهٔ 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 ۶-۳ 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 دربرگیرندهٔ 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 قبلا منتشر شده استفاده شده باشد، از شرح جزئیات خودداری و فقط به ارائه اصول و ذکر مأخذ اکتفا شود.

نتایج

در این بخش، نتایج بدست آمده از تحقیق به صورت نوشتار همراه شکل و جدول و بدون بحث بیان گردد. از بکار بردن عنوان هایی مانند نمودار، عکس و نقشه خودداری و کلیه آنها با عنوان " شکل" درج شوند. نتایج ارائه شده در جداول یا شکلها نباید به صورت دیگری مانند منحنی و یا متن نوشتاری در مقاله تکرار گردد. هر جدول از شماره، عنوان، سرستون ها و متن جدول تشکیل 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 کمیّت آن ستون باشد. اگر همهٔ 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●■▲ به صورت توپر و توخالی استفاده شود. برای درج عنوان هر شکل، پس از کلمهٔ 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 پیش بینی شده مقایسه شود. در پایان باید موارد کاربردهای عملی و تئوری نتایج حاصل از تحقیق و نتیجه کلی پژوهش بیان گردد.

تشکر و قدردانی

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

فهرست منابع

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

- نتایج مشابهی توسط برخی پژوهشگران نیز گزارش شده است (کریمی و احمدی، ۱۳۸۹)
- نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است (آلوی و همکاران، ۲۰۱۰)

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

برای یک مقاله به ترتیب نام خانوادگی نگارنده، حرف اول اسم کوچک نگارنده، تاریخ انتشار، عنوان مقاله عنوان کامل مجله، شماره جلد و اولین و آخرین صفحه مقاله ارائه شود. برای یک کتاب به ترتیب نام خانوادگی و سپس حرف اول نام کوچک نگارنده، تاریخ انتشار، عنوان کامل کتاب، شماره جلد، نام ناشر، محل انتشار و تعداد کل صفحات ارائه شود. در مورد مقاله یا کتاب‌هایی که بیش از یک نویسنده دارند به ترتیب نام خانوادگی و حرف اوّل نام اوّلین نویسنده و سپس اوّل 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 فوق‌الذکر، مقاله پذیرفته نمی‌شود و پیش از بررسی به اطلاع نویسنده مسئول می‌رسد. بدیهی است چنانچه مقاله ارسالی با شرایط ذکر شده تهیه و عودت داده شود مجدداً از زمان برگشت که تاریخ واقعی مقاله منظور می‌شود مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

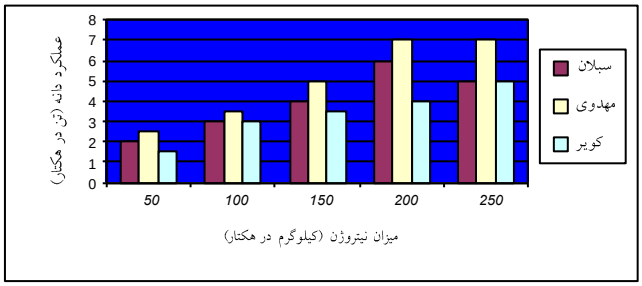
جدول نامناسب

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

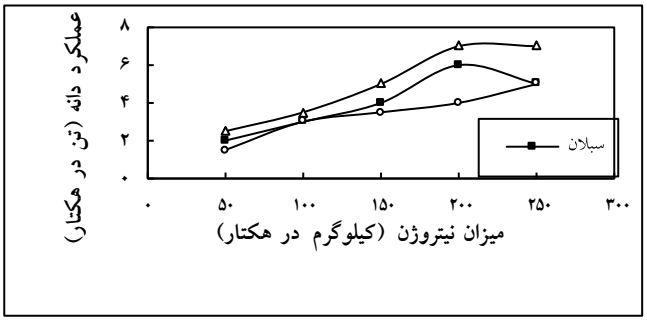
جدول مناسب

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

شکل نامناسب



شکل مناسب



فرم تعهد نامه

نشریه پژوهش‌های آب در کشاورزی

اینجانب ..... نویسنده مسئول مقاله زیر:

- **سال‌های اجراء آزمایش ذکر شود**

موارد زیر را به آگاهی می رسانم:

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

نام نام خانوادگی نویسنده اول: امضاء نویسنده اول مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده دوم: امضاء نویسنده دوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده سوم: امضاء نویسنده سوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده چهارم: امضاء نویسنده چهارم‌مقاله

مقاله پژوهشی نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۷ / شماره ۲/ ۱۴۰۲. ص۱۱۹-۱۳۷
https://doi.org/10.22092/jwra.2023.362057.987

تعیین بهره‌وری آب یونجه در مناطق مختلف کشور

مهدی اکبری*[۱]، فریبرز عباسی[۲]، ابوالفضل ناصری[۳]، افشین یوسف گمرکچی[۴]، مصطفی گودرزی[۵]، امیر اسلامی[۶]، مسعود فرزام‌نیا[۷]، رحیم علیمحمدی نافچی[۸]، نادر کوهی چله‌کران[۹]، رضا بهراملو[۱۰]، علی قدمی فیروزآبادی[۱۱]، سید ابوالقاسم حقایقی مقدم[۱۲]، اردلان ذوالفقاران[۱۳]، جمال احمدآلی[۱۴]، محمد عباسی[۱۵]، حمید ریاحی‌مدوار[۱۶] و محمدمهدی نخجوانی‌مقدم[۱۷]

۱- دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.**akbari_m43@yahoo.com**
۲- استاد پژوهش، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۳- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، تبریز، ایران.
۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، قزوین، ایران.
۵- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، اراک، ایران.
۶- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، شیراز، ایران.
۷- مربی پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، اصفهان، ایران.
۸- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، شهرکرد، ایران.
۹- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، کرمان، ایران.
۱۰و۱۱- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، همدان، ایران.
۱۲و۱۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، مشهد، ایران.
۱۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، ارومیه، ایران.
۱۵- محقق، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی زنجان، زنجان، ایران.
۱۶- محقق بازنشسته، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، کرمان، ایران.
۱۷- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

دریافت: فروردین ۱۴۰۲ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۲

چکیده

در این پژوهش، حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب یونجه در شرایط مدیریت کشاورزان در ۳۰۰ مزرعه در قطب‌های تولید یونجه کشور شامل زنجان، فارس، چهارمحال و بختیاری، همدان، آذربایجان شرقی، سمنان، خراسان رضوی، اصفهان، آذربایجان غربی، مرکزی، قزوین و کرمان در سال زراعی۹۸-۱۳۹۷ اندازه‌گیری شد. تفاوت میانگین حجم آب آبیاری، عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی در استان‌های مزبور در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و میانگین حجم آب آبیاری به‌ترتیب برابر ۸۵۰۲، ۸۹۰۱، ۹۲۲۶، ۹۴۵۹، ۱۱۴۸۱، ۱۲۷۹۶، ۱۴۳۱۱، ۱۴۸۲۱، ۱۵۱۹۸، ۱۵۹۱۶، ۱۸۳۵۱ و۲۳۹۲۰ با میانگین وزنی ۱۳۶۱۴مترمکعب در هکتار بدست آمد. عملکرد یونجه نیز بین ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰۰ با میانگین وزنی ۱۳۶۹۲کیلوگرم بر هکتار بود. بهره‌وری آب آبیاری در مزارع مزبور بین ۰/۲ تا ۴/۵ با میانگین وزنی ۱/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. میانگین وزنی بهره‌وری آب کاربردی نیز ۱/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد. میانگین حجم آب مزارع یونجه در دو روش آبیاری سطحی و بارانی به‌ترتیب برابر ۱۵۰۷۶ و ۱۰۶۵۳ مترمکعب در هکتار تعیین شد($p<1\%$). بنابراین با تغییر روش آبیاری از سطحی به بارانی، میانگین حجم آب آبیاری ۳۰٪ کاهش و بهره‌وری آب کاربردی یونجه ۴۱٪ افزایش داشت. با توجه به این نتایج، برای کاهش حجم آب آبیاری و بهبود بهره‌وری آب در تولید یونجه، در شرایط اقلیمی مناسب که آب آبیاری از کیفیت خوبی برخوردار باشد، در صورت رعایت ضوابط فنی طراحی، اجرا و بهره‌برداری و ملاحظات اقتصادی، استفاده از آبیاری بارانی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب کاربردی، عملکرد یونجه، آبیاری سطحی، آبیاری بارانی

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: akbari_m43@yahoo.com.

CC BY

مقدمه

خشکسالی و کم‌آبی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و با توجه به روند روزافزون نیاز بخش‌های مختلف به آب، مشکل کم‌آبی در کشور در سال‌های آتی حادتر خواهد شد. در چنین شرایطی یکی از راهکارهای مؤثر و عملی، استفاده بهینه و صرفه‌جویی در مصرف آب در کلیه بخش‌ها و به‌طور خاص بخش کشاورزی است که بخش عمده‌ای از مصارف آب در کشور را به خود اختصاص داده است. تخمین نسبتاً دقیق و یا تعیین شاخص‌های مدیریت مصرف آب از جمله مقدار آب مصرفی، راندمان آبیاری و بهره‌وری آب محصولات زراعی و باغی مختلف در کشور از مهم‌ترین ابزارها و شاخص‌های کلیدی در برنامه‌ریزی‌های کلان مربوط به تأمین، تخصیص و مصرف اصولی از آب در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی است. در این خصوص، معاونت آب‌وخاک و موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی در یک اقدام مشترک در چند سال اخیر برنامه‌ریزی‌ها و اقدامات خوبی انجام داده‌اند و مبادرت به اندازه‌گیری میدانی حجم آب آبیاری ۳۵ محصول زراعی، باغی و سبزی و صیفی نموده است و نتایج برخی از این مطالعات نیز منتشر شده است که از آن جمله می‌توان به عباسی و اکبری، ۱۳۹۹؛ باغانی و همکاران، ۱۳۹۷؛ اکبری و همکاران، ۱۳۹۹؛ اکبری و همکاران، ۱۳۹۷؛ عباسی و همکاران، ۱۴۰۰ اشاره کرد. با توجه به اینکه یونجه در بیشتر مناطق فاریاب کشور کشت می‌شود و بخش قابل‌توجهی از سطح زیر کشت محصولات زراعی به یونجه اختصاص دارد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹)، لذا بررسی شاخص‌های مدیریت آبیاری این محصول می‌تواند نقش مؤثری در برنامه‌ریزی‌های کلان مدیریت آب در کشور ایفا نماید که هدف اصلی این تحقیق بوده است.

یونجه یکی از گیاهان مهم علوفه‌ای است که به‌طور گسترده در بسیاری از کشورهای جهان ازجمله چین، ایالات‌متحده، اروپا و استرالیا کاشته می‌شود (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ دیاتا و همکاران، ۲۰۲۱). بر اساس گزارش‌های موجود، کل تولید یونجه در جهان سالیانه حدود ۲۱۱ میلیون تن است که از حدود ۳۲ میلیون هکتار اراضی یونجه بدست می‌آید (فائو ۲۰۲۱).

نتایج آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی نشان داد که تولید یونجه در ایران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ حدود ۶/۱ میلیون تن با سطح زیرکشت ۵۶۶ هزار هکتار و متوسط عملکرد ۱۰/۸ تن در هکتار بوده است. از قطب‌های اصلی تولید یونجه در کشور می‌توان به استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، کرمان، همدان، اصفهان، فارس، خوزستان، زنجان، قزوین، چهارمحال و بختیاری، مرکزی و خراسان رضوی اشاره کرد (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). نیاز آب آبیاری در یونجه به طول دوره رشد، روش آبیاری، بافت خاک و اقلیم منطقه وابستگی زیادی دارد. سامانه‌های آبیاری سطحی به دلیل داشتن رواناب سطحی و نفوذ عمقی، نسبت به سامانه‌های بارانی دارند که به‌طور صحیح و با توجه به ضوابط فنی طراحی، اجرا و بهره‌برداری شده‌اند، مصرف آب بیشتری دارند (اکبری و همکاران ۱۳۹۹).

یونجه علاوه بر تأمین علوفه دام، با تثبیت زیستی نیتروژن ضمن بهبود حاصلخیزی خاک، به‌صورت گیاهان پوششی نقش مهمی را در جایگزینی کودهای مصنوعی دارد (الغرابلی و همکاران، ۲۰۲۱). در شرایطی که یونجه در خاک‌های شنی و زمین‌های شور-قلیایی با حاصلخیزی ضعیف کاشته شود، انجام آبیاری برای تولید محصول از اهمیت بیشتری برخوردار است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ کیو و همکاران، ۲۰۲۱). نتایج تحقیقات انجام‌شده در کالیفرنیا نیز نشان داد که یونجه از گیاهانی است که بیشترین نیاز آبی را دارد و تقریباً بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در بین گیاهان زراعی کالیفرنیا بوده است (آترام و همکاران، ۲۰۱۶).

خشکی به‌عنوان یکی از تنش‌های نامطلوب رایج در محیط رشد گیاه، فتوسنتز و رشد گیاه را مهار کرده و منجر به کاهش عملکرد محصول شده است. اگرچه خشکسالی و کم‌آبیاری عملکرد یونجه را کاهش داد، ولی موجب شد که از آب ذخیره‌شده در پروفیل‌های خاک به‌طور مؤثرتری استفاده شود و بهره‌وری آب افزایش یافت

(جمان و همکاران، ۲۰۲۰؛ منتظر و همکاران، ۲۰۲۰؛ گائو و همکاران،۲۰۲۰). کمبل و همکاران (۱۹۹۰) تأثیر سطوح مختلف آبیاری با تیمارهای ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵ درصد تبخیر از تشتک بر روی ارقام یونجه را مورد تحقیق قرار دادند. این نتایج نشان داد که در شرایط تأمین نیاز آبی گیاه، عملکرد محصول ۱۷ تن در هکتار، میزان تبخیر-تعرق ۱۱۷۰ میلی‌متر و حجم آب آبیاری ۱۴۶۰۰ مترمکعب در هکتار بوده است. میزان افزایش بهره‌وری آب آبیاری با استفاده از ارقام و رژیم آبیاری مناسب، مطالعات زیادی را به خود اختصاص داده است. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که بهره‌وری آب برای تولید یونجه ۰/۸۹ تا ۱/۵۲ و حداکثر دو کیلوگرم بر مترمکعب است (بالیک و همکاران، ۲۰۰۱؛ یان و همکاران، ۲۰۲۰).

برادا (۲۰۰۵) متوسط آب آبیاری در مناطقی از کلرادو که یونجه به‌طور کامل آبیاری شده است را ۱۳۳۰۰ مترمکعب در هکتار اعلام و متوسط عملکرد را در این مناطق ۱۰/۱۳ تن علوفه خشک در هکتار با بهره‌وری آب ۰/۸۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمود.

در خصوص تأثیر روش‌های آبیاری بر حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری یونجه تحقیقات زیادی در ایران و جهان انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعات اوجاقلو و همکاران (۲۰۲۳) در استان زنجان، ابراهیمیان و همکاران (۲۰۱۹) در استان‌های قزوین و البرز و لی و سو (۲۰۱۷) در شمال چین اشاره کرد.

اوجاقلو و همکاران (۲۰۲۳) حجم آب آبیاری و عملکرد محصول دو مزرعه آبیاری سطحی و نه مزرعه مجهز به سامانه آبیاری بارانی را در اراضی زراعی چهار شهرستان زنجان، ابهر، خرمدره و خدابنده اندازه‌گیری کردند. نتایج نشان داد مقدار حجم آب آبیاری از ۹۸۴۹ تا ۲۰۵۷۶ با میانگین ۱۴۲۵۰ مترمکعب در هکتار متغیر بوده است. میانگین حجم آب آبیاری در دو سامانه سطحی و بارانی به ترتیب ۱۷۸۰۶ و ۱۳۴۶۰ مترمکعب در هکتار و حداقل و حداکثر عملکرد محصول به ترتیب ۶/۵ و ۱۴/۱ با میانگین ۱۰/۴ تن در هکتار اندازه‌گیری شده است. میانگین عملکرد محصول در روش آبیاری سطحی و بارانی برابر ۱۰/۳۴ و ۱۰/۳۸ تن در هکتار گزارش شده است. بیشترین بهره‌وری آب برابر با ۰/۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب از سامانه آبیاری بارانی بدست آمد که در مقایسه با بهره‌وری آب آبیاری در روش سطحی (۰/۵۴ کیلوگرم بر مترمکعب) اختلاف زیادی داشت.

ابراهیمیان و همکاران (۲۰۱۹) حجم آب آبیاری و عملکرد محصول در ۲۰ سامانه آبیاری بارانی یونجه شامل سامانه ثابت، سنترپیوت و لینیر در استان قزوین (آبیک، بویین زهرا، تاکستان و قزوین) و دو سامانه کلاسیک ثابت در استان البرز را از طریق اندازه‌گیری مزرعه‌ای و مصاحبه با بهره‌برداران تعیین کردند. نتایج نشان داد که میانگین آب آبیاری یونجه در شهرستان‌های آبیک، بویین زهرا، تاکستان، قزوین و البرز به‌ترتیب ۱۱۱۵۲، ۱۲۶۷۲، ۱۶۴۰۹، ۱۲۷۷۸ و ۱۱۷۴۵ مترمکعب در هکتار و میانگین عملکرد محصول یونجه خشک در شهرستان‌های مذکور به ترتیب ۱۴/۱، ۱۲، ۸/۱، ۸/۴۵ و ۴/۵ تن بر هکتار بوده است. این محققان حجم آب آبیاری یونجه را در سامانه‌های آبیاری بارانی ثابت، لینیر و سنترپیوت در شهرستان‌های مذکور به‌ترتیب ۱۳۶۵۳، ۱۰۰۰۰ و ۹۲۵۲ مترمکعب بر هکتار گزارش کردند. میزان بهره‌وری آب یونجه در سامانه‌های مختلف بین ۰/۲۲ تا ۱/۷۶ و بطور متوسط ۰/۸۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده است. مقدار این شاخص در شهرستان‌های مذکور به‌ترتیب ۱/۳۴، ۰/۸۵، ۰/۵۴، ۰/۹۸ و ۰/۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده است. لی و سو (۲۰۱۷) در یک مطالعه دو ساله در شمال چین با میانگین بارندگی سالانه ۱۶۴/۴ میلی‌متر شمال چین، با کاربرد مقادیر مختلف آب آبیاری در روش آبیاری بارانی، بهره‌وری آب یونجه را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تبخیر تعرق گیاه و عملکرد علوفه‌تر و خشک با کاهش مقدار آب آبیاری کاهش یافت، در حالیکه بهره‌وری آب آبیاری افزایش یافت. تبخیر و تعرق در تیمارهای مختلف از ۴۱۲ تا ۸۰۹ میلی‌متر و عملکرد علوفه خشک از ۱۱۵۷۷ تا ۱۸۶۳۶ کیلوگرم بر هکتار بدست آمد. بدلیل تغییرات بارندگی در سال‌های مورد بررسی،

بهره‌وری آب کاربردی علوفه خشک در تیمارهای مختلف ۲/۲۸ تا ۲/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد.

در مطالعه‌ای در ایالات‌متحده عملکرد و بهره‌وری آب یونجه در اراضی دیم دشت بزرگ مرکزی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در این دشت عملکرد محصول یونجه خشک از ۰/۹ تا ۱۹ تن در هکتار متفاوت بوده و میانگین بهره‌وری آب ۳/۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده است (فینک و همکاران، ۲۰۲۲). در مطالعه دیگری ارزیابی بهره‌وری آب یونجه خشک تحت آبیاری سامانه آبیاری سنترپیوت در سه پروژه مختلف در سودان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که بهره‌وری آب در سه منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب، ۰/۴۵، ۰/۳۸ و ۰/۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب و این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار بوده است (عبدالدائم و همکاران، ۲۰۱۸).

حیدری (۱۳۹۰) نیز مقدار آب آبیاری یونجه را در چهار مزرعه در منطقه بردسیر استان کرمان بررسی کرد. نتایج نشان داد که حجم آب آبیاری یونجه در روش آبیاری دوار مرکزی (سنترپیوت) برابر ۷۶۲۵ مترمکعب در هکتار بوده است. در این مزارع میانگین عملکرد و بهره‌وری آب برای وزن خشک محصول یونجه به ترتیب ۱۱۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و ۱/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده است.

خرمیان و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی تأثیر روش‌های آبیاری بارانی و سطحی بر عملکرد گیاه یونجه در ایستگاه تحقیقاتی صفی‌آباد خوزستان گزارش نمودند که عملکرد یونجه در روش آبیاری بارانی و سطحی به‌ترتیب ۱۶/۲۷ و ۱۱/۵ تن در هکتار بوده است. این نتایج نشان می‌دهد، درصورتی‌که روش بارانی در شرایط اقلیمی مناسب و با توجه به ضوابط فنی طراحی، اجرا و بهره‌برداری شود، نقش مؤثری در افزایش عملکرد محصول خواهد داشت. حجم آب آبیاری در سامانه‌های بارانی و سطحی به‌ترتیب ۷۷۱۱ و ۲۳۴۷۰ مترمکعب بر هکتار بوده است. بررسی تأثیر روش‌های آبیاری بارانی و سطحی بر بهره‌وری آب نشان داد که این شاخص در سامانه بارانی ۲/۱۱ و در سامانه سطحی ۰/۴۹ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است. قدمی فیروزآبادی و سیدان (۱۳۹۴) در بررسی فنی و اقتصادی سامانه‌های مختلف آبیاری در مزارع یونجه در شهرستان همدان، میانگین حجم آب آبیاری در مزارع یونجه در آبیاری نشتی و بارانی را به‌ترتیب حدود ۱۲۴۴۷ و ۷۸۷۵ مترمکعب در هکتار گزارش نمودند. نتایج تحلیل اقتصادی این تحقیق نشان داد که ارزش حال منافع خالص زراعت یونجه در شرایط استفاده از سامانه آبیاری بارانی در شرایط کمک‌های بلاعوض دولت نسبت به روش آبیاری سطحی ۷۴۴۳۷ هزار ریال بیشتر بوده است. نسبت منفعت به هزینه در سامانه آبیاری بارانی در شرایط کمک‌های بلاعوض دولت و بدون کمک‌های دولتی به ترتیب ۳/۸ و ۳/۲ گزارش شده است.

حقایقی مقدم (۱۳۸۹) در دشت نیشابور استان خراسان رضوی مقدار آب آبیاری در ۲۶ مزرعه یونجه را در سال زراعی ۸۷-۸۶ مورد بررسی قرار داد. مزارع یونجه به‌طور میانگین، ۱۶ نوبت آبیاری شده و میانگین حجم آب آبیاری ۱۷۹۳۰ مترمکعب در هکتار بود. تغییرات حجم آب آبیاری در مزارع یونجه مورد بررسی بین ۱۲۱۶۵ تا ۲۳۸۳۰ مترمکعب گزارش شده است. میانگین عملکرد خشک محصول و بهره‌وری آب در این مزارع به ترتیب ۷/۹ تن در هکتار و ۰/۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد گردید.

لشنی‌زند و همکاران (۱۳۹۳) نیز حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری یونجه را در حوضه هنام به‌ترتیب ۹۸۳۰ مترمکعب در هکتار، ۱۸۲۷۰ کیلوگرم در هکتار و ۱/۶۹ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند. رضایی‌راد و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی بهره‌وری آب محصول یونجه در شهرستان‌های اصفهان پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین و کمترین میزان بهره‌وری آب یونجه خشک به ترتیب ۱/۳۵ و ۰/۸۶ کیلوگرم بر مترمکعب، به شهرستان‌های نجف‌آباد و سمیرم اختصاص‌یافته است و میانگین بهره‌وری آب یونجه در استان اصفهان ۱/۱۸ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب بوده است. بهنام‌فر و همکاران (۱۳۹۳) نیز دامنه حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری یونجه را در استان خوزستان به ترتیب ۱۱۱۲۸ تا ۲۷۲۵۴ مترمکعب در هکتار،

۸۷۰۰ تا ۱۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و ۰/۵۲ تا ۱/۰۹ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند. نتایج تحقیقات علیمحمدی (۱۳۹۶) در ایستگاه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری نشان داد که مقدار آب آبیاری یونجه هنگام استفاده از آب چاه، پساب، تحت مدیریت زارع و بر اساس نیاز آبی یونجه به ترتیب ۱۶۱۱۴، ۱۶۱۱۴، ۱۷۳۳۳ و ۱۴۸۹۵ مترمکعب در هکتار بوده است.

علی‌محمدی نافچی (۲۰۱۶)، مقدار آب آبیاری برای تولید یونجه در ایستگاه تحقیقاتی چهار تخته شهرکرد را ۱۷۳۳۳ مترمکعب در هکتار گزارش کرد. در این تحقیق عملکرد تر و خشک یونجه به‌ترتیب ۳۹۵۵۲ و ۱۵۰۷۴ کیلوگرم در هکتار بوده است. همچنین مقدار بهره‌وری آب کاربردی بر مبنای ماده تر و خشک یونجه به‌ترتیب ۲/۲۸ و ۰/۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شده است.

غلامی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای به بررسی مقدار آب آبیاری و بهره‌وری آب آبیاری در سامانه‌های آبیاری بارانی و سطحی در دشت قزوین پرداختند. نتایج نشان داد که مقدار آب آبیاری در محصول یونجه در روش‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در ۱۲ مزرعه بین ۱۰۰۰۰ تا ۱۸۲۵۴، در سامانه سنترپیوت در سه مزرعه بین ۸۵۳۰ تا ۱۷۲۲۵ و یک مزرعه با سامانه لینیر ۱۰۰۰۰، مترمکعب در هکتار بود. بهره‌وری آب آبیاری یونجه در سامانه‌های آبیاری بارانی و سطحی به‌ترتیب بین ۰/۲ تا ۱/۷۶ و ۰/۱۲ تا ۱/۶۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده است. وفابخش و حقایقی (۱۳۹۶) طی تحقیقی مقدار آب آبیاری و بهره‌وری فیزیکی آب در ۱۰ مزرعه آبیاری سطحی یونجه دشت مشهد- چناران و ۹ مزرعه یونجه دشت فریمان-تربت جام در استان خراسان رضوی را بررسی کردند. میانگین تعداد نوبت‌های آبیاری، حجم آب آبیاری، عملکرد خشک محصول، بهره‌وری فیزیکی آب در دشت مشهد-چناران به‌ترتیب ۱۵، ۱۷۵۵۰ مترمکعب در هکتار، ۱۳/۹ تن در هکتار و ۰/۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب و در دشت فریمان- تربت‌جام به‌ترتیب ۱۴، ۱۷۲۶۰ مترمکعب در هکتار، ۲۱/۵ تن در هکتار، ۱/۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده است.

بهراملو و قدمی (۱۳۹۶) بر اساس مصاحبه با بهره‌برداران و تکمیل پرسشنامه، حجم آب آبیاری برای محصول یونجه را در دو سامانه نشتی و بارانی با راندمان‌های ۴۸ و ۶۵ درصد به‌ترتیب ۱۳۵۰۰ و ۷۸۷۵ مترمکعب در هکتار با ۱۵ و ۲۰ نوبت آبیاری برآورد کردند.

تجزیه‌وتحلیل نتایج تحقیقات فوق‌الذکر در کشور در خصوص حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب در تولید یونجه خشک نشان می‌دهد که دامنه تغییرات حجم آب آبیاری از ۷۶۲۵ تا ۲۷۲۵۴ مترمکعب در هکتار، دامنه تغییرات عملکرد یونجه از ۴۵۰۰ تا ۲۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و دامنه تغییرات بهره‌وری آب در تولید یونجه از ۰/۱۲ تا ۲/۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر بوده است. هدف اصلی این تحقیق، تعیین بهره‌وری آب و حجم آب آبیاری در قطب‌های اصلی تولید یونجه تحت مدیریت کشاورزان و برآورد کل آب آبیاری برداشتی از منابع آب سطحی و زیرزمینی برای تولید یونجه در کشور بوده است.

مواد و روش

با توجه به اینکه اندازه‌گیری حجم آب آبیاری و عملکرد محصول در تمام مزارع استان‌های کشور امکان‌پذیر نبود، حجم آب آبیاری و عملکرد یونجه به‌صورت میدانی و تحت مدیریت کشاورزان در قطب‌های تولید یونجه در کشور در طول فصل رشد در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ که از نظر بارندگی یک سال تر محسوب می‌شود، اندازه‌گیری شد. برای تعیین قطب‌های اصلی تولید یونجه از آمارنامه سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ سطح زیر کشت و میزان تولید یونجه در کشور استفاده شد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷). استان‌های زنجان، فارس، چهارمحال و بختیاری، همدان، آذربایجان شرقی، سمنان، خراسان رضوی، اصفهان، آذربایجان غربی، مرکزی، قزوین و کرمان بیش از ۷۰ درصد سطح زیر کشت یونجه را در کشور پوشش داده و به‌عنوان قطب‌های تولید محصول یونجه انتخاب شدند. سپس در

استان‌های منتخب، شهرستان‌های برتر تولید این محصول در نظر گرفته شد. مزارع منتخب در شهرستان‌های مختلف با نظر کارشناسان معاونت تولیدات گیاهی، مدیریت هماهنگی ترویج و مدیریت آب‌وخاک سازمان‌های جهاد کشاورزی استان‌ها، با توجه به منابع آبی/ مزارع سنتی و پیشرو شناسایی و انتخاب شدند. طرح آماری (نمونه‌گیری) طبقه‌ای نظام‌دار برای این تحقیق انتخاب شد. بدین ترتیب که جامعه آماری به طبقات و گروه‌های مجزا تقسیم و نمونه‌های مورد مطالعه به‌صورت تلفیقی از روش تصادفی و نظام‌دار انتخاب شدند. انتخاب استان‌ها، شهرستان‌ها و محصول مورد مطالعه با توجه به شرایط متفاوت آن‌ها و همین‌طور اهداف طرح، کاملاً تصادفی نبوده، بلکه انتخاب آن‌ها به‌صورت هدف‌دار بوده است. مزارع نیز طوری انتخاب شدند که عوامل مختلف ازجمله انواع روش آبیاری، بافت خاک و کیفیت آب آبیاری را پوشش دهند. با توجه به اینکه بررسی تأثیر مدیریت‌های مختلف کشاورزان با توجه به تعداد کم نقاط اندازه‌گیری عملاً ممکن نبود، در انتخاب مزارع حتی‌الامکان به‌گونه‌ای عمل شد که مدیریت آبیاری و کشت و کار کشاورزان منتخب، نماینده کشاورزان منطقه مورد مطالعه باشد و در صورت امکان حداقل یکی از مزارع کشاورزان پیشرو منطقه انتخاب گردد. با توجه به موارد فوق تعداد ۳۰۰ مزرعه انتخاب شد. برخی از مشخصات مزارع از قبیل مساحت، موقعیت دقیق مکانی با GPSتعیین شد و اندازه‌گیری‌ها در خصوص تعیین حجم آب آبیاری، دبی جریان، مدت‌زمان آبیاری، بافت خاک، کیفیت آب‌وخاک مزارع همراه با ثبت عوامل مختلفی نظیر، روش آبیاری، دور آبیاری، نوع شبکه، روش کشت، فصل کشت، ارقام محصول و اقلیم انجام شد برای تعیین دقیق دبی آب منابع آبی (چاه، قنات و چشمه)، دبی منبع آبی با استفاده از فلوم/کنتور حجمی/ادوات الکترونیکی و یا دبی‌سنج اولتراسونیک اندازه‌گیری شد. با توجه به تغییرات احتمالی دبی، در این‌گونه منابع، دبی منبع آبی طی چند نوبت در طول فصل زراعی اندازه‌گیری شد. تعداد نوبت‌های آبیاری و مدت‌زمان هر نوبت آبیاری نیز برای هر یک از مزارع یونجه ثبت گردید. در مزارع منتخب بیش از ۲۰ رقم یونجه کشت شده بود. رقم همدانی با ۶۶/۱ درصد نسبت به سایر ارقام از درصد فراوانی بیشتری برخوردار بود. ارقام رنجر، قره یونجه، بمی و رهنانی به ترتیب ۹، ۴، ۳/۳ و ۳ درصد را به خود اختصاص دادند. سایر ارقام نیز حدود ۱۴/۶ درصد از فراوانی یونجه کشت‌شده در کشور را به خود اختصاص دادند. از نظر سطح سواد، بیشتر بهره‌برداران دارای سواد راهنمایی تا دیپلم بودند، ۲۵/۹ درصد از بهره‌برداران مورد مطالعه بی‌سواد یا دارای سواد ابتدایی، ۴۵/۵ درصد دارای سواد راهنمایی تا دیپلم و ۲۸/۶ درصد بهره‌برداران سواد دانشگاهی داشتند. از میان بهره‌برداران مورد مطالعه، ۱۸ درصد بهره‌برداران پیشرو و حدود ۵۰ درصد از بهره‌برداران پیشرو دارای سواد دانشگاهی و مابقی سواد راهنمایی و دیپلم داشتند. ۴۷ درصد از بهره‌برداران پیشرو از روش‌های آبیاری تحت‌فشار (بارانی) برای آبیاری مزارع خود استفاده می‌کردند. آب آبیاری مورداستفاده برای مزارع یونجه در کشور از کیفیت خوبی برخوردار بود. هدایت الکتریکی آب آبیاری در مزارع منتخب از ۰/۴ تا ۷/۷ با میانگین ۱/۴ دسی‌زیمنس بر متر بوده و شوری آب آبیاری ۸۵ درصد از مزارع منتخب کمتر از سه دسی‌زیمنس بر متر بود. شوری عصاره اشباع خاک در مزارع یونجه مورد مطالعه نیز بین ۰/۵ تا ۸/۸ با میانگین ۲/۱ دسی‌زیمنس بر متر بود. نزدیک به ۶۰ درصد از مزارع دارای شوری کمتر از دو دسی‌زیمنس بر متر بودند. شوری عصاره اشباع خاک در اکثر استان‌های موردمطالعه کمتر از ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود.

نیاز آبی خالص گیاه بر اساس داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی برای سال انجام تحقیق و ده سال گذشته به روش پنمن مانتیث محاسبه و با مقادیر نیاز آبی ارائه‌شده در سند ملی مقایسه شد. شاخص بهره‌وری آب آبیاری از نسبت مقدار عملکرد محصول یونجه خشک‌شده (کیلوگرم بر هکتار) به حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) که توسط بهره‌بردار وارد مزرعه شده بود، به دست آمد؛ به‌عبارت‌دیگر شاخص بهره‌وری آب

آبیاری در تولید یونجه از رابطه ۱ به دست آمد (ملدین و همکاران، ۱۹۹۸):

$$WP = \frac{CY}{V_{(Irr)}} \quad (۱)$$

که در آن:WP بهره‌وری آب آبیاری در تولید یونجه خشک (کیلوگرم بر مترمکعب)،CY عملکرد یونجه خشک‌شده (کیلوگرم در هکتار) و$V_{(Irr)}$ حجم آب آبیاری در تولید یونجه (مترمکعب در هکتار) است. با توجه به اینکه بارش مؤثر در هر منطقه نقش مؤثری در تولید محصول یونجه دارد که در شاخص بهره‌وری آب آبیاری دیده نشده است، میزان بارش مؤثر در طول دوره رشد محصول با استفاده از روش USDA-SCS (بوس و همکاران، ۲۰۰۸) برآورد و شاخص دیگری تحت عنوان بهره‌وری آب کاربردی (آب آبیاری و بارش مؤثر) به‌صورت نسبت عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار) به مجموع حجم آب آبیاری توسط بهره‌بردار و بارش مؤثر(مترمکعب بر هکتار) تعریف و محاسبه شد؛ به‌عبارت‌دیگر در شاخص بهره‌وری آب کاربردی، بجای حجم آبی که توسط بهره‌بردار برای تولید یونجه وارد مزرعه شده، از مجموع حجم آب آبیاری و بارندگی مؤثر استفاده شد.

برای بررسی تغییرات عملکرد، حجم آب آبیاری، حجم آب کاربردی و شاخص بهره‌وری آب در تولید یونجه در استان‌های منتخب کشور از تحلیل واریانس استفاده شد. نظر به ماهیت اندازه‌گیری‌ها، هر مزرعه یونجه به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد. اگرچه سعی شد در انتخاب تعداد مزارع، سطح زیر کشت مدنظر قرار گیرد ولی در برخی موارد به علل مختلف این مسئله رعایت نشده بود. لذا با توجه به اینکه درصد مساحت زیر کشت استان‌های مختلف باهم مساوی نبود، میانگین کشوری آب آبیاری، عملکرد یونجه خشک‌شده و بهره‌وری آب به‌صورت وزنی و بر اساس آمارنامه سطح زیر کشت سال زراعی ۹۸-۹۷ (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹) محاسبه شد. برای بررسی کفایت تعداد اندازه‌گیری حجم آب کاربردی، عملکرد یونجه و بهره‌وری آب (تعداد مزارع انتخاب و اندازه‌گیری شده) از رابطه ۲ استفاده شد (سرمد و همکاران، ۱۳۸۰).

$$n = \frac{z^2\sigma^2}{(\bar{x}-\mu)^2} \quad (۲)$$

که در آن: n= تعداد اندازه‌گیری‌های لازم برای تحلیل واریانس عملکرد، حجم آب آبیاری/کاربردی در تولید یونجه و بهره‌وری آب در سطح کشور، z برای سطح اعتماد ۹۵ درصد، z=۱/۹۶ در نظر گرفته شد، σ^2= واریانس جمعیت و $\bar{x}$ میانگین اندازه‌گیری‌ها است.

نتایج و بحث

حجم آب آبیاری، آب کاربردی و عملکرد یونجه در استان‌های منتخب

تجزیه‌وتحلیل آماری نتایج شاخص‌های حجم آب آبیاری، عملکرد نشان داد که تعداد اندازه‌گیری‌های لازم در کشور در خصوص آب آبیاری و عملکرد به ترتیب ۷۷ و ۱۷۳ مزرعه و تعداد اندازه‌گیری‌های انجام‌شده ۳۰۰ مزرعه است. این نتایج نشان داد که تعداد اندازه‌گیری‌های آب آبیاری و عملکرد اندازه‌گیری شده در مزارع یونجه بیش از تعداد اندازه‌گیری‌های لازم است، بنابراین کفایت داده‌ها برای تحلیل آماری این کمیت قابل اعتماد و محرز تشخیص داده شد. نتایج تجزیه واریانس حجم آب آبیاری، آب کاربردی و عملکرد یونجه در استان‌های منتخب شامل همدان، زنجان، چهارمحال و بختیاری، فارس، آذربایجان شرقی، سمنان، خراسان رضوی، اصفهان، آذربایجان غربی، مرکزی، کرمان و قزوین، نشان داد که تفاوت این شاخص‌ها در سطح احتمال کمتر از یک درصد معنی‌دار است. بر اساس نتایج اندازه‌گیری‌های حجم آب آبیاری مزارع یونجه در ۱۲ استان کشور، استان‌های زنجان و کرمان به ترتیب با ۸۵۰۲ و ۲۳۹۲۰ مترمکعب در هکتار دارای کمترین و بیشترین میزان آب آبیاری برای تولید یونجه بودند (جدول ۱). همان‌طوری که در جدول ۱ نشان داده شده است، حجم آب آبیاری مزارع در استان زنجان کمتر از سایر استان‌ها است. علت کاهش حجم آب آبیاری در این استان اقلیم فراسرد و بارندگی سالیانه از یک طرف و کوتاه‌تر بودن طول دوره رشد محصول یونجه و به‌کارگیری سامانه آبیاری

بارانی در بیشتر مزارع یونجه این استان است، درصورتی‌که منطقه بم در استان کرمان دارای اقلیم فراخشک گرم بوده و میزان بارندگی سالیانه در این منطقه بسیار ناچیز است؛ به‌عبارت‌دیگر ازجمله علل کاهش حجم آب آبیاری در استان زنجان و مناطق مشابه، می‌توان به کوتاه‌تر بودن طول دوره رشد محصول، وجود بارش مؤثر، پایین بودن تبخیرتعرق در طول دوره رشد، استفاده از روش‌های نوین آبیاری اشاره کرد. درصورتی‌که در سایر استان‌ها از جمله کرمان، سمنان، قزوین و مرکزی طول دوره رشد بیشتر است، لذا به تعداد آبیاری بیشتری نیاز دارد و از طرفی با توجه به پتانسیل تبخیر و تعرق در فصل بهار و تابستان (دوره رشد گیاه)، میزان آب آبیاری به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. تغییرات حجم آب آبیاری یونجه در کشور بسته به شرایط آب و هوایی، شرایط مدیریت زارع از حدود ۴۰۰۰ مترمکعب بر هکتار تا نزدیک به ۴۰۰۰۰ مترمکعب در هکتار متفاوت بود. میانگین حسابی حجم آب آبیاری، حجم آب کاربردی در مناطق موردمطالعه به ترتیب ۱۳۰۱۳ و ۱۳۸۴۰ مترمکعب بر هکتار بود که با میانگین وزنی این شاخص‌ها (به‌ترتیب ۱۳۲۸۴ و ۱۴۱۵۷ مترمکعب بر هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت. اختلاف میانگین وزنی حجم آب آبیاری و آب کاربردی نشان داد که میانگین بارش مؤثر در تولید یونجه کشور در سال انجام تحقیق حدود ۹۰ میلی‌متر بوده است. نتایج این پژوهش با نتایج بیشتر تحقیقات انجام‌شده در کشور ازجمله اوجاقلو و همکاران (۲۰۲۳)، حقایقی مقدم و همکاران (۱۳۸۹)، خرمیان و همکاران، ۱۳۹۱) ابراهیمیان و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد.

جدول ۱- میانگین حجم آب آبیاری، آب کاربردی، عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری و آب کاربردی مزارع یونجه در استان‌های منتخب

استان	تعداد مزارع	بارش	طول دوره رشد روز	آب آبیاری m^3/ha	آب کاربردی m^3/ha	عملکرد kg /ha	بهره‌وری آب آبیاری kg/m^3	بهره‌وری آب کاربردی kg/m^3
زنجان	۲۰	۱۴۲	۲۰۴	۸۵۰۲a	۹۵۶۹a	۱۳۸۹۱de	۱/۸۱ab	۱/۵۶a
فارس	۲۹	۴۱	۲۱۱	۸۹۰۱a	۹۲۰۶a	۱۶۸۲۴abc	۲/۰۰a	۱/۹۲a
چهارمحال و بختیاری	۲۷	۲۳	۱۴۰	۹۲۲۶ab	۹۴۰۰ab	۱۲۶۹۰ef	۱/۵۳b	۱/۴۹b
همدان	۳۴	۷۲	۱۷۵	۹۴۵۹ab	۹۹۹۹ab	۱۷۳۶۹ab	۲/۰۲a	۱/۸۹a
آذربایجان شرقی	۳۵	۹۴	۱۷۶	۱۱۴۸۱bc	۱۲۱۸۸bc	۱۲۷۶۵ef	۱/۵۲b	۱/۴۳b
سمنان	۹	۵۷	۱۷۳	۱۲۷۹۶cd	۱۳۲۲۶cd	۹۴۷۸f	۰/۷۵cde	۰/۷۳cd
خراسان رضوی	۵۶	۱۷۱	۱۸۸	۱۴۳۱۱d	۱۵۵۹۶d	۱۴۸۶۴cd	۱/۰۷cd	۰/۹۷c
اصفهان	۳۵	۱۲۹	۲۰۰	۱۴۸۲۱d	۱۵۷۹۰d	۱۱۵۸۹ef	۰/۸۹cde	۰/۸۱cd
آذربایجان غربی	۱۴	۱۲۲	۲۲۰	۱۵۱۹۸de	۱۶۱۱۴de	۹۵۲۹f	۰/۶۴e	۰/۶۱d
مرکزی	۱۲	۳۵۲	۲۳۲	۱۵۹۱۶de	۱۸۵۵۶de	۱۶۷۶۰abcd	۱/۱۰c	۰/۹۴cd
قزوین	۱۰	۱۶۹	۲۲۵	۱۸۳۵۱e	۱۹۶۲۲e	۱۹۰۰۰a	۱/۰۷cd	۱/۰۰c
کرمان	۲۰	۸	۲۵۵	۲۳۹۲۰f	۲۳۹۷۹f	۱۵۴۴۸bcd	۰/۶۶e	۰/۶۵d
میانگین	-	۱۰۷	۱۹۴	۱۳۲۸۴	۱۴۱۵۷	۱۳۸۴۱	۱/۲۸	۱/۱۹

*عدم وجود حروف مشابه به مفهوم معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج درصد آماری است

نتایج تغییرات عملکرد یونجه خشک‌شده در کشور بسته به شرایط آب و هوایی، میزان بارش، شرایط مدیریت زارع از حدود ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰۰ و میانگین وزنی ۱۳۸۴۱ کیلوگرم بر هکتار متغیر بود. استان قزوین با ۱۹۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار بیشترین مقدار یونجه خشک و استان سمنان با ۹۴۷۸ کیلوگرم بر هکتار کمترین مقدار این شاخص را به خود اختصاص داده است (جدول ۲). این نتایج با سایر تحقیقات انجام‌شده در داخل و خارج از کشور از جمله برادا (۲۰۰۵)، لی و سو (۲۰۱۷)، رضایی‌راد و

همکاران (۱۳۹۳) و ابراهیمیان و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد.

اگرچه نتایج اکثر تحقیقات انجام‌شده در کشور ازجمله حقایقی مقدم و همکاران (۱۳۸۹)، حیدری (۱۳۹۰)، علیمحمدی نافچی مقدم (۲۰۱۶) و ابراهیمیان و همکاران (۲۰۱۹) نشان داده است که متوسط عملکرد یونجه خشک در کشور ۴۰۰۰ تا حدود ۱۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار است ولی نتایج برخی از محققین از جمله مجیدی (۱۳۷۶)، وفابخش و حقایقی (۱۳۹۶)، نشان داد که با استفاده از روش‌های بهبود مدیریت زراعی می‌توان به عملکردهای بیش از ۲۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار دست یافت. مقایسه میزان عملکرد محصول و آب آبیاری در استان‌های مختلف حاکی از آن است که عملکرد محصول فقط تابع میزان آب آبیاری نیست و به بسیاری از عوامل دیگر از جمله میزان دسترسی به آب، روش آبیاری، مدیریت زراعی، اقلیم، تغذیه، آفات و بیماری‌ها، طول دوره رشد و ... بستگی دارد.

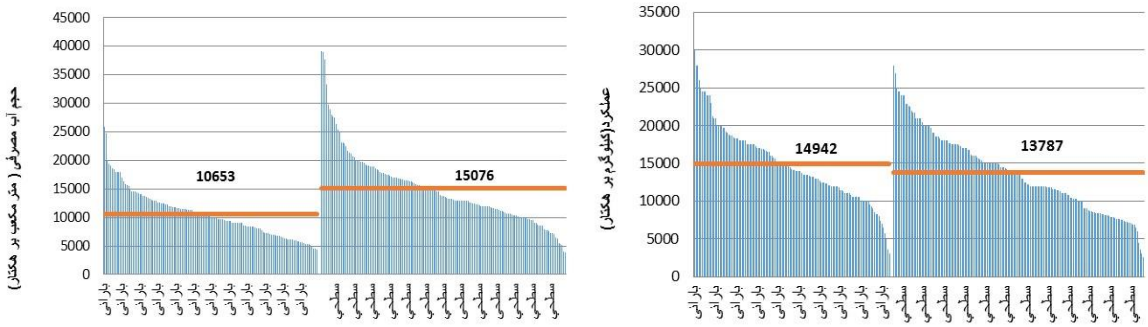
بهره‌وری آب آبیاری و آب کاربردی در تولید یونجه کشور

نتایج تجزیه‌وتحلیل انجام‌شده (جدول ۱) نشان داد که تفاوت بهره‌وری آب آبیاری و آب کاربردی در تولید یونجه در استان‌های یادشده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. نتایج اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای نشان داد که شاخص بهره‌وری آب آبیاری یونجه در شرایط مدیریت زارع در کشور بسیار متفاوت و از کمتر از ۰/۲ تا بیش از ۴/۵ با میانگین حسابی ۱/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب است که با میانگین وزنی ۱/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب اختلاف معنی‌داری نداشت. دلیل اصلی تغییرات بهره‌وری آب آبیاری، به تفاوت عملکرد محصول، حجم آب آبیاری و حجم آب کاربردی مربوط می‌شود. نتایج محاسبات بهره‌وری آب آبیاری در تولید یونجه خشک در استان‌های منتخب نشان داد که استان‌های فارس و همدان با حدود دو کیلوگرم بر مترمکعب بیشترین بهره‌وری آب آبیاری یونجه خشک را به خود اختصاص داده‌اند، درحالی‌که استان‌های آذربایجان غربی و کرمان با ۰/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب، دارای کمترین بهره‌وری آب آبیاری بودند. بهره‌وری آب آبیاری در استان‌های آذربایجان شرقی، چهارمحال و بختیاری، رضوی، قزوین و مرکزی با میانگین ۱/۱ تا ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب و نزدیک به میانگین وزنی کشوری است (جدول ۲). بدیهی است که شاخص بهره‌وری آب کاربردی، به حجم آب آبیاری، بارش مؤثر و عملکرد محصول وابسته است و مجموع تغییرات در این شاخص نمایان می‌شود. حجم آب کاربردی و عملکرد محصول نیز به عوامل زیادی ازجمله میزان دسترسی به آب، روش آبیاری، مدیریت زراعی، اقلیم، تغذیه، آفات و بیماری‌ها و ... بستگی دارد. نتایج بهره‌وری آب محاسبه‌شده در این تحقیق با بیشتر نتایج ارائه‌شده در تحقیقات مختلف ازجمله تحقیقات، کاورو و همکاران (۲۰۱۶ و ۲۰۱۷)، عبدالدائم و همکاران (۲۰۱۸)، لی و همکاران (۲۰۱۷)، غلامی و همکاران (۱۳۹۵) و ابراهیمیان و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد.

تأثیر روش‌های آبیاری بر حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب

روش آبیاری سطحی یکی از روش‌های معمول در آبیاری مزارع یونجه است و هم‌اکنون نیز در بخش‌های مختلف کشور از روش آبیاری سطحی برای آبیاری مزارع یونجه استفاده می‌شود، ولی در دهه‌های اخیر استفاده از انواع روش‌های آبیاری بارانی مرسوم شده است. بر اساس نتایج ارزیابی انجام‌شده ۴۴/۲ درصد از مزارع یونجه مورد مطالعه به روش بارانی آبیاری شدند و روش آبیاری سطحی فقط ۵۵/۸ درصد از مزارع یونجه را به خود اختصاص داد. این نتایج حاکی از آن است که تغییرات حجم آب آبیاری در روش سطحی از حدود ۴۰۰۰ تا نزدیک به ۴۰۰۰۰ مترمکعب بر هکتار با میانگین ۱۵۰۷۶ مترمکعب در هکتار و در روش بارانی از ۴۴۰۰ تا ۲۶۰۰۰ با میانگین ۱۰۶۵۳ مترمکعب در هکتار متغیر بوده است (شکل ۱).

اگرچه میانگین حجم آب آبیاری در روش آبیاری بارانی نسبت به آبیاری سطحی حدود ۳۰ درصد کاهش یافته است ولی نتایج اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای نشان داده است که حجم آب آبیاری در برخی از مزارع که به روش بارانی نیز آبیاری می‌شوند به علل مختلف از جمله، عدم رعایت ضوابط طراحی، اجرا و مدیریت بهره‌برداری مناسب نبوده و بیش از مقدار قابل انتظار است (شکل ۱). اگرچه در روش آبیاری سطحی بیشترین تلفات مربوط به نفوذ عمقی و رواناب سطحی است و با استفاده از روش آبیاری بارانی در شرایط مناسب اقلیمی که آب آبیاری از کیفیت خوبی برخوردار است، ضمن رعایت ضوابط طراحی، اجرا و بهره‌برداری این امکان وجود دارد که آب به‌صورت یکنواخت در سطح مزرعه توزیع گردد و مصرف آب تا حد زیادی کاهش یابد ولی درصورتی‌که از سامانه آبیاری بارانی در شرایط نامناسب اقلیمی و بدون رعایت ضوابط فنی بهره‌برداری شود، نه تنها میزان آب آبیاری کاهش نخواهد یافت بلکه هدر رفت سرمایه و منابع را به دنبال خواهد داشت. مقایسه میانگین آب داده‌شده به مزارع کشور در روش آبیاری بارانی و سطحی نشان می‌دهد که حجم آب آبیاری در روش آبیاری بارانی حدود ۳۰ درصد نسبت به روش سطحی کاهش یافته است. بر اساس نتایج آزمون آماری انجام‌شده، اختلاف آب آبیاری در روش‌های سطحی و بارانی از نظر آماری معنی‌دار بود. نتایج برخی از تحقیقات انجام‌شده در ایران از جمله اوجاقلو و همکاران (۲۰۲۳)، ابراهیمیان و همکاران (۲۰۱۹) و نتایج جهانی (عبدالدائم و همکاران، ۲۰۱۸؛ کاورو و همکاران، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷؛ یان و همکاران، ۲۰۲۰؛ جمان و همکاران، ۲۰۲۰) نیز حاکی از آن است که آب آبیاری محصول یونجه در روش‌های نوین آبیاری نسبت به روش سطحی حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد کاهش یافته است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.



شکل ۱- مقایسه حجم آب آبیاری و عملکرد یونجه خشک در روش‌های مختلف آبیاری

نتایج ارائه‌شده در شکل ۱ نشان داد که عملکرد یونجه خشک در مزارع مختلف در روش آبیاری بارانی از ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار متغیر و دارای میانگین ۱۴۹۴۲ کیلوگرم بر هکتار است. اگرچه بین مقادیر عملکرد محصول در روش آبیاری سطحی و بارانی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، ولی میانگین عملکرد یونجه خشک در روش آبیاری بارانی ۱۱۵۵ کیلوگرم بر هکتار (۸ درصد) بیشتر از روش آبیاری سطحی بود. استفاده از روش‌های آبیاری بارانی توانست علاوه بر کاهش ۳۰ درصدی حجم آب آبیاری، عملکرد محصول را افزایش دهد و نقش مؤثری در افزایش تولید یونجه خشک در کشور داشته باشد (شکل ۱)؛ که با نتایج اوجاقلو و همکاران (۲۰۲۳) در استان زنجان مطابقت دارد.

نتایج میانگین اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای تعداد نوبت‌های آبیاری، حجم آب آبیاری، حجم آب کاربردی، عملکرد محصول، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی در استان‌های مختلف به تفکیک سامانه آبیاری در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- میانگین حجم آب آبیاری، آب کاربردی، عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری و آب کاربردی مزارع یونجه در استان‌های منتخب به تفکیک روش آبیاری

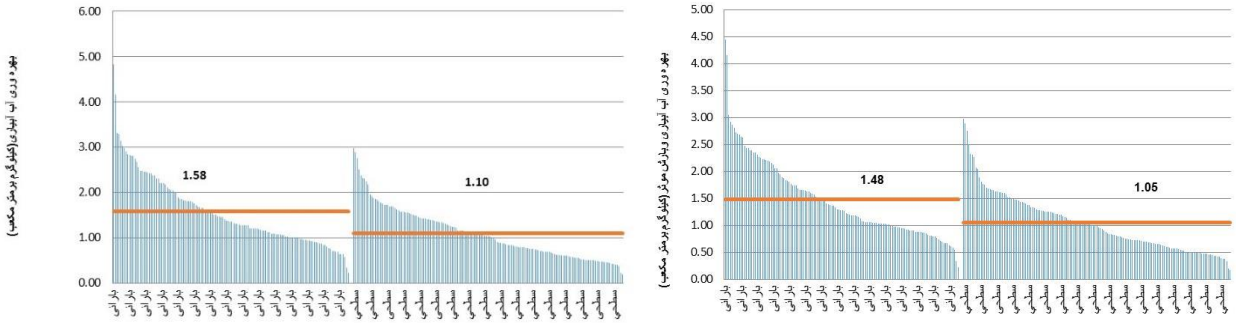
استان	روش آبیاری	تعداد آبیاری	آب آبیاری m^3/ha	آب کاربردی m^3/ha	عملکرد kg /ha	بهره‌وری آب آبیاری kg/m^3	بهره‌وری آب کاربردی kg/m^3
آذربایجان شرقی	بارانی	–	–	–	–	–	–
	سطحی	۱۲	۱۱۴۸۱	۱۲۱۸۸	۱۲۷۶۵	۱/۵۲	۱/۴۳
آذربایجان غربی	بارانی	۱۴	۱۱۵۵۰	۱۲۲۷۰	۱۲۲۳۵	۱/۰۶	۱/۰۰
	سطحی	۱۲	۱۵۸۰۶	۱۶۷۵۴	۹۰۷۸	۰/۵۷	۰/۵۴
اصفهان	بارانی	۲۲	۱۰۱۵۵	۱۱۲۰۲	۱۱۸۱۲	۱/۱۸	۱/۰۷
	سطحی	۱۶	۱۹۲۲۸	۲۰۱۲۴	۱۱۳۷۸	۰/۶۰	۰/۵۷
چهارمحال و بختیاری	بارانی	۱۹	۸۴۹۴	۸۶۶۲	۱۳۶۵۷	۱/۷۲	۱/۶۸
	سطحی	۱۵	۱۰۴۷۱	۱۰۶۵۵	۱۱۰۴۷	۱/۲۰	۱/۱۷
خراسان رضوی	بارانی	۲۵	۱۴۵۷۳	۱۵۸۱۶	۱۴۴۳۷	۱/۰۱	۰/۹۳
	سطحی	۱۵	۱۴۲۵۴	۱۵۵۴۸	۱۴۹۵۶	۱/۰۸	۰/۹۸
زنجان	بارانی	۱۷	۸۶۱۲	۹۶۷۱	۱۴۰۳۰	۱/۸۲	۱/۵۷
	سطحی	۱۳	۷۵۱۵	۸۶۵۵	۱۲۶۳۸	۱/۶۸	۱/۴۶
سمنان	بارانی	۲۵	۱۳۲۷۸	۱۳۶۵۴	۹۰۵۰	۰/۷۰	۰/۶۸
	سطحی	۱۵	۱۱۸۳۳	۱۲۳۶۸	۱۰۳۳۳	۰/۸۶	۰/۸۲
فارس	بارانی	۲۱	۸۸۸۸	۹۱۷۷	۱۷۲۱۳	۲/۰۰	۱/۹۲
	سطحی	۱۵	۸۹۱۷	۹۲۴۳	۱۶۳۴۶	۲/۰۱	۱/۹۰
قزوین	بارانی	۲۵	۱۷۵۱۹	۱۸۷۴۲	۲۰۱۴۳	۱/۱۸	۱/۱۰
	سطحی	۱۸	۲۰۲۹۴	۲۱۶۷۴	۱۶۳۳۳	۰/۸۱	۰/۷۶
کرمان	بارانی	۵۲	۱۶۷۹۷	۱۶۸۷۲	۱۵۳۹۶	۰/۹۰	۰/۹۰
	سطحی	۲۶	۲۷۲۰۷	۲۷۲۵۹	۱۵۴۷۱	۰/۵۷	۰/۵۶
مرکزی	بارانی	۲۰	۱۴۰۰۰	۱۶۶۸۴	۱۷۷۷۲	۱/۳۰	۱/۰۸
	سطحی	۱۶	۱۸۵۹۸	۲۱۱۷۸	۱۵۳۴۴	۰/۸۳	۱/۷۳
همدان	بارانی	۱۶	۸۵۳۹	۹۰۴۷	۱۶۵۵۹	۲/۱۴	۱/۹۹
	سطحی	۱۰	۱۲۴۴۷	۱۳۰۹۲	۲۰۰۰۰	۱/۶۳	۱/۵۴
میانگین	بارانی	۲۰	۱۰۶۵۳	۱۱۲۷۷	۱۴۹۴۲	۱/۵۸	۱/۴۸
	سطحی	۱۵	۱۵۰۷۶	۱۵۹۳۹	۱۳۷۸۷	۱/۱۰	۱/۰۵

بر اساس این نتایج کمترین و بیشترین حجم آب آبیاری مزارع در روش آبیاری بارانی با ۸۴۹۴ و ۱۷۵۱۹ مترمکعب در هکتار به ترتیب به استان‌های چهار محال و بختیاری و قزوین اختصاص یافت. میان حجم آب آبیاری یونجه در روش آبیاری بارانی در کشور ۱۰۶۵۳ مترمکعب در هکتار بود. در روش آبیاری بارانی، استان‌های چهارمحال و بختیاری، همدان، زنجان و فارس داری حجم آب آبیاری کمتر از میانگین و استان‌های سمنان، مرکزی، خراسان رضوی، کرمان و قزوین دارای حجم آب آبیاری بیشتر از میانگین روش آبیاری بارانی در کشور بودند. حجم آب آبیاری یونجه در روش آبیاری بارانی در استان‌های اصفهان و آذربایجان غربی در محدوده میانگین حجم آب آبیاری در این روش آبیاری قرار داشت.

حجم آب آبیاری یونجه در روش آبیاری سطحی در استان‌های مختلف کشور اختلاف زیادی را نشان داد و از ۷۵۱۵ تا ۲۷۲۰۷ مترمکعب در هکتار متفاوت بود.

