فصلنامه

نشریه علمی

پژوهش آب در کشاورزی

موسسه تحقیقات خاک و آب ۱۳۳۱
SWRI
Soil & Water Research Institute 1952

Wra.areeo.ac.ir

ب/ جلد ۳۶ / شماره۲/ سال ۱۴۰۱

ISSN: 2228-7140

فصلنامه

نشریه علمی

پژوهش آب در کشاورزی

صاحب امتیاز: مؤسسه تحقیقات خاک و آب

جلد ۳۶ شماره (۲)

۱۴۰۱

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 الرحیم

عنوان	صفحه

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

مجله علمی-پژوهشی "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 می نماید.

الف) اصول کلی

۱-این مجله صرفا مقالات پژوهشی منتج از پژوهش های 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 واژه های 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 در نرم افزار Word 2007 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	Nazanin پر رنگ	14
متن مقاله	Nazanin	12
عناوین بخش های مقاله	Nazanin پر رنگ	12
نام مؤلفان	Nazanin پر رنگ	12
کلمه چکیده و کلمات کلیدی	Nazanin پر رنگ	12
عناوین جداول و اشکال	Nazanin پر رنگ	11
متن جداول و شکل ها و منابع	Nazanin	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

واژه های کلیدی:

واژه های کلیدی بایستی ۶-۳ کلمه باشد. واژه های کلیدی چکیده انگلیسی نیز بایستی ترجمه دقیق واژه های 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 نمونه گیری، 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 کمیَت 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○□∆●■▲ 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.

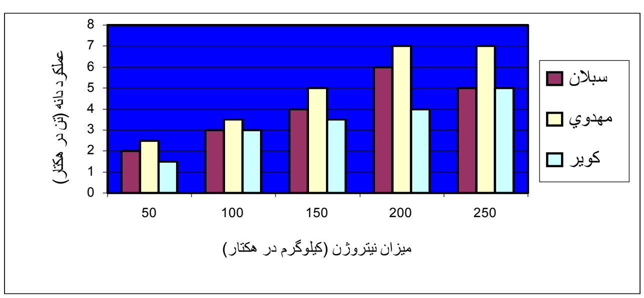
جدول نامناسب

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

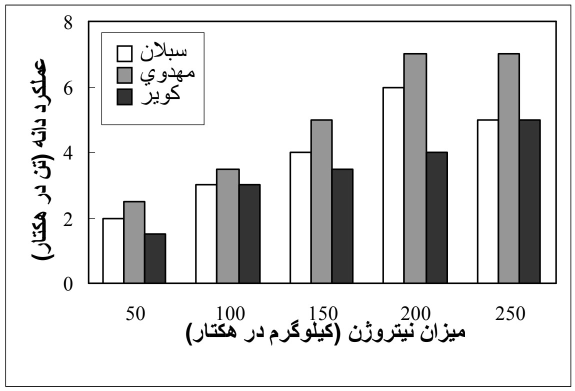
جدول مناسب

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

نامناسب

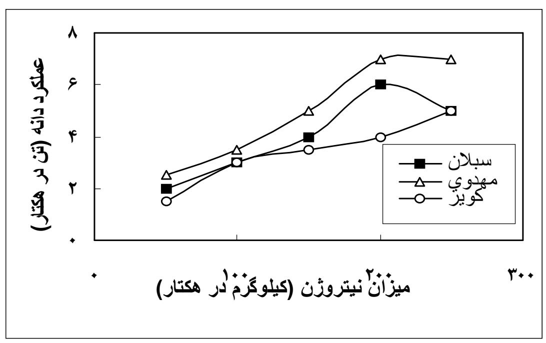


مناسب



8
6
4
2
0
سبلان
مهدوي
كوير
عملكرد دانه (تن در هكتار)
50
100
150
200
250
ميزان نيتروژن (كيلوگرم در هكتار)

مناسب



۸
۶
۴
۲
۰
سبلان
مهدوي
كوير
عملكرد دانه (تن در هكتار)
۰
۱۰۰
۲۰۰
۳۰۰
ميزان نيتروژن (كيلوگرم در هكتار)

اسامی داوران مقالات جلد ۳۶ شماره۲ سال ۱۴۰۱ به دفتر مجله پژوهش آب در کشاورزی

دکتر مهدی اکبری... ۱ داوری
دکتر فرزین پرچمی عراقی.. ۱ داوری
دکتر مهدی پناهی.. ۲ داوری
دکتر آرش تافته... ۱ داوری
دکتر یاسر حسینی... ۱ داوری
دکتر ناصر دواتگر.. ۲ داوری
دکتر حیدرعلی کشکولی.. ۱ داوری
دکتر علیرضا کیانی.. ۲ داوری
دکتر عبدالمجید لیاقت.. ۳ داوری
دکتر علی مختاران.. ۱ داوری
دکتر علی مرشدی.. ۱ داوری
دکتر فاطمه مسکینی.. ۴ داوری
دکتر علی مومن پور... ۲ داوری
دکتر فرهاد میرزایی.. ۱ داوری
دکتر سید مجید میرلطیفی... ۱ داوری

فرم تعهد نامه

نشریه پژوهش‌های آب در کشاورزی

اینجانب .... نویسنده **مسئول** مقاله زیر:

- سال‌های اجراء آزمایش ذکر شود

موارد زیر را به آگاهی می رسانم:

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

نام نام خانوادگی نویسنده اول: امضاء نویسنده اول مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده دوم: امضاء نویسنده دوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده سوم: امضاء نویسنده سوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده چهارم: امضاء نویسنده چهارم‌مقاله

برآورد حجم آب آبیاری و بهره‌وری آب در تولید پیاز در برخی استان‌های کشور

مهدی اکبری*[۱]، فریبرز عباسی[۲]، ابوالفضل ناصری[۳]، محمدعلی شاهرخ‌نیا[۴]، محمد خرمیان[۵]، مسعود فرزام‌نیا[۶]، مجید کرامتی‌طرقی[۷]، آذرخش عزیزی[۸]، محمد عباسی[۹]، اسحق زارع‌مهرانی[۱۰]، حسن خسروی[۱۱]، اسماعیل مقبلی‌دامنه[۱۲]، محمدمهدی نخجوانی‌مقدم[۱۳]، نادر عباسی[۱۴] و جواد باغانی[۱۵]

۱- دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. akbari_m43@yahoo.com

۲ و ۱۴-استاد پژوهش، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
fariborzabbasi@ymail.com
nader_iaeri@yahoo.com

۳-دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، تبریز، ایران.
nasseri_ab@yahoo.com

۴-دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، شیراز، ایران.
mashahrokh@yahoo.com

۵-استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی صفی‌آباد، دزفول، ایران.
khorramy.mohamad@yahoo.com

۶-مربی پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، اصفهان، ایران.
masoud_farzamnia@yahoo.com

۷-مربی پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، مشهد، ایران.
majide_keramati@yahoo.com

۸-استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران.
azy911@yahoo.com

۹-محقق، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی زنجان، زنجان، ایران.
abasimohamad7@gmail.com

۱۰-محقق، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان، بندرعباس، ایران.
zare505@gmail.com

۱۱-محقق، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان شمالی، بجنورد، ایران.
hassan_kho0571@yahoo.com

۱۲-استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان، جیرفت، ایران.
esmaeil804@gmail.com

۱۳ و ۱۵-استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
mehdin55@yahoo.com
baghani37@gmail.com

دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۱ و پذیرش: شهریور ۱۴۰۱

چکیده

در این تحقیق حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب پیاز در شرایط مدیریت کشاورزان در ۱۹۰ مزرعه در قطب‌های تولید پیاز کشور شامل آذربایجان شرقی، اصفهان، خوزستان، زنجان، جنوب کرمان، فارس، خراسان، خراسان شمالی و هرمزگان در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اندازه‌گیری شد. میانگین حجم آب آبیاری، عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری وبهره‌وری آب کاربردی در استان‌های منتخب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. میانگین حجم آب آبیاری در استان‌های منتخب به‌ترتیب ۹۵۰۲، ۱۳۲۷۳، ۹۷۴۰، ۱۶۵۸۸، ۹۶۱۸، ۱۳۸۸۰، ۱۱۹۹۸، ۸۴۳۸ و ۷۰۵۷ با میانگین وزنی ۱۰۸۲۳ مترمکعب در هکتار بدست آمد. عملکرد پیاز نیز در استان‌های مذکور بین ۲۰ تا بیش از ۹۰ با میانگین وزنی ۴۹/۹۸ تن بر هکتار اندازه‌گیری شد. بهره‌وری آب آبیاری در مزارع منتخب کشور بین ۳/۱۳ تا ۶/۳۰ با میانگین وزنی ۴/۹۳ کیلوگرم برمترمکعب به دست آمد، میانگین وزنی بهره‌وری آب کاربردی ۴/۵۰ کیلوگرم برمترمکعب بود. میانگین وزنی نیاز خالص آبی در کشور به روش فائو پن‌من-مانتیث با استفاده از داده‌های هواشناسی سال تحقیق و سند ملی آب به‌ترتیب ۸۸۳۴ و ۶۹۷۲ مترمکعب بر هکتار به دست آمد. میانگین حجم آب مزارع پیاز در مناطق مورد مطالعه در سه روش آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای نواری به‌ترتیب برابر ۱۱۴۵۳، ۱۲۷۴۰ و ۱۰۳۱۷ مترمکعب در هکتار بود که تفاوت آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است. با تغییر روش آبیاری از سطحی به قطره‌ای نواری، حجم آب آبیاری ۱۰ درصد کاهش و بهره‌وری آب کاربردی مزارع پیاز ۳۵ درصد افزایش یافت. همچنین کشت نشایی در مقایسه با کشت بذری موجب ۱۴/۷ درصد کاهش حجم آب آبیاری و ۱۶/۷ درصد افزایش در بهره‌وری آب شد. با توجه به نتایج این تحقیق، کاربرد توأمان کشت نشایی و استفاده از آبیاری قطره‌ای نواری در مزارع پیاز پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری، عملکرد، روش آبیاری، نیاز خالص آبی، کشت نشایی

---

*- آدرس نویسنده مسئول: موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

مقدمه

برای برنامه‌ریزی‌های کلان مدیریت آب در بخش کشاورزی به تخمین نسبتاً دقیق و یا تعیین شاخص‌های مدیریت آبیاری از جمله حجم آب آبیاری، راندمان آبیاری و بهره‌وری آب در محصولات زراعی و باغی در کشور نیازاست. در این راستا، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی از سال ۱۳۹۵ طرح کلان "تعیین آب آبیاری محصولات زراعی و باغی در کشور" را شروع نمود و تاکنون آب آبیاری چندین محصول زراعی و باغی (ذرت‌علوفه‌ای، لوبیا، پنبه، گندم، چغندرقند، برنج، یونجه، زیتون، پسته، زعفران، سیب، هلو و شلیل و ...) اندازه‌گیری و گزارش برخی از این محصولات نیز منتشر شده است که از آن جمله می‌توان به عباسی و همکاران، ۱۳۹۶؛ باغانی و همکاران، ۱۳۹۷؛ اکبری و همکاران، ۱۳۹۷؛ اکبری و همکاران، ۱۴۰۰ اشاره کرد. با توجه به اینکه پیاز در بیشتر مناطق فاریاب کشور کشت می‌شود و بخش قابل‌توجهی از سطح زیرکشت محصولات زراعی به پیاز 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.

نتایج آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی نشان داد که تولید پیاز در ایران در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ حدود ۲/۹ میلیون تن با سطح زیرکشت ۶۰/۵۵ هزار هکتار و متوسط عملکرد ۴۷/۶ تن در هکتار بود که نزدیک به ۲/۵ برابر میانگین جهانی (۱۹/۳ تن در هکتار، فائواستات، ۲۰۲۱) است. از قطب‌های اصلی تولید پیاز در کشور می‌توان به استان‌های هرمزگان، جنوب کرمان، فارس، اصفهان، خوزستان، زنجان، خراسان، آذربایجان و خراسان اشاره کرد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹).

حجم آب آبیاری در پیاز به روش آبیاری، بافت خاک و اقلیم منطقه وابستگی زیادی دارد. سامانه‌های آبیاری سطحی به دلیل داشتن سطح تبخیر زیاد، رواناب سطحی و نفوذ عمقی، مصرف آب بیشتری نسبت به سامانه‌های قطره‌ای دارند. میزان آب آبیاری پیاز به روش کشت نیز بستگی دارد به‌طوری‌که آب آبیاری در روش کشت نشائی به علت اینکه بخشی از مراحل رشد را در خزانه سپری می‌کند کمتر از کشت مستقیم بذر است (اکبری و همکاران ۱۴۰۱).

تحقیقات زیادی در جهان در خصوص تأثیر روش‌های آبیاری بر حجم آب آبیاری و عملکرد پیاز انجام‌شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعه تأثیر آبیاری قطره‌ای بر میزان رشد و عملکرد پیاز در دو سایت تحقیقاتی در هند طی دو سال زراعی ۱۴-۲۰۱۳ و ۱۵-۲۰۱۴ اشاره کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان آب آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای در سال‌های مذکور به‌ترتیب ۶۰۳ و ۵۵۷ میلی‌متر بوده و در مقایسه با روش آبیاری سطحی در همین بازه (۸۵۴ و ۷۳۷ میلی‌متر) نزدیک به ۳۰ درصد کاهش‌یافته است. عملکرد محصول پیاز نیز در روش‌های قطره‌ای و سطحی به‌ترتیب ۳۳/۹ و ۲۹/۹ تن در هکتار بود. این نتایج مبین آن است که در روش آبیاری قطره‌ای بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری پیاز حدود ۶۰ درصد افزایش داشته و از ۳/۴۹ در روش سطحی به ۵/۶۲ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش یافته است (باسکر و همکاران، ۲۰۱۸). رائو و همکاران ۲۰۱۹ بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در محصول پیاز را در روش‌های آبیاری بررسی کردند. در این تحقیق چهار روش آبیاری قطره‌ای، بارانی، لوله‌های تراوا و سطحی در سایت تحقیقاتی ایکاردا در هند، مورد ارزیابی قرار گرفت. بیشترین عملکرد محصول (۴۵/۳ تن در هکتار) از آبیاری قطره‌ای و کمترین عملکرد (۲۴/۵ تن در هکتار) از روش سطحی بدست آمد. همچنین حداکثر و حداقل بهره‌وری آب پیاز به ترتیب مربوطه به آبیاری قطره‌ای (۱۲/۴ کیلوگرم بر مترمکعب) و سطحی (۴/۱ کیلوگرم بر مترمکعب) بود. در روش آبیاری قطره‌ای، اجرای آبیاری‌های سبک (با عمق کم) با تعداد زیاد باعث شد که شرایط رشد مناسبی ایجاد شود، به‌طوری‌که عملکرد محصول پیاز دو برابر و میزان مصرف آب ۵۰ درصد کاهش یافت. در تحقیقات انجام‌شده در شمال غربی چین نیز نتایج مشابهی

بدست آمد (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۳). در تحقیق دیگری در کشور مصر تأثیر روش‌های مختلف آبیاری جویچه‌ای (جویچه‌ای سنتی، جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت و جویچه‌ای یک‌درمیان متغیر) بر عملکرد و کیفیت محصول ارقام پیاز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که روش‌های آبیاری جویچه‌ای تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کمی و کیفی محصول داشتند. بیشترین میزان آب آبیاری مربوط به روش آبیاری جویچه‌ای سنتی بود درحالی‌که کمترین میزان آب آبیاری و بیشترین بهره‌وری آب (۷/۶۳ کیلوگرم بر مترمکعب) از روش آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متغیر بدست آمد که در مقایسه با بهره‌وری آب در روش آبیاری جویچه‌ای سنتی (۵/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب) اختلاف معنی‌داری داشت (گریز و همکاران،۲۰۲۰) در مطالعه دیگری که در سال ۲۰۲۰ در کشور اتیوپی با هدف تعیین روش آبیاری مناسب، کاهش حجم آب آبیاری و بهبود بهره‌وری آب پیاز انجام شد، دو روش آبیاری قطره‌ای و جویچه‌ای و سه سطح مدیریت آبیاری (MAD)، تخلیه ۸۰ ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد از آب سهل‌الوصول مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که تیمارها بر عملکرد، عملکرد قابل ارائه به بازار و بهره‌وری آب تأثیر معنی‌داری داشتند. حداکثر عملکرد محصول، عملکرد قابل ارائه به بازار به ترتیب ۴۱/۷۶ و ۳۸/۳۹ تن بر هکتار بود که از روش آبیاری قطره‌ای و همراه با تخلیه ۸۰ درصد آب سهل‌الوصول بدست آمد. درحالی‌که حداقل عملکرد پیاز و عملکرد قابل ارائه به بازار به ترتیب برابر ۳۴/۴۸ و ۳۱/۶ تن بر هکتار، در روش آبیاری سطحی پس از تخلیه ۱۲۰ درصد از آب سهل‌الوصول مشاهده شد. بیشترین بهره‌وری آب پیاز (۱۳/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب) از روش آبیاری قطره‌ای با ۸۰ درصد تخلیه آب سهل‌الوصول و کمترین مقدار (۶/۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به روش آبیاری سطحی همراه با ۱۲۰ درصد تخلیه آب سهل‌الوصول بود (آمبومسا و همکاران، ۲۰۲۰).

در ایران نیز تحقیقات زیادی در خصوص حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب در تولید پیاز انجام‌شده است که چکیده‌ای از نتایج برخی از آنها در جدول ۱ ارائه شده است. تحلیل این نتایج نشان می‌دهد که دامنهٔ تغییرات حجم آب آبیاری از ۳۲۰۰ تا ۱۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار، دامنهٔ تغییرات عملکرد پیاز از ۱۹/۰ تا ۹۳/۰ تن در هکتار و دامنهٔ تغییرات بهره‌وری آب در تولید پیاز از ۲/۳ تا ۱۱/۲ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر است. هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی بهره‌وری آب و حجم آب آبیاری در قطب‌های اصلی تولید پیاز تحت مدیریت کشاورزان بود.

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 پیاز به‌صورت میدانی و تحت مدیریت کشاورزان در قطب‌های تولید پیاز در کشور در طول یک فصل زراعی (۱۴۰۰–۱۳۹۹) اندازه‌گیری شد. برای تعیین قطب‌های اصلی تولید پیاز از آمارنامه سال زراعی ۹۷–۱۳۹۶ سطح زیرکشت و میزان تولید پیاز در کشور استفاده شد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۸). استان‌های هرمزگان، جنوب کرمان، فارس، اصفهان، خوزستان، زنجان، خراسان، آذربایجان شرقی و خراسان بیش از ۷۰ درصد سطح زیرکشت پیاز را در کشور پوشش داده و به‌عنوان قطب‌های تولید محصول پیاز 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 آب و خاک 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 و 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 شامل یکی از مزارع کشاورزان پیشرو منطقه باشد. با توجه به موارد فوق تعداد ۱۹۰ مزرعه انتخاب شد. حجم آب آبیاری و حجم آب مصرفی برای تولید نشاء، با استفاده از فلوم، کنتور حجمی 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 مدت زمان هر نوبت آبیاری نیز برای هر یک از مزارع پیاز ثبت گردید. در مزارع منتخب بیش از ۲۰ رقم پیاز کشت شده بود. ارقام Ps، مینروا، ایتالیا و تاکی نسبت به سایر ارقام از درصد فراوانی بیشتری برخوردار بودند. ارقام فلات و والنسیا به ترتیب ۶/۸ و ۶/۳ درصد را به خود اختصاص دادند. ارقام محلی نیز میزان حدود سه درصد از فراوانی پیاز کشت شده در کشور را به خود اختصاص دادند. ۷۵ درصد از بهره‌برداران پیشرو از روش‌های آبیاری تحت فشار (قطره‌ای نواری ۴۲ درصد و بارانی ۳۳ درصد) برای آبیاری مزارع خود استفاده می‌کردند. هدایت الکتریکی آب آبیاری در مزارع منتخب از ۰/۴ تا ۵/۷ با میانگین ۱/۴۲ دسی‌زیمنس بر متر بوده و شوری آب آبیاری ۹۰ درصد از مزارع منتخب کمتر از سه دسی‌زیمنس بر متر بود. شوری عصاره اشباع خاک در مزارع پیاز مورد مطالعه نیز بین ۰/۵ تا ۸/۹ با میانگین ۲/۷۱ دسی‌زیمنس بر متر بود. نزدیک به ۵۰ درصد از مزارع دارای شوری کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر بودند. شوری عصاره اشباع خاک در اکثر استان‌های مورد مطالعه کمتر از ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود.

جدول ۱- حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب پیاز در برخی از نقاط کشور با کاربرد سامانه‌های مختلف آبیاری

ردیف	آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار)	عملکرد (تن در هکتار)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	منابع	ملاحظات
۱	۳۲۰۰	۳۵/۸	۱۱/۲	نکوآمال کرمانی و همکاران (۱۳۹۰)	میناب هرمزگان
۲			۶/۱	ناصری (۱۳۹۳)	آذربایجان شرقی
۳	۵۵۰۰	۲۸/۵	۵/۲	پیری (۱۳۹۷)	سیستان- قطره‌ای زیرسطحی
۴	۸۲۰۰	۱۹/۰	۲/۳	پیری (۱۳۹۷)	سیستان- سطحی
۵		۹۰/۰		اکبری و همکاران (۱۳۸۲)	اصفهان-سطحی
۶		۶۶/۰		"	اصفهان-بارانی
۷	۶۷۵۰	۳۰/۴	۴/۵	ادیم و خسروی (۱۳۸۹)	بلوچستان- تیپ
۸	۷۱۰۰	۳۲/۰	۴/۵	"	بلوچستان- تیپ
۹	۱۱۸۵۰	۴۳/۸	۳/۷	"	بلوچستان- سطحی
۱۰	۱۲۱۰۰	۴۴/۹	۳/۷	"	بلوچستان- سطحی
۱۱	۹۴۰۰	۹۳/۰	۹/۷	سالمی و همکاران (۱۳۹۵)	فریدن اصفهان- تیپ
۱۲	۱۵۰۰۰	۸۷/۷	۵/۹	"	فریدن اصفهان- سطحی
۱۳	۱۱۳۰۰	۸۰/۳	۷/۱	کریم‌زاده و همکاران (۱۳۹۵)	خراسان رضوی- سطحی

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 (کیلوگرم بر هکتار) به حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) که توسط بهره‌بردار وارد مزرعه می‌شود، به دست آمد. شاخص بهره‌وری آب در تولید پیاز از رابطه ۱ به دست آمد (ملدن و همکاران، ۱۹۹۸).

$$WP = \frac{Y}{W} \qquad (۱)$$

که در آن،WP بهره‌وری آب آبیاری در تولید پیاز (کیلوگرم بر مترمکعب)،Y عملکرد پیاز (کیلوگرم در هکتار) و W حجم آب آبیاری در تولید پیاز (مترمکعب در هکتار) است. با توجه به اینکه بارش مؤثر در هر منطقه نقش مؤثری در تولید محصول پیاز 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 پیاز وارد مزرعه می‌شود، 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 پیاز در استان‌های منتخب کشور از تحلیل واریانس استفاده شد. نظر به ماهیت اندازه‌گیری‌ها، هر مزرعه پیاز به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد. اگرچه سعی شد در انتخاب تعداد مزارع، سطح زیرکشت مد نظر قرار گیرد ولی در برخی موارد به علل مختلف این مسئله رعایت نشده بود. لذا با توجه به اینکه درصد مساحت زیرکشت استان‌های مختلف باهم مساوی نبود، میانگین کشوری آب آبیاری، عملکرد غده پیاز و بهره‌وری آب به‌صورت وزنی و بر اساس آمارنامه سطح زیرکشت سال زراعی ۹۸-۹۷ (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹) محاسبه شد.

برای بررسی کفایت تعداد اندازه‌گیری حجم آب کاربردی، عملکرد پیاز و بهره‌وری آب (تعداد مزارع انتخاب و اندازه‌گیری شده) از رابطه ۲ استفاده شد (سرمد و همکاران، ۱۳۸۰).

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

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

نتایج و بحث

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

تجزیه و تحلیل آماری نتایج نشان داد که شاخص‌های میانگین حجم آب آبیاری، انحراف معیار، تعداد اندازه‌گیری‌های لازم و تعداد اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در کشور به ترتیب ۱۱۱۷۱ مترمکعب در هکتار، ۳۹۰۲، ۳۵ و ۱۷۳ مزرعه است. این نتایج نشان داد که تعداد اندازه‌گیری‌های آب آبیاری و عملکرد اندازه‌گیری شده در مزارع پیاز 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 پیاز در استان‌های منتخب، نشان داد که تفاوت این شاخص‌ها در سطح احتمال کمتر از یک درصد معنی‌دار است. بر اساس نتایج اندازه‌گیری‌های آب آبیاری و آب کاربردی مزارع پیاز در نه استان کشور، استان‌های هرمزگان و زنجان به ترتیب با ۷۰۵۷ و ۱۶۵۸۸ متر مکعب در هکتار دارای کمترین و بیشترین میزان آب آبیاری و آب کاربردی برای تولید پیاز بودند (جدول ۲). در استان زنجان کشت پیاز به‌صورت بذری و از ابتدا در زمین اصلی انجام می‌شود. اگرچه بخش قابل توجهی از اراضی پیاز در این منطقه به روش آبیاری بارانی و قطره‌ای نواری آبیاری می‌شود و با توجه به سبک بودن خاک زراعی تعداد نوبت‌های آبیاری ۱۸ تا ۲۵ نوبت است ولی به علت طولانی بودن طول دوره رشد پیاز در منطقه و مدیریت نامناسب آبیاری میزان آب آبیاری مزارع در این استان نسبت به سایر استان‌ها افزایش یافته است. این نتایج نشان داد که در استان هرمزگان آب کمتری نسبت به سایر استان‌ها برای تولید پیاز

در هکتار استفاده شده است. ازجمله علل کاهش حجم آب آبیاری در این استان و مناطق مشابه، می‌توان به کشت عمدتاً نشایی پیاز در فصل پاییز، کوتاه بودن طول دوره رشد محصول در زمین اصلی، وجود بارش مؤثر، پایین بودن تبخیرتعرق در طول دوره رشد، استفاده از روش آبیاری قطره‌ای نواری اشاره کرد. در صورتی که در سایر استان‌ها از جمله فارس، اصفهان و خراسان رضوی کشت پیاز عمدتاً در فصل بهار انجام می‌شود و روش کشت نیز عمدتاً به‌صورت کشت بذر مستقیم در مزرعه اصلی 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 پیاز در کشور بسته به شرایط آب و هوایی، شرایط مدیریت زارع از حدود ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار تا بیش از ۲۰۰۰۰ مترمکعب در هکتار متفاوت بود. میانگین حسابی حجم آب آبیاری، حجم آب کاربردی در مناطق مورد مطالعه به ترتیب ۱۱۱۷۱ و ۱۲۴۱۸ مترمکعب در هکتار بود که با میانگین وزنی این شاخص‌ها (به‌ترتیب ۱۰۸۲۳ و ۱۱۸۲۶ مترمکعب بر هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت. در اختلاف میانگین وزنی حجم آب آبیاری و آب کاربردی نشان داد که میانگین بارش مؤثر در تولید پیاز کشور در سال تحقیق حدود ۱۰۰ میلی‌متر است. نتایج تحقیق میلانی (۱۳۸۶) نشان داد که مقدار تبخیر تعرق پیاز طی فصل رشد ۱۰۱۶۵ متر مکعب در هکتار است که از این مقدار ۱۱۴۷ مترمکعب در هکتار توسط بارندگی تأمین و ۹۰۱۸ متر مکعب در هکتار باقیمانده توسط آبیاری تأمین گردید که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. همان‌طوری که در جدول ۲ نشان داده شده است، میانه حجم آب آبیاری و آب کاربردی به میانگین وزنی و میانگین حسابی این شاخص‌ها نزدیک است و نشان می‌دهد که داده‌ها دارای انحراف زیادی نیستند و از یک توزیع نسبتاً نرمال تبعیت می‌کنند. همچنین ضریب تغییرات حجم آب آبیاری و آب کاربردی اندازه‌گیری شده تحت مدیریت زارعین در این تحقیق میدانی به ترتیب ۳۵ و ۳۳ بدست آمد که با توجه به کار میدانی قابل قبول و از دقت مناسبی برخوردار است. بر اساس نتایج تحقیق حاضر حجم آب آبیاری پیاز در روش کشت نشایی نسبت به کشت بذری ۱۴/۷ درصد کاهش‌یافته است که با نتایج سایر تحقیقات انجام‌شده مطابقت دارد (کادایفچی و همکاران، ۲۰۰۵).

جدول ۲- میانگین حجم آب آبیاری، آب کاربردی، عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری و آب کاربردی مزارع پیاز در استان‌های منتخب

استان	تعداد مزارع	تاریخ کاشت خزانه	تاریخ کاشت مزرعه	طول دوره رشد روز	آب آبیاری m³/ha	آب کاربردی m³/ha	عملکرد غده ton/ha	بهره‌وری آب آبیاری kg/m³	بهره‌وری آب کاربردی kg/m³
هرمزگان	۱۹	۲۰ تیر	۱۵ مهر	۱۴۹	۷۰۵۷a	۷۳۲۴a	۴۱d	۵/۹۲ab	۵/۶۷b
جنوب کرمان	۱۸	۲۵شهریور	۱دی	۱۰۹	۹۶۱۸ab	۹۷۷۹b	۴۵d	۴/۸۰bcd	۴/۷۲cd
آذربایجان شرقی	۱۵	–	۱ اسفند	۲۱۷	۹۵۰۲b	۱۰۴۱۵bc	۵۷b	۶/۳۰a	۵/۷۲ab
خراسان شمالی	۱۲	–	۱۵ آذر	۲۴۹	۸۴۳۸b	۱۰۴۲۵bc	۴۵d	۵/۴۳ab	۴/۳۷de
خوزستان	۳۲	–	۱۰ آبان	۱۹۷	۹۷۴۰b	۱۱۴۷۰c	۳۳e	۳/۹۹de	۳/۲۵f
خراسان رضوی	۱۲	–	۱ اسفند	۲۳۲	۱۱۹۹۸c	۱۳۶۵۳d	۵۸b	۵/۱۸abcd	۴/۴۹de
اصفهان	۱۹	۱۰ بهمن	۱۰فروردین	۱۹۲	۱۳۲۷۳c	۱۴۲۳۲d	۶۹a	۵/۴۰ab	۴/۹۷bcd
فارس	۳۳	–	۱ اسفند	۱۷۳	۱۳۸۸۰c	۱۶۰۵۴e	۵۸b	۴/۲۸cd	۳/۶۸ef
زنجان	۱۳		۱۵اسفند	۲۱۰	۱۶۵۸۸d	۱۶۹۸۸f	۵۴bc	۳/۱۳e	۳/۰۵f
میانگین حسابی	–	–	–	۱۸۶	۱۱۱۷۱	۱۲۴۱۸	۵۰	۴/۸۳	۴/۳۱
میانه				۱۹۳	۱۰۳۵۰	۱۱۴۷۶	۵۰	۴/۵۷	۴/۲۸
انحراف معیار				۴۷	۳۹۰۲	۴۰۸۹	۱۶/۷	۱/۹۴	۱/۷۰
ضریب تغییرات				۲۵	۳۵	۳۳	۳۳	۴۰	۳۹
میانگین وزنی	–				۱۰۸۲۳	۱۱۸۲۶	۵۰	۴/۹۳	۴/۵۰

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

نتایج تغییرات عملکرد غده پیاز در کشور بسته به شرایط آب و هوایی، میزان بارش، شرایط مدیریت زارع از حدود ۲۰۰۰۰ تا ۹۰۰۰۰ و میانگین وزنی ۴۹۹۸۶ کیلوگرم بر هکتار متغیر بود. استان اصفهان با ۶۹۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار بیشترین مقدار غده پیاز و استان خوزستان با ۳۳۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار کمترین مقدار این شاخص را به خود اختصاص داده است (جدول ۲). اگرچه نتایج اکثر تحقیقات انجام‌شده در کشور از جمله پیری (۱۳۹۷) و ادیم و خسروی (۱۳۸۹) نشان داده است که متوسط عملکرد پیاز در کشور حدود ۵۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار است ولی نتایج سالمی و همکاران (۱۳۹۵)، نشان داد که با استفاده از روش‌های نوین آبیاری و مدیریت کاشت می‌توان به عملکردهای بیش از ۹۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار دست یافت. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که میانگین‌های وزنی و حسابی عملکرد محصول با مقدار میانه آن برابر است و نشان می‌دهد که داده‌ها از توزیع مناسبی برخوردارند. ضریب تغییرات این شاخص نیز ۳۳ درصد بدست آمد که با توجه به کار میدانی قابل قبول است. 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، فصل کشت و ... بستگی دارد.