میانگین حجم آب آبیاری یونجه در روش آبیاری سطحی ۱۵۰۷۶ مترمکعب در هکتار بود. استان‌های زنجان و کرمان به ترتیب دارای کمترین و بیشتر حجم آب آبیاری یونجه در روش سطحی بودند. استان‌های خراسان رضوی و آذربایجان عربی به‌ترتیب با ۱۴۲۵۴ و ۱۵۸۰۶ مترمکعب در هکتار دارای حجم آب آبیاری نزدیک به میانگین بودند، درحالی‌که استان‌های زنجان، فارس، چهارمحال و بختیاری، سمنان و همدان حجم آب آبیاری کمتر از میانگین و استان‌های مرکزی، اصفهان، قزوین و کرمان دارای حجم آب آبیاری بیش از میانگین بودند (جدول ۲)

نتایج بهره‌وری آب آبیاری در روش‌های مختلف آبیاری (شکل ۲) نشان داد که بهره‌وری آب آبیاری یونجه خشک در روش آبیاری بارانی افزایش یافته است و با روش آبیاری سطحی اختلاف معنی‌داری دارد. با توجه به اینکه میزان آب آبیاری در روش آبیاری بارانی ۳۰ درصد نسبت به روش سطحی کاهش یافته بود و عملکرد محصول نیز هشت درصد افزایش داشت، افزایش بهره‌وری آب آبیاری در روش آبیاری بارانی نیز ناشی از افزایش عملکرد و استفاده بهینه از آب آبیاری بوده است. میانگین بهره‌وری آب آبیاری یونجه در روش‌های آبیاری سطحی و بارانی به‌ترتیب معادل ۱/۱ و ۱/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب بود (شکل ۲). بر اساس نتایج ارائه‌شده در شکل ۲ می‌توان گفت که بهره‌وری آب آبیاری در روش آبیاری بارانی نسبت به آبیاری سطحی ۴۳ درصد افزایش داشته است و این افزایش از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. نتایج بهره‌وری آب محاسبه‌شده در این تحقیق با برخی نتایج ارائه‌شده در تحقیقات مختلف از جمله خرمیان و همکاران (۱۳۹۱)، وفابخش و حقایقی (۱۳۹۶)، غلامی و همکاران (۹۵۸۷)، لشنی زند و همکاران (۱۳۹۳) و ابراهیمیان و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد.



شکل ۲- مقایسه بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی یونجه خشک در روش‌های مختلف آبیاری

اختلاف حجم آب آبیاری و حجم آب کاربردی در استان‌های مختلف (جدول ۱) حاکی از آن است که بارندگی‌ها در برخی از استان‌ها در تولید محصول یونجه مؤثر بوده ولی بخش کمی از نیاز آبی گیاه را تأمین کرده و تأثیر قابل توجهی بر بهره‌وری آب کاربردی (مجموع آب آبیاری و بارش مؤثر) نداشته است. با توجه به اینکه در بیشتر استان‌های کشور یونجه در انتهای بهار و تابستان که میزان بارش ناچیز است، رشد و نمو می‌کند، تأثیر بارش بر بهره‌وری آب کاربردی به‌شدت کاهش می‌یابد. میانگین بهره‌وری آب کاربردی در محصول یونجه در روش‌های آبیاری سطحی و بارانی به‌ترتیب معادل ۱/۰۵ و ۱/۴۸ کیلوگرم بر مترمکعب بود (شکل ۲) و نشان داد که شاخص بهره‌وری آب کاربردی نیز، در روش آبیاری بارانی نسبت به روش آبیاری سطحی ۴۱ درصد افزایش داشته است که این اختلاف در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است.

نیاز ناخالص آبیاری و میزان آب آبیاری مزارع یونجه در استان‌های منتخب

برای تعیین نیاز خالص آبیاری ابتدا مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع براساس داده‌های هواشناسی سال انجام

تحقیق (۱۳۹۸-۱۳۹۷) با استفاده از نرم‌افزار Et Calculater و روش پنمن مانتیث (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) برآورد و با اعمال ضریب گیاهی پیاز، میزان تبخیر تعرق گیاهی پیاز تعیین شد. سپس با در نظر گرفتن میزان بارش مؤثر در طول دوره رشد، نیاز خالص آبیاری برای کل فصل رشد گیاه یونجه در استان‌های مختلف کشور محاسبه و با مقادیر ارائه‌شده در سند ملی آب کشور (Netwat)، مقایسه شد (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه نیاز خالص و ناخالص نیاز آبی مزارع یونجه با مقدار آب کاربردی تحت شرایط زارع در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷

استان	نیاز خالص (میلی‌متر)		اختلاف دو روش	نیاز ناخالص آبیاری (میلی‌متر)		آب کاربردی	نسبت آب کاربردی به میانگین نیاز
	پنمن‌مانتیث	Netwat	درصد	پنمن‌مانتیث	Netwat	میلی‌متر	
آذربایجان شرقی	۹۵۲	۸۹۷	۶	۱۵۸۷	۱۴۹۵	۱۲۱۹	۰/۷۹
آذربایجان غربی	۱۰۷۳	۸۲۲	۳۱	۱۷۴۰	۱۳۳۰	۱۶۱۱	۱/۰۵
اصفهان	۱۱۷۳	۹۱۰	۲۹	۱۷۷۷	۱۳۷۲	۱۵۷۹	۱/۰۰
چهارمحال و	۱۰۸۶	۸۰۵	۳۵	۱۶۱۸	۱۱۷۳	۹۴۰	۰/۶۷
خراسان رضوی	۱۲۶۱	۱۱۱۱	۱۴	۲۰۲۷	۱۷۸۵	۱۵۶۰	۰/۸۲
زنجان	۸۵۹	۹۰۸	۵	۱۱۷۲	۱۲۴۰	۹۵۷	۰/۷۹
سمنان	۱۲۲۷	۱۰۱۸	۲۱	۱۶۳۶	۱۴۶۴	۱۳۲۳	۰/۸۵
فارس	۹۴۱	۱۲۸۴	۲۷	۱۳۹۶	۱۹۰۴	۹۲۱	۰/۵۶
قزوین	۱۳۶۰	۱۲۳۰	۱۱	۱۹۵۲	۱۷۷۷	۱۹۶۲	۱/۰۵
کرمان	۱۵۶۰	۱۲۴۰	۲۶	۲۳۹۲	۱۹۴۳	۲۳۹۸	۱/۱۱
مرکزی	۱۴۰۷	۹۷۱	۴۵	۲۰۷۷	۱۴۳۱	۱۸۵۶	۱/۰۶
همدان	۸۳۶	۱۱۱۲	۲۵	۱۱۶۴	۱۵۶۹	۱۰۰۰	۰/۷۳
میانگین وزنی	۱۱۱۵۰	۹۹۸۰	۱۲	۱۷۱۱۰	۱۵۲۲۹	۱۴۱۵۷	۰/۸۸

نتایج تجزیه‌وتحلیل نیاز خالص آبیاری در استان‌ها نشان داد که در برخی از استان‌ها از جمله زنجان و آذربایجان شرقی اختلاف بین دو روش حدود پنج درصد و قابل چشم‌پوشی است ولی میانگین نیاز خالص آبیاری ارائه‌شده در سند ملی آب کشور، در استان‌های آذربایجان غربی، اصفهان، چهارمحال و بختیاری، کرمان و مرکزی بین ۲۰ تا ۴۵ درصد کمتر از مقدار نیاز خالص آبیاری برآورد شده بر اساس داده‌های سال انجام تحقیق است. از جمله عوامل تأثیرگذار در این خصوص، می‌توان به تغییرات طول دوره رشد گیاه، افزایش درجه حرارت هوا، سرعت باد، کاهش میزان رطوبت هوا و ارقام جدید اشاره کرد. بدیهی است که برای امکان مقایسه نیاز خالص فصلی آبیاری با مقدار آب داده‌شده توسط زارعین باید مقادیر ناخالص نیاز آبیاری فصلی تعیین شود. با توجه به در دسترس نبودن راندمان آبیاری مزارع، برای تبدیل نیاز خالص آبیاری برآورده شده به نیاز ناخالص آبیاری، از راندمان پتانسیل آبیاری در روش‌های مختلف آبیاری استفاده و مقدار راندمان پتانسیل برای آبیاری سطحی و بارانی به ترتیب ۶۰ و ۷۵ درصد در نظر گرفته شد (ایرماک و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج نشان داد که در اکثر استان‌ها، میانگین مقدار آب کاربردی مزارع یونجه با مقدار برآورد شده به روش‌های مختلف آبیاری مطابقت دارد و نیاز آبی فصلی گیاه تأمین شده است (جدول ۲)، ولی در برخی از استان‌ها از جمله فارس، همدان و چهارمحال و بختیاری مقدار آب کاربردی مزارع کمتر از مقدار نیاز ناخالص برآورده شده است. با توجه به اینکه راندمان آبیاری در اکثر مزارع در کشور کمتر از راندمان پتانسیل سامانه‌های آبیاری است، این نتایج نشان می‌دهد که بهره‌بردار بر اساس میزان دسترسی به آب، آبیاری کرده است و در مناطق مختلف میزان کم‌آبیاری یا بیش‌آبیاری کاملاً متفاوت و از روند خاصی پیروی نمی‌کند.

حجم آب موردنیاز برای تولید یونجه در کشور

برای برآورد حجم آب مورد نیاز تولید یونجه در کشور از میانگین‌های حجم آب آبیاری در استان‌های منتخب و سطح زیر کشت محصول یونجه در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ (احمدی و همکاران ۱۳۹۸) هر استان استفاده شد (جدول ۳). در این برآورد از میانگین وزنی حجم آب آبیاری در استان‌های منتخب کشور، یعنی ۱۳۲۸۴ مترمکعب‌برهکتار به‌عنوان میانگین حجم آب آبیاری در سایر استان‌ها که سطح زیر کشت قابل‌توجهی نداشتند و در این تحقیق اندازه‌گیری نشده بودند، استفاده گردید. نتایج این برآورد نشان داد که استان آذربایجان غربی با کاربرد حدود ۱۱۲۰ میلیون مترمکعب بیشترین حجم آب برای تولید یونجه در کشور را به خود اختصاص داده است. استان‌های آذربایجان شرقی و کرمان به ترتیب با کاربرد حدود ۸۸۵ و ۶۲۲ میلیون مترمکعب در سال در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. همچنین بر اساس نتایج برآورد شده در جدول ۳، سالانه حدود هشت میلیارد مترمکعب از منابع آب سطحی و زیرزمینی کشور برای تولید یونجه در کشور اختصاص می‌یابد.

تأثیر اقلیم بر حجم آب آبیاری، عملکرد محصول و بهره‌وری آب

اقلیم قطب‌های تولید یونجه در کشور بر اساس دو روش اقلیمی دومارتن و دومارتن اصلاح‌شده (خلیلی، ۱۳۸۳) که شامل ۲۸ اقلیم فرعی است، تعیین شد. بر اساس این نتایج مناطق مورد مطالعه در شش اقلیم فراخشک سرد و معتدل، خشک بیابانی سرد و فراسرد، نیمه‌خشک سرد، نیمه‌خشک فراسرد، مرطوب و نیمه مرطوب و مدیترانه‌ای سرد و فراسرد قرار گرفتند ولی عمده قطب‌های تولید یونجه در کشور در دو اقلیم اصلی خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند. شاخص‌های حجم آب آبیاری و بهره‌وری آب آبیاری یونجه در اقلیم‌های مختلف در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۳- برآورد حجم آب آبیاری مورد نیاز یونجه در استان‌های مختلف کشور

استان	سطح زیر کشت (هکتار)	حجم آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار)	حجم آب موردنیاز (میلیون مترمکعب)
آذربایجان شرقی	۷۷۰۹۵	۱۱۴۸۱	۸۸۵
آذربایجان غربی	۷۳۷۲۱	۱۵۱۹۸	۱۱۲۰
اصفهان	۳۱۴۱۵	۱۴۸۲۱	۴۶۶
چهارمحال و بختیاری	۱۶۹۴۷	۹۲۲۶	۱۵۶
خراسان رضوی	۳۱۱۷۸	۱۴۳۱۱	۴۴۶
زنجان	۳۶۳۰۳	۸۵۰۲	۳۰۹
سمنان	۱۰۴۲۹	۱۲۷۹۶	۱۳۳
فارس	۳۵۲۶۶	۸۹۰۱	۳۱۴
قزوین	۲۵۰۳۱	۱۸۳۵۱	۴۵۹
کرمان	۲۶۰۱۴	۲۳۹۲۰	۶۲۲
مرکزی	۲۷۸۱۰	۱۵۹۱۶	۴۴۳
همدان	۴۱۳۱۵	۹۴۵۹	۳۹۱
سایر استان‌ها	۱۷۴۸۶۲	۱۳۲۸۴	۲۳۲۳
کل کشور	**۶۰۷۳۸۵**	**۱۳۲۸۴**	**۸۰۶۸**

جدول ۴- میانگین شاخص‌های اندازه‌گیری شده مزارع یونجه در اقلیم‌های مختلف کشور

اقلیم	آب آبیاری m^3/ha	آب کاربردی m^3/ha	عملکرد kg /ha	بهره‌وری آب آبیاری kg/m^3	بهره‌وری آب کاربردی kg/m^3
فراخشک سرد و معتدل	۲۱۰۲۶	۲۱۲۶۲	۱۴۸۷۹	۰/۷۸	۰/۷۷
خشک بیابانی سرد و فراسرد	۱۴۴۳۱	۱۵۲۵۲	۱۴۳۲۶	۱/۱۳	۱/۰۷
نیمه‌خشک سرد	۱۳۰۲۷	۱۴۰۱۴	۱۳۸۵۵	۱/۲۷	۱/۱۸
نیمه‌خشک فراسرد	۱۰۴۰۹	۱۱۱۶۹	۱۵۳۰۹	۱/۶۹	۱/۵۴
مرطوب و نیمه مرطوب	۹۸۱۰	۹۹۶۳	۱۱۱۱۰	۱/۲۹	۱/۲۶
مدیترانه‌ای سرد و فراسرد	۹۱۷۸	۹۷۴۴	۱۳۴۵۸	۱/۵۷	۱/۴۸

میانگین حجم آب آبیاری در مناطقی با اقلیم فراخشک (۲۱۰۲۶ مترمکعب بر هکتار) به میزان قابل توجه بیشتر از میانگین سایر اقلیم‌ها است. ولی این اقلیم با میانگین بهره‌وری آب ۰/۷۸ کیلوگرم بر مترمکعب، کمترین بهره‌وری آب یونجه را به خود اختصاص داد. میانگین بهره‌وری آب آبیاری در مناطقی با اقلیم نیمه‌خشک فراسرد ۱/۶۹ کیلوگرم بر مترمکعب و بیشتر از میانگین بهره‌وری آب در سایر اقلیم‌ها بود. هرچند به نظر می‌رسد که تفاوت شاخص‌ها در قطب‌های تولید یونجه فقط به خاطر تفاوت اقلیمی مناطق نبوده و عوامل زیادی از جمله مدیریت آبیاری و دسترسی به آب، تغذیه، تفاوت ارقام یونجه مورد استفاده و مدیریت بهره‌برداران هم نقش زیادی در این تفاوت‌ها ایفا می‌نمایند.

نتیجه‌گیری

تعداد نوبت‌های آبیاری در روش آبیاری سطحی از ۵ تا ۲۹ نوبت با میانگین ۱۵ و در روش آبیاری بارانی از ۶ تا ۱۰۰ نوبت با میانگین ۲۰ نوبت متفاوت بود و نشان داد که تعداد آبیاری‌ها در روش‌های آبیاری بارانی به‌طور معنی‌داری بیشتر از روش آبیاری سطحی بوده است.

حجم آب آبیاری مزارع یونجه در کشور بسته به روش آبیاری، تعداد نوبت‌های آبیاری، شرایطی اقلیمی، شوری آب آبیاری از ۴۰۰۰ تا نزدیک ۴۰۰۰۰ با میانگین وزنی ۱۳۲۸۴ مترمکعب بر هکتار متغیر بود. این شاخص در روش آبیاری سطحی و بارانی به ترتیب ۱۵۰۷۶ و ۱۰۶۵۳ مترمکعب بر هکتار بدست آمد. کل حجم آب آبیاری برای تولید یونجه در کشور هشت میلیارد مترمکعب در سال برآورد گردید.

میانگین وزنی عملکرد یونجه خشک در کشور ۱۳۴۸۱ کیلوگرم بر هکتار بدست آمد. این شاخص در روش‌های آبیاری بارانی ۱۴۹۴۲ کیلوگرم بر هکتار و به میزان هشت درصد بیشتر از آبیاری سطحی (۱۳۷۸۷ کیلوگرم بر هکتار) بود. اگرچه نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های آبیاری تحت‌فشار توانسته است علاوه بر کاهش حدود ۳۰ درصدی آب آبیاری، عملکرد محصول را افزایش دهد و نقش مؤثری در افزایش تولید یونجه در کشور داشته باشد، ولی درصورتی‌که از سامانه آبیاری بارانی در شرایط نامناسب اقلیمی و دارای آب آبیاری با کیفیت پایین و بدون رعایت ضوابط فنی بهره‌برداری شود، نه تنها میزان آب آبیاری کاهش نخواهد یافت بلکه هدر رفت سرمایه و منابع را به دنبال خواهد داشت.

استان‌های زنجان، فارس و همدان با حدود دو کیلوگرم بر مترمکعب بیشترین بهره‌وری آب آبیاری را به خود اختصاص داده‌اند، درحالی‌که استان‌های آذربایجان غربی و کرمان با ۰/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب، دارای کمترین بهره‌وری آب آبیاری بودند. بهره‌وری آب آبیاری در استان‌های آذربایجان شرقی، چهارمحال و بختیاری، رضوی، قزوین و مرکزی با میانگین ۱/۱ تا ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب، نزدیک به میانگین وزنی کشوری بود.

میانگین بهره‌وری آب کاربردی (آب آبیاری و بارش مؤثر) در محصول یونجه در روش‌های آبیاری

سطحی و بارانی به ترتیب معادل ۱/۰۵ و ۱/۴۸ کیلوگرم بر مترمکعب بود و نشان داد که بهره‌وری آب آبیاری در روش آبیاری بارانی نسبت به روش سطحی حدود ۴۱ درصد افزایش داشته است.

میانگین حجم آب آبیاری در مناطقی با اقلیم فراخشک (۲۱۰۲۶ مترمکعب بر هکتار) به میزان قابل‌توجه بیشتر از میانگین سایر اقلیم‌ها بود ولی این اقلیم با میانگین بهره‌وری آب ۰/۷۸ کیلوگرم بر مترمکعب، کمترین بهره‌وری آب یونجه را به خود اختصاص داد، درحالی‌که میانگین بهره‌وری آب در مناطقی با اقلیم نیمه‌خشک فراسرد ۱/۶۹ کیلوگرم بر مترمکعب و بیشتر از میانگین بهره‌وری آب در سایر اقلیم‌ها بود.

با توجه به نتایج این تحقیق، اقلیم، مدیریت زراعی، روش آبیاری، عمق آب آبیاری و نوبت‌های آبیاری، مهم‌ترین عوامل مؤثر در مدیریت آب آبیاری بوده و با برنامه‌ریزی مناسب آبیاری با توجه به این شاخص‌ها می‌توان حجم آب آبیاری مزارع یونجه را مدیریت نمود. برای کاهش حجم آب آبیاری و بهبود بهره‌وری آب در تولید یونجه، استفاده از روش آبیاری بارانی در شرایط اقلیمی مناسب که آب آبیاری از کیفیت خوبی برخوردار است، همراه با تجزیه‌وتحلیل اقتصادی و رعایت ضوابط فنی طراحی، اجرا و بهره‌برداری پیشنهاد می‌شود.

تقدیر و تشکر

پژوهش حاضر با حمایت مالی و معنوی معاونت آب‌وخاک وزارت جهاد کشاورزی انجام گرفته است و در اجرای آن همکاران گرانقدری از سازمان‌های جهاد کشاورزی استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اصفهان، چهارمحال و بختیاری، خراسان رضوی، زنجان، سمنان، فارس، قزوین، کرمان، مرکزی و همدان، موسسه تحقیقات خاک و آب و همکاران بخش‌های تحقیقات فنی و مهندسی مراکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان‌های مذکور مشارکت و همکاری مؤثری داشته‌اند. بدین‌وسیله نگارندگان، مراتب سپاس و قدردانی خود را از زحمات و همکاری‌های این عزیزان اعلام می‌دارد.

فهرست منابع

۱. احمدی، ک.، ح، عبادزاده، ف.، حاتمی.، ه.، عبدشاه و ا.، کاظمیان، ۱۳۹۷. آمارنامه کشاورزی سال ۹۶-۱۳۹۵. وزارت جهاد کشاورزی و معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، دفتر فناوری اطلاعات و ارتباطات، جلد اول: محصولات زراعی.

۲. احمدی، ک.، عبادزاده، ح.، حاتمی، ف.، حسین‌پور، ر.، و عبدشاه، ح، ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی سال ۹۸-۱۳۹۷. وزارت جهاد کشاورزی و معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، دفتر فناوری اطلاعات و ارتباطات، جلد اول: محصولات زراعی.

۳. احمدی، ک.، عبادزاده، ح.، حاتمی، ف.، عبدشاه، ح.، و کاظمیان، ا، ۱۳۹۸. آمارنامه کشاورزی سال ۹۷-۱۳۹۶. وزارت جهاد کشاورزی و معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، دفتر فناوری اطلاعات و ارتباطات، جلد اول: محصولات زراعی.

۴. اکبری، م.، ناصری، ا.، خرمیان، م.، قدمی‌فیروزآبادی، ع.، هدایتی‌پور، ا.، و اسلامی، ا، ۱۳۹۷ .تعیین آب مصرفی لوبیا در کشور .گزارش پژوهشی نهایی شماره ۵۴۰۲۷، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

۵. باغانی، ج.، معیری، م.، ورجاوند،پو، سلامتی، ن.، اسلامی، ا.، شاهرخ‌نیا، م .ع.، کیانی،ع. ر.، قدمی‌فیروزآبادی، ع.، حقایقی‌مقدم، ا.، خسروی، ح.، اخوان، ک.، بهراملو، ر.، و ناصری، ا، ۱۳۹۷. تعیین آب مصرفی گندم در کشور . گزارش پژوهشی نهایی شماره ۵۳۶۳۶، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

۶. بهراملو، ر. و قدمی فیروزآبادی.ع. ۱۳۹۶. برنامه ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی استان همدان. سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی (دردست چاپ). ۸۱ صفحه.

۷. بهنام‌فر، ک.، سیاست، س. ع.، بخشنده، ع.م.، کاشفی‌پور، س.م.، عالمی سعید، خ.، و جعفری، ع.ا. ۱۳۹۳. بررسی اثر کم آبیاری بر عملکرد علوفه و کارآیی مصرف آب در چهار رقم یونجه در شرایط آب و هوایی خوزستان- اهواز. علوم و مهندسی آبیاری. جلد ۳۷. شماره ۳. ص ۷۲-۶۳.

۸. حقایقی مقدم، س. ا. ۱۳۸۹. مدیریت پایدار آب زیرزمینی با نگرش مصرف بهینه آب کشاورزی در استان خراسان رضوی (مطالعه موردی دشت نیشابور). گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی به شماره ثبت ۸۹/۹۹۵، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، ایران.

۹. حیدری، ن.، ۱۳۹۰. تعیین و ارزیابی شاخص کارایی مصرف آب محصولات زراعی تحت مدیریت کشاورزان در کشور. مدیریت آب و آبیاری. دوره ۱، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۰، ص. ۵۷-۴۳

۱۰. خرمیان م.، شوشی دزفولی، ا. و ع. عصاره، ۱۳۹۱. بررسی تاثیر آبیاری بارانی قرقره‌ای بر عملکرد علوفه و کارآیی مصرف آب یونجه در خوزستان . فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی ۴(۱۵)، ۸۷-۹۷.

۱۱. رضایی‌راد، ه.، هوشمند، ع. و دوست محمدی، م. ۱۳۹۳. بررسی بهره‌وری آب سه محصول زراعی جو، گندم و یونجه استان اصفهان (به تفکیک شهرستان)، همایش ملی تغییرات اقلیم و مهندسی توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی، تهران، شرکت علم و صنعت طلوع فرزین

۱۲. سرمد، ز.، بازرگان، ع.، و حجازی، ا، ۱۳۸۰. روش‌های تحقیق در علوم رفتاری. انتشارات آگاه. ۴۰۵ صفحه.

۱۳. علی‌محمدی نافچی، ر. ۱۳۹۶. مقایسه راندمان و کارآیی مصرف آب در زراعت یونجه با استفاده از سامانه‌های آبیاری بارانی و سطحی. سومین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه (تقاضا محوری آب).

۱۴. غلامی، ز.، ابراهیمیان، ح. و نوری، ح. ۱۳۹۵. بررسی بهره‌وری آب آبیاری در سامانه‌های آبیاری بارانی و سطحی (مطالعه موردی: دشت قزوین. علوم و مهندسی آبیاری. جلد ۳۹، شماره ۳. ص ۱۴۶-۱۳۵.

۱۵. قدمی فیروزآبادی، ع. و سیدان، س.م. ۱۳۹۴. بررسی فنی و اقتصادی آب مصرفی و انرژی در سیستم‌های مختلف آبیاری در مزارع سیب‌زمینی و یونجه در شهرستان همدان. گزارش نهایی شماره ۹۴/۴۸۰۱۲ موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

۱۶. لشنی‌زند، م. پیامنی، ک و ویسکرمی، ا. ۱۳۹۳. بررسی الگوی مصرف آبهای سطحی کشاورزی، مطالعه موردی: حوزه آبخیز هنام. نشریه علمی و پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. ۶ (۴): ۴۰۶-۴۰۰.

۱۷. مجیدی، م.۱۳۷۶. بررسی و تعیین مناسب‌ترین زمان مدت قطع آبیاری در زراعت یونجه، گزارش نهایی. موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر. کرج.

۱۸. وفابخش، ج و حقایقی،س. ا. ۱۳۹۶. تدقیق مصارف و بهره‌وری آب در منابع آبی زیرزمینی بمنظور استفاده از نتایج آن در تدوین الگوی کشت (مطالعه موردی دشت مشهد- چناران و فریمان- تربت جام). گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی خاص، معاونت تولیدات گیاهی سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی.

۱۹. اکبری، م.، کوهی‌چله‌کران، ن.، گودرزی، م.، ریاحی‌مدوار، ح.، علیمحمدی‌نافچی، ر.، ذوالفقاران، ا.، فرزام‌نیا، م.، یوسف‌گمرکچی، ا.، بهراملو، ر.، حقایقی‌مقدم، س.ا.، اسلامی، ا.، احمدآلی، ج.، ناصری، ا.، عباسی، م. ۱۳۹۹. تعیین آب کاربردی یونجه در کشور. گزارش پژوهشی نهایی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شماره

ثبت ۵۸۹۰۵، مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۲۰. اکبری، م.، ناصری، ا.، خرمیان، م.، قدمی‌فیروزآبادی، ع.، هدایتی‌پور، ا.، طاهری، م.، اسلامی، ا. ۱۳۹۷. تعیین آب مصرفی لوبیا در کشور. گزارش پژوهشی نهایی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شماره ثبت ۵۴۰۲۷، مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۲۱. باغانی، ج.، اخوان، ک.، کیانی، ع.ر.، قدمی فیروزآبادی، ع.، شاهرخ نیا، ع.، معیری، م. و اسلامی، ا. ۱۳۹۷. تعیین آب مصرفی گندم در کشور. شماره ثبت ۵۳۶۳۶، مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۲۲. عباسی، ف.، اکبری، م.، اکرم، م. ۱۳۹۹. ارزیابی مدیریت آبیاری و برآورد آب مصرفی/مورد نیاز نیشکر در کشت و صنعت‌های نیشکر خوزستان. گزارش پژوهشی نهایی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شماره ثبت ۵۷۲۴۷، مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۲۳. عباسی، ف.، پرچمی‌عراقی، ف.، کیانی، ع.ر.، آبیار، ن.م.، اخوان، ک.، کمالی‌پاشایی، م. ا. ۱۴۰۰. تعیین آب کاربردی سویا در کشور. گزارش پژوهشی نهایی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شماره ثبت ۶۰۹۹۴، مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

24. Abdel-Daim, M. M. 2018. Pharmacodynamic interaction of Spirulina platensis with erythromycin in Egyptian Baladi bucks (Capra hircus). Small Rumin. Res. 120 (2-3): 234-241.
25. Alimohammadi, R. 2016. Comparison of water use efficiency in Alfalfa using water and waste water. Journal of Agricultural Chemistry and Environment, 5: 191-199.
26. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirement. FAO Irrig. Drain. Paper No. 56. FAO, Rome, Italy, 300 pp.
27. Attram J., Acharya SN Woods SA, Smith E., Thomas JE. 2016. Yield and net return from alfalfa cultivars under irrigation in southe. Canadian Journal of Plant Science. 96(2): 165-175.
28. Balik, m., M. E. Grismer and Todl. 2001; Reduced run off irrigation of alfalfa in Imperial Valley, California. J. Irrigation and Drainage Engineering 127: 123 – 130.
29. Berrada, A., 2005. Water management for optimum crop production in SW Colorado. Agron. Abstracts, Amer. Soc. Of Agron, Madison, WI. (CD – Rom). ASA – CSSA – SSSA Annual Meeting, Oct. 31 – NOV. 4, 2004, Denver, Co.
30. Bos, M.G., Kselik, R.A.L., Allen, R.G. and Molden, D. 2008. Water requirements for irrigation and the environment. Springer Science & Business Media.
31. Cavero, J.; Faci, J.M.; Martínez-Cob, A. 2016. Relevance of sprinkler irrigation time of the day on alfalfa forage production. Agric. Water Manag, 178, 304–313.
32. Cavero, J.; Faci, M.; Medina, E.T.; Martínez-Cob, A. 2017. Alfalfa forage production under solid-set sprinkler irrigation in a semiarid climate. Agric. Water Manag. 191, 184–192.
33. Diatta, A.A., Min, D., Jagadish, S.V.K., 2021. Chapter Two - Drought stress responses in non-transgenic and transgenic alfalfa current status and future research directions. In: Sparks, D.L. (Ed.), Advances in Agronomy. Academic Press, pp. 35–100.

34. Djaman, K.; Smeal, D.; Koudahe, K.; Allen, S. 2020. Hay yield and water use efficiency of alfalfa under different irrigation and fungicide regimes in a semiarid climate. Water, 12, 1721.
35. Ebrahimian, H. and Z. Gholami. 2019. Water Productivity of Maize and Alfalfa in Sprinkler Irrigation Systems. International Conference on Food, Nutrition and Agriculture (ICFNA19) September 27-28, Istanbul (Turkey).
36. Elgharably, A.; Benes, S. 2021. Alfalfa biomass yield and nitrogen fixation in response to applied mineral nitrogen under saline soil conditions. J. Soil Sci. Plant Nutr, 21, 744–755.
37. FAOSTAT. 2021. Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC
38. Fink, K. P., Grassini, P., Rocateli, A., Bastos, L.M., Kastens, J., Ryan, L.P., Lin,X., Patrignani, A., Lollato, R.P., 2022. Alfalfa water productivity and yield gaps in the U.S. central Great Plains. Field Crops Research 289, 108728, 1-14.
39. Gao, L.; Su, J.; Tian, Q.; Shen, Y. 2020. Contrasting strategies of nitrogen absorption and utilization in alfalfa plants under different water stress. J. Soil Sci. Plant Nutr, 20, 1515–1523.
40. Irmak, S.; Odhiambo, L.; Kranz, W.; Eisenhauer, D. 2011. Irrigation efficiency and uniformity, and crop water use efficiency Biological Systems Engineering: Papers and Publications. 451.
41. Kimbell, MK., miller, WW. And mahannah, CN. 1990. Applied water requirements for sprinkler irrigated alfalfa in western Nevada, Applied Agriculural-Research.
42. Li, M.; Liu, Y.; Yan, H.; Sui, R. 2017. Effects of irrigation amount on alfalfa yield and quality with a center-pivot system. Trans. ASABE, 60, 1633–1644.
43. Li, Y.; Su, D. 2017. Alfalfa water use and yield under different sprinkler irrigation regimes in North Arid Regions of China. Sustainability, 9, 1380.
44. Molden, D.J., Sakthivadivel, R., Perry, C.J., de Fraiture, C., 1998. Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems. Research Report No. 20, Colombo, Sri Lanka: International Wate Management Institute.
45. Montazar, A. 2020. Deficit Irrigation Program Study. In Proceedings of the Law of Colorado River Conference, Scottsdale, AZ, USA, 12–13 March 2020.
46. Qiu, Y., Fan, Y., Chen, Y., Hao, X., Li, S., Kang, S., 2021. Response of dry matter and water use efficiency of alfalfa to water and salinity stress in arid and semiarid regions of Northwest China. Agric. Water Manag. 254, 106934
47. Yan, N., Wu, B. and Zhu, W. 2020. Assessment of agricultural water productivity in arid China. Water, 12 (4).
48. Zhang, C.; Shi, S.; Wang, B.; Zhao, J. 2018. Physiological and biochemical changes in different drought-tolerant alfalfa (Medicago sativa L.) varieties under PEG-induced drought stress. Acta Physiol. Plant, 40, 25.

مقاله پژوهشی نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۷ / شماره ۲/ ۱۴۰۲. ص۱۳۹- ۱۵۸

بررسی تأثیر دور آبیاری در سامانه قطره‌ای نواری بر عملکرد برنج و تغییرات شوری خاک با روش کشت مستقیم در بستر خشک در دشت خوزستان

علی مختاران*، عبدالعلی گیلانی، سامی جلالی، لیلا بهبهانی، مجتبی رضایی و کبری تجددی‌طلب

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. **alimokhtaran@gmail.com**

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. **gilani.abdolali@yahoo.com**

محقق بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. **jalalisami40@gmail.com**

محقق بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. **leila_behbahani@yahoo.com**

استادیار پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران. **mrezaeii@yahoo.com**

استادیار پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران. **dr2eng@yahoo.com**

دریافت: شهریور ۱۴۰۱ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۲

چکیده

برنج یکی از مهم‌ترین محصولات تابستانه و آب‌بر استان خوزستان است. با توجه به محدودیت شدید آب، تاثیر استفاده از سامانه قطره‌ای نواری در روش کشت مستقیم به‌صورت خشکه‌کاری، بر عملکرد ارقام رایج برنج استان و تغییرات شوری خاک مورد پایش قرار گرفت. این پژوهش به‌مدت دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۳۹۹-۱۳۹۸) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اهواز روی سه قطعه زمین مجاور هم با طرح کرت خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. در این مطالعه، عامل اصلی دور آبیاری بود شامل سه سطح آبیاری هر روزه، دو روزه و سه روزه و عامل فرعی شامل سه رقم (عنبوری قرمز، چمپا و دانیال) و یک لاین برنج متحمل به شوری (S_2). در سال اول تحقیق به‌دلیل تخصیص آب خارج از تاریخ کشت، میزان عملکرد محصول بسیار پایین بود لذا تحلیل‌های زراعی براساس سال دوم انجام شد. میانگین حجم آب آبیاری در مزرعه با توجه به تکمیل دوره رشد ارقام، ۱۴۸۰۰، ۱۵۲۰۰، ۱۵۷۰۰ و ۱۶۱۰۰ مترمکعب در هکتار به‌ترتیب برای لاین S_2 ، عنبوری قرمز، دانیال و چمپا اندازه‌گیری شد در دور آبیاری هر روزه، رقم محلی عنبوری قرمز با ۳۷۶۷ کیلوگرم در هکتار بیشترین و لاین متحمل به شوری S_2 با ۲۵۴۱ کیلوگرم در هکتار، کمترین عملکرد دانه سفید برنج را به خود اختصاص داد. همچنین دور آبیاری در مقایسه با رقم بیشترین اثر را در تعیین عملکرد دانه داشت به‌طوری‌که با تغییر دور از هر روزه به سه روزه، عملکرد به‌طور متوسط کاهشی ۵۶٪ پیدا کرد. در این پژوهش بیشترین بهره‌وری آب را رقم عنبوری قرمز، به‌میزان ۰/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب در دور آبیاری هر روزه داشت. دلیل این مسئله را می‌توان در پایش شوری خاک نشان داد به‌طوری‌که با عملیات آبیاری هر روزه، تمامی لایه‌های خاک نسبت به قبل از زمان کشت، روندی کاهشی از ۳/۷۷ به ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر داشت. استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای با فاصله مناسب نوارهای آبیاری و روزنه‌های آبده از همدیگر در روش خشکه‌کاری با ارقام محلی، یک روش به‌زراعی است که حجم آب آبیاری را نسبت به عملیات کشت سنتی، به‌طور محسوس کاهش داد. این کار، راهبردی مؤثر است در کاهش تنش بر منابع آبی استان و ذخیره آب موجود برای حفظ زیست‌بوم ، هرچند که کاهش محسوس سطح کشت برنج در این استان مورد توصیه است.

واژه‌های کلیدی: پایش شوری خاک، خشکه‌کاری برنج، رژیم آبیاری، صرفه‌جویی در مصرف آب

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

CC BY

مقدمه

وقایع مکرر خشکسالی با روند افزایشی می‌تواند به‌طور قابل توجهی بهره‌وری کشاورزی و امنیت غذایی در مناطق با آب‌وهوای گرم و نیمه‌خشک خاورمیانه را تحت تأثیر قرار دهد. خشکسالی به‌عنوان یک خطر طبیعی مکرر ممکن است بر منابع آبی مانند تأمین آب، کیفیت آب، در دسترس بودن آب سطحی و زیرسطحی و مدیریت منابع آب تأثیرگذار باشد (فائو، ۲۰۱۷؛ اسکنلون و همکاران، ۲۰۱۷ و حمید و همکاران، ۲۰۲۰). شرایط خاص اقلیمی، خشکی و پراکنش نامناسب زمانی- مکانی بارندگی کشورمان ایران، واقعیت گریزناپذیری است که هرگونه تولید پایدار مواد غذایی و کشاورزی را منوط به استفاده صحیح و منطقی از منابع محدود آب کشور نموده است. با توجه به اهمیت اراضی فاریاب در تأمین مواد غذایی، تلاش در جهت کاهش مصرف آب، افزایش تولید در واحد سطح و افزایش بهره‌وری در مزارع، توجه جدی می‌طلبد (دهقانی سانیج، ۲۰۱۲). امروزه پرداختن به مفهوم صرفه‌جویی واقعی آب در ادبیات علمی، گزارش‌ها و نشست‌های تخصصی به‌سرعت در حال رشد است. اصطلاح صرفه-جویی واقعی آب در واقع تأکیدی است بر این‌که نتایج حاصل از یک مقیاس میدانی باید به کل حوضه گسترش یابد. به‌عبارت‌دیگر، صرفه‌جویی واقعی آب به‌نوعی از مداخلاتی اطلاق می‌شود که مقدار مشخصی آب را برای سایر مصارف آزاد می‌کند (ون‌اپستال و همکاران، ۲۰۲۱). در استان خوزستان، "برنج" یکی از مهم‌ترین محصولات کشت تابستانه بوده که کشت گسترده آن بخصوص در مناطق مرکزی و جنوبی این استان (از ۸۰ هزار هکتار در سال‌هایی با محدودیت آبی تا ۲۰۰ هزار هکتار در سال‌های پرآب)، تأثیر بسیاری در ایجاد تنش آبی بر حوضه‌های آبریز جلگه خوزستان دارد. به علت بالا بودن دمای هوا در استان خوزستان در فصل کاشت و داشت برنج و بالطبع افزایش تبخیر و تعرق گیاه، میزان مصرف آب آبیاری برنج در این استان نسبت به مناطق دیگر کشور بیشتر است (گیلانی، ۱۳۹۸). هم‌افزایی دو تخصص آب و زراعت برای این محصول می‌تواند منجر به صرفه‌جویی واقعی در مصرف آب و افزایش بهره‌وری گردد. جنبه مهم در زمینه صرفه-جویی در مصرف آب، ارتباط بین تبخیر و تعرق و عملکرد محصول است. به‌عبارت‌دیگر، اگر با کمبود آب مواجه باشیم، صرفاً با تأمین آب، تولید (کیلوگرم) افزایش خواهد یافت لیکن افزایش بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) محقق نخواهد شد (پری و استدوتو، ۲۰۱۷). افزایش بهره-وری آب (که زمینه را برای صرفه‌جویی واقعی آب فراهم می‌کند)، معمولاً به تغییر در سایر جنبه‌های مدیریت کشاورزی با رویکرد آب-زراعت متمرکز است که در آن با همان مقدار مشخص تبخیر و تعرق، صرفه‌جویی واقعی آب یا تولید بیشتر امکان‌پذیر باشد (دهقانی سانیج و همکاران، ۱۳۹۸). براین اساس راهبرد تغییر یا بهبود در مدیریت مزرعه‌ای و فرآیند تولید مانند اصلاح روش کاشت، عملیات بسترسازی و تهیه زمین و اصلاح سامانه آبیاری برای محصولی مانند برنج تا حدودی می‌تواند اثرات سوء عوامل اقلیمی برای کاهش آب مصرفی را تقلیل دهد (گیلانی، ۱۳۹۸). برنج از جمله محصولات زراعی است که به روش-های متنوعی در مناطق مختلف دنیا کشت می‌شود (سک و همکاران، ۲۰۱۲). به‌طورکلی می‌توان روش‌های کشت برنج را به دو روش کشت مستقیم[۱](DSR) و نشاکاری[۲](TPR) تقسیم کرد. در روش نشاکاری، ابتدا برنج خزانه‌گیری شده و سپس نشاها به زمینی که به روش گلخرابی آماده‌شده، منتقل می‌شوند. در این روش آماده‌سازی زمین شامل آبیاری اولیه خاک و به‌دنبال آن انجام شخم و گلخرابی توسط روتیواتور در خاک اشباع است و مزرعه از ابتدا تا انتهای دوره رشد غرقاب است (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹). در سامانه کشت مستقیم، بذر (خشک و یا جوانه‌دار) برنج در بستر خشک و یا مرطوب گلخرابی شده کاشته می‌شود (ماهاجان و همکاران، ۲۰۱۲). خشکه‌کاری برنج، عبارت است از کشت مستقیم بذر برنج در بستر خشک و غیرغرقاب، بدون انجام عملیات گلخرابی است (لیو و

۱-Direct Seeded Rice (DSR)

۲ -Puddled Transplanted Rice (TPR)/Conventional puddled transplanted rice

همکاران، ۲۰۱۵). در ایران سامانه کشت مرسوم برنج، مبتنی بر استفاده از ارقام برنج آبی با آبیاری غرقابی است. در این سامانه کشت، برنج بیش از ٪۸۰ طول دوره رشد خود به‌صورت غرقاب دائم است. برای غلبه بر معضلات پیش‌رو در کشت برنج، متخصصین در دنیا با توجه به شرایط آب و کشاورزی هر منطقه، راهبردهای مختلفی را در مواجه با چالش‌های پیش‌رو با هدف کاهش مصرف آب و یا افزایش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی در پیش می‌گیرند. از جمله تکنیک آبیاری متناوب بصورت خشک و مرطوب کردن (لی، ۲۰۰۱، تابال و همکاران، ۲۰۰۲)، سامانه تشدیدکننده برنج (استاب و همکاران، ۲۰۰۲) و کشت مستقیم برنج هوازی (بومان و همکاران، ۲۰۰۲) که همگی به‌منظور جایگزینی با سامانه مرسوم (گلخرابی) پیشنهادشده است (کومار و لادها، ۲۰۱۱). همچنین بیان‌شده که شیوه کشت هوازی در مقایسه با روش کشت مرسوم گلخرابی، ۳۰ تا ۵۱ درصد آب کمتری برای تهیه زمین بسته به نوع خاک نیاز داشته، بهره‌وری آب را ۳۲ تا ۸۸ درصد بیشتر نموده، ۵۰ درصد نیروی انسانی کمتری نیاز داشته (وانگ و همکاران، ۲۰۰۲) و تا ۵۰ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داده است (والر و همکاران، ۲۰۱۶، بومان و همکاران، ۲۰۰۵). این مهم به‌دلیل تفاوت اساسی در فرآیند بسترسازی از جمله حذف گلخرابی، مدیریت کاشت، آبیاری پس از آن به‌خصوص از زمان کاشت تا پایان مرحله گیاهچه‌ای (۳۰-۲۵ روز)، تناوب آبیاری و دوره رشد کوتاه‌تر است (گوپال و همکاران، ۲۰۱۰؛ گیلانی، ۱۳۹۸؛ یعقوبی و رجبیان، ۱۳۹۸ و کیانی و همکاران، ۱۳۹۹). در این زمینه، گیلانی و همکاران (۱۳۹۵)، با هدف تعیین نقش شیوه‌های کاشت (نشاکاری، کشت مستقیم در محیط مرطوب با بذر جوانه‌دار (رایج منطقه) و کشت مستقیم بذر در بستر خشک (خشکه‌کاری)) بر میزان آب مصرفی ارقام برنج برای استان خوزستان (عنبوری قرمز، چمپا و دانیال)، در تحقیقی نشان دادند که بیشترین عملکرد دانه مربوط به روش نشاکاری با میانگین ۶۳۹۴ کیلوگرم در هکتار مربوط بود و در بین روش‌های کشت مستقیم، خشکه‌کاری با ۴۹۲۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد بیشتری داشت. همچنین آن‌ها نشان دادند که روش نشایی و خشکه‌کاری به‌ترتیب با مقادیر ۳۸۹۸۱ و ۲۰۶۹۱ مترمکعب در هکتار از بیشترین و کمترین آب مصرفی برخوردار بودند. مسکینی ویشکایی و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی تأثیر شیوه کاشت برنج بر روی پشته‌های بلند بر مصرف آب برای روش خشکه‌کاری در استان خوزستان نشان دادند که حجم آب مصرفی در خشکه‌کاری برنج به روش مرسوم (کشت در کف کرت) به‌میزان ۲۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار و حدود ۳۱ درصد بیشتر از شیوه کاشت بر روی پشته‌های بلند است. علاوه بر این، میزان عملکرد شلتوک در روش کاشت بر روی پشته-های بلند به میزان ۴۶۵۰ کیلوگرم در هکتار و حدود ۱۲ درصد بیشتر از روش متداول خشکه‌کاری بود. در استان مازندران به‌منظور ارزیابی برخی خواص کیفی و کمی دانه دو رقم برنج تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری؛ ۱ - غرقاب دائم، ۲ -آبیاری پس از ناپدید شدن آب از سطح زمین، ۳-آبیاری ۲ روز پس از ناپدید شدن آب از سطح زمین، ۴ -آبیاری پنج روز پس از ناپدید شدن آب از سطح زمین و ۵ -اشباع دائم در طول دوره رشد، تحقیقی انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد برای تیمار غرقاب دائم و به‌میزان ۶۸۰۰ و ۴۲۱۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب در رقم شیرودی و طارم به‌دست آمد. در این تحقیق جذب بیشتر مواد غذایی و نیز کنترل بهتر علف‌های هرز در غرقاب دائم نسبت به سایر تیمارها، دلیل افزایش عملکرد در تیمار غرقاب دائم عنوان شده است. استفاده از آبیاری تناوبی با دور مناسب (تیمارهای دوم و سوم) و نیز اشباع دائم خاک اگرچه موجب افت جزئی عملکرد (حدود ۱۰ درصد) شد ولی موجب صرفه‌جویی چشم‌گیری در مصرف آب (حدود ۲۲ درصدی) نسبت به تیمار غرقاب دائم گردید (یوسفیان و همکاران، ۱۳۹۳). اهمیت مدیریت آبیاری در افزایش عملکرد، مؤید این موضوع است که هرگونه تلاش برای بهینه‌سازی سامانه کشت برنج در کشور بدون توجه ویژه به بخش مدیریت آب موفقیت‌آمیز نخواهد بود (گیلانی و همکاران، ۱۳۹۵). لذا در کنار سامانه کشت مستقیم بذر برنج

در بستر خشک به‌عنوان یک روش به‌زراعی، استفاده مناسب از سامانه‌های نوین آبیاری در شرایط محدودیت منابع آب امری ضروری است. بخش بزرگی از اراضی جلگه خوزستان در مرکز، جنوب و جنوب غرب (موضوع این پژوهش) که زیر کشت برنج می‌روند دارای منابع آب لب‌شور و بافت خاک سنگین با آب زیرزمینی شور و کم‌عمق بوده که با اجرای سامانه زهکشی زیرزمینی و احیاء اراضی، مناسب برای عملیات کشاورزی شده‌اند (مختاران و همکاران، ۱۳۹۲). در این میان، سامانه آبیاری قطره‌ای در مقایسه با سایر روش‌های آبیاری مانند آبیاری بارانی علاوه بر بهره‌وری بیشتر آب (علی و تالوکدر، ۲۰۰۸) نسبت به روش آبیاری سطحی، مزیت‌های دیگری را نیز در شرایط شور دارد. آبیاری قطره‌ای به‌دلیل دبی ورودی کم و تناوب زیاد، قادر است پتانسیل ماتریک خاک در منطقه ریشه گیاه را بالا نگه‌داشته و از کاهش پتانسیل اسمزی خاک در اثر خشک شدن تدریجی خاک در شرایط شور جلوگیری نماید (مانس، ۲۰۰۲). در راستای کاهش مصرف آب در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی در خصوص استفاده از آبیاری قطره‌ای نواری برای کشت مستقیم برنج در بستر خشک در دنیا انجام شده است. در مطالعه‌ای که توسط شاردا و همکاران (۲۰۱۷) به‌منظور بررسی تأثیر چهار رژیم آبیاری شامل غرقاب دائم و آبیاری قطره‌ای نواری براساس ۱/۵ ، ۲/۲۵ و۳ برابر تبخیر از تشت تبخیر با سه سطح ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بر عملکرد برنج در کشت مستقیم طی دو سال در پنجاب هند به اجرا گذاشته شد، نشان دادند که حداکثر عملکرد در آبیاری قطره‌ای نواری (۸-۷/۳ تن در هکتار) در مقایسه با غرقاب دائم (۶/۶-۷/۶ تن در هکتار) با ۴۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب حاصل شد. این در حالی بود که حداکثر بهره‌وری آب در تیمار ۱/۵ برابر تبخیر (۰/۸۸-۰/۸۱) در مقایسه با غرقاب دائم (۰/۵۲-۰/۴۲) کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد. رائو و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهشی که به‌منظور بررسی تأثیر آبیاری قطره‌ای بر عملکرد برنج در هند انجام دادند، آزمایشی با به‌کارگیری پنج رژیم آبیاری (۱- نشاکاری با آبیاری غرقابی، ۲- کشت فشرده[3](SRI) با آبیاری تناوبی ۳- کشت فشرده با آبیاری قطره‌ای نواری و فاصله روزنه‌های ۲۰ سانتی‌متری روی نوارهای قطره‌ای ۴- کشت فشرده با آبیاری قطره‌ای نواری و فاصله روزنه‌های ۳۰ سانتی‌متری روی نوارهای قطره‌ای و ۵- کشت فشرده با آبیاری قطره‌ای نواری و فاصله روزنه‌های ۴۰ سانتی‌متری روی نوارهای قطره‌ای) برای دو روش کاشت نشاکاری و کشت فشرده به اجرا گذاشتند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد و بهره‌وری آب در تیمار کشت فشرده با آبیاری قطره‌ای نواری در فاصله روزنه‌های ۲۰ سانتی‌متری بدست آمد. در مطالعه‌ای دیگر هیبینگ و همکاران (۲۰۱۳)، چهار رژیم آبیاری شامل آبیاری قطره‌ای با پوشش مالچ پلاستیکی، آبیاری شیاری با پوشش مالچ پلاستیکی، آبیاری شیاری بدون پوشش مالچ و غرقاب دائم در کشور چین را با هم مقایسه کردند. آن‌ها نشان دادند که بیشترین متوسط عملکرد در طی دو سال اجرای آزمایش مربوط به تیمار رایج (غرقاب دائم) با عملکردی معادل ۸۴۴۶ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین آن‌ها نشان دادند که کمترین کاهش عملکرد نسبت به تیمار رایج مربوط به تیمار آبیاری قطره‌ای (با استفاده از مالچ) به‌مقدار ۵۲ —۳۱ درصد و بیشترین کاهش عملکرد مربوط به تیمار آبیاری شیاری (بدون استفاده از مالچ) به‌مقدار ۷۴ الی ۷۵ درصد بود. همچنین بیشترین متوسط بهره‌وری آب مربوط به تیمار آبیاری قطره‌ای (با استفاده از مالچ) معادل ۰/۵۲کیلوگرم بر مترمکعب بود که ۲/۱۲—۱/۵۲ مرتبه بیشتر از تیمار رایج بود. ساسیاراج (۲۰۱۷)، براساس پژوهشی که روی مدیریت‌های مختلف آبیاری و ارقام مختلف در کشور هند انجام دادند، گزارش نمودند که بیشترین عملکرد مربوط به سامانه کشت بذر در

3- System of Rice Intensification: استفاده از نشاهای جوان، انتقال سریع نشا با دقت و در عمق کم، بدون وارد شدن آسیب و شوک، کاشت تک نشا با فاصله کپه‌های زیاد با رعایت الگوی کشت مربعی، آبیاری متناوب، کنترل مکانیکی علف‌های هرز و استفاده از کمپوست و کودهای آلی از مهمترین اصول سیستم کشت SRI است.

پشته‌های پهن (عرض ۱۲۰ سانتی‌متر) و دور آبیاری روزانه به‌صورت روش سطحی با عملکردی معادل ۶۲۱۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد مربوط به همین سامانه کشت و روش آبیاری اما با تناوب دو روزه بود که عملکردی معادل ۴۶۸۵ کیلوگرم در هکتار داشت. آن‌ها نشان دادند که بیشترین بهره‌وری آب مربوط به سامانه کشت بذر با پشته‌های پهن با آبیاری قطره‌ای نواری به میزان ۱/۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب بود. با توجه به بررسی منابع انجام‌شده، کشت مستقیم برنج در بستر خشک (خشکه‌کاری) دستاورد مهمی است که می‌تواند با کاهش محسوس مصرف آب برنج و مکانیزه کردن شالیزارها، برای ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی تأثیرگذار باشد. از طرفی با توجه به تغییرات کیفی و کمی منابع آب کشور، استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای و ارزیابی آن در کشت برنج به‌خصوص استان خوزستان با توجه به شرایط اقلیمی خاص (محدودیت آب و تبخیر بالا) می‌تواند گامی رو به جلو برای کاهش مصرف آب و کاهش تولید زهاب کشاورزی در تابستان باشد. تحقیق حاضر، ارزیابی این روش آبیاری را برای محصول برنج در سامانه کشت مستقیم بذر در بستر خشک برای مناطق مرکزی، غرب و جنوبی خوزستان انجام می‌دهد. علت پایش این سامانه در این مناطق، کشت وسیع برنج با وجود محدودیت شدید منابع آب، کاهش کیفی آب در این مناطق، تبخیر بالاتر نسبت به مناطق شمالی استان و مستعد بودن خاک‌ها به شوری به‌دلیل آب زیرزمینی شور و کم‌عمق است. تعیین و اندازه‌گیری کمی ارقام رایج برنج استان در این سامانه آبیاری و تعیین مناسب‌ترین دور آبیاری برای روش آبیاری قطره‌ای نواری با توجه به پایش شوری خاک و عملکرد محصول برنج در سامانه کشت خشکه‌کاری از اهداف این تحقیق است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه اهواز واقع در مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان برای دو سال زراعی (۱۳۹۹-۱۳۹۸) و (۱۴۰۰-۱۳۹۹) کشت برنج طراحی و اجرا شد. این ایستگاه در مختصات "۱۹/۴ '۱۸ °۳۱ عرض شمالی و "۱۰/۷ '۳۸ °۴۸ طول شرقی و ارتفاع ۱۵ متر از سطح دریا واقع شده است. مزارع ایستگاه از نظر اقلیمی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و کیفیت آب آبیاری نماینده اراضی مرکزی و جنوبی استان هستند (مختاران و همکاران، ۱۳۹۲). این مناطق از استان خوزستان از نظر اقلیمی جزو مناطق خشک کشور به‌شمار می‌آید. میانگین بارش سالانه در این مناطق از ۱۵۰ میلی‌متر تجاوز نمی‌کند. میانگین درجه حرارت در فصل کشت برنج (از آماده‌سازی زمین در خردادماه تا برداشت محصول در نیمه آبان) برای دو سال تحقیق، به‌ترتیب ۳۲/۷ و ۳۲/۶۴ درجه سانتی‌گراد و حداکثر درجه حرارت در تیرماه و برای سال اول و دوم تحقیق به‌ترتیب به‌میزان ۴۸/۴ و ۴۷/۶ درجه سانتی‌گراد بود. همچنین میانگین رطوبت نسبی در طول فصل کشت برنج برای سال اول تحقیق، ۳۳ درصد و برای سال دوم، ۳۳/۸ درصد بود. رطوبت نسبی در منطقه تحقیق روندی افزایشی داشت به‌طوری‌که از ۳۷/۵ درصد در تیرماه تا ۸۱ درصد در آبان ماه نوسان داشت. میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل (مرجع) سالانه منطقه در بررسی یک دوره هفت‌ساله (۱۳۹۸-۱۳۹۲) و بر اساس روش پنمن- مانتیث- فائو، ۲۳۶۷ میلی‌متر بود. متوسط تبخیر و تعرق واقعی روزانه برنج در سامانه قطره‌ای برای کشت در بستر خشک، ۷/۶۱ میلی‌متر و حداکثر این میزان در تیرماه و ۱۰/۷۳ میلی‌متر در روز بود. مزرعه آزمایشی که در ایستگاه تحقیقاتی اهواز به کشت برنج اختصاص یافت در مساحتی حدود ۵۰۰۰ مترمربع و به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) مجهز بود (شکل ۱). وجود سامانه زهکشی زیرزمینی با کارگذاری لاترال‌های زهکشی در عمق دو متری، موقعیت مناسبی برای انجام این تحقیق فراهم آورده بود. جدول (۱) مشخصات خاک مزرعه آزمایشی را تا عمق یک متری از سطح زمین بیان می‌کند.

شکل ۱- سامانه آبیاری قطره‌ای نواری در روش کشت مستقیم برنج در بستر خشک

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

عمق Depth (cm)	بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	جرم مخصوص ظاهری ρb (gr/cm3)	رطوبت ظرفیت زراعی FC (%)	رطوبت نقطه پژمردگی PWP (%)
۰-۲۵	رس سیلتی	۴/۶	۱/۳۵	۲۴/۵	۱۱/۸
۲۵-۵۰	رس سیلتی	۳/۲	۱/۴۴	۲۴/۲	۱۱/۸
۵۰-۷۵	رس سیلتی	۳/۵	۱/۵۴	۲۴	۱۱/۸
۷۵-۱۰۰	رس سیلتی	۴/۵۱	۱/۷۸	۲۳/۸	۱۱/۸

منبع تأمین آب پروژه حاضر، ایستگاه پمپاژی در ساحل شرقی رودخانه کارون با مختصات "۶/۵ '۱۸ °۳۱ عرض شمالی و "۴۶/۶ '۳۹ °۴۸ طول شرقی بود که با استفاده از یک کانال سیمانی به طول ۲/۸ کیلومتر به محل حوضچه ذخیره آب و ایستگاه پمپاژ برای توزیع آب مزرعه انتقال می‌یافت. به‌منظور پایش مقدار نمک موجود در آب، اندازه‌گیری شوری آب به‌صورت هفتگی در دستور کار قرار گرفت. مقادیر متوسط نتایج آنالیز کیفی آب آبیاری در جدول (۲) آورده شده است. برحسب طبقه‌بندی فائو، آب آبیاری برای دو دوره کشت، لب‌شور بود. همچنین با توجه به نسبت جذب سدیم و مقدار شوری، می‌توان گفت که آب آبیاری تأثیری بر روی نفوذپذیری خاک نداشت.

جدول ۲- مقادیر متوسط کیفیت آب آبیاری در طول دوره تحقیق

کشت	EC	pH	Na	Cl	HCO3	T.D.S	SAR	تأثیر بر روی نفوذپذیری خاک
	ds/m		meq/lit			mg/lit		
سال اول	۲/۹	۸/۳	۱۸/۰۵	۱۴/۸	۰/۸۷	۱۵۰۶	۷/۵۷	بدون تأثیر
سال دوم	۲/۷	۸/۳۵	۱۷/۲	۱۴	۱/۰۶	۱۶۶۸	۷/۱۲	بدون تأثیر

در این پژوهش، قطعه زراعی به سامانه آبیاری قطره‌ای با کشت سه رقم رایج استان خوزستان، " عنبوری قرمز، چمپا و دانیال" و "لاین متحمل به شوری S_2" مجهز شد. لاین S_2 (IR11T262) یک لاین موتانت است که ازموتاسیون رقم محلی هاشمی بدست آمده است. مشخصات علمی این لاین، OM2031/KALARATA-1-24است. لاین S_2 از نظر طول جزو لاین‌های زودرس با طول دوره رشد ۱۲۰-۱۱۰ روز (از بذر تا بذر) است. خصوصیات کیفیت پخت این لاین مشابه ارقام محلی است به‌طوری‌که میزان آمیلوز آن ۲۱ درصد و نمره درجه حرارت ژلاتینی شدن آن چهار است. ارتفاع بوته در این لاین ۱۳۰ سانتی‌متر بوده و حدود ۲۰ سانتی‌متر کوتاه‌تر از والد آن (یعنی رقم هاشمی) است. این پژوهش در سه قطعه زمین مجاور هم به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات در قالب

بلوک‌های کامل تصادفی برای سه تکرار انجام گردید. سامانه آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) در این طراحی، شامل نوارهایی با فواصل روزنه‌های ۲۰ سانتی‌متری از همدیگر و دبی دو لیتر بر ساعت بودند به‌طوری‌که این نوارها بر روی لوله رابط (مانیفولد) با فاصله ۶۰ سانتی‌متری از همدیگر قرار داشتند. در این پژوهش عامل اصلی، دور آبیاری در سه سطح شامل؛ یک روزه (I_1)، دو روزه (I_2) (یک روز آبیاری و یک روز خشکی) و سه روزه (I_3) (دو روز خشکی و یک روز آبیاری) بود. همچنین عامل فرعی شامل سه رقم رایج استان (V_1= عنبوری قرمز، V_2= چمپا و V_3= دانیال) و یک لاین برنج متحمل به شوری (S_2 =V_4) بود. بذر خشک ارقام برنج در کرت‌هایی به ابعاد ۶ در ۱۵ متر کشت و بلافاصله پس‌ازآن آبیاری انجام شد. در ابتدای تحقیق و قبل از اجرای کشت، نیاز آبی مورد نیاز گیاه (برنج) با توجه به هوا و اقلیم منطقه تحقیق، بافت خاک مزرعه (رس‌سیلتی تا رس)، کیفیت آب رودخانه کارون در مقطع اهواز (میانگین شوری، ۲/۸ دسی زیمنس بر متر در طول دوره دو ساله تحقیق) براساس روش پنمن مانتیث– فائو برآورد شد. با توجه به شوری متوسط آب آبیاری در ماه‌های مختلف، جزء آبشویی به‌میزان ۳۰–۲۰ درصد برای حداکثر پتانسیل تولید عملکرد برنج برآورد شد. حداکثر عمق توسعه ریشه برنج ۲۵ سانتی‌متر و راندمان آبیاری قطعه زراعی ۹۰ درصد برحسب تلفات ناشی از انتقال آب از حوضچه ذخیره آب تا توزیع در قطعات زراعی در نظرگرفته شد. در این طرح علاوه بر پایش کیفی آب در طول فصل رشد، حجم آب آبیاری توسط کنتور حجمی برای ارقام مختلف تا تکمیل دوره رشد اندازه‌گیری شد. همچنین نمونه‌برداری از خاک مزرعه به‌طورکلی در پنج نوبت قبل از کشت تا بعد از برداشت محصول با هدف پایش شوری خاک در سه عمق ۲۵–۰، ۵۰–۲۵ و ۷۵–۵۰ سانتی‌متری انجام گرفت. نیتروژن در شرایط یکسان برای تمامی ارقام و به مقادیر ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره به میزان ۴۰ درصد پس از پایان مرحله گیاهچه‌ای و دو تقسیط ۳۰ درصد در مراحل ابتدای ساقه رفتن و آبستنی استفاده شد. به همین صورت فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل به‌میزان ۳۵ و ۵۰، پتاسیم به‌میزان ۸۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و همچنین روی به مقدار ۴۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات به‌ترتیب برای ارقام در زمان بذرپاشی مصرف شدند. در این مطالعه درصد سبز مزرعه، ویگور، جنبه‌های فیزیولوژیک (تولید ماده خشک برگ، ساقه، ریشه و کل)، میزان پتاسیم و سدیم و نسبت آن‌ها در اندام‌های هوایی و ریشه گیاهچه‌ها تعیین شدند. با توجه به ابعاد قطعه زراعی، عملکرد دانه در سطحی معادل ۲/۵ مترمربع از متن کرت برداشت و سپس با رطوبت ۱۴ درصد تصحیح و توزین شد. وزن هزار دانه، تعداد خوشه، تعداد دانه در خوشه و درصد باروری خوشه با برداشت ۴۰ خوشه علامت‌گذاری شده و با روبان رنگی تعیین گردید. زمان ۵۰ درصد خوشه‌دهی به‌صورت مشاهده‌ای و براساس خروج کامل ۵۰ درصد از خوشه‌ها در داخل کرت‌ها و روز تا رسیدن کامل محاسبه شد. بهره‌وری آب به‌صورت عملکرد دانه در هر مترمکعب آب برآورد شد. برای محاسبه شاخص برداشت، پنج کپه به‌صورت کف‌بر برداشت گردید و به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد سپس با تقسیم وزن دانه به کل ماده خشک، مقدار آن به‌صورت درصد تعیین شد. ارتفاع بوته با اندازه‌گیری تصادفی طول ۲۰ بوته از محل قاعده گیاه تا نوک خوشه و بدون احتساب ریشک، از متن کرت و در زمان برداشت محاسبه شد. تجزیه داده‌ها توسط برنامه MSTATC انجام و میانگین‌ها به روش دانکن مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نیاز آبی و حجم آب کاربردی در سامانه آبیاری قطره‌ای

نیاز آب آبیاری برای ماه‌های مختلف دوره داشت برنج در جدول (۳) آورده شده است. ضریب گیاهی برنج از ماخذ فائو ۵۶ استخراج شد، سپس براساس میانگین سرعت باد ماهانه منطقه در ارتفاع دو متری و متوسط رطوبت نسبی، این ضریب برای ماه‌های مختلف دوره رشد گیاه اصلاح گردید.

جدول ۳- نیاز آب آبیاری (میلی‌متر) همراه با خاکاب اولیه (۵۰ میلی‌متر در تیرماه) و آبشویی متناوب

آیتم	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	مجموع
ضریب گیاهی	۰/۹۵	۱	۰/۹۸	۰/۸۵	۰/۶۵	–
دورهٔ رشد گیاه (روز)	۳۱	۳۱	۳۱	۳۰	۱۵	۱۳۸
تبخیروتعرق پتانسیل	۳۵۰	۳۲۰	۲۸۰	۲۵۰	۱۰۰	۱۳۰۰
تبخیروتعرق واقعی برنج (میلی‌متر)	۳۳۲/۵	۳۲۰	۲۷۴/۴	۲۱۲/۵	۳۲/۵	۱۱۷۱/۹
نیاز خالص آبیاری با خاک‌آب اولیه در تیرماه	۳۸۲/۵	۳۲۰	۲۷۴/۴	۲۱۲/۵	۱۷/۳ (باران مؤثر*)	۱۲۰۶/۷
درصد آبشویی برحسب ECe=3ds/m برای ۱۰۰ درصد پتانسیل عملکرد	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۳	۰/۲	–
نیاز آبی خالص براساس آبشویی	۴۱۸/۶۶	۳۶۹/۲۹	۳۲۲/۶۹	۲۵۴/۸۳	۱۸/۱۳	۱۳۸۳/۶
حجم ناخالص آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) راندمان ٪۹۰	۴۶۵۱/۸۲	۴۱۰۳/۱۸	۳۵۸۵/۴۹	۲۸۳۱/۴۷	۲۰۱/۴۳	۱۵۳۷۳/۳۹

*؛ باران مؤثر با احتمال وقوع ۸۰ درصد به میزان ۱۵ میلی‌متر بوده که از نیاز آبی آبیاری کم شده است

بر اساس جدول (۳)، ساعت آبیاری منطبق با میزان ناخالص آب آبیاری در هر ماه برآورد شد. این زمان‌بندی یک برنامه‌ریزی مناسب برای پیاده‌سازی عملیات آبیاری بود. به‌عنوان نمونه برای پیک مصرف (تیرماه)، میانگین زمان کاری سامانه در دور آبیاری هر روزه، ۱/۵ ساعت، دو روزه، سه ساعت و برای دور آبیاری سه روزه، به مدت ۴/۵ ساعت بود. عملیات آبیاری معمولاً در اوایل صبح یا در بعد از ظهر و اوایل غروب انجام شد. حجم آب کاربردی در هر دور آبیاری توسط کنتور حجمی دو اینچ که ابتدای قطعه زراعی کارگذاری شده بود، یادداشت‌برداری و برآورد شد. نتایج نشان داد که حجم آب کاربردی برنج از دهه اول تیرماه (زمان کاشت) تا دهه سوم آبان ماه (زمان برداشت)، برای رقم چمپا به‌عنوان یک رقم محلی با طولانی‌ترین دوره رشد، به‌میزان ۱۶۱۰۰ مترمکعب به ازاء هر هکتار اندازه‌گیری شد. همانطور که در پیش بیان شد، در این پژوهش به‌منظور مدیریت بهینه آبیاری، ظهور خوشه و دوره رشد ارقام با مشاهدات مزرعه‌ای پایش شد و براین اساس آبیاری رقم مورد نظر قطع گردید. ظهور خوشه‌ها و دوره رشد یک رقم به‌دلیل اثرات متقابل بین طول روز، رقم و حساسیت آن به درجه حرارت و اقلیم محدود به یک منطقه است. بازدیدهای مشاهده‌ای نشان داد که خوشه در ارقام رایج استان خوزستان نسبت به لاین متحمل به شوری (S_2)، به زمان بیشتری برای خروج و ظهور نیاز داشتند، به‌طوری‌که بیشترین آن با مقادیر ۱۰۳ و ۱۰۰ روز به‌ترتیب مربوط به ارقام چمپا و دانیال بود و کوتاه‌ترین زمان را لاین S_2 با ۸۶ روز داشت. ظهور زودتر خوشه درلاین متحمل به شوری و مواجه آن‌ها با هوای گرم‌تر، عملکرد پایین‌تر این لاین را به‌همراه داشت که در بخش نتایج زراعی مشاهده می‌شود. براین اساس، کمترین دوره رشد را لاین S_2 به میزان ۱۱۹ روز داشت و بیشترین دوره رشد با مقدار ۱۳۲ روز مربوط به رقم محلی چمپا بود. رقم محلی عنبوری قرمز و رقم دانیال به ترتیب ۱۲۳ و ۱۲۸ روز طول دوره رشد داشتند. مبنای میزان مصرف آب آبیاری در این پژوهش، رقم چمپا بود لذا با توجه به قطع آب برای ارقام دیگر، میزان آب آبیاری برای دانیال، عنبوری قرمز و لاین S_2 به‌ترتیب، ۱۵۷۰۰،۱۵۲۰۰ و ۱۴۸۰۰ مترمکعب بر هکتار

اندازه‌گیری شد. نتایج تحقیقات پژوهشی و عملیات ترویجی که در مناطق مرکزی و جنوبی خوزستان برای کشت خشکه‌کاری به روش آبیاری سطحی با تناوب آبیاری سه تا چهار روزه انجام شده است، میزان آب مصرفی را ۲۱۰۰۰ مترمکعب به ازاء هر هکتار نشان می‌دهد (گیلانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ گیلانی، ۱۳۹۸). همچنین مسکینی ویشکایی و همکاران (۱۴۰۰)، در اندازه‌گیری میدانی در ایستگاه تحقیقاتی شاوور خوزستان (منطقه مرکزی استان با بافت خاک سنگین)، میزان آب مصرفی را در روش کشت خشکه‌کاری با تناوب آبیاری چهار روزه برای سامانه آبیاری سطحی، ۲۳۰۰۰ مترمکعب به ازاء هر هکتار بیان کردند؛ بنابراین از مقایسه و تحلیل تحقیق حاضر با نتایج کارهای تحقیقاتی و مشاهده‌ای سایرین در منطقه می‌توان بیان کرد، روش آبیاری قطره‌ای، حجم آب کاربردی را نسبت به روش آبیاری سطحی در سامانه کشت مستقیم در بستر خشک، به‌میزان ۲۷ درصد کاهش می‌دهد. راندمان بالای انتقال از حوضچه ذخیره آب تا ابتدای مزرعه و توزیع آب در قطعات زراعی، حذف تلفات عمقی و حذف رواناب سطحی در سامانه آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) از دلایل اصلی کاهش مصرف آب آبیاری در مزرعه برنج است. از طرفی، گیلانی و همکاران (۱۳۹۸ و ۱۳۹۵)، حجم آب کاربردی سامانه کشت نشایی و کشت مستقیم بذر در محیط مرطوب را برای مناطق مرکزی و جنوبی استان به‌ترتیب ۳۹۰۰۰ و ۲۸۵۰۰ مترمکعب بر هکتار با روش آبیاری غرقابی بیان کرده‌اند.

براین اساس روش آبیاری قطره‌ای در سامانه خشکه‌کاری (تحقیق حاضر) نسبت به سامانه کشت نشایی و کشت بذر دربسترمرطوب با روش آبیاری سطحی که در منطقه کشت و کار می‌شوند، می‌تواند آب آبیاری را به‌ترتیب تا ۵۹ درصد و ۴۴ درصد کاهش دهد. همچنین در کشور هند، شاردا و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی بیان کرده‌اند که سامانه آبیاری قطره‌ای در مقایسه با روش غرقاب دائم برای کشت سنتی برنج، باعث صرفه‌جویی ۴۰ درصدی در میزان آب آبیاری می‌شود که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

پایش تغییرات شوری خاک در طول دوره رشد

جدول‌های (۴ و ۵)، تغییرات شوری خاک (دسی‌زیمنس بر متر) از قبل کشت تا برداشت محصول، برای هر دور آبیاری در لایه‌های مختلف خاک تا عمق ۷۵ سانتی‌متری از سطح زمین در یک پایش دو ساله تحقیق را نشان می‌دهد. برای کشت گیاهان متراکم مانند برنج، درصد سطح خیس شدگی مزرعه در سامانه آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) به‌دلیل فاصله کم نوارهای قطره‌ای، صد درصد است و به‌همین دلیل در این طرح، همپوشانی مناسب و یکنواختی توزیع آب در قطعه زراعی برقرار بود. در این شرایط، شوری عصاره اشباع خاک برای هر دور آبیاری در نیمرخ‌های مختلف خاک در تمامی قطعه زراعی (کنار نوار و یا بین دو نوار قطره‌ای)، یکسان بوده و تفاوت محسوسی نداشتند.

جدول ۴- تغییرات شوری خاک (EC_e) در اعماق مختلف در طول دوره رشد-سال اول

تیمارهای مختلف	عمق نیمرخ خاک (سانتی‌متر)		
	۰-۲۵	۲۵-۵۰	۵۰-۷۵
قبل از کشت	۴/۶	۳/۲	۳/۵
I_1(میانه فصل)	۳/۲	۳	۴/۵
I_1(انتهای فصل)	۳/۳	۲/۹	۳
I_2(میانه فصل)	۴	۳/۵	۵
I_2(میانه فصل)	۳/۸	۳/۳	۳/۲
I_3(میانه فصل)	۴/۲	۳/۶	۵/۲
I_3(میانه فصل)	۴/۵	۳	۵/۵

جدول ۵- تغییرات شوری خاک (EC_e) در اعماق مختلف در طول دوره رشد- سال دوم

تیمارهای مختلف	عمق نیمرخ خاک (سانتی‌متر)		
	۰-۲۵	۲۵-۵۰	۵۰-۷۵
قبل از کشت	۴	۲/۸	۳/۸
I_1(میانه فصل)	۳	۲	۱/۷
I_1(انتهای فصل)	۲/۳	۱/۸	۱/۵
I_2(میانه فصل)	۳/۵	۲/۶	۳/۱
I_2(میانه فصل)	۳	۲/۵	۲
I_3(میانه فصل)	۴/۱	۳	۴
I_3(میانه فصل)	۳/۸	۳/۵	۴/۲

براساس جدول‌های (۴ و ۵)، در رژیم‌های آبیاری هر روزه و یک روز در میان (I_2 , I_1)، کاهش شوری عصاره اشباع در تمامی لایه‌های خاک نسبت به قبل از زمان کشت مشاهده شد. این کاهش در سال دوم تحقیق به‌دلیل کشت برنج طی دو سال متمادی در این قطعه زراعی و مدیریت بهتر آبیاری (مانند زمان مناسب آبیاری در طول روز)، محسوس‌تر بود. کاهش شوری خاک در دو رژیم آبیاری مذکور به‌دلیل تناوب زیاد آبیاری و آبشویی مناسب بود. مانس (۲۰۰۲)، هانسون (۲۰۱۲) و دهقانی سانیج و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیقات خود نشان داده‌اند که سامانه آبیاری قطره‌ای، به‌دلیل دبی ورودی کم و تناوب زیاد، قادر است پتانسیل ماتریک خاک در منطقه ریشه گیاه را بالا نگه داشته و از کاهش پتانسیل اسمزی خاک در اثر خشک شدن تدریجی خاک در شرایط شور جلوگیری نماید. همچنین با توجه به جدول‌های (۴ و ۵)، پایش خاک در طی فصل رشد گیاه نشان داد که در رژیم‌های آبیاری (I_2 , I_1)، تغییرات شوری نسبت به عمق کاهشی بود اما با افزایش دور آبیاری (I_3)، شوری در هر نیمرخ خاک حتی نسبت به قبل از زمان کشت، روندی افزایشی داشت. در رژیم آبیاری سه روزه (I_3)، افزایش شوری در لایه‌های پایینی خاک نسبت به لایه‌های سطحی محسوس‌تر بود و این مهم به‌دلیل تجمع املاح ناشی از عدم آبشویی مناسب بود. ناکارایی آبشویی در این دور آبیاری (I_3)، به‌دلیل وضعیت خاک مزرعه از نظر سنگین بودن بافت، لایه نفوذ ناپذیرنسبی در عمق ۲/۵ تا ۳ متری از سطح خاک و همچنین به اساس سامانه آبیاری قطره‌ای در عملیات آبشویی برای فاصله دورهای آبیاری بالا به‌خصوص در گیاهان آب‌دوست برمی‌گردد. در این شرایط استفاده از سامانه آبیاری سطحی برای آبشویی سنگین در میانه فصل و یا پایان فصل مورد نیاز است. هرچند، بافت خاک سبک تا متوسط همراه با لایه نفوذناپذیر غیرقابل دسترس می‌توانند در عملیات آبشویی برای سامانه آبیاری قطره‌ای بسیار مفید باشند. روش‌های معمول آبشویی برای خاک‌های شور و یا مستعد به شوری در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، آبشویی متناوب است. با اجرای آبشویی متناوب[۴] همراه با آبیاری به صورتی که فرصت زهکشی در نیمرخ خاک ایجاد شود، املاح می‌توانند به سطح خارجی خاکدانه‌ها پخشیده شوند. حتی اگر جریان در خلل و فرج درشت وجود نداشته باشد، در طی دوره بعدی آبشویی، این املاح به‌راحتی به جریان بین خاکدانه‌ای پخشیده می‌شوند و به سهولت آبشویی می‌گردند. به‌بیان‌دیگر، این روش سبب می‌شود تا املاح از حفره‌هایی که آب در آن تحرک ندارد یا تحرک کمی دارد، به منطقه متحرک پخشیده شوند (کوت و همکاران، ۲۰۰۰). به‌عبارتی با آبشویی متناوب، هدر رفت آب از میان منافذ درشت خاک به حداقل می‌رسد. در طرح حاضر با افزایش دور آبیاری و کاهش تناوب آبیاری، راندمان آبشویی کاهش‌یافته و تجمع املاح در لایه‌های پایینی خاک مشاهده شد. همچنین به‌علت تبخیر بالا در منطقه، با افزایش دور آبیاری (I_3)، میزان شوری در لایه‌های

[۴]- Intermittent leaching

سطحی خاک در مقایسه با دورهای آبیاری کوتاه‌تر (I_2 , I_1)، بیشتر بود. این اتفاق به‌دلیل حرکت جبهه رطوبتی از لایه‌های زیرین خاک به سمت سطح در دور آبیاری سه روزه (I_3) بود که افزایش شوری در لایه سطحی خاک و در نتیجه کاهش عملکرد محصول را به‌همراه داشت. بر همین اساس، وان و همکاران (۲۰۱۰)، وانگ و همکاران (۲۰۱۵) و خوش‌سیمای و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقات خود با بررسی تغییرات شوری خاک برای سامانه قطره‌ای، بیشترین افزایش شوری را در لایه سطحی خاک بیان کرده‌اند.

نتایج زراعی برنج در سامانه آبیاری قطره‌ای

تاریخ کشت برنج به روش خشکه‌کاری در مزرعه برای مناطق مرکزی و جنوبی خوزستان از ۲۰ خرداد تا دهه اول تیرماه است. در سال اول کشت به‌دلیل تأخیر در مجوز آب تابستانه، عملیات کشت در دهه اول مرداد انجام شد. این مسئله باعث افت عملکرد محصول شد. لیکن در سال دوم که تاریخ کشت به‌موقع انجام گردید، نتایج مناسبی از عملکرد و اجزا عملکرد گرفته شد که در ذیل تحلیل و بررسی خواهد شد. براین اساس قسمتی از نتایج سال اول در جدول‌های ۶ و ۷ آورده شده است اما روی آن‌ها بحث نخواهد شد. در این مقاله فقط روی نتایج سال دوم که در جدول‌های ۸ تا ۱۰ ارائه‌شده بحث و تحلیل می‌شود. همچنین عملکرد دانه، ماده خشک کل، شاخص برداشت موردبررسی قرار خواهد گرفت، هرچند خروجی سایر صفات زراعی در جدول‌ها آورده شده است.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس در سال دوم نشان داد که اثر دور آبیاری و نوع رقم برای عملکرد در سطح ٪۱، تفاوت معنی‌داری وجود داشت؛ اما در اثر متقابل دوگانه نوع رقم و دور آبیاری، میزان عملکرد از نظر آماری تفاوتی وجود نداشت (جدول ۸). مقایسه میانگین‌ها بیانگر آن است که با تغییر رژیم آبیاری از I_1 به I_3، روند عملکرد به‌طور متوسط کاهشی ۵۶ درصدی پیدا می‌کند، به‌طوری‌که حداکثر عملکرد دانه سفید برنج با ۳۱۹۱ کیلوگرم در هکتار مربوط به I_1 بود و حداقل آن با ۱۳۹۲ کیلوگرم در هکتار را I_3 داشت (جدول ۹). علی‌رغم این‌که میزان آب مصرفی در هر سه رژیم آبیاری یکسان بود، اما در I_1 این مقدار آب، روزانه به خاک اضافه می‌شد و با بالا نگه‌داشتن پتانسیل آب خاک و خارج کردن میزان نمک از اطراف ریشه، مانع از کاهش عملکرد محسوس محصول گردید. این درحالی است که در رژیم‌های I_2 و I_3 که عملیات آبیاری یک و دو روز در میان انجام می‌شد، کاهش پتانسیل آب خاک، حرکت جبهه رطوبتی از لایه‌های زیرین خاک به سمت سطحی زمین را میسر می‌ساخت. این مسئله تجمع شوری در اطراف ریشه گیاه به‌دلیل تبخیر بالا و در نتیجه کاهش شدید عملکرد را به‌همراه داشت. همچنین با بررسی جدول (۹) مشاهده می‌شود که در میان ارقام برنج بیشترین تولید دانه با مقادیر ۲۳۹۰ و ۲۱۸۷ را V_1 و V_3 داشتند و کمترین با متوسط ۱۷۱۴ کیلوگرم در هکتار مربوط به V_4 بود. در بررسی مقایسه میانگین مربوط به اثر متقابل رژیم آبیاری و نوع رقم در جدول (۱۰)، نتایج نشان داد که در رژیم آبیاری هر روزه (I_1)، رقم عنبوری قرمز (V_1) با ۳۷۶۷ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد و لاین S_2 (V_4) با ۲۵۴۱ کیلوگرم در هکتار، کمترین عملکرد را به خود اختصاص دادند. همان‌طور که از پایش جدول‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود، رژیم آبیاری بیشترین اثر را در تعیین عملکرد دانه در مقایسه با خود رقم در بر داشت به‌طوری‌که با اثر متقابل رژیم آبیاری و رقم به‌عنوان نمونه برای "عنبوری قرمز"، میزان عملکرد افزایشی ۵۸ درصدی از خود نشان می‌دهد. این میزان عملکرد دانه در طرح حاضر نسبت به‌مقدار ارائه‌شده در مناطق مرکزی و جنوبی خوزستان برای سامانه کشت مستقیم در بستر خشک با روش آبیاری سطحی که توسط گیلانی و همکاران (۱۳۹۵)، گیلانی (۱۳۹۸)، مسکینی و همکاران (۱۴۰۰) گزارش شده است، کاهشی نه درصدی را نشان می‌دهد. هیبینگ و همکاران (۲۰۱۳)، در تحقیقی بیان کردند که عملکرد دانه برنج در سامانه آبیاری قطره‌ای نواری با پوشش پلاستیک از ۳/۳۵ تا ۶/۸۹ تن در هکتار

متغیر بود، به‌طوری‌که این عملکرد نسبت به روش رایج منطقه (کشت نشاکاری با غرقاب دائم)، در حدود ۳۱ تا ۵۲ درصد کاهش داشت. آن‌ها بازه متغیر عملکرد در یک سامانه آبیاری و روش کاشت را ناشی از تفاوت در اثر سال تحقیق به‌علت وجود عوامل مختلف دانستند. همچنین شاردا و همکاران (۲۰۱۷)، از مقایسه دو روش آبیاری غرقاب دائم و قطره‌ای نواری در کشت برنج بیان کردند که سامانه قطره‌ای ضمن کاهش محسوس در مصرف آب آبیاری (۴۰ درصد)، عملکرد شلتوک را نسبت به روش سنتی حفظ کرده است.

ماده خشک کل

با توجه به نتایج سال دوم، اثر رژیم آبیاری و ارقام برنج در سطح ٪۱ معنی‌دار بود اما در سایر موارد از نظر آماری اختلافی مشاهده نشد (جدول ۸). مقایسه میانگین‌ها سال دوم مشخص نمود که در بین رژیم‌های آبیاری، I_1 با ۱۲۷۲۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین ماده خشک تولیدی داشت درحالی‌که کمترین میزان آن مربوط به دو سطح دیگر بود (جدول ۹). با توجه به‌مقدار یکسان آب مصرفی در هر سه رژیم آبیاری، به‌نظر می‌رسد توزیع یکنواخت‌تر آب در مزرعه و وجود رطوبت کافی در رژیم I_1 و شرایط مناسب‌تر برای رشد گیاه، توسعه سطح برگ، دریافت‌کنندگی نور برای فتوسنتز و تولید ماده خشک، از علل دست‌یابی به نتیجه مزبور باشد. همچنین براساس جدول (۹)، مقایسه میانگین مربوط به ارقام و لاین برنج در سال دوم مشخص نمود، V_1 (عنبوری) با متوسط ۱۰۵۹۰ کیلوگرم در هکتار و V_4(S_2) با ۷۹۴۷ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب بیشترین و کمترین ماده خشک تولیدی داشتند. میزان ماده خشک تولیدی بیانگر راندمان فتوسنتزی در یک اکوسیستم زراعی بوده و می‌تواند متأثر از مجموعه‌ای از خصوصیات ارقام، مدیریت مزرعه‌ای و پارامترهای اقلیمی و آب و هوایی به‌خصوص شرایط نوری در طی دوره رشد و فصل زراعی تغییر کند. به‌نظر می‌رسد تفاوت ماهوی بین جنبه‌های رشدی و عملکرد فتوسنتزی بین ارقام محلی چمپا و عنبوری قرمز با دو رقم دیگر وجود دارد (گیلانی و همکاران، ۱۳۸۸)؛ اما نفوذ و توانایی بیشتر ریشه در جذب از لایه‌های پایین‌تر خاک در بوته‌های برنج ارقام پابلندی مانند عنبوری قرمز نسبت به لاین متحمل به شوری S_2 (رقم V_4) با ریشه‌های سطحی‌تر و متراکم‌تر در لایه‌های بالایی خاک در طی فصل رشد و نقش اندام‌های گیاهی مانند ساقه اصلی، پنجه‌ها و سهم نسبی مشارکت آن‌ها در انباشت ماده خشک به‌خصوص در طی دوره رشد رویشی و تعداد خوشه و دانه در زمان زایشی و رسیدگی، از دلایل دست‌یابی به نتیجه مزبور هستند. در بررسی اثر متقابل دور آبیاری و انواع ارقام در سال دوم، مقدار ماده خشک تولیدی برای همه ارقام و لاین برنج در رژیم آبیاری I_1 بالاتر بود. همچنین رقم دانیال (V_3) در همین رژیم آبیاری بیشترین ماده خشک تولیدی را داشت به‌طوری‌که مقدار آن به‌میزان ۱۵۱۷۲ کیلوگرم بر هکتار به میزان ۴۸ و ۵۴ درصد به ترتیب نسبت به رژیم‌های آبیاری دو (I_2) و سه (I_3) روزه بیشتر بود (جدول ۱۰).

شاخص برداشت

نتایج سال دوم در بررسی شاخص برداشت مشخص نمود به‌جز اثر رژیم‌های آبیاری و نوع ارقام برنج که در سطح ٪۱ معنی‌دار بود، در سایر موارد از نظر آماری اختلافی وجود نداشت (جدول ۸). مقایسه میانگین‌ها در سال دوم نشان داد که به‌موازات افزایش در دور آبیاری قطره‌ای، مقدار شاخص برداشت به‌شدت کاهش یافت به‌طوری‌که بیشترین و کمترین میزان به‌ترتیب با مقادیر ۲۵/۳۴ و ۱۷/۷۱ درصد مربوط به دورهای آبیاری I_1 و I_3 بود. رابطه شاخص برداشت با عملکرد دانه و زیست‌توده (ماده خشک کل) و تفاوت معنی‌دار این دو صفت در رژیم‌های آبیاری، از علل دست‌یابی به نتیجه مزبور است. هر چند با افزایش دور آبیاری، عملکرد و زیست‌توده کاهش می‌یابند اما میزان کاهش عملکرد دانه به‌خصوص در رژیم آبیاری دو روز در میان (سه روزه) نسبت به کاهش زیست‌توده در مقایسه با رژیم آبیاری هر روزه، شدیدتر بود.

این مسئله باعث تفاوت در شیب کاهشی برای رژیم‌های آبیاری متفاوت خواهد شد (جدول ۹). در نهایت، مقایسه میانگین اثر متقابل دور آبیاری و انواع ارقام در سال دوم مشخص نمود که علاوه بر اینکه مقدار شاخص برداشت ارقام برنج در رژیم آبیاری I_1 نسبت به دو سطح دیگر برتری داشت، بالاترین درصد شاخص برداشت مربوط به رقم عنبوری قرمز (V_1) در همین رژیم آبیاری بود (جدول ۱۰).

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر دور آبیاری و نوع رقم بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (سال اول)

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	ماده خشک کل	شاخص برداشت	تعداد خوشه در مترمربع	تعداد دانه در خوشه	وزن هزار دانه	ارتفاع بوته	باروری خوشه
تکرار	۲	۲۴۹۹۲ ns	۴۴۸۸۸۰ ns	۱۳/۲۷ ns	۲۸۲/۲ ns	۴/۱۹۴ ns	۰/۴۰۶ ns	۸۷/۵۸ ns	۳/۱۶۰ ns
دور آبیاری (I)	۲	۷۵۲۲۵۲**	۷۸۱۲۹۵۷*	۱۲۰/۶*	۱۶۰۸ ns	۲۱۳/۹**	۱۳/۵۵*	۳۸۶/۶ *	۷۵/۷۶ ns
خطای (a)	۴	۱۷۶۳۳	۶۴۹۲۷۵	۱۰/۰۳	۶۶۰/۹ ns	۲/۳۶۱	۱/۱۸۱	۶۷/۶۷	۳۵/۹۸
نوع رقم (V)	۳	۴۵۶۹۴ *	۹۰۰۱۴۸ *	۱۰/۶۵ ns	۱۳۰۷ *	۳۵/۷۴ *	۱۵/۷۸ **	۴۶۵/۲**	۳۳/۰۷ ns
اثر متقابل (I×V)	۶	۲۳۰۳۰ ns	۳۱۶۵۴۰ ns	۲۳/۳۹ ns	۷۲۷/۴ ns	۱۶/۴۹ ns	۱/۱۱۹ ns	۲۲/۲۵ ns	۱۷/۳۶ ns
خطای (b)	۱۸	۱۴۷۳۴	۳۰۶۵۵۲	۲۴/۰۳	۴۸۶/۸	۱۴/۸۲	۰/۵۶۳	۲۸/۶۰	۱۷/۵۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱۵/۷۷	۱۶/۸۵	۲۲/۵۹	۱۶/۹۷	۱۴/۸۲	۴/۱۸	۱۱/۸۴	۱۵/۹۳

ns عدم تفاوت معنی‌دار *تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد **تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد

جدول ۷ – مقایسه میانگین تأثیر دور آبیاری (I) و نوع رقم (V) بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (سال اول)

تیمار	میانگین صفات و مقایسه آن‌ها به روش آزمون دانکن (در سطح احتمال پنج درصد)*							
	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)	ماده خشک کل (کیلوگرم بر هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	تعداد خوشه در مترمربع	تعداد دانه در خوشه	وزن هزار دانه (گرم)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	باروری خوشه (درصد)
دور آبیاری								
یک روزه (I_1)	۸۴۳/۷ a	۳۴۶۵ a	۲۴/۷۳ a	۱۱۲/۲ a	۲۶/۴۱ a	۱۷/۲۸ b	۵۱/۴۲ a	۲۸/۸۱ a
دو روزه (I_2)	۴۴۹/۸ b	۲۰۴۶ b	۲۱/۹۶ ab	۱۱۱/۶ a	۱۸/۵۰ b	۱۷/۴۱ b	۴۳/۷۵ ab	۲۳/۷۸ a
سه روزه (I_3)	۳۷۸/۹ b	۲۰۸۹ b	۱۸/۴۱ b	۹۱/۸۳ a	۱۹/۹۲ b	۱۹/۱۸ a	۴۰/۳۳ b	۲۶/۲۴ a
نوع رقم								
عنبوری قرمز (V_1)	۶۳۹/۰ a	۲۸۶۲ a	۲۱/۵۸ a	۹۰/۶۷ b	۲۱/۱۱ ab	۱۷/۳۴ c	۴۸/۴۴ a	۲۶/۹۸ a
چمپا (V_2)	۵۵۰/۴ ab	۲۴۱۴ ab	۲۳/۱۹ a	۱۰۰/۰ ab	۲۴/۰۰ a	۱۶/۵۷ c	۵۳/۶۷ a	۲۸/۰۰ a
دانیال (V_3)	۵۷۳/۹ ab	۲۷۰۹ ab	۲۱/۴۶ a	۱۱۶/۳ a	۱۹/۲۲ b	۱۹/۶۴ a	۴۰/۴۴ b	۲۳/۵۴ a
لاین مقاوم به شوری (V_4)	۴۶۶/۶ b	۲۱۴۹ b	۲۰/۵۸ a	۱۱۳/۸ ab	۲۲/۱۱ ab	۱۸/۲۸ b	۳۸/۱۱ b	۲۶/۵۹ a

*: در هر ستون تفاوت بین میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند معنی‌دار نیست

جدول ۸- تجزیه واریانس اثر دور آبیاری و نوع رقم بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (سال دوم)

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	ماده خشک کل	شاخص برداشت	تعداد خوشه در مترمربع	تعداد دانه در خوشه	وزن هزار دانه	ارتفاع بوته	باروری خوشه
تکرار	۲	۹۴۰۸ ns	۷۹۵۹۱ ns	۰/۰۹۲ ns	۴۳/۳۲ ns	۴/۴۲۸ ns	۰/۰۰۹ ns	۱/۰۳۱ ns	۱/۷۰۲ ns
دور آبیاری (I)	۲	۱۱۳۶۲۷۵۰**	۱۰۰۶۰۴۱۹۷**	۱۸۰/۲**	۱۱۷۹۹**	۲۶۵۲**	۲/۱۲۷**	۱۲۸۱**	۳۹۵/۷**
خطای (a)	۴	۱۰۷۴۸	۸۷۶۵۶	۰/۱۸	۴۶/۲۵	۴/۷۰۸	۰/۰۱۱	۱/۳۳۳	۱/۹۰۵
نوع رقم (V)	۳	۷۳۶۹۲۰ **	۱۲۳۱۸۲۸۶ **	۱/۹۹۷ **	۱۷۴۹۹ **	۱۰۹۶ **	۱۹/۹۴ **	۴۱۳۴ **	۱۳۱/۴ **
اثر متقابل (I×V)	۶	۴۳۲۶۸ ns	۸۷۶۰۴۶ ns	۳/۹۴۰ ns	۸۴۰ ns	۳۰/۹۱ ns	۱/۸۷۲ ns	۹۸/۶۶ ns	۲۸/۲۷ ns
خطای (b)	۱۸	۵۰۰۶۸	۹۴۹۶۸۹	۴/۹۴۴	۹۶۳/۸	۳۲/۶۷	۳/۴۴	۷۴/۶۶	۲۹/۳۹
ضریب تغییرات (درصد)		۱۴/۳۲	۱۲/۷۱	۱۴/۲۹	۱۰/۰۸	۹/۴۵	۵/۴۱	۱۰/۳۸	۱۱/۸۱

ns عدم تفاوت معنی‌دار *تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد **تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد

جدول ۹ – مقایسه میانگین تأثیر دور آبیاری (I) و نوع رقم (V) بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (سال دوم)

تیمار	میانگین صفات و مقایسه آن‌ها به روش آزمون دانکن (در سطح احتمال پنج درصد)*							
	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)	ماده خشک کل (کیلوگرم بر هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	تعداد خوشه در مترمربع	تعداد دانه در خوشه	وزن هزار دانه (گرم)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	باروری خوشه (درصد)
دور آبیاری								
یک روزه (I_1)	۳۱۹۱ a	۱۲۷۲۰ a	۲۵/۳۴ a	۳۲۱/۳ a	۷۰/۵۰ a	۱۸/۶۳ b	۹۴/۲۵ a	۵۹/۲۳ a
دو روزه (I_2)	۱۶۴۷ b	۷۶۱۱ b	۲۲/۷۲ b	۳۲۴/۳ a	۴۱/۲۵ c	۱۸/۰۰ c	۸۱/۷۵ b	۴۷/۷۶ c
سه روزه (I_3)	۱۳۹۲ c	۷۸۰۱ b	۱۷/۷۱ c	۲۶۸/۵ b	۵۱/۲۵ b	۱۸/۸۰ a	۷۳/۷۵ c	۵۴/۰۶ b
نوع رقم								
عنبوری قرمز (V_1)	۲۳۹۰ a	۱۰۵۹۰ a	۲۱/۹۳ a	۲۵۰/۳ c	۵۳/۰۰ b	۱۷/۴۳ b	۹۵/۳۳ b	۵۵/۱۱ ab
چمپا (V_2)	۲۰۱۵ b	۸۹۵۳ b	۲۲/۵۴ a	۲۸۷/۳ b	۷۰/۳۳ a	۱۷/۱۹ b	۱۰۵/۰ a	۵۸/۴۴ a
دانیال (V_3)	۲۱۸۷ ab	۱۰۰۱۰ a	۲۱/۷۹ a	۳۴۳/۰ a	۴۶/۶۷ c	۲۰/۴۱ a	۷۶/۰۰ c	۵۰/۴۹ b
لاین مقاوم به شوری (V_4)	۱۷۱۴ c	۷۹۴۷ c	۲۱/۴۱ a	۳۳۸/۰ a	۴۷/۳۳ c	۱۸/۸۷ ab	۵۶/۶۷ d	۵۰/۷۰ b

*: در هر ستون تفاوت بین میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند معنی‌دار نیست

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری (I) و نوع رقم (V) بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (سال دوم)

تیمار	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)	ماده خشک کل (کیلوگرم بر هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	تعداد خوشه در مترمربع	تعداد دانه در خوشه	وزن هزار دانه (گرم)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	باروری خوشه (درصد)
	میانگین صفات و مقایسه آن‌ها به روش آزمون دانکن (در سطح احتمال پنج درصد)*							
I_1V_1	۳۷۶۷ a	۱۲۹۴۰ b	۲۹/۲۳ a	۲۵۳ de	۶۷ bc	۱۷/۴ b	۱۰۶ b	۵۷/۶ bc
I_1V_2	۲۹۴۰ b	۱۲۴۶۰ b	۲۴/۲۳ b	۳۱۲ c	۹۶ a	۱۷/۴۷ b	۱۲۳ a	۶۸/۲۳ a
I_1V_3	۳۵۱۴ a	۱۵۱۷۲ a	۲۳/۴۰ b	۳۰۴ cd	۶۱ cd	۱۹/۶۷ ab	۸۷ cd	۵۶/۹۳ bc
I_1V_4	۲۵۴۱ c	۱۰۳۰۰ c	۲۴/۵۰ b	۴۱۶ a	۵۸ cde	۱۹/۹۷ ab	۶۱ e	۵۴/۱۷ bcd
I_2V_1	۱۶۶۳ de	۸۸۰۰ cd	۱۸/۹۷ c	۲۵۳ de	۴۸ ef	۱۷/۱۰ b	۹۲ bc	۶۱/۳۷ ab
I_2V_2	۱۶۸۶ de	۷۳۸۰ de	۲۴/۴۳ b	۳۰۷ cd	۴۳ fg	۱۷/۱۰ b	۹۸ bc	۴۴/۳۳ de
I_2V_3	۱۸۶۰ d	۷۸۸۱ de	۲۴/۳۰ b	۳۹۰ ab	۴۲ fgh	۱۹/۸۰ ab	۷۴ de	۴۷/۸۳ cd
I_2V_4	۱۳۸۰ ef	۶۳۸۱ e	۲۳/۱۳ b	۳۴۷ bc	۳۲ h	۱۸ c- b	۶۳ e	۳۷/۵۳ e
I_3V_1	۱۷۴۰ de	۱۰۰۴۱ c	۱۷/۶۰ c	۲۴۵ e	۴۴ fg	۱۷/۰۸ b	۸۸ cd	۴۶/۳۷ de
I_3V_2	۱۴۲۰ ef	۷۰۲۰ de	۱۸/۹۷ c	۲۴۳ e	۷۲ b	۱۷ b	۹۴ bc	۶۲/۷۷ ab
I_3V_3	۱۱۸۷ f	۶۹۸۱ de	۱۷/۶۷ c	۳۳۵ bc	۳۷ gh	۲۱/۷۷ a	۶۷ e	۴۶/۷۰ de
I_3V_4	۱۲۲۱ f	۷۱۶۱ de	۱۶/۶۰c	۲۵۱ de	۵۲ def	۱۸/۶۳ ab	۴۶ f	۶۰/۴۰ ab

*: در هر ستون تفاوت بین میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند معنی‌دار نیست

بهره‌وری آب

میزان بهره‌وری آب براساس نتایج عملکردی و حجم آب کاربردی برای هر رقم در جدول (۱۱) آورده شده است. از تقسیم میزان عملکرد دانه سفید برنج بر میزان آب کاربردی، بهره‌وری آب برحسب کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد.

جدول ۱۱- بهره‌وری آب ارقام برنج در رژیم‌های مختلف سامانه آبیاری قطره‌ای نواری (kg/m^3)

رژیم آبیاری / رقم	I_1	I_2	I_3	میانگین رقم
V_1	۰/۲۵	۰/۱۱	۰/۱۱۴	۰/۱۵۸
V_2	۰/۱۸	۰/۱۰۴	۰/۰۸۹	۰/۱۲۴
V_3	۰/۲۲	۰/۱۲	۰/۰۷۵	۰/۱۴
V_4	۰/۱۷	۰/۰۹۴	۰/۰۸۲	۰/۱۱۵
میانگین رژیم آبیاری	۰/۲۱	۰/۱۱	۰/۰۹	

در طرح حاضر، بیشترین میزان بهره‌وری آب را رقم محلی عنبوری قرمز، به‌میزان ۰/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب در رژیم آبیاری هر روزه (I_1) داشت (جدول ۱۱). این میزان بهره‌وری آب در تطبیق با گزارش‌های مشاهده‌ای و تحقیقاتی از کشت سنتی برنج در مناطق مرکزی و جنوبی خوزستان، ۱/۸۵–۱/۳۳ مرتبه بیشتر بود. هیبینگ و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی دو ساله، بیشترین متوسط بهره‌وری آب را مربوط به تیمار آبیاری قطره‌ای (با استفاده از مالچ) دانستند که ۲/۱۲ –۱/۵۲ مرتبه بیشتر از تیمار رایج (کشت نشا با غرقاب دائم) بود. آنچه از جدول (۱۱) مشاهده می‌شود این است که رژیم آبیاری بیشترین اثربخشی را در میزان بهره‌وری فیزیکی آب برنج دارد، به‌طوری‌که با تغییر رژیم آبیاری، میزان میانگین بهره‌وری از ۰/۲۱ در رژیم آبیاری هر روزه (I_1) تا ۰/۰۹ در رژیم آبیاری سه روزه (I_3) می‌رسد. هرچند این میزان کم بهره‌وری آب در کشت برنج برای منطقه گرم و خشک استان خوزستان توجیه نداشته و افزایش مصارف غیرمفید آب را به‌همراه خواهد داشت، لکن به‌دلایل سوددهی اقتصادی بالا در کشت برنج ناشی از ناچیز بودن قیمت نهاده آب در کشور، عدم تحویل حجمی آب در اراضی کشاورزی و بالاخره بازگشت سریع سرمایه حاصل از فروش شلتوک، کشاورزان منطقه را متمایل به کشت این محصول می‌کند. براین اساس لازم است با بهینه‌سازی الگوی کشت از منظر اجتماعی، اقتصادی و کارایی محصولات کم آب‌بر در منطقه با توجه به میزان تخصیص آب، در این زمینه تلاش کرد.

نتیجه‌گیری

کشت برنج به شیوه سنتی در حال توسعه است و برای تغییر شرایط، راهکارهای مختلفی از نگرش‌های مختلف ارائه می‌شوند. با بررسی شیوه کشت و کار برنج در کشور و تجربیات جهانی در این‌خصوص، به این باور رسیده‌اند که "برنج لزوماً گیاهی که باید در شرایط غرقاب رشد کند، نیست" براین اساس برای این تغییر نگرش باید برنامه‌های عملیاتی تدوین نمود. یکی از راه‌حل‌های عملیاتی برون رفت از این چالش بزرگ "توسعه کشت مستقیم برنج به‌جای کشت مرسوم" است. از طرفی دیگر با توجه به محدودیت شدید آب در سال‌های اخیر و توسعه سامانه‌های نوین آبیاری، روش آبیاری قطره‌ای نواری می‌تواند راهبردی مضاعف در جهت کاهش میزان آب آبیاری برنج باشد. پژوهش حاضر در راستای ارزیابی تغییرات شوری خاک و واکنش ارقام رایج برنج استان خوزستان در روش خشکه‌کاری با سامانه آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) طراحی و اجرا شد. میانگین حجم آب آبیاری در مزرعه با توجه به تکمیل دوره رشد ارقام مختلف، ۱۴۸۰۰، ۱۵۲۰۰، ۱۵۷۰۰ و ۱۶۱۰۰ مترمکعب بر هکتار به ترتیب برای لاین s_2 ، عنبوری قرمز، دانیال و چمپا اندازه‌گیری شد. بررسی پایش خاک دو سال زراعی در طی فصل رشد گیاه نشان داد که رژیم آبیاری هر روزه به‌دلیل تناوب زیاد و آبشویی مناسب در سامانه آبیاری قطره‌ای، شوری عصاره اشباع خاک را تا زیر عمق توسعه ریشه‌های گیاه نسبت به قبل از زمان کشت کاهش داده و می‌تواند

به‌عنوان یک راهبرد در استفاده از این سامانه آبیاری برای کشت شلتوک باشد. از نتایج بررسی مقایسه میانگین مربوط به اثر متقابل رژیم آبیاری و نوع ارقام مشاهده شد که در رژیم آبیاری هر روزه، رقم عنبوری قرمز (رقم محلی) با ۳۷۶۷ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه سفید برنج و لاین متحمل به شوری S_2 با ۲۵۴۱ کیلوگرم در هکتار، کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. در این پژوهش مشخص شد که رژیم آبیاری بیشترین اثر را در تعیین عملکرد دانه در مقایسه با خود رقم در بر داشت به‌طوری‌که با تغییر رژیم آبیاری از هر روزه به سه روزه، عملکرد به‌طور متوسط کاهشی ۵۶ درصدی پیدا کرد. همچنین مشخص شد که بیشترین میزان بهره‌وری آب را رقم محلی عنبوری قرمز، به‌میزان ۰/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب در رژیم آبیاری هر روزه (I_1) داشت. براین اساس استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای با فاصله مناسب نوارهای آبیاری (۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) و روزنه‌های آبده (دو تا سه لیتر بر ساعت) روی هر نوار و فواصل ۲۰ سانتی‌متری از همدیگر در روش خشکه‌کاری با رقم محلی (عنبوری در استان خوزستان) و دور آبیاری هر روزه، یک تکنیک به‌زراعی با هم‌افزایی دو تخصص آب- زراعت بوده که حجم آب آبیاری را نسبت به عملیات کشت سنتی به‌طور محسوس کاهش می‌دهد. این مسئله، راهبردی مؤثر در کاهش تنش بر منابع آبی استان و ذخیره آب موجود برای حفظ زیست‌بوم است. در نهایت باید بیان کرد که میزان کم بهره‌وری آب در کشت برنج برای منطقه گرم و خشک استان خوزستان توجیه نداشته و افزایش مصارف غیرمفید آب را به‌همراه خواهد داشت، لذا لازم است کاهش محسوس کشت برنج در این استان در اولویت قرار گیرد.

فهرست منابع

۱. خوش‌سیمای چنار، م. و نوری، ح. ۱۳۹۸. اثر آبیاری قطره‌ای(نوار تیپ) با آب شور بر برخی ویژگیهای شیمیایی خاک. نشریه پژوهش آب در کشاورزی،۳۳(۴):۵۸۱-۵۶۵.

۲. دهقانی سانیج، ح.، میر لطیفی، م. و وردی نژاد، ر. ۱۳۹۸. اثربخشی تکنیک‌های برتر به‌زراعی برای کاهش برداشت از منابع آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی.

۳. کیانی، ع.، یونس‌آبادی، م.، فرجی، ا.، حسینی چالشتری، م.، یزدانی، م. و.... ۱۳۹۹. دستورالعمل تولید برنج به روش کشت مستقیم در بستر خشک (استان گلستان). موسسه تحقیقات برنج کشور. نشریه فنی شماره ۴۷. ۲۶ صفحه.

۴. گیلانی، ع.، سیادت، ع. و عالمی سعید، خ. ۱۳۸۸. تعیین مکانیزم‌های تحمل و اثرات فیزیولوژیکی تنش گرما در ارقام برنج خوزستان. پایان نامه دکتری. دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.

۵. گیلانی، ع. ۱۳۹۸. مدیریت تولید برنج در روش خشکه‌کاری. موسسه تحقیقات برنج کشور. نشریه فنی شماره ۴۱، ۲۳ صفحه.

۶. گیلانی، ع.، آبسالان، ش. و جلالی، س. ۱۳۹۵. مقایسه روش خشکه‌کاری با شیوه‌های رایج کاشت ارقام برنج از نظر میزان آب مصرفی. سازمان تحقیقات ، آموزش و ترویج کشاورزی. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. شماره ثبت: ۴۹۸۰۲. ۲۷صفحه.

۷. مختاران، ع.، ناصری، ع.ع. و کشکولی. ح.ع. ۱۳۹۲. تعیین ضخامت فصل مشترک آب شور-شیرین در اراضی تحت آبیاری و آب زیرزمینی شور و کم عمق. دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران: دانشگاه تهران. ۸-۷ آبان.

۸. مسکینی ویشکایی، ف.، گیلانی، ع. و مختاران، ع. ۱۴۰۰. بررسی تاثیر شیوه کاشت برنج بر روی پشته‌های بلند بر مصرف آب و شوری خاک سطحی در روش خشکه‌کاری. هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه. کرج: ۲۸-۲۶ مهرماه۱۴۰۰.

۹. یعقوبی، ب. و رجبیان، م. ۱۳۹۸. مروری برکشت مستقیم برنج با تاکید بر مدیریت علف‌های هرز. موسسه تحقیقات برنج کشور، نشریه فنی شماره ۳۷، ۵۱ صفحه.

۱۰. یوسفیان، م.، عربزاده، ب.، سودایی مشایی، ص. و محمدی نشلی، ی. ۱۳۹۳. بررسی اثرات سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد، خواص کمی و کیفی دانه دو رقم برنج طارم و شیرودی. پژوهش‌های کاربردی زراعی (پژوهش و سازندگی)، (۱۰۴)،۷۵-۶۹ .

11. Ali, M.H. and Talukder, M.S.U. 2008. Increasing water productivity in crop production-A synthesis, Agricultural Water Management, 95, 1201-1213.
12. Bouman, B. A. M., Wang, H., Yang, X., Zhao, J. F. and Wang, C. G. 2002. Aerobic rice (Han Dao): a new way of growing rice in water-short areas, in Proceedings of the 12th InternationalSoil ConservationOrganization Conference (Beijing), 175–181.
13. Bouman, B. A. M., Xiaoguang, Y., Wang, H., Wang, Z., Zhao, J. and Chen, B. 2005. Performance of aerobic rice varieties under irrigated conditions in North China. Field Crops Res. 97, 53–61. Doi: 10.1016/j.fcr.2005.08.015.
14. Bouman, B .A .M., Peng, S., Castan, A. R. and Viperas, R .M. 2005.Agricultural Water Management.74 :87–105
15. Cote, C. M., Bristow, K. L. and Ross, P. J. 2000. Increasing the efficiency of solute leaching: Impacts of flow interruption with drainage of the “preferential flow paths”. Journal of Contaminant Hydrology, 43(3): 191-209.
16. Dehghanisanij, H. 2012. Current agricultural water and soil resources and productivity in the Iranian highlands: measures and Improvements. Journal of Agriculture, Biotechnology & Ecology. Volume 5, issue 1, 1-14.
17. FAO. 2017. Drought characteristics and management in Central Asia and Turkey. Rome. Gao, Z., Xu, N., Fu, C., Ning, J. & Area, A.S. 2015. Evaluating drought monitoring methods using remote sensing: a dynamic correlation analysis between heat fluxes and land cover patterns. IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens. 8 (1), 298–303.
18. Farooq, M., Kobayashi, N.K., Wahid, A., Ito, O. & Basra, S.M.A. 2009. Strategies for producing more rice with less water. Advance Agron. 101:351–388.
19. Gopal, R., Jat, R.K., Kumar, V., Alam, M.M., Jat, M.L., Mazid, M.A., Saharawat, Y.S., Mcdonald, A. & Gupta, R. 2010. Direct dry seeded rice production technology and weed management in rice-based systems.
20. Hameed, M., Ahmadalipour, A. & Moradkhani, H. 2020. Drought and food security in the Middle East: An analytical framework Agricultural and Forest Meteorology 281 (2020) 107816.
21. Haibing, H., Fuyu, M., Yang, R., Chen, L., Jia, B., Cui, J., Fan, H., Wang, X. & Li, L. 2013. Rice Performance and Water Use Efficiency under Plastic Mulching with Drip Irrigation. Journal PLoS One, V. 8(12), published online 2013 Dec 10.doi: 10.1371/journal.pone.0083103.
22. Kumar, V. and Ladha, J. K. 2011. Direct seeding of rice: recent developments and future research needs. Adv. Agron. 111, 297–413. Doi: 10.1016/B978-0-12-387689-8.00001-1.
23. Li, Y.H. 2001. Research and practiceof water-saving irrigation forrice in China, in Proceedings of an International Workshop, Water-Saving Irrigation for Rice, 23-25 March 2001, eds R. Barker, Y. Li, and T. P. Tuong (Wuhan; Colombo: International Water Management Institute), 135–144.

24. Liu, H., Hussain, S., Zheng, M., Peng, S., Huang, J., Cui, K. & Nie., L. 2015. Dry direct-seeded rice as an alternative to transplanted-flooded rice in Central China. Agronomy for Sustainable Development, 35(1), pp.285-294.
25. Mahajan, G., Chauhan, B.S., Timsina, J., Singh, P.P. & Singh, K. 2012. Crop performance and water-and nitrogen-use efficiencies in dry-seeded rice in response to irrigation and fertilizer amounts in northwest India. Field Crops Research, 134, pp.59-70.
26. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, cell & environment, 25(2), 239-250.
27. Ospanbayev, Z., Kurmanbayeva, M.S., Abdukadirova, Z., Doszhanova, A.S., Nazarbekova, S.T., Inelova, Z.A., Ablaikhanova, N.T., Kenenbayev, S.B., & Musina, A.S 2017. Water use efficiency of rice and soybean under drip irrigation with mulch in the south-east of Kazakhstan. Applied Ecology and Environmental Research, 15(4), pp.1581-1603.
28. Perry, C. & Steduto, P. 2017. Does improved irrigation technology save water? A Review of the evidence. Discussion paper on irrigation and sustainable water resources management in the near east and North Africa. Food and agricultuer organization of the United Nations Cairo.
29. Rao, K.V., Gangwar, S., Keshri, S., Chourasia, R., Bajpai. L. & Soni. A. 2017. Effects of drip irrigation system for enhancing rice (Oryza sativa L) yield under system of rice intensification management. Applied Ecology and Environmental Research. 15. 487-495.
30. Sathiyaraj. 2017. Influence of Rice Varieties and Irrigation Regimes on Rice under Raised Bed and Drip Fertigation. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. Volume 6 Number, 11 pp. 4100-4108, doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.480.
31. Scanlon, B.R., Ruddell, B.L., Reed, P.M., Hook, R.I., Zheng, C., Tidwell, V.C. & Siebert, S. 2017. The food-energy-water nexus: transforming science for society. Water Resour. Res. 1–7. https://doi.org/10.1002/2017WR020889.
32. Seck, P.A., Diagne, A., Mohanty, S. & Wopereis. M.C. 2012. Crops that feed the world 7: Rice. Food security, 4(1), pp.7-24.
33. Sharda, R., Mahajan, G., Siag, M., Singh A. & Chauhan. B.S. 2017. Performance of drip-irrigated dry-seeded rice (Oryza sativa L.) in South Asia. Paddy and water environment, 15 (1), pp.93-100.
34. Stoop, W., Uphoff, N. and Kassam, A. 2002. A review of agricultural research issues raised by the system of rice intensification (SRI) from Madagascar: opportunities for improving farming systems for resource-poor farmers. Agric. Syst. 71, 249–274. Doi: 10.1016/S0308-521X (01) 00070-1.
35. Tabbal, D. F., Bouman, B. A. M., Bhuiyan, S. I., Sibayan, E. B. and Sattar, M. A. 2002. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice: case studies in the Philippines. Agric. Water Manag. 56, 93–112. Doi: 10.1016/S0378-3774(02)00007-0.
36. Van Opstal, J., Droogers, P., Kaune, A., Steduto, P. & Perry. C. 2021. Guidance on realizing real water savings with crop water productivity interventions. Wageningen, FAO and FutureWater. https://doi.org/10.4060/cb3844en.
37. Wan, S., Kang, Y., Wang, D. & Liu, S. P. 2010. Effect of saline water on cucumber (Cucumis sativus L.) yield and water use under drip irrigation in North China. Agricultural Water Management, 98(1), 105-113.
38. Wang, H., Boumam, B. A. M., Zhao, D., Wang, C. and Moya, P. F. 2002. “Aerobic rice in northern China: opportunities and challenges,” in Proceedings of the International Workshop on Water-Wise Rice Production, Water-Wise Rice Production, 8-11 April, eds B. A. M. Bouman, H. Hengsdijk, B. Hardy, P. S. Bindraban, T. P. Tuong, and J. K. Ladha (Los Baños: International Rice Research Institute), 143–154.
39. Wang, X., Yang, J., Liu, G., Yao, R. & Yu, S. 2015. Impact of irrigation volume and water salinity on winter wheat productivity and soil salinity distribution. Agricultural Water Management, 149, 44-54.
40. Weller, S., Janz, B., Jörg, L., Kraus, D., Racela, H. S. and Wassmann, R. 2016. Greenhouse gas emissions and global warming potential of traditional and diversified tropical rice rotation systems. Glob. Change Biol. 22, 432–448. Doi: 10.1111/gcb.13099.