بهره‌وری آب آبیاری و آب کاربردی در تولید پیاز کشور

نتایج تجزیه و تحلیل انجام‌شده (جدول ۲) نشان داد که تفاوت بهره‌وری آب آبیاری و آب کاربردی در تولید غده پیاز در استان‌های یادشده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. نتایج اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای نشان داد که شاخص بهره‌وری آب آبیاری پیاز در شرایط مدیریت زارع در کشور بسیار متفاوت و از کمتر از یک تا بیش از ۱۰ با میانگین ۴/۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب است که با میانگین وزنی ۴/۹۳ 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 غده پیاز در استان‌های منتخب نشان داد که استان‌های هرمزگان و آذربایجان شرقی با حدود ۶ کیلوگرم بر مترمکعب بیشترین بهره‌وری آب آبیاری را به خود اختصاص داده‌اند، درحالی‌که استان زنجان با ۳/۱۳ کیلوگرم بر مترمکعب، دارای کمترین بهره‌وری آب آبیاری بود. بهره‌وری آب آبیاری در منطقه جنوب کرمان ۴/۸۰ 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. شاخص ضریب تغییرات بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی به ترتیب ۴۰ و ۳۹ درصد بدست آمد که بیش از ضریب تغییرات شاخص‌های حجم آب آبیاری و عملکرد محصول بوده و نشان می‌دهد که مجموع تغییرات در این شاخص نمایان شده است. اگرچه در کارهای تحقیقاتی که سایر پارمترها قابل کنترل هستند ضریب تغییرات کمتر از ۳۰ قابل قبول است ولی در کارهای میدانی که عوامل زیاد غیر قابل کنترلی در نتیجه تحقیق مؤثرند، ضریب تغییرات تا ۵۰ درصد نیز قابل قبول است. در این تحقیق نیز عملکرد محصول به عوامل زیادی از جمله میزان دسترسی به آب، روش آبیاری، مدیریت زراعی، اقلیم، تغذیه، آفات و بیماری‌ها و ... بستگی دارد. ناصری (۱۳۹۳)، گزارش داد که میانگین بهره‌وری آب پیاز در آذربایجان شرقی از سال ۱۳۷۴ تا سال ۱۳۸۱ برابر ۶/۱ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

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

اگرچه روش آبیاری سطحی یکی از روش‌های معمول در آبیاری مزارع پیاز است و هم‌اکنون نیز در بخش‌های مختلف کشور از روش آبیاری سطحی برای آبیاری مزارع پیاز استفاده می‌شود، ولی در دهه‌های اخیر

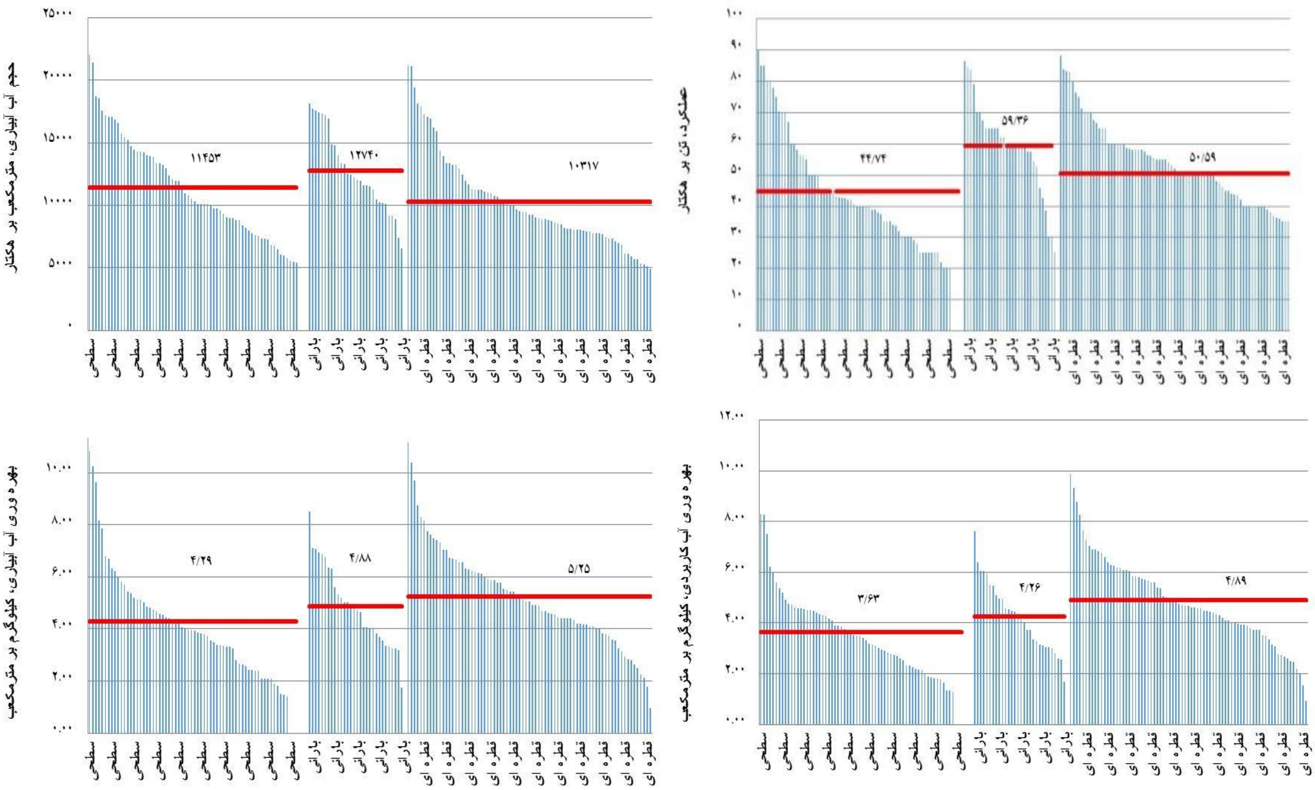
استفاده از انواع روش‌های آبیاری قطره‌ای نواری و بارانی مرسوم شده است. بر اساس نتایج ارزیابی انجام‌شده ۴۷/۳ و ۱۶/۳ درصد از مزارع پیاز مورد مطالعه به ترتیب به روش قطره‌ای نواری و بارانی آبیاری شدند و روش آبیاری سطحی فقط ۳۶/۴ درصد از مزارع پیاز را به خود اختصاص داد. این نتایج حاکی از آن است که تغییرات حجم آب آبیاری در روش سطحی از ۵۴۰۰ تا بیش از ۲۲۰۰۰ مترمکعب بر هکتار با میانگین ۱۱۴۵۳ مترمکعب در هکتار، در روش بارانی از ۶۵۰۰ تا بیش از ۱۸۰۰۰ با میانگین ۱۲۷۴۰ مترمکعب در هکتار و در روش قطره‌ای نواری از ۴۹۰۰ تا بیش از ۲۱۰۰۰ با میانگین ۱۰۳۱۷ مترمکعب متغیر بوده است (شکل ۱).

اگرچه میانگین حجم آب آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری سطحی ۱۰ درصد کاهش یافته است ولی نتایج اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای نشان داده است که برخی از مزارع که به روش قطره‌ای نیز آبیاری می‌شوند از مدیریت مناسب آبیاری برخوردار نبوده و حجم آب آبیاری بیش از مقدار قابل انتظار است (شکل ۱). در روش آبیاری سطحی بیشترین تلفات مربوط به نفوذ عمقی و رواناب سطحی است، درحالی‌که در آبیاری قطره‌ای نواری و بارانی این امکان وجود دارد که آب بصورت یکنواخت در سطح مزرعه توزیع گردد و مصرف آب تا حد زیادی کاهش یابد. مقایسه میانگین آب داده شده به مزارع کشور در روش آبیاری قطره‌ای نواری، بارانی و سطحی نشان می‌دهد که حجم آب آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای نواری ۱۰ درصد نسبت به روش سطحی کاهش یافته است. براساس نتایج آزمون آماری انجام‌شده، اختلاف آب آبیاری در روش‌های سطحی، قطره‌ای نواری و بارانی از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار بود.

نتایج ارائه‌شده در شکل ۱ نشان داد که عملکرد غده پیاز در مزارع مختلف در روش آبیاری بارانی از ۲۵ تا ۸۶ تن بر هکتار متغیر و دارای میانگین ۵۹/۳۶ تن بر هکتار است. بین مقادیر عملکرد محصول در روش‌های آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای نواری اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. میانگین عملکرد غده پیاز در روش آبیاری بارانی و قطره‌ای نواری به ترتیب ۳۶/ ۵۹ و ۵۰/۵۹ تن بر هکتار و به میزان ۳۳ و ۱۳ درصد بیشتر از روش آبیاری سطحی بود. استفاده از روش‌های آبیاری قطره‌ای نواری توانست علاوه بر کاهش ۱۰ درصدی حجم آب آبیاری، عملکرد محصول را ۱۳ درصد افزایش دهد و نقش مؤثری در افزایش تولید غده پیاز در کشور داشته باشد (شکل ۱). نتایج تحقیقات انجام‌شده در جهان (یاس، ۲۰۱۹، دبنگره و همکاران، ۲۰۲۰، باسکر و همکاران، ۲۰۱۸، هیله و همکاران، ۲۰۲۱، رائو و همکاران، ۲۰۱۹، یان و همکاران ۲۰۲۰) نیز حاکی از آن است که عملکرد محصول پیاز در روش‌های نوین آبیاری (قطره‌ای نواری و بارانی) نسبت به روش سطحی حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد افزایش یافته است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

نتایج بهره‌وری آب آبیاری در روش‌های مختلف آبیاری نشان داد که بهره‌وری آب آبیاری پیاز در روش آبیاری قطره‌ای نواری و بارانی افزایش یافته است و با روش آبیاری سطحی در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری دارد. با توجه به اینکه میزان آب آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای نواری ۱۰ درصد نسبت به روش سطحی کاهش یافته بود و عملکرد محصول نیز ۱۳ درصد افزایش داشت، افزایش بهره‌وری آب آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای نواری نیز ناشی از افزایش عملکرد و استفاده بهینه از آب آبیاری بوده است. میانگین بهره‌وری آب آبیاری پیاز در روش‌های آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای نواری به‌ترتیب معادل ۴/۲۹، ۴/۸۸ و ۵/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود (شکل ۱). بر اساس نتایج ارائه‌شده در شکل ۱ می‌توان گفت که بهره‌وری آب آبیاری در روش آبیاری بارانی و قطره‌ای نواری به‌ترتیب ۱۴ و ۲۲ درصد افزایش داشته است و این افزایش از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است. نتایج بهره‌وری آب محاسبه شده در این تحقیق با برخی نتایج ارائه‌شده در تحقیقات مختلف از جمله آیاس (۲۰۱۹)، رائو و همکاران (۲۰۱۹)، رستگار و

همکاران (۱۳۸۷)، ادیم و خسروی (۱۳۸۹) و پیری (۱۳۹۷) مطابقت دارد.



شکل ۱- مقایسه حجم آب آبیاری، عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری و آب کاربردی پیاز در روش‌های مختلف آبیاری

اختلاف حجم آب آبیاری و حجم آب کاربردی در استان‌های مختلف (جدول ۲) حاکی از آن است که بارندگی‌ها در برخی از استان‌ها در تولید محصول پیاز مؤثر بوده ولی بخش کمی از نیاز آبی گیاه را تأمین کرده و تأثیر قابل‌توجهی بر بهره‌وری آب کاربردی (مجموع آب آبیاری و بارش مؤثر) نداشته است. با توجه به اینکه در بیشتر استان‌های کشور پیاز 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 پیاز در روش‌های آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای نواری به‌ترتیب معادل ۳/۶۳، ۴/۲۶ و ۴/۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود (شکل ۱) و نشان داد که شاخص بهره‌وری آب کاربردی نیز، در روش آبیاری بارانی و قطره‌ای نواری به‌ترتیب ۱۷ و ۳۵ درصد افزایش داشته است و این اختلاف در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است.

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

برای تعیین نیاز خالص آبیاری ابتدا مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع بر اساس داده‌های هواشناسی سال انجام تحقیق (۱۴۰۰-۱۳۹۹) با استفاده از نرم‌افزار ET0 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 پیاز در استان‌های مختلف کشور محاسبه و با مقادیر ارائه‌شده در سند ملی آب کشور (Netwat)، مقایسه

شد (جدول ۳). در استان خوزستان در سال انجام تحقیق بخش قابل‌توجهی از نیاز آبی گیاه از طریق بارش مؤثر تأمین شده است لذا نیاز آبیاری پایینی بدست آمده است. نتایج تجزیه و تحلیل نیاز خالص آبیاری در سایر استان‌ها نشان داد که در برخی از استان‌ها از جمله هرمزگان، خراسان شمالی، آذربایجان شرقی و اصفهان اختلاف بین دو روش کمتر از ۵ درصد و قابل چشم‌پوشی است ولی میانگین نیاز خالص آبیاری ارائه‌شده در سند ملی آب کشور، در استان‌های خراسان رضوی، زنجان، فارس و جنوب کرمان بین ۱۵ تا ۱۲۲ 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 داده شده 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 آبیاری (نیاز ناخالص) از راندمان پتانسیل آبیاری در روش‌های مختلف آبیاری استفاده و مقدار راندمان پتانسیل برای آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای نواری به ترتیب ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درصد در نظر گرفته شد (ایرماک و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج نشان داد که در اکثر استان‌ها، میانگین مقدار آب داده شده به مزارع پیاز با مقدار برآورد شده به روش‌های مختلف آبیاری مطابقت دارد و نیاز آبی فصلی گیاه تأمین شده است (جدول ۳)، ولی در برخی از استان‌ها از جمله خراسان شمالی مقدار آب داده شده به 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.

جدول ۳- مقایسه نیاز خالص و ناخالص آب آبیاری مزارع پیاز با مقدار آب داده شده تحت شرایط زارع

استان	نیاز خالص آبیاری (میلی‌متر)		اختلاف دو روش	نیاز ناخالص آب آبیاری (میلی‌متر)		آب داده شده آبیاری(میلی‌متر)	نسبت آب داده شده به
	سال جاری	Netwat	درصد	سال جاری	Netwat	میلی‌متر	میانگین نیاز ناخالص
هرمزگان	۴۹۲	۴۶۹	۴/۹	۵۴۷	۵۲۲	۷۰۶	۱/۳
خراسان شمالی	۶۸۸	۷۰۴	-۲/۳	۱۱۴۷	۱۱۷۴	۸۴۴	۰/۷
خراسان رضوی	۱۰۳۲	۵۷۶	۷۹/۲	۱۴۳۲	۷۹۹	۱۲۰۰	۱/۱
آذربایجان شرقی	۵۰۱	۵۰۰	۰/۲	۶۱۱	۶۱۱	۹۵۰	۱/۵
اصفهان	۷۲۲	۷۵۱	-۳/۹	۱۰۴۵	۱۰۸۱	۱۳۲۷	۱/۲
خوزستان	۲۵۰	۳۵۶	-۲۹/۸	۴۰۱	۵۶۷	۹۷۴	۲/۰
زنجان	۱۱۲۷	۷۰۰	۶۱/۰	۱۴۳۷	۸۹۳	۱۶۵۹	۱/۴
فارس	۱۰۷۰	۴۸۲	۱۲۲/۰	۱۴۳۷	۶۳۳	۱۳۸۸	۱/۳
جنوب کرمان	۴۵۷	۳۹۶	۱۵/۴	۵۰۸	۴۱۰	۹۶۲	۲/۰
میانگین حسابی	۶۹۴	۵۲۲		۹۲۹	۷۰۵	۱۱۱۷	
میانه	۵۷۵	۴۷۶		۷۹۲	۵۴۳	۱۰۳۵	
انحراف معیار	۳۳۳	۲۰۴		۴۸۲	۳۱۱	۳۹۰	
ضریب تغییرات	۴۸	۳۹		۵۲	۴۴	۳۵	
میانگین وزنی	۶۶۷	۵۲۸		۸۸۴	۶۹۷	۱۰۸۲	

نتایج ارائه‌شده در جدول ۳ نشان داد که در همه استان‌ها به‌جز خراسان شمالی، نسبت مقدار آب داده شده به مزارع پیاز به میانگین نیاز ناخالص برآورد شد بیش از ۱ است و نشان می‌دهد که نیاز آبیاری فصلی گیاه تأمین شده است، ولی در استان خراسان شمالی مقدار آب داده شده به مزارع کمتر از مقدار نیاز آبیاری بوده و نیاز آبیاری تأمین نشده است. یکی از علت‌های عدم تأمین نیاز آبیاری عدم دسترسی به منابع آب کافی است. با توجه به اینکه در این تحقیق از راندمان پتانسیل در سامانه‌های آبیاری استفاده شده است و با توجه به اینکه راندمان آبیاری در اکثر مزارع در کشور کمتر از راندمان پتانسیل است، حجم آب آبیاری در استان‌های هرمزگان، خراسان رضوی، اصفهان و فارس منطقی به نظر می‌رسد ولی در استان‌های خوزستان و جنوب کرمان که دو برابر نیاز ناخالص آبیاری شده است، حجم آب آبیاری منطقی نبود و بیش‌آبیاری شده است. اگرچه بین میانگین وزنی و میانگین حسابی شاخص‌های ارائه‌شده در جدول ۳ اختلاف زیادی مشاهده نمی‌شود ولی اختلاف بین مقادیر این شاخص‌ها با میانه مربوطه قابل ملاحظه و حاکی از وجود چولگی در داده‌ها است. از طرف دیگر ضریب تغییرات نیاز آبی خالص و ناخالص نیز نسبتاً بالا و مبین آن است که نیاز آبی خالص و ناخالص محاسبه‌شده برای سال تحقیق از تغییرات زیادی برخوردار بوده‌اند. نتایج تحقیق سالمی و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد که مقدار آب آبیاری مزارع پیاز در روش آبیاری سطحی در منطقه فریدن اصفهان حدود ۱۵۰۰۰ متر مکعب در هکتار بوده است که با این تحقیق (۱۳۲۷۰ مترمکعب در هکتار) که مربوط به میانگین روش‌های آبیاری است اختلاف فاحشی ندارد. همچنین کریم‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) حجم آب آبیاری مزارع پیاز به روش آبیاری سطحی در استان خراسان رضوی را ۱۱۳۰۰ مترمکعب در هکتار گزارش کردند که در این تحقیق ۱۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار بدست آمده است.

حجم آب موردنیاز برای تولید پیاز در کشور

برای برآورد حجم آب مورد نیاز تولید پیاز در کشور از میانگین‌های حجم آب آبیاری در استان‌های منتخب و سطح زیرکشت محصول پیاز در هر استان استفاده شد (جدول ۴). در این برآورد از میانگین وزنی حجم آب آبیاری در استان‌های منتخب کشور، یعنی ۱۰۸۲۳ مترمکعب بر هکتار به‌عنوان میانگین حجم آب آبیاری در سایر استان‌ها که سطح زیرکشت قابل‌توجهی نداشتند و در این تحقیق اندازه‌گیری نشده بودند، استفاده گردید. نتایج این برآورد نشان داد که استان فارس با کاربرد حدود ۸۳ میلیون مترمکعب بیشترین حجم آب برای تولید پیاز در کشور را به خود اختصاص داده است. استان‌های کرمان و اصفهان به ترتیب با مصرف حدود ۷۵ و ۷۲ میلیون مترمکعب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. همچنین بر اساس نتایج برآورد شده در جدول ۴، سالانه حدود ۶۵۵ میلیون مترمکعب از منابع آب سطحی و زیرزمینی کشور برای تولید پیاز در کشور اختصاص می‌یابد.

جدول ۴- برآورد حجم آب آبیاری مورد نیاز پیاز در استان‌های مختلف کشور

استان	سطح زیرکشت (هکتار)	حجم آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) حداقل	حداکثر	میانگین	حجم آب مورد نیاز (میلیون مترمکعب)
آذربایجان شرقی	۱۵۷۲	۷۰۰۰	۱۴۷۳۳	۹۵۰۲	۱۵/۰
اصفهان	۵۸۱۶	۸۸۹۰	۱۸۷۰۰	۱۳۲۷۳	۷۲/۲
جنوب کرمان	۷۷۸۸	۷۶۷۷	۱۲۴۲۵	۹۶۱۸	۷۴/۹
خراسان رضوی	۲۰۵۲	۷۷۷۶	۱۷۵۵۰	۱۱۹۹۸	۲۴/۶
خراسان شمالی	۳۴۳۰	۶۴۸۰	۱۰۵۰۰	۸۴۳۸	۲۸/۹
خوزستان	۴۳۸۷	۵۴۱۸	۱۷۰۴۸	۹۷۴۰	۴۲/۷
زنجان	۳۴۱۰	۹۷۲۰	۲۲۰۲۴	۱۶۵۸۸	۵۶/۶
فارس	۶۰۰۰	۱۰۰۲۲	۱۸۱۴۴	۱۳۸۸۰	۸۳/۳
هرمزگان	۸۰۴۱	۴۸۹۵	۱۱۱۲۵	۷۰۵۷	۵۶/۷
سایر استان‌ها	۱۸۰۵۵	–	–	۱۰۸۲۳	۱۹۵/۴
کل کشور	۶۰۵۵۴	–	–	۱۰۸۲۳	۶۵۵/۴

تأثیر روش‌های کاشت بر حجم آب آبیاری و بهره‌وری آب

اگرچه تا اوایل دهه ۸۰ خورشیدی تولید پیاز در ایران از طریق کشت بذر انجام می‌شد، ولی با توجه به محدودیت منابع آب و همچنین حساسیت جوانه‌زنی پیاز در شرایط نامناسب فیزیکی خاک، گرایش به تولید پیاز از طریق کشت نشایی و غده‌ای گسترش یافته است، به‌طوری‌که بر اساس نتایج این تحقیق کشت این محصول در برخی از استان‌های جنوبی کشور از جمله هرمزگان و منطقه جنوب کرمان فقط به‌صورت نشایی یا کشت غده‌ای انجام می‌شود. نتایج این تحقیق نشان داد که ۶۵، ۳۰ و ۵ درصد از مزارع منتخب پیاز به ترتیب به روش کشت بذری، نشایی و غده‌ای انجام شده است. با توجه به اینکه در روش کشت نشایی و غده‌ای، زمان آبیاری در زمین اصلی حدود سه ماه کمتر از روش کشت بذری است، این عامل نقش مهمی در کاهش حجم آب آبیاری و افزایش بهره‌وری آب در تولید پیاز دارد. نتایج حجم آب آبیاری و بهره‌وری آب در روش کشت‌های مختلف با در نظر گرفتن میزان آب کاربردی برای تولید نشاء، نشان داد که درکشت نشایی پیاز، حجم آب آبیاری ۱۴/۷ درصد نسبت به کشت بذری کاهش داشته است که با توجه به محدودیت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند نقش مؤثری در تولید محصول ایفا نماید. نتایج بهره‌وری آب کاربردی پیاز نیز نشان داد که درکشت نشایی بهره‌وری آب کاربردی ۱۶/۷ درصد افزایش داشته است (جدول ۵). نتایج ارائه‌شده در جدول ۵ نشان داد که تغییرات آب آبیاری و بهره‌وری آب در کشت غده‌ای نیز روند مشابهی با کشت نشایی داشته است. نتایج این تحقیق با نتایج حسن‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) مطابقت دارد.

جدول ۵- میانگین شاخص‌های اندازه‌گیری شده در مزارع پیاز در روش‌های مختلف کشت در کشور

نوع کشت	آب آبیاری خزانه m^3/ha	آب آبیاری m^3/ha	آب کاربردی m^3/ha	عملکرد غده kg /ha	بهره‌وری آب آبیاری kg/m^3	بهره‌وری آب کاربردی kg/m^3
بذری	–	۱۱۸۰۴	۱۳۳۷۳	۵۱۷۹۰	۴/۷۲	۴/۰۸
غده‌ای	۲۵۰	۹۵۷۲	۹۹۸۳	۴۷۹۴۰	۵/۰۱	۴/۹۳
نشایی	۱۰۲	۹۹۶۵	۱۰۶۶۷	۴۶۳۵۰	۵/۰۴	۴/۷۶

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب پیاز در شرایط مدیریت کشاورزان در ۱۹۰ مزرعه در قطب‌های تولید پیاز کشور شامل آذربایجان شرقی، اصفهان، خوزستان، زنجان، جنوب کرمان، فارس، خراسان رضوی، خراسان شمالی و هرمزگان در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اندازه‌گیری شد و نتایج کلی زیر بدست آمد: میانگین تعداد نوبت‌های آبیاری در روش آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای نواری به ترتیب ۱۷، ۳۲ و ۴۰ نوبت آبیاری بدست آمد و نشان داد که تعداد آبیاری‌ها در روش‌های آبیاری قطره‌ای نواری و بارانی به‌طور معنی‌داری بیشتر از روش آبیاری سطحی بوده است.

حجم آب آبیاری پیاز در کشور بسته به روش آبیاری، تعداد نوبت‌های آبیاری، شرایطی اقلیمی، شوری آب آبیاری از ۵۰۰۰ تا بیش از ۲۰۰۰۰ با میانگین وزنی ۱۰۸۲۳ مترمکعب بر هکتار متغیر بود. این شاخص در روش آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای نواری به ترتیب ۱۱۴۵۳، ۱۲۷۴۰ و ۱۰۳۱۷ مترمکعب بر هکتار بدست آمد. کل حجم آب آبیاری برای تولید پیاز در کشور ۶۵۵ میلیون مترمکعب در سال برآورد گردید.

میانگین وزنی عملکرد غده پیاز در کشور ۴۹۹۸۶ کیلوگرم بر هکتار بدست آمد. این شاخص در روش‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای نواری به ترتیب ۵۹۳۶۰ و ۵۰۵۹۰ کیلوگرم بر هکتار و به میزان ۱۴ و ۲۲ درصد بیشتر از آبیاری سطحی (۴۴۷۴۰ کیلوگرم بر هکتار) بود. این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های آبیاری قطره‌ای نواری توانسته است علاوه بر کاهش حدود ۱۰ درصدی آب آبیاری، عملکرد محصول را افزایش دهد و نقش مؤثری در افزایش تولید پیاز در کشور داشته باشد.

استان‌های آذربایجان شرقی و هرمزگان با نزدیک به ۶ کیلوگرم بر مترمکعب بیشترین بهره‌وری آب آبیاری را به خود اختصاص داده‌اند، درحالی‌که زنجان با ۳ کیلوگرم بر مترمکعب، دارای کمترین بهره‌وری آب آبیاری بود. بهره‌وری آب آبیاری در استان‌های خراسان رضوی، خراسان شمالی، اصفهان و منطقه جنوب کرمان حدود ۵ کیلوگرم بر مترمکعب و نزدیک به میانگین وزنی در کشور (۴/۹۳ کیلوگرم بر مترمکعب) بود.

میانگین بهره‌وری آب کاربردی (آب آبیاری و بارش مؤثر) در محصول پیاز در روش‌های آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای نواری به ترتیب معادل ۳/۶۳، ۴/۲۶ و ۴/۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود و نشان داد که بهره‌وری آب آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای نواری نسبت به روش سطحی حدود ۳۵ درصد افزایش داشته است.

کشت نشایی در مقایسه با کشت بذری موجب ۱۴/۷ درصد کاهش میزان آب آبیاری و ۱۶/۷ درصد افزایش در بهره‌وری آب شد.

با توجه به نتایج این تحقیق، کاربرد توأمان کشت نشایی و استفاده از آبیاری قطره‌ای نواری در مزارع پیاز پیشنهاد می‌شود.

تقدیر و تشکر

پژوهش حاضر با حمایت مالی و معنوی معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی انجام گرفته است و در اجرای آن همکاران گرانقدری از سازمان‌های جهاد کشاورزی استان‌های آذربایجان شرقی، اصفهان، خوزستان، زنجان، کرمان، فارس، خراسان رضوی، خراسان شمالی و هرمزگان، 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.، عبادزاده، ح.، حاتمی، ف.، حسین‌پور، ر.، و عبدشاه، ح، ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی سال ۸۹–۱۳۹۷. وزارت جهاد کشاورزی و معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، دفتر فناوری اطلاعات و ارتباطات، جلد اول: محصولات زراعی.

۲. 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.

۳. اکبری، م.، مرتضوی بک، ا.، نصراصفهانی، م.، زیدی، م.، و پاشنام، ر، ۱۳۸۲. مقایسه روش‌های آبیاری سطحی و بارانی روی عوامل کمی و کیفی در ارقام تجارتی پیاز .گزارش پژوهشی نهایی شماره ۵۵/۲۷۴ ، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

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. اکبری، م.، ناصری، ا.، نورجو، ا.، پرچمی‌عراقی، ف.، علیمحمدی‌نافچی، ر.، اسلامی، ا.، گمرکچی، ی.، کمالی‌پاشائی، م.، کیا، ع.، گودرزی،م.، قاسمی، م. م.، بهراملو، ر.، نخجوانی، م. م.، و سپهری، س، ۱۴۰۰. تعیین آب مصرفی هلو و شلیل در کشور .گزارش پژوهشی نهایی شماره ۵۹۶۲۴، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

۶. 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.

۷. پیری، ح، ۱۳۹۷ .تأثیر مقادیر مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد پیاز و بهره‌وری مصرف آب در سه روش آبیاری .مجله پژوهش آب در کشاورزی، سال سی و دوم شماره ۲ . ص ۱۸۷تا ۲۰۰

۸. حسن‌زاده، ح.، ابوطالبی، ع.، و ذاکری‌فرد، ا، ۱۳۹۲. مقایسه اثر روش‌های مختلف کشت بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام پیاز در شرایط روزکوتاه در میناب .به زراعی کشاورزی، دوره ۱۵، شماره ۱، ۱۲۳–۱۱۱.

۹. رستگار، ج.، باغانی، ج.، و زارع، ش، ۱۳۸۷. بررسی فنی و اقتصادی سه روش مختلف آبیاری(قطره‌ای، شیاری و کرتی)و اثر آن بر روی عملکرد کمی ارقام روزبلند پیاز خوراکی .نیشابور :سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۵۳ صفحه.

۱۰. سالمی، ح.، تاکی، ا.، میران‌زاده، م.، و زیدی‌کوله‌پارچه، م، ۱۳۹۵. سنجش بهره‌وری آب و انرژی درکشت ردیفی پیاز به روش آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) در یک خاک لوم سیلتی .گزارش پژوهشی نهایی شماره ۴۹۶۹۴، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

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

۱۲. عباسی، ف.، نخجوانی، م. م.، سلامتی، ن.، خرمیان، م.، دهقانیان، س. ا.، جلینی، م.، اسلامی، ع. ر.، اخوان، ک.، گمرکچی، ا.، و فرزام‌نیا، م، ۱۳۹۶. تعیین آب مصرفی ذرت علوفه‌ای در کشور .گزارش پژوهشی نهایی شماره ۵۳۰۵۴، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

۱۳. کریم‌زاده، م.، علیزاده، ا.، انصاری، ح.، قربانی، ح.، و بنایان‌اول، م، ۱۳۹۵. بهینه‌سازی بهره‌وری آب و کارایی انرژی در انتخاب الگوی کشت، آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۶، جلد ۱۰ ، ص .۸۵۹-۸۴۹.

۱۴. میلانی، اژدر عنابی .۱۳۸۶ . تعیین تبخیر تعرق و ضریب گیاهی پیاز در طول دوره رشد در دشت تبریز . خسروشاه :-سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۳۷ صفحه.

۱۵. ناصری، الف .۱۳۹۳ . بهره‌وری آب در تولید محصولات زراعی .مجموعه نگاشت‌های ترویجی آبیاری .مؤلف . ۲۳۳ ص.

۱۶. نکوآمال‌کرمانی, م.، حسن‌زاده، ح.، و سلامتی ح، ۱۳۹۰. تخمین آب مورد نیاز پیاز رقم پریماورا بر اساس روش کم‌آبیاری از نرمال، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر.

17. 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.

18. Ambomsa, A., Seyoum,T., Hordofa. T. 2020. Effect of irrigation methods and irrigation levels on yield and water productivity of onion at Awash Melkasa, Ethiopia. Industrial Engineering. 4(2): 33-42.

19. Ayas, S. 2019. Water-Yield relationships in deficit irrigated onion. Turkish Journal of Agriculture Food Science and Technology, 7(9): 1310-1320

20. Bhasker, P., Singh, R K., Gupta, R C., Sharma, H P., Gupta, P K. 2018. Effect of drip irrigation on growth and yield of onion. Journal of Spices and Aromatic Crops. 27 (1) : 32-37.

21. 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.

22. Dingre, S.K. and Pawar, D.D. 2020. Response of drip irrigated onion (Allium cepa L.) growth, yield and water productivity under deficit irrigation schedules. Journal of Natural Resource Conservation and Management. 1(1): 69-75.

23. FAOSTAT. 2021. Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC

24. Geries, L. S. M., Okasha, E. M., Moursi, E. A. 2020. Impact of deficit irrigation methods on the yield, water productivity, Quality and storage losses of some onion cultivars in Nile delta, Egypt. Plant Archives. 20(2):3528-3538.

25. Haile, A., Gezie, S., Tegenu,G. 2021. Effect of furrow method and mulch on bulb yield and water productivity of irrigated onion under central highland vertisol of Ethiopia. Ethiopian Journal of Agricultural Science. 31(1) 145-157.

26. 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.

27. Kadayifci A., Tuylu GI., Ucar Y., Cakmak B., 2005. Crop water use of onion (Allium cepa L.) in Turkey. Agricultural Water Management 72(1): 59–68.

28. 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.

29. Rao, KVR., Gangwar, S., Aherwar, P., Yadav, D. 2019. Growth, yield, economics and water use efficiency of onion under different micro irrigation systems. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 8(3): 3866-3869

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

31. Zheng, J., Hunga, G., Wang, J., Huang, Q., Pereira, LS., Xu X, et al. 2013. Effects of water deficits on growth, yield and water productivity of drip-irrigated onion (Allium cepa L.) in an arid region of North West China. Irrigation Science. 31:995-1008.