مقاله پژوهشی نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۷ / شماره ۲/ ۱۴۰۲. ص۱۵۹- ۱۶۹
https://doi.org/10.22092/jwra.2023.361550.978

استفاده از سامانه نیاز آب در تعیین مقدار آب مصرفی سویا بر اساس حل معکوس توابع عملکرد در شرایط مختلف آبیاری

علی عبدزادگوهری*، امیر نیک‌اختر، نیازعلی ابراهیمی‌پاک و آرش تافته

محقق، بخش تحقیقات مدیریت آب در مزرعه، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
abdzadgohari_a@yahoo.com
کارشناس ارشد، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی هرمزگان، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، بندرعباس، ایران.**amirnik1367@gmail.com**
دانشیار، بخش تحقیقات مدیریت آب در مزرعه، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
Nebrahimipak@yahoo.com
استادیار، بخش تحقیقات مدیریت آب در مزرعه، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
Arash_tafteh@yahoo.com

دریافت: اسفند ۱۴۰۱ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۲

چکیده

مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سامانه "نیاز آب" را برای برآورد و تعیین نیاز آبی، آب مصرفی و برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان زراعی و باغی در سطح منطقه، شهرستان و دشت‌های کشور ارائه نموده است. پژوهش حاضر به‌منظور استفاده از سامانه نیاز آب (شامل روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس) در تعیین مقدار آب مصرفی واقعی گیاه سویا رقم ویلیامز بر اساس حل معکوس تابع عملکرد انجام شد. تیمارهای کودی آزمایشی شامل بدون کود و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با تیمارهای مختلف آبیاری شامل ۱۰۰٪، ۸۰٪، ۶۰٪ و ۴۰٪ نیاز آبی بود که به‌صورت اسپلیت پلات و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در شهرستان حاجی‌آباد، واقع در استان هرمزگان در سال‌های زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ اجرا گردید. مقادیر برآورد شده توسط سامانه و اندازه‌گیری شده نشان داد که میانگین خطای نسبی در میزان تبخیر و تعرق، در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس در سال اول به‌ترتیب ۷/۴۹٪، ۰/۰۵-٪ و ۹/۱۴٪ و در سال دوم به‌ترتیب ۶/۴۷٪، ۱/۲۹-٪ و ۹/۰۶٪ بود. میانگین خطای نسبی در بهره‌وری فیزیکی آب در روش‌های مذکور در سال اول به‌ترتیب ۸/۲۳-٪، ۰/۷۳-٪ و ۱۰/۰۸-٪ و در سال دوم به‌ترتیب ۷/۱۰-٪، ۰/۵۸٪ و ۱۰/۰۷-٪ را نشان داد. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس به‌ترتیب ۴۳، ۳۵ و ۴۹ میلی‌متر و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (RMSEn) به‌ترتیب ۰/۰۹۳٪، ۰/۰۷۶٪ و ۰/۱۰۵٪ بود. به‌طور کلی و با توجه به‌نتایج آماری، سامانه نیاز آب، مقدار آب آبیاری و میزان تبخیر و تعرق را با تقریب مناسبی برآورد نمود و می‌توان از آن در تخمین آب مصرفی در منطقه مورد مطالعه استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، روش تافته، روش پاسکوئله ، روش ریس، سویا رقم ویلیامز

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

مقدمه

سویا (*Glycine max L.*) از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی و یکی از منابع عمده تولید روغن و پروتئین گیاهی، کربوهیدرات‌ها و سایر مواد مغذی است که برای تغذیه انسان و دام مهم است (کور و همکاران، ۲۰۱۷). زراعت این گیاه در ایران از نظر تأمین بخشی از روغن مورد نیاز، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (موسوی و همکاران، ۱۳۹۴). کمبود رطوبت یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد سویا است و تنش آب در بسیاری از مراحل نمو سویا، عملکرد محصول را کاهش داده و اثرات منفی آن در طی گل‌دهی و تشکیل دانه و پر شدن دانه آن مهم است (موسوی و همکاران، ۱۳۹۴؛ اوبر و شارپ، ۲۰۰۳؛ ویو و همکاران، ۲۰۱۹). مطالعه واکنش گیاه سویا به‌تنش رطوبتی و تعیین نیاز آبی آن می‌تواند به‌میزان قابل توجهی از کاهش محصول جلوگیری کند. با توجه به‌محدودیت منابع آب، افزایش تولید از طریق افزایش عملکرد به‌ازای هر واحد آب مصرفی ضرورت دارد و برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت کم‌آبیاری می‌تواند با تنظیم و تأمین مقدار مناسب آبیاری مخصوصاً در مراحل حساس رشد گیاه، سبب بهبود بهره‌وری آب و میزان عملکرد محصول گردد (اکبری نودهی، ۱۳۹۱؛ بیوزو و همکاران، ۲۰۱۹؛ سیسکانی و همکاران، ۲۰۱۵). بهره‌وری آب آبیاری از نسبت عملکرد محصول به‌میزان آب آبیاری به‌دست می‌آید و ارتقاء بهره‌وری با هدف تولید بیش‌تر به‌ازای مصرف آب کم‌تر، به‌عنوان یکی از گزینه‌های راهبردی مؤثر در مدیریت آبیاری تحت شرایط کم‌آبی قلمداد می‌گردد (موسوی و همکاران، ۱۳۹۴). در پژوهشی موسوی و همکاران، (۱۳۹۴) ارزیابی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری محدود بر عملکرد و بهره‌وری آب سه ژنوتیپ سویا شامل ویلیامز،L17 و هابیت را در سال‌های زراعی ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ در رشت بررسی نمودند و گزارش کردند که آبیاری در دو سال زراعی باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در ژنوتیپ‌های سویا شد. بیشترین عملکرد دانه در سال ۱۳۹۲ مربوط به تیمار یک نوبت آبیاری و در رقم L17 و در سال ۱۳۹۳ مربوط به تیمار سه نوبت آبیاری و رقم L17 به ترتیب برابر ۴۶۱۶ و ۴۱۹۸ کیلوگرم در هکتار بود. در سال‌های زراعی ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ ژنوتیپ L17 نسبت به دو ژنوتیپ دیگر دارای بیش‌ترین میانگین عملکرد دانه به‌ترتیب با وزن ۳۹۳۲ و ۳۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار بود و بالاترین بهره‌وری آب آبیاری به‌ترتیب مربوط به تیمار یک نوبت آبیاری و در رقم L17 و سه نوبت آبیاری در رقم L17 به‌میزان ۱/۷۲ و ۰/۹۷ کیلوگرم بر مترمکعب بود. در پژوهشی وحدی و همکاران (۱۳۹۸) تأثیر سطوح رژیم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم سویا در ارومیه بررسی کردند و گزارش کردند که با افزایش تنش آبی، صفات عملکرد بیولوژیک و دانه کاهش معنی‌داری یافت، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین مقدار به‌ترتیب در شرایط آبیاری مطلوب و تنش آبی شدید به‌دست آمد. همچنین تنش آبی شدید، عملکرد دانه را نسبت به آبیاری مطلوب در ارقام آنیون، ویلیامز و کلارک به‌ترتیب ۱۱، ۵۴ و ۶۳ درصد کاهش داد و در شرایط آبیاری مطلوب و تنش آبی شدید، بیشترین عملکرد دانه در رقم آنیون حاصل شد. در پژوهشی رستمی اجیرلو و همکاران (۱۳۹۶) چهار سطح آبیاری کامل و تأمین ۸۰، ۷۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی را در ارقام ویلیامز، M9 و زان بررسی نمودند و گزارش کردند که کم‌آبیاری در تمامی سطوح موجب کاهش عملکرد و بهره‌وری آب مصرفی در تمامی ارقام شد و در تیمار آبیاری کامل، بالاترین میزان عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب به‌ترتیب با ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و ۰/۹۵ کیلوگرم بر مترمکعب در رقم ویلیامز بود.

نیتروژن به‌عنوان یک عنصر پرمصرف و به‌علت نقش داشتن در ساخت اسیدهای آمینه، آمیدها، نوکلوپروتئین‌ها، آنزیم‌ها، افزایش رشد سبزینه‌ای و شدت رنگ سبز برگ‌ها و افزایش تولید دانه، مهم‌ترین و ضروری‌ترین عنصر در تغذیه گیاهان است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۴؛ رفیعی و همکاران، ۱۳۹۳). سویا نیاز نیتروژن خود را عمدتاً از طریق نیتروژن بیولوژیکی همزیستی یا با جذب نیتروژن از خاک انجام می‌دهد.

نیتروژن بیولوژیکی به‌طور متوسط، فقط ۵۰ تا ۶۰ درصد از نیتروژن سویا را تأمین می‌کند که تنها برای دستیابی به ۸۰ تا ۹۰ درصد از عملکرد سویا کافی است و هرگونه خلأ بین تقاضای نیتروژن در سویا و تأمین آن توسط گیاه باید از منابع دیگر تأمین شود (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۳؛ کور و همکاران، ۲۰۱۷). ازآنجایی‌که تنش آبی، جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن را تحت تأثیر قرار می‌دهد، برقراری تناسب میان مصرف نیتروژن و میزان آب در خاک ضروری است (زندپارسا و همکاران، ۱۳۹۹؛ گروس و همکاران، ۲۰۱۷). عدم دسترسی به نیتروژن کافی، معمولاً عاملی مهم محدودکننده رشد و عملکرد گیاه است؛ بنابراین، کاربرد استراتژیک کود نیتروژن یک ابزار مدیریتی مهم است که برای افزایش عملکرد استفاده می‌شود. آب و نیتروژن دو عامل مهم و تأثیرگذار بر عملکرد سویا و در نتیجه بهره‌وری آب هستند و آب آبیاری، عامل انتقال نیتروژن و سایر عناصر غذایی است. میزان نیتروژن خاک کاملاً به‌میزان آب آبیاری و میزان مصرف کود نیتروژن وابسته است. نیتروژن در مناطق خشک و نیمه‌خشک نقش بسزایی در افزایش محصول دارد و در دسترس بودن نیتروژن می‌تواند بر میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ تأثیر بگذارد، اما اغلب دلیل اصلی تأثیر زیاد نیتروژن اضافی بر رشد محصول این است که سطح برگ در هر بوته افزایش یافته و در نتیجه سطح برگ در واحد سطح زمین افزایش می‌یابد که منجر به افزایش فتوسنتز محصول می‌شود. برهم‌کنش آب و نیتروژن از اهمیت بالایی برخوردار است و در شرایط تنش، با مصرف کود نیتروژن (نسبت به شرایط بدون مصرف کود)، افزایش تبخیر و تعرق محسوس است. زند پارسا و همکاران، (۱۳۹۹) بیان کردند که استفاده از نیتروژن موجب افزایش ماده خشک و دانه در گندم می‌شود و علاوه بر آن، باعث تسریع رشد سبزینه‌ای، افزایش بخش هوایی گیاه و افزایش تبخیر-تعرق می‌گردد و در شرایط تنش خشکی، موجب بیشتر شدن توان جذب آب از اعماق خاک می‌شود.

مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سامانه‌ای تحت عنوان نیاز آبی گیاهان کشور را ارائه نمود که توانایی برآورد و تعیین نیاز آبی، آب مصرفی و برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان زراعی و باغی را در سطح منطقه، شهرستان، حوضه آبریز و دشت دارد. این سامانه چند هسته‌ای بوده و دارای بانک‌های اطلاعاتی منحصر به‌فرد در مقیاس ملی است که بر اساس جدیدترین روش‌های علمی، آب مصرفی را در سطوح مختلف کشت تخمین زده و آن را در اختیار بهره‌برداران قرار می‌دهد. این سامانه قابلیت به‌روزرسانی داشته و تمامی اطلاعات و بانک‌های معرفی شده به‌صورت مستمر به هنگام می‌شوند (ابراهیمی‌پاک و همکاران، ۱۴۰۱). پژوهشگران متعددی، سامانه نیاز آب را در گیاهان مختلف با مدیریت‌های متفاوت آبیاری مورد بررسی قرار دادند. به‌طوری‌که در پژوهشی عبدزادگوهری و همکاران، (۱۴۰۱) مدیریت آبیاری شامل دیم و تأمین ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی را برای دو رقم بادام‌زمینی با استفاده از سامانه نیاز آب کشور بررسی نمودند و نتایج آن‌ها نشان داد که بیشترین تبخیر و تعرق در ارقام مورد بررسی با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی واقعی گیاه در سال‌های ۹۶ و ۹۷ بین ۴۳۹ و ۵۲۴ میلی‌متر متغیر بود و مقادیر خطای نسبی برای شرایط اندازه‌گیری و برآورد شده بین ۱/۷۶- و ۴۶/۷۰- درصد قرار داشت. در پژوهشی دیگر، صداقت و همکاران (۱۴۰۱) به ارزیابی تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش‌های داده‌کاوی و مقایسه آن با نتایج سامانه نیاز آب در استان قزوین پرداختند و برآورد مناسب سامانه نیاز آب و همچنین میانگین دمای هوای روزانه را مهم‌ترین پارامتر هواشناسی تأثیرگذار در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع گزارش کردند. با توجه به محدودیت منابع آبی کشور، دقت و صرفه‌جویی در مصرف آب به‌ویژه در بخش کشاورزی که حجم زیادی از آب مصرفی را به خود اختصاص داده است، امری اجتناب‌ناپذیر است، ازاین‌رو برآورد نیاز آبی و تعیین مقدار آب واقعی گیاه، از عوامل مهم در مدیریت آب در کشاورزی است. لذا هدف از این مطالعه، بررسی سامانه نیاز آب در تعیین مقدار آب آبیاری گیاه سویا رقم ویلیامز بر اساس حل معکوس تابع تولید عملکرد در شرایط تنش آبی است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌منظور استفاده از سامانه نیاز آب (شامل روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس) در تعیین مقدار واقعی آب آبیاری گیاه سویا رقم ویلیامز بر اساس حل معکوس تابع تولید عملکرد انجام شد. تیمارهای آزمایشی در این پژوهش شامل بدون کود (N_1) و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (N_2) تحت مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری در شرایط ۱۰۰ (I_4)، ۸۰ (I_3)، ۶۰ (I_2) و ۴۰ (I_1) درصد نیاز آبی بود که به‌صورت اسپلیت پلات و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در استان هرمزگان و در شهرستان حاجی‌آباد با عرض جغرافیایی ۵۵ درجه و ۵۵ دقیقه و طول جغرافیایی ۲۸ درجه و ۱۸ دقیقه با ارتفاع متوسط ۱۱۹۶ متر از سطح دریا در سال‌های زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ اجرا گردید. داده‌های هواشناسی دوره مورد مطالعه از ایستگاه هواشناسی حاجی‌آباد دریافت شد (جدول ۱). قبل از اجرای آزمایش، از عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک برای تعیین مشخصات خاک نمونه‌برداری گردید (جدول ۲). رقم کشت‌شده در این تحقیق ویلیامز بود. در اواسط اردیبهشت، زمین محل آزمایش برای از بین بردن کلوخه‌ها دیسک زده شد و تاریخ کاشت سویا ۳۰ اردیبهشت‌ماه بود. قبل از کشت نیز، بذر در قارچ‌کش کربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضدعفونی شد و در عمق سه سانتی‌متری خاک‌کشت گردید. بر اساس آزمون خاک، در ابتدای فصل کشت، ۵۰ کیلوگرم کود فسفر (سوپرفسفات‌تریپل) و ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاسیم (سولفات‌پتاسیم) استفاده گردید. مصرف کود نیتروژن در سه نوبت و به‌طور یکسان در مرحله قبل از کشت، سه هفته بعد از کشت و در ابتدای گلدهی، به خاک داده شد. در مرحله داشت، سه مرحله وجین جهت کنترل علف‌هرز در طی سه مرحله انجام پذیرفت. پس از رسیدگی گیاه، اقدام به‌اندازه‌گیری عملکرد و بهره‌وری مصرف آب شد. روش آبیاری استفاده‌شده در این تحقیق از نوع آبیاری جوی‌پشته‌ای بود. فاصله بین دو ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین گیاهان در هر ردیف پنج سانتی‌متر بود. برای تعیین تبخیر و تعرق در تیمارهای آبیاری، از شاخص تخلیه رطوبتی خاک و روش بیلان رطوبت استفاده شد (رابطه ۱) و نیاز آبی گیاه به‌عنوان تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری در نظر گرفته شد و سایر تیمارهای آبیاری، درصدی از این میزان منظور گردید. برای دستیابی به تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری، رطوبت خاک در عمق ریشه گیاه، با احتساب راندمان ۹۰ درصد به‌نحوی محاسبه گردید که رطوبت خاک تا عمق ریشه به‌حد ظرفیت مزرعه برسد (رابطه ۲). مدت زمان آبیاری بر اساس رسیدن آب به جبهه رطوبتی در اطراف عمق ریشه گیاه بود.

$$ETc = I + P - D - R \pm \Delta S \quad (۱)$$

$$d_n = (\theta_{Fc} - \theta_i).\rho_b.D_r \quad (۲)$$

θ_{Fc}: درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی. θ_i: درصد وزنی رطوبت موجود در خاک. ρ_b: جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب). D_r: ارتفاع مؤثر ریشه (سانتی‌متر). تعیین رطوبت لایه‌های مختلف خاک به‌روش وزنی انجام شد. اندازه‌گیری مقدار آب تحویلی به هر واحد آزمایشی با کنتور انجام شد. میزان آب مصرفی در طول دوره رشد گیاه از مجموع آب آبیاری و مقدار بارندگی مؤثر تأمین شد (جدول ۳). برای اجرای صحیح نمونه‌برداری و حذف اثرات حاشیه‌ای، بوته‌های ردیف کناری و نیز بوته‌های واقع‌شده در ابتدا و انتهای کرت‌ها در نظر گرفته نشدند. برای تعیین عملکرد، ۱۲ بوته به‌طور تصادفی انتخاب گردید. سپس غلاف‌ها، برگ‌ها و ساقه‌ها از گیاه جدا و در داخل آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت گذاشته شدند. بعد از خشک شدن، نمونه‌ها به‌وسیله ترازوی دقیق یک صدم توزین، سپس به واحد کیلوگرم در هکتار تبدیل گردید. بهره‌وری فیزیکی آب سویا بر مبنای تبخیر و تعرق، با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (لاوسون و سادراس، ۲۰۱۳).

$$WP = Y/ET \quad (۳)$$

که در آن: Y عملکرد دانه سویا (کیلوگرم در هکتار) و ET بیانگر تبخیر و تعرق کل (میلی‌متر) در طول فصل رشد است.

جدول ۱- برخی از خصوصیات هواشناسی منطقه مورد مطالعه در طول دوره رشد

ماه‌های مورد مطالعه	اردیبهشت		خرداد		تیر		مرداد		شهریور	
سال	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۴۰۰
بارندگی (میلی‌متر)	۳۱/۳	۳۲/۸	۸/۵	۹/۵	۳۰/۰	۳۰/۵	۱۵/۱	۱۲/۳	۱	۰
متوسط رطوبت نسبی (درصد)	۴۱/۴	۴۰/۲	۳۲/۲	۳۳/۳	۳۱/۳	۳۰/۲	۳۶/۵	۳۵/۷	۲۴/۹	۲۵/۴
سرعت باد (متر بر ثانیه)	۱/۸۸	۱/۹۸	۱/۸۰	۱/۹۳	۲/۰	۲/۰۸	۱/۹۹	۲/۲۶	۲/۷۰	۲/۸۱
حداکثر دما (سانتی‌گراد)	۳۹/۰	۳۸/۴	۴۶/۶	۴۵/۵	۴۴	۴۴/۶	۴۵	۴۴/۵	۴۲	۴۱/۶
حداقل دما (سانتی‌گراد)	۱۲/۱	۱۱/۲	۱۷/۵	۱۶/۸	۲۱	۲۰	۲۳	۲۲	۱۵	۱۴/۷
تبخیر از تشتک (میلی‌متر در روز)	۶/۹	۶/۷	۱۲/۴	۱۱/۹	۱۳/۶	۱۳/۱	۱۲/۱	۱۲	۱۱/۴	۱۱/۰

جدول ۲- خصوصیات مربوط به خاک در مزرعه آزمایشی

عمق خاک (سانتی-متر)	هدایت الکتریکی (dS/m)	درصد کربن آلی	درصد نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	بافت خاک
۳۰-۰	۱/۹	۰/۴۸۴	۰/۰۳۱	۴/۰۳	۱۰۵	۸	۳۲	۶۰	لومی شنی
۶۰-۳۰	۱/۸	۰/۳۲۹	۰/۰۳۵	۳/۳۶	۱۳۱	۱۰	۳۵	۵۵	لومی شنی

میزان ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی در عمق ۰-۳۰ به ترتیب ۱۸/۱ و ۷ درصد و در عمق ۳۰-۶۰ به ترتیب ۲۰/۲ و ۸/۱ درصد بود

جدول ۳- مقدار آب مصرفی در مدیریت‌های مختلف آبیاری

مدیریت آبیاری	سال ۱۳۹۹	سال ۱۴۰۰
۴۰ درصد نیاز آبی	۲۶۴/۶	۲۵۹/۰
۶۰ درصد نیاز آبی	۳۵۴/۱	۳۴۷/۰
۸۰ درصد نیاز آبی	۴۴۳/۶	۴۳۵/۰
۱۰۰ درصد نیاز آبی	۵۳۳/۲	۵۴۰/۸

در سامانه نیاز آب، میزان تبخیر و تعرق بر اساس عملکرد پتانسیل و واقعی از روش‌های ریس (۲۰۰۴)، تافته (۲۰۱۴) و پاسکوئله بر مبنای فائو ۶۶ از پژوهش ریس (۲۰۱۷) استفاده شد که به‌ترتیب در روابط ۳، ۴ و ۵ ارائه شده است. هر سه‌روش ارزیابی، حساسیت محصول را بر روی بازه‌ها و توان‌های مختلف بررسی می‌کنند.

$$\frac{y_a}{y_m} = \prod_{j=1}^{n}\left[1 - k_{yi}\left(1 - \frac{ET_{a,j}}{ET_{m,j}}\right)\right]^{\frac{\Delta t_i}{L_i}} \quad (۳)$$

$$\frac{y_a}{y_m} = \prod_{j=1}^{n}\left[1 - k_{yi}\left(1 - \frac{ET_{a,j}}{ET_{m,j}}\right)\right]^{\frac{k_{yi}}{\sum_{i=1}^{n} k_{yi}}} \quad (۴)$$

$$y_a = \sum_{i}^{n} Bi \times HI \quad , \quad Bi = \left(\frac{ET_{ai}}{ET_{mi}}\right) \times \sum_{1}^{n} ET_{ai} \quad (۵)$$

که در آن: y_a و y_m به‌ترتیب عملکرد واقعی و حداکثر عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)، K_{yi} ضریب واکنش عملکرد محصول به آب، $ET_{a,j}$ و $ET_{m,j}$ به‌ترتیب تبخیر و تعرق واقعی و تبخیر و تعرق استاندارد در زمان j، Δ_{tj} بازهٔ زمانی موردنظر (روز) و L_i طول کل دوره رشد است. در معادله پاسکوئله، n شماره روز پس از کشت، (B_i) مقدار زیست‌توده در هر بازه و (HI) شاخص برداشت محصول است. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده، در انتهای فصل زراعی از نرم‌افزار MSTATC برای مقایسه میانگین داده‌ها و از نرم‌افزار Excel برای رسم نمودارها استفاده شد. در تکنیک حل معکوس تابع تولید، مقادیر عملکرد برای هر تیمار به سامانه وارد می‌شود و متناسب با آن، مقادیر تبخیر و تعرق به‌دست آید. سپس با مقادیر به‌دست آمده از مزرعه مقایسه می‌گردد. برای ارزیابی نتایج سامانه با داده‌های مزرعه‌ای، از روابط ۶ تا ۱۱ استفاده شد.

$$MRE = \frac{O_i - P_i}{O_i} \times 100 \quad (۶)$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2\right)} \quad (۷)$$

$$RMSE_n=[(\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2/n)^{0.5}/\overline{O}]\times 100 \quad (۸)$$

$$EF=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i-P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\overline{O})^2} \quad (۹)$$

$$R^2=\frac{\left(\sum_{i=1}^{n}(P_i-\overline{P})(O_i-\overline{O})\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}(P-\overline{P})^2\sum_{i=1}^{n}(O_i-\overline{O})^2} \quad (۱۰)$$

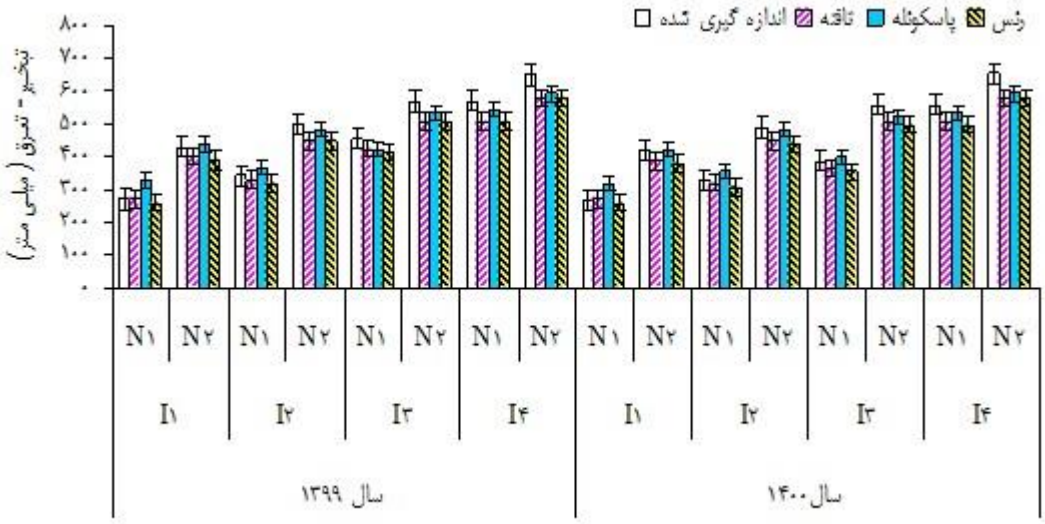
$$d=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i-\overline{O}|+|O-\overline{O})^2} \quad (۱۱)$$

که در آن: MRE میانگین خطای نسبی، RMSE ریشه میانگین مربعات خطا، $RMSE_n$ ریشه میانگین مربعات خطای نرمال، EF ضریب کارایی مدل، d شاخص توافق یا سازگاری و R^2 ضریب تبیین است. پارامترهای O، P، $\overline{O}$ و n به‌ترتیب داده مشاهده‌شده، برآورد شده و میانگین داده‌های مشاهده‌ای و تعداد مشاهدات است. در ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده، اگر مقادیر MRE و RMSE به‌صفر و مقادیر d، EF و R^2 به یک نزدیک‌تر باشند، نشان‌دهنده این مطلب است که مدل شبیه‌سازی را بهتر انجام داده است. اگر ریشه میانگین مربعات خطای نرمال، کمتر از ۱۰ درصد باشد شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد متوسط و بالاتر از ۳۰ درصد، ضعیف برآورد شده است (جامیسون و همکاران، ۱۹۹۱). میزان ضریب کارایی و میزان شاخص توافق یا سازگاری بین منفی بی‌نهایت تا مثبت یک متغیر است و هرچه میزان آن به‌یک نزدیکتر باشد، مدل دارای کارایی بهتر و مقادیر شبیه‌سازی‌شده قابل اطمینان‌تر است (ویلموت و همکاران، ۱۹۸۲).

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که با مصرف آب تا تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، تبخیر و تعرق در سویا روند صعودی داشت. از طرفی، میزان تبخیر و تعرق برآورد شده توسط سامانه نیاز آب (شامل روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس) با شرایط اندازه‌گیری شده، دارای روندی مشابه بود (شکل ۱). برآورد مقادیر تبخیر و تعرق در تیمارهای مختلف آبیاری در سال‌های مورد مطالعه با استفاده از روش‌های موجود در سامانه نیاز آب و روش حل معکوس تابع تولید نشان داد که میزان تبخیر و تعرق در طول دوره رشد گیاه مقدار ثابتی نیست و شرایط مدیریت آبیاری و کود نیتروژن بر میزان تبخیر و تعرق تأثیرگذار است. بیشترین تبخیر و تعرق در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن رخ داد، به‌طوری‌که در حالت اندازه‌گیری شده و روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس، میزان تبخیر و تعرق در سال اول به‌ترتیب ۶۵۰/۳، ۵۷۹/۷، ۵۹۱/۷ و ۵۷۹/۷ میلی‌متر و در سال دوم به‌ترتیب ۶۵۴/۴، ۵۷۹/۷، ۵۹۱/۷ و ۵۷۹/۷ میلی‌متر بود و میانگین خطای نسبی در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس در سال اول به‌ترتیب ۷/۴۹، ۷/۳۲ و ۹/۱۴ درصد و در سال دوم به‌ترتیب ۶/۴۷، ۶/۷۴ و ۹/۰۶ درصد بود (جدول ۴). بهره‌وری فیزیکی آب در سال اول و دوم در شرایط اندازه‌گیری شده، روش تافته، پاسکوئله و ریس در تیمار آبیاری ۱۰۰ نیاز آبی و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در سال ۱۳۹۹ با عملکرد دانه ۳۰۱۴ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب ۰/۴۶، ۰/۵۲، ۰/۵۱ و ۰/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب و در سال ۱۴۰۰ با عملکرد دانه ۲۲۸۳ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب ۰/۵۱، ۰/۵۴، ۰/۵۰، ۰/۵۶ کیلوگرم بر مترمکعب بود. میانگین خطای نسبی در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس برای مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده بهره‌وری فیزیکی آب در تیمارهای مختلف آبیاری و کود نیتروژن در سال اول به‌ترتیب ۸/۲۳، ۷/۰۸ و ۱۰/۰۸ درصد و در سال دوم به‌ترتیب ۷/۱۰، ۶/۴۵ و ۱۰/۰۷ درصد بود (جدول ۵). احسانی و همکاران (۱۳۹۱) و عبدزادگوهری و همکاران (۱۴۰۱) گزارش کردند که در طول دوره رشد گیاه، میزان تبخیر و تعرق مقدار ثابتی نیست و علاوه بر این، شرایط محیطی نیز بر میزان تبخیر و تعرق مؤثر است. به‌عبارتی، شدت تبخیر و تعرق از سطح خاک به‌علت سطح کم پوشش گیاهی در مراحل ابتدایی بالا بوده و پس از آن به‌مرور زمان میزان تبخیر از سطح خاک به‌علت توسعه پوشش گیاهی کاهش می‌یابد. ابراهیمی‌پاک و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی مدیریت‌های مختلف آبیاری را در گندم با استفاده از سامانه نیاز آب بررسی نمودند و گزارش کردند که عملکرد دانه دارای ریشه میانگین خطای

نرمال ۰/۱۷ درصد و ضریب توافق ۰/۹۵ بود و در راندمان کاربرد آب آبیاری، ریشه میانگین خطای نرمال ۰/۱۹ درصد و ضریب توافق ۰/۹۳ برآورد شد که ضریب کارایی نشان‌دهنده نتایج قابل‌قبول در تعیین مقدار آب آبیاری در سطح مزرعه است.



شکل ۱- تبخیر و تعرق برآورد شده یا استفاده از سامانه و اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف آبیاری و کود نیتروژن (I_1)، (I_2)، (I_3) و (I_4) به‌ترتیب شامل ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و (N_1) و (N_2) مقادیر کود نیتروژن شامل صفر و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار

جدول ۴- تبخیر و تعرق برآورد شده با استفاده از سامانه و اندازه‌گیری شده و مقادیر درصد خطای نسبی

سال‌ها	تیمارها	تبخیر و تعرق (میلی‌متر)				درصد خطای نسبی در تبخیر و تعرق		
		اندازه‌گیری شده	روش تافته	روش پاسکوئله	روش ریس	روش تافته	روش پاسکوئله	روش ریس
۱۳۹۹	I_1N_1	۲۷۲/۵	۲۶۹/۹	۳۲۹/۴	۲۵۸/۱	۰/۹	۲۰/۹	۵/۳
	I_1N_2	۴۲۸/۳	۴۰۰/۶	۴۳۶/۳	۳۸۸/۸	۶/۵	۱/۹	۹/۲
	I_2N_1	۳۴۲/۰	۳۲۹/۴	۳۶۵/۰	۳۱۷/۵	۳/۷	۶/۷	۷/۲
	I_2N_2	۴۹۷/۲	۴۴۸/۱	۴۸۳/۸	۴۴۸/۱	۹/۹	۲/۷	۹/۹
	I_3N_1	۴۵۷/۰	۴۲۴/۴	۴۲۴/۴	۴۱۲/۵	۷/۱	۷/۱	۹/۷
	I_3N_2	۵۶۶/۴	۵۰۷/۷	۵۳۱/۷	۵۰۷/۷	۱۰/۴	۶/۱	۱۰/۴
	I_4N_1	۵۶۷/۳	۵۰۷/۷	۵۴۳/۷	۵۰۷/۷	۱۰/۵	۴/۲	۱۰/۵
	I_4N_2	۶۵۰/۳	۵۷۹/۷	۵۹۱/۷	۵۷۹/۷	۱۰/۹	۹/۰	۱۰/۹
میانگین سال اول		۴۷۲/۶	۴۳۳/۴	۴۶۳/۲	۴۲۷/۵	۷/۴۹	۷/۳۲	۹/۱۴
۱۴۰۰	I_1N_1	۲۶۵/۶	۲۶۹/۹	۳۱۷/۵	۲۵۸/۱	۱/۶	۱۹/۶	۲/۸
	I_1N_2	۴۲۰/۴	۳۸۸/۸	۴۲۴/۴	۳۷۶/۹	۷/۵	۱/۰	۱۰/۳
	I_2N_1	۳۲۹/۲	۳۱۷/۵	۳۵۳/۱	۳۰۵/۶	۳/۶	۷/۳	۷/۲
	I_2N_2	۴۸۸/۵	۴۴۸/۱	۴۸۳/۸	۴۳۶/۳	۸/۳	۱/۰	۱۰/۷
	I_3N_1	۳۸۴/۳	۳۶۵/۰	۴۰۰/۶	۳۵۳/۱	۵/۰	۴/۲	۸/۱
	I_3N_2	۵۵۶/۲	۵۰۷/۷	۵۱۹/۷	۴۹۵/۷	۸/۷	۶/۶	۱۰/۹
	I_4N_1	۵۵۷/۵	۵۰۷/۷	۵۳۱/۷	۴۹۵/۷	۸/۹	۴/۶	۱۱/۱
	I_4N_2	۶۵۴/۴	۵۷۹/۷	۵۹۱/۷	۵۷۹/۷	۱۱/۴	۹/۶	۱۱/۴
میانگین سال دوم		۴۸۴/۴	۴۲۳/۰	۴۵۲/۸	۴۱۲/۶	۶/۴۷	۶/۷۴	۹/۰۶

شامل تأمین ۴۰ (I_1)، ۶۰ (I_2)، ۸۰ (I_3) و ۱۰۰ (I_4) درصد نیاز آبی و مقادیر کود نیتروژن شامل صفر (N_1) و ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار (N_2)

جدول ۵- مقادیر درصد خطای نسبی و میزان عملکرد، آب مصرفی و بهره‌وری فیزیکی آب در شرایط اندازه‌گیری شده و برآورد شده با سامانه

سال‌ها	تیمارها	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	آب مصرفی	بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم بر مترمکعب)				درصد خطای نسبی بهره‌وری فیزیکی آب		
				اندازه‌گیری شده	روش تافته	روش پاسکوئله	روش ریس	روش تافته	روش پاسکوئله	روش ریس
۱۳۹۹	I_1N_1	۱۵۸۶g	۲۶۸/۷	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۴۸	۰/۶۱	۰/۹۵	۱۷/۲۸	۵/۵۷
	I_1N_2	۲۱۷۵d	۳۹۹/۵	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۵۰	۰/۵۶	۶/۹۲	۱/۸۳	۱۰/۱۷
	I_2N_1	۱۸۴۹f	۳۲۸/۲	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۵۱	۰/۵۸	۳/۸۳	۶/۳۰	۷/۷۲
	I_2N_2	۲۴۳۵c	۴۷۰/۸	۰/۴۹	۰/۵۴	۰/۵۰	۰/۵۴	۱۰/۹۶	۲/۷۸	۱۰/۹۶
	I_3N_1	۲۲۸۳d	۴۳۵/۲	۰/۵۰	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۵	۷/۶۸	۷/۶۸	۱۰/۷۹
	I_3N_2	۲۶۹۷b	۵۳۰/۳	۰/۴۸	۰/۵۳	۰/۵۱	۰/۵۳	۱۱/۵۶	۶/۵۳	۱۱/۵۶
	I_4N_1	۲۷۰۰b	۵۳۰/۷	۰/۴۸	۰/۵۳	۰/۵۰	۰/۵۳	۱۱/۷۳	۴/۳۳	۱۱/۷۳
	I_4N_2	۳۰۱۴a	۶۰۲/۳	۰/۴۶	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۲	۱۲/۱۸	۹/۹۰	۱۲/۱۸
میانگین سال اول		۲۳۴۲	۴۴۵/۷	۰/۵۰	۰/۵۴	۰/۵۱	۰/۵۵	۸/۲۳	۷/۰۸	۱۰/۰۸
۱۴۰۰	I_1N_1	۱۵۶۰g	۲۴۴/۸	۰/۵۹	۰/۵۸	۰/۴۹	۰/۶۰	۱/۶۱	۱۶/۳۶	۲/۸۹
	I_1N_2	۲۱۴۵d	۳۷۵/۸	۰/۵۱	۰/۵۵	۰/۵۱	۰/۵۷	۸/۱۳	۰/۹۴	۱۱/۵۴
	I_2N_1	۱۸۰۰f	۲۹۲/۵	۰/۵۵	۰/۵۷	۰/۵۱	۰/۵۹	۳/۶۹	۶/۷۷	۷/۷۲
	I_2N_2	۲۴۰۲c	۴۲۳/۴	۰/۴۹	۰/۵۴	۰/۵۰	۰/۵۵	۹/۰۲	۰/۹۸	۱۱/۹۷
	I_3N_1	۲۰۰۹e	۳۴۰/۰	۰/۵۲	۰/۵۵	۰/۵۰	۰/۵۷	۵/۳۰	۴/۰۶	۸/۸۵
	I_3N_2	۲۶۵۸b	۴۸۲/۹	۰/۴۸	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۴	۹/۵۶	۷/۰۳	۱۲/۲۱
	I_4N_1	۲۶۶۳b	۴۸۲/۹	۰/۴۸	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۵۴	۹/۸۱	۴/۸۵	۱۲/۴۷
	I_4N_2	۳۰۲۹a	۵۶۶/۲	۰/۴۶	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۲	۱۲/۸۹	۱۰/۶	۱۲/۸۹
میانگین سال دوم		۲۲۸۳	۴۰۱/۱	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۵۰	۰/۵۶	۷/۱۰	۶/۴۵	۱۰/۰۷

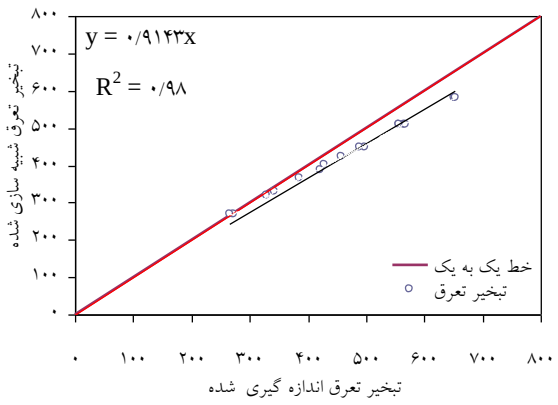
شامل تأمین ۴۰ (I_1)، ۶۰ (I_2)، ۸۰ (I_3) و ۱۰۰ (I_4) درصد نیاز آبی و مقادیر کود نیتروژن شامل صفر (N_1) و ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار (N_2). حروف مختلف بعد از اعداد در ستون مشاهده‌ای، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است ($p < 0.01$)

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای تبخیر و تعرق روزانه در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس به‌ترتیب ۴۳، ۳۵ و ۴۹ میلی‌متر در روز و کمترین ریشه میانگین مربعات خطای نرمال ($RMSE_n$) به‌ترتیب با ۰/۰۹۳، ۰/۰۷۶ و ۰/۱۰۵ درصد مشاهده شد. شاخص توافق یا سازگاری (d) در روش تافته، پاسکوئله و ریس به‌ترتیب با ۰/۹۶، ۰/۹۷ و ۰/۹۵ درصد و ضریب کارایی (EF) مدل به‌ترتیب با ۰/۸۷۸، ۰/۹۱ و ۰/۸۳ بود (جدول ۶). نتایج مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از سامانه نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده با استفاده از سامانه به‌خط یک‌به‌یک نزدیک بود و مقادیر ضریب تبیین در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس به‌ترتیب ۰/۹۸، ۰/۸۷ و ۰/۹۹ درصد است (شکل‌های ۲ تا ۴). ارتباط مناسب و مقادیر بالای ضریب تبیین در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس را ابراهیمی‌پاک و همکاران (۱۳۹۸) در گیاه کلزا گزارش نمودند. عبدزادگوهری و همکاران (۱۴۰۱) ارقام بادام‌زمینی را در سامانه نیاز آب بررسی کردند و بیان نمودند که مقدار ضریب تبیین در ارقام مختلف بین ۰/۶۵ و ۰/۶۴، ریشه میانگین مربعات خطا بین ۵۲/۶۰ و ۵۲/۲۴ و میانگین انحراف خطا بین ۱۵/۵۳ و ۱۵/۰۳ متغیر بود و شاخص توافق مدل به‌ترتیب بین ۰/۹۵ و ۰/۹۸ و ضریب کارایی بین ۹۵ و ۹۸ درصد قرار داشت که نشان‌دهنده برآورد مناسب مقدار واقعی آب آبیاری توسط سامانه نیاز آب بود. در پژوهشی امداد و همکاران (۱۴۰۱) تیمارهای تخلیه رطوبتی را بر اساس ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد در مراحل مختلف رشد بر روی گیاه کینوا، با مدل‌های آکواکراپ و سامانه نیاز آب بررسی نمودند و گزارش کردند که در شاخص‌های آماری مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده و تخمین زده‌شده، برای ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای مدل آکواکراپ و سامانه نیاز آب به‌ترتیب ۹ و ۶ درصد و همچنین ضریب کارایی برای مدل و سامانه حدود ۰/۹۸ بود که بیانگر دقت و

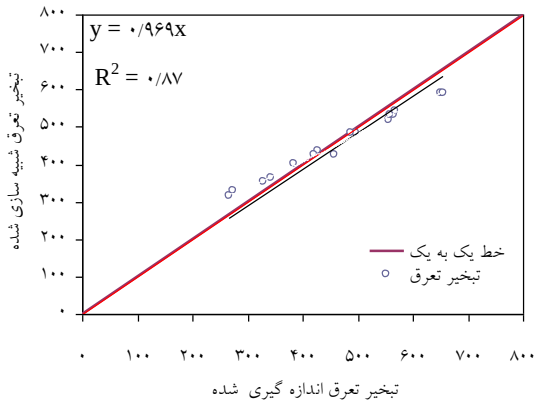
همخوانی نتایج با شرایط اندازه‌گیری شدهٔ تبخیر و تعرق است. جعفری نجف‌آبادی و همکاران (۱۴۰۱) در تحقیقی تعیین نیاز آبی و آب کاربردی فلفل‌دلمه‌ای در گلخانه را در تیمارهای آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه بررسی و با سامانه نیاز آب مورد مقایسه قرار دادند که نتایج شاخص‌های آماری RMSE، $RMSE_n$، d و EF به‌ترتیب برابر با ۳۸/۵۵، ۰/۲۱، ۰/۹۹ و ۰/۹۵ بود.

جدول ۶- نتایج آنالیز آماری تبخیر و تعرق با توابع تولید موجود در سامانه نیاز آب

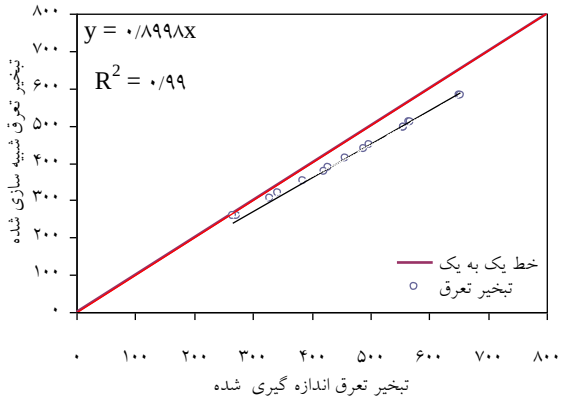
روش‌های سامانه	RMSE (mm/day)	$RMSE_n$ (%)	d (%)	EF (%)
روش تافته	۴۳	۰/۰۹۳	۰/۹۶	۰/۸۷
روش پاسکوئله	۳۵	۰/۰۷۶	۰/۹۷	۰/۹۱
روش ریس	۴۹	۰/۱۰۵	۰/۹۵	۰/۸۳



شکل ۲- مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری و برآورد شده توسط سامانه با استفاده از روش تافته و همکاران، ۲۰۱۴



شکل ۳- مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری و برآورد شده توسط سامانه با استفاده از روش پاسکوئله و همکاران، ۲۰۱۷



شکل ۴- مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط سامانه با استفاده از روش ریس و همکاران، ۲۰۰۴

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تبخیر و تعرق و میزان آب مصرفی گیاه سویا بر اساس حل معکوس تابع تولید بررسی گردید و با داده‌های سامانه نیاز آب که شامل روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین تبخیر و تعرق در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن بود، به‌طوری‌که در شرایط اندازه‌گیری شده و روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس، میزان تبخیر و تعرق در سال اول به‌ترتیب ۶۵۰/۳، ۵۷۹/۷، ۵۹۱/۷ و ۵۷۹/۷ میلی‌متر و در سال دوم به‌ترتیب ۶۵۴/۴، ۵۷۹/۷، ۵۹۱/۷ و ۵۷۹/۷ میلی‌متر بود. نتایج میزان تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده

حاکی از آن بود که مقادیر حاصله به‌خط یک‌به‌یک نزدیک بوده و میزان ضریب تبیین در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس به‌ترتیب ۰/۹۸، ۰/۸۷ و ۰/۹۹ درصد را نشان داد. به‌طورکلی و با توجه به‌نتایج آماری و برآورد مناسب بین داده‌های مزرعه‌ای و سامانه نیاز آب در تعیین مقدار مصرف واقعی آب آبیاری، می‌توان از سامانه نیاز آب کشور به‌عنوان یک ابزار مناسب در تخمین آب مصرفی و تصمیم‌گیری در سطوح منطقه‌ای و استانی استفاده نمود.

فهرست منابع

۱. ابراهیمی‌پاک، ن.، اگدرنژاد، ا.، تافته، آ. و احمدی، م. ۱۳۹۸. ارزیابی مدل‌های AquaCrop، WOFOST و CropSyst در شبیه‌سازی عملکرد کلزا در منطقه قزوین. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۳): ۷۱۵-۷۲۶.

۲. ابراهیمی‌پاک، ن.، تافته، آ.، حسینی، ن. و کیخایی، ف. ۱۴۰۱. سامانه نیاز آب. موسسه تحقیقات خاک و آب. (http://niwr.ir).

۳. احسانی، ع.، ارزانی، ح.، فرح‌پور، م. و جعفری، م. ۱۳۹۱. تخمین تبخیر و تعرق با استفاده از داده‌های اقلیمی، ویژگی‌های گیاهی و نرم‌افزار Cropwat 8 (مطالعه موردی: منطقه استپیک استان مرکزی، ایستگاه رودشور). نشریه تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۱۹(۱): ۱-۱۶.

۴. اکبری نودهی، د. ۱۳۹۱. تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و کارایی مصرف آب سویا در مازندران. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۲ (۱): ۱۳-۲۳.

۵. امداد، م.، تافته، آ. و ابراهیمی پاک، ن. ع. ۱۴۰۱. کارایی مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی عملکرد کینوا در مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری. نشریه آب‌وخاک. ۳۶ (۳): ۳۱۹-۳۳۱.

۶. امینی‌فر، ج.، بیگلویی، م.، محسن‌آبادی، غ. و سمیع‌زاده، ح. ۱۳۹۰. تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب در هفت رقم سویا در منطقه رشت. نشریه دانش آب‌وخاک. ۲۱ (۴): ۸۱-۹۱.

۷. جعفری نجف‌آبادی، م.، تافته، ع. و ابراهیمی پاک، ن. ۱۳۹۱. تعیین نیاز آبی و آب مصرفی فلفل دلمه‌ای در گلخانه و مقایسه آن با نتایج سیستم نیاز آبی. نشریه تحقیقات آب‌وخاک ایران. ۵۳ (۸): ۱۸۳۱-۱۸۴۸

۸. حیدری، ح.، بدیعی، ص.، غلامی،ک. و مجیدی‌زاده، ل. ۱۳۹۴. تأثیر کود نیتروژن بر گیاهان. دومین همایش یافته‌های نوین در محیط‌زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی.

۹. رستمی‌اجیرلو، ا.، اصغری‌پور، م.، قنبری، ا.، جودی، م. و خرمی‌وفا، م. ۱۳۹۶. بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد، خصوصیات کیفی و شاخص بهره‌وری مصرف آب ۳ رقم سویا در دشت مغان. نشریه حفاظت منابع آب‌وخاک. ۷ (۱): ۱۱۳-۱۲۵.

۱۰. زندپارسا، ش.، قاسمی سعادت‌آبادی، ف.، مهبد، م. و سپاسخواه، ع. ر. ۱۳۹۹. برآورد بهره‌وری و بازده مصرف آب گندم (رقم شیراز) در مقادیر مختلف کم‌آبیاری و کمبود نیتروژن. نشریه علوم آب‌وخاک. ۲۴ (۲): ۱۸۱-۱۹۵.

۱۱. صداقت، آ.، ابراهیمی پاک، ن.ع.، آرش تافته، آ. و حسینی، ن. ۱۴۰۱. ارزیابی تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش‌های داده‌کاوی و مقایسه آن با نتایج سامانه نیاز آب در استان قزوین. نشریه آب‌وخاک. ۳۶ (۶): ۷۱۱-۷۲۷.

۱۲. عبدزادگوهری، ع.، تافته، آ. و ابراهیمی پاک، ن. ع. ۱۴۰۱. بررسی سامانه نیاز آب در تعیین مقدار واقعی آب آبیاری گیاه بادام‌زمینی بر اساس حل معکوس تابع تولید عملکرد در شرایط تنش آبی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۳ (۱۶): ۴۶۰-۴۷۱.

۱۳. موسوی، س.، خالدیان، م.، اشرف‌زاده، ا. و شاهین‌رخسار، پ. ۱۳۹۴. تأثیر آبیاری محدود در مراحل حساس رشد بر افزایش عملکرد و بهره‌وری آب سه ژنوتیپ سویا در منطقه رشت. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹ (۴): ۴۳۳-۴۴۶.

۱۴. وحدی، ن.، قلی‌نژاد، ا.، منصوری‌فر، س.، غیرتی آرانی، ل. و رحیمی، م. ۱۳۹۸. تأثیر تنش‌آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم سویا. نشریه فن‌آوری تولیدات گیاهی. ۱۱ (۱). ۱۰۳-۱۱۳.

15. Buezo, J., Sanz-Saez, A., Moran, J.F., Soba, D., Aranjuelo, I. and Esteban, R. 2019. Drought tolerance response of high-yielding soybean varieties to mild drought: physiological and photochemical adjustments. Physiologia Plantarum. 166 (1): 88-104.
16. Jamieson, P.D., Porter, J.R. and Wilson, D.R. 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. Field Crops Research. 27: 337-350.
17. Kaur, G., William, I.D., Serson, R., Orlowski, J.M., McCoy, J., Bobby, A., Golden, R. and Bellaloui, N. 2017. Nitrogen Sources and Rates Affect Soybean Seed Composition in Mississippi. Agronomy. 7(77): 1-10.
18. Ober, E.S. and Sharp, R.E. 2003. Electrophysiological responses of maize roots to low water potentials: relationship to growth and ABA accumulation. Journal of Experimental Botany. 54: 813-824.
19. Raes, D. 2004. Budjet: A soil water and salt balance model. Reference Manual. Version 6.0.
20. Raes, D., Steduto, P., Hsiao T.C. and Fereres, E. 2017. Reference manual AquaCrop, FAO, Land and Water Division, Rome. Italy.
21. Sadras, V.O. and Lawsonm, C. 2013. Nitrogen and water-use efficiency of Australian wheat varieties released between 1958 and 2007. European Journal of Agronomy 46:34-41.
22. Siskani, A., Seghatoleslami, M. and Moosavi, G. 2015, January. Effect of deficit irrigation and nano fertilizers on yield and some morphological traits of cotton. International Biological Forum. 7 (1): 1710.
23. Tafteh, A., Babazadeh, H., Ebrahimipak, N.A. and Kaveh, F. 2014. Optimization of irrigation water distribution using the MGA method and comparison with a linear programming method. Irrigation and Drainage. 63(5): 590-598.
24. Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin of American Meteorology Society. 63: 1309-1313.
25. Wu, R., Yang, J. and Wang, L. 2019. Physiological response of flax seedlings with different drought-resistances to drought stress. Acta Agriculturae Boreali-Sinica. 34 (2): 145-153.

مقاله پژوهشی نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۷ / شماره ۲/ ۱۴۰۲. ص۱۷۱- ۱۹۱
https://doi.org/10.22092/jwra.2023.360798.963

بررسی احتمال وقوع مقادیر مختلف تبخیر و تعرق در اقلیم‌ها و تاریخ‌های مختلف کشت برنج در مناطقی غیر از شمال کشور

محمدرضا یزدانی، حدیث صادقی، ابراهیم اسعدی‌اسکویی*، سعیده کوزه‌گران و بهاره دلسوزخاکی

استادیار مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی رشت، ایران.
smryazdany@yahoo.ca
دکتری اقلیم شناسی،گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
hadis.sadeghi@ut.ac.ir
استادیار پژوهشکده اقلیم‌شناسی و تغییر اقلیم، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، مشهد، ایران.
e.asadi.o@gmail.com
دکترای هواشناسی کشاورزی، گروه تحقیقات هواشناسی کاربردی مشهد، ایران.
saeedeh.kouzegaran@mail.um.ac.ir
محقق، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
b_delsooz@yahoo.com

دریافت: آذر ۱۴۰۱ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۲

چکیده

در این پژوهش، تغییرات مقادیر تبخیر و تعرق گیاه برنج در مناطقی غیر از شمال کشور در سه تاریخ کشت متفاوت (زود، به موقع و دیر کاشت) و با چهار احتمال وقوع متفاوت ۷۵٪، ۵۰٪، ۲۵٪ و ۱۰٪ (به ترتیب معرف سال‌های کم تبخیر و تعرق، متوسط، پرتبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق)، با استفاده از معادله پنمن-مانتیث و داده‌های هواشناسی ۱۵ ایستگاه با دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۲۰-۱۹۹۰) بررسی شد. برای احتساب ضریب گیاهی برنج در مراحل مختلف رشد، دوره‌های ۱۰ روزه به صورت میانگین بر اساس مدل احتمالات ویبول برآورد و محاسبه شد. نتایج نشان داد که در تمام این مناطق اقلیمی اتخاذ رویکرد زودکاشت موجب کاهش نیاز آبی در تمام سناریوهای تبخیر و تعرق می‌شود. اتخاذ رویکرد زودکاشت در سال‌های بسیار پر تبخیر و تعرق موجب کاهش نیاز آبی برنج مناطق گرم، سرد و معتدل به ترتیب به میزان ۱۲۵/۹، ۱۱۳/۵ و ۱۱۵ میلیمتر در طول فصل رشد (به طور متوسط ۰/۷ تا ۰/۹ میلی‌متر در روز) نسبت به وضعیت دیرکاشت می‌شود. با این وجود در اقلیم‌های سرد و معتدل تفاوت زیادی بین زود کشت و کشت به موقع و حتی دیر کشت مشاهده نشد. ازاین‌رو، در این مناطق برای فرار از احتمال سرمازدگی دیررس بهتر است از تقویم‌های دیر کشت استفاده شود. مقایسه نتایج میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در تمام تاریخ‌های کاشت و سطوح احتمالاتی مختلف در مناطق اقلیمی سرد، معتدل، گرم و بسیار گرم، نشان داد که بیشترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به منطقه گرم به میزان ۱۰۲۱/۳ میلی-متر بوده و مناطق معتدل و سرد به ترتیب با میزان تبخیر ۷۸۴/۸ و ۷۲۹ میلی‌متر به مراتب میزان تبخیر و تعرق کمتری را نسبت به مناطق گرم دارا می‌باشند. ازاین‌رو به علت کمبود منابع آبی و اثرات منفی تغییرات آب و هوایی در مناطق خشک یا نیمه خشک ایران بهتر است از کشت برنج در مناطق گرم به ویژه در سال‌های پر تبخیر و تعرق اجتناب شود. همچنین بهتر است که در مناطق سرد و معتدل نیز نوع مدیریت آبیاری و طراحی سازه‌ها و سامانه‌های آبی با محاسبات سال‌های پر تبخیر و تعرق متناسب شود.

واژه‌های کلیدی: مدل احتمالات ویبول، ضریب گیاهی برنج ، نیاز خالص آبی

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: e.asadi.o@gmail.com

CC BY

مقدمه

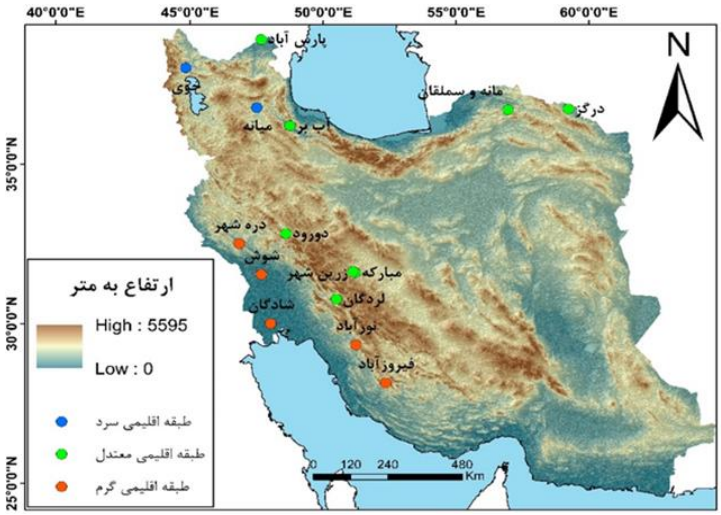
نوسانات اقلیمی تأثیرات قابل‌توجهی بر عملکرد محصولات کشاورزی دارد و در این میان بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، مشخص شده است که با افزایش جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۹/۷ میلیارد نفر، بشر با چالش تأمین مواد غذایی مواجه می‌شود، به‌طوری‌که به ۷۰ تا ۱۰۰ درصد غذای بیشتر نیاز پیدا خواهد کرد (لیلیو و همکاران ۲۰۱۷ و گیدون و همکاران ۲۰۱۷). نظر به اینکه ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان واقع‌شده و در سال‌های اخیر تقاضای آب برای مصارف مختلف به‌ویژه در بخش کشاورزی موجب ایجاد چالش‌های اساسی در تخصیص منابع آبی در این مناطق شده است؛ برآورد نیاز آبی محصولات زراعی می‌تواند نقش اساسی در اجرای پروژه‌های آبی و معرفی مناطق مستعد کشت داشته باشد. برنج (Oryza sativa L.) پس از گندم دومین محصول مهم غذایی جهان و منبع اصلی غذایی بیش از نیمی از جمعیت جهان است که به‌طور گسترده‌ای از عرض ۵۳ درجه شمالی تا ۳۵ درجه جنوبی و از نظر ارتفاع تا ۲۶۰۰ متری از سطح دریا در شرایط متنوع خاک، عمق آب و رژیم‌های دمایی تولید می‌شود (آرونا و همکاران، ۲۰۲۱. امینی و همکاران، ۱۳۹۴). آب برای تولید برنج ضروری است و به‌طور میانگین، برنج دو یا سه برابر بیشتر از هر محصول دیگری به آب نیاز دارد (شرستا و همکاران، ۲۰۱۷). نیاز خالص آبی گیاهان نقشی مهم و اساسی در برنامه‌ریزی مصرف آب در بخش کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده دارد (کاراندیش و همکاران، ۱۳۹۵). نیاز خالص آبی مقدار آبی است که علاوه بر باران مؤثر برای جبران تبخیر-تعرق گیاه نیاز است (ژائو همکاران، ۲۰۱۳). مقدار آب مورد نیاز برنج به‌طور مستقیم به میزان رطوبت تبخیر-تعرق شده از طریق برگ‌ها و خاک وابسته بوده و بر اساس دوره فنولوژیکی و رقم مورد استفاده تغییر می‌کند (اسعدی اسکویی و همکاران، ۱۴۰۰). گیاه برنج در مساحتی حدود ۶۰۰۰۰۰ هکتار در استان‌های مختلف واقع در شمال، جنوب و غرب ایران در شرایط آب و هوایی، خاکی و ارتفاعی متفاوت کشت می‌شود (مدیری و همکاران، ۱۳۹۷. قمرنیا و همکاران، ۱۴۰۰). موقعیت منطقه کشت نقش زیادی بر عملکرد نهایی دارد، به‌طوری‌که بر اساس پژوهش فاطمی و همکاران (۱۴۰۰) مناسب‌ترین ارتفاع برای کشت برنج ارتفاعات کمتر از ۱۰۰۰ متر است، چرا که در این سطوح ارتفاعی خطر خسارت ناشی از سرمازدگی و سرعت باد کمتر است. از سوی دیگر، نگاهی به شاخص میانگین سرانه آب تجدیدپذیر نشان می‌دهد که کشور ایران در سال ۲۰۲۵ از کشورهای با بحران آب خواهد بود، ازاین‌رو تعیین مقدار دقیق تبخیر و تعرق از عوامل اساسی در تعیین زمان و مقدار آب آبیاری برای رسیدن به محصول پایدار است (خالدیان و همکاران، ۱۴۰۰). مطالعات مختلفی در مورد نیاز خالص آبی برنج در سطح محلی و جهانی انجام شده است. احمد و چویی (۲۰۱۸) اثر تغییرات اقلیمی را بر نیاز خالص آبی گندم و برنج را در استان پنجاب پاکستان بررسی نمودند و نشان دادند که افزایش احتمالی دما باعث افزایش نیاز خالص آبی هر دو محصول می‌شود. مدیری و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهش خود به این نتیجه دست یافتند که میزان تبخیر و تعرق برنج در تمام مراحل رشد از شرق سواحل جنوبی دریای خزر (ایستگاه مراوه‌تپه) به سمت غرب آن (ایستگاه آستارا) به استثنای ایستگاه منجیل کاهش می‌یابد. اگرچه کشت برنج به نمادی از استان‌های شمالی به‌ویژه گیلان، مازندران و گلستان تبدیل شده است؛ اما این محصول در ۱۵ استان دیگر نیز کشت می‌شود. در این میان کشت برنج در استان‌های خوزستان، اصفهان و فارس که به قطب جنوبی کشت برنج شهرت دارند، نسبت به استان‌های دیگر بیشتر است. کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری، ایلام، زنجان، کرمانشاه، کردستان، اردبیل، آذربایجان شرقی و غربی هم از استان‌هایی هستند که ارقام مختلف برنج در آنجا کشت می‌شود. استان‌های خراسان شمالی و رضوی هم از تولیدکنندگان محدود این محصول هستند (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۹۶). آستانه بارشی

مطلوب برای کشت برنج به‌طور متوسط ۱۲۰۰ میلی‌متر است و در مناطقی که میزان بارش کمتر از ۷۰۰ میلی‌متر باشد و آب از دیگر منابع تأمین شود، کشت برنج دچار تنش آبی خواهد شد. نیاز زیاد آبی برنج نسبت به دیگر غلات، باعث شده کشت آن در استان‌های غیر از مناطق شمالی ایران (سواحل جنوبی دریای خزر) موضوع بحث نهادهای مجری و سیاست‌گذار باشد. نکته مهم علاقه روزافزون کشاورزان به کشت برنج در استان‌های غیر شمالی به دلیل درآمد بهتر نسبت به محصولات دیگر، امکان فروش زودتر و همچنین و طول دوره کشت کوتاه آن است که در صورت توسعه بیشتر می‌تواند موجب افزایش فشار به منابع آبی محدود این مناطق شود. ازاین‌رو تعیین میزان نیاز خالص آبی گیاه برنج در مناطق مختلف اقلیمی کشت برنج از نظر برنامه‌ریزی مدیریت آبیاری و کشت برنج دارای اهمیت است. در این پژوهش سعی شده است تا مقادیر تبخیر و تعرق گیاه برنج در سطوح احتمالات و تاریخ‌های مختلف کشت در مناطق غیرشمالی ایران برآورد شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

کشور ایران در منطقه جنوب غرب آسیا با مساحت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع بین عرض‌های ۲۵ تا ۴۵ درجه شمالی و طول ۴۴ تا ۶۳ درجه شرقی قرار دارد. ایران، سرزمینی نسبتاً مرتفع و از کوهستان‌های متعدد برخوردار است. ویژگی‌های نسبتاً ثابتی که در آب‌وهوای نواحی مختلف ایران دیده می‌شوند به سبب عرض جغرافیایی، ناهمواری و همسایگی با توده‌های بزرگ آب شکل گرفته‌اند و ویژگی‌های متغیر و بی‌ثبات آن بیشتر ناشی از چگونگی عملکرد سامانه‌های جوی است. نقش ناهمواری‌ها در آرایش نواحی مختلف اقلیمی ایران بسیار اهمیت دارد. میانگین سالانه بارش در ایران ۲۴۵ میلی‌متر است. کمینه و بیشینه بارش دریافتی به ترتیب در مناطق کویری و منطقه بندرانزلی به مقادیر ۵۰ و ۱۵۰۰ میلی‌متر در سال است. در ایران دمای سالانه به‌طور متوسط ۱۸ درجه سلسیوس است و از شرق به غرب و از جنوب به شمال از دمای هوا کاسته می‌شود. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش شامل ۱۵ منطقه با شرایط اقلیمی مختلف است که ارقام مختلف برنج در حال حاضر در آنجا کشت می‌شود (جدول ۱). مجموع عوامل مختلف محلی مانند موقعیت جغرافیایی و توزیع ناهمواری‌ها و همچنین عوامل بیرونی موجب شکل‌گیری تنوع آب و هوایی در این مناطق شده است (شکل ۱). نظر به نقش قابل توجه آب‌وهوا، ایستگاه‌های منتخب در این پژوهش بر اساس نقشه خرد اقلیم کشاورزی ایران (اسعدی اسکویی و همکاران، ۲۰۲۲) در چهار طبقه اقلیمی سرد، معتدل و گرم و بسیار گرم به ترتیب با دمای میانگین سالانه ۱۰ تا ۱۵، ۱۵ تا ۱۸/۵، ۱۸/۵ تا ۲۲ و بیشتر از ۲۲ درجه سانتی‌گراد) واقع شده‌اند (جدول ۱). در هر یک از این مناطق برنج در تاریخ‌های متفاوتی کشت می‌شود و از این‌رو تبخیر و تعرق متفاوتی دارند که در بهره‌برداری از منابع آب شرایط متفاوتی خواهند داشت. داده‌های هواشناسی استفاده شده شامل متغیرهای بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه، سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی برای دوره آماری ۲۰۲۰- ۱۹۹۰ در مقیاس زمانی روزانه از سازمان هواشناسی تهیه شد. تاریخ‌های زود، به موقع و دیرکاشت برنج در هریک از ایستگاه‌های مطالعه شده که از موسسه تحقیقات برنج کشور دریافت شد (جدول ۱).



شکل ۱- موقعیت مناطق مورد مطالعه

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مطالعه شده

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	طبقه اقلیمی	زودکشت		کشت به موقع		دیر کشت	
						تاریخ شروع	تاریخ پایان	تاریخ شروع	تاریخ پایان	تاریخ شروع	تاریخ پایان
۱	آب بر	۴۸/۹۴	۳۶/۹۳	۶۲۴/۷	معتدل نیمه خشک	۲۵	۲۶	۲۵	۶	۲۳ خرداد	۱۱ مهر
۲	درگز	۵۹/۰۶	۳۷/۴۶	۵۱۴	معتدل خشک	۲۵	۲۶	۲۵	۲۱	۲۳ خرداد	۱۱ مهر
۳	دره شهر	۴۷/۴۰	۳/۱۳	۶۷۰	بسیار گرم نیمه مرطوب	۲۶	۲۳	۲۶	۱۸	۲۴ خرداد	۸ مهر
۴	درود	۴۹/۰	۳۳/۵۲	۱۵۲۲/۳	معتدل نیمه مرطوب	۲۸	۳۱	۲۸	۲۶	۲۶ خرداد	۱۶ مهر
۵	فیروز آباد	۵۲/۵۵	۲۸/۸۸	۱۱۷۵/۷	گرم نیمه مرطوب	۲۵	۲۴	۲۵	۱۹	۲۳ خرداد	۹ مهر
۶	خوی	۴۴/۹۹	۳۸/۵۵	۱۱۰۳/۴	سرد خشک	۲۹	۶	۲۹	۱ مهر	۲۷ خرداد	۲۲ مهر
۷	لردگان	۵۰/۸۳	۳۱/۵۰	۱۶۱۱	معتدل نیمه مرطوب	۳۰	۷	۳۰	۲ مهر	۲۸ خرداد	۲۳ مهر
۸	مانه و	۵۶/۸۶	۳۷/۵۰	۸۹۰	معتدل نیمه خشک	۳۰	۳۰	۳۰	۲۵	۲۸ خرداد	۱۵ مهر
۹	میانه	۴۷/۷۰	۳۷/۴۵	۱۱۱۰	سرد نیمه خشک	۲۷	۲۸	۲۷	۲۳	۲۵ خرداد	۱۳ مهر
۱۰	مبارکه	۵۱/۴۵	۳۲/۳۵	۱۶۸۰	معتدل خشک	۲۹	۲۸	۲۹	۲۳	۲۷ خرداد	۱۳ مهر
۱۱	نورآباد	۵۱/۵۳	۳۰/۰۷	۹۷۲	گرم نیمه مرطوب	۲۵	۲۶	۲۵	۲۱	۲۳ خرداد	۱۱ مهر
۱۲	پارس‌آباد	۴۷/۷۷	۳۹/۶۰	۷۲/۶	معتدل نیمه خشک	۲۵	۲۸	۲۵	۲۳	۲۳ خرداد	۱۳ مهر
۱۳	شادگان	۴۸/۶۴	۳۰/۶۵	۳	بسیار گرم خشک	۲۷	۲۶	۲۷	۲۱	۲۵ خرداد	۱۱ مهر
۱۴	شوش	۴۸/۲۳	۳۲/۱۹	۶۵	بسیار گرم نیمه خشک	۲۷	۲۶	۲۷	۲۱	۲۵ خرداد	۱۱ مهر
۱۵	زرین شهر	۵۱/۳۷	۳۲/۳۹	۱۷۱۳/۸	معتدل خشک	۳۰ فروردین	۲ شهریور	۳۰ اردیبهشت	۲۸ شهریور	۲۸ خرداد	۱۸ مهر

نیاز آبی خالص گیاه برنج

تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روابط پنمن-مانتیث فائو (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) تعیین شد (رابطه ۱). این روش نیازمند داده‌های تابش، دما، رطوبت و سرعت باد بوده و در بخش وسیعی از مناطق و اقلیم‌های مختلف برآورد دقیقی از تبخیر و تعرق گیاه مرجع ارائه می‌کند.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (۱)$$

که در آن: ETo تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن(mm.d-1)، Rn تابش خالص در سطح تبخیر و تعرق (MJ.d-1m-2)، G شار حرارتی خاک(MJ.d-1m-2)، Tمیانگین دمای هوا(°C)، es فشار بخار اشباع (kPa)، ea فشار بخار واقعی(kPa)، (es-ea) کمبود فشار بخار اشباع، Δشیب منحنی فشار بخار در مقابل درجه حرارت (kPa°C-1)، γ ثابت سایکرومتری (kPa°C-1)، U2 سرعت باد در ارتفاع دو متری(m.s-1) و kc ضریب گیاهی است.

تبخیر و تعرق گیاه برنج (ETc) با استفاده از رابطه یک جزئی ضریب گیاهی آلن و همکاران (۱۹۹۸) محاسبه شد:

$$ET_{crop} = \sum_{i=1}^{n} kc_i \times ET_{0i} \quad (۲)$$

که در آن: ET_{oi} و Kc_i به ترتیب تبخیر و تعرق مرجع و ضریب گیاهی برای i مین مرحله از مراحل چهارگانه رشد گیاه برنج است. برآورد مراحل فنولوژیکی برنج برحسب تعداد روزهای مراحل چهارگانه شامل مراحل استقرار، توسعه، میانی و پایانی رشد با کمک کارشناسان مؤسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد (جدول ۲). پس از دریافت داده‌های هواشناسی مورد نیاز و استخراج ضرایب گیاهی از نشریه شماره ۵۶ فائو (با اصلاح ضریب مرحله پایانی) در مراحل مختلف رشد، تبخیر و تعرق گیاه برنج در هر ایستگاه در سه تاریخ کشت شامل زودکشت، کشت به‌موقع و دیر کشت در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۹۰-۲۰۲۰) برآورد شد.

شایان توجه است که تغییرات مقادیر تبخیر و تعرق گیاه برنج در سه تاریخ کشت متفاوت و با چهار احتمال وقوع متفاوت ۷۵، ۵۰، ۲۵ و ۱۰ درصد، با استفاده از فرمول احتمال وقوع ویبول (رابطه ۳) در دوره‌های ۱۰ روزه به‌صورت میانگین محاسبه و برآورد شد. این احتمالات معرف سال‌های کم تبخیر و تعرق، نرمال، پر تبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق است، به‌عبارت‌دیگر اعداد برآورد شده در این پژوهش نشان-دهنده حدود احتمالی مقادیر مورد انتظار تبخیر و تعرق در سناریوهای مختلف از کم تا بسیار پر تبخیر و تعرق هستند.

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (۳)$$

که در آن: P احتمال وقوع، m شماره ردیف و n تعداد داده‌ها (ردیف) است. توزیع ویبول یکی از توزیع‌های احتمالاتی است که به‌خوبی می‌توان برای مدل کردن احتمال رخداد پدیده‌هایی با زمان وقوع متفاوت، مانند سال‌های پر تبخیر و تعرق و کم تبخیر و تعرق استفاده نمود. این فرمول نشان می‌دهد که احتمال وقوع برای هر شماره ردیف m تابعی از پارامتر (تبخیر و تعرق) و تعداد داده‌هاست با داشتن پارامترها و تعداد داده‌ها می‌توان احتمال وقوع برای هر شماره ردیف m را محاسبه نمود. P احتمال وقوع رویداد در هر سال و n نشان‌دهنده‌ی تعداد سال‌های بررسی شده است.

محاسبه و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد. آزمون چند دامنه‌ای دانکن یکی از متداول‌ترین آزمون‌ها برای مقایسه‌ی تمام جفت میانگین‌ها بوده و برخلاف LSD و دانت که تنها پس از معنی‌دار بودن F قابل استفاده هستند، آزمون دانکن را همیشه حتی زمانی که F معنی‌دار نیست می‌توان به‌کار برد. در حالتی که میانگین‌های تیماری به هم نزدیک هستند و در طرفین میانگین کل طوری قرار می‌گیرند که اختلاف‌های آن‌ها نسبت به میانگین کل کم باشد، ممکن است این اختلاف‌ها یکدیگر را خنثی کرده و F معنی‌دار نشود، اما در واقع بین کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین میانگین‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشته باشد. در آزمون دانکن تیمارها دو به دو باهم مقایسه می‌شوند و نیازی به وجود شاهد نیست. در این آزمون همچنین نیازی به تکرارهای یکسان نبوده، اما فرض نرمالیتی برقرار باشد (سیلوا و آزودو، ۲۰۱۶؛ ساویل، ۱۹۹۰؛ سوالو، ۱۹۸۴). محاسبات مربوط به مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در نرم‌افزار R انجام و نتایج این آزمون به‌صورت نمودار ارائه شد. در این نمودارها ET1، ET2، ET3 و ET4 به ترتیب نشان‌دهنده سال کم تبخیر و تعرق، نرمال، پر تبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر و تعرق، D1، D2 و D3 به ترتیب نشان‌دهنده زود کاشت، به‌موقع و دیر کاشت و A1، A2 و A3 به ترتیب نشان‌دهنده مناطق گرم نیمه مرطوب تا خشک و نیمه‌خشک، معتدل نیمه‌خشک تا خشک و سرد نیمه‌خشک تا خشک است.

جدول ۲- ضرایب گیاهی و طول دوره رشد (روز) گیاه برنج با روش نشایی (رقم میان‌رس)

ایستگاه	مرحله استقرار بعد از نشاء (ضریب گیاهی: ۰٫۸۵) Kc:0.85			مرحله توسعه گیاه (ضریب گیاهی: ۱٫۱) Kc:1.1			مرحله میانی رشد (ضریب گیاهی: ۱٫۲) Kc:1.2			مرحله پایانی رشد (ضریب گیاهی: ۱٫۱) Kc:1.1			کل فصل رشد (با احتساب دوره خزانه)		
	زود کاشت	کشت به‌موقع	دیر کشت	زود کاشت	کشت به‌موقع	دیر کشت	زود کاشت	کشت به‌موقع	دیر کشت	زود کاشت	کشت به‌موقع	دیر کشت	زود کاشت	کشت به‌موقع	دیر کشت
آب بر	۹	۷	۶	۳۷	۳۳	۳۳	۴۴	۴۳	۴۲	۱۱	۱۱	۹	۱۲۶	۱۲۱	۱۱۳
درگز	۹	۷	۶	۳۵	۳۳	۴۳	۴۵	۴۴	۴۳	۱۲	۱۲	۱۰	۱۲۶	۱۲۱	۱۱۳
دره شهر	۹	۷	۶	۳۵	۳۳	۳۱	۴۲	۴۱	۴۰	۱۰	۱۰	۸	۱۲۲	۱۱۷	۱۰۹
درود	۱۱	۹	۸	۳۳	۳۱	۲۹	۴۶	۴۵	۴۴	۱۰	۱۰	۸	۱۲۸	۱۲۳	۱۱۵
فیروزآباد	۹	۷	۶	۳۴	۳۲	۳۰	۴۶	۴۵	۴۴	۱۰	۱۰	۸	۱۲۴	۱۱۹	۱۱۱
خوی	۱۱	۹	۸	۳۶	۳۴	۳۲	۴۶	۴۵	۴۴	۱۱	۱۱	۹	۱۳۳	۱۲۸	۱۲۰
لردگان	۱۰	۸	۷	۳۷	۳۵	۳۳	۴۵	۴۴	۴۳	۱۱	۱۱	۹	۱۳۳	۱۲۸	۱۲۰
مانه و سملقان	۹	۷	۶	۲۷	۲۵	۲۳	۴۸	۴۷	۴۶	۱۱	۱۱	۹	۱۲۵	۱۲۰	۱۱۲
میانه	۹	۷	۶	۳۵	۳۳	۳۱	۴۴	۴۳	۴۲	۱۱	۱۱	۹	۱۲۶	۱۲۱	۱۱۳
مبارکه	۹	۷	۶	۳۳	۳۱	۲۹	۴۳	۴۲	۴۱	۱۰	۱۰	۸	۱۲۴	۱۱۹	۱۱۱
نورآباد	۹	۷	۶	۳۷	۳۵	۳۳	۴۵	۴۴	۴۳	۱۰	۱۰	۸	۱۲۶	۱۲۱	۱۱۳
پارس‌آباد	۱۰	۸	۷	۳۵	۳۳	۳۱	۴۶	۴۵	۴۴	۱۲	۱۲	۱۰	۱۲۸	۱۲۳	۱۱۵
شادگان	۹	۷	۶	۳۴	۳۲	۳۰	۴۵	۴۴	۴۳	۹	۹	۷	۱۲۴	۱۱۹	۱۱۱
شوش	۹	۷	۶	۳۴	۳۲	۳۰	۴۵	۴۴	۴۳	۹	۹	۷	۱۲۴	۱۱۹	۱۱۱
زرین	۹	۷	۶	۳۴	۳۲	۳۰	۴۵	۴۴	۴۳	۱۰	۱۰	۸	۱۲۸	۱۲۳	۱۱۵

نتایج

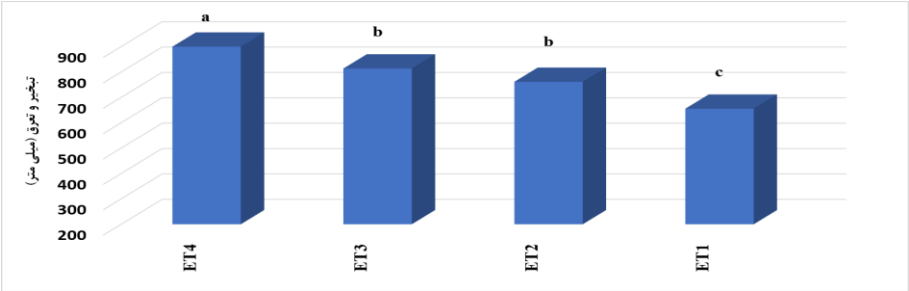
تبخیر و تعرق گیاه برنج در مناطق اقلیمی سرد

نیاز خالص آبی محصول برنج در ایستگاه‌های خوی و میانه واقع در طبقه اقلیمی سرد در سناریوها و تاریخ‌های مختلف کشت در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج تمام احتمالات وقوع تبخیر و تعرق گیاه برنج در سه تاریخ مختلف کشت (زود، به‌موقع و دیر کشت) نشان داد که نیاز آبی برنج در ایستگاه خوی کمتر است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سناریوهای تبخیر-تعرق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند ($MS=176591^{**}$). مقایسه میانگین سناریوهای تبخیر و تعرق به روش دانکن نشان داد که در منطقه سرد، سناریوها در سه گروه قرار دارد و سال بسیار پرتبخیر-تعرق بالاترین و سال کم تبخیر و تعرق کمترین میزان تبخیر و تعرق را دارا بودند (شکل ۲). همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تاریخ کاشت و سناریوهای تبخیر بر میزان تبخیر و تعرق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($MS=109824^{**}$). مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و سناریوهای تبخیر و تعرق به روش دانکن نشان داد که در منطقه سرد، اتخاذ رویکرد زودکاشت موجب کاهش قابل توجهی در میزان تبخیر و تعرق برنج در تمام سناریوها (کم، متوسط، پر و بسیار پر تبخیر و تعرق) می‌شود (شکل ۳). اندازه تبخیر و تعرق برنج در شرایط دیر کاشت، در سال‌های پرتبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر-تعرق نسبت به سال‌های نرمال افزایش می‌یابد. میزان تبخیر و تعرق برنج در شرایط دیر کاشت در سال‌های پرتبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر و تعرق در ایستگاه خوی به ترتیب ۷۰۱/۶ و ۸۰۱/۹ میلی‌متر و در ایستگاه میانه به ترتیب به میزان ۹۴۱/۷ و ۱۰۶۲/۶ میلی‌متر بود که در ایستگاه خوی به ترتیب به میزان ۷۰/۷ و ۱۷۱ میلی‌متر و در ایستگاه میانه به ترتیب به میزان ۸۲/۷ و ۲۰۳/۶ میلی‌متر بالاتر از سال نرمال بود. این یافته نشان می‌دهد که در سال‌های بسیار پرتبخیر و تعرق و پرتبخیر و تعرق رویکرد دیر کاشت موجب افزایش قابل‌توجه در تبخیر و تعرق برنج در اقلیم سرد می‌شود. همچنین مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق در سناریوها و تاریخ‌های مختلف کشت در مقیاس کل فصل رشد نشان داد که در سال‌های بسیار پرتبخیر و تعرق، اتخاذ رویکرد زود کاشت در

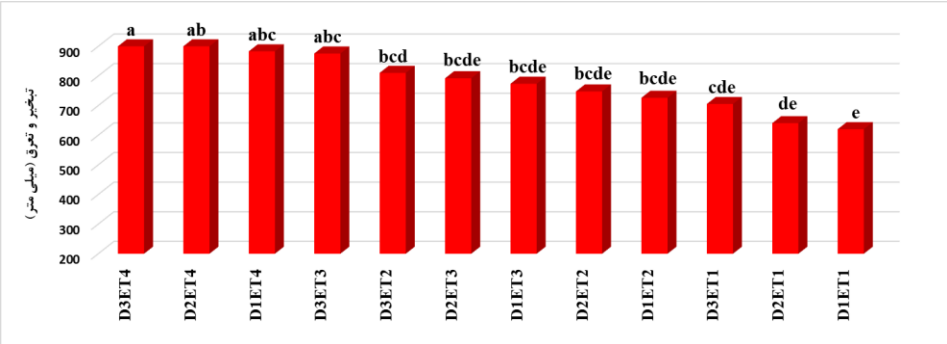
ایستگاه‌های خوی و میانه موجب صرفه‌جویی در مصرف آب به ترتیب به میزان ۷۱/۵ و ۱۵۵/۵ میلی‌متر نسبت به رویکرد دیر کاشت و همچنین ۸ و ۴۳/۹ میلی‌متر نسبت به اتخاذ رویکرد به کاشت به‌موقع می‌شود. تغییر تاریخ کاشت از زود به دیر کاشت باعث افزایش نیاز آبی در دوره ابتدایی و کاهش مصرف آن در دوره انتهایی می‌شود (شکل ۴). همچنین مشاهده می‌شود در این ایستگاه‌ها در شرایط دیر کاشت اوج تبخیر و تعرق در وسط فصل رشد قرار گرفته و درحالی‌که اوج تبخیر و تعرق در شرایط زود کاشت طولانی‌تر و به مراحل وسط تا پایانی دوره شیفت پیدا کرده است. در دیر کاشت اختلاف بین سناریوها بیشتر است؛ همچنین در شرایط دیر کاشت مشاهده شد که در سناریوی پر تبخیر و تعرق، میزان تبخیر و تعرق از این سناریو از شرایط زود کاشت بیشتر است (شکل ۴).

جدول ۳- برآورد تبخیر و تعرق گیاه برنج (میلی‌متر) در فصل رشد در تاریخ‌های کشت و احتمال وقوع متفاوت در ایستگاه‌های واقع در مناطق سرد

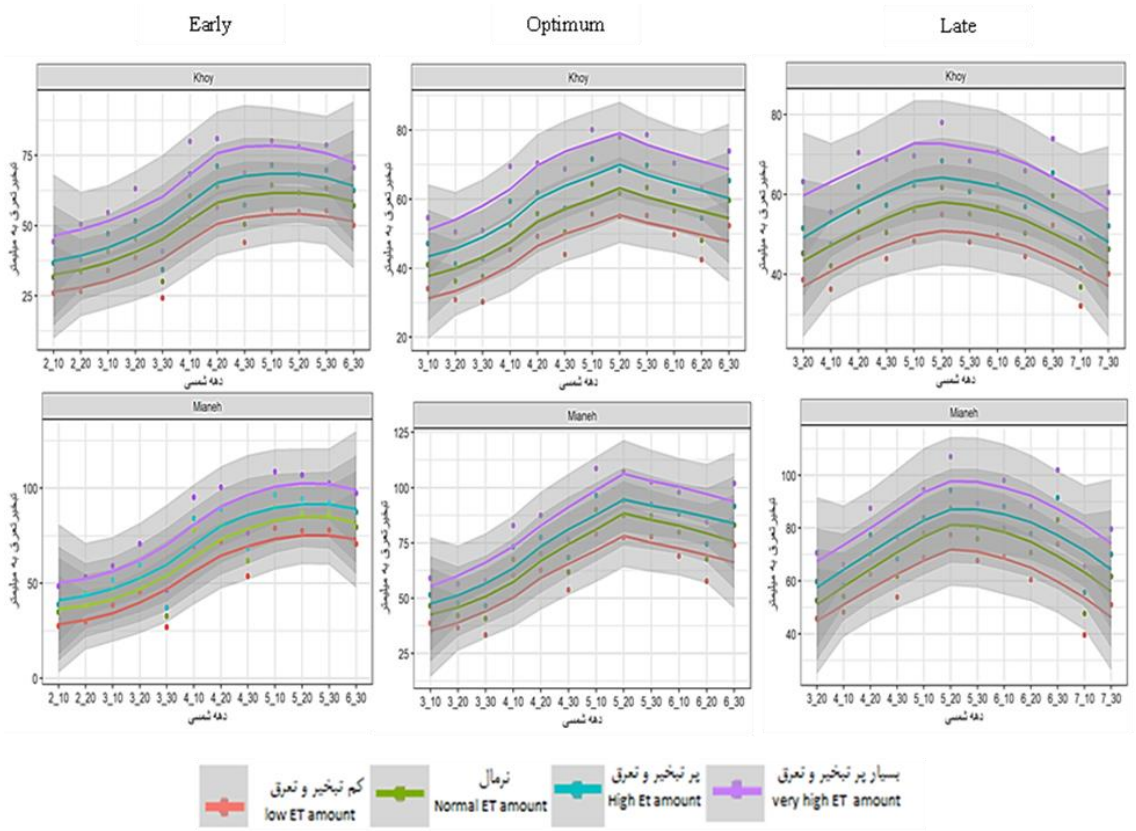
سناریوهای تبخیر-تعرق	زود کشت		کشت به‌موقع		دیر کشت	
	خوی	میانه	خوی	میانه	خوی	میانه
کم تبخیر و تعرق	۴۸۹	۶۴۲/۱	۵۰۴	۶۸۱	۵۵۲/۵	۷۵۰/۳
نرمال	۵۶۵	۷۳۱/۱	۵۷۶/۵	۷۷۳/۹	۶۳۰/۹	۸۵۹
پر تبخیر و تعرق	۶۳۲/۱	۷۹۸/۷	۶۴۲/۳	۸۴۴	۷۰۱/۶	۹۴۱/۷
بسیار پر تبخیر و تعرق	۷۳۰/۴	۹۰۷	۷۳۸/۴	۹۵۰/۹	۸۰۱/۹	۱۰۶۲/۶



شکل ۲- اثر سناریوهای تبخیر و تعرق بر میزان تبخیر و تعرق در منطقه سرد. میانگین‌های هر گروه که دارای یک حرف مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن ندارند



شکل ۳- اثر متقابل سناریوی تبخیر و تعرق و تاریخ کاشت بر میزان تبخیر و تعرق در منطقه سرد. میانگین‌های هر گروه که دارای یک حرف مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن ندارند



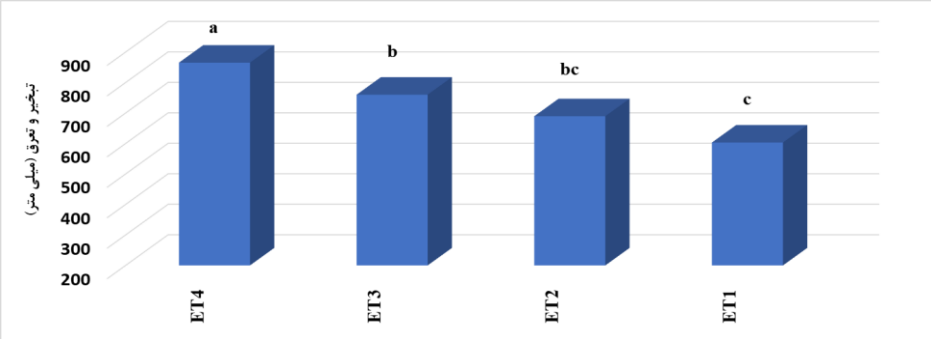
شکل ۴- مقادیر تبخیر و تعرق ۱۰ روزه گیاه برنج در سطوح احتمالات مختلف در سه تاریخ کشت متفاوت در مناطق سرد

تبخیر و تعرق گیاه برنج در مناطق اقلیمی معتدل

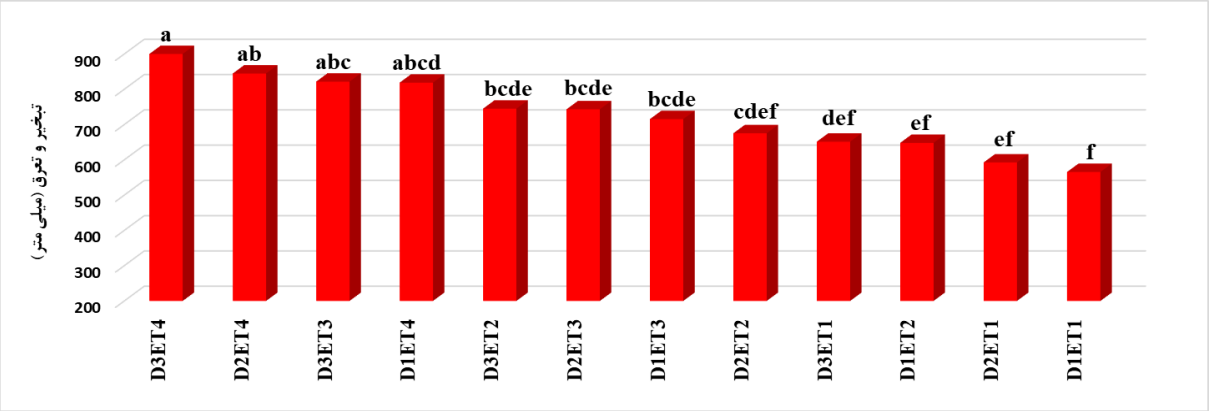
ایستگاه‌های آب‌بر، پارس‌آباد، درگز، دورود، زرین‌شهر، لردگان، مانه و سلقمان و مبارکه در منطقه اقلیمی معتدل (خشک، نیمه‌خشک و نیمه مرطوب) واقع شده‌اند که در جدول ۴ نتایج نیاز خالص آبی برنج نشان داده شده است. نتایج تمام احتمالات وقوع تبخیر و تعرق گیاه برنج در سه تاریخ مختلف کشت (زودکشت، به‌موقع و دیر کشت) نشان داد که ایستگاه دورود (معتدل نیمه مرطوب) بیشترین و ایستگاه پارس‌آباد (معتدل نیمه-خشک) کمترین میزان نیاز آبی را در بین ایستگاه‌های منطقه معتدل دارا هستند. در ایستگاه‌های دورود و پارس‌آباد بیشترین میزان نیاز خالص آبی برنج در شرایط دیر کاشت و در سال بسیار پر تبخیر و تعرق به‌ترتیب به میزان ۱۱۷۰ و ۸۷۳/۶ میلی‌متر و کمترین میزان آن در شرایط زود کاشت و در سال کم تبخیر و تعرق به‌ترتیب به میزان ۷۰۴/۴ و ۵۱۲/۱ میلی‌متر مشاهده شد. نتایج آزمون دانکن نشان داد که در تمام ایستگاه‌های منطقه معتدل نیز سال بسیار پرتبخیر و تعرق بیشترین و سال کم تبخیر و تعرق کمترین میزان تبخیر و تعرق را دارا هستند. در همین راستا مقایسه میانگین سناریوهای تبخیر به روش دانکن نشان داد که در اقلیم معتدل سناریوهای تبخیر در سه گروه قرار دارد و سال بسیار پرتبخیر و تعرق بیشترین و سال کم تبخیر و تعرق کمترین میزان تبخیر و تعرق را دارا بودند (شکل ۵). بررسی نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تاریخ کاشت و سناریوهای تبخیر بر میزان تبخیر و تعرق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($MS=109387^{**}$). مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و سناریوهای تبخیر به روش دانکن نشان داد که در منطقه معتدل نیز، کمترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به شرایط زود کاشت و در سال کم تبخیر و تعرق و بیشترین میزان آن مربوط به شرایط دیر کاشت و در سال بسیار پرتبخیر و تعرق است. ازاین‌رو در سال‌های پرتبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر و تعرق اتخاذ رویکرد مناسب موجب صرفه‌جویی قابل‌توجهی در میزان نیاز خالص آبی

برنج می‌شود (شکل ۶). در همین راستا بررسی مقایسه میزان تبخیر و تعرق در سناریوهای مختلف تبخیر و تعرق نشان داد که در سال‌های بسیار پر تبخیر و تعرق، اتخاذ رویکرد زود کاشت موجب صرفه‌جویی در میزان نیاز خالص آبی برنج در ایستگاه‌های آب‌بر، پارس‌آباد، درگز، دورود، زرین‌شهر، لردگان، مانه و سلقمان و مبارکه به ترتیب به میزان ۱۲۶/۴، ۹۴/۵، ۱۳۹/۵، ۱۵۳/۷، ۷۳/۵، ۱۴۲، ۱۱۸/۹ و ۷۴/۹ میلی‌متر نسبت به رویکرد دیر کاشت و اتخاذ رویکرد کاشت به‌موقع نیز موجب صرفه‌جویی در میزان نیاز خالص آبی برنج به ترتیب به میزان ۹۴/۸، ۷۹/۲، ۱۰۵، ۱۲۷/۴، ۸۰/۱، ۱۱۰/۲، ۹۵/۴ و ۷۸ میلی‌متر نسبت به رویکرد دیر کاشت می‌شود. ازاین‌رو در سال‌های بسیار پرتبخیر و تعرق و همچنین پر تبخیر و تعرق بهتر است کشت برنج در تاریخ ۲۰-۳۱ فروردین (زود کاشت) و ۱۵-۲۵ اردیبهشت (کاشت به‌موقع) انجام شود.

همچنین نتایج احتمالات وقوع تبخیر و تعرق گیاه برنج در سه تاریخ مختلف زود کشت، به‌موقع و دیر کشت نشان داد که نیاز آبی خالص برنج در سال کم تبخیر و تعرق نسبت به سال‌های متوسط، پر تبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر-تعرق دارای اختلاف بسیار قابل‌توجهی است. این اختلاف به‌تدریج از سال نرمال به پرتبخیر و تعرق افزایش می‌یابد. با توجه به جدول ۴ در شرایط کاشت به‌موقع، میزان نیاز خالص آبی برنج در سال‌های بسیار پرتبخیر و تعرق در ایستگاه‌های آب بر، پارس‌آباد، درگز، دورود، زرین‌شهر، لردگان، مانه و مبارکه به ترتیب به میزان ۲۲۰/۷، ۲۵۹/۷، ۳۲۹، ۳۱۳/۷، ۲۲۰/۷، ۲۷۹/۵، ۲۶۶/۲ و ۲۰۳/۱ میلی‌متر بیش از سال‌های کم‌تبخیر است. ازاین‌رو توصیه می‌شود از سطح احتمال ۷۵ درصد (سال کم تبخیر و تعرق) در برآورد نیاز آبی گیاه، طراحی سامانه‌های آبرسانی و برنامه‌ریزی درازمدت خودداری شود، به‌عنوان نمونه طراحی سیستم آبرسانی با این سطح احتمال موجب کاهش ظرفیت آبرسانی می‌شود. با توجه به شکل ۷ در تمام ایستگاه‌های مطالعه شده کمترین میزان نیاز خالص آبی برنج در تاریخ‌های کاشت زود کاشت و کاشت به‌موقع مربوط به مرحله ابتدایی رشد و در دیر کاشت مربوط به مرحله پایانی رشد بود. دراین‌صورت کشت برنج در تاریخ دیر کاشت باعث افزایش مصرف در دوره ابتدایی و کاهش مصرف در دوره انتهایی می‌شود. در تمام ایستگاه‌های مطالعه شده اختلاف یکسانی در سطوح احتمالات در هر سه تاریخ کاشت زودکشت، به‌موقع و دیر کاشت در مرحله ابتدایی رشد مشاهده شد. بااین‌وجود، میانگین تبخیر و تعرق واقعی روزانه در دوره ۱۰ روزه در تاریخ دیر کشت دارای مقادیر متناظر بزرگ‌تری نسبت به تاریخ زودکشت است. بیشترین میزان اختلاف میان مقادیر تبخیر و تعرق در سطوح احتمالات مختلف در ایستگاه دورود مشاهده شد.



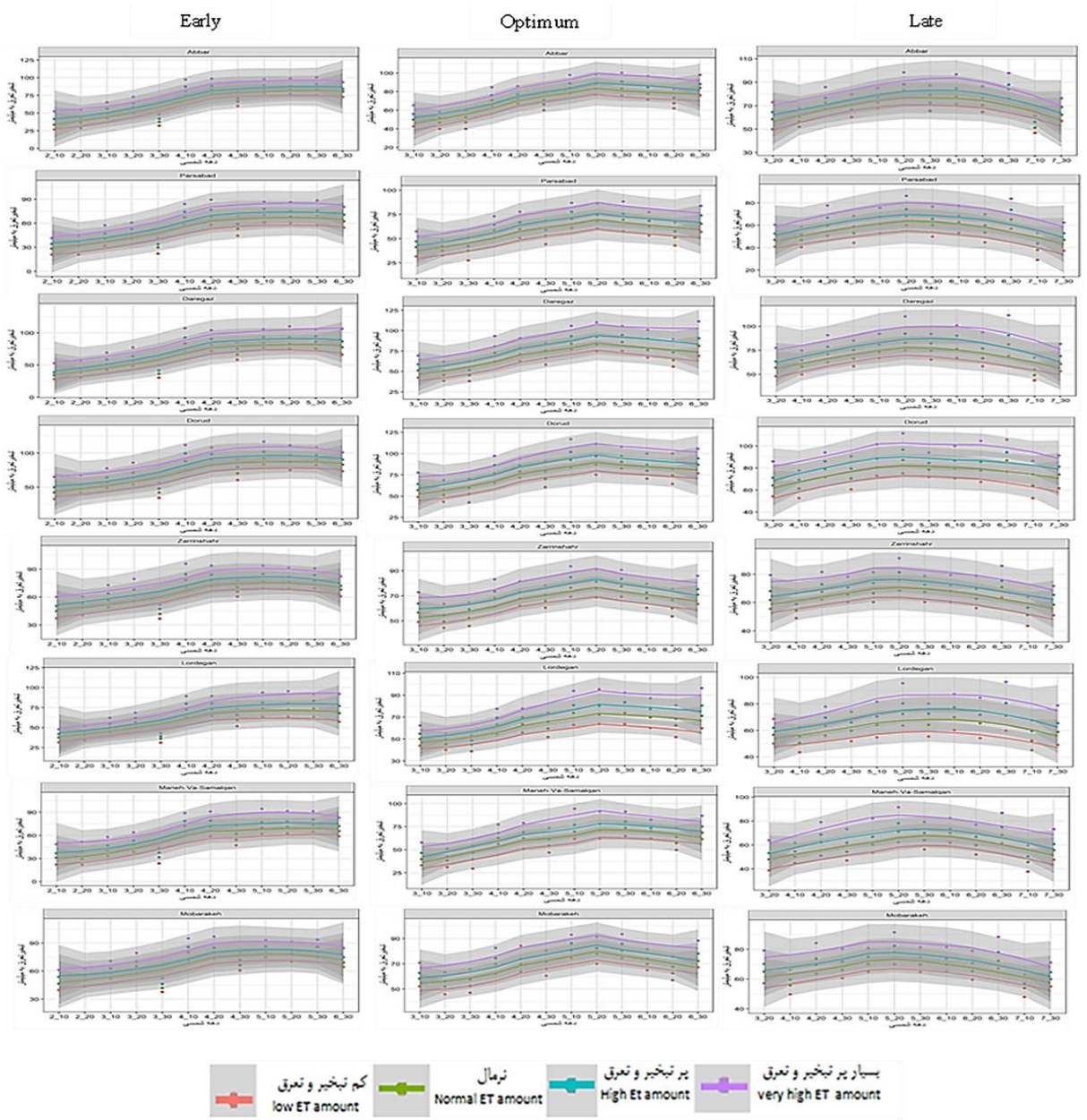
شکل ۵- اثر سناریوهای تبخیر و تعرق بر میزان تبخیر و تعرق در منطقه معتدل. میانگین‌های هر گروه که دارای یک حرف مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن ندارند



شکل ۶- اثر متقابل سناریوی تبخیر و تاریخ کاشت بر میزان تبخیر در منطقه معتدل. میانگین‌های هر گروه که دارای یک حرف مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر براساس آزمون دانکن ندارند

جدول ۴- برآورد تبخیر و تعرق گیاه برنج (میلی‌متر) در فصل رشد در تاریخ‌های کشت و احتمال وقوع متفاوت در ایستگاه‌های واقع در مناطق معتدل

ایستگاه	زود کشت				کشت به‌موقع				دیر کشت			
	کم تبخیر و تعرق	نرمال	پر تبخیر و تعرق	بسیار پر تبخیر و تعرق	کم تبخیر و تعرق	نرمال	پر تبخیر و تعرق	بسیار پر تبخیر و تعرق	کم تبخیر و تعرق	نرمال	پر تبخیر و تعرق	بسیار پر تبخیر و تعرق
آب بر	۶۷۱/۷	۷۴۲/۲	۷۹۸/۶	۸۹۴/۵	۷۰۵/۴	۷۷۱/۷	۸۲۷/۸	۹۲۶/۱	۷۸۱/۵	۸۵۰/۹	۹۱۵/۷	۱۰۲۰/۹
پارس‌آباد	۵۱۲/۱	۶۰۵/۶	۶۷۳/۳	۷۷۹	۵۳۴/۷	۶۲۵/۱	۶۹۲	۷۹۴/۴	۵۷۶/۴	۶۸۱/۶	۷۵۶/۸	۸۷۳/۶
درگز	۶۴۶/۷	۷۴۱/۵	۸۲۷/۶	۹۶۷/۲	۶۷۲/۷	۷۶۶	۸۵۹/۹	۱۰۰۱/۷	۷۴۰/۸	۸۴۰/۹	۹۴۴/۴	۱۱۰۶/۷
دورود	۷۰۴/۴	۸۰۳/۶	۸۸۹	۱۰۱۶/۳	۷۲۸/۹	۸۲۷/۵	۹۱۱	۱۰۴۲/۶	۸۱۴/۸	۹۳۰/۶	۱۰۲۵/۵	۱۱۷۰
زرین‌شهر	۶۴۲/۲	۷۱۴	۷۷۲/۲	۸۷۰/۹	۶۴۳/۶	۷۱۳/۹	۷۷۲/۷	۸۶۴/۳	۶۹۶/۷	۷۷۹/۶	۸۴۶/۷	۹۴۴/۴
لردگان	۵۷۸/۸	۶۶۷/۸	۷۳۸/۳	۸۴۰/۱	۵۹۲/۴	۶۸۷/۶	۷۶۲	۸۷۱/۹	۶۵۵/۴	۷۶۴/۷	۸۵۰/۶	۹۸۲/۱
مانه و سلقمان	۵۳۹	۶۲۷/۵	۶۹۷/۴	۸۱۷/۴	۵۷۴/۶	۶۵۹/۶	۷۲۳/۸	۸۴۰/۸	۶۴۰/۹	۷۳۶/۷	۸۰۵/۶	۹۳۶/۳
مبارکه	۶۶۷/۶	۷۳۴/۵	۷۸۸/۱	۸۷۸/۷	۶۷۲/۶	۷۳۶	۷۸۷/۹	۸۷۵/۶	۷۳۶/۶	۸۰۵/۲	۸۵۹/۷	۹۵۳/۷

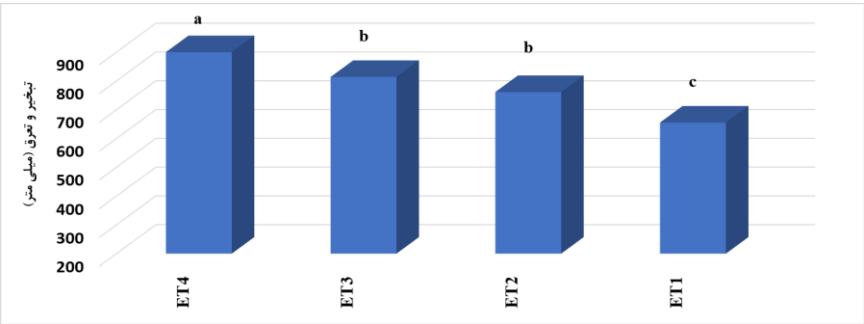


شکل ۷- مقادیر تبخیر و تعرق ۱۰ روزه گیاه برنج در سطوح احتمالات مختلف در سه تاریخ کشت متفاوت در مناطق معتدل

نتایج نیاز خالص آبی برآوردی محصول برنج مناطق اقلیمی گرم و بسیار گرم

میزان تبخیر و تعرق در ایستگاه‌های واقع در مناطق اقلیمی گرم تا بسیار گرم در جدول ۵ نشان داد ر تمام تاریخ‌های کاشت و سناریوهای تبخیر و تعرق کمترین میزان نیاز خالص آبی مربوط به ایستگاه نورآباد ممسنی (گرم نیمه مرطوب) و بیشترین میزان آن مربوط به ایستگاه شادگان (بسیار گرم و خشک) است. در منطقه گرم نیز با تأخیر در کاشت و حرکت به سمت سناریوی بسیار پرتبخیر و تعرق، نیاز خالص آبی برنج افزایش می‌یابد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سناریوهای تبخیر و تعرق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (MS=88430**). مقایسه میانگین سناریوهای تبخیر و تعرق به روش دانکن نشان داد که در اقلیم گرم مشابه مناطق سرد و معتدل، سناریوهای تبخیر و تعرق در سه گروه قرار دارد و با حرکت به سمت سال بسیار پر تبخیر و تعرق، نیاز خالص آبی برنج افزایش می‌یابد (شکل ۸). مقایسه نتایج احتمالات وقوع تبخیر و تعرق در هر یک از

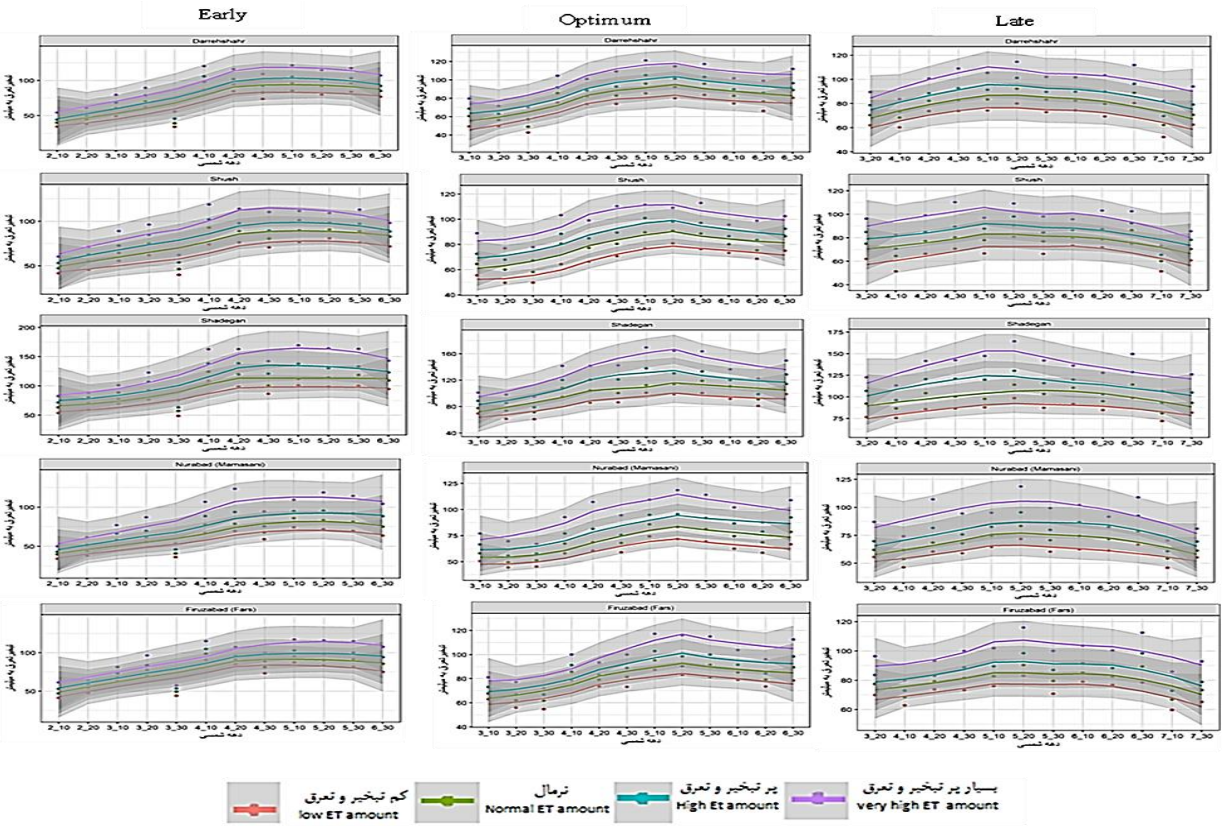
تاریخ‌های کاشت (زود، به‌موقع و دیر کاشت) نشان داد که در تمام ایستگاه‌های بررسی شده در هر سه تاریخ کاشت (زود، به‌موقع و دیر کاشت) نیاز خالص آبی در سال کم-تبخیر و تعرق دارای اختلاف بسیار قابل‌توجهی نسبت به دیگر سناریوهای تبخیر و تعرق بود. این اختلاف در ایستگاه شادگان به‌مراتب بیش از دیگر ایستگاه‌ها بود. در ایستگاه شادگان میزان نیاز خالص آبی برنج در سال بسیار تبخیر و تعرق در شرایط زود کاشت به میزان ۵۷۷/۶ میلی‌متر، در کاشت به‌موقع به میزان ۵۸۲/۵ میلی‌متر و در دیر کاشت به میزان ۶۲۴/۵ میلی‌متر بیش از سال کم‌تبخیر و تعرق بود. در مقیاس کل فصل، در صورت کشت برنج در سال پرتبخیر و تعرق، اتخاذ رویکرد زود کاشت در ایستگاه‌های دره‌شهر، شوش، شادگان، نورآباد و فیروزآباد می‌تواند به ترتیب به میزان ۴۵، ۳۹، ۶۴، ۳۷/۸ و ۴۱/۱ میلی‌متر و رویکرد کاشت به‌موقع به ترتیب به میزان ۲۹، ۲۳، ۴۰، ۲۰/۳ و ۱۹/۶ میلی‌متر کاهش در نیاز خالص آبی مرحله رشد ابتدایی برنج نسبت به اتخاذ رویکرد دیر کاشت شود؛ بنابراین در سال‌های بسیار پرتبخیر و تعرق و پرتبخیر و تعرق رویکرد دیر کاشت موجب افزایش بسیار بالای میزان نیاز خالص آبی برنج در منطقه گرم شود. در همین راستا نتایج نشان داد که در شرایط دیر کاشت میزان نیاز خالص آبی در سال‌های پرتبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر و تعرق بیش از سال نرمال است، به‌طوری‌که میزان آن در سال پرتبخیر و تعرق در ایستگاه‌های دره‌شهر، شوش، شادگان، نورآباد و فیروزآباد به ترتیب ۹۱/۱، ۹۲/۵، ۱۶۹/۵، ۱۲۸/۸، ۸۰/۱ میلی‌متر بیش از سال نرمال بود. بااین‌حال در صورت کاشت برنج در سال بسیار پرتبخیر و تعرق، اتخاذ رویکرد زود کاشت در ایستگاه‌های دره‌شهر، شوش، شادگان، نورآباد و فیروزآباد می‌تواند به ترتیب تا ۱۲۹، ۷۶/۶، ۱۷۱/۳، ۱۱۶/۶ و ۱۳۶ میلی‌متر (به‌طور متوسط ۰/۷ تا ۱ میلی‌متر در روز) و رویکرد کاشت به‌موقع به ترتیب تا ۱۰۶/۷، ۷۸/۸، ۱۴۸/۳، ۹۸/۶ و ۱۱۶/۶ میلی‌متر از نیاز خالص آبیاری را نسبت به اتخاذ رویکرد دیر کاشت کاهش دهد. در تمام ایستگاه‌های منطقه گرم نیز کمترین میزان نیاز خالص آبی برنج در شرایط زود کاشت و کاشت به‌موقع مربوط به مرحله ابتدایی رشد و در دیر کاشت مربوط به مرحله پایانی رشد بود؛ زیرا در شرایط دیر کاشت بخش بیشتری از مراحل پایانی دوره رشد در دوره گرم فصل رشد قرار می‌گیرد، در نتیجه دریافت دمای بیشتر موجب افزایش سرعت در طی مراحل رشد و در نهایت کوتاه‌تر شدن دوره رشد می-شود (شکل ۹). بااین‌وجود نتایج نشان داد که در تمام ایستگاه‌های مطالعه شده در مقیاس کل فصل دیر کاشت، کاشت به‌موقع و زود کاشت به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین میزان میانگین تبخیر و تعرق هستند.



شکل ۸- اثر سناریوهای تبخیر و تعرق بر میزان تبخیر و تعرق در منطقه گرم. میانگین‌های هر گروه که دارای یک حرف مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن ندارند

جدول ۵- برآورد تبخیر و تعرق گیاه برنج (میلی‌متر) در فصل رشد در تاریخ‌های کشت و احتمال وقوع متفاوت در ایستگاه‌های واقع در مناطق گرم

ایستگاه	زود کشت				کشت به‌موقع				دیر کشت			
	کم تبخیر و تعرق	نرمال	پر تبخیر و تعرق	بسیار پر تبخیر–تعرق	کم تبخیر و تعرق	نرمال	پر تبخیر–تعرق	بسیار پر تبخیر و تعرق	کم تبخیر و تعرق	نرمال	پر تبخیر و تعرق	بسیار پر تبخیر و تعرق
دره‌شهر	۷۵۳/۱	۸۵۶/۱	۹۳۹/۷	۱۰۸۲/۱	۷۸۰/۲	۸۸۰/۸	۹۶۳/۶	۱۱۰۴/۳	۸۴۸/۶	۹۶۱/۹	۱۰۵۳/۱	۱۲۱۱/۱
شوش	۷۵۲/۲	۸۷۹/۵	۹۷۲/۸	۱۱۲۳/۹	۷۷۱/۸	۸۸۹/۹	۹۷۸/۲	۱۱۲۱/۷	۸۴۱/۸	۹۶۸/۳	۱۰۶۰/۸	۱۲۰۰/۵
شادگان	۹۷۰/۹	۱۱۲۸/۴	۱۲۹۸/۵	۱۵۴۸/۵	۹۸۸/۹	۱۱۵۱/۹	۱۳۱۵/۱	۱۵۷۱/۵	۱۰۹۵/۲	۱۲۶۷/۸	۱۴۳۷/۳	۱۷۱۹/۸
نورآباد	۶۷۸/۶	۷۸۱/۸	۸۹۲/۲	۱۰۸۷	۶۸۷/۶	۷۹۷/۹	۹۱۳/۴	۱۱۰۴/۹	۷۵۵/۲	۸۷۶/۹	۱۰۰۵/۸	۱۲۰۳/۶
فیروزآباد	۸۲۷/۶	۹۱۰/۹	۹۸۴/۴	۱۱۱۴/۵	۸۴۱	۹۲۲/۸	۹۹۶/۲	۱۱۳۳/۸	۹۲۰/۸	۱۰۱۱/۷	۱۰۹۱/۹	۱۲۵۰/۵



شکل ۹- مقادیر تبخیر و تعرق ۱۰ روزه گیاه برنج در سطوح احتمالات مختلف در سه تاریخ کشت متفاوت در مناطق گرم

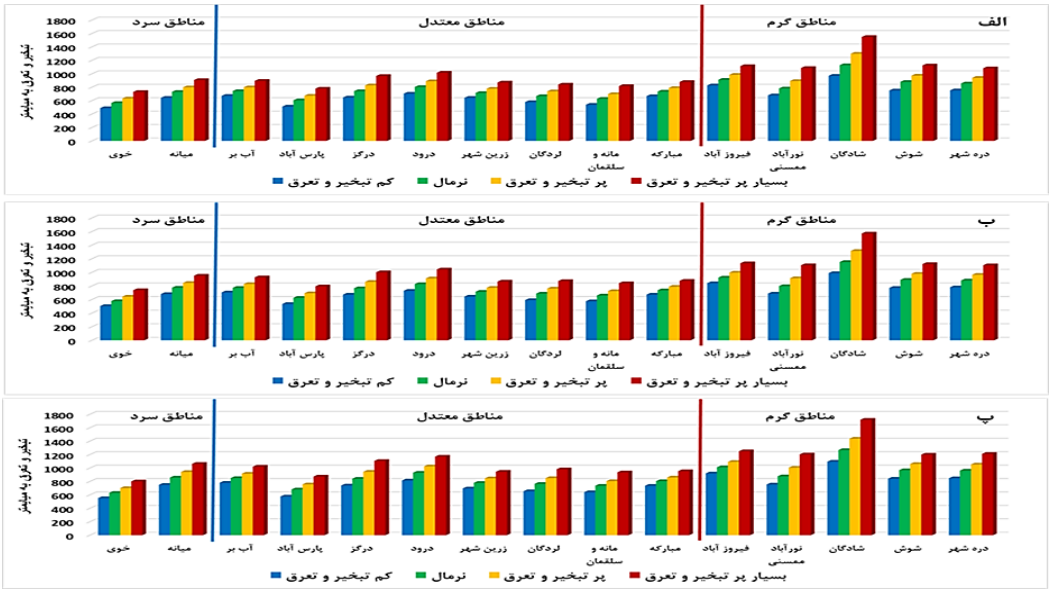
مقایسه نیاز خالص آبی برآوردی محصول برنج مناطق اقلیمی سرد، معتدل و گرم

نتایج نیاز خالص آبی برآوردی گیاه برنج مناطق اقلیمی سرد، معتدل و گرم در سطوح احتمالات و تاریخ های کشت متفاوت در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر منطقه کشت بر میزان تبخیر و تعرق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (MS=285029**). در همین راستا نتایج آزمون مقایسه میانگین به روش دانکن نشان داد که منطقه کشت در دو گروه قرار دارد. به‌این‌ترتیب که بیشترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به منطقه گرم به میزان ۱۰۲۱/۳ میلی‌متر بوده و مناطق معتدل و سرد به ترتیب با میزان

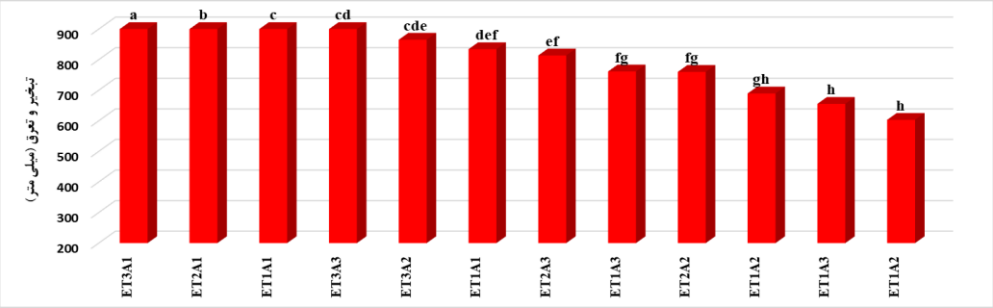
تبخیر ۷۸۴/۸ و ۷۲۹ میلی‌متر تبخیر و تعرق کمتری را نسبت به مناطق گرم دارا بودند. همچنین نتایج نشان از اثر قابل‌توجه و معنی‌دار اثر متقابل منطقه اقلیمی و سناریوهای تبخیر و تعرق بر میزان تبخیر و تعرق بودند (MS=96512**). با توجه به شکل‌های ۱۰ و ۱۱ در تمام طبقه‌های اقلیمی، نیاز خالص آبی در سال‌های کم تبخیر و تعرق دارای اختلاف قابل‌توجهی با نیاز خالص آبی در سال‌های نرمال، پر تبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر و تعرق است. بیشینه این اختلافات در منطقه گرم بیش از دیگر مناطق است. در منطقه گرم میزان نیاز خالص آبی در سال‌های نرمال، پرتبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر و تعرق به ترتیب ۹۵۲، ۱۰۶۰/۲ و ۱۲۳۸/۵ میلی‌متر بود که به‌مراتب به ترتیب به میزان ۱۱۸، ۲۲۶ و ۴۰۴ میلی‌متر بیشتر از نیاز خالص آبی در سال کم تبخیر و تعرق بود. این اختلافات به‌تدریج از مناطق گرم به سرد کاهش می‌یابد و در مناطق معتدل و سرد میزان نیاز آبی در سال‌های نرمال، پرتبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر و تعرق به ترتیب به‌طور متوسط به میزان ۶۸۹/۴ تا ۷۶۱/۳، ۷۶۰ تا ۸۱۳/۸ و ۸۶۵ تا ۹۲۸ میلی‌متر بود. میزان نیاز آبی در سال کم تبخیر و تعرق در منطقه سرد به‌طور متوسط ۶۵۵/۴ میلی‌متر و در منطقه معتدل به‌طور متوسط ۶۰۳ میلی‌متر بود. ازاین‌رو توصیه می‌شود از این سطح احتمال (سال کم تبخیر و تعرق) در برآورد نیاز خالص آبی گیاه برنج، طراحی سامانه‌های آبرسانی و برنامه‌ریزی درازمدت به‌ویژه در مناطق شالیکاری واقع در مناطق گرم خودداری شود. اثر متقابل تاریخ کشت و منطقه بر میزان تبخیر و تعرق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (MS=80092**) که بیانگر تفاوت روند تغییرات تبخیر و تعرق در مناطق و تاریخ‌های مختلف کشت است. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کشت و منطقه بر میزان تبخیر و تعرق نشان داد که بیشترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به منطقه گرم به ترتیب در دیر کاشت، به‌موقع و زود کاشت (به ترتیب به میزان ۱۰۸۹/۱، ۹۹۵/۷ و ۹۷۹/۱ میلی‌متر) بود (شکل ۱۲). کمترین میزان تبخیر و تعرق با میانگین ۶۸۷ میلی‌متر مربوط به مناطق معتدل در شرایط زود کاشت بود. پس از آن کمترین میزان تبخیر در منطقه معتدل و در شرایط به‌موقع کاشت به میزان ۷۱۴ میلی‌متر و منطقه سرد در شرایط زود کاشت به میزان ۷۵۰ میلی‌متر مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کشت و سناریوی تبخیر و تعرق بر میزان تبخیر و تعرق نشان داد که بیشترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به شرایط دیر کاشت در سال بسیار پرتبخیر و تعرق به میزان ۱۰۸۲ میلی‌متر بود که در صورت اتخاذ رویکرد زود کاشت در سال بسیار پرتبخیر و تعرق میزان تبخیر و تعرق کاهش‌یافته و به‌طور متوسط به ۹۶۴ میلی‌متر می‌رسد (شکل ۱۳). همچنین نتیجه تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تاریخ کشت و سناریوی تبخیر و تعرق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند که بیانگر تفاوت روند تغییرات تبخیر و تعرق در سناریوهای تبخیر و تاریخ‌های مختلف کشت است (MS=49130**). بررسی میزان نیاز خالص آبی برنج در شرایط کاشت به‌موقع نشان داد که در سال‌های کم‌تبخیر و تعرق، نرمال، پر تبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق در مناطق سرد به‌ترتیب به میزان ۵۹۲/۵، ۶۷۵/۲، ۷۴۳/۱ و ۸۴۴/۶ میلی‌متر (۵ تا ۶/۸ میلی‌متر در روز)، در مناطق معتدل به‌ترتیب به میزان ۶۴۰/۶، ۷۴۷/۷، ۷۹۲/۱ و ۹۰۲/۱ میلی‌متر (۰/۷ تا ۷/۴ میلی‌متر در روز) و در مناطق گرم به ترتیب به میزان ۸۱۳/۹، ۹۲۸/۶، ۱۰۳۳/۳ و ۱۲۰۷/۲ میلی‌متر (۷ تا ۱۰/۳ میلی‌متر در روز) است. در شرایط دیر کاشت میزان نیاز خالص آبی برنج در سال‌های کم‌تبخیر، نرمال، پر تبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق در مناطق سرد به ترتیب به میزان ۵۸/۹، ۶۹/۷، ۷۸/۵ و ۸۷/۶ میلی‌متر (۰/۵ تا ۰/۷ میلی‌متر در روز)، در مناطق معتدل به ترتیب به میزان ۶۴/۷، ۶۲/۵، ۸۳/۴ و ۹۶/۲ میلی‌متر (۰/۵ تا ۰/۸ میلی‌متر در روز) و در مناطق گرم به‌ترتیب ۷۸/۴، ۸۸/۶، ۹۶/۴ و ۱۰۶/۸ میلی‌متر (۰/۷ تا ۱ میلی‌متر در روز) بیش از شرایط کاشت به موقع است (شکل ۱۰).