نگاهی بر عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی دشت ورامین بر اساس مدل SWOT

معصومه افشانی، مهدی سرائی تبریزی[۱] و مصطفی تیموری

دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

afshani606@ymail.com

استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

mahdisarai@yahoo.com

استادیار گروه توسعه روستایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

m.teimoori1982@yahoo.com

دریافت: فروردین ۱۴۰۱ و پذیرش: شهریور ۱۴۰۱

چکیده

پژوهش حاضر با هدف شناسایی نقاط ضعف، قوت، تهدید و فرصت در شبکه دشت ورامین از نگاه بهره‌برداران، کارشناسان و مدیران شبکه انجام شد. ابزار پژوهش پرسشنامه بود که روایی آن با تکمیل ۳۰ نمونه اولیه و بررسی پایایی تحت‌نظر اساتید دانشگاه، مدیران و صاحب‌نظران متخصص اصلاح گردید. جمع‌آوری اطلاعات به‌صورت تک‌مرحله‌ای، تصادفی و میدانی بود. جامعه آماری شامل بهره‌برداران شبکه، کارشناسان خبره و مدیران فعال بود. حجم نمونه‌آماری از طریق رابطه کوکران ۹۸ و برای جلوگیری از خطا ۱۰۵ نفر تعیین شد. نتایج مدل تحلیلی SWOT نشان می‌دهدکه احتمالاً با افزایش اطلاعات و آگاهی واقعی بهره‌برداران شبکه درباره چالش‌های شبکه، هزینه ساخت و نگهداری، اقدامات اداره آبیاری و امور آب، جهاد کشاورزی، و دیگر ارگان‌ها و سازمان‌های مرتبط، آن‌ها به جای مقابله و نگرش منفی، همراهی مسئولانه و دغدغه‌مندتر داشته و در راستای رفع تهدید، حذف ضعف، تقویت قوت و استفاده از فرصت‌ها قدم‌های مؤثرتری بردارند. بررسی تطبیقی نظرات کارشناسان نشان داد که، همانند نظر بهره‌برداران، فرصت‌ها بیشتر از تهدید، ضعف و قوت بود، این نتیجه نشان از اشتراک دیدگاه این دو گروه و امیدواری به فرصت‌های موجود شبکه دارد. از دیدگاه مخاطبان، اولویت با تعیین استراتژی‌های رقابتی و سپس تدافعی است. با اطلاع از مشکلات بهره‌بردار (چالش فرآیند اداری، ناهماهنگی بخش‌های مرتبط با حوزه آب، نگاه منفی به اقدامات دولتی با مشاهده تجربه‌های ناموفق پیشین)، کارشناسان می‌توانند به‌منظور تسهیل امور آب‌بران، رفع ضعف، و مقابله با تهدیدهای اثرگذار، با فعالیت‌هایی همچون ترویج شیوه‌های نوین آبیاری و کشاورزی و نمایش تجربیات موفق مدیریت مشارکتی آب‌بران در شبکه، اقدامات راهگشا و کاربردی داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی عملکرد، تشکل آب‌بران، مدیریت مشارکتی

---

[۱] – آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

مقدمه

راندمان به‌تنهایی نمی‌تواند منعکس‌کننده وضعیت عملکرد یک پروژه آبیاری و زهکشی باشد. فرآیندهای توزیع و انتقال آب در شبکه، وضعیت کانال‌ها و ابنیه فنی، وظایف میراب‌ها، شاخص‌های عمق جریان، دبی کانال‌ها، زمان‌بندی تحویل، انعطاف‌پذیری کانال‌ها و غیره نمونه موارد قابل بررسی در ارزیابی‌های سازه‌ای است (پاسیار و منعم، ۱۳۸۶). ارزیابی عملکرد، راهکاری برای بهبود و ارتقاء سطح خدماتی است که ارائه می‌شود. دستیابی و تحقق در رابطه با اجرای معمول روش‌های راهبری است که به میزان دستیابی به هدف فرعی یا نهائی در یک مقطع زمانی می‌پردازد. ارزیابی راهبردی، برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در سطح ملی را شامل می‌شود. نخستین گام در تدوین برنامه ارزیابی عملکرد، تصمیم‌گیری در مورد هدف و گستره ارزیابی است (بی‌نام، ۱۳۸۶). در بیان اصلی‌ترین مشکلات و مسائل ناکامی بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی می‌توان از سوء مدیریت در توزیع آب و کمبود آب آبیاری در نتیجه نارضایتی میان آب‌بران، ضعف سیستم بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی، فرسودگی زودهنگام تأسیسات آبی، اتلاف آب و فقدان انگیزه برای صرفه‌جویی آن و بی‌عدالتی در توزیع آب را نام برد (عربی و محبی، ۱۳۸۷). مشارکت اجتماعی منبعی از انرژی خلاق و ابزاری جهت بروز خرد جمعی در جوامع است. مشارکت یعنی مردم بومی ذی‌نفع قرار می‌گیرند درحالی‌که صاحب اختیار هستند نه‌فقط مشارکت اجباری و محدود، مشارکتی که برنامه‌ریزی، مدیریت، ارزشیابی، تقسیم منابع، اجرا و غیره را دربرمی‌گیرد (زندرضوی و همکاران، ۱۳۸۷).

هدف از تشکیل و تأسیس تشکل‌های آب‌بران، ایجاد مالکیت برای مصرف‌کنندگان و پاسخگویی برای بهره‌برداری و نگهداری شبکه توزیع آب است. این امر با انتقال مسئولیت‌های مربوط به تشکل‌های آب‌بران و ترغیب آب‌بران جهت مشارکت در برنامه‌ریزی و طراحی مراحل مختلف پروژه صورت می‌پذیرد (اجلالی و همکاران، ۱۳۸۷). واگذاری مدیریت آبیاری به کشاورزان با ایجاد علاقه و انگیزه سبب می‌شود زارع بهای بیش‌تری جهت نگهداری و استهلاک ابنیه فنی، کانال‌ها و تجهیزات شبکه بپردازد. حس مالکیت و صاحب اختیار بودن زمینه‌ساز مشارکت بیش‌تر در مدیریت انتقال و دریافت آب خواهد بود (احسانی، ۱۳۸۷). عدم مشارکت بهره‌برداران در امور تشکل‌های آب در کشورهای کم‌تر توسعه‌یافته راندمان پایین آبیاری را باعث می‌شود. دلایل افزایش تقاضای آب در بخش کشاورزی روستاها مواردی از قبیل عدم اعتماد کشاورز به طرح‌های دولتی، عدم تطابق طرح با منطقه و یا اجرای ناتمام پروژه‌ها باعث نگاه منفی کشاورز و عاملی مهم در عدم مشارکت زارع و بهره‌بردار در تشکل است (امید و همکاران، ۱۳۸۸). تحویل و توزیع نامناسب آب در کانال‌ها و انشعابات و به‌تبع آن توزیع نامناسب آب در سطح اراضی کشاورزی را می‌توان یکی از نقاط ضعف شبکه‌های آبیاری به شمار آورد. بدین ترتیب که میزان آب تحویلی در اراضی بالادست و پائین‌دست و نیز اراضی نزدیک به کانال‌های اصلی درجه یک و درجه دو نسبت به اراضی دورتر از کانال‌های اصلی تفاوت در حجم و دبی تحویلی مشهود است (منتظر و پاشازاده، ۱۳۹۰).

با سنجش توانمندی‌های بخش کشاورزی استان خراسان جنوبی در راستای توسعه پایدار با استفاده از مدل تحلیلی SWOT مشخص شد تجربه موفق در زمینه ساماندهی نظام خرده دهقانی، عدم تناسب اعتبارات بخش آبخیزداری، پتانسیل بالای تولید محصولات باغی و کمبود آمار و منابع اطلاعاتی صحیح و منسجم و یکپارچه به ترتیب مهم‌ترین فرصت، تهدید، قوت و ضعف در خصوص کشاورزی استان شناسایی شد (فال سلیمان و صادقی،۱۳۹۱).

نتایج حاصل از تحلیل مطالعات اجتماعی در شبکه آبیاری و زهکشی بند فیض‌آباد استان فارس که با استفاده از مدل SWOT نشان‌دهنده این بود که عوامل درونی نسبت به عوامل بیرونی از امتیاز وزنی بالاتری برخوردار هستند. آماده‌سازی جهت تشکیل تشکل آب‌بران،

توانمندسازی گروه‌های مرکزی این تشکل‌ها و نیز عینی-سازی مزایای کانال‌های مدرن، از نمونه استراتژی‌های تدوین‌شده در این پژوهش بود (عطائی و ایزدی الف، ۱۳۹۳). بررسی مشارکت بهره‌برداران در مدیریت و بهره-برداری مناسب از شبکه آبیاری و زهکشی در پروژه مدیریت جامع آب و خاک البرز نتایج نشان‌دهنده این مهم بود که تشکیل تشکل آب‌بران، اطلاع‌رسانی و آموزش، ضرورت ایجاد تشکل، تعریف وظایف و نقش آب‌بران و همچنین ثبات و پایداری به‌عنوان تأثیرگذارترین شاخص‌ها در موفقیت تشکل‌ها شناسایی شدند (شکری و همکاران، ۱۳۹۳). دریچه‌ها، تجهیزات هیدرولیکی، بررسی تأسیسات فنی سازه‌های نیرپیک (جهت تحویل حجمی آب با کاهش تغییرات دبی)، ابنیه شبکه، ناکارآمدی تجهیزات در تحویل حجمی آب، کاهش راندمان آبیاری و بهره‌وری آب کشاورزی، عدم توجه مستمر و مکفی به نگهداری شبکه از جمله موارد مسئله آفرین در بحث ارزیابی شبکه‌های آبیاری و زهکشی است (سیارایرانی،۱۳۸۳؛ سیدجواد و مشعل، ۱۳۹۳). پژوهش و نظرسنجی‌های میدانی بر بهبود عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی تأثیر مثبت دارد. لذا، راهکارهایی همچون فرهنگ‌سازی برای تشکیل تشکل آب‌بران، توانمندسازی هسته‌های تشکل آب‌بران و عینی-سازی مزایای کانال‌های مدرن برای زارعان و بهره‌برداران باید مورد توجه قرار گیرد (عطائی و ایزدی الف، ۱۳۹۳). مشارکت آب‌بران در مدیریت آبیاری و بهره‌برداری باعث افزایش کارآیی و بهره‌وری در بخش تولید محصول و راندمان آب است. میزان حقابه، مالکیت اراضی، آب‌بها، شیوه آبیاری و میزان رضایت از شرکت بهره‌بردار از عوامل مؤثر بر مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی است (مرتضی نژاد و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج حاصل از پژوهش شناسایی عوامل مؤثر بر سطح مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، استان بوشهر دریافتند که عوامل شبکه آبی و مالی، شرایط زمین، دسترسی به آب آبیاری، سابقه تولیدی و خدمات ارائه‌شده از سوی دولت و ویژگی شغلی بهره‌بردارن پنج عاملی هستند که نقشی مؤثر در مشارکت بهره‌بردان دارد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۴). اغلب در ارزیابی عوامل گوناگونی همچون طراحی سازه، شرایط آب و هوایی، عوامل اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، شیوه‌های مدیریت آبیاری و مشارکت، در ارزیابی عملکرد شبکه تأثیرگذار است. عمدتاً پارامترهایی نظیر آب، خاک و هزینه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گرفت. لزوم بازنگری شیوه‌های مرسوم و متداول آبیاری در مزارع و در مواردی اجرای سامانه‌های آبیاری (تحت‌فشار) در شبکه ضروری است (اژدری و هدایت، ۱۳۹۵). (حسین پور و همکاران، ۱۳۹۵) در پژوهش خود درباره ارزیابی عوامل مؤثر بر مشارکت اعضای تعاونی آب‌بران در مدیریت منابع آب کشاورزی دریافتند که سطح درآمد کشاورزان، میزان اراضی تحت مالکیت، آب‌بها، انواع سامانه‌های آبیاری و ویژگی‌های فردی شامل سطح تحصیلات و جنس با متغیر میزان مشارکت در تعاونی آب‌بران رابطه مثبت و معنی‌داری دارد.

(حبیبی‌کندبن و همکاران، ۱۳۹۶) در نتایج حاصل از پژوهش استفاده از شاخص‌های خارجی فرآیند ارزیابی سریع در شبکه آبیاری قزوین دریافتند که با توجه به اهمیت استفاده بهینه از آب کشاورزی، لازم است پایش و ارزیابی روش‌های مدیریت آب و توزیع به‌طور مستمر انجام شود همچنین برای افزایش راندمان، مدیریت و توزیع مناسب آب در شبکه آبیاری ضرورت دارد. (عبدالله‌زاده و همکاران،۱۳۹۷) در تحقیقی با موضوع تأثیر الگوی مدیریت مشارکتی در بهره‌برداری بهینه آب در شهرستان آق‌قلا مشخص شد که جلب مشارکت به نقش‌پذیری، عضویت و فعالیت در تشکل‌ها اثر فزاینده در راندمان و بهره‌برداری شبکه آبیاری و زهکشی دارد. عملکرد آبیاری ضعیف، در برخی از مناطق تحت آبیاری در سرتاسر دنیا، منجر به مسائل اجتماعی، اقتصادی و محیطی مهم شده است. با توجه به اینکه سهم عمده‌ای از منابع آبی موجود برای مصارف کشاورزی استفاده می‌شود، شبکه‌های آبیاری و زهکشی با نوع عملکرد خود نقش بسزایی در راندمان آبیاری و بهره‌وری منابع آبی دارند (نحوی نیا و همکاران،

۱۳۹۸). در بهبود عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی و افزایش راندمان مصرف و بهبود بهره‌وری نیازمند مشارکت آب‌بران و کشاورزان تحت پوشش شبکه است و بدون مشارکت زارعان و تشکل‌ها این روند موفقیت مؤثری نخواهد داشت (قربانیان و همکاران، ۱۳۹۸). مدل SWOT یک مدل تحلیلی است که بر اساس نتایج حاصل از نقاط قوت و ضعف، تهدیدها و فرصت‌های موضوع کاربرد دارد (بی‌نام، ۱۳۹۹).

(آریال و راجوریا، ۲۰۰۷) در پژوهش خود مبنی بر توزیع عادلانه و مدیریت منابع مشترک در سیستم آبیاری دریافتند که هزینه حفاظت، نگهداشت و بهره‌برداری از شبکه، دانش و آگاهی بهره‌بردار، روحیه تعاون بین کشاورز و دولت، مسئولیت‌پذیری و مالکیت کشاورز در استفاده و حفاظت از شبکه آبیاری در مدیریت بهینه آب اثرگذار است. (کازبکوف و همکاران، ۲۰۰۹) با مطالعه عملکرد تعاونی آب‌بران در دنیا دریافتند که تشکل‌ها کارآی قوی داشته و تشکیل آن‌ها در مدیریت بهینه آب در توزیع و تخصیص آب میان بهره‌برداران تأثیرگذار و مفید بوده است. (گالکوآیالا و همکاران، ۲۰۱۱) در استخراج راهبردهای مدیریت یکپارچه منابع آب در موزامبیک با استفاده از مدل تحلیلی SWOT دریافتند که لزوم مدیریت راهبردی در استفاده از فرصت‌ها و تهدیدها است. (پک و همکاران، ۲۰۱۹) با مطالعه بر روی ارزیابی تأثیر مشارکت کشاورزان در مدیریت آبیاری بر بهره‌وری و سودآوری دریافتند که با وجود نقش آبیاری در رشد اقتصادی طرح‌های آبیاری، این مورد در اوگاندا هنوز عملکرد خوبی ندارند. در میان بسیاری از طرح‌های آبیاری، انتقال مسئولیت‌های مدیریتی بیش‌تر به کشاورزان راهی مناسب برای بهبود عملکرد است. نتایج حاصل از برنامه‌های دولتی برای تقویت انتقال مسئولیت و نقش زارعان در مدیریت آبیاری پشتیبانی و وجود انگیزه‌های سودآور برای مشارکت کشاورزان را نشان می‌دهد.

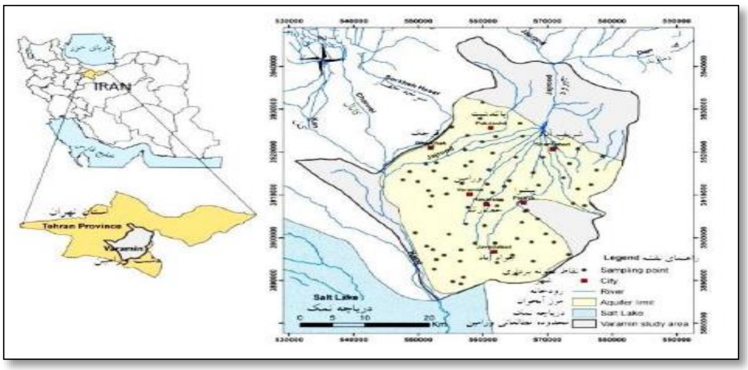
هدف از این پژوهش ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی دشت ورامین از نگاه بهره‌برداران و آب‌بران تحت پوشش شبکه از یک سو و دیدگاه مدیران اجرایی شبکه و حوزه‌های مرتبط با آب از سوی دیگر بود که از راه شناسایی عوامل درونی (نقاط ضعف و قوت) و عوامل بیرونی (تهدیدها و فرصت‌ها) و با استفاده از مدل SWOT[2] انجام پذیرفت.

روش بررسی

دشت ورامین در حدود ۴۰ کیلومتری جنوب-شرقی دشت تهران، در دامنه جنوبی البرز و شمال غربی کویر مرکزی ایران با مختصات طول جغرافیایی ۳۸ و ۵۱ و عرض شمالی ۳۰ و ۳۵ در ارتفاع تقریبی ۱۰۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. این دشت حدود ۱۴۰ هزار کیلومتر وسعت دارد. انتقال آب از طریق شبکه کانال ورامین به شبکه آبیاری ورامین، حدود ۲ مترمکعب بر ثانیه است (ولی‌وند و کتیبه،۱۳۹۸). وسعت اراضی تحت پوشش شبکه نیز حدود ۵۰ هزار هکتار است (سیدجواد و مشعل، ۱۳۹۳). شهرهای پاکدشت، پیشوا، ورامین و قرچک مراکز مهم جمعیتی این شبکه می‌باشند و بیش از ۱۵۰ روستا در شبکه آبیاری و زهکشی واقع شده‌است. با در نظر گرفتن اراضی کشاورزی پایین‌دست شبکه تعداد روستاها به حدود ۲۵۰ روستا افزایش می‌یابد (بی‌نام، ۱۳۹۸). ارتفاع این شهرستان از سطح دریا در حدود ۱۰۰۰ متر است. اقلیم دشت ورامین حوزه خشک است و از ویژگی‌های آن بارندگی کم، گرمای زیاد و دوره خشک طولانی است. نواحی شمالی این منطقه با میانگین دمای سالانه ۱۱ درجه سانتی‌گراد کمترین دمای منطقه و نواحی جنوبی منطقه با میانگین سالانه ۱۸ درجه سانتی‌گراد بیشترین دما را دارد. بیشترین بارندگی در زمستان و کم‌ترین آن در تابستان است. توزیع فضایی بارش در این دشت از شمال به جنوب و از غرب به شرق روند نزولی دارد. بالاترین میزان دما در ورامین با ۴۱/۸ درجه (حداکثر مطلق) مربوط به مردادماه و کمترین میزان دما با

[2] -Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats

۱۶/۸− درجه (حداقل مطلق) مربوط به بهمن‌ماه بوده‌است. میزان بارندگی سالیانه در این منطقه ۱۷۳ میلی‌متر بوده است. ورامین دارای ۷۶ روز یخبندان در سال است. با توجه به گستردگی شهر تهران و افزایش جمعیت روزافزون آن، مقدار کمی از آب رودخانه جاجرود و سد لتیان به دشت ورامین اختصاص یافت. از حدود ۴۰ حلقه چاه در اطراف کانال آبرسان تهران_ورامین (کانالی که به‌منظور انتقال آب تصفیه‌خانه ساخته شده بود) و چهار رشته قنات جهت تأمین آب شبکه استفاده می‌شد (بی‌نام، ۱۳۹۸). افزایش روزافزون جمعیت شهر تهران، خشکسالی در سال‌های ۷۸ تا ۸۰ و سال‌های اخیر، توسعه شهرهای ورامین، پاکدشت، شریف‌آباد، قرچک، پیشوا، قیامدشت و روستاها، به‌دلیل افزایش مهاجرت به حاشیه شهرها و اولویت و افزایش مصرف آب شرب نسبت به آب کشاورزی، سبب گردید هر ساله از سهم آب کشاورزی شبکه آبیاری دشت ورامین کاسته شود و برای مصرف شرب اختصاص یابد (زهتابیان و همکاران، ۱۳۸۳).



شکل ۱- موقعیت دشت ورامین در ایران (ولی‌وند و کتیبه، ۱۳۹۸)

با توجه به اینکه هیچ تشکل آب‌بران فعالی در اکثریت روستاهای تحت پوشش شبکه در شهرستان‌های پاکدشت و ورامین فعال نبودند و تشکل آب‌بران از نگاه زارعان و آب‌بران این منطقه همان نماینده آب روستا معنی می‌شد که این روش به گفته خودشان از چهار یا پنج صده قبل به این صورت بوده است، لذا نمونه‌گیری در دو گروه به‌صورت تصادفی و با استفاده از پرسشنامه‌ای (شامل اطلاعات عمومی، فردی، زراعی مرتبط و اطلاعات تخصصی بخش SWOT نقاط ضعف، قوت، تهدید و فرصت)، از بین بهره‌برداران مراجعه‌کننده به جهاد کشاورزی، آب منطقه‌ای و بهره‌برداران مرتبط با شبکه که آب دریافت می‌کردند انتخاب شدند، تکمیل پرسشنامه کارشناسان نیز توسط مدیران اداره آبیاری، آب‌منطقه ای، جهاد کشاورزی، مشاورین تخصصی حوزه، کارشناسان خبره انجام شد. از ۳۰ پرسشنامه اولیه در نرم‌افزار SPSS میزان آلفا کرونباخ پرسشنامه ۸۵٪ بدست آمد، این میزان نشان‌دهنده قابل قبول بودن سؤالات طراحی شده است که باید بین از ۷۵ درصد تا ۹۵ درصد باشد. برای سنجش روایی ظاهری تعداد ۳۰ پرسشنامه اولیه تکمیل، نظرات چند تن از اعضای هیأت علمی گروه توسعه روستایی و مهندسی منابع آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، کارشناسان جهاد کشاورزی استان تهران، مدیران، کارشناسان و متخصصان وزارت نیرو، شرکت آب منطقه‌ای استان تهران، کمیته ملی آبیاری و زهکشی و صاحب‌نظران حوزه آبیاری و توسعه روستایی مورد بررسی قرار گرفت و مبتنی بر نظر آنان اصلاح‌های لازم به عمل آمد. مدل تحلیلی مذکور دارای دو مؤلفه اصلی شاخص‌های درونی (نقاط ضعف و قوت) و شاخص‌های بیرونی (فرصت و تهدیدها) است. به‌منظور کمی سازی یافته‌های کیفی، نقاط ضعف، قوت، تهدید و فرصت به‌صورت موضوعی دسته‌بندی‌شده و گویه های دارای مفهوم مشابه در یک دسته قرار داده شدند و بدین ترتیب عوامل داخلی و خارجی در چهار دسته

اقتصادی، اجتماعی، فنی و فرهنگی طبقه‌بندی شدند (عطائی و ایزدی‌الف، ۱۳۹۳). همچنین، نتایج آزمون آلفای کرونباخ برای قسمت‌های مختلف پرسشنامه بین ۰/۹۳ تا ۰/۷۰ به‌دست آمد که نشان از پایایی خوب ابزار تحقیق دارد.

یافته‌ها

در این قسمت به ارائه آماره‌های توصیفی و جداول مربوط به نتایج ویژگی‌های جمعیت‌شناختی، زراعی، آبیاری بهره‌بردارن تحقیق پرداخته شده‌است. نتایج بررسی سن بهره‌برداران مورد مطالعه نشان‌داد که میانگین سن ۴۱/۳۴ سال و انحراف معیار آن ۱۴/۲۹ است. سن پاسخگویان بین ۲۱ تا ۸۲ سال، ۹۷/۴ درصد مرد ۲/۴۸ درصد و باقی زن بودند. ۱۰/۶ درصد از پاسخ‌دهندگان مجرد و ۸۹/۴ درصد متأهل، میانگین سابقه فعالیت کشاورزی بهره‌برداران مورد مطالعه ۲۷/۳۳ سال بوده است. تحصیلات از بی‌سواد تا کارشناسی ارشد و بالاتر، بیش‌ترین درصد فراوانی (۳۵/۳) مربوطه به سطح تحصیلات دیپلم و کم‌ترین فراوانی مربوط به سطح تحصیلی کارشناسی ارشد و بالاتر بوده است. نتایج این پژوهش درباره بخش ویژگی‌های حرفه‌ای و زراعی نشان‌داد که در نمونه مورد مطالعه، ۶۰/۰ درصد از پاسخ‌دهندگان با بیش‌ترین فراوانی، شغل اصلی کشاورزی و باقی دارای شغل اصلی کارمندی، دامپروری، بازنشسته و یا سایر شغل‌های اصلی بجز موارد تعیین‌شده بودند. در این نمونه آماری، ۵۱/۷ درصد از بهره‌برداران به فعالیت‌های کشاورزی، دامپروری، باغداری و گلخانه به‌عنوان شغل دوم مشغول هستند. وسعت اراضی تحت کشت از ۱ تا ۴۰ هکتار، ۵۷/۶ درصد با بیش‌ترین فراوانی دارای وسعت اراضی بین ۱ تا ۱۰ هکتار بودند. در خصوص میزان حقابه مالکیتی از ۱ تا بیش از ۵۰ لیتر، ۴۵/۹ درصد با بیش‌ترین فراوانی دارای ۱۱ تا ۲۰ ساعت بودند. میانگین میزان دبی با توجه به پاسخ‌ها ۲۳/۷۲ لیتر بر ثانیه، منابع آبی با بیش‌ترین درصد فراوانی ۷۰/۶ پساب فاضلاب، چاه شخصی و آب رودخانه بیان شده است. با توجه به کشت و کار سنتی اکثر بهره‌برداران، فراوان‌ترین شیوه آبیاری با درصد فراوانی ۵۲/۹ آبیاری غرقابی، آبیاری جوی و پشته‌ای ۳۴/۱ و کم‌ترین فراوانی مربوط به آبیاری قطره‌ای است. نتایج در خصوص ویژگی‌های اقتصادی نشان داد که با توجه به اینکه اکثر بهره‌برداران تحت پوشش شبکه ورامین با امید به تأمین آب توسط شبکه، چاه، رودخانه و نزولات جوی و یا امید به اخذ حقابه مازاد، بدون توجه به وضعیت آب‌های زیرزمینی دارای سه نوبت کشت در چهارفصل سال هستند لذا بیش‌ترین فراوانی ۴۸/۲ مربوط به درآمد تا ۱۰۰ میلیون تومان در سال اعلام شده است.

جهت رتبه‌بندی گویه‌های ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی از دیدگاه پاسخگویان، از شاخص ضریب تغییرات استفاده شده است. به‌منظور بررسی نقاط قوت در نمونه آماری مورد مطالعه، ۲۸ گویه، نقاط ضعف ۲۱ گویه، فرصت‌ها ۱۶ گویه و تهدیدها ۱۹ گویه طراحی و از بهره‌برداران و کارشناسان خواسته شد تا پاسخ‌های خود را در قالب طیف پنج گزینه‌ای لیکرت (از خیلی کم تا خیلی زیاد) بیان کنند. مدل SWOT، مدلی تحلیلی بر مبنای نقاط قوت و ضعف، تهدیدها و فرصت‌ها در هر موضوعی است. بدین‌صورت که در موضوع مورد نظر موارد ضعف و قوت، تهدید و فرصت احصاء شده و توسط گروه هدف براساس طیف لیکرت مورد سنجش قرار می‌گیرد. پس از دریافت ارزیابی‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری وزن نسبی، میانگین، انحراف معیار و سایر پارامترهای مورد نیاز محاسبه می‌شود. در نهایت وزن هر عامل با توجه به مجموع ارزیابی‌ها در هر مورد مشخص و اولویت‌های هر چهار عامل مشخص می‌گردد. در پایان بر اساس وزن کلی قوت، ضعف، فرصت و تهدیدها راهکارها و استراتژی‌هایی ارائه می‌گردد. در تحلیل نتایج هدف استفاده از قوت‌ها و فرصت‌ها در کاهش اثر ضعف‌ها و حذف تهدیدها است. معیار سنجش و درجه‌بندی هر یک از عوامل و معیارهای مدل موردنظر (SWOT) در مطالعه حاضر بدین‌صورت است که برای هر یک از متغیرها دامنه‌ای از یک (اهمیت خیلی‌کم) تا پنج (اهمیت خیلی زیاد) امتیازدهی شده‌است. سپس داده‌ها بر

حسب مجموع وزنی، وزن نسبی و امتیاز وزنی آن‌ها محاسبه‌شده و مجموع امتیاز نهایی هر متغیر ارائه‌شده است. در نهایت با مجموع امتیازهای متغیرهای مورد بررسی به وضعیت موجود از نظر عوامل داخلی و خارجی پرداخته شد (فال سلیمان و صادقی، ۱۳۹۲). جدول (۱) ماتریس عوامل داخلی (قوت، ضعف) و جدول (۲) ماتریس عوامل خارجی (تهدید و فرصت) از نگاه بهره‌برداران براساس رتبه‌بندی با ضریب تغییرات را نشان می‌دهد. ضریب تغییرات کم‌تر، دارای اهمیت بالاتر از دیدگاه پاسخ‌دهندگان است.

نتایج بررسی سن کارشناسان مورد مطالعه نشان داد که میانگین سن کارشناسان ۴۰/۰۸ سال و انحراف معیار آن ۶/۹۸ است. کم‌ترین سن ۳۰ و بیش‌ترین سن ۵۷ سال بوده است. ۸۰/۰ درصد از پاسخ‌دهندگان مرد ۲۰/۰ درصد زن، ۱۰/۰ درصد از پاسخ‌دهندگان مجرد و ۹۰/۰ درصد متأهل می‌باشند. بیش‌ترین درصد فراوانی ۴۵/۰ دارای سطح تحصیلی کارشناسی، ۳۵/۰ درصد دارای مدرک کارشناسی ارشد و ۲۰/۰ درصد سطح تحصیلی دکترا و بالاتر دارا هستند. رشته تحصیلی کارشناسان مورد مطالعه ۵۰ درصد دارای مدارک کارشناسی ارشد و دکترا در گرایش‌های آبیاری و زهکشی و مهندسی منابع آب، گرایش‌های باغبانی، محیط‌زیست، زمین‌شناسی و مهندسی عمران در ردیف بعد قرار دارند. کارشناسان در سازمان جهاد کشاورزی، آب‌منطقه‌ای و اداره آبیاری و حوزه‌های مرتبط مشغول فعالیت هستند که ۶۵/۰ درصد کارشناس بوده و ۲۰/۰ درصد از پاسخ‌دهندگان رئیس هیئت مدیره تشکل آب‌بران، مدیر امور آب و خاک جهاد کشاورزی، مدیر امور آب و اداره آبیاری و مدیرعامل شرکت مشاوره آبیاری و زهکشی می‌باشند. ۱۵/۰ درصد در سازمان‌های جهاد کشاورزی و آب‌منطقه‌ای در پست معاونت مشغول فعالیت هستند. یافته-های مربوط به سابقه فعالیت کشاورزی نشان می‌دهد که میانگین سابقه فعالیت در حوزه امور آب و کشاورزی کارشناسان مورد مطالعه ۱۷/۴۱ سال بوده، بیش‌ترین فراوانی سابقه فعالیت کشاورزی مربوط به رده ۲۰–۱۱ سال تعلق داشته است. جدول (۳) ماتریس عوامل داخلی (قوت و ضعف) و جدول (۴) ماتریس عوامل خارجی (تهدید و فرصت) از نگاه مدیران و کارشناسان براساس رتبه‌بندی با ضریب تغییرات را نشان می‌دهد. هرگویه که ضریب تغییرات کم‌تری دارد دارای اهمیت بالاتر از دیدگاه پاسخ-دهندگان است. در واقع هدف از تشریح این بخش شناسایی نقاط قوت و ضعف داخلی شبکه آبیاری و زهکشی و به-عبارتی بررسی عواملی است که در دستیابی به اهداف برنامه‌ریزی پیش‌برنده یا مساعد و یا بازدارنده یا نامساعد دارای تأثیری بیش‌تر می‌باشند. در این بخش عوامل داخلی به تفکیک عوامل اجتماعی، اقتصادی، فنی و فرهنگی و بر اساس رتبه به‌صورت نزولی ارائه شده‌است.