در مجموع مقایسه میزان تبخیر و تعرق در تمام

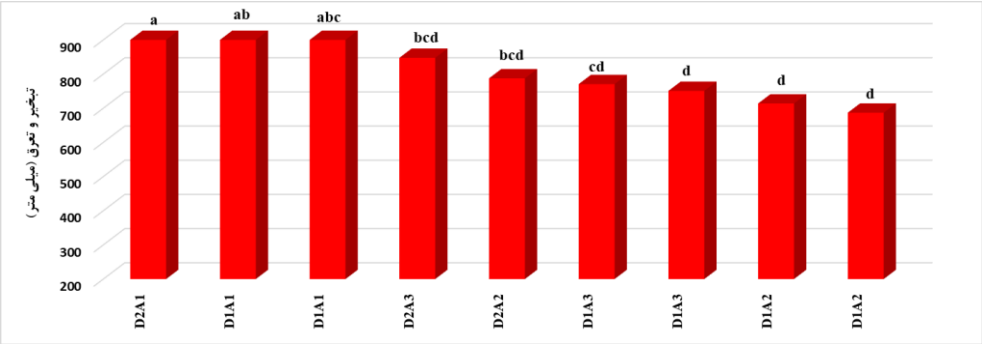
تاریخ‌های کشت و سطوح احتمالاتی نشان داد که میزان تبخیر و تعرق در منطقه گرم به ترتیب به‌طور متوسط به میزان ۲۹۲ و ۲۳۶ میلی‌متر بیش از مناطق سرد و معتدل است. ازاین‌رو کمترین میزان نیاز خالص آبی برنج مربوط به مناطق سرد واقع در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی و پس‌ازآن مناطق معتدل واقع در استان‌های اردبیل، زنجان، خراسان شمالی و خراسان رضوی، لرستان، اصفهان و چهارمحال و بختیاری بود. در مجموع در تاریخ‌ها و سناریوهای مختلف اتخاذ رویکرد زود کاشت در سال‌های پرتبخیر و تعرق و بسیارپرتبخیر و تعرق موجب افزایش قابل‌توجه در میزان مصرف آب به‌ویژه در مناطق گرم می‌شود. بااین‌حال در تحلیل نیاز خالص، به نظر می‌رسد در صورت وجود پیش‌بینی‌های اقلیمی مبنی بر گرم بودن فصل برنج‌کاری بهتر است از کشت برنج در این سال‌ها به‌ویژه در مناطق گرم اجتناب شود. با توجه به شکل ۵ در اقلیم‌های سرد و معتدل تفاوت زیادی بین زود کشت و کشت به‌موقع و حتی دیر کشت نیست، ازاین‌رو جهت فرار از سرمازدگی دیررس بهتر است از تقویم‌های دیر کشت استفاده شود. نتایج میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در هر سه منطقه اقلیمی مورد مطالعه نشان داد که در تمام تاریخ‌های کشت و سطوح احتمالاتی، بیشترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به مرحله میانی رشد و کمترین آن در تاریخ‌های کشت زود و به‌موقع مربوط به مرحله ابتدایی رشد و در دیر کاشت مربوط به مرحله انتهایی رشد است. همچنین نتایج نشان داد که تمام مناطق بیشترین میزان تبخیر و تعرق را در مرحله میانی رشد دارا هستند که به دلیل توسعه سایه‌انداز محصول است. میزان تبخیر و تعرق مرحله میانی رشد در شرایط کاشت به‌موقع و در سال‌های پر تبخیر و تعرق در منطقه گرم به ترتیب به‌طور متوسط به میزان ۱۴۱/۱ و ۱۲۳ میلی‌متر بیش از مناطق سرد و معتدل است.



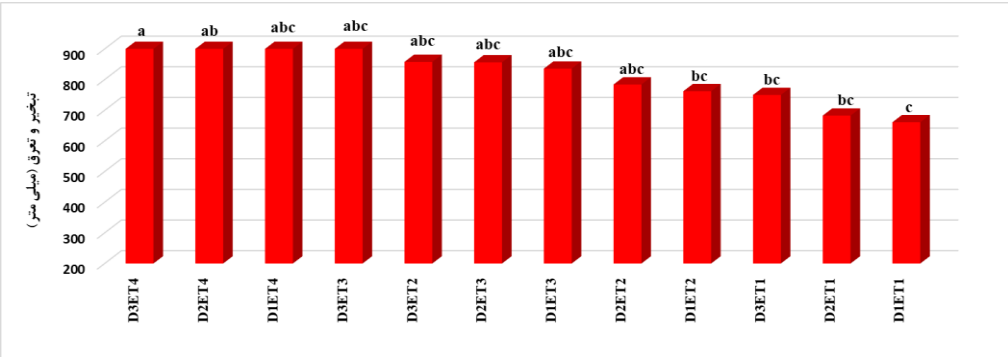
شکل ۱۰ -نتایج نیاز خالص آبی برآوردی محصول برنج مناطق اقلیمی سرد، معتدل و گرم در سطوح احتمالات و تاریخ‌های زود (الف)، به‌موقع (ب) و دیر کاشت (پ)



شکل ۱۱- اثر متقابل سناریوی تبخیر و تعرق و منطقه بر میزان تبخیر و تعرق در مناطق اقلیمی مورد مطالعه. میانگین‌های هر گروه که دارای یک حرف مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن ندارند



شکل ۱۲- اثر متقابل تاریخ کشت و منطقه بر میزان تبخیر و تعرق در مناطق اقلیمی مورد مطالعه. میانگین‌های هر گروه که دارای یک حرف مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن ندارند



شکل ۱۳- اثر متقابل تاریخ کشت و سناریوی تبخیر و تعرق بر میزان تبخیر و تعرق در مناطق اقلیمی مورد مطالعه. میانگین‌های هر گروه که دارای یک حرف مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن ندارند

مقایسه نیاز خالص آبی برآوردی محصول برنج مناطق شمالی و غیر شمالی ایران

در این بخش برای ارائه نمایش بهتری از نیاز خالص آبی برنج در ۱۵ ایستگاه منتخب که معرف مناطق مهم برنج‌کاری در سه‌طبقه اقلیمی سرد، معتدل و گرم هستند، نیاز خالص آبی برنج در این مناطق با مناطق شمالی ایران (اسعدی اسکویی و همکاران، ۱۴۰۰) مقایسه شد (جدول ۶). نیاز خالص آبی برنج مناطق شمالی کمتر از دیگر مناطق است و بالاترین میزان تاب‌آوری را در سال‌های بسیار پرتبخیر و تعرق را دارد. در شرایط کاشت به‌موقع، کمترین اختلاف میان میزان نیاز خالص آبی برنج سال کم تبخیر-تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق به میزان ۲۰۵ میلی‌متر مربوط به مناطق شمالی بود. پس از مناطق شمالی، مناطق سرد و معتدل به ترتیب با ۲۵۲ و ۲۶۱ میلی‌متر در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. بیشترین میزان اختلاف نیاز خالص آبی برنج سال کم تبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق و کمترین میزان تاب‌آوری مربوط به مناطق گرم با ۳۹۲/۷ میلی‌متر در شرایط زودکشت،

۳۹۳/۳ میلی‌متر در شرایط کشت به‌موقع و ۴۲۴/۷ میلی‌متر در شرایط دیر کشت بود. نیاز خالص آبی مناطق شمالی در سال‌های کم‌تبخیر و تعرق، نرمال، پرتبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر و تعرق در شرایط دیر کاشت به ترتیب ۴۰۹، ۵۲۳/۳، ۵۷۸/۸ و ۶۴۱/۹ میلی‌متر است که به ترتیب به میزان ۲۴۲/۴، ۲۲۱/۶، ۲۴۲/۸ و ۲۹۰/۳ میلی‌متر کمتر از مناطق سرد و به ترتیب به میزان ۴۸۳/۳، ۴۵۹/۹، ۵۵۰/۹ و ۶۷۵/۱ میلی‌متر کمتر از مناطق گرم بود.

جدول ۶- نیاز خالص آبی (میلی‌متر) برآوردی محصول برنج مناطق شمالی و غیر شمالی ایران

منطقه	تاریخ کشت	سناریوهای تبخیر و تعرق			
		کم تبخیر و تعرق	متوسط	پر تبخیر و تعرق	بسیار پر تبخیر و تعرق
گرم	زود کشت	۷۹۶/۴۸	۹۱۱/۳۴	۱۰۱۷/۵۲	۱۱۹۱/۲
	کشت به‌موقع	۸۱۳/۹	۹۲۸/۶۶	۱۰۳۳/۳۰	۱۲۰۷/۲۴
	دیر کشت	۸۹۲/۳۲	۱۰۱۷/۳۲	۱۱۲۹/۷۸	۱۳۱۷/۱
سرد	زود کشت	۵۶۵/۵۵	۶۴۸/۰۵	۷۱۵/۴۰	۸۱۸/۷
	کشت به‌موقع	۵۹۲/۵	۶۷۵/۲۰	۷۴۳/۱۵	۸۴۴/۶۵
	دیر کشت	۶۵۱/۴	۷۴۴/۹۵	۸۲۱/۶۵	۹۳۲/۲۵
معتدل	زود کشت	۶۲۰/۳۱	۷۲۶/۱۶	۷۷۳/۶۹	۸۸۳/۰۱
	کشت به‌موقع	۶۴۰/۶۱	۷۴۷/۷۱	۷۹۲/۱۴	۹۰۲/۱۸
	دیر کشت	۷۰۵/۳۹	۸۱۰/۲۸	۸۷۵/۶۳	۹۹۸/۴۶
شمالی	زود کشت	۳۶۸/۷۳	۴۶۸/۷۳	۵۱۸/۹۰	۵۷۶/۷۷
	کشت به‌موقع	۳۸۱/۱۰	۴۸۲/۲۹	۵۳۱/۵۷	۵۸۶/۳۰
	دیر کشت	۴۰۹	۵۲۳/۳۰	۵۷۸/۸۳	۶۴۱/۹۱

بحث

در تمام طبقات اقلیمی در سطوح احتمالاتی و تاریخ‌های مختلف کشت، بیشترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به مرحله میانی رشد و کمترین میزان آن مربوط به مرحله انتهایی رشد است. از جمله دلایل افزایش ETc در مرحله میانی رشد، افزایش تعداد پنجه‌ها و ارتفاع گیاه، به حداکثر رسیدن پوشش سبز و افزایش تعرق در عین کاهش نسبی تبخیر است. این در حالی است که در مرحله انتهایی رشد از فعالیت گیاه کاسته شده و از سوی دیگر به علت مقارن شدن این مرحله از رشد با ماه سپتامبر و مساعد شدن شرایط آب و هوایی، نیاز خالص آبی برنج کاهش می‌یابد. در همین راستا منصوری دانشور و همکاران (۱۳۹۱) نشان دادند که با آغاز ماه سپتامبر شدت تبخیر و تعرق کاهش می‌یابد. همچنین میرلطیفی و همکاران (۱۳۹۳)، سپاسخواه و همکاران (۱۳۸۱)، پیرمرادیان و همکاران (۱۳۹۲)، شیدائیان و همکاران (۱۳۹۳)، مدیری و همکاران (۱۳۹۷)، شاهنظری و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهش‌های خود نشان دادند که میزان ETc برنج در ابتدای فصل رشد کم بوده و به‌تدریج در اواسط فصل همراه با یک افزایش نسبی است و دوباره در انتهای دوره کاهش می‌یابد. افزون‌بر تغییرات فنولوژیک که موجب افزایش تعرق می‌شود، مقارن شدن دوره میانی رشد (اواخر تیر و اوایل مرداد) با دماهای بالا به‌ویژه در شرایط کشت دیرهنگام می‌تواند موجب افزایش ETc شود. نتایج احتمالات وقوع تبخیر و تعرق واقعی گیاه برنج (ETc) در همه تاریخ‌های کشت (زودکشت، کشت به‌موقع و دیر کشت) نشان‌دهنده این است که در مناطق عمده شالیکاری غیر شمالی و در سال‌های کم تبخیر- تعرق نیاز خالص آبی نسبت به سال‌های متوسط، پر تبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق دارای اختلاف قابل‌توجهی است. این اختلافات در مناطق سرد و معتدل کمتر است، اما در مناطق گرم به‌ویژه در تاریخ کشت دیر کاشت به بیشترین میزان خود می‌رسد و به ترتیب در سال‌های نرمال، پر تبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق نسبت به سال کم تبخیر و تعرق به میزان ۱۲۵، ۲۳۷/۴ و ۴۲۴ میلی‌متر بیشتر می‌گردد. عرض جغرافیایی پایین، بالا بودن دما و ساعات آفتابی از عوامل تأثیرگذار در افزایش تبخیر و تعرق مناطق گرم به‌ویژه در دوره گرم

سال (هم‌زمان با فصل رشد برنج) است. در سال‌های اخیر تغییر کاربری اراضی، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، خشک‌سالی‌های مکرر و نوسانات اقلیمی نقش قابل‌توجهی در افزایش تبخیر و تعرق این مناطق و خشکی آن داشته است. بر این اساس سیاست کشت یا عدم کشت برنج در سال‌های با تبخیر و تعرق زیاد و خیلی زیاد باید با توجه به این یافته بازنگری شود.

در تمام مناطق اقلیمی در بین تاریخ‌های مختلف کاشت، کمترین میزان تبخیر و تعرق محاسبه‌شده مربوط به تاریخ زود کاشت در سال‌های با تبخیر و تعرق کم (۷۵ درصد احتمال رخداد) بود. اتخاذ رویکرد زود کاشت می‌تواند موجب صرفه‌جویی قابل‌توجهی در مصرف آب شود به‌طوری‌که به‌ویژه در سطح ایستگاه‌های واقع در منطقه گرم در سال‌های کم تبخیر و تعرق، نرمال، پرتبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق به ترتیب به میزان ۹۵/۸، ۱۰۵/۹، ۱۱۲/۲ و ۱۲۵/۹ میلی‌متر نسبت به شرایط دیر کاشت شود (جدول ۶). ازاین‌رو رویکرد زود کاشت در همه مناطق و سناریوهای تبخیر و تعرق موجب کاهش تبخیر و تعرق می‌شود، اما تحلیل‌های سرمای دیررس بهاره (خصوصاً در اقلیم‌های سرد) در تعیین تاریخ کشت بهینه باید مد نظر قرار گیرند. در همین زمینه درزی نفت چالی و کاراندیش (۱۳۹۵) نشان دادند که جابجایی فصل کشت به زمان‌های دیرتر، آب مورد نیاز برای کشت برنج در محدوده سال‌های ۲۰۱۱-۲۱۰۰ را تا ۵۹۳ مترمکعب در هکتار افزایش داد. در مقایسه میزان تبخیر-تعرق در مناطق اقلیمی گرم، سرد و معتدل در تمام تاریخ‌های کشت و سطوح احتمالاتی نشان داد که در مقیاس کل فصل، میزان نیاز خالص آبی برنج مناطق گرم به‌طور متوسط ۴۰ درصد (۲۳۰ تا ۲۹۱ میلی‌متر) بیشتر از مناطق سرد و معتدل است. بررسی میزان نیاز خالص آبی برنج در شرایط کاشت به‌موقع نشان داد که در سال‌های کم‌تبخیر و تعرق، نرمال، پر تبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق در مناطق سرد به‌ترتیب به میزان ۵۹۲/۵، ۶۷۵/۲، ۷۴۳/۱ و ۸۴۴/۶ میلی‌متر، در مناطق معتدل به‌ترتیب به میزان ۶۴۰/۶، ۷۴۷/۷، ۷۹۲/۱ و ۹۰۲/۱ میلی‌متر و در مناطق گرم به ترتیب به میزان ۸۱۳/۹، ۹۲۸/۶، ۱۰۳۳/۳ و ۱۲۰۷/۲ میلی‌متر است. در همین زمینه بر اساس نتایج پژوهش اسعدی اسکویی و همکاران (۱۴۰۰) مشخص شد که در مناطق شمالی در شرایط کاشت به‌موقع، نیاز خالص آبی در سال‌های کم تبخیر و تعرق، نرمال، پر تبخیر و تعرق و بسیار پر تبخیر و تعرق به ترتیب ۴۰۷/۸، ۵۱۲/۹، ۵۶۸/۶ و ۶۳۲/۹ میلی‌متر است که به‌مراتب بسیار کمتر از میزان تبخیر و تعرق مناطق اقلیمی سرد، معتدل و گرم است. در مناطق سرد به دلیل عرض جغرافیایی بالاتر، ارتفاع به نسبت بالاتر، دمای کم، ابرناکی و ساعت آفتابی کمتر و بالا بودن رطوبت نسبی میزان تبخیر و تعرق کم است. گرچه ایستگاه‌های واقع در منطقه سرد و معتدل در عرض‌های بالاتر قرار دارند اما به دلیل ارتفاع زیاد و جو رقیق، امکان جذب تابش در آن بیشتر بوده که این عامل سبب افزایش میزان دما و در نتیجه تبخیر و تعرق بیشتر نسبت به نواحی ساحلی شمال می‌شود. این نتیجه با یافته‌های خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۹۰) همانند بود. همچنین این یافته‌ها با نتایج پژوهش منصوری دانشور و همکاران (۱۳۹۱) که نشان دادند کمترین میزان شدت تبخیر و تعرق محدود به سواحل جنوبی دریای خزر، به‌خصوص سواحل جنوب‌غربی آن در استان گیلان و همچنین حاشیهٔ مرزی شمال غربی و غرب ایران تا جنوب استان کرمانشاه و پس‌ازآن نواحی زاگرس میانی و مناطق مرتفع آذربایجان که استان‌های لرستان، همدان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویر احمد و بخش‌های شمالی استان هرمزگان است، همسو است. در همین زمینه خالدیان و همکاران (۱۴۰۰) در مقایسه نیاز خالص آبی برنج در استان‌های گیلان و مازندران با استان‌های فارس و خوزستان توصیه کردند که بهتر است کشت برنج در استان‌های خوزستان و فارس به‌خصوص در سال‌های کم آب محدود شود.

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه و بررسی‌های انجام‌شده، لزوم و اهمیت بررسی و برآورد مقادیر تبخیر و تعرق گیاه برنج را بر اساس احتمالات وقوع متفاوت به‌منظور برآورد نیاز آبی در مراحل مختلف رشد، در راستای برنامه‌ریزی‌های دقیق-تر، مدیریت بهینه مزرعه در سال‌های گرم و خشک (با پتانسیل تبخیر و تعرقی حداکثر) را نمایان کرد، این امر در برآورد نیاز آبی در دوره‌های فنولوژیکی حساس از اهمیت دوچندانی برخوردار است. لذا پیشنهاد می‌گردد با توجه به‌واقع شدن ایران بیشترین مساحت کشور در منطقه خشک و نیمه‌خشک و اهمیت بهره‌وری بیشتر از منابع آبی برای محصول برنج در سواحل جنوبی دریای خزر به‌ویژه در بخش غربی آن شامل استان‌های گیلان و مازندران کشت شود. همچنین نظر به اینکه کشت برنج در مناطق غیر شمالی (برخی از مناطق واقع در اقلیم‌های سرد، معتدل و گرم) به‌صورت سنتی انجام می‌شود، بهتر است که در مناطق سرد و معتدل نیز نوع مدیریت آبیاری با آب موجود با محاسبات سال‌های پرتبخیر و تعرق و بسیار پرتبخیر و تعرق متناسب شود. ازسوی‌دیگر در مناطق سرد برای فرار از سرمازدگی دیررس بهتر است از تقویم‌های دیر کشت استفاده شود. نتایج این پژوهش لزوم و اهمیت بررسی و برآورد مقادیرتبخیر و تعرق گیاه برنج را بر اساس احتمالات وقوع متفاوت در راستای برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تر، مدیریت بهینه مزرعه در سال‌های با پتانسیل تبخیر و تعرقی حداکثر را نمایان می‌سازد. همچنین با تعیین مقدار دقیق آبی که مصرف می‌شود، نقش مؤثری در برنامه‌ریزی برای رسیدن به محصول بیشتر و کاهش خسارات ناشی از کم‌آبی و تعیین مناطق مناسب برای کشت برنج دارد.

فهرست منابع

۱. اسعدی اسکویی، ا.، کوزه گران، س.، یزدانی، م.، رحمانی، ا. ۱۴۰۰. تأثیر سطوح احتمالات متفاوت در برآورد نیاز خالص آبی خالص برنج در استان‌های شمالی ایران. آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۵: ۶۵۹-۶۷۱.

۲. اسعدی اسکویی، ا.، موسوی بایگی، م.، یزدانی، م.، علیزاده، ا. ۱۳۹۶. اثر عمق غرق آبی بر تلفات تبخیر از سطوح شالیزاری. پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، ۱: ۲۲۱-۲۳۵.

۳. امینی، ع.، نوری، هد و اصلانی سنگده، ب. ۱۳۹۴. ارزیابی و سنجش پایداری زراعت برنج با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (مورد مطالعه: شهرستان رضوانشهر). علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۱: ۱۰۱-۱۲۶.

۴. پیرمرادیان، ن.، ذکری، ف.، رضایی، م.، عبدالهی، و. ۱۳۹۲. استخراج ضرایب گیاهی سه رقم برنج بر پایه روش برآورد تبخیر و تعرق مرجع در منطقه رشت. تحقیقات غلات، ۲: ۹۵-۱۰۶.

۵. خالدیان، م.، رضایی، گ.، کاوسی کلاشمی، م.، رضایی، م. ۱۴۰۰. ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب در استان‌های عمده تولیدکننده برنج در ایران. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۳: ۶۳۶-۶۴۴.

۶. خوش‌اخلاق، ف.، روشن، غ.، کرمپور، م. ۱۳۹۰. ارزیابی و اصلاح مدل مناسب تبخیر و تعرق بالقوه برای ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۸: ۴۹-۶۸.

۷. درزی نفت‌چالی،ع و کاراندیش، ف. ۱۳۹۵. مدیریت کشت برنج در استان مازندران در شرایط تغییر اقلیم. پژوهش آب در کشاورزی، ۳: ۳۳۳-۳۴۶.

۸. دهقانی سانیج، ح.، اسعدی اسکویی، ا.، تقی زاده قصاب، ا. ۱۴۰۰. تحلیلی بر آب مصرفی بخش کشاورزی مبتنی بر تبخیر و تعرق واقعی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۶: ۱۲۵۱-۱۲۶۲.

۹. سپاسخواه، ع.، پیرمرادیان، ن.، کامکار حقیقی، ع. ۱۳۸۱. ضریب گیاهی و نیاز خالص آبی برنج در منطقه کوشک استان فارس. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۳: ۱۵-۲۴.

۱۰. شاهنظری، ع.، جلالی کوتنایی، ن.، ضیاء تبار احمدی، م.، خوش‌روش، م.، رضایی، م. ۱۴۰۰. برآورد نیاز خالص آبی و ضریب گیاهی برنج رقم‌های کوهسار و هاشمی در سامانه‌های مختلف کشت. پژوهش آب در کشاورزی، ۳: ۲۳۵-۲۴۵.

۱۱. شیدائیان، م.، ضیا تبار احمدی، م.، فضل اولی، ر. ۱۳۹۳. تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد محصول برنج (مطالعه موردی: دشت تجن). آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۶: ۱۲۸۴-۱۲۹۷.

۱۲. فاطمی، م.، امیدوار، کمال و رحبی مورکانی، ص. ۱۴۰۰. پهنه‌بندی اقلیمی کشت برنج در شهرستان لنجان. کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، ۲: ۶۷-۸۴.

۱۳. قمرنیا، ه.، براتی، ز.، جلیلی، ز. ۱۴۰۰. برآورد نیاز خالص آبی و ضرایب گیاهی برنج با استفاده از لایسیمتر در شرایط غیر غرقابی در اقلیم نیمه‌خشک ایران. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۵: ۱۱۳۱-۱۱۴۰.

۱۴. کاراندیش، ف؛ جهانتیغ، م و دلبری، م؛ ۱۳۹۵؛ تحلیل اثرات تقویم کشت بر نیاز خالص آبی گندم در استان سیستان و بلوچستان در شرایط تغییر اقلیم؛ نشریه آبیاری و زهکشی ایران؛ ۴: ۴۹۸-۴۸۹.

۱۵. مدیری، ا.، براری تاری، د.، امیری، ا.، نیک نژاد، ی.، فلاح، ه.، خزایی، م.۱۳۹۷. ارزیابی و برآورد میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در استان‌های شمالی کشور. جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، ۱: ۵۶۱-۵۷۲.

۱۶. منصوری دانشور، م.، طاوسی، ت.، موقری، ع. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی شدت خشکی در ایران با استفاده از مدل تبخیر و تعرق هارگریوز-سامانی بر مبنای اوپوگرافی رقومی DEM. جغرافیا و پایداری محیط، ۴: ۹۵-۱۱۰.

۱۷. میرلطیفی، م.، مدبری، ه.، غلامی، م. ۱۳۹۳. تعیین تبخیر و تعرق و ضریب گیاهی ارقام هاشمی و خزر برنج در دشت مرداب (گیلان). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌وخاک، ۶۷: ۹۵-۱۰۶.

۱۸. موسوی بایگی، م.، اسعدی اسکویی، ا.، یزدانی، م.، علیزاده، ا.، زهد قدسی، م. ۱۳۹۶. اثر عمق غرقابی بر دمای آب‌وخاک در شالیزار (مطالعه موردی: رشت). هواشناسی کشاورزی، ۱: ۴۸-۵۶.

19. Arouna, A., Fatognon, I., Saito, K., Futakuchi, K. 2021. Moving toward rice self-sufficiency in sub-Saharan Africa by 2030: Lessons learned from 10 years of the coalition for African rice development. World Development Perspectives, 21: 1-15.

20. AsadiOskouei, E., Delsouz Khaki, B., Lopez-Baeza, E. Kouzegaran, S., Navidi, M.N., Haghighat, M., Davatgar, N., Lopez-Baeza, E. 2022. Mapping climate zones of Iran using hybrid interpolation methods. Remote Sens, 14: 1-21.

21. Gaydon, D.S; Singh, B;Wang, E; Poulton, P.L; Ahmad, B; Ahmed, F; Akhter, S; Ali, I; Amarasingha, R; Chaki, A.K; Chen, C; Choudhury, B.U; Darai, R; Das, A; Hochman, Z; Horan, H; Hosang, E.Y; Vijaya Kumar, P; Khan, A.S.M.M.R; Laing, A.M; Liu,L; Malaviachichi, M.A.P.W.K; Mohapatra,K.P; Muttaleb,M.A; Power,B; Radanielson,M.A; Rai,G.S; Rashid,M.H; Rathanayake, W.M.U.K; Sarker, M.M.R; Sena,D.R; Shamim,M; Subash,N; Suriadi,A; Suriyagoda, L.D.B; Wang,G; Wang,J; Yadav, R.K; Roth, C.H;2017, Evaluation of the APSIM model in cropping systems of Asia, Field Crops Research,204: 52–75.

22. Li Liu, D; Zeleke. K; Wang.B; Macadam.I; Scott.F; Martin.R; 2017; Crop residue incorporation can mitigate negative climate change impacts on crop yield and improve water use efficiency in a semiarid environment; Europ. J. Agronomy; 85: 51–68.

23. Saville,D.J ., 1990. Multiple Comparison Procedures: The practical solution. The American Statistician, 44(2): 174-180.

24. Shrestha, S., Chapagain, R., Babel, M. 2017. Quantifying the impact of climate change on crop yield and water footprint of rice in the Nam Oon Irrigation Project, Thailand. Science the Total Environment, 599-600: 689-699.

25. Silva, F; Azevedo, C. 2016. Comparison of means of agricultural experimentation data through different tests using the software Assistat. African Journal of Agricultural Research, 11(37): 3527-3531.
26. Swallow, W. 1984. Those overworked and oft-misused mean separation procedures Duncan, LSD, etc. Plant Disease, 68(10): 919-921.
27. Zhao-fei, L., Zhi-jun, Y., Cheng, Y., Zhi-ming, ZH. 2013. Assessing crop water demand and deficit for the growth of spring highland barley in Tibet, China. Journal of Integrative agriculture, 12: 541-551.

مقاله پژوهشی
نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۷ / شماره ۲/ ۱۴۰۲. ص۱۹۳-۲۰۶
https://doi.org/10.22092/jwra.2023.361653.981

ارزیابی عملکرد پایگاه داده‌های WaPOR و ERA5 با هدف برآورد تبخیر و تعرق مرجع در حوضه آبریز دریای خزر

شادمان ویسی*، میلاد نوری و آناهیتا جباری

استادیار، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ، البرز، کرج، ایران.
sh.veysi@areeo.ac.ir
استادیار، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ، البرز، کرج، ایران.
m.nouri@modares.ac.ir
استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
anahita.jabbari@yahoo.com

دریافت: فروردین ۱۴۰۲ پذیرش: خرداد ۱۴۰۲

چکیده

یکی از مطمئن‌ترین راه‌های جبران کمبود ایستگاه‌های هواشناسی، استفاده از پایگاه داده‌های سنجش از دوری و بازتحلیل است که الگوی مناسبی در مناطق دارای کمبود داده ارائه می‌دهد. در این پژوهش، عملکرد دو پایگاه داده WaPOR و ERA5 جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع در حوضه آبریز دریای خزر در مقیاس‌های زمانی روزانه و ماهانه مورد ارزیابی قرار گرفت. داده‌های هواشناسی ۶۴ ایستگاه سینوپتیک در دوره آماری (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰) بصورت روزانه از سازمان هواشناسی کل کشور اخذ گردید. در گام اول تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از معادله فائو پنمن_مانتیث و نرم‌افزار REF-ET محاسبه گردید. مقادیر با نتایج حاصل از دو پایگاه داده WaPOR و ERA5 مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بطور میانگین، مقدار nRMSE پایگاه داده‌های WaPOR و ERA5، در این حوضه آبریز نسبت به داده‌های ایستگاه هواشناسی، محاسبه شده به ترتیب ۲۹/۶٪ و ۲۹٪ در مقیاس روزانه می‌باشند. همچنین در مقیاس زمانی ماهانه، در بیش از ۸۵٪ ایستگاه‌ها، هر دو پایگاه داده مزبور نتایج قابل قبولی را ارائه می‌نماید. در مقیاس ماهانه، مقدار nRMSE میانگین در سطح حوضه آبریز برای هر دو سنجنده WaPOR و ERA5، مقدار ۱۹٪ به دست آمد. مقدار آماره rMBE نشان داد که پایگاه ERA5 در بیشتر ایستگاه‌ها تبخیر و تعرق مرجع را کم برآورد می‌نماید، ولی محاسبات پایگاه داده WaPOR همراه با بیش برآورد است. همچنین، از آنجا که ایستگاه‌های با خطای بالای ۳۰٪ در دو پایگاه داده متفاوت است، می‌توان با ترکیب داده‌های این دو، برآورد مناسب‌تری از تبخیر و تعرق مرجع در سطح حوضه آبریز خزر ارائه داد. نتایج نشان داد که در این حوضه، ۳۴ ایستگاه در پایگاه داده WaPOR و ۲۸ ایستگاه در پایگاه داده ERA5 حداقل خطا را داشتند و دو ایستگاه نیز مقدار خطای یکسانی داشتند. با توجه به نتایج، هر دو مجموعه داده WaPOR و ERA5 به‌عنوان مجموعه داده‌های مناسب در نظر گرفته می‌شود که می‌توانند برای کاربردهای مختلف هیدرولوژیکی، از جمله تخمین تبخیر و تعرق مرجع مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: کمبود داده، معادله پنمن-مانتیث ، سنجش از دور، ایستگاه هواشناسی

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: sh.veysi@areeo.ac.ir

CC BY

مقدمه

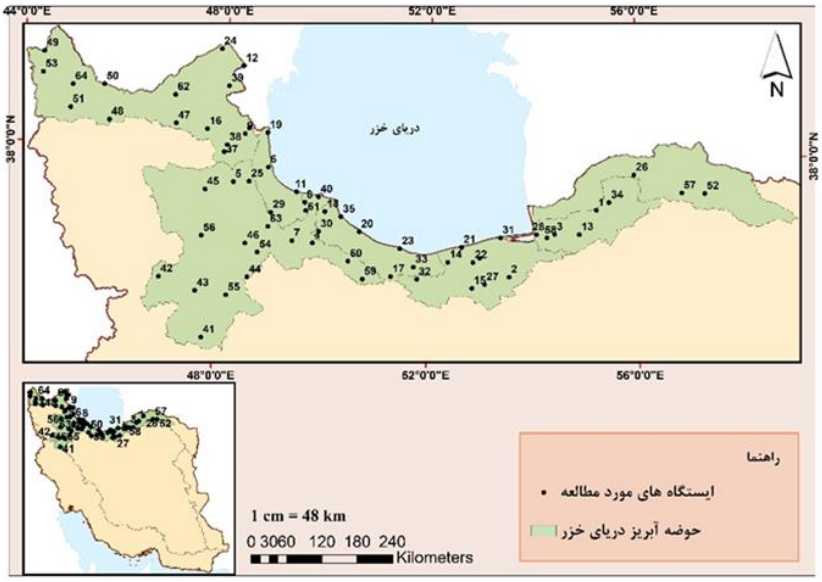
مفهوم تبخیر و تعرق مرجع (ET0) نخستین بار توسط (جنسن، ۱۹۶۸)، برای رفع برخی از ابهامات در خصوص مفهوم تبخیر و تعرق پتانسیل ارائه گردید، سپس در نشریه فائو ۵۶، تعریف آن به‌طور مبسوط ارائه شد: تبخیر و تعرق مرجع مقدار تبخیر و تعرق از یک گیاه مرجع فرضی است که مقاومت سطحی ثابت ۷۰ ثانیه بر متر، ضریب بازتابش ۰/۲۳ و ارتفاعی معادل ۱۲ سانتی‌متر دارد. سطح مرجع مشابه یک سطح چمن سبز با ارتفاع یکنواخت، رشد فعال، سایه‌اندازی کامل و تحت آبیاری مطلوب تعریف می-شود (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). تبخیر و تعرق مرجع اصلی‌ترین پارامتر در برآورد مقدار نیاز آبی گیاهان و طراحی سامانه‌های آبیاری است. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های برای برآورد صحیح تبخیر و تعرق مرجع، نبود و یا گاهی اوقات کمبود داده‌های اقلیمی در کشور است (باریده و همکاران، ۲۰۲۲). اغلب روش‌های معمول بر مبنای اندازه‌گیری نقطه‌ای استوار است، لیکن برآورد این پارامتر در مقیاس نقطه‌ای به‌راحتی منجر به حصول نتایج معتبری در مقیاس ناحیه‌ای نمی‌شود؛ بنابراین افزون بر کمبود اطلاعات پایه در ایستگاه‌ها، دقت مکانی در برآوردهای کنونی تبخیر و تعرق مرجع محل تردید است. این محدودیت‌ها در دسترسی به داده‌های هواشناسی، انگیزه اصلی علاقه رو به رشد به سمت استفاده از داده‌های باز تحلیل در مطالعات هیدرولوژیکی است. از سوی دیگر برآورد دقیق تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس‌های بزرگ مانند حوضه آبریز می‌تواند به سیاست‌گذاران بخش آب و بهره-برداران کمک نماید تا تصمیمات سازنده‌ای در مقابله با پدیده‌های حدی مانند خشکسالی گرفته شود (کالوری و همکاران،۲۰۰۳، ویل‌هایت، ۲۰۰). در میان روش‌های محاسباتی بر اساس داده‌های مشاهداتی ایستگاهی، روش مرسوم که برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع مرسوم است، روش استاندارد فائو-پنمن مانتیث است. برای حل این معادله نیاز به پارامترهای دمای هوا، تشعشع خورشیدی، رطوبت نسبی و سرعت باد است که بطور معمول در همه ایستگاه‌ها اندازه‌گیری نمی‌شوند، امروزه با پیشرفت‌های حاصل در فناوری سنجنده‌های ماهواره‌ای در مقیاس‌های منطقه‌ای و ملی، روش‌های متعددی مبتنی بر این فناوری، توسعه یافته‌اند که ضمن پوشش شکاف داده‌های میدانی، می‌توانند اطلاعات مهم و درعین‌حال قابل اعتمادی از وضعیت تبخیر و تعرق مرجع و دیگر پارامترهای مورد نیاز از منطقه مورد مطالعه با هر وسعتی، ارائه نمایند (رودل، ۲۰۲۰). در چند سال اخیر پیشرفت قابل توجهی در توسعه سامانه‌های باز تحلیل حاصل شده است. از جمله این پایگاه داده‌ها می‌توان به NCEP1 (کال نی و همکاران،۱۹۹۶)، مرکز ملی تحقیقات جوی ایالات متحده آمریکا و داده‌های NCEP2 (کانیماتسو و همکاران، ۲۰۰۲) به ترتیب با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵*۰/۲۵ و ۱/۸۷۵*۱/۸۷۵ اشاره نمود. اداره ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (ناسا) به همراه دفتر مدل‌سازی و جذب جهانی، داده‌های MERRA را ارائه نمود (رینکر و همکاران، ۲۰۱۱). آژانس هواشناسی ژاپن (JMA) داده‌های بازتحلیل ۵۵ ساله ژاپن (JRA-55)؛ را با وضوح مکانی ۰/۱۲۵*۰/۱۲۵ درجه، ارائه کرد (ایبیتا و همکاران، ۲۰۱۱). مرکز اروپایی پیش‌بینی هوا (ECMWF)، ERA-15 (گیبسون و همکاران، ۲۰۱۱)، ERA-40 (آپلا و همکاران، ۲۰۰۵) و اخیراً، نسل پنجم، ERA5 (هرباچ و همکاران، ۲۰۲۰) را ارائه کرده است. داده‌های باز تحلیل یک بخش از کره زمین را با یک توصیف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی سازگار با حالت الگوهای پیوسته گذشته، از طریق ادغام مشاهدات چند منبعی و الگوهای محاسباتی فراهم می‌کند (بالسمو و همکاران، ۲۰۰۹، لورنزو و کانسمان، ۲۰۱۲). استفاده از الگوها در داده‌های باز تحلیل باعث می‌شود که همه مشاهدات به شیوه‌ای سازگار تفسیر و شکاف‌های مکانی و زمانی در داده‌ها بر اساس پارامترهای فیزیکی و دینامیکی پر شوند (کال نی و همکاران،۱۹۹۶). داده‌های باز تحلیل نماینده ارتفاعی یک پیکسل و مساحت آن هستند، در مکان‌هایی که تغییرات توپوگرافی شدید است ایستگاه هواشناسی نمی-تواند معرف میانگین ارتفاعی منطقه و وضعیت ایجادشده

در ایستگاه باشد (بلانکن و همکاران، ۲۰۲۰). تاکنون چندین مطالعه برای بررسی تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از این داده‌ها صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به پژوهش گله‌بان و همکاران (۱۴۰۰) اشاره نمود که با استفاده از محصولات سامانه‌های WaPOR و ERA5 اقدام به برآورد میزان تبخیر و تعرق مرجع روزانه بر مبنای روش پنمن مانتیث و ارزیابی و صحت سنجی خروجی‌های آن در سطح استان سیستان و بلوچستان نمودند. نتایج پژوهش نشان داد که سامانه‌های سنجش از دوری با صحت بالای ۸۰ درصد در محل ایستگاه‌های هواشناسی مقدار تبخیر و تعرق مرجع را برآورد و در تمامی ایستگاه‌ها خطای کمتر از دو میلی‌متر در روز گزارش شد. همچنین نتایج نشان داد که تبخیر و تعرق مرجع به‌دست‌آمده از این پایگاه داده‌ها در کشت بهاره نسبت به کشت پاییزه همبستگی بیشتری را نشان می‌دهد. در سطح جهانی، مارتینز و همکاران (۲۰۱۷) و پارادس و همکاران (۲۰۱۸)، در دو پژوهش مستقل در آمریکا و پرتغال برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع به این نتیجه رسیدند که داده‌های باز تحلیل نسبت به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی مقدار تبخیر و تعرق مرجع را کمتر برآورد می‌نمایند. آلن و همکاران (۲۰۱۵)، در پژوهشی با استفاده از داده‌های NLDAS که در آن محاسبات داده‌های باز تحلیل نسبت به ایستگاه‌های استاندارد هواشناسی دچار بیش برآورد بود، با ارزیابی تک تک پارامترها به این نتیجه رسیدند که دلیل این بیش برآورد ناشی از خطا در برآورد-های انفرادی مقادیر سرعت باد، دمای میانگین و شدت تشعشع خورشیدی است. بر این اساس در حالت کلی داده-های باز تحلیلی مانند NLDAS که از ترکیب داده‌های زمینی و ماهواره‌ای برآورد می‌شوند نسبت به داده‌های باز تحلیلی که محصول درون‌یابی بین نقاط هستند مانند PRISM و gridMET دچار بیش برآورد می‌شوند. هدف از مطالعه حاضر، تعیین صحت دو پایگاه داده شبکه‌بندی شده‌ی WaPOR و ERA5 در برآورد تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس روزانه و ماهانه در حوضه آبریز خزر و زیر حوضه‌های مربوط به آن است. نتایج این پژوهش به این سؤال اساسی پاسخ خواهد داد که استفاده از داده‌های باز تحلیل در مقیاس حوضه آبریز و زیر حوضه‌های آن تا چه حد قابل اعتماد بوده و همچنین در چه مقیاس زمانی نتایج رضایت بخشی را برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع ارائه خواهند داد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز دریای خزر با مساحت ۱۷۴،۶۱۸ هزار کیلومتر مربع یکی از شش حوضه آبریز کشور است که در محدوده‌ی °۴۴/۳۹ تا ۵۷/۳۰ طول شرقی و °۳۵/۱۸ تا°۳۹/۶۱ عرض شمالی ایران واقع شده است. این حوضه حدود ۱۱ درصد کل مساحت کشور را در بر می‌گیرد. میانگین بارش در این حوضه در حدود ۴۴۰ میلی‌متر در سال است که به‌تنهایی حدود ۲۱ درصد حجم بارش ورودی به کل ایران را شامل می‌شود. این حوضه آبریز شامل هفت زیر حوضه بنام‌های ارس، تالش-انزلی، سفیدرود، لاهیجان، هراز، قره‌سو و اترک است. در این پژوهش ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در این حوضه بررسی شدند. موقعیت ایستگاه‌ها و زیر حوضه‌های سطح حوضه آبریز خزر در شکل (۱) و جدول (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت مکانی حوضه آبریز دریای خزر

جدول ۱- ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک حوضه آبریز دریای خزر

ایستگاه	شماره	ایستگاه	شماره	ایستگاه	شماره	ایستگاه	شماره
ماکو	۴۹	کجور	۳۳	سیاه‌بیشه	۱۷	گنبدکاووس	۱
جلفا	۵۰	کلاله	۳۴	لاهیجان	۱۸	کیاسر	۲
خوی	۵۱	رودسر	۳۵	آستارا	۱۹	گرگان	۳
بجنورد	۵۲	نمین	۳۶	رامسر	۲۰	جیرنده	۴
چالدران	۵۳	نیر	۳۷	بابلسر	۲۱	فیروزآباد	۵
خیبرآباد	۵۴	سرعین	۳۸	قائم‌شهر	۲۲	تالش	۶
گرماب	۵۵	گرمی	۳۹	نوشهر	۲۳	منجیل	۷
ماه‌نشان	۵۶	کیاشهر	۴۰	پارس‌آباد	۲۴	رشت	۸
مانه و سلمقان	۵۷	قروه	۴۱	خلخال	۲۵	اردبیل	۹
گرگان (هاشم‌آباد)	۵۸	زرینه	۴۲	مراوه‌تپه	۲۶	ساری	۱۰
طالقان	۵۹	بیجار	۴۳	پل‌سفید	۲۷	انزلی	۱۱
معلم کلایه	۶۰	خدابنده	۴۴	بندر ترکمن	۲۸	بیله‌سوار	۱۲
رشت (کشاورزی)	۶۱	میانه	۴۵	ماسوله	۲۹	علی‌آباد کتول	۱۳
کلیبر	۶۲	زنجان	۴۶	دیلمان	۳۰	آمل	۱۴
آب بر	۶۳	اهر	۴۷	بندر امیرآباد	۳۱	آلاشت	۱۵
قره ضیا الدین	۶۴	مرند	۴۸	بلده	۳۲	مشکین‌شهر	۱۶

تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه هواشناسی

برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع، داده‌های هواشناسی ۶۴ ایستگاه سینوپتیک با دوره آماری ۱۰ ساله (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰) به‌صورت روزانه از سازمان هواشناسی کل کشور تهیه شد. داده‌های میدانی استفاده شده شامل دمای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی، سرعت باد، شدت تشعشع خورشیدی بودند. سپس تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از معادله فائو-پنمن مانتیث و نرم‌افزار REF-ET محاسبه شد.

$$ET0 = \frac{0.408\,\Delta(R_n - G) + \gamma\frac{900}{T+273}u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\,u_2)} \qquad (۱)$$

که در آن: ET0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm)، Δ شیب منحنی فشار بخار نسبت به درجه حرارت ($Kpa.°C^{-1}$)، Rn تابش خالص، G شار گرما به داخل خاک ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$)، γ

ضریب رطوبتی ($Kpa°C^{-1}$)،T متوسط دمای روزانه (°C)، es و ea به ترتیب فشار بخار اشباع و فشار بخار واقعی آب (mbar)، U_2 سرعت باد در روز در ارتفاع دو متری از سطح زمین به ($m.s^{-1}$) است.

تبخیر و تعرق مرجع WaPOR

پایگاه داده WaPOR تبخیر و تعرق را از طریق الگوریتم ETLook برآورد می‌نماید. الگوریتم ETLook، با اعمال تغییری اندک در معادله پنمن مانتیث و استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای شامل NDVI، آلبیدو سطحی، رطوبت خاک، تابش خورشیدی، پوشش سطح زمین و مدل ارتفاعی رقومی و داده‌های هواشناسی شامل دما، رطوبت، سرعت باد و بارش تبخیر و تعرق را برآورد می‌کند. در روش ETLook مقدار تبخیر از سطوح خاکی، آب و گیاهان از رابطه (۲) و میزان تعرق از سطوح گیاهان از رابطه (۳) به‌صورت جداگانه محاسبه می‌گردد (فائو، ۲۰۲۰). نتایج این محصولات به‌صورت رایگان در درگاه سایت FAO در دسترس عموم قرار دارند.

$$\lambda E = \frac{\Delta(R_{n,soil}-G)+\rho C_p(\frac{\Delta_e}{r_{a,soil}})}{\Delta+\gamma(1+\frac{r_{soil}}{r_{a,soil}})} \quad (۲)$$

$$\lambda T = \frac{\Delta(R_{n,Canopy}-G)+\rho C_p(\frac{\Delta_e}{r_{a,Canopy}})}{\Delta+\gamma(1+\frac{r_{Canopy}}{r_{a,Canopy}})} \quad (۳)$$

λ گرمای نهان تبخیر (JKg^{-1})، E تبخیر از سطح خاک و T تعرق گیاه ($Kgm^{-2}s^{-1}$)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع (PaK^{-1})، Δe کمبود فشار بخار(Pa)، ρ چگالی هوا (Kgm^{-3})، Cp ثابت حرارت هوای خشک($J\ kg^{-1}K^{-1}$)، γ ثابت سایکرومتری(PaK^{-1})، $R_{n,soil}$ و $R_{n,Canopy}$ به ترتیب شار تابش خالص خاک و پوشش گیاهی(Wm^{-2})، r_{soil} و r_{canopy} به ترتیب نشان‌دهنده مقاومت خاک و پوشش گیاهی (sm^{-1}) و $r_{a,soil}$ و $r_{a,canopy}$ به ترتیب مقاومت آئرودینامیکی خاک و پوشش گیاهی می‌باشند. محصول تبخیر و تعرق مرجع این سامانه به‌صورت روزانه و با قدرت تفکیک مکانی ۲۰ کیلومتر از سال ۲۰۰۹ تاکنون در سطح یک در دسترس است. این محصول از داده‌های اقلیمی باز تحلیل MERRA2 برای برآورد تبخیر و تعرق استفاده می‌نماید.

تبخیر و تعرق مرجع ERA5

داده‌های باز تحلیل ERA5 به‌عنوان بخشی از اجرای سرویس تغییرات آب و هوایی کوپرنیک در اروپا است. مرکز اروپایی پیش‌بینی میانبرد آب‌وهوا (ECMWF) اقدام به تولید داده‌های جهانی باز تحلیل آب‌وهوایی و اقلیمی نمود. اساس این داده‌ها سیستم یکپارچه پیش‌بینی است که با استفاده از قوانین فیزیک داده‌های مدل را با داده-های مشاهداتی در سراسر جهان به یک مجموعه داده جهانی و کاملاً سازگار تبدیل می‌کند. با استفاده از سامانه Google Earth Engine (GEE)، داده روزانه هواشناسی تهیه و سپس با استفاده از معادله فائو-پنمن مانتیث برآورد تبخیر و تعرق مرجع انجام گرفت.

جدول ۲- داده‌های مورد استفاده ERA5 در برآورد تبخیر و تعرق مرجع

داده	نماد	منبع	پارامتر	تفکیک مکانی (متر)	تفکیک زمانی	بازه زمانی
حداکثر دمای روزانه	Tmax	ERA 5	Tmax	۲۷۸۳۰	روزانه	۱۳۹۰-۱۴۰۰
حداقل دمای روزانه	Tmin	ERA 5	Tmin	۲۷۸۳۰	روزانه	
میانگین دما روزانه	Tmean	ERA 5	Tmean	۲۷۸۳۰	روزانه	
دمای نقطه شبنم	Tdew	ERA 5	Tdew	۲۷۸۳۰	روزانه	
سرعت باد	Wind speed	ERA 5	Wind	۲۷۸۳۰	روزانه	
شدت تشعشع خورشیدی	Solar radiation	ERA 5	SR	۲۷۸۳۰	روزانه	

آنالیز آماری

صحت نتایج برآورد تبخیر-تعرق مرجع حاصل از داده‌های هر دو پایگاه داده نسبت به تبخیر و تعرق مرجع محاسبه‌شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌ها، به کمک دو آماره‌ی خطا سنجی برآورد و ارزیابی شد. این آماره‌ها عبارت‌اند از:

$$\mathrm{nRMSE} = \frac{\mathrm{RMSE}}{\bar{O}} \quad (۴)$$

$$rMBE = (\frac{100}{\bar{O}}) \times {}^{1}/_{n} \sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i) \quad (۵)$$

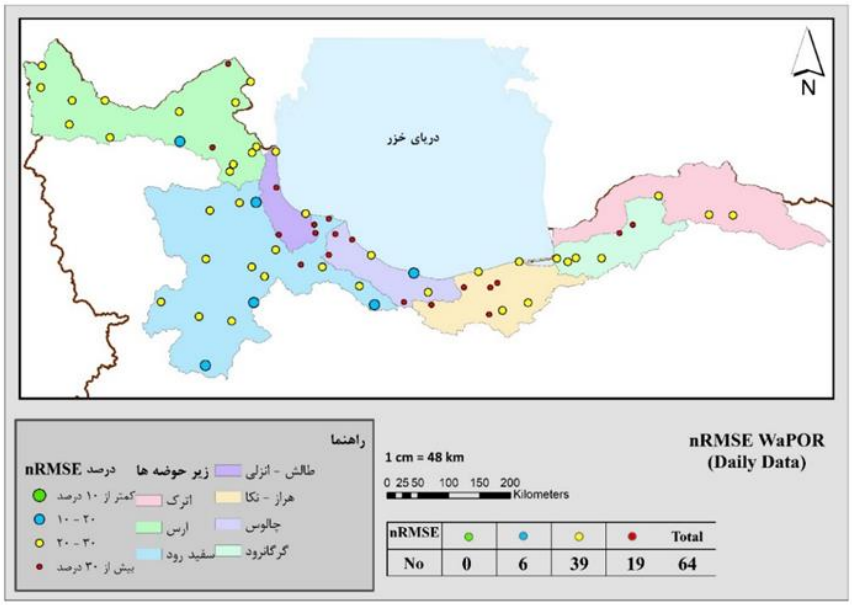
که در آن O_i مقادیر مشاهداتی تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس‌های زمانی مختلف روزانه، ماهانه و سالانه و P_i مقادیر پیش‌بینی‌شده و استخراج‌شده از پایگاه داده‌ها می‌باشند. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE) بیان‌کننده وضعیت مدل‌سازی است. مقدار کمتر از ۱۰٪ وضعیت ایده‌آل، بازه ۱۰ تا ۲۰٪ و ۲۰ تا ۳۰٪ به‌ترتیب نشانگر وضعیت مناسب و متوسط مدل در برآورد و بیشتر از ۳۰٪ نشان‌دهنده عدم اطمینان به مدل است (موریاسی و همکاران، ۲۰۰۷؛حیدری مطلق و همکاران، ۲۰۲۲).

نتایج و بحث

ارزیابی روزانه و ماهانه WaPOR

آنالیزهای آماری در مقیاس‌های روزانه و ماهانه برای تمامی ایستگاه‌ها در اشکال (۲) و (۳) ارائه شده است.

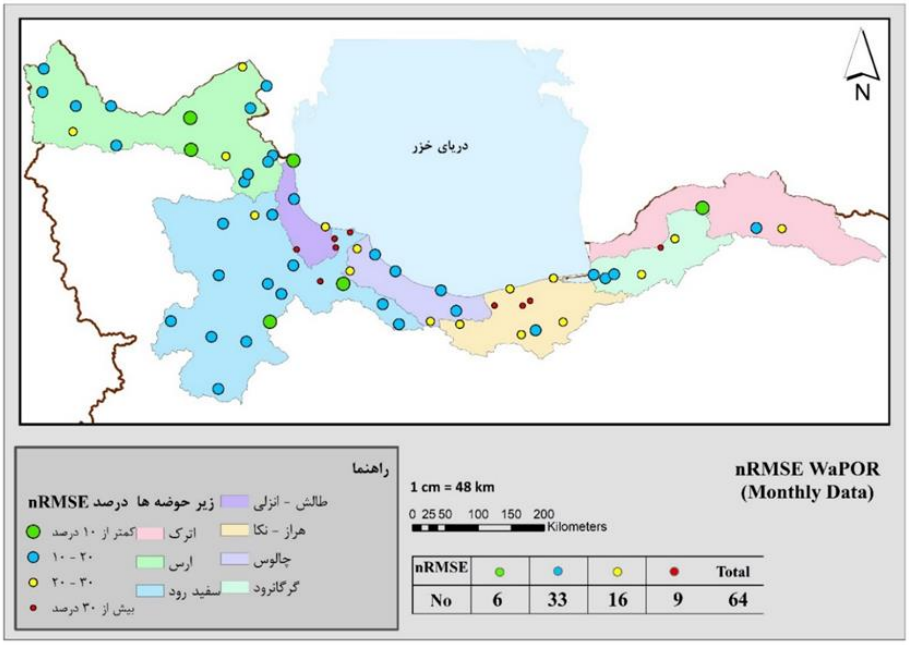
نتایج به‌دست‌آمده از تبخیر و تعرق مرجع WaPOR در تمامی ایستگاه‌های موردبررسی نشان می‌دهد که در ۱۹ ایستگاه از مجموع ۶۴ ایستگاه سینوپتیک حوضه آبریز دریای خزر مقدار nRMSE روزانه بیشتر از ۳۰ درصد و به‌عبارت‌دیگر در بیش از ۷۰ درصد از ایستگاه‌های حوضه آبریز دریای خزر خطای کمتر از ۳۰ درصد مشاهده شد. کمترین مقدار nRMSE روزانه مربوط به ایستگاه قروه به میزان ۱۷ درصد و بیشترین مقدار آن مربوط به ایستگاه ماسوله به میزان ۵۲ درصد است. روزانه در حوضه آبریز دریای خزر برای پایگاه داده WaPOR، ۲۹/۶ درصد به دست آمد. نتایج آنالیز آماره nRMSE برای داده‌های ماهانه نشان داد که در هشت ایستگاه از مجموع ۶۴ ایستگاه، مقدار خطا بالاتر از ۳۰ درصد است، بنابراین در مقیاس ماهانه، در بیش از ۸۷ درصد از ایستگاه‌های مورد بررسی مقدار nRMSE کمتر از ۳۰ درصد به دست آمد.