جدول ۱- ماتریس عوامل داخلی (نقاط قوت، ضعف) از نگاه بهره‌برداران

عوامل داخلی مؤثر بر ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی دشت ورامین

نقاط قوت (Strength)	وزن نسبی	امتیازوزنی	نقاط ضعف (Weakness)	وزن نسبی	امتیاز وزنی
S_1= وجود ظرفیت بالقوه و بالفعل در تولید، فرآوری، عرضه محصول کشاورزی، زراعی، باغی	۰/۰۴۷	۰/۱۸۶	W_1= عدم رعایت الگوی کشت و تناوب زراعی	۰/۰۵۵	۰/۲۱۹
S_2= مدیریت و رهبری به‌وسیله آب‌بران یا رهبران و نمایندگان آن‌ها	۰/۰۴۲	۰/۱۷۰	W_2= عدم آگاهی کشاورزان از هزینه احداث شبکه اصلی و فرعی آبیاری	۰/۰۵۴	۰/۲۱۶
S_3= کاهش تعداد سازه‌ها در مسیر انتقال و توزیع	۰/۰۴۲	۰/۱۶۹	W_3= کمبود آمار و اطلاعات در خصوص تشکل‌های آب‌بران	۰/۰۵۳	۰/۲۱۴
S_4= توان کارشناسی بالا در آموزش، ارائه دانش و آگاهی سیستم نوین آبیاری و مدیریت آبیاری	۰/۰۴۱	۰/۱۶۶	W_4= عدم توجیه بهره‌بردار نسبت به مزایای مشارکت در تشکل آب‌بران	۰/۰۵۳	۰/۲۱۱
S_5= ظرفیت مطالعاتی فنی و اجرایی منطقه، امکان گسترش روش نوین آبیاری و کشاورزی	۰/۰۳۹	۰/۱۵۴	W_5= شناخت کم اعضای تشکل‌ها از نظام مدیریت مشارکتی	۰/۰۵۱	۰/۲۰۶
S_6= مشارکت بهره‌برداران در فرآیند طراحی و اجرای پروژه نظیر انتخاب مسیر کانال و غیره	۰/۰۳۹	۰/۱۱۸	W_6= عدم توجیه بهره‌بردار نسبت به هزینه‌های مشارکت در تشکل آب‌بران	۰/۰۵۱	۰/۲۰۶
S_7= آگاهی و اطلاعات مناسب بهره‌برداران درزمینهٔ مسائل فنی	۰/۰۳۹	۰/۱۱۷	W_7= حضور کمرنگ بهره‌بردار در نیازسنجی تخصیص منابع آبی	۰/۰۵۱	۰/۱۵۴
S_8= جلب اعتماد بهره‌برداران نسبت به مسائل فنی در بسیاری از روستاها	۰/۰۳۹	۰/۱۱۶	W_8= عدم انجام فعالیت‌های تبلیغاتی و ترویجی در منطقه تحت پوشش طرح	۰/۰۵۱	۰/۱۵۲
S_9= سوق دادن نظرات و خواسته‌های کارشناسان در جهت خواسته‌های بهره‌برداران	۰/۰۳۹	۰/۱۱۶	W_9= کشت سنتی بسیاری از محصولات کشاورزی با نیاز آبی بالا	۰/۰۵۰	۰/۱۴۹
S_{10}= کاهش دیوانسالاری و مشکلات اداری در مسائل مدیریت به‌وسیله آب‌بران	۰/۰۳۷	۰/۱۱۱	W_{10}= مشخص نبودن قالب تشکل‌آب‌بران برای بهره‌بردار	۰/۰۴۵	۰/۱۴۹
S_{11}= اجرای نظام قیمت‌گذاری توسط تشکل آب‌بران مناسب با شرایط منطقه، آب‌بران و بهره‌برداران	۰/۰۳۷	۰/۱۱۰	W_{11}= فقدان ساز و کار هدایت برنامه جامع کشت سالانه (الگوی کشت)	۰/۰۴۹	۰/۱۴۷
S_{12}= مشارکت بهره‌برداران در وضع قوانین، تصمیم‌گیری، حل‌وفصل مسائل اجتماعی و آب	۰/۰۳۶	۰/۱۰۸	W_{12}= خرده مالکی شدید	۰/۰۴۹	۰/۱۴۷
S_{13}= بهره‌گیری از روش‌های علمی و مستندسازی در فرآیند انتقال آب	۰/۰۳۵	۰/۱۰۶	W_{13}= کارآمدی پایین تشکل کشاورزی آب‌بران و حمایت ناکافی آن‌ها	۰/۰۴۸	۰/۰۹۷
S_{14}= فرصت دادن و اعتماد به کارشناسان جوان و تحصیل‌کرده در اجرای پروژه	۰/۰۳۵	۰/۱۰۵	W_{14}= عدم آگاه‌سازی کشاورزان از وظایف تشکل‌های آب‌بران	۰/۰۴۶	۰/۰۹۱
S_{15}= ارائه الگوی کشت مناسب در دوران خشکسالی و ترسالی توسط تشکل آب‌بران	۰/۰۳۶	۰/۰۷۲	W_{15}= عدم نظارت کافی در بهره‌برداری اصولی از منابع آب توسط تشکل	۰/۰۴۵	۰/۰۹۰
S_{16}= ارائه اطلاعات کامل و جامع به بهره‌برداران و توجیه آنها نسبت به کاربرد تشکل آب‌بران	۰/۰۳۶	۰/۰۷۲	W_{16}= تاثیر ویژگی‌های فردی بهره‌بردار (سن بالا، سواد، توان جسمی، مالی کم)	۰/۰۴۵	۰/۰۹۰
S_{17}= استفاده از روش‌های جایگزین جهت انتقال آب نظیر کانال‌های پیش ساخته	۰/۰۳۳	۰/۰۶۷	W_{17}= عدم عینی‌سازی مزایای کانال مدرن و درک سودمندی برای بهره‌بردار	۰/۰۴۵	۰/۰۹۰
S_{18}= بستر لازم برای تدوین و توسعه الگوی کشت بهینه	۰/۰۳۳	۰/۰۶۷	W_{18}= ساخت نامناسب برخی کانال فرعی و عدم رضایت بهره‌بردار از آن	۰/۰۴۵	۰/۰۴۵
S_{19}- افزایش شناخت اعضای تشکل‌ها از نظام مدیریت مشارکتی	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	W_{19}-راندمان کم آبیاری و کاهش عملکرد محصول در واحد سطح	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲
S_{20}- بازدید از تشکل آب‌بران موفق در سایر مناطق	۰/۰۳۳	۰/۰۳۳	W_{20}- عدم توافق با بهره‌برداران بر سر مقاطع کانال فرعی در برخی روستاها	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱
S_{21}- تهیه و پخش فیلم آموزشی ازمناطقی که از کانال مدرن بهره‌برداری شده‌است	۰/۰۳۳	۰/۰۳۳	W_{21}- اجرایی نشدن کامل کانال‌های فرعی (درجه دو) انتقال آب	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷
S_{22}- بهره‌گیری از فرصت به دست آمده نظیر جشنها و اعیاد برای جلب مشارکت بهره‌برداران	۰/۰۳۲	۰/۰۳۲	**جمع کل**	**۱**	**۲/۷۷۹**
S_{23}- بروز کردن میزان حقابه بر اساس هکتار و الگوی کشت	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱			
S_{24}- بهره‌گیری از افراد بومی تحصیلکرده در رشته های مرتبط در کارگروه مطالعات و اجرا	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱			
S_{25}- اهمیت و توجه به مسائل پژوهشی در طراحی و اجرای مدیریت بهینه آب در شبکه آبیاری و زهکشی	۰/۰۳۰	۰/۰۳۰			
S_{26}-. اقدام جهت یکپارچه‌سازی اراضی	۰/۰۳۰	۰/۰۳۰			
S_{27}- بازدید از شبکه‌های آبرسانی مدرن که در سایر مناطق به بهره‌برداری رسیده	۰/۰۳۰	۰/۰۳۰			
S_{28} – انجام فعالیتهای ترویجی در مدارس جهت ارتقا آگاهی فرزندان که منجر به ارتقا آگاهی والدین میشود	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹			
جمع کل	**۱**	**۲/۴۴۴**			

جدول ۲- ماتریس عوامل خارجی (تهدید و فرصت) از نگاه بهره‌برداران

عوامل خارجی مؤثر بر ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی دشت ورامین

فرصت‌ها (Opportunityes)	**وزن نسبی**	**امتیاز وزنی**	**تهدیدها** (Threates)	**وزن نسبی**	**امتیاز وزنی**
O_1= تجربه و دانش بومی در بخش کشاورزی	۰/۰۷۹	۰/۳۱۵	T_1. عدم حمایت مالی از تشکل و عدم تناسب با شرح خدمات تعیین شده	۰/۰۶۱	۰/۲۴۲
O_2= قابلیت استفاده از آب‌های غیر متعارف کشاورزی	۰/۰۷۸	۰/۳۱۰	T_2. عدم تخصیص اعتبار برای گسترش و نوسازی شبکه‌های آبیاری فرعی	۰/۰۶۰	۰/۲۴۰
O_3= سهولت دسترسی به بازار فروش تهران، ری و استان همجوار	۰/۰۷۳	۰/۲۹۳	T_3. نوسانات اقتصادی مردم و عدم ارزشگذاری قیمت واقعی آب	۰/۰۵۹	۰/۲۳۶
O_4= حجم قابل توجه پساب فاضلاب تصفیه شده تهران و ری	۰/۰۷۳	۰/۲۹۲	T_4. وجود اراضی خرد و کوچک در روستاهای مسیر کانال	۰/۰۵۹	۰/۲۳۴
O_5= همجواری با پایتخت و استفاده از ظرفیت بالقوه و بالفعل عرضه محصولات به سراسر کشور	۰/۰۷۰	۰/۲۷۸	T_5. شکاف و فرونشت زمین و افزایش بیابانزایی با بهره‌برداری نامتعارف از لایه آبدار زمین	۰/۰۵۷	۰/۲۲۶
O_6= وجود اراضی مستعد کشاورزی	۰/۰۶۸	۰/۲۰۵	T_6. افت کمی و کیفی منابع آب و خاک (شوری خاک، املاح و افت کیفیت آب زیرزمینی)	۰/۰۵۷	۰/۲۲۶
O_7= وجود شبکه آبیاری و زهکشی ورامین با طراحی و زیرساخت مناسب	۰/۰۶۷	۰/۲۰۲	T_7. عدم هماهنگی سازمان های دولتی، جهاد کشاورزی، تشکل آب‌بران و بهره‌برداران در مدیریت منابع آب	۰/۰۵۶	۰/۱۶۸
O_8= بهره‌گیری از تجربیات سایر مشاورین فعال در منطقه	۰/۰۶۲	۰/۱۸۵	T_8. عدم استقبال شرکت بهره‌برداری و مدیران آب‌منطقه ای از واگذاری اختیارات به کشاورزان	۰/۰۵۴	۰/۱۶۳
O_9= افزایش روزافزون تقاضا برای محصولات کشاورزی و تغذیه سلامت	۰/۰۶۱	۰/۱۸۳	T_9. عدم حاکمیت و مدیریت آبیاری (عدم تحویل حجمی آب به بهره‌بردار)	۰/۰۵۳	۰/۱۶۰
O_{10}= آگاهی و اطلاعات مناسب فنی بهره‌برداران	۰/۰۵۹	۰/۱۷۸	T_{10}. خشکسالی پی‌درپی، پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی، سیل و..	۰/۰۵۳	۰/۱۵۹
O_{11}= نگاه مثبت و منطقی مسئولین و برنامه‌ریزان به بخش کشاورزی	۰/۰۵۹	۰/۱۱۷	T_{11}. مهاجرت به شهرهای اطراف (نبود برخی بهره‌برداران و نمایندگان در روستا)	۰/۰۵۲	۰/۱۰۵
O_{12}= برگزاری بازدید از تشکل‌های موفق آب‌بران در سایر مناطق	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	T_{12}. ناهماهنگی ارگان‌های مرتبط با بخش کشاورزی نظیر جهاد، آب منطقه¬ای	۰/۰۵۱	۰/۱۰۲
O_{13}= وجود پشتوانه‌های مالی و امکان استفاده از وام‌ها و تسهیلات	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	T_{13}. بدبینی کشاورزان به اجرای پروژه به دلیل عملی نشدن وعده‌های قبلی	۰/۰۵۰	۰/۱۰۱
O_{14}= حمایت مالی دولت از تشکل آب‌بران	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	T_{14}. عدم همکاری مناسب و کافی دهیار و شوراهای برخی روستاها	۰/۰۵۰	۰/۱۰۰
O_{15}= وجود مراکز آموزش عالی متعدد برای پرورش نیروی متخصص و کارشناس	۰/۰۴۵	۰/۰۴۵	T_{15}. آبرفتی و سبک بودن بافت خاک و ناپایدار بودن ساختمان خاک اراضی	۰/۰۴۹	۰/۰۹۸
O_{16}= تهیه و پخش فیلم‌های آموزشی فعالیت تشکل آب‌بران و کانال‌های مدرن	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	T_{16}. اقدامات نامطلوب ساخت کانال فرعی درگذشته و سلب اعتماد بهره‌بردار	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸
جمع کل	**۱**	**۲/۸۱۰**	T_{17}. وجود تعارض و اختلافات اجتماعی بین بهره‌برداران روستاهای مجاور و روستاییان	۰/۰۴۶	۰/۰۴۶
			T_{18}. تبدیل آب از مباحث فنی به مباحث سیاسی و اجتماعی در منطقه	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴
			T_{19}. برداشت غیرمجاز آب در طول کانال‌ها توسط کشاورزان	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲
			جمع کل	**۱**	**۲/۷۳۹**

جدول ۳- ماتریس عوامل داخلی (نقاط قوت، ضعف) از نگاه کارشناسان

عوامل داخلی مؤثر بر ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی دشت ورامین

نقاط قوت (Strength)	وزن نسبی	امتیاز وزنی	نقاط ضعف (Weakness)	وزن نسبی	امتیاز وزنی
S_1= ظرفیت مطالعاتی فنی و اجرایی منطقه و امکان گسترش روش نوین آبیاری و کشاورزی	۰/۰۵۰	۰/۲۰۱	W_1= کمبود آمار و اطلاعات در خصوص تشکل آب‌بران	۰/۰۹۶	۰/۳۸۳
S_2= کاهش دیوانسالاری و مشکلات اداری در مدیریت به‌وسیله آب‌بران	۰/۰۴۷	۰/۱۹۰	W_2= خرده مالکی شدید	۰/۰۵۴	۰/۱۶۱
S_3= مدیریت و رهبری به‌وسیله خود آب‌بران یا رهبران و نمایندگان	۰/۰۴۷	۰/۱۸۷	W3= عدم رعایت الگوی کشت و تناوب زراعی	۰/۰۵۲	۰/۱۵۷
S_4= مشارکت دادن بهره‌بردار در فرآیند طراحی و اجرای پروژه نظیر انتخاب مسیر کانال‌ها و غیره	۰/۰۴۴	۰/۱۷۸	W_4= عدم آگاهی کشاورزان از هزینه‌های احداث شبکه اصلی و فرعی آبیاری	۰/۰۵۲	۰/۱۵۷
S_5= وجود ظرفیت بالقوه و بالفعل درزمینه‌ٔ تولید، فرآوری عرضه محصول کشاورزی، زراعی، باغی	۰/۰۴۳	۰/۱۷۲	W_5= عدم آگاه‌سازی کشاورزان از وظایف تشکل‌های آب‌بران	۰/۰۴۹	۰/۱۴۶
S_6= ارائه اطلاعات کامل و جامع به بهره‌برداران و توجیه آن‌ها نسبت به کاربرد تشکل آب‌بران	۰/۰۴۲	۰/۱۲۷	W_6= شناخت کم اعضای تشکل‌ها از نظام مدیریت مشارکتی	۰/۰۴۹	۰/۱۴۶
S_7= سوق نظرات و خواسته کارشناسان در جهت خواسته بهره‌برداران	۰/۰۴۰	۰/۱۲۰	W_7= کشت سنتی محصولات کشاورزی با نیازآبی بالا	۰/۰۴۹	۰/۱۴۶
S_8= اجرای نظام قیمت‌گذاری توسط تشکل آب‌بران مناسب با شرایط منطقه، آب‌بر و بهره‌برداران	۰/۰۳۹	۰/۱۱۸	W_8= کارآمدی پایین تشکل کشاورزی، تشکل آب‌بران و حمایت ناکافی از آن‌ها	۰/۰۴۶	۰/۱۳۸
S_9= توان کارشناسی بالا در آموزش، ارائه دانش و آگاهی سیستم نوین آبیاری و مدیریت آبیاری	۰/۰۳۹	۰/۱۱۸	W_9= فقدان ساز و کار هدایت برنامه جامع کشت سالانه (الگوی کشت)	۰/۰۴۷	۰/۱۴۰
S_{10}= افزایش شناخت اعضای تشکل‌ها از نظام مدیریت مشارکتی	۰/۰۳۹	۰/۱۱۱	W_{10}= عدم توجیه بهره‌بردار نسبت به هزینه‌های مشارکت در تشکل آب‌بران	۰/۰۴۵	۰/۰۹۰
S_{11}= بهره‌گیری از روش‌های علمی و مستندسازی در فرآیند انتقال آب	۰/۰۳۶	۰/۱۰۹	W_{11}= عدم انجام فعالیت‌های تبلیغاتی و ترویجی در منطقه تحت پوشش طرح	۰/۰۴۵	۰/۰۹۰
S_{12}= بازدید از شبکه‌های آبرسانی مدرن که در سایر مناطق به بهره‌برداری رسیده است	۰/۰۳۶	۰/۰۷۱	W_{12}= عدم عینی‌سازی مزایای کانال مدرن و درک سودمندی برای بهره‌بردار	۰/۰۴۵	۰/۰۸۹
S_{13}= کاهش تعداد سازه‌ها در مسیر انتقال و توزیع	۰/۰۳۶	۰/۰۷۱	W_{13}= حضور کمرنگ بهره‌بردار در نیازسنجی و تخصیص منابع	۰/۰۴۵	۰/۰۹۰
S_{14}= بهره‌گیری از افراد بومی تحصیل‌کرده در رشته‌های مرتبط در کارگروه مطالعات و اجرا	۰/۰۳۶	۰/۰۷۱	W_{14}= عدم نظارت کافی در بهره‌برداری اصولی از منابع آب توسط تشکل آب‌بران	۰/۰۴۵	۰/۰۸۹
S_{15}= ارائه الگوی کشت مناسب در دوران خشکسالی و ترسالی توسط تشکل آب‌بران	۰/۰۳۵	۰/۰۷۰	W_{15}= عدم توجیه بهره‌بردار نسبت به مزایای دریافتی مشارکت در تشکل آب‌بران	۰/۰۴۴	۰/۰۸۸
S_{16}= بروز کردن میزان حقابه بر اساس هکتار و الگوی کشت	۰/۰۳۴	۰/۰۶۹	W_{16}= پایین بودن راندمان آبیاری و کاهش عملکرد محصول در واحد سطح	۰/۰۴۴	۰/۰۸۸
S_{17}= مشارکت بهره‌برداران در وضع قوانین، تصمیم‌گیری، حل و فصل مسائل اجتماعی و آب	۰/۰۳۴	۰/۰۶۹	W_{17}= مشخص نبودن قالب تشکل‌های آب‌بران برای بهره‌برداران، زارعان	۰/۰۴۱	۰/۰۸۳
S_{18}= فرصت دادن و اعتماد به کارشناسان جوان و تحصیل‌کرده در اجرای پروژه	۰/۰۳۴	۰/۰۶۷	W_{18}= عدم توافق با بهره‌برداران بر سر مقاطع کانال فرعی در برخی روستاها	۰/۰۴۱	۰/۰۸۱
S_{19}= استفاده از روش‌های جایگزین جهت انتقال آب (کانال پیش‌ساخته)	۰/۰۳۳	۰/۰۶۶	W_{19}= اجرایی نشدن کامل کانال‌های فرعی در انتقال آب	۰/۰۴۰	۰/۰۸۰
S_{20}= جلب اعتماد بهره‌برداران نسبت به مسائل فنی در بسیاری از روستاها	۰/۰۳۱	۰/۶۳	W_{20}= تأثیر ویژگی فردی بهره‌بردار (سن بالا، پایین بودن سواد، توان جسمی و مالی کم)	۰/۰۳۹	۰/۰۷۹
S_{21}= آگاهی و اطلاعات مناسب بهره‌برداران در زمینه مسائل فنی	۰/۰۳۰	۰/۰۶۰	W_{21}= ساخت نامناسب برخی کانال‌های فرعی و عدم رضایت بهره‌برداران از آن	۰/۰۳۳	۰/۰۳۳
S_{22}= برگزاری بازدید از تشکل‌های آب‌بران موفق در سایر مناطق	۰/۰۳۰	۰/۰۶۰	**جمع کل**	**۱**	**۲/۵۵۵**
S_{23}= اهمیت و توجه به مسائل پژوهشی در طراحی و اجرای مدیریت بهینه آب در شبکه	۰/۰۲۹	۰/۰۵۸			
S_{24}= تهیه و پخش فیلم‌آموزشی از کانال مدرن بهره‌برداری شده	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸			
S_{25}= بهره‌گیری از فرصت‌های به‌دست‌آمده نظیر جشن‌ها و اعیاد برای جلب مشارکت بهره‌برداران	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸			
S_{26}=. انجام فعالیت ترویجی در مدارس جهت ارتقا آگاهی فرزندان و ارتقا آگاهی والدین	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸			
S_{27}= اقدام جهت یکپارچه‌سازی اراضی	۰/۰۲۶	۰/۰۲۶			
S_{28}= بستر لازم برای تدوین و توسعه الگوی کشت بهینه	۰/۰۲۴	۰/۰۲۲			
جمع کل	**۱**	**۲/۵۶۶**			

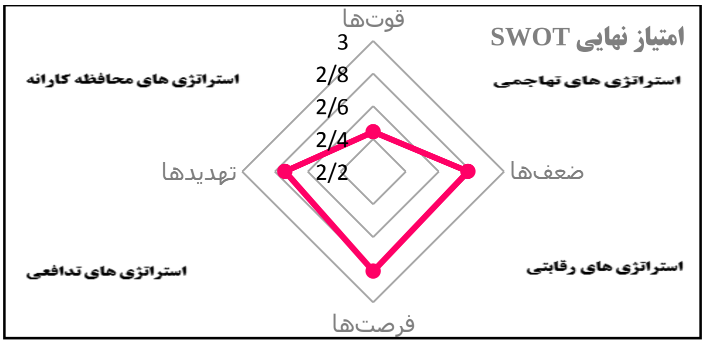
جدول ۴- ماتریس عوامل خارجی (تهدید و فرصت) از نگاه کارشناسان

عوامل خارجی مؤثر بر عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی ورامین

فرصت‌ها (Opportunityes)	وزن نسبی	امتیاز وزنی	تهدیدها (Threates)	وزن نسبی	امتیاز وزنی
O_1. وجود اراضی مستعد کشاورزی	۰/۰۷۵	۰/۳۰۰	T_1. عدم اعتبار برای گسترش و نوسازی کانال فرعی	۰/۰۶۲	۰/۲۴۹
O_2. دسترسی به بازار فروش تهران، ری و استان‌همجوار	۰/۰۷۴	۰/۲۹۶	T_2. فرونشت، افزایش بیابان‌زایی به علت بهره‌برداری نامتعارف	۰/۰۶۰	۰/۲۴۰
O_3. وجود شبکه ورامین با طراحی و زیرساخت مناسب	۰/۰۷۲	۰/۲۸۸	T_3. نوسانات اقتصادی، عدم ارزش‌گذاری قیمت واقعی آب	۰/۰۶۰	۰/۲۴۰
O_4. افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی سلامت	۰/۰۷۲	۰/۲۸۸	T_4. اختلافات اجتماعی بین بهره‌برداران روستاهای مجاور	۰/۰۵۸	۰/۱۷۵
O_5. همجواری با پایتخت و ظرفیت عرضه سراسر کشور	۰/۰۷۰	۰/۲۷۹	T_5. وجود اراضی خرد و کوچک در روستاهای مسیر کانال	۰/۰۵۸	۰/۱۷۳
O_6. حجم قابل توجه پساب فاضلاب تصفیه‌شده	۰/۰۶۹	۰/۲۷۵	T_6. تبدیل مبحث آب از مباحث فنی به سیاسی و اجتماعی	۰/۰۵۷	۰/۱۷۱
O_7. پشتوانه مالی و امکان استفاده از وام‌ها و تسهیلات	۰/۰۶۴	۰/۱۹۱	T_7. خشکسالی پی در پی پراکنش نامناسب زمانی و مکانی	۰/۰۵۶	۰/۱۶۸
O_8. تجربه و دانش بومی در بخش کشاورزی	۰/۰۶۳	۰/۱۸۸	T_8. عدم هماهنگی ارگان‌های مرتبط با بخش کشاورزی	۰/۰۵۶	۰/۱۶۸
O_9. قابلیت استفاده از آب‌های غیرمتعارف کشاورزی	۰/۰۶۰	۰/۱۲۱	T_9. عدم حمایت مالی از تشکل و تناسب با شرح خدمات	۰/۰۵۵	۰/۱۶۴
O_{10}. بهره از تجربیات سایر مشاورین فعال در منطقه	۰/۰۵۹	۰/۱۱۹	T_{10}. عدم هماهنگی سازمان‌های دولتی در مدیریت منابع آب	۰/۰۵۵	۰/۱۶۴
O_{11}. بازدید از تشکل‌های موفق آب‌بران در سایر مناطق	۰/۰۵۹	۰/۱۱۹	T_{11}. عدم استقبال شرکت بهره‌برداری از واگذاری اختیارات	۰/۰۵۲	۰/۱۵۷
O_{12}. آگاهی و اطلاعات مناسب فنی بهره‌برداران	۰/۰۵۷	۰/۱۱۵	T_{12}. بدبینی به اجرای پروژه به دلیل عملی نشدن وعده‌ها	۰/۰۵۲	۰/۱۰۳
O_{13}. نگاه مثبت و منطقی مسئولین به بخش کشاورزی	۰/۰۵۶	۰/۱۱۳	T_{13}. عدم همکاری مناسب و کافی دهیار و شورای روستا	۰/۰۵۱	۰/۱۰۲
O_{14}. مراکز آموزش عالی متعدد برای پرورش متخصص	۰/۰۵۱	۰/۰۵۱	T_{14}. عدم حضور برخی بهره‌برداران و نمایندگان در روستاها	۰/۰۴۹	۰/۰۹۷
O_{15}. تهیه و پخش فیلم‌آموزشی فعالیت تشکل‌آب‌بران	۰/۰۵۰	۰/۰۵۰	T_{15}. افت کمّی و کیفی منابع آب و خاک (شوری، املاح و..)	۰/۰۴۷	۰/۰۹۴
O_{16}. حمایت مالی دولت از تشکل آب‌بران	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	T_{16}. عدم حاکمیت، مدیریت آبیاری (عدم تحویل حجمی آب)	۰/۰۴۶	۰/۰۹۳
جمع کل	**۱**	**۲/۸۴۰**	T_{17}.اقدامات نامطلوب ساخت کانال فرعی در زمان‌های گذشته و سلب اعتماد بهره‌برداران	۰/۰۴۶	۰/۰۹۱
			T_{18}. آبرفتی و سبک بودن بافت خاک و ناپایدار بودن ساختمان خاک اراضی	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱
			T_{19}. برداشت غیرمجاز آب در طول کانال‌ها توسط کشاورزان	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰
			جمع کل	**۱**	**۲/۷۳۰**

جدول ۵- امتیاز نهایی SWOT ارزیابی عملکرد شبکه از نگاه بهره‌بردار

شاخص‌ها	امتیاز نهایی
قوت‌ها	۲/۴۴۴
ضعف‌ها	۲/۷۷۹
فرصت‌ها	۲/۸۱۰
تهدیدها	۲/۷۳۹



شکل ۲- بررسی تطبیقی SWOT از نگاه بهره‌بردار

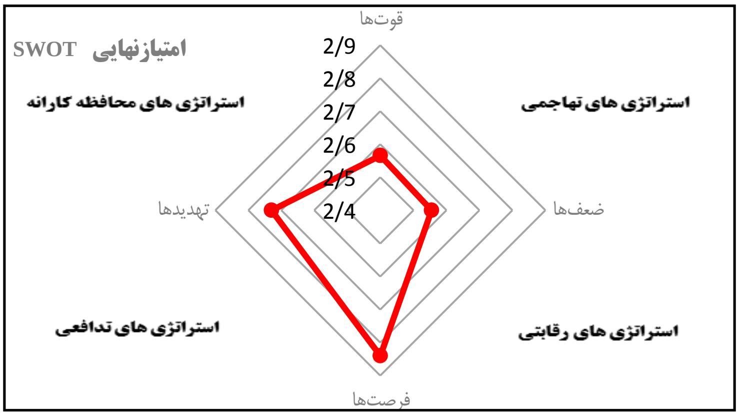
بحث

پس از محاسبه مجموع وزن‌های هریک از عوامل مربوط به نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها به‌منظور بررسی تطبیقی SWOT از وضع موجود ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی دشت ورامین و نیز ارائه استراتژی‌های مناسب، امتیاز نهایی آن‌ها مشخص گردید که نتیجه آن در جدول (۵) و شکل (۲) نتایج تطبیقی بهره‌برداران نمایش داده‌شده است.

در بررسی و تحلیل نتایج کارشناسان مشاهده شد کشیدگی نمودار با مجموع امتیاز وزنی ۲/۸۴۰ و ۲/۷۳۰ به ترتیب به سمت فرصت و تهدید میل دارد، با توجه به نقاط فرصت بالای منطقه چالش‌ها نیز قابل‌توجه است. لذا، لزوم توجه اساسی و برنامه‌ریزی ضربتی و جامع و مناسب جهت تبدیل ضعف‌ها و فرصت‌ها به نقاط قوت و از طرف دیگر کاهش تهدیدات و مقابله با آن‌ها بسیار ضروری است. در جدول (۶) و شکل (۳) نتایج تطبیقی کارشناسان را نشان می‌دهد.

جدول ۶- امتیاز نهایی SWOT ارزیابی عملکرد شبکه از نگاه کارشناسان

شاخص	امتیاز نهایی
قوت‌ها	۲/۵۶۶
ضعف‌ها	۲/۵۵۵
فرصت‌ها	۲/۸۴۰
تهدیدها	۲/۷۳۰



شکل ۳- بررسی تطبیقی SWOT از نگاه کارشناسان

مهم‌ترین نقاط قوت شبکه آبیاری و زهکشی دشت ورامین مدیریت و رهبری به‌وسیله خود آب‌بران یا رهبران و نمایندگان آن‌ها مطابق با نتیجه نجفی و همکاران (۱۳۹۱)، عدم تطابق با نتیجه شکری و همکاران (۱۳۹۳) و عطائی و ایزدی، ب (۱۳۹۳) و ظرفیت مطالعاتی فنی و اجرایی منطقه و امکان گسترش روش‌های نوین آبیاری و کشاورزی جزء پنج مورد نخست مشترک بین بهره‌برداران و کارشناسان مشاهده شد. البته این مهم از طریق نمایندگان آب روستاها انجام می‌پذیرد و عموم بهره‌برداران همین روش مرسوم چندین ساله را چیزی به‌عنوان تشکل آب‌بران دانسته و به آن پایبندند. در ادامه نظر بهره‌برداران بر وجود ظرفیت بالقوه و بالفعل در زمینه تولید، فرآوری و عرضه محصولات کشاورزی، زراعی و باغی (عبدالله‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱) و فال‌سلیمان و صادقی (۱۳۹۲)، به‌عنوان نخستین مورد، کاهش تعداد سازه‌ها در مسیر انتقال و توزیع و توان کارشناسی بالا در آموزش، ارائه دانش و آگاهی سامانه‌های نوین آبیاری و مدیریت آبیاری دیگر موارد حائز اهمیت تعیین‌شده درحالی‌که از نگاه کارشناسان، مدیران و مسئولان کاهش دیوان‌سالاری و مشکلات اداری در مسائل مدیریت به‌وسیله آب‌بران، مشارکت بهره‌برداران در فرآیند

طراحی و اجرای پروژه نظیر انتخاب مسیر کانال‌ها و غیره بیان‌شده که این نگاه متفاوت مسئولان و بهره‌بردارن را نشان می‌دهد، کاهش دیوان‌سالاری در بین نتایج آب‌بران دارای رتبه دهم و در بین مدیران رتبه دوم را دارد.

در بخش نقاط ضعف عدم رعایت الگوی کشت و تناوب زراعی به ترتیب رتبه اول و دوم را در بین آب‌بران و کارشناسان دارد که این نشان از درک متقابل این مسئله در هر دو گروه دارد، همچنین عدم آگاهی کشاورزان از هزینه‌های احداث شبکه‌های اصلی و فرعی آبیاری مطابق با نتیجه عبدالله‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱، دارای رتبه دوم و چهارم از نگاه بهره‌برداران و مدیران و مسئولان بیان‌شده، اینکه بهره‌بردار به‌عنوان مخاطب اصلی یک شبکه عظیم از تأسیسات فنی، ابنیه، نیروهای اجرای و تخصصی متوجه و مطلع باشد که هزینه مادی و معنوی قابل توجه صرف ایجاد، راه‌اندازی و نگهداری شبکه شده قابل اهمیت است ولی معمولاً بهره‌بردار خیلی به این امور آگاه نیست. کمبود آمار و اطلاعات در خصوص تشکل‌های آب‌بران در بین زارعان (رتبه سوم) و در بین کارشناسان رتبه اول را کسب کرده، این نشان از عدم وجود اطلاعات مشخص، مدون و قابل استناد در مورد تشکل آب‌بران است که در گفتگوهای حضوری مخصوصاً در جهاد کشاورزی ورامین مشهود بود. مورد بعدی شناخت کم اعضای تشکل‌ها از نظام مدیریت مشارکتی این مورد پر اهمیت در نتیجه نجفی و همکاران (۱۳۹۱) و شکری و همکاران (۱۳۹۳) و ناصری و درویشی (۱۳۹۴)، رتبه پنج در بین زارعان و رتبه ششم در بین مدیران را نشان می‌دهد، تعداد قلیلی از بهره‌برداران اطلاعات عمیق‌تر و گسترده‌تر درباره این موضوع داشتند، اغلب شرایط فعلی را نشان مدیریت مشارکتی و فعالیت تشکل می‌دانند. بررسی اجمالی اولویت‌های نقاط ضعف در بین مدیران و کارشناسان و آب‌بران و زارعان بیانگر این است که در این موارد نگاه مشترک و دقیق‌تری بین هر دو بخش وجود دارد و ضعف‌های عملکردی بر هر دو گروه عیان و اولویت‌ها نزدیک به هم است، در بخش زارعان عدم توجیه بهره‌بردار نسبت به هزینه‌ها و مزایای نظام مشارکتی، عدم رعایت الگوی کشت و تناوب زراعی، عدم توافق با بهره‌برداران بر سر مقاطع کانال فرعی در برخی روستاها مطابق با نتیجه عطائی و ایزدی، ب (۱۳۹۳) و اجلالی و همکاران (۱۳۸۷)، جزء اولویت‌های مهم ولی غیرمشترک مشاهده شده است.

بررسی فرصت‌های اولویت‌بندی شده در بین دو گروه عناوین مشترک در بین پنج اولویت ابتدایی سهولت دسترسی به بازار فروش تهران، ری و استان‌های همجوار، همجواری با پایتخت و استفاده از ظرفیت بالقوه و بالفعل عرضه محصولات به سراسر کشور، حجم قابل‌توجه پساب فاضلاب تصفیه‌شده کلان‌شهر تهران و ری مطابق با نتیجه فال‌سلیمان و صادقی (۱۳۹۲) را نشان می‌دهد. در بررسی تهدیدهای موجود ۴ عنوان از ۵ عنوان اولیه با رتبه‌های مختلف مشترک هستند که این نیز بیانگر نگاه نزدیک دو گروه به وضعیت موجود شبکه و دشت ورامین است. عدم تخصیص اعتبار برای گسترش و نوسازی شبکه‌های آبیاری فرعی (کانال‌های درجه ۳ و ۴) اولویت دوم در بین زارعان و اولویت نخست در بین کارشناسان را کسب کرده است. نوسانات اقتصادی مردم و عدم ارزش‌گذاری قیمت واقعی آب رتبه سوم در بین هر دو گروه، وجود اراضی خرد و کوچک در روستاهای مسیر کانال رتبه چهارم و پنجم به ترتیب میان بهره‌برداران و مسئولان، شکاف و فرونشت زمین و افزایش بیابان‌زایی در اثر بهره‌برداری نامتعارف از لایه‌های آبدار زمین مطابق با نتیجه زهتابیان و همکاران (۱۳۸۳) و ولی‌وند و کتیبه (۱۳۹۸)، اولویت پنجم در بین زارعان و اولویت دوم در بین کارشناسان را دارا است. اولویت نخست و حائز اهمیت از نگاه بهره‌بردارن شبکه، عدم حمایت مالی از تشکل‌ها و عدم تناسب با شرح خدمات تعیین‌شده ابراز شده است.

پس از تعیین عوامل درونی و بیرونی و ارزش هر عامل، راهبردها و استراتژی‌های مرتبط با هر بخش مشخص شد. راهبردها در چهار بخش جداگانه و به‌صورت ترکیبی از عوامل درونی و بیرونی است. استراتژی حداکثر_حداکثر که ترکیبی از نتایج نقاط قوت و فرصت‌ها است (SO)، نوع دوم راهبرد حداکثر_حداقل که ترکیب نتایج فرصت‌ها و

نقاط ضعف است (WO)، نوع سوم راهبرد حداقل–حداکثر که ترکیبی از نتایج نقاط قوت و تهدیدها است (ST)، راهبرد چهارم که ترکیبی از نقاط ضعف و تهدیدها راهبرد حداقل–حداقل (WT) می‌نامند.

راهبردهای رقابتی/تهاجمی با استفاده از نقاط قوت و فرصت‌ها (SO) از نگاه بهره‌برداران

۱- هدایت هدفمند بهره‌برداران بر اساس تجربه و دانش بومی زارعان و ذینفعان، جهت ایجاد ارزش افزوده و تبدیل ظرفیت‌های بالقوه به بالفعل جانبی درنتیجه ایجاد درآمد مضاعف در زمینه کاربری محصولات کشاورزی، زراعی و باغی

۲- همکاری مشترک نهادهای مسئول و ذینفع جهت سهولت شبکه‌سازی و ایجاد ساز و کار مناسب جهت اتصال بهره‌برداران و زارعان و باغداران به شبکه فروش در استان تهران و استان‌های همجوار جهت افزایش درآمدهای کشاورزی

۳- حمایت مدیران و مسئولان ارگان‌ها، سازمان‌ها و ادارات مرتبط با امور آب، آب‌منطقه‌ای، جهاد کشاورزی و...، از جریان مدیریت و رهبری به‌وسیله آب‌بران، رهبران و نمایندگان آن‌ها و زمینه‌سازی بهره‌مندی بهینه از آب‌های غیرمتعارف

راهبردهای تنوع با استفاده از تهدیدها و نقاط قوت (ST) از نگاه بهره‌برداران

۱- استفاده از راهکارهای انگیزشی به‌منظور مشارکت کشاورز و آب‌بران در خصوص اصلاح الگوی کشت و استفاده از دستورالعمل‌های به روز و علمی جهت کاهش اتلاف آب و استفاده از روش‌های نوین آبیاری و آبیاری پربازده

۲- اتخاذ سیاست‌های اجرایی به‌منظور استفاده از توان کارشناسی بالا در آموزش، ارائه دانش و آگاهی سامانه‌های نوین آبیاری و مدیریت آبیاری به فعالان حوزه در راستای مبارزه با خشکسالی و عوارض کاهش منابع زیرزمینی در منطقه

۳- انعقاد جلسات چندجانبه جهت رفع عدم هماهنگی میان سازمان‌های دولتی و بخش‌های مرتبط با مدیریت منابع آب

راهبردهای بازنگری نقاط ضعف و فرصت‌ها (WO) از نگاه بهره‌برداران

۱- افزایش تعامل مؤثر با آب‌بران و کشاورزان، ارائه دانش فنی مناسب به بهره‌برداران تحت پوشش شبکه در خصوص زیرساخت‌ها، هزینه‌های احداث، نگهداری و جلب اعتماد در کاربری مسئولانه و محافظت از تأسیسات شبکه

۲- برنامه‌ریزی تدوین و یکپارچه‌سازی اطلاعات مرتبط با تشکل آب‌بران و نه صرفاً اطلاعات نمایندگان آب در روستاها

۳- روش‌های تبلیغاتی متنوع جهت معرفی و آشنایی بیشتر با تشکل آب‌بران، اهداف، مزایا، هزینه مشارکت و امکانات

راهبردهای تدافعی با استفاده از تهدیدها و نقاط ضعف (WT) از نگاه بهره‌برداران

۱- افزایش فعالیت در امر تبلیغات با اختصاص بودجه به‌منظور توسعه امکانات اطلاع‌رسانی و افزایش آگاهی زارعان و کشاورزان در خصوص فعالیت تشکل‌های آب‌بران در سطح منطقه، استان و کشور

۲- اصلاح نهادهای مدیریتی، اتخاذ مدیریت تخصص محور و تعاملی جهت ارائه اطلاعات لازم در خصوص کمبود منابع آبی، وضعیت آب‌های زیرزمینی و تأثیرات فرونشست و شکاف، از بین رفتن اراضی، لزوم استفاده بهینه از منابع موجود

راهبردهای رقابتی/تهاجمی با استفاده از نقاط قوت و فرصت‌ها (SO) از نگاه کارشناسان

۱- تدوین برنامه‌های کاربردی با رویکرد اجتماعی و اقتصادی جهت استفاده بالفعل از ظرفیت مطالعاتی فنی و

اجرایی منطقه، دانش بومی و تجربی همراه با وجود اراضی مستعد در راستای ترویج و توسعه روش‌های نوین آبیاری
۲- کاهش دیوان‌سالاری و بروکراسی اداری در وزارتخانه-های مرتبط برای ایجاد انگیزه و بهره‌مندی کشاورزان و آب‌بران از تنوع حمایت‌های مالی و دریافت تسهیلات هدفمند انگیزشی
۳- اتخاذ استراتژی‌های کاربردی، رقابتی و انگیزشی در افزایش مشارکت داوطلبانه بهره‌برداران در طراحی و اجرای کانال‌های فرعی و کمک به توسعه شبکه آبیاری و زهکشی دشت ورامین در محدوده تحت پوشش

راهبردهای تنوع با استفاده از تهدیدها و نقاط قوت (ST) از نگاه کارشناسان

۱- استفاده از راهکارهای انگیزشی مادی و معنوی (ارائه تسهیلات مادی بلاعوض و یا بلندمدت، تسریع در صدور مجوزها، حمایت در نوسازی سیستم آبیاری، برخورداری از نهاده‌های اولیه با شرایط مطلوب)، در خصوص گسترش و نوسازی کانال‌های فرعی شبکه آبیاری
۲- افزایش مشارکت فعال کاربران شبکه و بهره‌گیری مستمر از روش‌های علمی نوین در فرآیند انتقال آب و آبیاری
۳- انعقاد تفاهم‌نامه ملی جهت رفع تعارضات و ناهماهنگی-های مخرب فرسایشی میان سازمان‌های دولتی، نهادها و ادارات مرتبط و مؤثر در حوزه سیاست‌گذاری و مدیریت آبیاری

راهبردهای بازنگری نقاط ضعف و فرصت‌ها (WO) از نگاه کارشناسان

۱- لزوم عینی‌سازی مزایای کانال‌های مدرن و درک سودمندی آن‌ها برای بهره‌برداران، برگزاری بازدید از تشکل‌های موفق آب‌بران با توجه به اطلاعات کم اعضای تشکل‌ها
۲- ایراد شیوه‌نامه‌های کاربردی با نگاه اقتصادی (ازجمله تسهیلات، وام) به‌منظور جایگزینی کشت سنتی محصولات با نیاز آبی بالا، آبیاری نوین محصولات مورد نیاز بازار
۳- بهره‌مندی از تبلیغات جهت ارائه آگاهی و اطلاعات مناسب در زمینه روش‌های نوین و پربازده آبیاری

راهبردهای تدافعی با استفاده از تهدیدها و نقاط ضعف (WT) از نگاه کارشناسان

۱- بازنگری در قوانین در خصوص اراضی کوچک، عدم رعایت برنامه جامع کشت سالانه و تناوب زراعی در منطقه
۲- به‌روزرسانی و یکپارچه‌سازی بانک آمار و اطلاعات - آب‌بران و رفع تناقض اطلاعات میان جهاد کشاورزی و آب‌منطقه‌ای
۳- لزوم بازنگری در سیاست نحوه ارائه اطلاعات و ارتقاء آگاهی بهره‌بردار نسبت به وظایف، مزایا و هزینه‌های مشارکت در تشکل آب‌بران با توجه به عدم حمایت مالی از تشکل‌ها، کارآمدی ناکافی آن‌ها و نوسانات اقتصادی
۴- لزوم بهره‌مندی از فعالیت‌های تبلیغاتی و ترویجی حقیقی و مجازی جهت رفع بدبینی و عدم مشارکت کشاورزان

نتیجه‌گیری

در تحلیل و بررسی تطبیقی نظرات بهره‌برداران توسط مدل تحلیل (SWOT) در امتیاز نهایی فرصت‌ها بالاتر نقاط قوت، ضعف و تهدیدها هستند که نشان از این دارد که بهتر است در حل مسائل، رفع نقاط ضعف و حذف تهدیدها از استراتژی‌های رقابتی و تدافعی بیشتر استفاده شود. در تحلیل نتایج بهره‌برداران مشاهده شد کشیدگی نمودار به سمت فرصت سپس ضعف میل دارد، با توجه به فرصت‌های قابل توجه منطقه‌ی مورد مطالعه، لیکن در زمینه‌های اجتماعی، فنی، اقتصادی و فرهنگی با ضعف‌ها و چالش‌های جدی مواجه است. لذا، لزوم توجه اساسی و برنامه‌ریزی ضربتی و جامع و مناسب جهت تبدیل ضعف‌ها و فرصت‌ها به نقاط قوت و از طرف دیگر کاهش تهدیدات و مقابله با آن‌ها بسیار ضروری است. در بررسی تطبیقی نظرات کارشناسان مانند نتایج بهره‌برداران در امتیاز نهایی فرصت‌ها بالاتر از تهدیدها، نقاط ضعف و قوت مشخص

گردید که این نشان از دیدگاه نزدیک به هم و امیدواری هر دو گروه به وجود فرصت‌ها و دیدن این فرصت‌ها است. در حل مسائل از نگاه کارشناسان و مدیران نیز اولویت با تعیین استراتژی‌های رقابتی و سپس تدافعی است. بررسی کلی پژوهش و تحلیل نتایج نشان می‌دهد که احتمالاً هرچه اطلاعات و آگاهی بهره‌بردار نسبت به مسائل و چالش‌های موجود در شبکه مانند اطلاعات در خصوص هزینه‌های ایجاد و نگهداری شبکه بیشتر و صحیح‌تر باشد، به‌جای مقابله، نگرش منفی و ناصحیح درباره امور آب، اداره آبیاری، جهاد کشاورزی و سایر ارگان‌ها و سازمان‌های مرتبط در عوض بهره‌بردار همراهی مسئولانه و دغدغه‌مندتری خواهد داشت، چه بسا در مسیر رفع تهدیدها ازجمله استفاده بی‌ملاحظه و غیرمسئولانه از منابع آبی زیرزمینی، درک شرایط کم‌آبی، حذف نقاط ضعف، تقویت نقاط قوت و فرصت‌ها (ترویج شیوه‌های نوین آبیاری و کشاورزی، نمایش تجربیات و بهره‌گیری از نمونه‌های موفق شبکه‌های آبیاری با مدیریت مشارکتی تشکل آب‌بران) مشتاقانه و مؤثرتر قدم بردارد. از سویی دیگر با آگاهی و اطلاع مدیران ستادی، اجرایی و کارشناسان نسبت به مسائل و مشکلات بهره‌بردار در انجام فرآیند اداری، معضلات عدم هماهنگی بین سازمان‌ها و ارگان‌های مرتبط حوزه آبیاری و کشاورزی، نگاه منفی به اقدامات و تصمیمات دولتی به علت مشاهده تجربه‌های ناموفق پیشین، مدیران ستادی و کارشناسان می‌توانند در تسهیل امور عادی و روزمره آب‌بران همچنین رفع نقاط ضعف (افزایش آگاهی در خصوص قالب تشکل آب‌بران، اهداف، امکانات، وظایف و اختیارات) و تهدیدهای با اهمیت از دید آن‌ها، اقداماتی راهگشا و اثرگذار در مسیر بهبود عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی دشت ورامین داشته باشند.

فهرست منابع

۱. اجلالی ف، حسن‌پور ر، و عسگری ا، ۱۳۸۷. سازمان‌دهی تشکل آب‌بران جهت مدیریت در نگهداری و بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی در پروژه مدیریت جامع آب و خاک البرز. پنجمین کارگاه ملی مشارکت آب‌بران در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران، ۲۶ دی ۱۳۸۷، باشگاه توانیر، تهران، ایران. صفحه ۱۴۴–۱۳۱.

۲. احسانی م، ۱۳۸۷. درس‌های آموزنده از تجارب انتقال مدیریت آبیاری. پنجمین کارگاه فنی مشارکت آب‌بران در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ایران، تهران، باشگاه توانیر. ۲۶دی۱۳۸۷. صفحه ۱۹–۳۵.

۳. اژدری س و هدایت ن، ۱۳۹۵. بررسی شاخص‌های عملکرد آبیاری در شبکه آبیاری و زهکشی دز کانال E4 منطقه شرق دز. همایش ملی آب و سازه‌ها هیدرولیکی، ۱۱اسفند ۱۳۹۵، دانشگاه آزاد، واحد دزفول، دزفول، ایران.

۴. امید م، اسکندری غ، شعبانعلی‌فمی ح و اکبری م، ۱۳۸۸. واکاوی مشکلات تشکل‌های آب‌بران در فرآیند انتقال مدیریت آبیاری مطالعه شبکه‌های تجن، مغان و ورامین. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۰ (۲): ۱۶۷–۱۷۵.

۵. بی‌نام، ۱۳۸۶.گروه کار ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری و زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. راهنمای عملی ارزیابی شبکه‌های آبیاری و زهکشی. ترجمه و تدوین. شماره ۱۰۳، ۲۶۳ صفحه.

۶. بی‌نام، ۱۳۹۸. گزارش فنی شبکه آبیاری و زهکشی ورامین. شرکت آبیاری آب منطقه‌ای پاکدشت، ۲۲ صفحه.

۷. بی‌نام، ۱۳۹۹. مروری بر مدل برنامه‌ریزی راهبردی (استراتژیک) SWOT. ۱۷ صفحه.

۸. پاسیار ف و منعم م ج، ۱۳۸۷. ارائه شاخص‌های تفکیکی ارزیابی عملکرد برای عوامل سازه‌ای و بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۹ (۱): ۱۵–۳۰.

۹. پژوهان ع، عمانی ا، و سلمان‌زاده س، ۱۳۹۵. تحلیل موانع مشارکت گندم‌کاران در زمینه تشکیل تشکل آب‌بران، شبکه آبیاری دز. فصلنامه راهبردهای توسعه روستایی. ۳ (۳): ۳۶۵–۳۷۸.

۱۰. حبیبی کندبن ع، کیهانی م، پرورش‌ریزی ع، و شیخ حسینی م، ۱۳۹۶. استفاده از شاخص‌های خارجی فرآیند ارزیابی سریع در شبکه آبیاری قزوین. مجله‌ی تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۸(۳): ۵۰۲–۴۹۱.

۱۱. حسین‌پور ز، منهاج م ح و کاوسی کلاشمی م، ۱۳۹۴. ارزیابی عوامل مؤثر بر مشارکت اعضای تعاونی آب‌بران در مدیریت منابع آب کشاورزی. مجله‌ی رشد و توسعه اقتصاد روستایی و کشاورزی، ویژه‌نامه فصلنامه پژوهش-های رشد و توسعه اقتصادی، ۱(۲): ۹۱–۱۰۴.

۱۲. حسینی ا، پناهی ف و داغستانی م، ۱۳۹۴. شناسایی عوامل مؤثر بر سطح مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، استان بوشهر. مجله‌ی پژوهش‌های ترویج و آموزش کشاورزی، ۸(۲): ۷۱–۸۵.

۱۳. زندرضوی س، ملکمیان ل، کامران ف، ضیایی ک و اخلاص‌پور ر، ۱۳۸۷. بررسی موانع عاملیتی مؤثر بر مشارکت سازمان‌یافته (مطالعه موردی تشکل‌های آب‌بران شهرستان بردسیر). مجله پژوهش اجتماعی، ۱(۱): ۹۹–۱۱۹.

۱۴. زهتابیان غ ر، رفیعی‌امام ع، علوی‌پناه ک و جعفری م، ۱۳۸۳. بررسی آب زیرزمینی دشت ورامین جهت استفاده از آبیاری اراضی کشاورزی. مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۸(۲):۱۰۲–۹۱.

۱۵. سیارایرانی ک، ۱۳۸۳. ضرورت اهمیت بهینه‌سازی مصرف آب کشاورزی و تغییر مدیریت تقسیم و توزیع آب از دولتی به خصوصی. گوهران‌کویر. مجموعه مقالات اولین همایش بررسی مشکلات شبکه‌های آبیاری و زهکشی و مصرف بهینه کشاورزی، ۹ و ۱۰ خرداد ۱۳۸۳. تهران، ایران. صفحه ۱۶۳–۱۵۹.

۱۶. سیدجواد م و مشعل م، ۱۳۹۳. ارزیابی شاخص‌های هیدرولیکی سازه‌ها نیرپیک (مورد مطالعه: شبکه آبیاری و زهکشی دشت ورامین). مجله مدیریت آب و آبیاری، ۲ (۴): ۲۲۹–۲۲۲.

۱۷. شکری ز، شاهنظری ع و ضیاء تباراحمدی م، ۱۳۹۳. شناسایی و تحلیل عوامل مؤثر بر موفقیت تشکل‌های آب‌بران در پروژه جامع آب و خاک البرز. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۱(۲۸): ۲۴۲–۲۵۰.

۱۸. عبدالله‌زاده غ، جهانگیر ل، محبوبی م و قزل ع، ۱۳۹۷. تأثیر الگوی مدیریت مشارکتی در بهره‌برداری بهینه آب در شهرستان آق‌قلا. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۳۲ (۱): ۱۳۱–۱۴۶.

۱۹. عربی ع و محبی م، ۱۳۸۷. فرآیند ایجاد تشکل‌های آب‌بران و چالش‌های مربوطه در شبکه آبیاری و زهکشی دشت عباس . پنجمین کارگاه ملی مشارکت آب‌بران در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران، ۲۶ دی ۱۳۸۷، باشگاه توانیر ، تهران، ایران. صفحه ۷۴–۵۳.

۲۰. عطائی پ و ایزدی ن، ۱۳۹۳.(الف) تحلیل مطالعات اجتماعی شبکه آبیاری و زهکشی بند فیض‌آباد در استان فارس. مجله پژوهش‌های ترویج و آموزش کشاورزی. ۷(۲): ۶۱–۸۲.

۲۱. عطائی پ و ایزدی ن، ۱۳۹۳.(ب) تحلیل مسئولیت‌های تشکل‌های آب‌بران و زمینه‌یابی موانع ایجاد آن از دیدگاه بهره‌برداران. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۴(۲۸): ۷۳۸–۸۴۹.

۲۲. فال‌سلیمان م و صادقی ح، ۱۳۹۲. تحلیل توانمندی‌های بخش کشاورزی استان خراسان جنوبی در راستای توسعه‌ی پایدار با استفاده از مدل SWOT. مجله جغرافیا و توسعه، ۳۰(۱):۱۳۹–۱۵۶.

۲۳. قربانیان م، فصیحی هرندی م و لیاقت ع، ۱۳۹۸. بانکداری اجتماعی آب، بازتعریف رژیم‌های حکمرانی آب. مجله‌ی تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵(۴): ۳۲۵–۳۳۷.

۲۴. مرتضی‌نژاد م، یعقوبی ج، ستوده‌نیا ع و داغستانی م، ۱۳۹۱. راه‌کارهای بهینه‌سازی مدیریت منابع آب در شبکه‌های آبیاری از دیدگاه آب‌بران (مطالعه‌ی موردی: شبکه آبیاری دشت قزوین). مجله‌ی مهندسی منابع آب، ۵(۱): ۶۹-۷۷.

۲۵. منتظر ع ا و پاشازاده ن، ۱۳۹۰. ارزیابی عملکرد توزیع آب در شرایط مختلف بهره‌برداری کانال اصلی غرب شبکه آبیاری با استفاده از مدل هیدرولیکی CANALMAN نشریه آب و خاک(علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۱): ۱۳۹-۱۲۵.

۲۶. ناصری س و درویشی ف، ۱۳۹۴. مدیریت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی (پژوهش موردی: شبکه آبیاری و زهکشی سلیمانشاه). کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، انجمن آبیاری و زهکشی، دوره ۱، ۱۳۹۴.

۲۷. نجفی ن، خسروی‌پور ب، غنیان م، برادران م و دحیماوی ع، ۱۳۹۱. شناسایی عوامل بازدارنده موفقیت تشکل‌های آب‌بران از دیدگاه بهره‌برداران حوزه‌های کرخه شمالی و جنوبی استان خوزستان. مجله پژوهش‌های روستایی، ۴ (۱): ۱۶۵-۱۸۸.

۲۸. نحوی‌نیا م ج، لیاقت ع و عباسی ف، ۱۳۹۸. ارزیابی شبکه آبیاری با مفاهیم کلاسیک و جدید راندمان آبیاری (مطالعه موردی: شبکه حمودی خوزستان). مجله‌ی تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۳، مرداد ۱۳۹۸، صفحه ۵۷۹-۵۶۷.

۲۹. ولی‌وند ف و کتیبه ه، ۱۳۹۸. ارزیابی اثرات کمی بلندمدت شرایط مدیریت و بهره‌برداری کنونی بر آبخوان دشت ورامین. نشریه‌ی پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۶(۲): ۲۵۱-۲۶۱.

30. Aryal, P., Rajouria, D. 2007. Equitable Distribution and Common Resources Management at Andhi Khola Irrigation System. The 4th Regional conference and 10th International seminar on Participatory Irrigation Management, 2-5 May. Tehran. Iran.

31. Gallego-Ayala, J., and Juízo, D. 2011. Strategic implementation of integrated water resources management in Mozambique: A'SWOT analysis, Physics and Chemistry of the Earth, 36 (14-15), 1103–1111

32. Kazbekova, J., Abdullaev, I., Manthrithilake, H., Qureshi, A. and Jumaboev, K. 2009. Evaluating planning and delivery performance of water user associations (WUAs) in Osh Province, Kyrgyzstan. Agriculture Water Management, 96 (8): 1259-1267.

33. Pék, É., Fert, I. and Alobid, M. 2019. Evaluating the Effect of Farmers' Participation in Irrigation Management on Farm Productivity and Profitability in the Mubuku Irrigation Scheme, Uganda. Journal of Water, 2019, 11: 1-18., 2413.

بررسی اثر سامانه‌های مختلف آبیاری و تیمارهای کنترل علف‌هرز بر وزن خشک علف‌های هرز و عملکرد کمی و کیفی نیشکر

محمود فضلی، احمد زارع[۱]، عبدالرضا سیاهپوش و الهام الهی فرد

دانش آموخته کارشناسی ارشد، علوم علف‌های هرز، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، باوی، ملاثانی، ایران.

fazlimahmood@yahoo.com

استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، باوی، ملاثانی، ایران.

ahmadzare@asnrukh.ac.ir

استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، باوی، ملاثانی، ایران.

siahpooshabdolreza@gmail.com

استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، باوی، ملاثانی، ایران.

e.elahifard@gmail.com

دریافت: بهمن ۱۴۰۰ و پذیرش: شهریور ۱۴۰۱

چکیده

به‌منظور بررسی اثر سامانه‌های مختلف آبیاری و تیمارهای مختلف کنترل علف‌هرز بر وزن خشک علف‌هرز و عملکرد کمی و کیفی نیشکر، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرده شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۹ در موسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر خوزستان انجام شد. پنج سامانه آبیاری، شامل آبیاری قطره‌ای سطحی (I0)، دو نوع آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با قطره‌چکان‌هایی با دبی ۲/۳ و ۳/۶ لیتر بر ساعت و فواصل ۵۰ و ۶۰ سانتی‌متری از یکدیگر (به ترتیب، I1 و I2)، آبیاری بارانی خطی (سامانه ماشین آبیاری با آبپاش‌های لپا I3) و آبیاری سطحی جویچه‌ای (روش آبیاری مرسوم، I4) به‌عنوان کرت اصلی و تیمارهای علف‌های‌هرز شامل بدون وجین در تمام دوره (W0)، کنترل یا وجین دستی در تمام دوره (W1) و کولتیواتور زدن (W2) بود. بالاترین و پایین‌ترین سطح میانگین عملکرد نی (به‌ترتیب، ۱۶۷ و ۱۱۷ تن بر هکتار) و عملکرد شکر (به‌ترتیب، ۱۸/۲۴ و ۱۲/۴۰ تن بر هکتار) به‌ترتیب در تیمارهای آبیاری I3 و I4 مشاهده شد. میانگین عملکرد نی و شکر در تیمار W0 به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمارهای W1 و W2 بود (با اختلاف ۱۸/۳۴٪ و ۱۸/۷۸٪ برای عملکرد نی و ۱۷/۸۴٪ و ۱۸/۸۵٪ برای عملکرد شکر). صفات کیفی محصول شامل بریکس، درصد ساکارز شربت، درصد خلوص شربت تحت تأثیر تیمارهای روش آبیاری و کنترل علف‌های هرز قرار نگرفت. وزن خشک کل علف‌های هرز در تیمارهای آبیاری I0 تا I4 در شرایط تیمار W0 به‌ترتیب ۹۰، ۷۸، ۴۷، ۴۳ و ۱۷۳ گرم بر مترمربع و برای تیمار W2 به‌ترتیب، ۳۰، ۲۳، ۱۶، ۱۵ و ۴۰ گرم بر مترمربع بود. نتایج نشان داد که در شرایط منطقه مطالعاتی، انتخاب سامانه آبیاری بارانی با آبپاش‌های لپا یا آبیاری قطره‌ای زیرسطحی همراه با کاربرد کولتیواتور در بازرویی اول (راتون اول)، منجر به صرفه جویی در آب کاربردی فصلی و کاهش رقابت علف‌های هرز در کشت نیشکر می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی، آبیاری جویچه‌ای، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، بریکس، مدیریت تلفیقی علف‌های‌هرز

[۱]– آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، باوی، ملاثانی، ایران.

مقدمه

عملکرد مطلوب گیاهان زراعی متأثر از عواملی چون ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک، کمیت و کیفیت آب قابل دسترس، توپوگرافی مزرعه و پدیده‌های آب و هوایی تنش‌زا برای گیاه است و جهت دستیابی به بهره‌وری مطلوب و ایجاد درآمد مثبت اراضی، نیازمند پرداخت هزینه‌های سرمایه‌گذاری است (داس سانتوس و همکاران، ۲۰۱۶). اگر ۴۰ درصد از کل تولید مواد غذایی تنها در ۲۰ درصد از مناطق آبی کشاورزی جهان تولید گردد، استفاده از آبیاری کامل برای پاسخگویی به تقاضای کشاورزی بایستی مورد توجه قرار گیرد (تورال و همکاران، ۲۰۱۰). افزایش ۶۰ درصدی اراضی آبی تا سال ۲۰۵۰ قابل پیش‌بینی است (الکساندراتوس و بروینسما، ۲۰۱۲). بر این اساس توسعه تکنیک‌هایی تخفیف اثرات زیست‌محیطی ناشی از این گسترش ضروری است. کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب بوده و از این‌رو، استفاده محتاطانه‌تر از آب در کشاورزی باید در اولویت اول قرار گیرد (سورندران و همکاران، ۲۰۱۴).

کمبود آب در سراسر جهان در حال افزایش است و انتظار می‌رود مشکل دسترسی به آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیشتر باشد (گارگ و همکاران، ۲۰۱۲). روش آبیاری غرقابی- سطحی در بیشتر اراضی جهان مورد استفاده است و راندمان کاربرد در سطح میدانی آن اغلب فقط ۵۰-۳۰ درصد است (سیواناپ پان، ۱۹۹۴؛ پوستال و همکاران، ۲۰۰۱). عملکرد محصول در برابر واحد حجم آب کاربردی، راندمان مصرف آب را نشان می‌دهد که در آبیاری مرسوم پایین است (سورندران و موروگاپ پان، ۲۰۱۰؛ جایاکومار و همکاران، ۲۰۱۴).

نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) با سطح زیرکشتی در حدود ۲۷/۳ میلیون هکتار در بیش از ۹۰ کشور جهان کشت می‌شود (وانگ و همکاران، ۲۰۲۰). این گیاه یک محصول مهم در سطح جهانی است که علاوه بر تولید شکر، یکی از گزینه‌های قابل‌توجه برای تولید انرژی زیستی شناخته‌شده است (گاناراتنا و همکاران، ۲۰۱۸؛ سورندران و همکاران، ۲۰۱۶a). در کشور ما سطح زیرکشت نیشکر در حدود ۸۷ هزار هکتار با میانگین عملکرد ۸۹ تن بر هکتار گزارش شده است (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۹).

آب قابل دسترس گیاه طی فصل رشد یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید نیشکر در سراسر جهان است. یک همبستگی مثبت قوی بین سرعت رشد و میزان رطوبت بهینه خاک در نیشکر وجود دارد (دینگر و گورانتی وار،۲۰۲۱). با توجه به رشد رویشی گیاه نیشکر، ۸۹ درصد از سطح زیرکشت به‌صورت کشت آبی است. در این رابطه، بهبود بهره‌وری آب نیشکر از اهمیتی ویژه برخوردار است. چرا که کشت نیشکر مستلزم اشغال زمین برای حدود ۱۰ تا ۱۸ ماه بوده و برآورده شدن نیاز آبی گیاه از اهمیت زیادی در تحقق عملکرد پتانسیل گیاه برخوردار است (سورندران و همکاران،b ۲۰۱۶). نیشکر تا حدودی تنش رطوبتی را تحمل می‌کند، اما به آبیاری خوب پاسخ می‌دهد (اینمان بامبر و اسکمیت، ۲۰۰۵). همچنین، نیشکر گیاهی حساس تا نیمه‌حساس به شوری است و میزان تحمل به شوری در واریته‌های مختلف با هم کمی متفاوت است.

رشد جمعیت، تغییر عادات مصرف و افزایش تقاضا برای آب در بخش‌های مختلف، استحصال منابع آبی را افزایش داده است. این امر توسعه و بهبود فناوری‌هایی که علاوه بر تضمین تولید غذا به تأمین نیازهای آب بخش‌های مختلف جامعه نیز کمک کنند را ضروری ساخته است. استفاده منطقی از آب در کشاورزی با مدیریت مناسب به‌منظور افزایش بهره‌وری و تأمین نیازهای اساسی مردم باید هدف اصلی برنامه‌های توسعه کشاورزی باشد، به همین دلیل، استفاده از روش‌های پیشرفته آبیاری تحت‌فشار می‌تواند یکی از راه‌حل‌های کاهش آثار مشکل کم‌آبی به‌حساب آید (بلالی و ویاگی، ۲۰۱۵).