شکل ۲- پراکنش مقادیر nRMSE روزانه پایگاه داده WaPOR در حوضه آبریز خزر

همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌گردد، عملکرد پایگاه داده WaPOR در سه حوضه آبریز تالش-انزلی، چالوس و هراز–نکا نشان می‌دهد که تعداد ایستگاه-های با خطای بالای ۳۰ درصد در برآورد مقدار تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس روزانه در آن حوضه‌ها بالاتر است، به‌عبارت‌دیگر در مقیاس روزانه در این سه زیر حوضه استفاده از داده‌های WaPOR باید با احتیاط صورت گیرد. با نگاه کلی‌تر و در سطح کل حوضه آبریز مشاهده می‌گردد

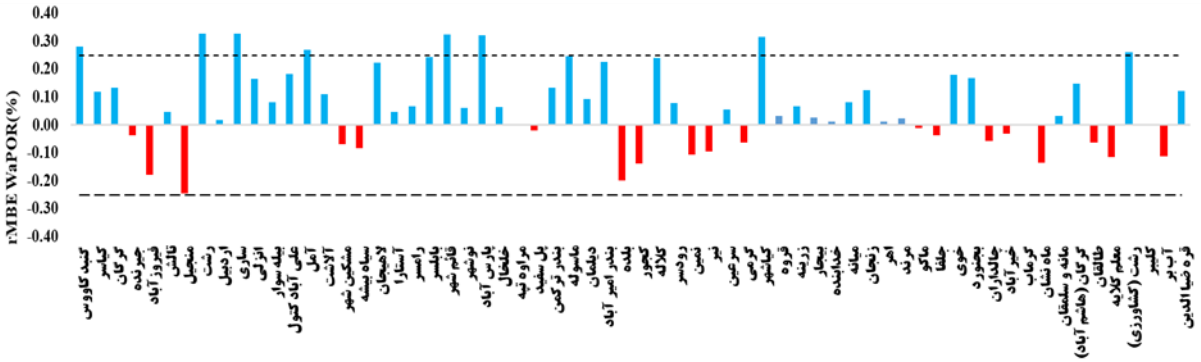
که عملکرد این پایگاه داده در ایستگاه‌های البرز غربی و سپس البرز شرقی در مقیاس روزانه به‌مراتب بهتر از عملکرد ایستگاه‌های محدوده البرز میانی است. از آنجائیکه عوامل اصلی تبخیر و تعرق مرجع باد و شدت تشعشع خورشیدی است، به نظر می‌رسد که پایگاه داده MERRA2 که محل تهیه داده برای سامانه WaPOR است در یکی از دو عامل اصلی همراه با خطای اساسی است؛ با توجه به وضعیت اقلیمی البرز میانی و ابرناکی مکرر محدوده مطالعاتی، انتظار بر این است شدت تشعشع خورشیدی عامل اثرگذارتری در این مقدار خطا باشد.



شکل ۳- پراکنش مقادیر nRMSE ماهانه پایگاه داده WaPOR در حوضه آبریز خزر

با توجه به شکل (۳) مشخص می‌شود که در مقیاس ماهانه، تعداد ایستگاه‌های با خطای بالای ۳۰ درصد تقریباً به نصف کاهش می‌یابد و به نظر می‌رسد که در مقیاس زمانی بزرگ‌تر، صحت قابل قبول‌تری به دست می‌آید. با توجه به اینکه نوسانات تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس ماهانه نسبت به روزانه کمتر است، روند تغییرات مقادیر پایدارتر شده و همین امر باعث می‌شودکه شاخص nRMSE با توجه به ماهیت معادله آن‌که از تقسیم باقیمانده حداقل مجذور مربعات خطا (RMSE) بر مقادیر میانگین داده‌های مشاهداتی محاسبه می‌گردد در گام‌های زمانی طولانی‌تر نتایج مناسب‌تری ارائه نماید. این نتیجه با نتایج مطالعه (نوری و همائی، ۲۰۲۲) مطابقت دارد، همان‌طور که مشاهده می‌گردد در بیش از ۸۵ درصد ایستگاه‌ها در مقیاس ماهانه خطا کمتر از ۳۰ درصد بدست آمده است. همچنین در مقیاس زیر حوضه به ترتیب در زیر حوضه‌های ارس، سفیدرود و اترک عملکرد مناسب‌تری نسبت به بقیه زیرحوضه‌ها دیده می‌شود. همچنین در مقیاس ماهانه حوضه‌های البرز میانی مانند مقیاس روزانه عملکرد مناسبی ارائه ندادند؛ به‌عبارت‌دیگر درصورتی‌که هر کدام از زیرحوضه‌ها در مقیاس روزانه خطای بالای را نشان دادند در مقیاس ماهانه نیز همان حوضه‌ها نامناسب‌ترین عملکرد را داشتند که البته همان‌طور که بیان شد، در مقیاس ماهانه به‌طور تقریبی بین ۵ تا ۱۰ درصد مقادیر خطا کاهش یافت. طبق نتایج آماره rMBE نیز مشخص شد که مقدار برآورد شده تبخیر و تعرق مرجع در ۱۹ ایستگاه دچار کم برآورد و در ۴۳ ایستگاه همراه با بیش برآورد است، ضمناً دو ایستگاه کلیبر و گرماب هیچ‌گونه بیش برآورد و یا کم برآوردی را نشان ندادند. هشت ایستگاه از ۶۴ ایستگاه مورد بررسی مقدار بیش برآوردی بیش از ۲۵ درصد را نشان دادند و تنها ایستگاهی که کم برآوردی بیش از ۲۵ درصد

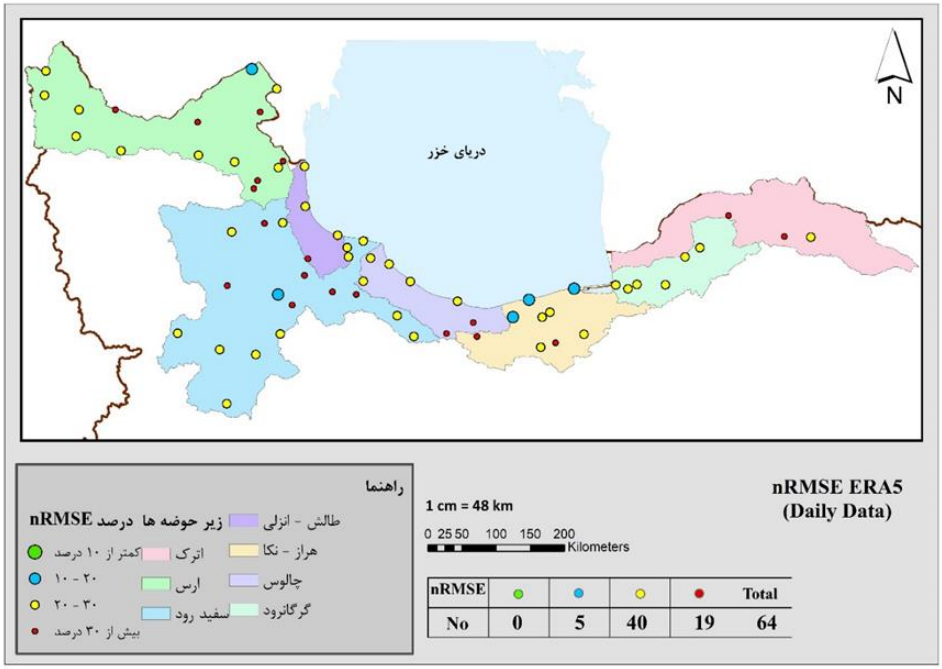
را نشان داد، ایستگاه منجیل بود شکل (۴). شایان ذکر است با توجه به اینکه سامانه WaPOR در بیشتر ایستگاه‌ها همراه با بیش برآورد است، بنابراین به نظر می‌رسد که عوامل اصلی تبخیر و تعرق مرجع (شدت تشعشع خورشیدی، سرعت باد) حداقل یکی از این عوامل در پایگاه داده MERRA2 همراه با بیش برآورد باشد که البته این مورد نیاز به تحقیق و بررسی بیشتر دارد.



شکل ۴- مقادیر آماره rMBE با استفاده پایگاه داده WaPOR در حوضه آبریز دریای خزر

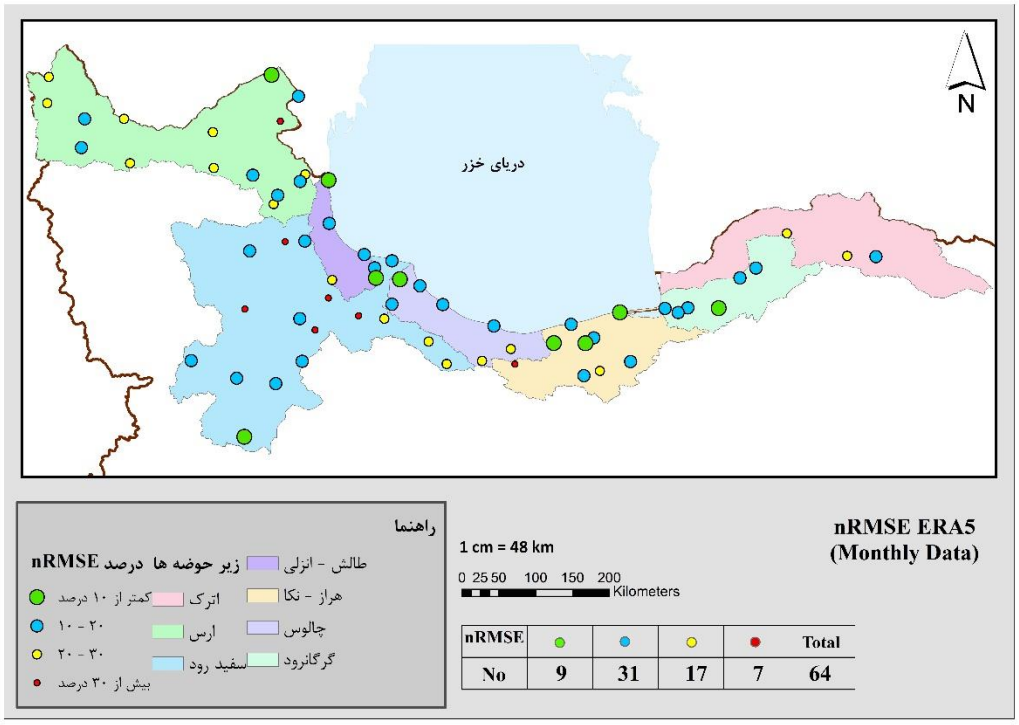
ارزیابی روزانه و ماهانه ERA5

نتایج به دست آمده از تبخیر و تعرق مرجع محاسبه‌شده در پایگاه داده‌های ERA5 در تمامی ایستگاه-های مورد بررسی نشان داد که در ۱۷ ایستگاه از مجموع ۶۴ ایستگاه سینوپتیک حوضه آبریز دریای خزر مقدار nRMSE روزانه بیشتر از ۳۰ درصد و در دیگر ایستگاه‌ها خطا کمتر از ۳۰ درصد به دست آمد؛ به‌عبارت‌دیگر به لحاظ کمی تعداد ایستگاه‌های با خطای بالای ۳۰ درصد در پایگاه داده ERA5 کمتر از پایگاه داده WaPOR است. کمترین مقدار nRMSE روزانه مربوط به ایستگاه‌های پارس‌آباد و بابلسر به میزان ۱۹ درصد و بیشترین مقدار آن مربوط به ایستگاه منجیل به میزان ۵۴ درصد است. به‌طورکلی خطای میانگین روزانه در حوضه آبریز دریای خزر برای پایگاه داده ERA5، ۲۹ درصد محاسبه شد. نتایج آنالیز ماهانه داده‌ها به کمک آماره nRMSE نشان داد که در هفت ایستگاه مقدار خطا بالاتر از ۳۰ درصد است؛ به‌عبارت‌دیگر در مقیاس ماهانه، در ۹۰ درصد از ایستگاه‌های مورد بررسی، مقدار nRMSE کمتر از ۳۰ درصد است. شکل‌های (۵) و (۶) نتایج آماره nRMSE را در مقیاس روزانه و ماهانه برای تمامی ایستگاه‌ها نشان می‌دهند.



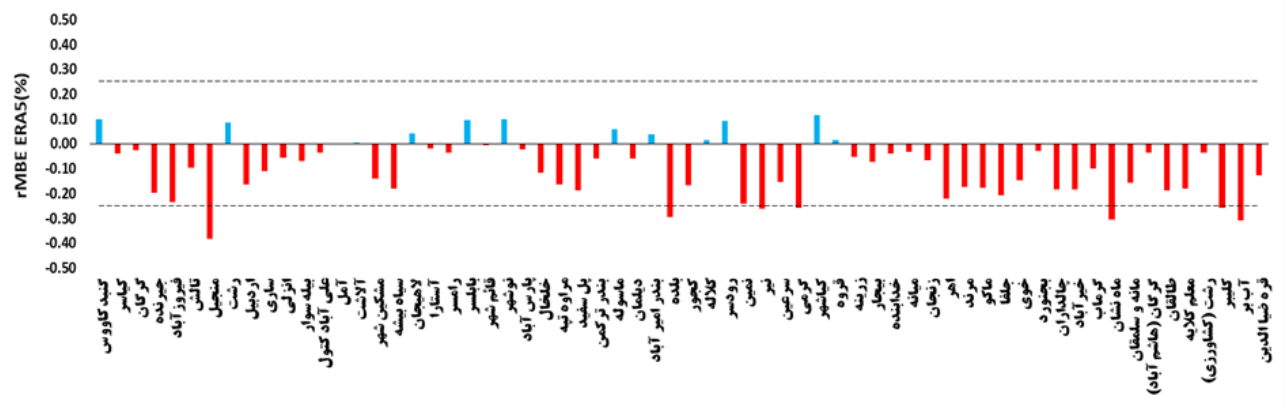
شکل ۵- پراکنش مقادیر nRMSE روزانه پایگاه داده ERA5 در حوضه آبریز دریای خزر

همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌گردد، در مقیاس زیر حوضه به‌غیراز زیر حوضه گرگانرود، در هر کدام از زیرحوضه‌ها چندین ایستگاه با عملکرد نامناسب (خطای بیش از ۳۰ درصد) ثبت شد. همچنین در مقایسه با پایگاه داده WaPOR در مقیاس روزانه مشاهده می‌گردد که عملکرد زیر حوضه سفیدرود در پایگاه داده WaPOR نسبت به پایگاه داده ERA5 مناسب‌تر است. همچنین پایگاه داده ERA5 عملکرد مناسب‌تری در ایستگاه‌هایی که نزدیک‌تر به خط ساحلی می‌باشند، نشان می‌دهد. از آنجائی که در ایستگاه‌های ساحلی نوسانات باد کمتر است، پایگاه داده ERA5 عملکرد مناسب‌تری را نشان می‌دهد. در مناطق کوهستانی که همراه با تغییرات شدید ارتفاعی است، نوسانات مقدار باد عملکرد ERA5 همراه با خطای بیشتری نسبت به MERRA2 است. به‌طورکلی پایگاه داده‌های تحلیل مجدد همواره در تعیین مقدار سرعت باد که کمیت برداری است همراه با خطا است. مطالعات (توماس و همکاران، ۲۰۲۱) در مناطق ساحلی مکزیک و مقایسه دو پایگاه داده ERA5 و MERRA2 به نتایج مشابهی دست یافتند.



شکل ۶- پراکنش مقادیر nRMSE روزانه پایگاه داده ERA5 در حوضه آبریز دریای خزر

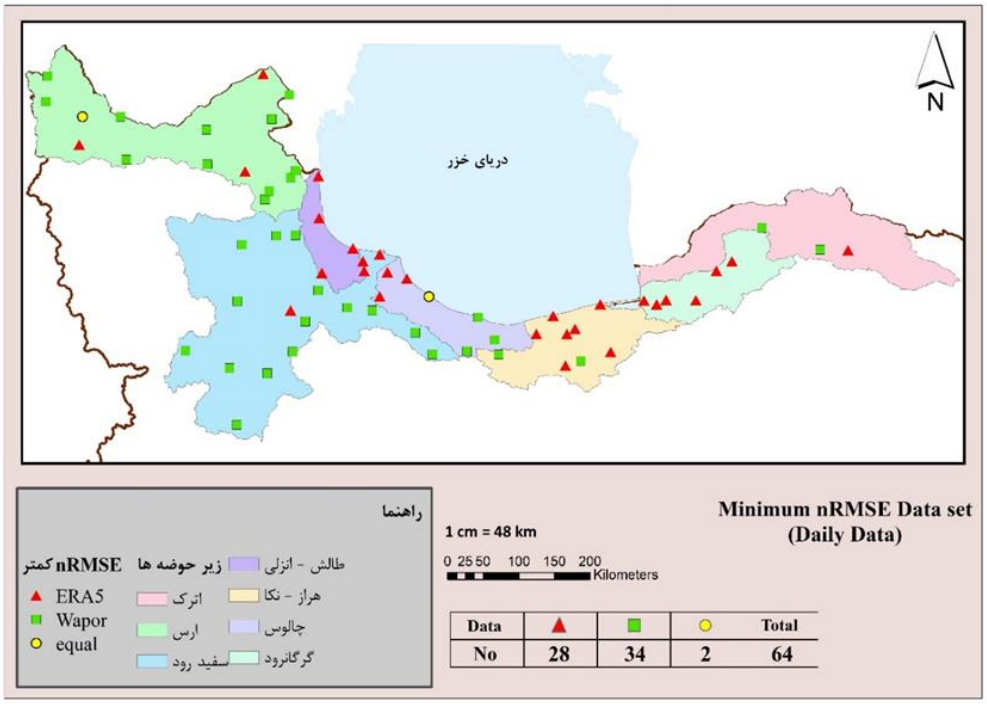
در مقیاس زمانی ماهانه (شکل ۶) در تمامی زیر حوضه‌ها به غیر از زیرحوضه سفید رود، پایگاه داده ERA5 عملکرد مناسبی داشته است و این عملکرد مناسب در مناطق ساحلی بیشتر نمایان است. ژین و همکاران (۲۰۲۱)، در خصوص بررسی داده‌های بارش ERA5 به نتایج مشابهی رسیدند که هر چه به سمت مناطق ساحلی پیش روی گردد، عملکرد مناسب‌تری نسبت به مناطق شهری و کوهستانی دیده می‌شود و عامل ناهمواری‌های توپوگرافی را در نتایج این پایگاه داده به‌عنوان عامل مؤثری نام بردند. عملکرد داده‌های باز تحلیل به‌شدت به شرایط آب و هوایی منطقه بستگی دارد. به نظر می‌رسد با توجه به ظرفیت گرمایی بالاتر آب در ایستگاه‌های ساحلی و نزدیک به ساحل، از آنجائی که تغییرات پارامترهای اقلیمی دارای نوسان روزانه نیست، عاملی تأثیرگذار در دقت داده‌های ERA5 است، به‌عبارت‌دیگر داده‌های ERA5 در محیط‌های با نوسانات کمتر آب‌وهوایی عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهند. تاراک و همکاران (۲۰۲۰)، نیز برای شمال آمریکا به نتایجی مشابه رسیدند. همچنین نتایج آماره rMBE نشان داد که در ۵۳ ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه از مجموع ۶۴ ایستگاه، مقدار تبخیر و تعرق مرجع همراه با کم برآورد و در نه ایستگاه همراه با بیش برآورد بوده است و در دو ایستگاه آمل و آلاشت هیچ‌گونه بیش برآورد و یا کم برآوردی دیده نشد. هفت ایستگاه از ۶۴ ایستگاه مورد بررسی بیش از ۲۵ درصد دچار کم برآوردی شدند شکل (۷). از جمله این ایستگاه‌ها، ایستگاه بادخیز منجیل است که بیش از ۲۵ درصد کم برآورد است؛ به‌عبارت‌دیگر هنگامی سرعت باد و نوسانات مربوط به باد افزایش می‌یابد، مقدار خطای برآورد نیز بیشتر می‌شود که نشان‌دهنده آن است که در میان عوامل مؤثر در مقدار تبخیر-تعرق مرجع، باد اصلی‌ترین عامل تأثیرگذار در این ایستگاه است.



شکل ۷- مقادیر آماره rMBE با استفاده پایگاه داده ERA5 در حوضه آبریز دریای خزر

نقشه حداقل خطا

آماره خطای nRMSE برای تبخیر و تعرق مرجع روزانه و ماهانه، در ۶۴ ایستگاه بررسی‌شده در حوضه آبریز دریای خزر با استفاده پایگاه داده‌های ERA5 و WaPOR و داده‌های مشاهداتی زمینی با استفاده از معادله پنمن مانتیث، ارزیابی شدند. پس از مشخص شدن پایگاه داده مطلوب در هر ایستگاه در سطح حوضه آبریز دریای خزر اقدام به تولید نقشه پراکندگی پایگاه داده مطلوب برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در سطح حوضه گردید. کمترین خطا در هریک از ایستگاه‌ها بر اساس پایگاه داده-های مورد استفاده مشخص گردید. موقعیت هریک از ایستگاه‌ها به همراه پایگاه داده مطلوب و ترجیحی بر اساس کمترین خطای مشاهده شده در شکل (۸) نمایش داده شده است.



شکل ۸- پایگاه داده مناسب جهت برآورد تبخیروتعرق مرجع در سطح حوضه و زیر حوضه‌های دریای خزر

نتایج نشان داد که تعداد ۲۸ ایستگاه در پایگاه داده ERA5 و تعداد ۳۲ ایستگاه در سامانه WaPOR کمترین خطا را نشان می‌دهند. همچنین در دو ایستگاه از ۶۴ ایستگاه موجود، دو پایگاه داده مقدار خطای یکسانی دارند. با توجه به پراکنش پایگاه داده ترجیحی مشخص می‌شود که در مناطق کوهستانی حوضه خزر و نزدیک به رشته کوه البرز،

پایگاه داده WaPOR عملکرد مناسب‌تری دارد و با حرکت به سمت خط ساحلی، پایگاه داده ERA5 عملکرد مناسب‌تری را در حوضه آبریز خزر نشان می‌دهد. همچنین شکل (۸) در مقیاس زیر حوضه نشان می‌دهد که به‌طورکلی، پایگاه داده WaPOR در زیر حوضه‌های غربی عملکرد بهتر و پایگاه داده ERA5 در زیر حوضه‌های شرقی عملکرد مناسب تری داشته است. پس از آنالیزهای صورت گرفته دلیل عملکرد مناسب ERA5 در ایستگاه‌ها و زیر حوضه‌های شرقی ناشی از نوسانات کمتر سرعت باد نسبت به البرز غربی است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مطالعه حاضر داده‌های باز تحلیل و سنجش‌ازدور در برآورد تبخیر و تعرق مرجع ارزیابی شدند. در ابتدا تبخیر و تعرق برآورد شده با استفاده از این پایگاه داده‌ها با داده‌های تبخیر-تعرق مرجع ایستگاه‌های هواشناسی که با استفاده از معادله فائو پنمن- مانتیث در محیط نرم‌افزار REF-ET استخراج‌شده بود در بازه زمانی روزانه و ماهانه و در وسعت مکانی هفت زیر حوضه آبریز دریای خزر در بازه ده ساله (۱۴۰۰-۱۳۹۰) مقایسه و شدند. تعداد ایستگاه‌هایی که پایگاه داده ERA5 در مقیاس روزانه در آن‌ها برآورد نامناسبی نشان می‌داد از تعداد ایستگاه‌های محصول WaPOR کمتر بود. در برآورد تبخیر و تعرق مرجع ERA5 اغلب به‌صورت کم برآورد ولی در محصول WaPOR در اکثریت موارد به‌صورت بیش برآورد بود. بیش‌برآورد مقدار تبخیر و تعرق مرجع توسط پایگاه WaPOR می‌تواند در نهایت منجر به بیش‌برآورد در تخمین نیاز آبی محصولات کشاورزی گردد که این امر منجر به افزایش مصرف آب آبیاری خواهد شد. بررسی‌ها نشان داد که با ترکیب هر دو پایگاه داده بر اساس مقدار کمترین خطا، می‌توان به برآورد مناسب‌تری از مقدار تبخیر و تعرق مرجع دست یافت. به لحاظ مکانی پایگاه داده WaPOR در زیر حوضه‌های غربی و پایگاه داده ERA5 در زیر حوضه‌های شرقی عملکرد مناسب‌تری داشتند. شایان ذکر است، نتایج این پژوهش نشان داد که در بیش از ۹۰ درصد از حوضه آبریز دریای خزر در مقیاس ماهانه پایگاه داده‌های WaPOR و ERA5 نتایج قابل اعتمادی را ارائه می‌نمایند؛ بنابراین در مقیاس ماهانه استفاده از داده‌های این دو پایگاه داده، قابل قبول است. ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود در آینده برای ارتقا صحت و استفاده بهتر از داده‌های باز تحلیل، تحقیق مشابه با پایگاه داده‌های باز تحلیل دیگر مانند NLDAS، GLDAS،AgERA نیز انجام و نتایج تحقیق با آن‌ها مقایسه گردد. در حوضه آبریز خزر هر کدام از پایگاه داده‌ها که خطای کمتری را در هر ایستگاه ارائه نمودند به‌عنوان نماینده جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع در آن ایستگاه مورد استفاده قرار گیرد.

فهرست منابع

۱. حیدری مطلق، آ.، نصرالهی, ع،ح.، ویسی، ش.، و شریفی پور، م.، ۱۴۰۱. تاثیر به‌کارگیری الگوریتم‌های مختلف دمای سطح زمین در برآورد مقادیر تبخیر و تعرق واقعی. تحقیقات آب و خاک ایران، جلد ۵۳، شماره ۱۲، ص ۲۷۲۰-۲۷۰۱.

۲. گله‌بان، ا.، حمزه، س.، ویسی، ش.، و علوی‌پناه, س، ک.، ۱۴۰۱. برآورد تبخیروتعرق مرجع روزانه با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعهٔ موردی: استان سیستان و بلوچستان). نشریه سنجش از دور و GIS ایران, جلد ۱۴، شماره ۲، ص ۵۰-۳۷.

3. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, p. 300. Paper 56.

4. Allen, R.G., Morton, C.G., Kamble, B., Kilic, A., Huntington, J.L., Thau, D., Gorelick, N., Erickson, T.A., Moore, R., Trezza, R., Ratcliffe, I., Robison, C.W., 2015. EEFlux: a Landsat-

based evapotranspiration mapping tool on the google earth engine. In: Presented at the ASABE/IA Irrigation Symposium: Emerging Technologies for Sustainable Irrigation - A Tribute to the Career of Terry Howell. Long Beach, CA. https://doi.org/10.13031/irrig.20152143511.

5. Barideh, R., Veysi, S., Ebrahimipak, N. and Davatgar, N., 2022. The challenge of reference evapotranspiration between the WaPOR data set and geostatistical methods. Irrigation and Drainage, 71(5), pp.1268-1279. https://doi.org/10.1002/ird.2738.
6. Balsamo, G., Beljaars, A., Scipal, K., Viterbo, P., van den Hurk, B., Hirschi, M., & Betts, A. K. 2009. A revised hydrology for the ECMWF model: Verification from field site to terrestrial water storage and impact in the Integrated Forecast System. Journal of hydrometeorology, 10(3), 623-643.
7. Blankenau, P. A., Kilic, A., & Allen, R. 2020. An evaluation of gridded weather data sets for the purpose of estimating reference evapotranspiration in the United States. Agricultural Water Management, 242, 106376.
8. FAO, 2020. WaPOR V2 Quality Assessment - Technical Report on the Data Quality of the WaPOR database Version 2, 2020, FAO, Rome. http://www.fao.org/3/cb2208en/cb2208en.pdf
9. Ebita, A., Kobayashi, S., Ota, Y., Moriya, M., Kumabe, R., Onogi, K., Harada, Y., Yasui, S., Miyaoka, K., Takahashi, K., Kamahori, H., Kobayashi, C., Endo, H., Soma, M., Oikawa, Y., Ishimizu, T., 2011. The Japanese 55-year reanalysis "JRA-55": an Interim Report. Sci. Online Lett. Atmos. 7, 149–152. https://doi.org/10.2151/ sola.2011-038.
10. Gibson, J.K., Kållberg, P., Uppala, S., Hernandez, A., Nomura, A., Serrano, E., 1999. ERA-15 Description. ECMWF Re-Analysis Project Report Series, 1.
11. Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Hor´anyi, A., Mu˜noz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., de Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R.J., H´olm, E., Janiskov´a, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., Th´epaut, J.N., 2020. The ERA5 global reanalysis. Q. J. R. Meteorol. Soc. 146, 1999–2049. https://doi.org/10.1002/ qj.3803.
12. Jensen, M.E., 1968. Water Consumption by Agricultural Plants. In: Kozlowski, T.T. (Ed.), Plant Water Consumption and Response. Water Deficits and Plant Growth, II. Academic Press, New York, pp. 1–22 (Chapter 1).
13. Kalluri, S., Gilruth, P., Bergman, R., 2003. The potential of remote sensing data for decision makers at the state, local and tribal level: experiences from NASA's Synergy program. Environ. Sci. Policy 6, 487–500.
14. Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., et al. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bulletin of the American Meteorological Society, 77(3), 437–471.
15. Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S.-K., Hnilo, J.J., Fiorino, M., Potter, G. L., 2002. NCEP–DOE AMIP-II reanalysis (R-2). Bull. Am. Meteorol. Soc. 83, 1631–1644. https://doi.org/10.1175/BAMS-83-11-1631.
16. Lorenz, C., &Kunstmann, H. 2012. The hydrological cycle in three state-of-the-art reanalysis: Inter comparison and performance analysis. Journal of Hydrometeorology, 13(5), 1397-1420.
17. Martins, D.S., Paredes, P., Raziei, T., Pires, C., Cadima, J., Pereira, L.S., 2017. Assessing reference evapotranspiration estimation from reanalysis weather products. An application to the Iberian Peninsula. Int. J. Climatol. 37, 2378–2397. https://doi.org/ 10.1002/joc.4852.

18. Nouri, M., & Homaee, M. 2022. Reference crop evapotranspiration for data-sparse regions using reanalysis products. Agricultural Water Management, 262, 107319.
19. Paredes, P., Martins, D.S., Pereira, L.S., Cadima, J., Pires, C., 2018. Accuracy of daily estimation of grass reference evapotranspiration using ERA-Interim reanalysis products with assessment of alternative bias correction schemes. Agric. Water Manag. 210, 340–353. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.003.
20. Rienecker, M.M., Suarez, M.J., Gelaro, R., Todling, R., Bacmeister, J., Liu, E., Bosilovich, M.G., Schubert, S.D., Takacs, L., Kim, G., Bloom, S., Chen, J., Collins, D., Conaty, A., da Silva, A., Gu, W., Joiner, J., Koster, R.D., Lucchesi, R., Molod, A., Owens, T., Pawson, S., Pegion, P., Redder, C.R., Reichle, R., Robertson, F.R., Ruddick, A.G., Sienkiewicz, M., Woollen, J., 2011. MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. J. Clim. 24 (14), 3624–3648. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00015.1.
21. Rodell, M., 2020. LDAS Land Data Assimilation Systems. https://ldas.gsfc.nasa.gov/nldas./
22. Tarek, M., Brissette, F. P., & Arsenault, R. 2020. Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America. Hydrology and Earth System Sciences, 24(5), 2527-2544.
23. Thomas, S. R., Nicolau, S., Martínez-Alvarado, O., Drew, D. J., & Bloomfield, H. C. 2021. How well do atmospheric reanalyses reproduce observed winds in coastal regions of Mexico? Meteorological Applications, 28(5), e2023.
24. Uppala, S.M., Kållberg, P.W., Simmons, A.J., Andrae, U., da Costa Bechtold, V., Fiorino, M., Gibson, J.K., Haseler, J., Hernandez, A., Kelly, G.A., Li, X., Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, R.P., Andersson, E., Arpe, K., Balmaseda, M.A., Beljaars, A.C.M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., H´olm, E., Hoskins, B.J., Isaksen, L., Janssen, P.A.E.M., Jenne, R., McNally, A.P., Mahfouf, J.F., Morcrette, J.J., Rayner, N.A., Saunders, R.W., Simon, P., Sterl, A., Trenberth, K.E., Untch, A., Vasiljevic, D., Viterbo, P., Woollen, J., 2005. The ERA-40 re-analysis. Q. J. R. Meteorol. Soc. https://doi.org/10.1256/qj.04.176.
25. Wilhite, D.A., 2000. Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions.Wright, J.L., Jensen, M.E., 1972. Peak water requirements of crops in southern Idaho. Proc. Am. Soc. Civ. Eng. J. Irrig. Drain. Div. 98 (IR2), 193–201.
26. Xin, Y., Lu, N., Jiang, H., Liu, Y., & Yao, L. 2021. Performance of ERA5 reanalysis precipitation products in the Guangdong-Hong Kong-Macao greater Bay Area, China. Journal of Hydrology, 602, 126791.

مقاله پژوهشی نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۷ / شماره ۲/ ۱۴۰۲. ص۲۰۷-۲۲۱
https://doi.org/10.22092/jwra.2023.361860.984

برآورد بهره‌وری آب باغ‌های انگور در روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای

حسن اوجاقلو[1]، محمد مهدی جعفری، محمد بابا اکبری ساری، فرهاد اوجاقلو و فرهاد میثاقی

استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.
ojaghlou@znu.ac.ir
دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
mm.jafari@ut.ac.ir
استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.
babaakbari@znu.ac.ir
کارشناس برنامه‌ریزی کشوری، سازمان برنامه و بودجه استان زنجان.
ojaghlou@gmail.com
استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.
farhad_misaghi@znu.ac.ir

دریافت: فروردین ۱۴۰۲ و پذیرش: مهر ۱۴۰۲

چکیده

در این پژوهش وضعیت موجود بهره‌وری آب در شش باغ انگور با روش آبیاری سطحی و شش باغ با روش آبیاری قطره‌ای واقع در استان زنجان پیمایش شد و سپس اثر برنامه آبیاری اصلاح شده در ارتقاء بهره‌وری آب در دو باغ منتخب بررسی گردید. میانگین مقدار آب آبیاری در هر هکتار از باغ‌های انگور با روش آبیاری سطحی و قطره‌ای به ترتیب ۶۹۲۹ و ۵۴۱۸ مترمکعب بود. همچنین، میانگین شاخص‌های عملکرد، سود ناخالص و خالص به ازای واحد حجم آب در باغ‌ها با روش آبیاری سطحی به ترتیب برابر ۲/۹ کیلوگرم بر مترمکعب، ۹۱/۵ و ۵۵/۴ هزار ریال بر مترمکعب و در باغ‌ها با روش آبیاری قطره‌ای به ترتیب ۳/۶ کیلوگرم بر مترمکعب، ۱۱۲/۴ و ۵۹ هزار ریال بر مترمکعب بدست آمد. از نظر شاخص بهره‌وری آب، روش آبیاری قطره‌ای نسبت به سطحی دارای برتری نسبی بود. در بیش‌تر باغ‌های پیمایش شده، برنامه آبیاری اعمال شده متناسب با نیاز واقعی محصول نبود. نتایج اصلاح برنامه آبیاری نشان داد که می‌توان بهره‌وری آب را به میزان ۲۴/۷٪ بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: تاک، برنامه آبیاری، شاخص بهره‌وری آب

---

[1]- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: ojaghlou@znu.ac.ir

مقدمه

بهره‌وری آب به مقدار محصولی گفته می‌شود که از هر واحد مقدار آب آبیاری بدست می‌آید (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶). البته افزایش بازده فیزیکی بدون توجه به بازده اقتصادی که همان بهره‌وری آب در تولید اقتصادی است نتیجه مطلوب و نهایی را همراه نخواهد داشت (شایان‌فر، ۱۳۸۲). به همین دلیل اخیراً محققان در مطالعات خویش در زمینه بهره‌وری، به اجزاء شاخص بهره‌وری که شامل شاخص بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی آب محصولات کشاورزی توجه ویژه‌ای داشته‌اند. (زمانی و همکاران، ۱۳۹۳؛ بهرامی و همکاران، ۱۳۹۷؛ امینی و همکاران، ۱۳۹۹).

انگور، مو یا تاک (Vitis vinifera L.) یک گیاه چوبی چند ساله است که برای رشد به تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد نیاز دارد و تنوع گونه و قابلیت خاص این گیاه امکان پرورش و تولید آن را در شش قاره جهان با شرایط اقلیمی متفاوت ممکن ساخته است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹). در حال حاضر در ایران از حدود ۸/۴ میلیون هکتار اراضی آبی کشور، نزدیک ۲۲۱ هزار هکتار با تولید ۲۷۷۸۴۴۴ تن و عملکردی معادل ۱۲۵۶۹ کیلوگرم بر هکتار به کشت انگور بارور آبی اختصاص دارد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹). استان زنجان، نهمین استان دارای بیش-ترین سطح زیر کشت انگور آبی و پنجمین استان تولیدکننده انگور است که در تمامی شهرستان‌های آن انگور کاری رونق دارد و شهرستان‌های ابهر، خرمدره، خدابنده و زنجان از تولیدکنندگان اصلی انگور در این استان محسوب می-شوند. تولید انگور در استان زنجان اهمیت بالا برای توسعه انگور کاری در این استان را نشان می‌دهد (نجفلو و همکاران، ۱۳۹۶). درختان مو نسبت به سایر گیاهان، به کمبود آب مقاومت بیش‌تری نشان می‌دهند. با این وجود، با توجه به محدودیت کمی و کیفی آب در بسیاری از نقاط کشور ضروری است نیاز آبی و مقدار مصرف واقعی آب در باغ‌های انگور مورد پیمایش و ارزیابی قرار گیرد.

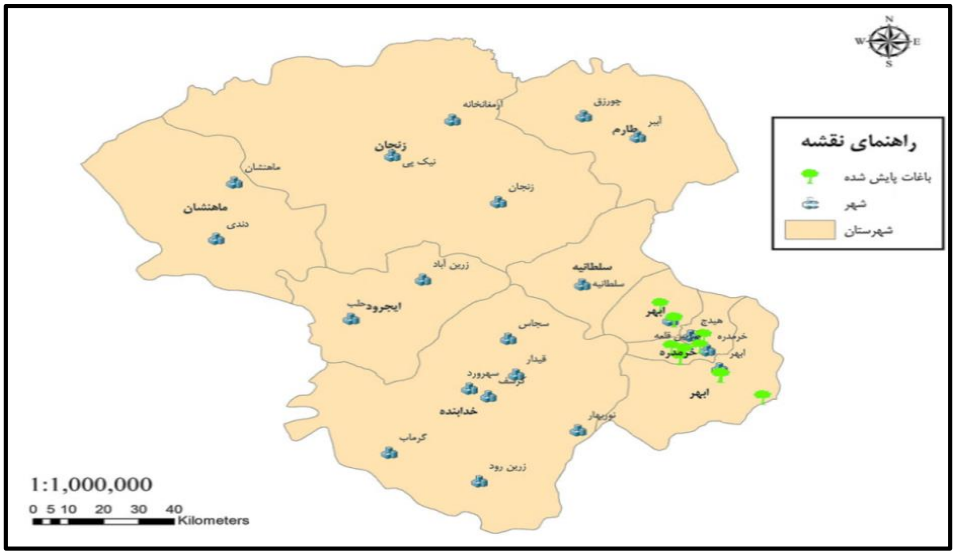
آراجو و همکاران (۱۹۹۵) در زمینه مقایسه تأثیر دو روش آبیاری شیاری و قطره‌ای بر راندمان مصرف آب انگور در کالیفرنیا بیان کردند که مقدار مصرف آب برای هر درخت در روش قطره‌ای معادل ۳۹۰۵ لیتر و در آبیاری جویچه‌ای برابر با ۴۶۲۲ لیتر بود و مقادیر کارایی مصرف آب در هر دو روش یکسان شد. جلینی (۱۳۸۵) در بررسی تأثیر سطوح آبیاری و روش آبیاری قطره‌ای بر عملکرد و کارآیی مصرف آب انگور نشان داد که بین روش‌های آبیاری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، اما مقادیر آبیاری تأثیر معنی‌دار بر عملکرد محصول دارد بطوریکه اعمال ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری به ترتیب موجب کاهش ۱۳ و ۴۳ درصدی عملکرد شد و کارایی مصرف آب در سطوح ۷۵ و ۵۰ درصد نسبت به سطح ۱۰۰ درصد به ترتیب حدود ۱۷ و ۹ درصد بیش‌تر شد. دو و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که با اعمال کم‌آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای، کارایی مصرف آب بطور متوسط ۳۶/۵ درصد بهبود یافت. گارسیا و همکاران (۲۰۱۲) و رومر و مارتینزکراتیلاس (۲۰۱۲) در منطقه‌ای نیمه گرم از جنوب شرقی اسپانیا با بررسی اثر مقادیر و زمان‌های مختلف آبیاری بر بازده اقتصادی انگور نشان دادند که تیمار آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی، بهترین تیمار از لحاظ عملکرد بوده و تنش شدید آبی از نظر کمی اقتصادی نبوده ولی کیفیت محصول را به اندازه‌ی ۱۲ درصد افزایش داد که با تیمار ۶۰ درصد برابر شد. نیکان‌فر و رضایی (۱۳۹۴) در واکنش تغییر روش آبیاری در باغ‌های انگور کشت شده بصورت جویچه‌ای را به روش آبیاری قطره‌ای و بابلر در شهرستان میاندوآب نشان دادند که بیش-ترین کارایی مصرف آب برابر ۲/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب آب مربوط به روش آبیاری قطره‌ای بود و کارایی مصرف آب در آبیاری بابلر ۲/۱۶ و در آبیاری سطحی حدود ۱/۴۸ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد شد. شاهرخ‌نیا و کرمی (۱۳۹۶) با بررسی تیمارهای ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی بر عملکرد کمی و کیفی انگور، نشان دادند که عملکرد کمی و کیفی انگور تحت تأثیر تیمارها نبوده ولی تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی، حدوداً نقطه آغاز تنش آبی در

گیاه است؛ بنابراین بهترین میزان آب آبیاری، معادل ۶۰ درصد نیاز آبی برآورد شده از روش پنمن مانتیث با حدود ۵۸۰۰ مترمکعب در هکتار است. مدرانو و همکاران (۲۰۱۵) نیاز آبی انگور در مناطق مختلف جهان را ۳۰۰ تا ۷۰۰ میلی-متر و بهره‌وری آب را ۱ تا ۱۹ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب گزارش کردند و نتایج نشان داد که شیوه‌های مختلف کم‌آبیاری بدون کاهش عملکرد، موجب افزایش کیفیت میوه می‌شود. کنسلا و همکاران (۲۰۱۶) بهره‌وری آب انگور در سه تیمار دیم، آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در اسپانیا را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که بهره‌وری آب در تیمار دیم ۴/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب، در تیمارهای آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب برابر ۳/۵۶ و ۳/۶۱ کیلوگرم بر مترمکعب است. شرن و همکاران (۲۰۱۷) در کشور مصر به بررسی اثر روش‌های مختلف آبیاری سطحی و زیرسطحی و مقادیر مختلف آب آبیاری بر اساس ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز خالص آبی بر عملکرد انگور نشان دادند که آبیاری زیرسطحی با ۸۰ درصد نیاز خالص آبی دارای بالاترین مقدار بهره‌وری آب است. اثر تغییر روش آبیاری از جوی پشته به قطره‌ای بر روی تاک‌های ۱۴ ساله در باغ-های همدان که بصورت جوی پشته احداث شده بودند، نتایج نشان داد که عملکرد و بهره‌وری آب در آبیاری قطره-ای سطحی در مقایسه با باغ شاهد با مدیریت کشاورز تحت روش آبیاری جویچه‌ای بیش‌تر شد (قاصدی یولقونلو و همکاران، ۱۳۹۹). میزان آب مصرفی در تولید انگور در باغ-هایی در غرب آرژانتین نشان داد که مقدار آب مصرف‌شده برای آبیاری انگور به روش سنتی بطور میانگین ۱۷/۳ درصد بیش‌تر از روش آبیاری قطره‌ای بوده است (سیویت و همکاران، ۲۰۱۸). یان و همکاران (۲۰۲۰) مقدار بهره‌وری آب آبیاری در تولید انگور در منطقه تورپان چین را برای یک دوره زمانی ۱۵ ساله، ۳/۲۴ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب گزارش شد. بهره‌وری آب انگور در یک باغ ۱۰ ساله، در روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب برابر ۳/۷ و ۴/۱ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد (شیائوچی و همکاران، ۲۰۲۰). اندازه‌گیری میدانی آب کاربردی و ارزیابی بهره‌وری آب نشان داد که میانگین وزنی مقدار آب کاربردی ۶۶۶۹ مترمکعب بر هکتار و بهره‌وری آب، ۲/۶۳ کیلوگرم بر مترمکعب بود و مقدار بهره‌وری آب در روش‌های کشت خزنده و داربستی به ترتیب ۳/۴۶ و ۴/۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹). با توجه به اینکه باغ‌های انگور در استان زنجان از نظر سطح کشت و میزان تولید دارای اهمیت زیادی می‌باشند و اطلاعات میدانی بهنگام و کافی از وضعیت بهره‌وری آب در این باغ‌های وجود نداشت. لذا در مطالعه حاضر، ابتدا وضعیت موجود مدیریت آبیاری، عملکرد روش‌های آبیاری و شاخص بهره‌وری آب پیمایش شد. سپس در سال دوم تحقیق، راه کار اصلاح برنامه آبیاری متناسب با نیاز واقعی و شرایط مدیریتی باغ به‌منظور کنترل مصرف آب و بهبود بهره‌وری مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مشخصات باغ‌های آزمایشی

به‌منظور انجام مطالعه در سال اول تحقیق تعداد ۱۲ باغ انگور که تعداد شش باغ با روش آبیاری سطحی به مساحت ۳/۶ هکتار و شش باغ نیز به روش آبیاری قطره‌ای با مساحت ۸/۶۶ هکتار، آبیاری می‌شدند، انتخاب شدند. فواصل بین درختان انگور و ردیف‌ها به ترتیب ۲/۵ و ۳ متر بود. در باغ‌های با روش قطره‌ای، برای هر درخت دو عدد قطره‌چکان با دبی‌های چهار یا هشت لیتر بر ساعت در نظر گرفته شده بود. در باغ‌های با روش سطحی نیز طول کرت‌ها بین ۴۰ تا ۶۰ متر، عرض کرت‌ها نیز معادل فواصل ردیف درختان و حدود سه متر بود. کرت‌ها به‌صورت انتها بسته بودند و مقدار جریان ورودی به هر کرت نیز برابر با دبی ورودی به باغ بود. منبع تأمین آب در باغ‌های، آب زیرزمینی و استحصال از طریق چاه‌های عمیق بود. کیفیت آب در منطقه مناسب ارزیابی شد و محدودیت جدی از نظر شوری و سایر عوامل کیفی آب وجود نداشت.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی باغ‌های انگور پیمایش شده

در سال دوم، به‌منظور ارزیابی اثر برنامه آبیاری اصلاح‌شده بر مقدار آب آبیاری و شاخص بهره‌وری آب، تعداد دو باغ (یک باغ با روش آبیاری سطحی و دیگری با روش قطره‌ای) انتخاب و راه کار اشاره شده اجرا شد. در این مرحله هر باغ به دو قسمت تقسیم شد. بخشی از باغ در شرایط واقعی (مدیریت کشاورز) و بخش دوم نیز در شرایط آزمایشی (اعمال برنامه آبیاری اصلاح‌شده) قرار گرفت. در قطعات آزمایشی برنامه آبیاری بهینه با قابلیت اجرایی برای کشاورز پیاده‌سازی شد. مشخصات باغ‌های آزمایشی انتخاب‌شده برای فازهای اول و دوم تحقیق به ترتیب در جداول (۱) و (۲) ارائه شد. هم‌چنین جدول (۳) نیز مشخصات مربوط به برنامه آبیاری اجراشده در باغ‌های آزمایشی (فاز دوم اجرای طرح) را نشان می‌دهد. در ماه‌های مختلف سال برنامه‌ریزی آبیاری در باغ‌های متفاوت بود. در اوایل پاییز معمولاً یک یا دو نوبت آبیاری انجام می‌گیرد. از اواسط اردیبهشت تا انتهای شهریور هم آبیاری باغ‌های ادامه پیدا می‌کند. برنامه آبیاری و عمدتاً فاصله آبیاری‌ها در باغ-های متغیر است. مدیریت آبیاری در قطعات آزمایشی از طریق اصلاح مدت زمان آبیاری انجام گرفت. البته در قطعه آزمایشی باغ ۲۰۱ علاوه بر اصلاح مدت زمان آبیاری، از تعداد نوبت آبیاری با اعمال کم‌آبیاری در اواخر تابستان نیز کاسته شد.

بهره‌وری آب

به‌منظور تحلیل شاخص بهره‌وری آب، مقدار آب آبیاری، راندمان کاربرد آب آبیاری، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در باغ‌های انگور محاسبه شد.

مقدار آب آبیاری

برای برآورد مقدار آب آبیاری در طول فصل آبیاری، میزان دبی ورودی به باغ و هم‌چنین برنامه آبیاری حداقل در سه نوبت اندازه‌گیری و تعیین شد. در هر نوبت آبیاری، مقدار دبی ورودی به باغ بستگی به نوع منبع، روش انتقال و توزیع آب از طریق روش‌هایی هم چون دستگاه مولینه، خط‌کش جت آب، روش حجمی، دبی‌سنج اولتراسونیک و فلوم WSC اندازه‌گیری شد.

راندمان کاربرد آب (E_a)

راندمان کاربرد آب آبیاری (E_a) در سه نوبت برآورد شد. در باغ‌های مورد مطالعه با توجه به بسته بودن انتهای کرت‌ها تلفات آب از نوع رواناب وجود نداشت و صرفاً به‌صورت نفوذ عمقی بود؛ بنابراین برآورد راندمان کاربرد آب از طریق محاسبات بیلان رطوبتی خاک قبل و بعد آبیاری انجام گرفت. برای این منظور در هر نوبت رطوبت خاک قبل از آبیاری اندازه‌گیری شد. از سوی دیگر

پایش رطوبت خاک بعد از آبیاری نیز نشان داد، معمولاً رطوبت به حد ظرفیت زراعی می‌رسید. مقدار عمق آب آبیاری نیز از نسبت مقدار آب ورودی به باغ بر مساحت باغ محاسبه شده است. در نهایت راندمان کاربرد آب آبیاری از طریق رابطه (۱) محاسبه شد:

$$E_a = \frac{\rho_b(\theta_{(FC)} - \theta_{(i)}) \times D_{rz}}{D_{app}} \quad (۱)$$

در رابطه (۱) E_a راندمان کاربرد آب آبیاری (٪)، ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک ($gr\ cm^{-3}$)، $\theta_{(FC)}$ درصد رطوبت وزنی در نقطه ظرفیت زراعی، $\theta_{(i)}$ درصد رطوبت وزنی پیش از آبیاری نوبت iام، D_{rz} عمق توسعه ریشه انگور (mm) و D_{app} عمق آب آبیاری (mm) است.

جدول ۱- مشخصات باغ‌های انگور- مرحله اول

کد مزرعه	شهرستان	روستا	موقعیت	مساحت (ha)	دبی ورودی ($L.\ S^{-1}$)	روش آبیاری	بافت خاک
۱۰۱	ابهر	صائین قلعه	(۳۲۷۹۹۲, ۴۰۲۰۳۰۰)	۰/۴	۳۰	سطحی	رس شنی
۱۰۲	ابهر	صائین قلعه	(۳۲۸۱۰۷, ۴۰۲۰۵۷۰)	۰/۶۵	۳۷/۷	سطحی	لوم رسی
۱۰۳	ابهر	حومه	(۳۴۱۴۸۶, ۳۹۹۹۶۵۰)	۱/۰۸	۳۰/۵	سطحی	رس شنی
۱۰۴	ابهر	کوه زین	(۳۲۴۰۷۶, ۴۰۲۵۸۸۰)	۰/۵۵	۲۷/۶	سطحی	رس شنی
۱۰۵	خرمدره	رحمت‌آباد	(۳۲۹۶۹۶, ۴۰۰۶۳۶۰)	۰/۴	۱۴/۹	سطحی	لوم رسی شنی
۱۰۶	خرمدره	رحمت‌آباد	(۳۲۹۷۸۷, ۴۰۰۶۱۹۰)	۰/۵۱	۱۶/۹	سطحی	لوم رسی شنی
۱۰۷	ابهر	حومه	(۳۴۰۹۳۲, ۳۹۹۹۸۱۰)	۰/۸	۲۸/۹	قطره‌ای	رس سیلتی
۱۰۸	ابهر	نورین	(۳۵۳۱۱۵, ۳۹۹۱۴۳۰)	۲/۳۳	۲۵/۸	قطره‌ای	لوم رسی شنی
۱۰۹	خرمدره	حومه	(۳۳۵۲۵۲, ۴۰۱۰۴۷۰)	۰/۶۷	۱۸/۳	قطره‌ای	رس شنی
۱۱۰	خرمدره	سوکهریز	(۳۲۷۲۴۴, ۴۰۱۰۱۵۰)	۱/۸۶	۱/۳	قطره‌ای	رس شنی
۱۱۱	خرمدره	سوکهریز	(۳۳۱۰۸۲, ۴۰۰۸۹۴۰)	۰/۲	۱۲	قطره‌ای	لوم رسی سیلتی
۱۱۲	خرمدره	قلعه حسینیه	(۳۳۶۳۹۶, ۴۰۱۴۲۷۰)	۰/۹۳	۱/۸	قطره‌ای	رس شنی

جدول ۲- برخی مشخصات مهم باغ‌های انگور - مرحله دوم

کد باغ	شهرستان	روستا	موقعیت	مساحت (ha)	دبی ورودی ($L.\ S^{-1}$)	روش آبیاری	بافت خاک
۲۰۱	ابهر	نورین	(۳۴۱۴۸۶, ۳۹۹۹۶۵۰)	۱/۰۸	۳۲	سطحی	رس شنی
۲۰۲	خرمدره	محدوده خرمدره	(۳۳۵۲۵۹, ۴۰۱۰۴۷۰)	۰/۶۷	۹/۸	قطره‌ای	رس شنی

جدول ۳- مشخصات برنامه آبیاری باغ‌های آزمایشی- مرحله دوم

کد باغ	نوع باغ	زمان	دبی ورودی ($L.\ S^{-1}$)	فاصله آبیاری (day)	تعداد نوبت آبیاری	زمان آبیاری (hr)	عمق آبیاری (mm)
۲۰۱	شرایط واقعی	اواسط مهر	۳۲	-*	۱	۶/۵	۶۹/۳
		اواسط اردیبهشت تا انتهای شهریور	۳۲	۱۶	۹	۶/۵	۶۹/۳
	شرایط آزمایشی	اواسط مهر	۳۲	-	۱	۵/۵	۵۸/۷
		اواسط اردیبهشت تا انتهای خرداد	۳۲	۳۰	۲	۵/۵	۵۸/۷
		اوایل تیر تا انتهای شهریور	۳۲	۱۶	۵	۶/۵	۶۹/۳
۲۰۲	شرایط واقعی	اوایل مهر	۳/۶	-	۱	۴	۷/۷
		اوایل آبان	۲۸/۴	-	۱	۴/۵	۶۸/۷
		اواسط اردیبهشت تا اواخر خرداد	۳/۶	۳	۹	۴	۷/۷
		اوایل تیر تا اواسط شهریور	۳/۶	۳	۲۴	۴	۷/۷
	شرایط آزمایشی	اوایل مهر	۳/۶	-	۱	۴	۷/۷
		اوایل آبان	۳/۶	-	۱	۴	۷/۷
		اواسط اردیبهشت تا اواخر خرداد	۳/۶	۳	۹	۴	۷/۷
		اوایل تیر تا اواسط شهریور	۳/۶	۳	۲۴	۴	۷/۷

* در بازه‌های زمانی که فقط یک آبیاری انجام شده است دور آبیاری بدون عدد است

بهره‌وری فیزیکی آب (CPD[1])

آب مورد نیاز باغ‌های از دو طریق بارندگی و آبیاری تأمین شده است. لذا شاخص بهره‌وری فیزیکی آب با اعمال اثر بارندگی در فرآیند تأمین آب موردنیاز گیاه، از رابطه (۲) تعیین گردید:

$$CPD(Ir+P)=\frac{Tp}{Tw(Ir+P)} \quad (۲)$$

در رابطه (۲)، CPD(Ir+P) شاخص بهره‌وری فیزیکی آب ($Kg\ m^{-3}$)، Tp مقدار عملکرد تولیدی محصول($Kg\ ha^{-1}$)، P مقدار بارشی که در طول فصل آبیاری صرف تأمین آب مورد نیاز گیاه شده است (m^3) و Tw(Ir+P) مقدار آب کاربردی ($m^3\ ha^{-1}$) است.

بهره‌وری اقتصادی آب (BPD[2] و NBPD[3])

نسبت سود ناخالص بدست آمده به‌ازای هر واحد مقدار آب به کار برده شده (BPD) بر حسب میلیون ریال بر مترمکعب، از طریق رابطه (۳) محاسبه شده است:

$$BPD=\frac{TR}{Tw(Ir+P)} \quad (۳)$$

در رابطه فوق، TR مجموع درآمد کسب شده از محصول به‌ازای هر واحد آب آبیاری (Milion Rial) و Tw(Ir+P) مقدار آب کاربردی ($m^3\ ha^{-1}$) برای تولید محصول است. شاخص سود خالص حاصل به ازای هر واحد مقدار آب به کار برده شده (NBPD) بر حسب میلیون ریال بر مترمکعب، از طریق رابطه (۴) محاسبه گردید:

$$NBPD=\frac{NB}{Tw(Ir+P)} \quad (۴)$$

در رابطه (۴)، NB سود خالص حاصل از فروش محصول (Milion Rial) و Tw(Ir+P) مقدار آب کاربردی ($m^3\ ha^{-1}$) برای تولید محصول است. هزینه‌های تولید محصول از قبیل هزینه‌های کاشت (آماده‌سازی زمین، تهیه بذر، کشت بذر، کود حیوانی و...)، هزینه‌های داشت (تهیه کود و سم، کارگری، آب‌بها، هزینه حامل‌های انرژی و...)، هزینه‌های برداشت (کارگری، ماشین‌آلات و حمل‌ونقل)، هزینه اجاره زمین و تعمیر و نگهداری سامانه آبیاری به‌صورت مستقل برای هر باغ تعیین شد. لازم به ذکر است در پژوهش حاضر، قیمت فروش محصول انگور در سال-های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ ملاک محاسبات شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی قرار گرفته است.

نتایج و بحث

اجزای بهره‌وری

مقادیر شاخص بهره‌وری آب، مقدار آب آبیاری، راندمان کاربرد، عملکرد محصول، هزینه‌های تولید، سود ناخالص و خالص برای ۱۲ باغ پیمایش شده در فاز اول تحقیق (وضع موجود) در جدول (۴) ارائه شد. مقدار آب آبیاری در هر هکتار باغ انگور از ۱۹۸۴ تا ۱۲۲۵۹ مترمکعب در هکتار متغیر شد. میانگین مقدار آب آبیاری در هر هکتار از باغ‌های انگور حدود ۶۱۷۴ مترمکعب محاسبه شد. مقایسه مقدار آب آبیاری در دو نوع روش آبیاری نشان می‌دهد که میانگین مقدار آب آبیاری هر هکتار باغ انگور در باغ‌های با روش آبیاری قطره‌ای و سطحی به ترتیب ۵۴۱۸ و ۶۹۲۹ مترمکعب است. با در نظر گرفتن نیاز خالص انگور در منطقه مورد مطالعه (بر اساس سامانه نیاز آبی ابلاغ شده توسط وزارت جهاد کشاورزی) برابر با ۴۲۱۶ مترمکعب، مقدار حجم آب ناخالص مورد نیاز از طریق اعمال راندمان کاربرد آب محاسبه و با مقدار آب کاربردی قابل مقایسه خواهد بود. میانگین حجم آب ناخالص مورد نیاز در هر هکتار ۵۸۹۴ مترمکعب محاسبه شد. مقدار این شاخص در باغ‌های با روش قطره‌ای و سطحی به ترتیب ۵۰۴۵ و ۶۷۴۳ مترمکعب در هکتار بدست آمد. مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۴، در برخی باغ‌های حجم آب آبیاری نزدیک به حجم آب مورد نیاز بوده و در برخی نیز مدیریت کم یا بیش آبیاری وجود دارد.