تأثیر سامانه‌های مختلف آبیاری بر محصولات مختلف مانند سیر (قنبری و همکاران، ۲۰۱۳؛ سانکارا و همکاران، ۲۰۰۸)، گوجه‌فرنگی (ال-قباری و همکاران، ۲۰۱۵؛ سینگهند هوپ و همکاران، ۲۰۰۳) ذرت (وان دونک و همکاران، ۲۰۱۳)، سیب زمینی (فیریرا و کار، ۲۰۰۲)، کدو

(اوکاشا و همکاران، ۲۰۲۰)، نیشکر (وانگ و همکاران، ۲۰۲۰؛ رامیش و همکاران، ۱۹۹۴؛ گاناراتنا و همکاران، ۲۰۱۸؛ زنگنه یوسف‌آبادی و همکاران، ۱۴۰۰) و برنج (جیالی و همکاران، ۲۰۱۴) مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج آن‌ها حاکی از آن است که سامانه‌های نوین نسبت به روش آبیاری مرسوم منجر به افزایش بهره‌وری آب و افزایش عملکرد می‌گردد.

یکی دیگر از عوامل محدودکننده رشد نیشکر حضور علف‌های‌هرز است. به‌گونه‌ای که بر اساس بررسی‌های صورت گرفته در کشورهای هندوستان، اندونزی، فیلیپین، سودان و اتیوپی، این عامل از سهم قابل توجهی (۱۶ تا ۹۶ درصد) در افت عملکرد نیشکر برخوردار بوده است (یوریفو و همکاران، ۲۰۱۲). محیط رشد نیشکر نیازمند دمای بالا، آبیاری متعدد، فاصله ردیف کشت زیاد (۱/۴۵ متر) و کاربرد کودهای شیمیایی است. فراهم بودن همه شرایط فوق منجر به رقابت علف‌های‌هرز با نیشکر به‌ویژه قبل از بسته شدن پوشش گیاهی نیشکر می‌گردد. در مدیریت تلفیقی علف‌های‌هرز، استفاده از روش‌های آبیاری مناسب به‌عنوان ابزاری در جهت افزایش توان رقابتی گیاه زراعی و کاهش ماده خشک تولیدی علف‌های‌هرز به‌شمار می‌آید؛ بنابراین، هدف از انجام این پژوهش ارزیابی اثر سامانه‌های مختلف آبیاری و تیمارهای مختلف کنترل علف‌های هرز بر ماده خشک علف‌های هرز، عملکرد و اجزای عملکرد نیشکر است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۹ در مزارع ایستگاه تحقیقاتی موسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر خوزستان با موقعیت جغرافیایی ۴۸ درجه طول شرقی و ۳۰ درجه عرض شمالی و در ارتفاع ۷/۶۳ متری از سطح دریا اجرا شد.

شکل ۱- محل انجام آزمایش در موسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر خوزستان

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت-پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. کرت اصلی سامانه‌های مختلف آبیاری شامل آبیاری قطره‌ای سطحی (نواری-تیپ) با فاصله ۵۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها (I0)،۲- آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با دبی ۲/۳ لیتر بر ساعت و فاصله ۵۰ سانتی‌متر قطره‌چکان‌ها (I1)،۳- آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با دبی ۳/۶ لیتر بر ساعت و فاصله ۶۰ سانتی‌متری قطره‌چکان‌ها (I2)، ۴- آبیاری بارانی خطی یا لینیر (Linear) (سامانه ماشین

آبیاری با آبپاش‌های لپا[2]) (I3) ۵- آبیاری جویچه‌ای (روش مرسوم) (I4) بود. همچنین، کرت فرعی شامل تیمارهای شاهد با علف‌هرز در تمام فصل رشد (W0)، وجین کامل علف‌های هرز برای تمام فصل رشد (W1) و کاربرد کولتیواتور پنجه‌غازی دستی (۱۵ اردیبهشت‌ماه و ۲۰ خردادماه)، به فاصله زمانی ۳۵ روز دو مرتبه در فصل رشد (کولتیواسیون، W2) بود. در تیمار شاهد با علف‌هرز در تمام دوره (W0) اجازه رشد و رقابت علف‌های هرز با نیشکر در تمام فصل رشد داده شد و هیچ‌گونه کنترل علف هرزی انجام نگردید. در مقابل در تیمار وجین کامل علف-های هرز برای تمام فصل رشد (W1) وجین علف‌های هرز به‌صورت هفتگی تا آخر فصل رشد انجام گردید، بدین گونه که علف‌های هرز از سطح خاک قطع شدند. پیش از آزمایش، به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از نقاط مختلف مزرعه و در اعماق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ نمونه‌برداری شد (جدول ۱).

در هر دو سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مطالعاتی، لوله‌های آبده در عمق ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک نصب شدند.

منبع تأمین آب، کانال اصلی کشت و صنعت نیشکر حکیم فارابی بود که از طریق ایستگاه پمپاژ به محل مزارع مطالعاتی منتقل شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری در جدول ۲ ارائه شده است. میزان آب مورد استفاده در دوره رشد نیشکر در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی (I0)، قطره‌ای زیرسطحی با دبی ۲/۳ و ۳/۶ لیتر بر ساعت (I1 و I2) به‌ترتیب ۱۹۰۹۴ مترمکعب بر هکتار، سامانه آبیاری بارانی (I3) ۱۸۳۰۰ مترمکعب بر هکتار و در آبیاری سطحی جویچه‌ای (I4) ۲۴۳۰۰ مترمکعب بر هکتار بود.

قابل‌ذکر است در آبیاری قطره‌ای سطحی، زیرسطحی (دو دبی ۲/۳ و ۳/۶ لیتر بر ساعت) و آبیاری بارانی به‌منظور تأمین نیاز آبی به‌صورت روزانه و در آبیاری سطحی جویچه‌ای در شرایط حداکثر رشد نیشکر و در ماه-های تیر تا شهریور به‌صورت هفتگی بود. مزارع مورد مطالعه مجهز به زهکش زیرزمینی جهت تخلیه زه‌آب بودند. واریته نیشکر کشت‌شده در مزارع مطالعاتی رقم CP69-1062 بود که از ارقام میان‌رس متمایل به زودرس نیشکر محسوب می‌شود.

آماده‌سازی زمین بر اساس روش مرسوم در شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی که شامل آبیاری اولیه، زیرشکنی به عمق ۹۰ سانتی‌متر، دیسک، تسطیح لیزری و ایجاد جویچه‌ها و کشت با تراکم حدود چهار قلمه ۵۰ سانتی‌متری در هر مترمربع انجام شد. این عملیات در سال اول کشت (پلنت) صورت گرفته و در سال‌های بعدی، بعد از برداشت محصول فقط عملیات بازرویی و احیا جوی و پشته انجام می‌گیرد.

آزمایش مورد نظر شامل ۴۵ کرت آزمایشی بود. هر کرت آزمایشی با مساحت ۳۶/۶ مترمربع، مشتمل بر چهار جویچه (با طول ۵ متر و فواصل ۱۸۳ سانتی‌متری) در نظر گرفته شد. کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس نتایج تجزیه خاک، شامل ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار اوره ۴۶ درصد و به همین مقدار سوپرفسفات‌تریپل ۴۶ درصد بود.

کود اوره در سه و چهار ماه بعد از رشد (اواخر فروردین تا اواسط مردادماه) از طریق کودآبیاری تقسیط شده و کود سوپرفسفات تریپل در زمان کشت به-صورت خاکی به کار برده شد. در بازرویی اول (سال دوم-راتون)، فصل آبیاری بازه زمانی از اول فروردین تا آخر مهرماه را در بر گرفت. در تاریخ ۱۳۹۹/۰۹/۰۱ عملیات برداشت صورت گرفت. مشخصات داده‌های هواشناسی در دوره رشد نیشکر در جدول ۳ ارائه‌شده است. در زمان رسیدگی از هر کرت آزمایشی، ۲۰ ساقه نیشکر از دو جویچه وسط به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری شد و صفات کمی نیشکر، شامل ارتفاع ساقه، تعداد میان‌گره، طول و قطر میان‌گره وسط ساقه و عملکرد نی اندازه‌گیری شد.

[2] -Low Energy Precision Application (LEPA)

در زمان رسیدگی (آذرماه) از هر کرت آزمایشی ۲۰ ساقه نیشکر از دو جویچه وسط به‌صورت تصادفی انتخاب و پس از آسیاب و عصاره‌گیری برای تعیین صفات کیفی نیشکر، شامل درصد شربت، درصد ساکارز شربت نی[3]، درصد ماده جامد محلول قندی[4]، درصد خلوص شربت نی[5] (PTY)، درصد عملکرد شکر[6] (Yield) و درصد استحصال شکر سفید[7] (R.S) اندازه‌گیری شد.

به‌منظور تعیین وزن خشک علف‌های هرز (اول مهرماه)، با استفاده از یک کوادرات در هر کرت، علف‌های هرز از سطح خاک قطع و پس از قرارگیری در آون، خشک و با ترازوی دیجیتال توزین شدند. کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام و بـرای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) در سطح پنج درصد استفاده گردید.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایش در عمق‌های مختلف خاک

	عمق - نمونه‌برداری(cm)	EC (dS/m)	pH	بافت خاک	کاتیون‌ها(meq/l)				نسبت جذبی سدیم
					Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	
عمق خاک	۰-۳۰	۲/۳۱	۷/۹۲	لوم رسی سیلتی	۵۱/۳	۱۱/۰۹	۱۱/۵۲	۰/۱۸	۱۵/۳۰
	۳۰-۶۰	۴/۹۹	۷/۴۰	لوم رسی سیلتی	۳۵/۶	۷/۸۲	۸/۰۴	۰/۱۲	۱۲/۶۴

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری

EC dS/m	pH	TDS mg/1	TH meq/l	Na	Ca^{2+}	Mg^{+2}	K^+
۲/۵	۷/۵	۱۷۹۳	۵۳۱	۱۳/۹	۳/۸	۵/۱	۰/۰۸

جدول ۳- میانگین ماهانه متغیرهای هواشناسی منطقه مورد مطالعه در سال زراعی ۱۳۹۹

	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
دمای حداکثر (سانتی‌گراد)	۳۶/۱	۴۴/۰	۴۵/۴	۴۵/۳	۴۳/۳	۳۸/۳	۳۲/۷	۲۳/۸
دمای حداقل (سانتی‌گراد)	۱۹/۷	۲۴/۴	۲۵/۶	۲۶/۷	۲۴/۱	۱۸/۳	۱۳/۵	۱۱/۸
بارندگی (میلی‌متر)	۱/۴	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۶۲/۷	۱۲۷/۶
تبخیر از تشت (میلی‌متر)	۳۲۵/۲	۴۷۳/۹	۴۲۹/۳	۴۱۰/۲	۲۹۷/۴	۲۱۸/۲	۱۳۳/۱	۵۴/۴

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس تیمارهای مختلف بر صفات کمی نیشکر نشان داد که اثر تکرار بر تمام صفات نیشکر معنی‌دار نبود. اثر سامانه‌های مختلف آبیاری (کرت اصلی) بر صفات ارتفاع نیشکر، تعداد میان‌گره، طول میان‌گره وسط ساقه در سطح احتمال یک درصد و بر قطر ساقه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). اثر تیمارهای مختلف علف‌های‌هرز (کرت فرعی) نیز نشان داد که بر صفات ارتفاع نیشکر و تعداد میان‌گره ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و بر صفات طول و قطر میان‌گره ساقه معنی‌دار نبود. همچنین اثرات متقابل برای تمامی صفات نیشکر معنی‌دار نبود (جدول ۴).

3 -POL
4- Cor.Brix
5-Purity(PTY)
6-Yield
7- Recorvery Sugar (R.S)

جدول ۴- تجزیه واریانس تیمارهای مختلف بر صفات کمی نیشکر

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع نیشکر	تعداد میان‌گره	طول میان‌گره	قطر ساقه
تکرار	۲	۲۹۱/۹ ns	۰/۶ ns	۹/۱ ns	۰/۹ ns
سامانه‌های آبیاری	۴	۷۰۶۶/۸**	۱۰/۲**	۹۰/۴**	۶/۴*
خطای کرت اصلی	۸	۱۱۱۳/۸	۵/۵	۴/۲	۱/۹ n
تیمار مدیریت علف‌هرز	۲	۲۸۳۳/۴**	۸/۹**	۱/۴ ns	۱/۱ ns
اثرات متقابل	۸	۲۳۰/۸ ns	۱/۳ ns	۱/۶ ns	۰/۷ ns
خطا	۲۰	۲۸۵/۹	۱/۰	۴/۱	۱/۸
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۵	۵/۹	۱۲/۷	۷/۳

ns، * و ** به‌ترتیب، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار، سطح معنی‌داری پنج و یک درصد است

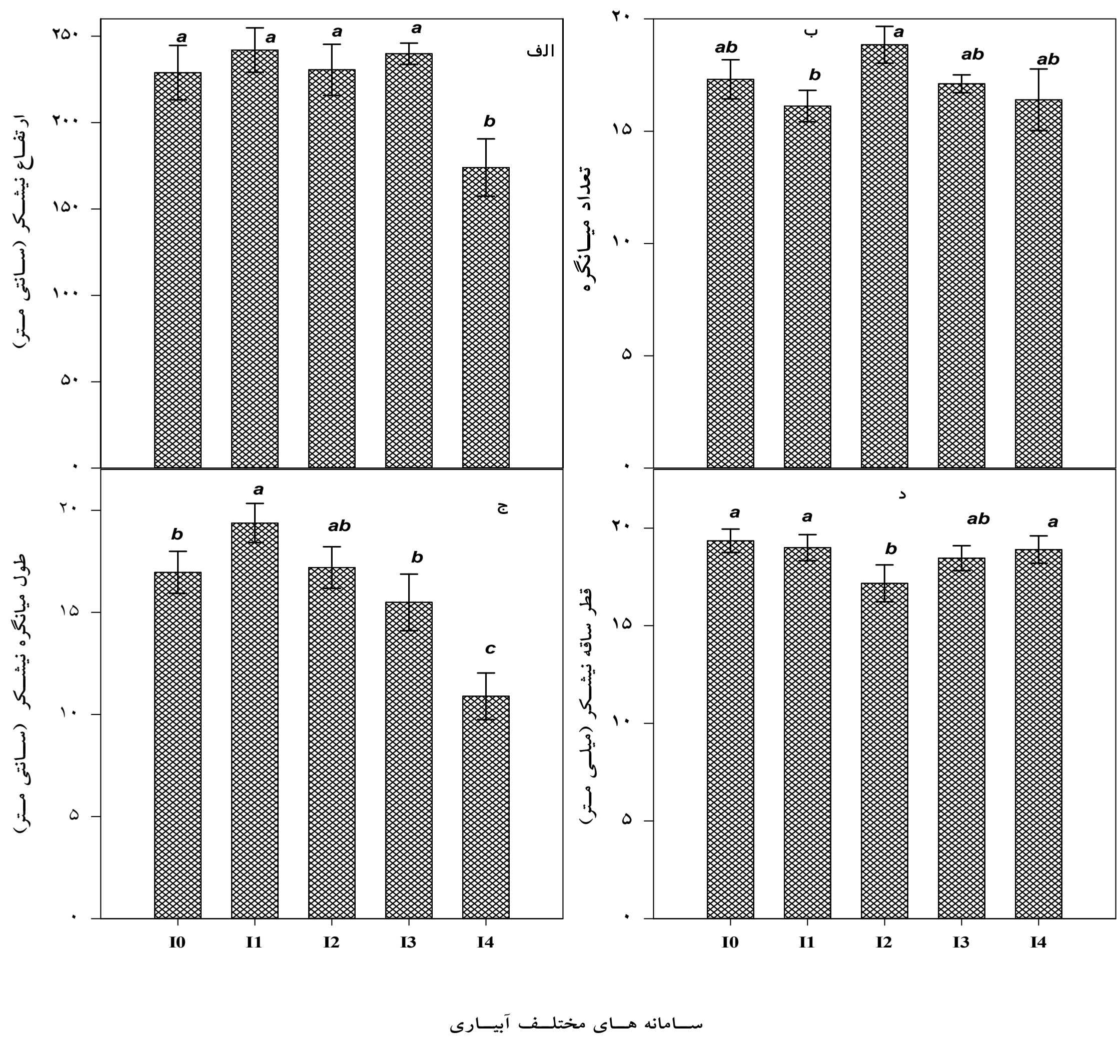
نتایج مقایسه میانگین ارتفاع ساقه نیشکر در سامانه‌های مختلف آبیاری نشان داد که بیشترین و کمترین ارتفاع ساقه نیشکر به‌ترتیب متعلق به تیمارهای آبیاری I1 (۲۴۱ سانتی‌متر) و I4 (۱۷۳ سانتی‌متر) بود (شکل ۲–الف) و بین این دو تیمار از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید. همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که ارتفاع ساقه نیشکر در تیمارهای آبیاری I3، I2 و I0 اختلاف معنی‌داری نداشتند و در یک گروه قرار گرفتند و تنها تیمار I4 با سایر روش‌های آبیاری اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۲–الف). میانگین ارتفاع نیشکر در تیمارهای I3 و I0 به‌ترتیب ۲۳۹ و ۲۲۸ سانتی‌متر به‌دست آمد. نتایج مقایسه میانگین تعداد میان‌گره ساقه نیشکر در سامانه‌های آبیاری مورد بررسی نشان داد بیشترین تعداد میان‌گره ساقه در تیمار I1 (۱۸/۸) و کمترین تعداد میان‌گره در تیمار I2 (۱۶/۱) مشاهده شد و از اختلاف معنی‌داری با یکدیگر برخوردار بودند.

بین تیمارهای آبیاری I3، I0 و I4 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۲–ب). مقایسه میانگین طول میان‌گره نیشکر نشان داد که بیشترین طول میان‌گره مربوط به تیمار آبیاری I1 بود که با تیمار I2 اختلاف معنی‌داری نداشت و در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۲–ج). بعد از این دو تیمار آبیاری، بیشترین طول میان‌گره مربوط به تیمار I0 بود که با تیمار I3 اختلاف معنی‌داری نداشت و در یک گروه قرار گرفتند. همچنین، بین تیمار آبیاری I2 با تیمار I0 از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و در یک گروه قرار گرفتند. کمترین طول میان‌گره نیشکر مربوط به آبیاری I4 بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. نتایج مقایسه میانگین قطر میان‌گره ساقه نیشکر در سامانه‌های مورد بررسی نشان داد بیشترین مقدار این ویژگی در تیمار آبیاری I0 (۱۹/۳ میلی‌متر) مشاهده شد که با تیمارهای آبیاری I1، I3 و I4 اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین قطر میان‌گره ساقه در تیمار I2 (۱۷/۲ میلی‌متر) بود (شکل ۲–د).

در افزایش عملکرد نی، ارتفاع نیشکر به‌عنوان مهم‌ترین عامل در نظر گرفته می‌شود (احسانی‌پور و همکاران، ۱۳۹۸). با افزایش ارتفاع پوشش گیاهی، این احتمال وجود دارد که قطر ساقه نیز کاهش یابد (امامی بیستگانی و همکاران، ۱۳۹۱). در مقایسه با سایر تیمارهای آبیاری مطالعاتی، تعداد میان‌گره در تیمار آبیاری I1 به کمترین مقدار و متقابلاً طول میان‌گره به بیشترین مقدار خود رسید. این امر حاکی آز آن است که با کاهش تعداد میان‌گره، طول میان‌گره افزایش می‌یابد. میزان مصرف آب و نیاز مراحل رشد گیاه با تهویه مناسب و مطلوب خاک منجر به تقسیم سلولی سریع‌تر و طویل شدن سلول می‌گردد (اولیور و سینگلز، ۲۰۱۲؛ کومار و همکاران، ۲۰۱۴)؛ بنابراین، شرایط مناسب دسترسی گیاه به آب و تهویه مناسب خاک می‌تواند منجر به افزایش صفات رشدی نیشکر به مانند ارتفاع گیاه شود.

نتایج پژوهش شینی دشتگل و همکاران (۱۳۹۸) نشان داد که در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی عواملی نظیر یکنواختی توزیع رطوبت، عدم ایجاد رواناب، حذف تبخیر سطحی و توسعه بیشتر ریشه نیشکر منجر به بهبود صفات

کمی و کیفی و افزایش ۲۵ درصدی عملکرد نیشکر شد. همچنین، نتایج پژوهش کوموات و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که ارتفاع نیشکر در آبیاری قطره‌ای (۱۷۴ سانتی‌متر) نسبت به آبیاری سطحی (۱۶۹ سانتی‌متر) بیشتر بود؛ بنابراین، شرایط مطلوب تأمین نیاز آبی نیشکر در طول دوره رشد گیاه بر صفات کمی نیشکر تأثیرگذار است.



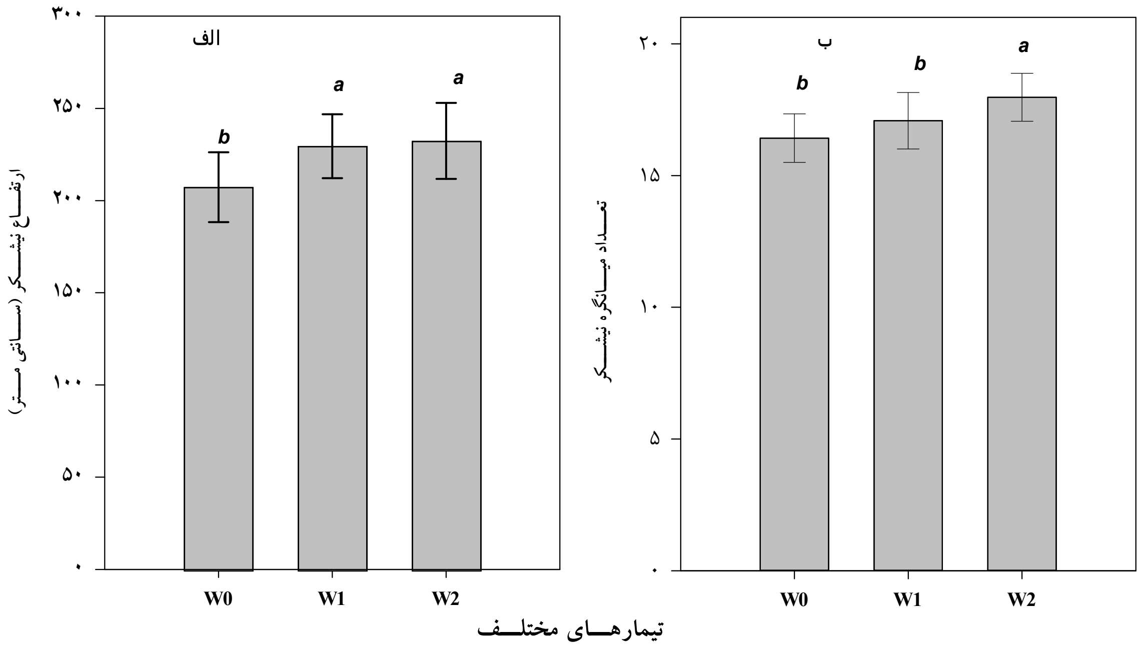
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف روش آبیاری بر ارتفاع نیشکر (الف)، تعداد میانگره (ب)، طول میانگره (ج) و قطر ساقه نیشکر (د)

حروف متفاوت، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است

مقایسه میانگین ارتفاع ساقه نیشکر در تیمارهای مختلف مدیریت علف‌های‌هرز نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار این ویژگی به‌ترتیب به تیمارهای W2 و W0 (به‌ترتیب، با ۲۳۲ و ۲۰۷ سانتی‌متر) تعلق داشت بین این دو تیمار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۳-الف). در شرایط تیمار W1 ارتفاع نیشکر به ۲۲۹ سانتی‌متر رسید. نتایج نشان داد که در شرایط تداخل علف‌های هرز به‌ویژه حضور علف‌های هرز در اوایل فصل رشد می‌تواند بر میزان ارتفاع نیشکر تأثیرگذار باشد. رشد علف‌های هرز چهارکربنه به مانند سوروف، حلفه و طحله می‌تواند بر میزان جذب عناصر غذایی تأثیرگذار باشد، چرا که علف‌های هرز چهارکربنه در جذب منابع می‌توانند

موفق‌تر باشند و با جذب عناصرغذایی و ایجاد رقابت و سایه‌اندازی در اوایل رشد بر میزان رشد تأثیرگذار است (بلک شاو و همکاران، ۲۰۰۳). ال شافی و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان دادند در شرایط عدم حضور علف‌های هرز افزایش معنی‌داری در ارتفاع ساقه نیشکر حاصل می‌شود.

بیشترین و کمترین میانگین تعداد میان‌گره به‌ترتیب، به تیمارهای W2 (۱۷/۹ میان‌گره) و W0 (۱۶/۴ میان‌گره) تعلق داشت. بین تیمار W0 و W1 از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۳- ب).



شکل ۳- مقایسه میانگین تیمارهای مختلف مدیریت علف‌های هرز بر ارتفاع نیشکر (الف) و تعداد میانگره نیشکر (ب)
حروف متفاوت، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد

عملکرد کیفی نیشکر

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمارهای مورد بررسی سامانه‌های آبیاری و مدیریت علف‌هرز بر هیچ یک از صفات کیفی مورد بررسی معنی‌دار نبود (جدول ۵). پژوهش سورندران و همکاران (۲۰۱۶a) نیز نشان داد که اثر سامانه‌های مختلف آبیاری (شامل روش قطره‌ای، روش آبیاری سطحی جویچه‌ای با استفاده از سیفون و روش آبیاری سطحی غرقابی) بر خصوصیات کیفی نیشکر معنی‌دار نبود.

جدول ۵- تجزیه واریانس تیمارهای مختلف بر صفات کیفی نیشکر

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد ماده جامد محلول قندی	درصد ساکارز شربت	درصد خلوص شربت	درصد عملکرد شکر	درصد شکر استحصالی
تکرار	۲	۰/۱۴^{ns}	۰/۳۱^{ns}	۲/۵۴^{ns}	۰/۳۱^{ns}	۰/۲۱^{ns}
سامانه‌های آبیاری	۴	۰/۸۵^{ns}	۱/۲۹^{ns}	۸/۳۲^{ns}	۱/۱۸^{ns}	۰/۸۱^{ns}
خطای کرت اصلی	۸	۰/۷	۰/۸۹	۴/۱۴	۰/۷۴	۰/۵۱
تیمار مدیریت علف‌هرز	۲	۰/۰۷^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۱/۸۴^{ns}	۰/۱۸^{ns}	۰/۱۲^{ns}
اثرات متقابل	۸	۰/۵۵^{ns}	۰/۸۲^{ns}	۲/۰۲^{ns}	۰/۶۹^{ns}	۰/۴۷^{ns}
خطا	۲۰	۰/۳۴	۰/۴۶	۱/۳۹	۰/۳۷	۰/۲۵
ضریب تغییرات (درصد)		۲/۹۲	۳/۸۳	۱/۳۳	۴/۵۸	۴/۵۸

ns نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد

عملکرد نی، عملکرد شکر و وزن خشک علف‌های هرز

اثر ساده سامانه‌های آبیاری و تیمارهای مدیریت علف‌هرز بر عملکرد نی و شکر در سطح یک درصد معنی‌دار و اثرات متقابل معنی‌دار نبود (جدول ۶). برای صفت وزن خشک علف‌های هرز، اثر ساده و اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶).

جدول ۶- تجزیه واریانس تیمارهای مختلف بر صفات عملکرد نی، عملکرد شکر و وزن خشک علف‌های هرز

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد نی	عملکرد شکر	درجه آزادی	وزن خشک علف‌های هرز
تکرار	۲	$۳۴۶/۶۶^{ns}$	$۴/۵۸^{ns}$	۲	$۵۱۸/۱۲^{ns}$
سامانه‌های آبیاری	۴	$۶۵۷۷/۳۰^{**}$	$۳۱۷/۹۲^{**}$	۴	$۵۸۸۹/۴۷^{**}$
خطای کرت اصلی	۸	۴۱۸/۴۶	۶۰/۳۶	۸	۲۴۵/۵۳
تیمار مدیریت علف‌هرز	۲	$۳۵۷۴/۳۲^{**}$	$۸۵/۳۰^{**}$	۱	$۲۸۱۵۴/۸۵^{**}$
اثرات متقابل	۸	$۷۹/۹۹^{ns}$	$۴/۸۸^{ns}$	۴	$۲۶۸۷/۴۶^{**}$
خطا	۲۰	۱۶۲/۵۰	۲/۴۹	۱۰	۱۹۱/۴۸
ضریب تغییرات (درصد)		۹/۴۳	۱۰/۵۹		۲۴/۷۵

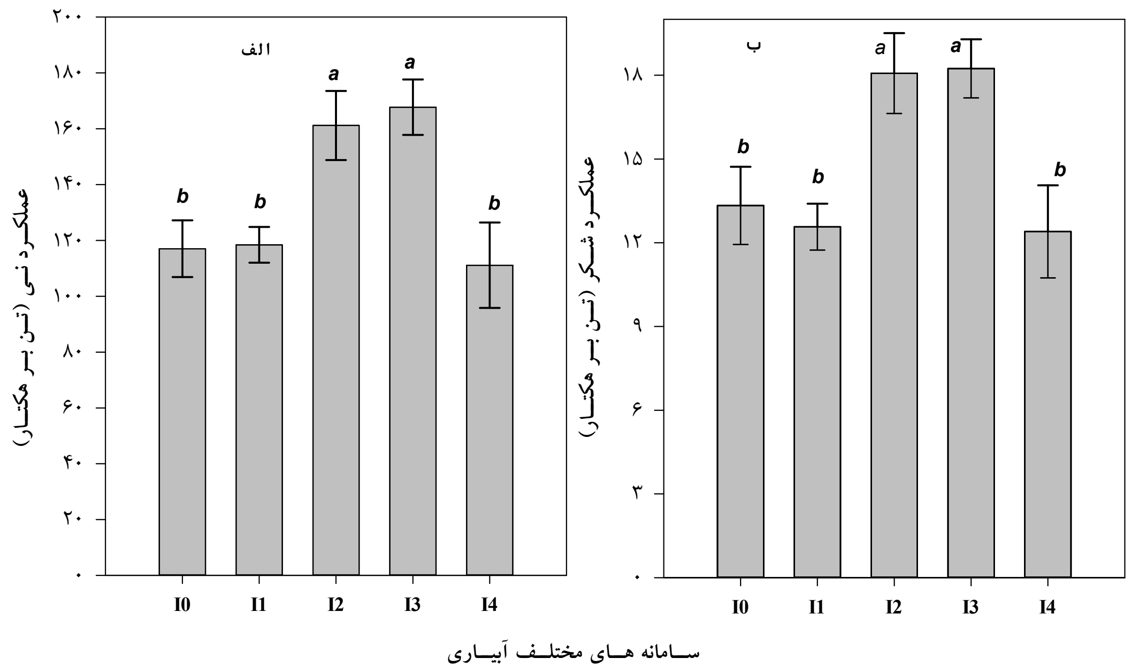
ns و ** به‌ترتیب، نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و سطح معنی‌داری یک درصد است

مقایسه میانگین عملکرد نی در سامانه‌های مختلف آبیاری نشان داد که بیشترین عملکرد نی مربوط به تیمار آبیاری I3 با ۱۶۶ تن بر هکتار بود و بعد از این تیمار بیشترین عملکرد نی مربوط به تیمار آبیاری I2 معادل ۱۶۱ تن بر هکتار بود (شکل ۴-الف). در شرایط تیمارهای آبیاری I0 و I1 عملکرد نی به‌ترتیب، ۱۱۷ و ۱۱۸ تن بر هکتار بود. کمترین عملکرد نی مربوط به آبیاری I0 معادل ۱۱۱ تن بر هکتار به‌دست آمد. نتایج نشان داد که بین سه تیمار آبیاری I0، I1 و I4 از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و در یک گروه قرار گرفتند. همچنین، بین دو تیمار آبیاری I3 و I2 نیز اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و در یک گروه قرار گرفتند. مقایسه میانگین عملکرد شکر نیز در سامانه‌های مختلف آبیاری نشان داد که تیمار آبیاری I3 نسبت به سایر سامانه‌ها اختلاف معنی‌داری داشت و بیشترین عملکرد شکر با ۱۸/۲۴ تن بر هکتار را به خود اختصاص داد. بعد از این تیمار بیشترین عملکرد شکر مربوط به تیمار آبیاری I2 به میزان ۱۸/۰۷ تن بر هکتار بود. بین دو تیمار آبیاری I3 و I2 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. کمترین عملکرد شکر مربوط به سامانه آبیاری I4 معادل ۱۲/۴۰ تن بر هکتار بود. در تیمار آبیاری I0 و I1 عملکرد شکر به‌ترتیب ۱۳/۳ و ۱۲/۵۷ تن بر هکتار به دست آمد (شکل ۴-ب). پژوهش سورندران و همکاران (۲۰۱۶a) نشان داد که اثر سامانه‌های مختلف آبیاری شامل روش قطره‌ای، آبیاری سطحی با سیفون و آبیاری سطحی غرقاب بر عملکرد نی معنی‌دار بود. در شرایط سامانه آبیاری غرقابی بیشترین عملکرد نی نیشکر در دو حالت راتون و پلنت به‌ترتیب، ۹۴ و ۹۲ تن بر هکتار گزارش شد، در حالی که در شرایط آبیاری قطره‌ای عملکرد نی به‌میزان ۱۱۸ و ۱۲۹ تن بر هکتار به‌دست آمد. به‌نظر می‌رسد در آبیاری جویچه‌ای با توجه به شرایط خاک مزرعه و بافت سنگین خاک، کاهش تهویه خاک منجر به کاهش رشد ریشه و جذب عناصر غذایی از اعماق مختلف خاک می‌گردد، از سوی دیگر، رشد علف‌های هرز نیز در این سامانه آبیاری افزایش یافته و منجر به کاهش رشد نیشکر خواهد شد.