به‌طور میانگین، تغییر روش آبیاری از سنتی به نوین منجر به کاهش حدود ۲۸ درصدی مقدار آب آبیاری شده است. با این وجود در برخی باغ‌های آبیاری بی‌رویه مشاهده شد. حداکثر مقدار آب آبیاری حدود شش برابر

[1] - Crop per Drop
[2] - Benefit per Drop
[3]- Net Benefit per Drop

بیش از حداقل مقدار آب آبیاری برآورد شد که قابل تأمل بود. مقدار آب آبیاری وابسته به حقابه در دسترس و به‌تبع آن مدیریت باغدار و همچنین عملکرد نوع روش آبیاری است. مقادیر به‌دست‌آمده نشان‌دهنده اثر عوامل اشاره‌شده بر میزان مقدار آب آبیاری در باغ‌های مختلف انگور بود. میانگین راندمان کاربرد آب در باغ‌های مجهز به روش آبیاری قطره‌ای برابر با ۸۵/۸ درصد برآورد شد که نسبت به میانگین راندمان کاربرد در روش‌های آبیاری سطحی (۶۲/۹ درصد) حدود ۲۷ درصد بیش‌تر است. در برخی باغ‌های مجهز به روش آبیاری قطره‌ای، مقادیر راندمان کاربرد آب بالای ۹۰ درصد نیز به دست آمد. با توجه به اینکه کفایت آبیاری در این سه باغ پایین است (مقادیر مقدار آب آبیاری و مقایسه آن با نیاز آبی)، لذا راندمان‌های کاربرد آب بالا در این سه باغ دور از انتظار نخواهد بود. لازم به ذکر است راندمان کاربرد آب گزارش‌شده، میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده در طول فصل آبیاری است. از مهم‌ترین انگیزه‌ها و اهداف تجهیز باغ‌های به روش‌های آبیاری قطره‌ای، کاربرد دبی‌های آب کم، کاهش هزینه‌های کارگری و در نهایت افزایش راندمان آبیاری است. مطابق جدول (۴)، میانگین عملکرد در باغ‌های با روش آبیاری سطحی برابر ۱۸/۲ و در باغ‌های تجهیز شده به روش آبیاری قطره‌ای معادل ۱۵/۸ تن در هکتار برآورد شد. البته لازم به ذکر است عملکرد محصول وابسته به پارامترهای زیاد و پیچیده به زراعی بوده و نمی‌توان اختلاف به وجود آمده را صرفاً مربوط به نوع روش آبیاری دانست. با بررسی رابطه میان مقدار آب آبیاری و میزان عملکرد محصول مشخص شد که محدوده بهینه آب آبیاری که منجر به عملکرد قابل قبول شده است، در باغ‌های با روش آبیاری قطره‌ای ۴۰۰۰ تا ۴۵۰۰ و در باغ‌های با روش آبیاری سطحی ۶۰۰۰ تا ۷۰۰۰ متر مکعب در هکتار است. حداقل و حداکثر مقدار سود خالص به ترتیب ۸۵ و ۷۱۲ میلیون ریال بر هکتار و میانگین این شاخص نیز ۳۳۷ میلیون ریال بر هکتار محاسبه شد. در جدول (۵) اجزای بهره‌وری محاسبه‌شده در فاز دوم طرح برای دو باغ آزمایشی ارائه شده است. مقدار آب آبیاری در دو باغ انگور با توجه به نوع روش آبیاری موجود، متفاوت است.

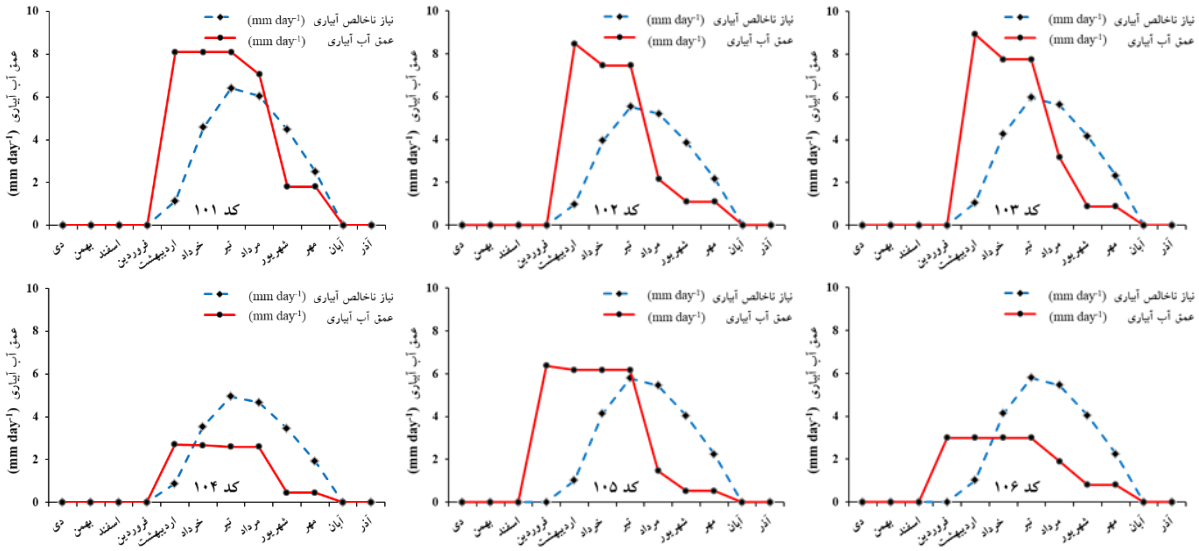
جدول ۴- مقدار آب آبیاری، عملکرد، هزینه‌ها، سود ناخالص و سود خالص در باغ‌های پیمایش شده

روش آبیاری	کد باغ	آب آبیاری (m^3 ha^{-1})	راندمان کاربرد (٪)	آب ناخالص مورد نیاز (m^3 ha^{-1})	عملکرد (ton ha^{-1})	هزینه‌ها (million Rials ha^{-1})	سود ناخالص (million Rials ha^{-1})	سود خالص (million Rials ha^{-1})
سطحی	۱۰۱	۸۹۶۲	۵۶	۷۵۲۹	۱۵/۱	۱۹۲	۳۷۷	۱۸۵
	۱۰۲	۸۴۵۷	۶۵	۶۴۸۶	۲۷/۱	۳۰۷	۷۹۰	۴۸۳
	۱۰۳	۷۵۶۴	۶۰	۷۰۲۷	۱۳/۴	۲۰۴	۴۷۹	۲۷۶
	۱۰۴	۳۴۸۶	۷۲/۵	۵۸۱۵	۱۶/۳	۱۷۱	۴۴۷	۲۷۶
	۱۰۵	۸۳۱۸	۶۲	۶۸۰۰	۲۲/۳	۲۷۸	۹۹۰	۷۱۲
	۱۰۶	۴۷۸۹	۶۲	۶۸۰۰	۱۵/۱	۲۳۷	۴۹۴	۲۵۷
قطره‌ای	۱۰۷	۴۵۲۱	۹۲	۴۵۸۳	۱۶/۵	۲۵۹	۵۱۹	۲۶۰
	۱۰۸	۱۲۲۵۹	۵۹/۷	۷۰۶۲	۱۷/۲	۳۱۹	۹۲۷	۶۰۸
	۱۰۹	۳۷۵۶	۹۵	۴۴۳۸	۱۶/۵	۲۳۲	۵۳۱	۲۹۹
	۱۱۰	۵۵۹۶	۸۵	۴۹۶۰	۱۶	۲۱۳	۵۰۳	۲۸۹
	۱۱۱	۱۹۸۴	۹۵	۴۴۳۸	۹/۹	۱۶۲	۲۴۸	۸۵
	۱۱۲	۴۳۹۱	۸۸	۴۷۹۱	۱۸/۸	۲۴۳	۵۶۲	۳۱۹

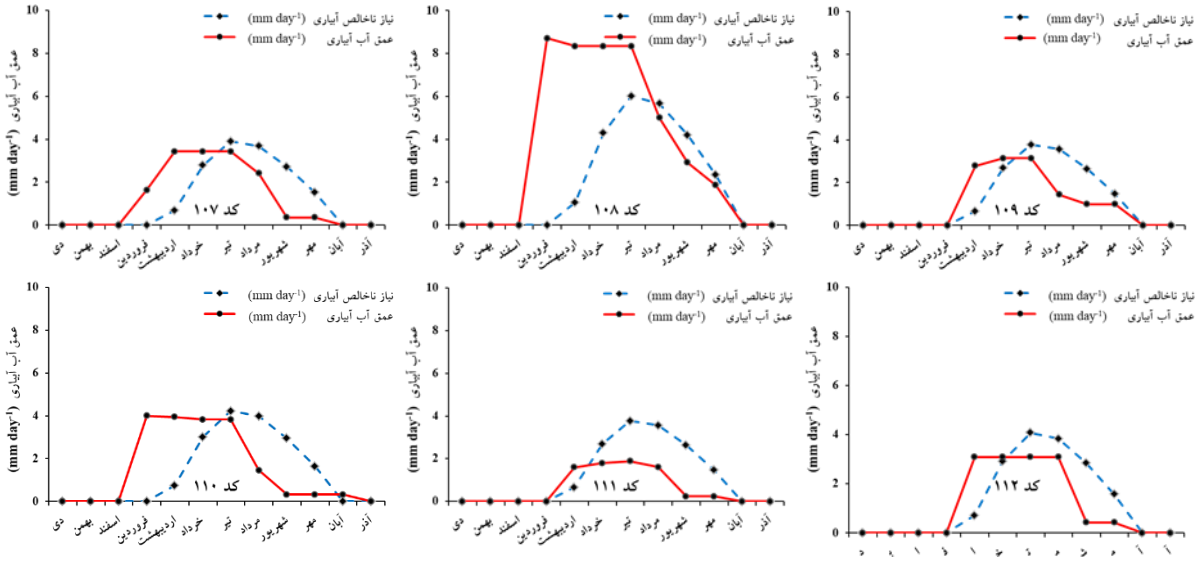
جدول ۵- آب آبیاری، عملکرد، هزینه‌ها، سود ناخالص و سود خالص در شرایط واقعی و آزمایشی

روش آبیاری	کد باغ		آب آبیاری (m^3 ha^{-1})	راندمان کاربرد (٪)	آب ناخالص مورد نیاز (m^3 ha^{-1})	عملکرد (ton ha^{-1})	هزینه‌ها (million Rials ha^{-1})	سود ناخالص (million Rials ha^{-1})	سود خالص (million Rials ha^{-1})
سطحی	**۲۰۱**	شرایط واقعی	۶۹۳۳	۵۵	۷۶۶۵	۱۳/۸	۵۲۰	۹۱۱	۳۹۱
		شرایط آزمایشی	۵۲۲۷	۶۴	۶۵۸۸	۱۵/۲	۶۱۱	۱۰۰۰	۳۸۹
قطره‌ای	**۲۰۲**	شرایط واقعی	۳۳۱۷	۸۴	۵۰۱۹	۱۱/۷	۴۳۵	۶۶۶	۲۳۱
		شرایط آزمایشی	۲۷۰۸	۹۲	۴۵۸۳	۱۱/۳	۴۴۸	۶۴۸	۲۰۰

در شرایط موجود، مقدار آب آبیاری در باغ ۲۰۱ که با روش آبیاری سطحی مدیریت می‌شد، نسبت به باغ ۲۰۲ بیش‌تر و حدود دو برابر است. با مقایسه مقادیر آب ناخالص مورد نیاز و آب کاربردی، می‌توان بیان داشت هر دو باغ در شرایط مدیریت کم‌آبیاری قرار دارند. در باغ ۲۰۱، فواصل زمانی بین آبیاری‌ها ثابت و برابر با ۱۶ روز بود و آبیاری‌های نسبتاً سنگین و با عمق آب آبیاری قابل ملاحظه انجام می‌شد. به همین دلیل تلفات نفوذ عمقی به‌خصوص در ابتدای کرت‌ها قابل توجه بود. با وجود مقدار آب آبیاری بالا در باغ ۲۰۱، نیاز واقعی باغ به‌طور کامل در تمام سطح باغ تأمین نشده است و در فاصله زمانی بین دو نوبت آبیاری به‌خصوص در ماه‌های گرم سال با تنش کم‌آبی مواجه بوده است. نظام توزیع آب و حقابه‌ها مهم‌ترین دلیل شکل‌گیری مدیریت کم‌آبیاری در منطقه شناخته شد. با توجه به اینکه تغییر عواملی نظیر دبی آب ورودی به باغ و دور آبیاری برای کشاورز سخت بوده و از قابلیت اجرایی کم‌تری برخوردار است، لذا اصلاح برنامه آبیاری از طریق تغییر تعداد ساعات آبیاری، کاهش تعداد نوبت آبیاری و هم‌چنین مدیریت جریان آب در قطعه‌های آزمایشی انجام گرفت. با توجه به اینکه گیاه انگور مقاوم به تنش کم‌آبی است، لذا به‌منظور ارتقای شاخص بهره‌وری آب، اصلاح برنامه آبیاری با هدف کاهش مصرف آب و اعمال مدیریت کم‌آبیاری انجام شد. بطوریکه در باغ ۲۰۱ به‌طور میانگین تعداد ساعات آبیاری در فصل بهار و اوایل تابستان حدود ۱۵ درصد کاهش یافت. هم‌چنین از تعداد آبیاری‌ها دو نوبت در اواخر تابستان کاسته شد. با توجه به راه‌کارهای اجراشده، مقدار آب آبیاری باغ ۲۰۱ در حدود ۲۴/۶ درصد کاهش یافت. در این باغ زمان قطع جریان در کرت‌ها متناسب با سرعت پیشروی و رسیدن به نقطه ۷۰ درصد طول کرت اعمال شد. در باغ ۲۰۲ نیز مدیریت کم‌آبیاری با کاهش حدود ۱۸/۳ درصدی مقدار آب آبیاری اعمال گردید. مقدار راندمان کاربرد آب در دو باغ با روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای در شرایط وضع موجود به ترتیب ۵۵ و ۸۴ درصد و در شرایط اجرای برنامه آبیاری اصلاح‌شده به ترتیب ۶۴ و ۹۲ درصد تعیین شد. به عبارتی دیگر با اجرای راه‌کارهای توصیه‌شده، مقدار راندمان کاربرد آب به‌طور میانگین در حدود ۸/۵ درصد افزایش یافت. مقایسه میزان عملکرد بین قطعات شاهد و آزمایشی نشان داد، در باغ ۲۰۱، عملکرد محصول در قطعه آزمایشی نسبت به شاهد حدود ۱۷ درصد افزایش یافت. در باغ ۲۰۲ عملکرد محصول انگور در قطعه آزمایشی نسبت به شاهد تغییر چشم‌گیری نداشت و کاهش جزئی در حدود ۲/۷ درصد مشاهده شد. با توجه به گستردگی عوامل دخیل در عملکرد محصول نظیر کیفیت خاک، تراکم کشت، آفات و بیماری‌ها، مدیریت تغذیه و... نمی‌توان تغییر عملکرد را صرفاً مرتبط با مقدار آب آبیاری دانست. مقدار سود خالص بدست آمده برای شرایط واقعی باغ و قطعات آزمایشی در باغ اول، به ترتیب ۳۹۱ و ۳۸۹ و در باغ دوم، ۲۳۱ و ۲۰۰ میلیون ریال در هکتار محاسبه شد. مدیریت آب در باغ‌های و به‌طور مشخص برنامه‌ریزی آبیاری مهم‌ترین عامل بر میزان مصرف آب و شاخص بهره-وری شناخته شد. برنامه آبیاری اعمال‌شده در بیش‌تر باغ-های به‌صورت سنتی و کاملاً تخمینی بوده و با نیاز واقعی باغ تناسب نداشت. به‌منظور تحلیل دقیق‌تر این موضوع، عمق آب آبیاری به‌صورت روزانه محاسبه و با مقدار نیاز آبی ناخالص گیاه مورد مقایسه قرار گرفت. شکل‌های ۲ و ۳ نمودارهای مقایسه‌ای مذکور را به ترتیب برای باغ‌های با روش آبیاری سطحی و قطره‌ای نشان می‌دهند.



شکل ۲- مقایسه نیاز ناخالص آبیاری و عمق آب آبیاری در باغ‌های با روش آبیاری سطحی



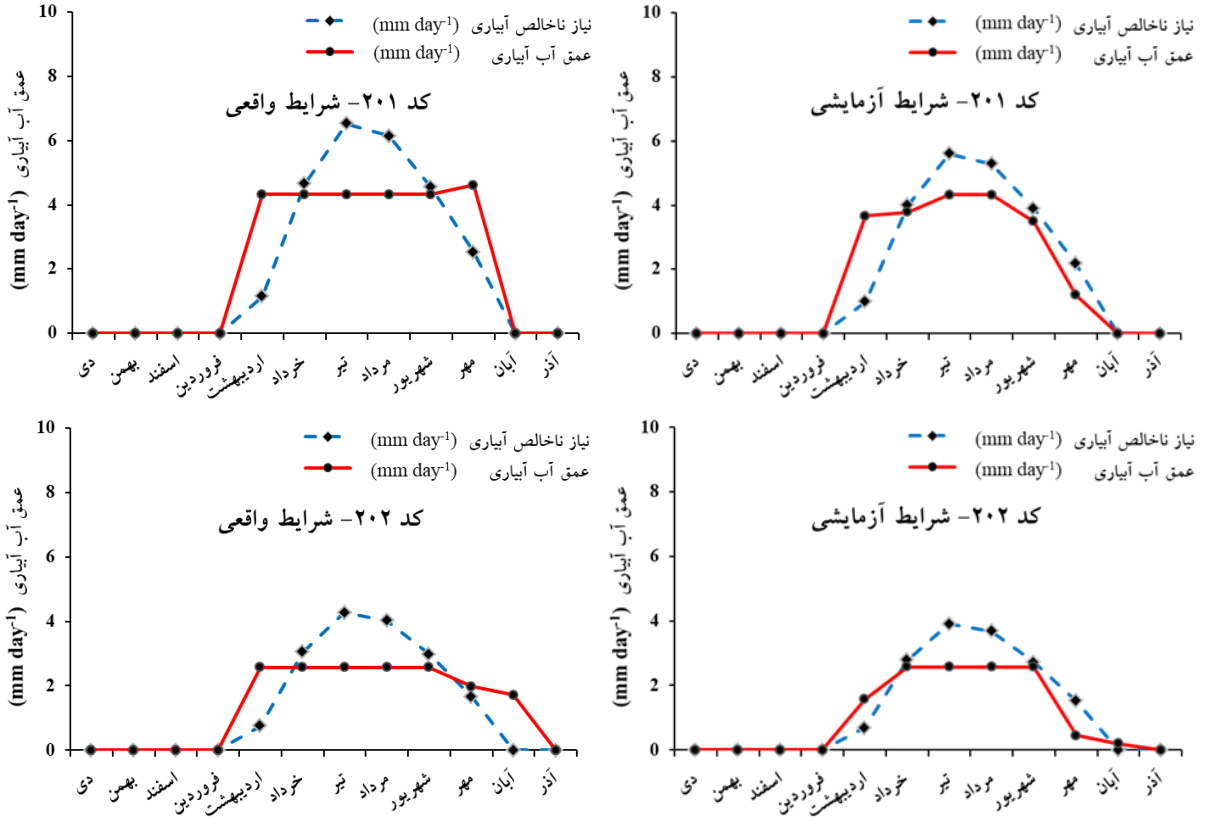
شکل ۳- مقایسه نیاز ناخالص آبیاری و عمق آب آبیاری در باغ‌های با روش آبیاری قطره‌ای

مقادیر عمق آب کاربردی بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری شده مزرعه‌ای در بازه‌های زمانی مختلف در طول فصل آبیاری به دست آمد. به‌منظور برآورد عمق ناخالص آبیاری، ابتدا نیاز آبی واقعی گیاه بر اساس سامانه جدید نیاز آبی ابلاغ‌شده توسط وزارت جهاد کشاورزی تعیین شد و سپس از طریق اعمال راندمان کاربرد اندازه-گیری شده به دست آمد. مطابق نمودارهای ارائه‌شده، اختلاف بین عمق آب آبیاری و نیاز ناخالص گیاه در برخی باغ‌های به‌خصوص باغ‌های با روش آبیاری سطحی چشم‌گیر بوده و این اختلاف عمدتاً مربوط به اوایل دوره آبیاری بوده است. برنامه آبیاری اعمال‌شده در باغ‌های با روش آبیاری قطره‌ای از تناسب قابل قبول‌تری با نیاز واقعی برخوردار است. می‌توان کنترل و مدیریت جریان آب را یکی از دلایل مهم این موضوع بیان داشت. برنامه آبیاری در بیش‌تر باغ‌های نسبت به تغییرات نیاز آبی از انعطاف‌پذیری کم‌تری برخوردار است. عمده این اختلاف در ابتدای شروع دوره آبیاری (فروردین تا خردادماه) ملاحظه می‌شود؛ بطوریکه بیش‌ترین اختلاف مربوط به باغ ۱۰۸ بوده که در فروردین ماه به میزان ۸/۷ میلی‌متر در روز آبیاری مازاد صورت گرفته است. در برخی باغ‌های شاهد مدیریت مناسب آبیاری هستیم از جمله باغ‌های با کد ۱۰۷ و ۱۱۲ که مناسب‌ترین برنامه آبیاری را دارد. در شکل (۴) مقایسه

برنامه آبیاری در شرایط واقعی و کنترل‌شده در دو باغ آزمایشی نمایش داده شده است. هدف از برنامه آبیاری اعمال‌شده در فاز دوم طرح، کاهش اختلاف بین عمق آب آبیاری و نیاز آبی ناخالص گیاه بود. مدیریت بکار گرفته شده در باغ‌های ۲۰۱ و ۲۰۲ به ترتیب منجر به کاهش ۲۴/۶ و ۱۸/۳ درصدی عمق آب آبیاری در شرایط آزمایشی نسبت به واقعی شده است. اختلاف موجود بین دو منحنی در شرایط کنترل‌شده، مربوط به کم یا بیش‌آبیاری است. سعی شد با اصلاح برنامه آبیاری، اختلاف بین عمق آب آبیاری و نیاز آبی ناخالص گیاه در ابتدا و انتهای دوره آبیاری بخصوص در ابتدای فصل پاییز (مرداد تا آبان‌ماه) مدیریت شود.

بهره‌وری فیزیکی آب

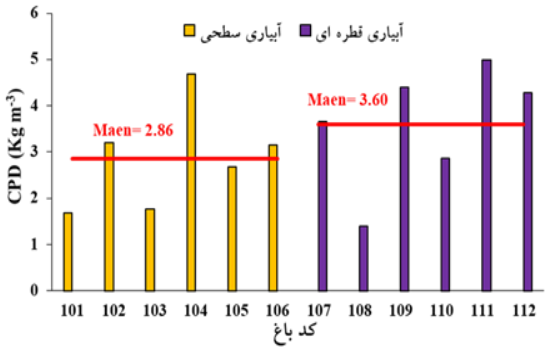
شکل (۵) شاخص بهره‌وری آب (CPD) برای ۱۲ باغ انگور پیمایش شده در فاز اول تحقیق را نمایش می‌دهد. بررسی بهره‌وری آب به تفکیک نوع روش آبیاری نشان می‌دهد، میانگین این شاخص در باغ‌های تحت پوشش روش آبیاری سطحی ۲/۸۶ کیلوگرم بر مترمکعب و در باغ‌های تجهیز شده به روش آبیاری قطره‌ای برابر با ۳/۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. شاخص بهره‌وری آب در باغ-های با روش آبیاری قطره‌ای حدود ۲۶ درصد بیش‌تر از باغ‌های با روش آبیاری سطحی است. راندمان بالای روش-های آبیاری قطره‌ای و به‌تبع آن مقدار آب آبیاری کم‌تر در این باغ‌های ، شاخص بهره‌وری آب قابل قبولی را رقم زده است.



شکل ۴- مقایسه نیاز ناخالص آبیاری و عمق آب آبیاری در شرایط واقعی و آزمایشی

حداقل و حداکثر مقدار شاخص CPD برای باغ-های مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۱/۴۰ و ۴/۹۹ و به‌طور میانگین برابر با ۳/۲۳ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه گردید. بررسی همبستگی بین آب آبیاری و شاخص بهره‌وری آب نشان داد که با افزایش مقدار آب آبیاری تا یک مقدار مشخص (حدود ۷۵۰۰ مترمکعب)، مقدار شاخص بهره-وری آب تقریباً روند افزایشی دارد. به‌طور متوسط و با افزایش ۱۰۰۰ مترمکعب در میزان مقدار آب آبیاری، حدود

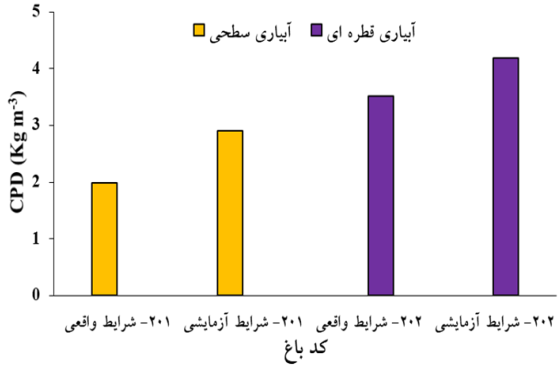
۰/۶ تن به مقدار عملکرد افزوده می‌شود. با افزایش مقدار آب آبیاری به‌خصوص در مقادیر بالای ۸۰۰۰ متر مکعب تغییر محسوسی در عملکرد باغ‌های مشاهده نشد. با در نظر گرفتن راندمان کاربرد آب، مقادیر آب آبیاری اشاره‌شده به نوعی نشان‌دهنده درصد تأمین نیاز آبی محصول انگور است. با توجه به نتایج حاصل‌شده، در شرایط تأمین کامل نیاز آبی انتظار بیش‌ترین عملکرد وجود خواهد داشت. مقادیر به‌دست‌آمده قابل مقایسه با نتایج گزارش شده در سایر مطالعات پیشین است. به‌عنوان نمونه، جلینی (۱۳۸۵)



شکل ۵- مقادیر شاخص CPD در باغ‌های پیمایش شده

اعمال مدیریت آبیاری اصلاح‌شده منجر به کاهش مقدار آب آبیاری و بهره‌وری آب در قطعات آزمایشی گردیده است. مقدار شاخص مذکور در قطعات آزمایشی نسبت به شاهد در باغ‌های ۲۰۱ (با روش آبیاری سطحی) و ۲۰۲ (با روش آبیاری قطره‌ای) به ترتیب ۲۴/۷ و ۴/۵ درصد افزایش داشته است. افزایش شاخص بهره‌وری آب در قطعه آزمایشی باغ ۲۰۱ به دلیل افزایش عملکرد محصول هم‌زمان با کاهش نسبی آب آبیاری محقق شده است. در مقابل و در باغ ۲۰۲، شاخص بهره‌وری آب مطابق انتظار تغییر زیادی نداشت و بهبود جزئی نیز به دلیل کاهش میزان مصرف آب بود.

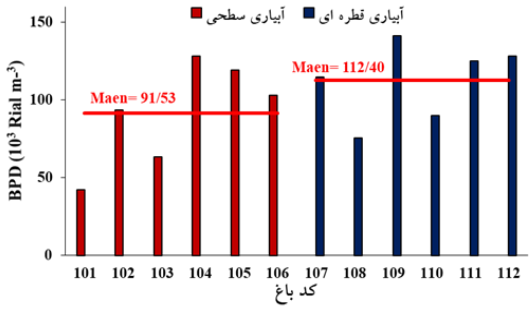
میزان بهره‌وری آب به ازای تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی انگور در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای را ۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب، گزارش نمود. همچنین دولتی‌بانه و نورجو (۱۳۹۰) میزان بهره‌وری آب به ازای تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی انگور در روش‌های آبیاری قطره‌ای را ۴/۰۴ کیلوگرم بر مترمکعب آب بیان داشتند. شکل (۶) مقادیر شاخص CPD محاسبه‌شده برای دو باغ آزمایشی در فاز دوم مطالعه را در دو شرایط واقعی و آزمایشی نشان می‌دهد.



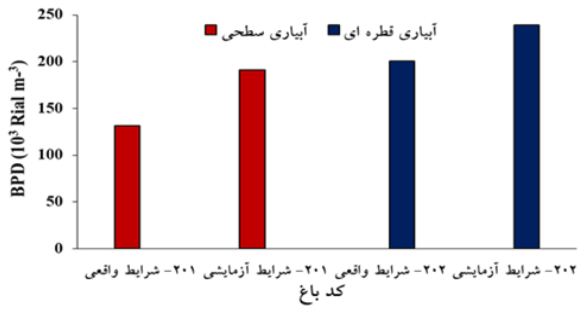
شکل ۶- مقادیر شاخص CPD در شرایط واقعی و آزمایشی

بهره‌وری اقتصادی آب

مقادیر شاخص سود ناخالص به ازای واحد مقدار آب آبیاری (BPD) برای ۱۲ باغ پیمایش شده در شکل (۷) ارائه شده است. در شکل (۸) نیز مقادیر شاخص BPD برای دو باغ آزمایشی در دو شرایط واقعی و آزمایشی نشان داده شده است. میانگین شاخص BPD برای باغ‌های با روش آبیاری سطحی و قطره‌ای به ترتیب برابر ۹۱/۵ و ۱۱۲/۴ هزار ریال بر مترمکعب به دست آمد.



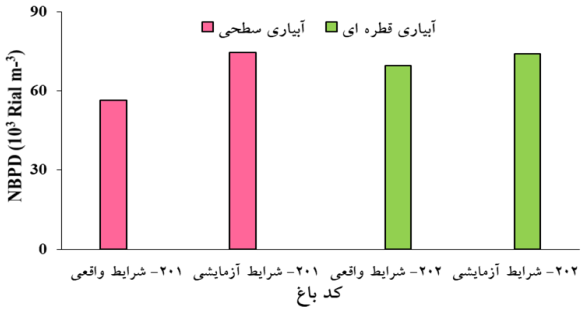
شکل ۷- مقادیر شاخص BPD در باغ‌های پیمایش شده



شکل ۸- مقادیر شاخص BPD در شرایط واقعی و آزمایشی

مجهز نمودن باغ‌های به روش آبیاری قطره‌ای منجر به افزایش ۲۲/۸ درصدی سود ناخالص به‌ازای هر واحد مقدار آب آبیاری شده است. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار BPD برای باغ‌های انگور به ترتیب برابر با ۴۲/۱ و ۱۴۱/۳ هزار ریال بر مترمکعب است. میانگین این شاخص نیز در باغ‌های مورد بررسی ۱۰۲ هزار ریال بر مترمکعب محاسبه شد. با اعمال مدیریت مناسب آبیاری در قطعات کنترل‌شده باغ‌های ۲۰۱ و ۲۰۲ مقدار شاخص BPD به ترتیب ۲۴/۷ و ۶/۵ درصد افزایش یافت. شکل (۹) نیز، مقادیر شاخص سود خالص به‌ازای هر واحد مقدار آب آبیاری (NBPD) را برای ۱۲ باغ پایش شده نشان می‌دهد. میانگین شاخص NBPD در باغ‌های با روش آبیاری سطحی برابر با ۵۵/۴ هزار ریال بر مترمکعب و در باغ‌های مجهز به روش آبیاری قطره‌ای ۵۹ هزار ریال بر مترمکعب برآورد شد. به عبارتی مقدار این شاخص در باغ‌های با روش قطره‌ای حدود ۶/۵ درصد بیش‌تر از باغ‌های با روش سطحی است. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار شاخص NBPD به ترتیب ۲۰/۶ و ۸۵/۶ هزار ریال بر مترمکعب تعیین شد. میانگین این شاخص نیز در باغ‌های پیمایش شده ۵۷/۲ هزار ریال بر مترمکعب تعیین شد. درگاهی و همکاران (۱۳۹۷) مقدار شاخص سود خالص به ازای مقدار آب آبیاری (NBPD) برای محصول انگور را در دشت قزوین حدود ۱۵ هزار ریال بر مترمکعب گزارش نمودند.

شکل ۹- مقادیر شاخص NBPD در باغ‌های پیمایش شده



شکل ۱۰- مقادیر شاخص NBPD در شرایط واقعی و آزمایشی

بررسی تغییرات شاخص NBPD نسبت به مقدار آب آبیاری در باغ‌های پیمایش شده به‌وضوح نشان می‌دهد که با افزایش مقدار آب آبیاری، مقدار شاخص سود خالص روند کاهشی داشته است. بررسی برازش حاصل از این دو پارامتر با ضریب تعیین بیش از ۶۵ درصد، مؤید افزایش حدود نه هزار ریال سود خالص به ازای کاهش ۱۰۰۰ مترمکعب آب است. در واقع می‌توان بیان داشت در بین عوامل مؤثر بر شاخص بهره‌وری اقتصادی، عامل مقدار آب آبیاری بیش‌ترین وزن و اهمیت را به خود اختصاص داده است. مقادیر مربوط به شاخص NBPD محاسبه شده برای دو باغ آزمایشی در شکل (۱۰) ارائه شده است. اجرای راهکارهای بهبود بهره‌وری آب باغ‌های ۲۰۱ و ۲۰۲، به ترتیب منجر به افزایش حدود ۳۳ و ۶ درصدی شاخص NBPD گردید.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، بهره‌وری آب در باغ‌های انگور با دو روش آبیاری سطحی و قطره‌ای بررسی شد و اثر مدیریت آبیاری اصلاح‌شده بر بهبود شاخص بهره‌وری مورد بررسی قرار گرفت. شاخص بهره‌وری آب در باغ‌های با روش آبیاری قطره‌ای به دلیل مقدار آب آبیاری کم‌تر در وضعیت نسبتاً بهتری نسبت به باغ‌های با روش سطحی قرار داشت. فارغ از نوع روش آبیاری، مدیریت آبیاری در باغ-های به‌عنوان یک عامل مهم بر میزان آب آبیاری در باغ‌های شناخته شد. در برخی باغ‌های پیمایش شده، برنامه آبیاری متناسب با نیاز واقعی محصول نبوده و آبیاری بیش از حد صورت می‌گرفت. این موضوع به‌خصوص در ابتدای دوره آبیاری مشهود بود. نتایج نشان داد که از طریق تکنیک ساده و با قابلیت اجرایی اصلاح برنامه آبیاری، می‌توان بهره‌وری را تا حد ممکن بهبود بخشید. سهولت و امکان اجرای شیوه‌های مختلف به زراعی از جمله برنامه آبیاری اصلاحی در باغ‌های با روش آبیاری قطره‌ای بیش‌تر از باغ‌های با روش آبیاری سنتی است. بر اساس پیمایش‌های میدانی بعمل آمده در تعداد ۱۴ باغ انگور و به مدت دو سال، مقدار آب آبیاری در بیش‌تر باغ‌های انگور نزدیک به شرایط نرمال است. تأمین آب عمده باغ‌های انگور از چاه‌های مشاعی بوده و به نظر می‌رسد این نظام توزیع آب اثر مثبت بر کنترل آب آبیاری در باغ‌های داشته است. از سوی دیگر کاهش آبدهی چاه‌ها در سال‌های اخیر منجر به شکل‌گیری مدیریت کم‌آبیاری در برخی باغ‌های گردیده است.

فهرست منابع

۱. امینی ع، پرهمت ج و سدری مح، ۱۳۹۹. بررسی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در محصولات عمده زراعی در حوضه تلوار استان کردستان. نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۱۲، شماره ۲، صفحه‌های ۴۸۱ تا ۴۹۱.

۲. بهرامی م، خلیلیان ص، مرتضوی سا و اسعدی مع، ۱۳۹۷. بررسی بهره‌وری فیزیکی مصرف آب کشاورزی در استان‌های منتخب ایران (مطالعه موردی: محصول گندم). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱۲، شماره ۶، صفحه‌های ۱۵۱۱ تا ۱۵۱۸.

۳. جلینی م، ۱۳۸۵. بررسی تأثیر روش آبیاری قطره‌ای و سطوح مختلف آب بر عملکرد و کارایی مصرف آب در انگور. نشریه تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۷، شماره ۲۸، صفحه‌های ۶۹ تا ۷۸.

۴. درگاهی ز، نظری ب، رمضانی‌اعتدالی ه و مازندرانی‌زاده ح، ۱۳۹۷. ارزیابی روش‌های نوین آبیاری با مفاهیم بهره‌وری اقتصادی آب و راندمان آبیاری در استان قزوین. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱۲، شماره ۳، صفحه‌های ۶۸۳ تا ۶۹۵.

۵. دولتی بانه ح و نورجو ا، ۱۳۹۰. اثر کم‌آبیاری بر کمیت، کیفیت میوه و بهره‌وری مصرف آب سه رقم انگور. نشریه به زراعی نهال و بذر (نهال و بذر)، جلد ۲-۲۷، شماره ۴، صفحه‌های ۴۳۵ تا ۴۵۰.

۶. رضوانی‌مقدم پ، نوروزپور ق، نباتی ج و محمدآبادی ع‌ا، ۱۳۸۴. بررسی خصوصیات مورفولوژیک، عملکرد دانه و روغن کنجد در تراکم‌های مختلف بوته و فواصل مختلف آبیاری. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۳، شماره ۱، صفحه‌های ۵۷ تا ۶۸.

۷. زمانی ا، مرتضوی سا و بلالی ح، ۱۳۹۳. بررسی بهره‌وری اقتصادی آب در محصولات مختلف زراعی در دشت بهار. نشریه پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)، جلد ۲۸، شماره ۱، صفحه‌های ۵۱ تا ۶۱.

۸. شاهرخ‌نیا م و کرمی م، ۱۳۹۶. بررسی اثر مقادیر مختلف آب آبیاری بر عملکرد انگور یاقوتی. نشریه فصلنامه علمی و پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، جلد ۷، شماره ۲۸، صفحه‌های ۱۰۸ تا ۱۲۲.

۹. شایان‌فر ح، ۱۳۸۲. بررسی بهره‌وری آب کشاورزی در تولید اقتصادی محصولات. یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران، صفحه‌های ۱۰۳ تا ۱۱۲.

۱۰. عباسی ف، عباسی ن و توکلی ع‌ر، ۱۳۹۶. بهره‌وری آب در بخش کشاورزی؛ چالش‌ها و چشم‌اندازها. نشریه آب و توسعه پایدار، جلد ۴، شماره ۱، صفحه‌های ۱۴۱ تا ۱۴۴.

۱۱. عباسی ف، ناصری ا، رضوانی م، گودرزی م، کریمی م، اسلامی ا، طاهری م، یوسف گمرکچی ا، طایفه رضایی ح، خسروی ح، موسوی فضل س‌ح، قدمی فیروزآبادی ع، باغانی ج، عباسی ن و اکبری م، ۱۳۹۹. ارزیابی آب کاربردی و بهره‌وری آب در تاکستان‌های کشور. نشریه تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، جلد ۲۱، شماره ۸۰، صفحه‌های ۱۳۳ تا ۱۴۸.

۱۲. قاصدی یولقونلو س، زارع ابیانه ح، نجاتیان مع، ملکی م و کریمی ر، ۱۳۹۷. اثر تغییر روش آبیاری جویچه‌ای به قطره‌ای بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد انگور بیدانه سفید (Vitis Vinifera L.). نشریه علوم باغبانی ایران، جلد ۴۹، شماره ۳، صفحه‌های ۷۴۳ تا ۷۵۳.

۱۳. نجفلو پ، عباسی ع و فرهادیان ه، ۱۳۹۶. بررسی رفتار اطلاع‌یابی انگور کاران استان زنجان و عوامل مؤثر بر آن. نشریه تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، جلد ۴۸، شماره ۱، صفحه‌های ۱۶۵ تا ۱۷۸.

۱۴. نیکان‌فر ر و رضایی ر، ۱۳۹۴. واکنش درخت‌های مسن انگور به تغییر روش آبیاری سطحی به قطره‌ای یا بابلر. نشریه علوم و فنون باغبانی ایران، جلد ۱۶، شماره ۲، صفحه‌های ۱۶۱ تا ۱۷۰.

15. Araujo F, Williams EL and Matthews AM, 1995. A comparative study of young ‘Thompson Seedless’ grapevines (Vitis vinifera L.) under drip and furrow irrigation. II. Growth, water use efficiency and nitrogen partitioning. Scientia Horticulturae 60(3-4): 251-265.

16. Cancela JJ, Trigo-Córdoba E, Martínez EM, Rey BJ, Bouzas-Cid Y, Fandiño M and Mirás-Avalos JM, 2016. Effects of climate variability on irrigation scheduling in white varieties of Vitis vinifera (L.) of NW Spain. Agricultural Water Management 170: 99-109.

17. Civit B, Piastrellini R, Curadelli S and Arena AP, 2018. The water consumed in the production of grapes for vinification (Vitis vinifera). Mapping the blue and green water footprint. Ecological Indicators 85: 236-243.

18. Du TS, Kang SZ, Zhang JH, Li FS and Yan BU, 2008. Water use efficiency and fruit quality of table grape under alternate partial root-zone drip irrigation. Agricultural Water Management 95: 659– 668.

19. García JG, Martínez-Cutillas A and Romero P, 2012. Financial analysis of wine grape production using regulated deficit irrigation and partial-root zone drying strategies. Irrigation Science 30(3): 179-188.

20. Medrano H, Tomás M, Martorell S, Escalona J, Pou A and Fuentes S, 2015. Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions. A review. Agronomy for Sustainable Development 35: 499–517.

21. Romero P and Martinez-Cutillas A, 2012. The effects of partial root-zone irrigation and regulated deficit irrigation on the vegetative and reproductive development of fieldgrown Monastrell grapevines. Irrigation Science 30(5): 377-396.

22. Sheren A, Abed El-Hamied, Zaen El-Deen EMA and El-Hagarey ME, 2017. Management of irrigation systems to improve productivity and quality of grapevine under desert conditions. Journal of Agriculture and Veterinary Science 10(10): 77-90.

23. Xiaochi Ma, Karen A and Sanguinet W, 2020. Direct root-zone irrigation outperforms surface drip irrigation for grape yield and crop eater use efficiency while restricting root growth. Agriculture water management Journal (231): 105993.

24. Yan N, Wu B and Zhu W, 2020. Assessment of agricultural water productivity in arid China. Water 12 (4): 1161.

Estimating Water Productivity in Vineyards under Surface and Drip Irrigation Systems

H. Ojaghlou*, M. M. Jafari, M. BabaAkbari Sari, F. Ojaghlou, and F. Misaghi

Assistant Prof., Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan. **ojaghlou@znu.ac.ir**

Ph.D. Candidate, Department. of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. **mm.jafari@ut.ac.ir**

Assistant Prof., Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan. **babaakbari@znu.ac.ir**

National Planning Expert, Planning and Budget Organization of Zanjan Province. **ojaghlou@gmail.com**

Assistant Prof., Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan. **Farhad_Misaghi@znu.ac.ir**

Received: April 2023 and Accepted: September 2023

Abstract

In this study, water productivity in six vineyards under surface and six under drip irrigation systems was measured in Zanjan Province, then, the effect of modified irrigation schedule to improve water productivity was investigated in two selected vineyards. The average volume of applied irrigation water in vineyards with surface and drip irrigation systems was 6929 and 5418 $m^3.ha^{-1}$, respectively. Also, the average of water productivity indices, Gross Benefit, and Net Benefit were obtained as 2.9 $kg.m^{-3}$, 91.5, and 55.4 thousand $Rials.m^{-3}$ in vineyards with surface system and 3.6 $kg.m^{-3}$, 112.4, and 59 thousand $Rials.m^{-3}$ in vineyards with drip system. In terms of water productivity index, drip irrigation was relatively superior to the surface method. In most of the monitored vineyards, the applied irrigation schedule was not in accordance with the net irrigation requirement. The results of the modified irrigation schedule indicated that water productivity could be improved by 24.7%.

Keywords: Grape, Irrigation schedule, Water productivity index

* - Corresponding author's email: ojaghlou@znu.ac.ir

Performance Evaluation of WaPOR and ERA5 Datasets for the Purpose of Estimating Reference Evapotranspiration in the Caspian Sea Basin

SH. Veysi*, M. Nouri, and A. Jabbari

Assistant Prof., Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Alborz, Karaj, Iran. **sh.veysi@areeo.ac.ir**

Assistant Prof., Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Alborz, Karaj, Iran. **m.nouri@modares.ac.ir**

Assistant Prof., Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran. **anahita.jabbari@yahoo.com**

Received: April 2023 and Accepted: June 2023

Abstract

To compensate for the lack, or inadequacy, of weather stations data, one of the most reliable ways is to use the remote sensing and re-analysis dataset, which provides a suitable model for such areas. In this study, the performance of two data sources, namely, WaPOR and ERA5, was evaluated in estimating reference evapotranspiration at 64 synoptic stations in the Caspian coastal region in Iran, on a daily and monthly basis. To this end, meteorological data of 64 synoptic stations with a 10-year statistical period (2011-2021) was obtained daily from the Iran Meteorological Organization. The field data used included minimum and maximum temperature, relative humidity, wind speed, and solar radiation intensity. Then, evapotranspiration and reference evapotranspiration were calculated using the Penman-Monteith equation and REF-ET software. Finally, the results were compared with the results from the WaPOR and ERA5 data bases. The results showed that, on average, the nRMSE values of the WaPOR and ERA5 datasets compared to the calculated meteorological station data were 29.6% and 29%, respectively, on a daily basis. Also, on a monthly time scale, in more than 85% of the stations, both datasets provided acceptable results. On a monthly scale, the average nRMSE value for both WaPOR and ERA5 sensors in the catchment area was 19%. The rMBE value showed that the ERA5 dataset underestimated the reference evapotranspiration in most of the stations, while the WaPOR dataset overestimated. Given that the error rate of the two sensors is different in over 30 percent of the stations, a suitable estimate of reference evapotranspiration in the Caspian Sea basin area can be obtained by combining the data from these two datasets. The results showed that in the Caspian Sea coastal areas, 34 stations in the WaPOR dataset and 28 stations in the ERA5 dataset showed the minimum error, with two stations showing the same error. Thus, both WaPOR and ERA5 are suitable databases that can be used for hydrological purposes, including estimation of reference evapotranspiration.

Keywords: Data scarcity, Penman-Monteith Equation, Remote sensing, Meteorological stations

* - Corresponding author's email: sh.veysi@areeo.ac.ir

Investigating the Probability of Occurrence of Evapotranspiration in Different Climates and Planting Dates of Rice in Non-Northern Regions of Iran

M. R. Yazdani, H. Sadeghi, E. Asadi Oskouei*, S. Kouzegaran, and B. Delsouz Khaki

Assistant Prof., Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran. **smryazdany@yahoo.ca**

PhD in climatology. Physical Geography Department, Faculty of Geography, University of Tehran. **hadis.sadeghi@ut.ac.ir**

Assistant Prof., Climatological Research Institute, ASMERC, Mashhad, Iran. **e.asadi.o@gmail.com**

Ph.D. in Agrometeorology, Applied Meteorological Research Center, Mashhad, Iran. **saeedeh.kouzegaran@mail.um.ac.ir**

Received: December 2022 and Accepted: June 2023

Abstract

Changes in evapotranspiration values of rice plants in non-northern regions of the country were estimated for three different planting dates (early, on time and late planting) and with four different probabilities of 75%, 50%, 25%, and 10% (years with low, medium, high, and very high evapotranspiration, respectively), using the Penman-Monteith Equation and meteorological data of 15 stations with a statistical period of 30 years (1990-2020). The crop coefficient of rice in different stages of growth were calculated as an average in 10-day periods based on the Weibull Model. The results showed that, in all non-northern climatic regions, adopting an early planting strategy leads to a reduction in water requirement in all evapotranspiration scenarios. Adopting early planting strategy in years with very high evapotranspiration reduces the water requirement of rice in hot, cold and temperate regions by 125.9, 113.5, and 115 mm, respectively, during the growing season (on average 0.7 to 9. 0 mm per day) compared to late planting. However, in cold and temperate climates, there was no big difference between early planting and timely planting and even late planting. So, it is better to use late planting to avoid the possibility of late frosts. Comparison of the results of evapotranspiration rate of rice plant in all planting dates and different probability levels in cold, moderate, hot and very hot climate regions showed that the highest evapotranspiration rate is related to the hot region at the rate of 1021, and moderate and cold regions have much lower evapotranspiration rate than hot regions with evaporation rates of 784.8 and 729 mm, respectively. Therefore, considering the lack of water resources and the negative effects of climate change in arid or semi-arid regions such as Iran, it is better to avoid rice cultivation in hot regions, especially in years with high evapotranspiration. Also, it is better that in cold and temperate regions, the type of irrigation management and the design of structures and water systems should be adapted to the calculations of years with high evapotranspiration.

Keywords: Weibull Model, Crop coefficient of rice, Net water requirement

* - Corresponding author's email: e.asadi.o@gmail.com

Using NIAZAB System to Determine Soybean Water Use Based on the Inverse Solution of the Production Functions under Different Irrigation Conditions

A. Abdzad Gohari*, A. Nik Akhtar, N. A. Ebrahimipak, and A. Tafteh

Researcher, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. **abdzadgohari_a@yahoo.com**

Research Expert, Department of Soil and Water Research, Hormozgan Agricultural Research and Training Center, (AREEO), Bandar Abbas, Iran. **amirnik1367@gmail.com**

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

Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. **Arash_tafteh@yahoo.com**

Received: February 2023 and Accepted: June 2023

Abstract

Soil and Water Research Institute (SWRI) has presented NIAZAB system to estimate and determine crops water requirement, water consumption, and irrigation planning at the scale of region, district, and plains in Iran. The current research was conducted in order to use NIAZAB system (including Tafteh, Pasquale and Reas methods) in determining the amount of water used for soybean cv. Williams, based on the inverse solution of the production function. The experimental treatments in this research included no fertilizer and application of of 150 kg N ha^{-1} and different irrigation treatments including 100%, 80%, 60%, and 40% of water requirement. Experimental design was split plot in the form of randomized complete blocks with three replications, and was conducted in Hajiabad Region, Hormozgan Province, in 2020 and 2021. The values estimated by the system and measured showed that, in the first year, the average relative error (ARE) in eatimation of evapotranspirationin by Tafteh, Pasquale and Reas methods were 7.49%, -0.05%, and 9.14%, respectively. In the second year, these values were 6.47%, -1.29%, and 9.06%, respectively. The ARE in the physical water productivity in the mentioned methods was -8.23%, -0.73%, and -10.08% in the first year, and -7.10%, 0.58%, and -10.07% in the second year, respectively. In Tafteh, Pasquale, and Reas methods, the root mean square error (RMSE) were 43, 35, and 49 mm, respectively, and the normalized root mean square error ($RMSE_n$) were 0.093%, 0.076%, and 0.105%, respectively. Considering the results, NIAZAB system estimated the amount of irrigation water and evapotranspiration with acceptable approximation and it can be used for estimation of water consumption in the studied area.

Keywords: Evapotranspiration, Tafteh method, Pasquale method, Reas method, Production functions, Soybean cultivar Williams

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

Investigating the Effect of Irrigation Interval in Strip Drip System on Rice Yield and Soil Salinity Changes with Direct Seeded Rice in Dry Bed in Khuzestan Plain, Iran

A. Mokhtaran*, A. A. Gilani, S. Jalali, L. Behbahani, M. Rezaei and K. Tajaddodi Talab

Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahwaz, Iran. **alimokhtaran@gmail.com**

Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, AREEO, Ahwaz, Iran.**abdolali.gilani@yahoo.com**

Researcher, Seed and Plant Improvement Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, AREEO, Ahwaz, Iran**. jalalisami40@gmail.com**

Researcher, Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, AREEO, Ahwaz, Iran. **leila_behbahani@yahoo.com**

Assistant Prof., Rice Research Institute of Iran, AREEO, Rasht, Iran.**mrezaeii@yahoo.com**

Assistant Prof., Rice Research Institute of Iran, AREEO, Rasht, Iran .**dr2eng@yahoo.com**

Received: August 2022 and Accepted: June 2023

Abstract

Rice is one of the most important summer crops in Khuzestan Province. Due to the severe water limitation, the effect of using strip drip system in the method of direct seeded rice in dry bed was monitored on the yield of common rice cultivars of the province and changes in soil salinity. This research was conducted during 2019-20 and 2020-21, at the Ahvaz Agricultural Research Station on three adjacent plots of land, using split-plot design and randomized complete blocks in three replications. The main factor was irrigation including three levels: daily irrigation, every two days, and three days; and the secondary factor included three cultivars (Red Anbori, Champa, and Daniyal) and one salt tolerant rice line (S_2). In the first year, due to the allocation of water outside the cultivation date, the yield of the crop was very low, so, the analysis was done based on the second year. The average volume of irrigation water in the field was measured as 14,800, 15,200, 15,700 and 16,100 m^3/ha for, respectively, line S_2, Red Anburi, Daniyal, and Champa. The results showed that, in the daily irrigation, the "Red Anburi" local cultivar had the highest yield with 3767 kg/ha and S_2 line had the lowest 2541 kg/ha, so that when the irrigation changed from every day to three days, the yield decreased by 56% on average. The highest water productivity was obtained by the "Red Anburi" cultivar (0.25 kg/m^3) in the daily irrigation. The reason for this problem can be shown in the monitoring of soil salinity, so that with daily irrigation, the salinity of the saturated extract in all soil layers showed a decreasing trend from 3.77 to 1.8 dS/m. According to the results, use of drip irrigation system would significantly reduce the volume of irrigation water compared to "conventional puddled transplanted rice". This has been an effective strategy in reducing the stress on the water resources of the province and saving the available water to preserve the ecosystem, although significant reduction of rice cultivation area in this province is recommended.

Keywords: Monitoring soil salinity, Dry bed seeded rice, Irrigation regime, Water saving

* - Corresponding author's email: alimokhtaran@gmail.com

Determination of Alfalfa Water Productivity in Different Regions of Iran

M. Akbari*, F. Abbasi, A. Nasseri, A.Y. Gomrokchi, M. Goodarzi, A. Eslami, M. Farzamniya, R. Alimohammadi, N. Koohi, R. Bahramloo, A. Ghadami, A.G. Haghaeghimoghaddam, A. Zolfagharan, J. Ahmadaali, M. Abbasi, H. Riyahi, and M. M. Nakhjavanimoghaddam

1- Associate Prof., Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. **akbari_m43@yahoo.com**

2- Professor, Agricultural Engineering Research Institue, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. **fariborzabbasi@ymail.com**

3- Associate Prof., Agricultural Engineering Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran. **nasseri_ab@yahoo.com**

4- Assistant Prof, Agricultural Engineering Research Department, Qazvin Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Qazvin, Iran. **gomrokchi@gmail.com**

5- Assistant Prof, Markazi Agricultural and natural Resources Research and Education Center. Arak.Iran. **goodarzimustafa@gmail.com**

6- Assistant Prof, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Fars, Iran. **amireslami.50@gmail.com**

7- Academic member, Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran. **masoud_farzamnia@yahoo.com**

8- Assistant Prof, Agricultural Engineering Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shahr-e Kord, Iran. **nafchi38@hotmail.com**

9- Assistant Prof. of Agricultural Engineering Research Department, Kerman Agricultural and Resource Research Center. **nakch71@yahoo.com**

10-Associate Prof, Agricultural Engineering Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran. **bahramloo@gmail.com**

11- Associate Prof, Assistant Prof, Department of Agricultural Engineering Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural. **aghadami@gmail.com**

12- Assistant Prof, Agricultural Engineering Research Department, Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Khorasan Razavi. **sahm51@yahoo.com**

13- Assistant Prof, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. **azolfagharan@yahoo.com**

14- Assistant Prof, Agricultural Engineering Research Department,West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmiye, Iran. **jamalahmadaali@gmail.com**

15- Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. **abasimohamad7@gmail.com**

16- Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. **riahir1343@yahoo.com**

17- Assistant Prof., of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education. **mehdin55@yahoo.com**

Received: April 2023 and Accepted: June 2023

Abstract

In this study, volume of irrigation water, water productivity, and yield of alfalfa were measured in 300 farms in Zanjan, Fars, Chaharmahal and Bakhtiari, Hamedan, East Azerbaijan, Semnan, Khorasan-Razavi, Isfahan, West Azerbaijan, Central, Qazvin and Kerman provinces under farmers management and surface and sprinkler irrigation, various water sources, different water salinities, soil conditions, and varieties, during the growing season of 2018-2019. The results showed that the difference between average volumes of water applied by farmers, yield, and water productivity, in the studied sites were significant at 1% probability level. The average amount of applied water by farmers was 8502, 8901, 9226, 9459, 11481, 12796, 14311, 14821, 15198, 15916, 18351 and 23920 m^3/ha, respectively, and the average was 13284 m^3/ha. The dry yield of alfalfa varied from 2500 to 30000 kg/ha with an average of 13841 kg/ha. Irrigation water productivity varied from 0.2 to 4.5 and its average was 1.28 kg/m^3. The average irrigation water plus effective rainfall productivity for alfalfa was 1.19 kg/m^3. The results showed that the average applied water and alfalfa yield in surface and sprinkler irrigation methods were 15076 and 10653 m^3/ha, respectively, ($p<1\%$). These results showed that in sprinkler irrigation method, applied water was 30% less and irrigation water plus effective rainfall productivity was 41% higher. Accordingly, in order to reduce the volume of irrigation water and improve alfalfa water productivity, it is recommended to use sprinkler method in suitable climatic conditions where irrigation water is of good quality and the technical criteria of design, implementation, operation, and economic considerations are met.

Keywords: Applied water productivity, Sprinkler irrigation, Surface irrigation

* - Corresponding author's email: akbari_m43@yahoo.com

Contents

Subject **Page**

Determination of Alfalfa Water Productivity in Different Regions of Iran……..……...…8
M. Akbari, F. Abbasi, A. Nasseri, A.Y. Gomrokchi, M. Goodarzi, A. Eslami, M. Farzamniya, R. Alimohammadi, N. Koohi, R. Bahramloo, A. Ghadami, A.G. Haghaeghimoghaddam, A. Zolfagharan, J. Ahmadaali, M. Abbasi, H. Riyahi, and M. M. Nakhjavanimoghaddam

Investigating the Effect of Irrigation Interval in Strip Drip System on Rice Yield and Soil Salinity Changes with Direct Seeded Rice in Dry Bed in Khuzestan Plain, Iran……..…….9
A. Mokhtaran, A. A. Gilani, S. Jalali, L. Behbahani, M. Rezaei and K. Tajaddodi Talab

Using NIAZAB System to Determine Soybean Water Use Based on the Inverse Solution of the Production Functions under Different Irrigation Conditions..……..……..10
A. Abdzad Gohari, A. Nik Akhtar, N. A. Ebrahimipak, and A. Tafteh

Investigating the Probability of Occurrence of Evapotranspiration in Different Climates and Planting Dates of Rice in Non-Northern Regions of Iran.....11
M. R. Yazdani, H. Sadeghi, E. Asadi Oskouei, S. Kouzegaran, and B. Delsouz Khaki

Performance Evaluation of WaPOR and ERA5 Datasets for the Purpose of Estimating Reference Evapotranspiration in the Caspian Sea Basin.....12
SH. Veysi, M. Nouri, and A. Jabbari

Estimating Water Productivity in Vineyards under Surface and Drip Irrigation Systems……..13
H. Ojaghlou, M. M. Jafari, M. BabaAkbari Sari, F. Ojaghlou, and F. Misaghi

Ministry of Jihad-e-Agriculture

Agricultural Research, Education, and Extension Organization

Soil and Water Research Institute

Journal of Water Research in Agriculture

Vol. 37, No. 2
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	**Senior University Lecturere**
Naser Davatgar, PhD	**Associate Prof, Soil and Water Research Ins**
Niaz Ali Ebrahimi Pak, PhD	**Associate Prof, Soil and Water Research Ins**
Nader Heydari, PhD	**Associate Professor, Iranian Agricultural Engineering Research Institute (AERI)**
Heydar Ali Kashkuli, PhD	**Prof., Azad University, Ahvaz**
Abdolmajid Liaghat, PhD	**Prof., University of Tehran**
Mohammad Hosein Mahdian, PhD	**Prof., (research) of Agricultural Rersearch Education and Extention Organization**
Seyed Majid Mirlatifi, PhD	**Prof., Tarbiat Moddarres University, Tehran**
Seyed Farhad Moosavi, PhD	**Invited Prof., Semnan University**
Ebrahim Pazira, PhD	**Prof., Azad University, Tehran**

English Editor	**Hamid Siadat, PhD**
Design	**Fatemeh Aghajani**

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

Journal of
Water Research in Agriculture

wra.areeo.ir

Volume 37/ No 2/ 2023

ISSN: 2228-7140

Contents

Subject **Page**

Determination of Alfalfa Water Productivity in Different Regions of Iran.....8
M. Akbari, F. Abbasi, A. Nasseri, A.Y. Gomrokchi, M. Goodarzi, A. Eslami, M. Farzamniya, R. Alimohammadi, N. Koohi, R. Bahramloo, A. Ghadami, A.G. Haghaeghimoghaddam, A. Zolfagharan, J. Ahmadaali, M. Abbasi, H. Riyahi, and M. M. Nakhjavanimoghaddam

Investigating the Effect of Irrigation Interval in Strip Drip System on Rice Yield and Soil Salinity Changes with Direct Seeded Rice in Dry Bed in Khuzestan Plain, Iran.....9
A. Mokhtaran, A. A. Gilani, S. Jalali, L. Behbahani, M. Rezaei and K. Tajaddodi Talab

Using NIAZAB System to Determine Soybean Water Use Based on the Inverse Solution of the Production Functions under Different Irrigation Conditions.....10
A. Abdzad Gohari, A. Nik Akhtar, N. A. Ebrahimipak, and A. Tafteh

Investigating the Probability of Occurrence of Evapotranspiration in Different Climates and Planting Dates of Rice in Non-Northern Regions of Iran.....11
M. R. Yazdani, H. Sadeghi, E. Asadi Oskouei, S. Kouzegaran, and B. Delsouz Khaki

Performance Evaluation of WaPOR and ERA5 Datasets for the Purpose of Estimating Reference Evapotranspiration in the Caspian Sea Basin.....12
SH. Veysi, M. Nouri, and A. Jabbari

Estimating Water Productivity in Vineyards under Surface and Drip Irrigation Systems.....13
H. Ojaghlou, M. M. Jafari, M. BabaAkbari Sari, F. Ojaghlou, and F. Misaghi