نتایج گاوا و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که در شرایط آبیاری قطره‌ای نسبت به روش دیم در سه واریته نیشکر عملکرد شکر ۲۳ درصد افزایش یافت. همچنین، نتایج کومار و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که در شرایط آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری جویچه‌ای عملکرد شکر ۱۵ درصد بیشتر بود.

در پژوهشی به‌منظور ارزیابی اثر آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با فواصل مختلف کاشت (۱/۳، ۱/۵ و ۱/۸ متر)،

بر عملکرد و کیفیت ساکاروز قابل استحصال برای دو رقم آبی و دیم نشان داده شد که رقم آبی نسبت به رقم دیم حدود ۲۰ درصد افزایش عملکرد محصول داشت (سیلیا دی‌ماتوس و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین، میزان عملکرد ساکاروز قابل استحصال در دو بازرویی پایانی نیشکر با بقیه دوره‌ها اختلاف معنی‌داری نشان داد. در بازرویی دوم، آبیاری باعث بهبود درصد ماده جامد محلول قندی، درصد ساکارز شربت و عملکرد شکر قابل استحصال نسبت به رقم دیم شد (سیلیا دی‌ماتوس و همکاران، ۲۰۱۴).



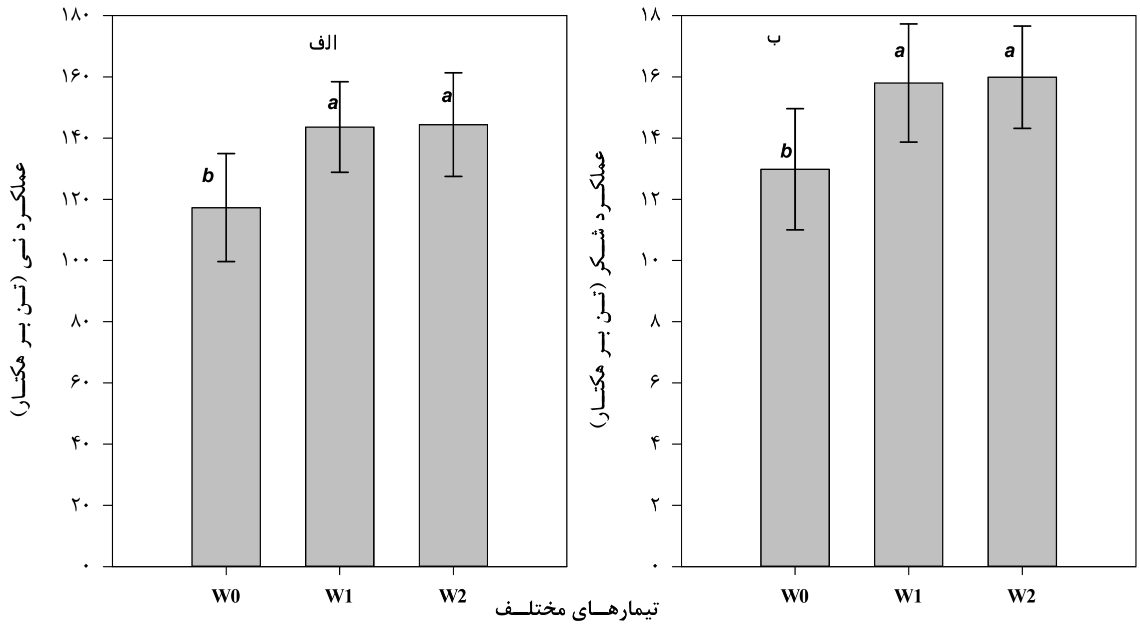
شکل ۴- مقایسه میانگین تیمارهای مختلف سامانه‌های آبیاری بر عملکرد نی نیشکر (الف) و عملکرد شکر (ب)

حروف متفاوت، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد

مقایسه میانگین تیمارهای مربوط به مدیریت علف‌های هرز نشان داد که بالاترین عملکرد نی مربوط به تیمار W2 (۱۴۴ تن بر هکتار) بود و با تیمار W1 (۱۴۳ تن بر هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت و در یک گروه قرار گرفتند. پایین‌ترین عملکرد نی مربوط به تیمار W0 (۱۱۷ تن بر هکتار) بود. بین دو تیمار W2 و W3 اختلاف معنی‌داری برای عملکرد نی وجود نداشت و در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۵-الف). همچنین، میانگین عملکرد شکر در شرایط تیمار W2 برابر با ۱۵/۹۹ تن بر هکتار بود و با تیمار W1 (۱۵/۸۰ تن بر هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت و در یک گروه قرار گرفتند. پایین‌ترین سطح عملکرد شکر مربوط به تیمار W0 (۱۲/۹۸ تن بر هکتار) بود (شکل ۵-ب). در شرایط W0 نسبت به تیمار W2 و W1، عملکرد شکر ۱۸ درصد کاهش داشت. با حضور علف‌های هرز به ویژه در دوره اول فصل اثرات سایه اندازی و محدودیت دسترسی گیاه به مواد مغذی و در نتیجه محدود شدن رشد نیشکر قابل انتظار می‌باشد.

نتایج پژوهش رضایی و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد که در شرایط حضور علف‌های هرز عملکرد نی برابر با ۷۶ تن بر هکتار و در شرایط وجین کامل در سراسر فصل رشد عملکرد نی ۹۳ تن بر هکتار بود. همچنین، در شرایط کاربرد کولتیواسیون و روتیواتور عملکرد نی نسبت به عدم اعمال کنترل مکانیکی علف‌های هرز اختلاف معنی‌داری را نشان داد. به طوری که در شرایط استفاده از کولتیواسیون و

روتیواتور عملکرد نی به‌ترتیب ۸۸ و ۸۹ تن بر هکتار بود و این پژوهشگران دلیل افزایش عملکرد در شرایط کولتیواسیون را کنترل موثرتر علف‌های هرز، سله‌شکنی و افزایش تهویه و نفوذپذیری خاک عنوان کردند.



شکل ۵- مقایسه میانگین تیمارهای مختلف مدیریت علف‌هرز بر عملکرد نی نیشکر (الف) و عملکرد شکر (ب)

حروف متفاوت، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد

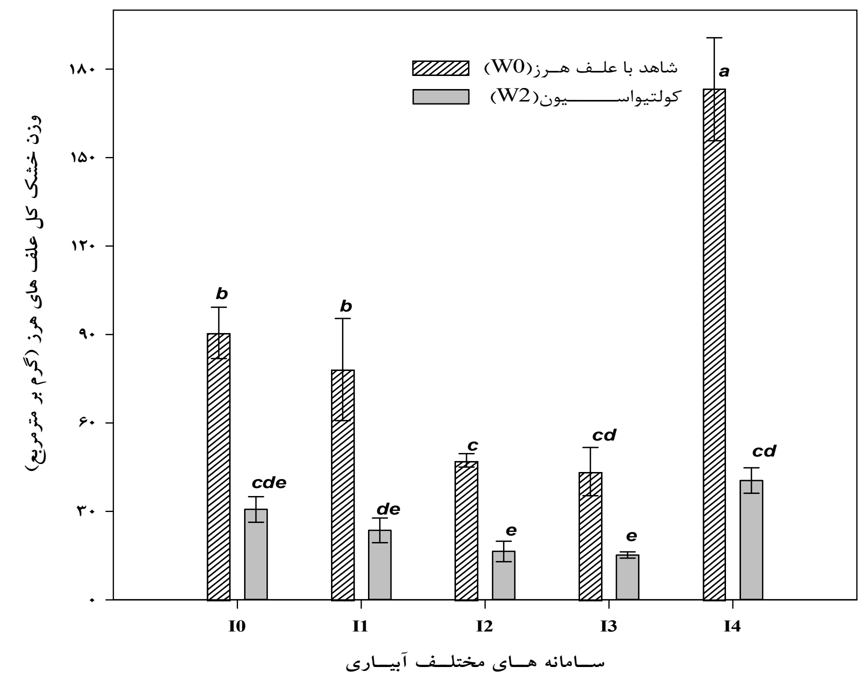
نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل وزن خشک کل علف‌های هرز نشان داد که در تیمار آبیاری I4 در شرایط W0 و تیمار آبیاری I4 در شرایط تیمار W2 با ۱۷۳/۲۱ و ۱۵/۱۹ گرم بر مترمربع به‌ترتیب، بالاترین و پایین‌ترین وزن خشک علف‌های هرز را به خود اختصاص دادند. مقایسه میانگین اثرات متقابل سامانه‌های مختلف آبیاری در دو تیمار W0 و W2 نشان داد که بالاترین میانگین وزن خشک علف‌های هرز در دو تیمار آبیاری I0 و I4 در شرایط تیمار W0 بود (شکل ۶). وزن خشک کل علف‌های هرز در تیمار W0 برای تیمارهای آبیای I0، I1، I2، I3 و I4 به‌ترتیب ۹۰، ۷۸، ۴۷، ۴۳ و ۱۷۳ گرم بر مترمربع و در تیمار W2 ۳۰، ۲۳، ۱۶، ۱۵ و ۴۰ گرم بر مترمربع بود.

به‌نظر می‌رسد در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌دلیل کاهش رطوبت در سطح خاک، جوانه‌زنی و سبزشدن علف‌های هرز کمتر بوده باشد و از طرف دیگر در شرایط آبیاری سطحی جویچه‌ای به دلیل عدم تصفیه فیزیکی آب آبیاری که یکی از منابع وارد شدن بذر علف-های هرز به مزرعه است، منجر به افزایش تعداد و وزن خشک علف‌های هرز شده است.

نتایج پژوهش سوتتون و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد که وزن خشک علف‌های هرز در دو سامانه آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای زیرسطحی در گوجه‌فرنگی متفاوت بود و در شرایط آبیاری قطره‌ای وزن خشک علف‌های هرز کمتر بود، به‌طوری که وزن خشک علف‌های هرز در دو سامانه آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای روی پشته به‌ترتیب ۵۹/۵ و ۳/۴ گرم (۹۴ درصد اختلاف) در سال ۲۰۰۳ و در سال ۲۰۰۴ به‌ترتیب، ۵۶/۱ و ۱۱/۳ گرم (۷۹ درصد اختلاف) بود. نتایج پژوهش قنبری و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که در شرایط آبیاری سطحی وزن خشک علف-های هرز ۳۵۰ گرم بر مترمربع و در شرایط آبیاری قطره‌ای ۹۰ گرم بر مترمربع (اختلاف ۷۵ درصدی) بود. اگر در

مرحله رشد کند نیشکر (ابتدای مرحله رشد نیشکر) با علف‌های هرز که رشد سریعی دارند مبارزه صورت نگیرد، پنجه‌زنی و رشد نیشکر تحت تأثیر رقابت با علف‌های هرز قرار خواهد گرفت (چاتا، ۲۰۰۴). حذف علف‌های‌هرز باعث افزایش عملکرد نی به میزان ۲۵-۲۰ درصد می‌گردد (خان و همکاران، ۲۰۰۴). ایرماک و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی یک روش مفید آبیاری است و کاهش رشد علف‌های‌هرز و بیماری‌ها، کاهش فرسایش خاک و افزایش کارآیی مصرف کود از مزایای این روش آبیاری می‌باشد. با عملیات کولتیواسیون به‌ویژه در مراحل اولیه رشد و سله‌شکنی، بخش عمده‌ای از علف‌های هرز ازبین رفته و رقابت علف‌های هرز با نیشکر کاهش خواهد یافت.

اتخاذ سامانه آبیاری مطلوب با تأثیر بر رشد علف‌های‌هرز به عنوان یک راهکار زراعی با کاهش رقابت بین علف‌هرز و گیاه زراعی و مهار بهتر علف‌های‌هرز می‌تواند نقش مهمی در افزایش تولید داشته باشد (زنگویی نژاد و کاظمینی، ۱۳۹۴).



شکل ۶- مقایسه میانگین سامانه‌های مختلف آبیاری و تیمارهای مدیریت علف‌هرز بر وزن خشک کل علف‌های‌هرز
حروف متفاوت، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد

نتیجه‌گیری

با توجه به نیاز نیشکر به آب و شرایط نزولات جوی و کاهش منابع آب در بخش کشاورزی استفاده ازسامانه‌های نوین می‌تواند در بهبود بهره‌وری آب کشاورزی مفید باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که در مقایسه با روش‌های آبیاری مرسوم، کاربرد روش‌های آبیاری بارانی و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی منجر به افزایش عملکرد نی (به‌ترتیب، به‌میزان ۵۰ و ۴۵ درصد)، عملکرد شکر (به‌ترتیب، به‌میزان ۴۷ و ۴۵ درصد)، کاهش وزن خشک علف‌های هرز (به‌ترتیب، به‌میزان ۷۲ و ۵۱ درصد) گردید؛ بنابراین، در مدیریت تلفیقی علف‌های هرز، اعمال برخی فن‌آوری‌های به‌زراعی نظیر تغییر روش آبیاری می-تواند مورد توجه قرار گیرد. از طرف دیگر، حضور علف-های هرز، به‌ویژه در مراحل اولیه رشد منجر به کاهش

عملکرد نی و شکر گردید و از این‌رو کنترل آنها در این مرحله از رشد گیاه حایز اهمیت بوده و به‌نظر می‌رسد با توجه به عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین کاربرد کولتیواسیون و تیمار شاهد بدون علف‌هرز در سراسر فصل رشد (وجین کامل) استفاده از کولتیواسیون می‌تواند مناسب‌تر باشد.

قابل ذکر است با توجه به تاثیر مثبت دو روش‌های آبیاری بارانی و زیرسطحی با دبی ۳/۶ لیتر بر ساعت بر وزن خشک علف‌های‌هرز، عملکرد و اجزای عملکرد در بازرویی (راتون اول نیشکر) جهت اطمینان از کارایی این روش‌های آبیاری در سایر بازرویی‌ها و همچنین کشت پلنت نیشکر مورد مطالعه و ارزیابی قرار گیرد. همچنین، با توجه به میزان شوری آب و عدم اندازه‌گیری شوری خاک در این مطالعه، کارایی سامانه‌های آبیاری به‌ویژه آبیاری بارانی بر میزان شوری خاک در سایر بازرویی‌ها بایستی مورد تحقیق قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان بابت تأمین اعتبار پایان نامه و موسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر خوزستان (مدیر عامل و معاونت کشاورزی موسسه، مدیریت آبیاری و زهکشی آقای دکتر شینی، کارشناسان بخش خانم دکتر زنگنه و آقای مهندس حمودی) تشکر و قدردانی می‌گردد.

فهرست منابع

۱. آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۹. سال زراعی ۹۹- . ۱۳۹۸. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. تهیه کننده‌گان: احمدی،ک.، عبادزاده، ح.ر.، حاتمی، ف.، محمدنیا افروزی، ش. جلد اول محصولات زراعی.

۲. احسانی پور، ع.، عباس دخت ح.، قلی پور، م. و ابدالی مشهدی، ع.ر. ۱۳۹۸. ارزیابی بهره‌وری آب و برخی صفات کمی و کیفی نیشکر درکشت مخلوط با لگوم. مجله به زراعی کشاورزی .۲۱(۳):۲۳۳-۲۴۶.

۳. امامی بیستگانی، ز.، سیادت، س.ع.، بخشنده، ع. عالمی سعید، خ. و شیر اسماعیلی، غ. ح. ۱۳۹۳. اثر تراکم بوته بر عملکرد دانه و صفات زراعی در چهار رقم جدید آفتابگردان. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی.۲۷(۱۰۳).۶۹-۷۵

۴. زنگویی نژاد، ر. و کاظمینی، س.ع. ۱۳۹۴. اثر نیتروژن و تداخل علف‌های هرز بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در دو سامانه آبیاری غرقابی و قطره‌ای. فصلنامه مطالعات حفاظت گیاهان، ۲۹(۳): ۳۶۵ – ۳۷۷.

۵. زنگنه یوسف‌آبادی، ا.، هوشمند، ع.، ناصری؛ ع.، برومند نسب، س. و پرویزی، م.۱۴۰۰. تاثیر مدیریت‌های مختلف آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر بهره‌وری آبیاری، عملکرد و اجزای عملکرد نیشکر رقم CP69-1062. مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۴۴ (۱): ۱۰-۱۵.

۶. رضایی، ی.، الهی فرد، ا.، سیادت، س.ع. و عبدالهی لرستانی، س. ۱۴۰۰. تلفیق وجین مکانیکی و کاربرد علف‌کش در مدیریت علف‌های هرز نیشکر. مجله تولیدات گیاهی، ۴۴(۲) ۱۷۱-۱۸۲

۷. شینی، دشتگل، ع.، ناصری، ع.ع. و برومند نسب، س. ۱۳۹۸. اثر فواصل و اعماق مختلف قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر میزان بهره وری آب و عملکرد نیشکر. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۰(۵). ۱۲۴۳-۱۲۵۳

8. Alexandratos, N. and J. Bruinsma. 2012. World Agriculture towards 2030/2050: The2012 Revision. ESA Working Paper No. 12-03. FAO, Roma, Italy.

9. Al-Ghobari, H.M., Mohammad, F.S. and El Marazky, M. S. A. 2015. Assessment of smart irrigation controllers under subsurface and drip-irrigation systems for tomato yield in arid regions. Crop and Pasture Science. 66(10): 1086-1095.
10. Balali, H., and Viaggi. D. 2015. Applying a system dynamics approach for modeling groundwater dynamics to depletion under different economical and climate change scenarios. Water. 7(10): 5258-5271.
11. Blackshaw, R.E., Brandt, R.N. Janzen, H.H. Entz, T. Grant, C.A. and Derksen, D.A. 2003. Differential response of weed species to added nitrogen. Weed Science. 51(4): 532-539.
12. Célia de Matos Pires, R., Barbosa, E.A.A. Arruda, F.B. Sakai, E. and Araujo da Silva T.J. 2014. Effects of subsurface drip irrigation and different planting arrangements on the yields and technological quality of sugarcane. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 140(9): A5014001.
13. Chattha, A.A., Afzal, M. and Chattha. M.U. 2004. Sustainable cultivation of sugorarcane for revival of sugar industry in Pakistan. Program 39th Annual Congress Pakistan Society Sugar Technology. 36-49.
14. Dingre, S.K. and Gorantiwar, S.D. 2021. Soil moisture based deficit irrigation management for sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) in semiarid environment. Agricultural Water Management. 245: 106549.
15. dos Santos, L.N., Matsura, E.E. Gonçalves, I.Z. Barbosa, E.A. Nazário, A.A. Tuta, N.F. Elaiuy, M.C. Feitosa, D.R. and de Sousa, A.C. 2016. Water storage in the soil profile under subsurface drip irrigation: Evaluating two installation depths of emitters and two water qualities. Agricultural Water Management. 170: 91-98.
16. El-Shafai, A.M.A., Fakkar, A.A.O. and Bekheet, M.A. 2010. Impact of row spacing and some weed control treatments on growth, quality and yield of sugarcane. Bulletin of Faculty of Agriculture, Cairo University. 61(2): 124-136.
17. Ferreira, T.C. and Carr M.K.V. 2002. Responses of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) to irrigation and nitrogen in a hot, dry climate: I. Water use. Field Crops Research. 78(1): 51-64.
18. Garg, K.K., Luna, B. Anju, G. Biju, G. Acharya, S. Kiran, J. and Narasimhan. B. 2012. Spatial mapping of agricultural water productivity using the SWAT model in upper Bhima Catchment. India. Irrigation and Drainage. 61: 60–79.
19. Gava, G.J.D.C., Silva, M.D.A. Silva, R.C.D. Jeronimo, E.M. Cruz, J. and Kölln, O.T 2011. Productivity of three sugarcane cultivars under dry and drip irrigated management. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 15(3): 250-255.
20. Gealy, D.R., Anders, M. Watkins, B. and Duke, S. 2014. Crop performance and weed suppression by weed-suppressive rice cultivars in furrow-and flood-irrigated systems under reduced herbicide inputs. Weed Science. 62(2): 303-320.
21. Ghanbari, M., Zaboli, G.R. and Mir, B. 2013. Comparing irrigation methods and weed control on yield of garlic (*Allium sativum* L.) cultivars. World of Science Journal. 3: 70-78.
22. Gunarathna, M.H.J.P., Sakai, K. Nakandakari, T. Momii, K. Onodera, T. Kaneshiro, H. Uehara, H. and Wakasugi, K. 2018. Optimized subsurface irrigation system: the future of sugarcane irrigation. Water. 10(3): 314.
23. Inman-Bamber, N.G. and Smith, D.M. 2005. Water relations in sugarcane and response to water deficits. Field crops research. 92(2-3): 185-202.
24. Irmak, S., Djaman, K. and Rudnick, D.R. 2016. Effect of full and limited irrigation amount and frequency on subsurface drip-irrigated maize evapotranspiration, yield, and water use efficiency and yield response factors. Irrigation Science. 34: 271–286.
25. Jayakumar, M., Surendran, U. and Manickasundaram, P. 2014. Drip fertigation effects on yield, nutrient uptake and soil fertility of Bt cotton in semiarid tropics. International Journal of Plant Production. 8: 375–390.
26. Khan, M.Z., Bashir, S. and Bajwa, M.A. 2004. Performance of promising sugarcane varieties in response of inter-row spacing towards stripped cane and sugar yield. Pakistan Sugar Journal. 19 (5): 15-18.

27. Kumar, V., Samar, S. and Chand, M. 2014. Nutrient and water management for higher sugarcane production, better juice quality and maintenance of soil fertility- A review. Agricultural Reviews. 35 (3): 184–195.
28. Kumawat, P.D., Kacha, D.J. and Dahima, N.U. 2016. Effect of crop geometry and drip irrigation levels on sugarcane in South Saurashtra region of India. Indian Journal of Agricultural Research. 50(4): 366-369.
29. Okasha, E.M., Hashem, F.A. and El-Metwally, I.M. 2020. Effect of irrigation system and irrigation intervals on the water application efficiency, growth, yield, water productivity and quality of squash under clay soil conditions. Plant Archives. 20(2): 3266-3275.
30. Olivier, F.C. and Singels, A. 2012. The effect of crop residue layers on evapotranspiration, growth and yield of irrigated sugarcane. Water SA. 38 (1): 77-–86.
31. Postal, S., Polak, P. Gonzales, F. and Keller, J. 2001. Drip irrigation for small farmers: a new initiative to alleviate hunger and poverty. Water International. 26 (1): 3–13.
32. Ramesh, P., Kailasam, C. and Srinivasan, T.R. 1994. Performance of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) under surface drip, sub surface drip (Biwall) and furrow methods of irrigation. Journal of Agronomy and Crop Science. 172(4): 237-241.
33. Sankar, V., Lawande, K.E. and Tripathi, P.C. 2011. Effect of micro irrigation practices on growth and yield of garlic (*Allium sativum* L.) var. G. 41. Journal of Spices and Aromatic Crops. 17(3). 230-234.
34. Singandhupe, R.B., Rao, G.G.S.N. Patil, N.G. and Brahmanand, P.S. 2003. Fertigation studies and irrigation scheduling in drip irrigation system in tomato crop (*Lycopersicon esculentum* L.). European Journal of Agronomy. 19(2): 327-340.
35. Sivanappan, K. 1994. Prospects of micro-irrigation in India. Irrigation and drainage systems, 8 (1): 49–58
36. Surendran, U., and Murugappan, V. 2010. Pragmatic approaches to manage soil fertility in sustainable agriculture. Journal of Agronomy. 9: 57–69.
37. Surendran, U., Jayakumar, M. and Marimuthu, S. 2016a. Low cost drip irrigation: Impact on sugarcane yield, water and energy saving in semiarid tropical agro ecosystem in India. Science of the Total Environment. 573: 1430-1440.
38. Surendran, U., Ramesh, V. Jayakumar, M. Marimuthu, S. and Sridevi, G. 2016b. Improved sugarcane productivity with tillage and trash management practices in semiarid tropical agro ecosystem in India. Soil Tillage Research. 158: 10–21 .
39. Surendran, U., Sushanth, C.M. Mammen, G. and Joseph, E.J. 2014. Modeling the impacts of increase in temperature on irrigation water requirements in Palakkad district – a case study in humid tropical Kerala. Journal of Water and Climate Change. 5 (3): 471–487.
40. Sutton, K.F., Lanini, W.T. Mitchell, J.P. Miyao, E.M. and Shrestha, A. 2006. Weed control, yield, and quality of processing tomato production under different irrigation, tillage, and herbicide systems. Weed Technology. 20(4): 831-838.
41. Turral, H., Svendsen, M. and Faures, J.M. 2010. Investing in irrigation: Reviewing the past and looking to the future. Agricultural Water Management. 97 (4): 551–560.
42. Van Donk, S.J., Petersen, J.L. and Davison, D.R. 2013. Effect of amount and timing of subsurface drip irrigation on corn yield. Irrigation Science. 31(4): 599-609.
43. Wang, E., S. Attard, A. Linton, McGlinchey, M. Xiang, W. Philippa, B. and Everingham, Y. 2020. Development of a closed-loop irrigation system for sugarcane farms using the Internet of Things. Computers and Electronics in Agriculture. 172: 105376.
44. Yirefu, F., Tana, T. Tafesse, A. and Zekarias, Y. 2012. Competitive ability of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) cultivars to weed interference in sugarcane plantations of Ethiopia. Crop Protection. 32 :138-143.

ارزیابی مقدار آب کاربردی و بهره‌وری آب سویا در دشت مغان

فرزین پرچمی عراقی[۱]، فریبرز عباسی و کرامت اخوان

استادیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران.

f.parchamiaraghi@areeo.ac.ir

استاد، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

fariborzabbasi@ymail.com

استادیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران.

akhavang12@gmail.com

دریافت: دی ۱۴۰۰ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۱

چکیده

در پژوهش حاضر، با انجام اندازه‌گیری‌های صحرایی در فصل زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹، آب کاربردی فصلی و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب سویا در ۳۷ مزرعه با مدیریت زارعین (با سامانه آبیاری شیاری/نواری) در دشت مغان، استان اردبیل ارزیابی شد. در فصل زراعی این پژوهش، میانگین نیاز آبی خالص سویا در مزارع مزبور ۵۴۲ میلی‌متر (بین ۴۳۱ تا ۶۹۱ میلی‌متر) و میانگین ۱۰ ساله آن ۵۴۳ میلی‌متر (۴۴۲ تا ۶۷۱ میلی‌متر) بود. میانگین کل آب کاربردی (مجموع بارش موثر فصلی و آب آبیاری) در مزارع مزبور ۶۵۵۴ مترمکعب در هکتار (۵۰۰۵ تا ۱۰۰۰۹ مترمکعب در هکتار) و میانگین عملکرد دانه سویا ۲/۹۰ تن در هکتار (۲/۰۵ تا ۴/۱۲ تن در هکتار) به‌دست آمد. میانگین کل آب کاربردی در کشت بهاره سویا (۷۹۰۶ مترمکعب در هکتار) به‌طور معنی‌داری ($P < 0.01$) بیشتر از مقدار نظیر آن برای کشت تابستانه (۶۳۹۰ مترمکعب در هکتار) بود. نمایه‌های بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش موثر (WP_{I+Pe}) و بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری ($WP_{\$}$) در مزارع مطالعاتی به‌ترتیب، با میانگین ۰/۲۴ کیلوگرم در مترمکعب و ۳۳/۱۹ هزار ریال در مترمکعب، بین ۰/۱۸ تا ۰/۳۰ کیلوگرم در مترمکعب و ۱۵/۲۱ تا ۶۲/۴۰ هزار ریال در مترمکعب متغیر بود. عملکرد دانه سویا در بخش عمده مزارع مطالعاتی (۷۰٪ مزارع) فراتر از حداقل عملکرد قابل انتظار دانه سویا در کشت آبی (۲/۵ تن در هکتار) بود. نتایج نشان داد با اعمال پنج و سه نوبت آبیاری به‌ترتیب، برای سویای بهاره و تابستانه، سطح مطلوبی از عملکرد و نمایه‌های بهره‌وری آب دست یافتنی است. میانگین نمایه راندمان کاربرد آب طی مراحل رشد سویا در مزارع مزبور در دامنه ۵۰٪ تا ۸۲٪ قرار داشت.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، بهره‌وری اقتصادی آب، نیاز آبی خالص ، پنمن-مانتیث فائو

[۱] - آدرس نویسنده مسئول: بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان) ، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران.

مقدمه

گیاه سویا (*Glycine max* [L.] Merrill) با سطح زیر کشتی در حدود ۱۲۸/۹۳ میلیون هکتار و تولید سالانه ۳۴۹/۴۰ میلیون تن دانه سویا در سطح جهان، از مهم‌ترین منابع تولید روغن و پروتئین محسوب می‌شود (فائو، ۲۰۲۰). در کشور ما، سطح زیر کشت سویا در حدود ۲۹/۳ هزار هکتار (شامل ۲۴/۵ و ۴/۸ هزار هکتار به‌ترتیب، برای کشت آبی و دیم) و میزان تولید دانه سویا در حدود ۶۸/۲ هزار تن (با عملکرد ۲/۵۱ و ۱/۳۸ تن بر هکتار به‌ترتیب، در کشت آبی و دیم) گزارش شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹). حدود ۹۴ درصد از کل سطح زیر کشت آبی سویای کشور در استان‌های گلستان و اردبیل (به‌ترتیب، با سهم ۵۳ و ۴۱ درصدی از کل سطح زیر کشت سویا و سهم ۵۲ و ۳۹ درصدی از کل تولید سویا در کشور) تمرکز یافته است. بر اساس آمار سازمان فائو در سال ۲۰۱۹، میانگین عملکرد سویا در کشور بالاتر از میانگین جهانی آن (۱/۷۵ تن بر هکتار) بوده است (فائواستت، ۲۰۲۱). بسته به ویژگی‌های اقلیمی و طول دوره رشد، نیاز آبی فصلی سویا برای دستیابی به حداکثر سطح عملکرد محصول بین ۴۵۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر متغیر است (فائو، ۲۰۲۰). سویا در بسیاری از نقاط جهان به‌صورت دیم کشت می‌شود. به‌منظور کاهش نوسانات محصول تولیدی و تضمین سطوح اقتصادی تولید محصول، کشت آبی سویا و یا انجام آبیاری تکمیلی به‌طور فزاینده‌ای در حال گسترش بوده و آبیاری جویچه‌ای رایج‌ترین شیوه آبیاری گیاه سویا محسوب می‌شود (فائو، ۲۰۲۰). عملکرد محصول سویا، بسته به آب قابل دسترس در طول فصل رشد گیاه، فاصله ردیف‌های کشت، مدیریت کاربرد کود و مدیریت آفات و بیماری‌ها می‌تواند به‌طور قابل توجهی متغیر باشد (سینگ، ۲۰۱۰). در شرایط دیم، عملکرد سویا بین ۱/۵ تا ۲/۰ تن دانه بر هکتار به‌عنوان عملکرد رضایت‌بخش محسوب می‌شود و در کشت آبی سویا، عملکرد محصول بین ۲/۵ تا ۳/۵ تن دانه بر هکتار قابل انتظار است (فائو، ۲۰۲۰). بهره‌وری مجموع آبیاری و بارش موثر در تولید دانه سویا در حدود ۰/۴ تا ۰/۷ کیلوگرم بر مترمکعب است (فائو، ۲۰۲۰).

تاکنون، آب کاربردی فصلی و بهره‌وری آب سویا در مطالعات متعددی مورد بررسی قرار گرفته است. در این رابطه، طی یک مطالعه یک‌ساله در منطقه رشت، امینی‌فر و همکاران (۱۳۹۰)، میانگین آب کاربردی برای هفت رقم سویا در رژیم‌های مختلف آبیاری، شامل آبیاری در مکش ماتریک ۳۵-۳۰، ۵۵-۵۰ و ۷۵-۷۰ سانتی‌بار را به‌ترتیب، در حدود ۲۴۶، ۱۸۹ و ۱۶۱ میلی‌متر گزارش کردند. در تیمارهای آبیاری مطالعاتی، میانگین نمایه‌های بهره‌وری آب آبیاری (WP_I) به‌ترتیب، ۰/۵۶، ۰/۶۲ و ۰/۷۱ کیلوگرم دانه سویا بر مترمکعب و میانگین بهره‌وری مجموع آبیاری و بارش موثر (WP_{I+Pe}) به‌ترتیب، ۰/۲۷، ۰/۲۷ و ۰/۲۸ کیلوگرم دانه سویا بر مترمکعب گزارش شد. نتایج نشان داد که کاهش آب آبیاری به‌طور معنی‌داری موجب کاهش عملکرد دانه و افزایش نمایه WP_I شد. همچنین، طی پژوهشی دوساله در منطقه کرج، بابازاده و سرائی تبریزی (۱۳۹۱) میزان آب کاربردی فصلی در رژیم‌های مختلف آبیاری، شامل آبیاری کامل، کم‌آبیاری در حد ۷۵ و ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک و آبیاری جزئی منطقه ریشه در حد ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک را به‌ترتیب، ۸۵۷، ۶۴۲، ۴۲۶ و ۲۱۱ میلی‌متر گزارش کردند. در تیمارهای آبیاری مطالعاتی، میانگین عملکرد دانه سویا به‌ترتیب، ۳/۹۸، ۳/۷۸، ۳/۳۴ و ۳/۲۱ و میانگین نمایه WP_I به‌ترتیب، ۰/۴۷، ۰/۵۹، ۰/۷۹ و ۱/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود. رستمی اجیرلو و همکاران (۱۳۹۶) طی مطالعه‌ای دوساله در دشت مغان، استان اردبیل، اثر رژیم‌های مختلف برنامه‌ریزی آبیاری (شامل آبیاری کامل و ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد آب کاربردی در تیمار آبیاری کامل) بر عملکرد سه رقم سویا (شامل ویلیامز، M9 و زان) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که اعمال کم‌آبیاری در تمامی سطوح مورد بررسی موجب کاهش عملکرد و اجزای آن، درصد روغن دانه و بهره‌وری آب آبیاری در تمامی ارقام مطالعاتی شد. در تیمارهای آبیاری مطالعاتی، میانگین آب

کاربردی به‌ترتیب، ۴۰۷، ۳۲۵، ۲۸۵ و ۲۰۳ میلی‌متر و میانگین عملکرد دانه سویا به‌ترتیب، ۳/۴۳، ۱/۹۲، ۱/۰۴ و ۰/۶۵ تن بر هکتار و میانگین نمایه WP_I به‌ترتیب، ۰/۸۴، ۰/۵۹، ۰/۳۷ و ۰/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد. طی پژوهشی یک‌ساله در منطقه ارومیه، وحدی و همکاران (۱۳۹۸) اثر سطوح مختلف رژیم آبیاری، شامل آبیاری بر اساس ۶۰، ۱۱۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A را بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم سویا (شامل کلارک، ویلیامز و آنیون) مورد بررسی قرار دادند. در مقایسه با شرایط آبیاری کامل (با مجموع هشت نوبت آبیاری اعمال شده در طول فصل و عملکرد ۳/۶۴ تن دانه سویا بر هکتار)، تنش آبی ناشی از اعمال تیمارهای آبیاری دوم و سوم به‌ترتیب، موجب کاهش ۴۴ و ۶۳ درصدی عملکرد دانه سویا شد.

طی مطالعه‌ای یک‌ساله در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه جورجیا، امریکا، گارسیا و همکاران (۲۰۱۰) اثر رژیم‌های مختلف آبیاری (شامل تیمارهای آبیاری کامل، آغاز آبیاری از مرحله گلدهی و کشت دیم با آبیاری تکمیلی) بر رشد و عملکرد محصول چهار ژنوتیپ مختلف سویا را مورد بررسی قرار دادند. در تیمارهای آبیاری مطالعاتی میانگین مجموع آب کاربردی و بارندگی به‌ترتیب، ۴۳۴، ۴۱۹ و ۳۴۲ میلی‌متر، میانگین عملکرد دانه سویا به‌ترتیب، ۳/۲۳، ۳/۰۷ و ۲/۲۹ تن بر هکتار، میانگین نمایه WP_I به‌ترتیب، ۳/۰۲، ۳/۳۷ و ۱۵/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب و میانگین نمایه WP_{I+Pe} به‌ترتیب، ۰/۷۵، ۰/۷۳ و ۰/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد. نتایج حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آبیاری به‌لحاظ زیست توده تولیدی، اجزای عملکرد، ارتفاع گیاه و حداکثر شاخص سطح برگ بود. نتایج این پژوهش، بیانگر اهمیت انتخاب رقم مناسب گیاه در بهبود بهره‌وری آب آبیاری بود.

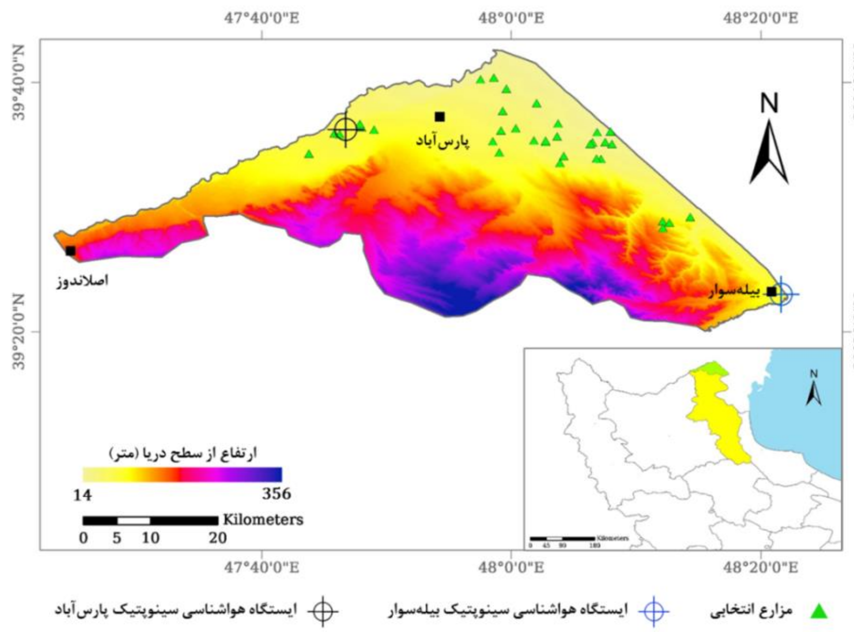
در یک مطالعه سه‌ساله در پنجاب، هندوستان، آرورا و همکاران (۲۰۱۱) اثرات مستقل و ترکیبی رژیم‌های آبیاری (آبیاری کامل و جزئی)، خاک‌ورزی (خاک‌ورزی رایج و خاک‌ورزی عمیق) و مالچ‌پاشی بقایای گیاهی (بدون مالچ و استفاده از مالچ) بر عملکرد محصول سویا و بهره‌وری آب آبیاری را در کلاس‌های بافت خاک لوم شنی و شن لومی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد عملکرد دانه سویا در خاک لوم شنی بیشتر از شن لومی بود که دلیل این امر به ظرفیت نگهداشت رطوبتی بالاتر در خاک لوم شنی نسبت داده شد. به‌گونه‌ای که این امر سبب شد که اثر تیمار آبیاری و خاک‌ورزی بر محصول تولیدی در خاک شن لومی (تفاوت ۴۰ درصدی دو تیمار آبیاری و تفاوت ۱۴ درصدی دو تیمار خاک‌ورزی) در مقایسه با خاک لوم شنی (تفاوت ۵ درصدی دو تیمار آبیاری و تفاوت ۵ درصدی دو تیمار خاک‌ورزی) مشهودتر باشد. در تیمارهای آبیاری مطالعاتی، میانگین عملکرد دانه سویا به‌ترتیب، ۱/۹۶ و ۱/۶۶ تن بر هکتار و میانگین نمایه بهره‌وری مجموع آب کابردی و بارندگی به‌ترتیب، ۰/۲۷ و ۰/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. در یک مطالعه سه ساله در منطقه وژودینا، صربستان، گاژیچ و همکاران (۲۰۱۸)، اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بارانی (شامل آبیاری کامل، ۶۵ و ۴۰ درصد آب کاربردی در تیمار آبیاری کامل و کشت دیم) بر عملکرد محصول سویا را مورد بررسی قرار دادند. در تیمارهای مطالعاتی، میانگین عملکرد دانه سویا به‌ترتیب، ۳/۳۲، ۳/۶۹، ۲/۹۷ و ۲/۵۹ تن بر هکتار و نمایه WP_{I+Pe} به‌ترتیب، ۰/۸۴، ۰/۸۳، ۰/۹۲ و ۰/۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد. به‌طور کلی، پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه برآورد آب کاربردی سویا در شرایط واقعی بهره‌برداری مزارع بسیار محدود است. در این رابطه، طی مطالعه‌ای در دره رودخانه میسیسیپی امریکا، مسی و همکاران (۲۰۱۷) میانگین آب کاربردی فصلی در ۵۱۲ مزرعه کشت سویا طی یک دوره ۱۲ ساله (سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳) را ۱۹۰±۲۸۰ میلی‌متر (بین ۳۰/۵ تا ۱۴۷۱/۶ میلی‌متر) گزارش کردند. میانگین آب کاربردی فصلی در شیوه آبیاری جویچه‌ای، غرقابی (نواری و کنتوری) و بارانی سنترپیوت به‌ترتیب، برابر با ۲۰۴/۰±۳۳۱/۶، ۱۵۵/۲±۲۲۲/۹ و ۹۱/۳±۱۶۳/۶ میلی‌متر و با دامنه تغییراتی به‌ترتیب، بین

۳۰/۹ تا ۱۴۷۱/۶، ۳۰/۵ تا ۱۴۶۵/۱ و ۶۰/۹ تا ۵۱۷/۹ میلی‌متر گزارش گردید.

با توجه به محدودیت روزافزون دسترسی به منابع آب کشاورزی و لزوم حفظ و افزایش سطح تولید، بهبود بهره‌وری آب کشاورزی به ضروتی غیرقابل اجتناب تبدیل شده است (برت، ۲۰۱۳). پیش‌نیاز نیل به این هدف، در دست داشتن برآوردهایی معتبر از آب کاربردی و بهره‌وری آب در تولید محصولات زارعی و باغی مختلف در قطب‌های اصلی تولید آن‌ها در شرایط واقعی مدیریت آبیاری و بهره‌برداری اعمال شده در مزارع است. از آنجا که کشت سویا در اغلب مناطق کشور به‌صورت تابستانه انجام می‌شود، اعمال آبیاری به‌منظور دستیابی به سطحی اقتصادی از تولید محصول ضروری است. با این وجود، محدودیت دسترسی کشاورزان به آب آبیاری در کشت‌های تابستانه در ترکیب با سایر محدودیت‌های فراروی کشت سویا در شرایط واقعی مزارع (به‌ویژه کشت دیرهنگام سویا و خسارت آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز) مانع از دستیابی به سطوح بالاتر عملکرد سویا در واحد سطح می‌گردد. با توجه به تغییرات زمانی و مکانی این محدودیت‌ها، پایش و ارزیابی مدیریت آبیاری، کمی‌سازی آب کاربردی و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در کشت گیاهان عمده زراعی و باغی هر منطقه در شرایط واقعی مزارع، پیش‌نیاز برنامه‌ریزی برای تخصیص بهینه منابع آب و بهبود بهره‌وری آب کشاورزی است. این در حالی است که اکثر برآوردهای گزارش شده در این رابطه، بر اساس مطالعات صورت گرفته در کرت‌های آزمایشی و بدون توجه به اثر محدودیت‌های فراروی تولید در شرایط واقعی بوده است؛ بنابراین، هدف از این پژوهش، برآورد آب کاربردی فصلی و ارزیابی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در کشت سویا از طریق اندازه‌گیری مستقیم و میدانی حجم آب آبیاری کاربردی در شرایط واقعی مدیریت بهره‌برداری مزارع در دشت مغان (استان اردبیل) بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: این پژوهش طی فصل زراعی ۱۴۰۰–۱۳۹۹ در مزارع سویای منتخب دشت مغان به‌عنوان قطب اصلی کشت آبی سویا در استان اردبیل متمرکز گردید (شکل ۱). مزارع مطالعاتی (در مجموع، ۳۷ مزرعه) از طریق مشاوره با مراکز خدمات و مدیریت جهاد کشاورزی به‌گونه‌ای انتخاب شد که حتی‌الامکان، دامنه تغییرات ویژگی‌های مزارع سویا در سطح منطقه مطالعاتی به‌لحاظ ویژگی‌های فیزیکی–شیمیایی خاک و آب آبیاری، وضعیت زهکشی داخلی خاک، تاریخ کشت، آرایش کشت، شیوه آبیاری، رقم سویا و سطح مهارت بهره‌برداران (پیشرو/ معمولی) را پوشش دهند (جدول ۱). آب مورد نیاز تمامی مزارع مطالعاتی از رود ارس و از طریق شبکه آبیاری و زهکشی مغان تامین می‌شد. در دشت مغان، کشت بهاره و تابستانه سویا به‌ترتیب، در بازه‌های از ۱۵ اردیبهشت تا ۱۰ خرداد و بعد از ۱۰ خرداد صورت می‌گیرد (تقی‌نژاد، ۱۳۹۴). بخش عمده مزارع مطالعاتی کشت سویا به صورت تابستانه و در تناوب با گندم صورت گرفت. آرایش کشت سویا در اغلب مزارع با شیوه خشکه‌کاری به‌صورت تک‌ردیفه (فواصل ردیف ۷۵ سانتی‌متر) و مابقی به‌صورت دورديفه فواصل ردیف ۷۵ × ۲۵ × ۷۵ سانتی‌متر بود. آرایش کشت سویا در مزارع با شیوه هیرم‌کاری به‌صورت تک‌ردیفه (فواصل ردیف ۷۵ سانتی‌متر) یا کشت با ردیف‌کار (فواصل ردیف ۲۵ سانتی‌متر) بود. ازت و کود کامل ۲۰–۲۰–۲۰ از رایج‌ترین کودهای مورد استفاده در مزارع مطالعاتی بود.



شکل ۱- پراکنش جغرافیایی مزارع مطالعاتی و ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک مجاور آن‌ها در سطح دشت مغان

جدول ۱- فراوانی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و مدیریتی در مزارع مطالعاتی

ویژگی	شرح	فراوانی	فراوانی نسبی (درصد)
سطح تحصیلات بهره‌برداران	دیپلم و پایین‌تر	۲۴	۶۵
	بالای دیپلم	۱۳	۳۵
سطح مهارت بهره‌برداران	معمولی	۳۰	۸۱
	پیشرو	۷	۱۹
تناوب زراعی	گندم-سویا	۲۶	۷۰
	کلزا-سویا	۴	۱۱
	سیر-سویا	۳	۸
	آیش-سویا	۴	۱۱
آرایش کشت	تک‌ردیفه	۲۹	۱۴
	دوردیفه	۳	۸
	کشت با ردیف‌کار	۵	۷۸

ویژگی	شرح	فراوانی	فراوانی نسبی (درصد)
رقم سویا کشت شده	آرین	۱۶	۴۳
	کتول	۹	۲۴
	L17	۶	۱۶
	ویلیامز	۳	۸
	سایر ارقام	۳	۸
فصل کشت سویا	بهاره	۴	۱۱
	تابستانه	۳۳	۸۹
شیوه کشت بذر سویا	خشکه‌کاری	۲۹	۷۸
	هیرم‌کاری	۸	۲۲
کاربرد محصول سویا	بذر	۹	۲۴
	دانه خوراکی	۲۸	۷۶

طی مطالعات مزرعه‌ای، ویژگی‌هایی از جمله مراحل مختلف رشد گیاه، بافت و شوری خاک، شوری آب آبیاری تحویلی، عمق آب کاربردی در هریک از رویدادهای آبیاری و عملکرد محصول در واحد سطح تعیین شد. تمامی مزارع مطالعاتی به‌شیوه جویچه‌ای یا نواری آبیاری می‌شدند. طی هریک از رویدادهای آبیاری، شدت جریان تحویلی به مزارع با استفاده از فلوم و مطابق با رهنمودهای اسلامی (۱۳۹۵) اندازه‌گیری شد. متعاقبا، مقادیر عمق آبیاری با در دست داشتن سطح زیر کشت مزرعه، شدت جریان تحویلی و مدت زمان تحویل جریان آب به مزرعه برآورد گردید. بسته به شرایط مزرعه، تیپ فلوم‌های ۴ و ۵ مورد استفاده قرار گرفت که رابطه دبی-اشل تیپ‌های فوق به‌ترتیب، مطابق با روابط (۱) و (۲) است (اسلامی، ۱۳۹۵):

$$Q = Min(Max(1.0, 0.00294H^{2.102}), 60.0) \qquad (۱)$$

$$Q = Min(Max(5.0, 0.0232H^{2.196}), 70.0) \qquad (۲)$$

که درآن‌ها: Q شدت جریان آب عبوری از فلوم (لیتر بر ثانیه) و H اشل قرائت شده فلوم (سانتی‌متر) است.

نمایه‌های بهره‌وری آب آبیاری (WP_I، کیلوگرم بر مترمکعب)، بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش موثر (WP_{I+Pe}، کیلوگرم بر مترمکعب)، بهره‌وری اقتصادی آب ($WP_\$$، هزارریال بر مترمکعب) و راندمان کاربرد آب (AE، درصد) به‌شرح زیر محاسبه شد (مولدن و همکاران، ۲۰۰۳):

$$WP_I = k\,Y/I \quad (۳)$$

$$WP_{I+P_e} = k\,Y/(I + P_e) \quad (۴)$$

$$WP_\$ = k\,q_n/I \quad (۵)$$

$$AE = 100\,I_n/I \quad (۶)$$

که در آن: Y عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)، I آب آبیاری کاربردی (میلی‌متر)، P_e بارش موثـر (میلی‌متر)، q_n سود اقتصادی خالص حاصل از کشت سویا، I_n نیاز آبی خالص سویا (میلی‌متر) و $k = ۰/۱$ ضریب تبدیل واحد است.

در این پژوهش، داده‌های مربوط به مجموع هزینه‌ها (هزینه‌های عملیات کاشت، داشت، برداشت، هزینه زمین و سایر هزینه‌های تولید) و درآمد حاصل از تولید سویا در هریک از مزارع مطالعاتی جمع‌آوری شد. متعاقبا، سود اقتصادی خالص از کشت سویا در هر مزرعه از تفاضل مجموع هزینه‌ها از درآمد حاصل از تولید سویا تعیین گردید. همچنین، به‌منظور بررسی تغییرات نمایه AE طی مراحل مختلف رشد گیاه، مقدار این نمایه به‌ازای مقادیر فصلی I و I_n و نیز به‌ازای مقادیر آن‌ها طی چهار مقطع منحنی ضریب گیاهی (مقارن با مراحل ابتدایی، توسعه‌ای، میانی و انتهایی رشد گیاه) به‌طور جداگانه محاسبه گردید. نیاز آبی خالص سویا در هریک از مزارع مطالعاتی به‌عنوان تابعی از تبخیر-تعرق گیاه و بارش موثر با استفاده از داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک همجوار مزارع مطالعاتی محاسبه گردید (شکل ۱). صحت داده‌های اندازه‌گیری شده متغیرهای هواشناسی در هریک از ایستگاه‌های سینوپتیک مطالعاتی با استفاده از معیارهای پیشنهادی توسط الن و همکاران (الن و همکاران، ۱۹۹۸) مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور برآورد داده‌های هواشناسی گم شده از یک الگوریتم مبتنی بر جستجو-بهینه‌سازی (پرچمی عراقی و همکاران، ۱۳۹۵) استفاده شد. به‌دلیل غیرمرجع بودن ایستگاه‌های هواشناسی مطالعاتی، مقادیر داده‌های دمای نقطه شبنم با استفاده از یک روش مبتنی بر نمایه خشکی (تودورویچ و همکاران، ۲۰۱۳) تصحیح گردید. مقادیر روزانه تشعشع خورشیدی در سطح زمین از طریق مدل عددی یانگ و کویکه (۲۰۰۵) برآورد شد. تبخیر-تعرق روزانه سویا (ET_c، میلی‌متر بر روز) در هریک از مزارع مطالعاتی به‌عنوان تابعی از تقویم فنولوژیکی مشاهداتی سویا در هر مزرعه و با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک پارس‌آباد (با طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب، '۴۶ ^{0}۴۷ و '۳۶ ^{0}۳۹ و ارتفاع ۷۲/۶ متر از سطح دریا) و بیله‌سوار (با طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب، '۱۹ ^{0}۴۸ و '۲۲ ^{0}۳۹ و ارتفاع ۱۰۱/۴ متر از سطح دریا) از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

$$ET_c = K_c\,ET_o \quad (۷)$$

که در آن: K_c ضریب گیاهی (بدون بعد) و ET_o تبخیر تعرق روزانه چمن مرجع (میلی‌متر بر روز) می‌باشد.

تبخیر-تعرق روزانه چمن مرجع از طریق مدل فائو پنمن-مانتیث (الن و همکاران، ۱۹۹۸) محاسبه شد. میزان تبخیر-تعرق سویا با استفاده از تبخیر-تعرق چمن مرجع محاسباتی و ضرایب گیاهی منفرد برای گیاه سویا (به‌ترتیب، ۰/۵۰، ۱/۱۵ و ۰/۵۰ برای مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی رشد گیاه) برآورد گردید (الن و همکاران، ۱۹۹۸). بارندگی موثر در هر رویداد بارندگی از طریق روش USDA-SCS (بوس و همکاران، ۲۰۰۸) برآورد شد. متعاقبا، مقادیر فصلی بارندگی، بارش موثر، تبخیر-تعرق چمن مرجع، نیاز آبی و نیاز آبی خالص سویا محاسبه شده بر اساس مراحل مشاهداتی رشد گیاه در هریک از مزارع مورد مطالعه برای ۱) فصل زراعی مطالعاتی، ۲) میانگین ۱۰ سال اخیر و ۳) سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد برای خشکی اقلیمی (با استفاده از داده‌های هواشناسی درازمدت) برآورد

گردید. بدین‌ترتیب، هریک از مزارع مطالعاتی دارای مقادیری منحصربه‌فرد از برآوردهای فوق بود. برآوردهای مربوط به سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد برای خشکی اقلیمی بر اساس تحلیل فراوانی تجربی برای برآوردهای درازمدت P_e، ET_c و I_n محاسبه شد (یواس‌دی‌ای-ان‌آرسی‌اس، ۱۹۹۳). طی فصل رشد سویا در سال زراعی مطالعاتی، میانگین دمای متوسط هوای روزانه در مناطق پارس‌آباد و بیله‌سوار به‌ترتیب، برابر با ۲۰/۲ و ۲۱/۰ درجه سانتی‌گراد و میانگین تبخیر-تعرق مرجع روزانه به‌ترتیب، برابر با ۴/۱ و ۵/۱ میلی‌متر بر روز بود. همچنین، میزان کل بارندگی محقق شده طی دوره مطالعاتی در مناطق پارس‌آباد و بیله‌سوار به‌ترتیب، برابر با ۱۱۲ و ۱۱۱ میلی‌متر بود.

نتایج و بحث

آماره‌های توصیفی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و مدیریتی به‌همراه مولفه‌های بیلان اقتصادی تولید سویا در مزارع مطالعاتی در جدول ۲ ارائه گردیده است. مقایسه مقادیر شوری عصاره اشباع خاک سطحی در مزارع مطالعاتی (جدول ۲) با معیارهای توصیه شده در این رابطه (یواس‌اس‌ال‌اس، ۱۹۵۴)، حاکی از آن است که خاک سطحی مزارع مطالعاتی در کلاس‌های "بدون مشکل شوری" تا "اندکی شور" قرار می‌گیرند. با توجه به آستانه شوری عصاره اشباع خاک برای کاهش عملکرد محصول سویا (پنج دسی‌زیمنس بر متر) (فائو، ۲۰۲۰)، می‌توان گفت که شوری خاک عامل محدود کننده عملکرد محصول سویا در منطقه مطالعاتی محسوب نمی‌شود. دامنه تغییرات قابل توجه شوری آب آبیاری در مزارع مطالعاتی (جدول ۲) ناشی از بازچرخانی زه‌آب خروجی از مزارع بالادستی در شبکه آبیاری مغان و استفاده مجدد از آن در آبیاری مزارع پایین‌دستی است. بر اساس نموگرام ویلکاکس (۱۹۵۵)، آب تحویلی به تمامی مزارع مطالعاتی در کلاس C3 (شوری بالا) قرار دارد. مطابق با جدول ۲ و بر اساس آماره ضریب تغییرات، در مقایسه با سایر ویژگی‌های مدیریتی مزارع مطالعاتی، فاصله تاریخ کاشت تا آبیاری اول و تعداد دفعات کوددهی از بالاترین تغییرپذیری برخوردار بوده‌اند. بررسی‌ها حاکی از آن بود که این تغییرپذیری بالا در وهله نخست نه به‌دلیل عدم آگاهی کشاورزان از بهترین شیوه‌های مدیریتی کشت سویا، بلکه به‌دلیل محدودیت‌های تحمیلی به کشاورز به‌ویژه به‌لحاظ سرمایه در گردش و دسترسی به آب و ادوات مکانیزاسیون و نیز دیگر ویژگی‌های مزرعه (به‌ویژه مساحت مزرعه و نوع گیاه در کشت قبلی) است. بر اساس جدول ۲، در میان مولفه‌های اقتصادی مورد بررسی، هزینه کاشت زمین در مزارع مطالعاتی از بالاترین تغییرپذیری برخوردار بوده است. دلیل این امر ناشی از تفاوت نحوه آماده‌سازی زمین و شیوه کشت و نیز تفاوت در هزینه‌های مربوط به به‌کارگیری ادوات مکانیزاسیون در مناطق مختلف است.

آماره‌های توصیفی برآوردهای مختلف مقادیر فصلی بارندگی، بارش موثر، تبخیر-تعرق چمن مرجع، نیاز آبی و نیاز آبی خالص سویا محاسبه شده بر اساس مراحل مشاهداتی رشد گیاه در هریک از مزارع مورد مطالعه به‌تفکیک کشت‌های بهاره و تابستانه در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس مقادیر آماره ضریب تغییرات در جدول ۳، تمامی برآوردهای فوق (به‌جز برآوردهای P و P_e در سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد) در بین مزارع مطالعاتی از تغییرپذیری اندکی برخوردار بوده‌اند (تغییرپذیری هفت تا ۱۶ درصد). این تغییرپذیری ناشی از متفاوت بودن تقویم فنولوژیکی سویا در بین مزارع مطالعاتی است. این امر از شکل ۲ و شکل ۳ که به‌ترتیب، مقادیر نیاز آبی خالص برای مراحل مختلف رشد گیاه و سراسر فصل رشد به‌تفکیک مزارع مطالعاتی در آن‌ها نشان داده شده است نیز قابل استنباط می‌باشد. بر اساس شکل ۲، الگوی توزیع نیاز آبی خالص طی مراحل مختلف رشد سویا در مزارع مطالعاتی متفاوت است. این امر بیانگر اثر عوامل مختلف (نظیر تاریخ کشت، رقم، مدیریت آبیاری و شیوه‌های مدیریت زراعی اعمال شده در مزرعه) بر تغییرات نیاز آبی خالص طی مراحل مختلف رشد گیاه در مزارع مطالعاتی است. میانگین برآوردهای نیاز آبی خالص اشتقاقی بر اساس تحلیل

فراوانی تجربی داده‌های درازمدت هواشناسی به‌ازای سطح احتمال وقوع خشکی اقلیمی ۷۵ درصد در کشت‌های بهاره و تابستانه بیشتر (۱۱ تا ۱۴ درصد) از مقادیر نظیر محاسباتی بر اساس میانگین ۱۰ سال اخیر و نیز برآوردهای مربوط به فصل زراعی مطالعاتی است (جدول ۳).

در مقایسه با میانگین ۱۰ سال اخیر، میزان بارش موثر در کشت‌های بهاره و پاییزه طی فصل زراعی مطالعاتی به‌ترتیب، به‌میزان ۲۴ و نه درصد کاهش یافته است. با این حال، میانگین برآوردهای نیاز آبی خالص برای دو بازه زمانی فوق از اختلاف اندکی (یک تا سه درصد) با یکدیگر برخوردار بوده‌اند. بر اساس جدول ۳، مقادیر میانگین نیاز آبی خالص برآورد شده برای کشت بهاره به‌طور معنی‌داری (P < ۰/۰۱) بیشتر از کشت تابستانه (به‌میزان ۲۰ تا ۲۴ درصد) بوده است. این امر از شکل ۴ نیز قابل استنباط است. بر اساس این شکل می‌توان گفت که کشت زودهنگام‌تر سویای بهاره نسبت به کشت تابستانه، موجب شده است که بخش طولانی‌تری از دوره اوج مصرف آب گیاه با دوره اوج تبخیر–تعرق مرجع در منطقه (طی ماه‌های خرداد، تیر و مرداد) مقارن شود.

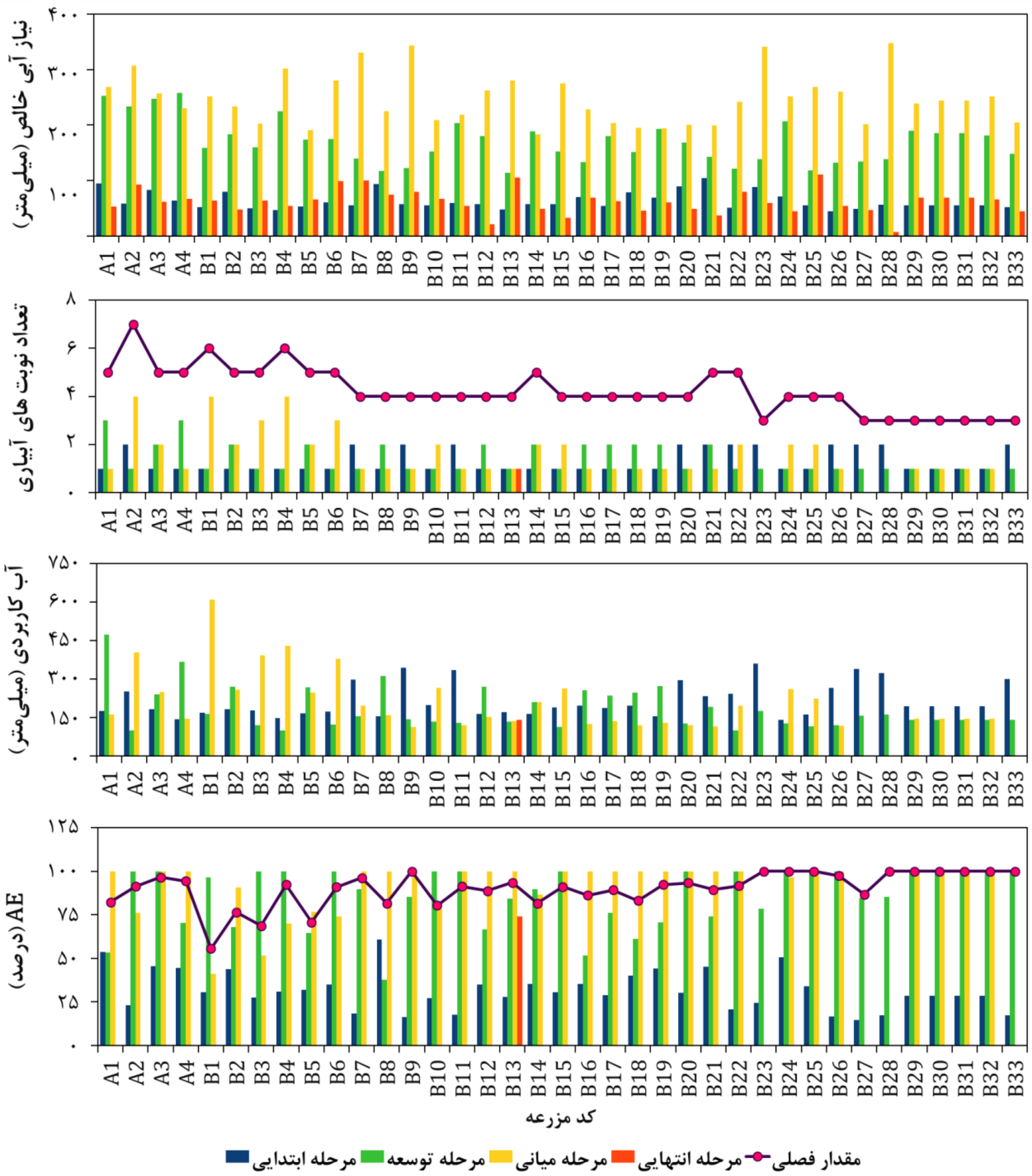
جدول ۲- آماره‌های توصیفی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و مدیریتی و مولفه‌های بیلان اقتصادی تولید سویا در مزارع مطالعاتی

شرح		ویژگی	حداقل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات (درصد)
ویژگی‌های فیزیکی و مدیریتی		مساحت مزرعه (ha)	۰/۵۰	۸/۰۰	۳/۰۰	۶۶
		سطح زیر کشت واقعی مزرعه (ha)	۰/۵۰	۸/۰۰	۲/۹۷	۶۶
		میانگین شدت جریان تحویلی به مزرعه ($L\ s^{-1}$)	۱۲/۵۷	۷۶/۵۶	۵۳/۷۵	۳۰
		شوری خاک سطحی ($dS\ m^{-1}$)	۱/۰۰	۴/۳۸	۱/۹۹	۳۷
		شوری آب آبیاری ($dS\ m^{-1}$)	۰/۸۳	۲/۰۲	۱/۲۰	۲۵
		تاریخ کشت بذر	۱۳۹۹/۰۲/۲۸	۱۳۹۸/۰۴/۱۶	۱۳۹۹/۰۳/۲۶	۲۱
		تاریخ برداشت	۱۳۹۹/۰۸/۰۷	۱۳۹۹/۰۹/۲۶	۱۳۹۹/۰۸/۲۷	۱۷
		طول دوره رشد (روز)	۱۳۹	۱۸۴	۱۵۵	۹
		تاریخ اولین آبیاری	۱۳۹۹/۰۲/۲۸	۱۳۹۸/۰۴/۱۱	۱۳۹۹/۰۳/۲۵	۲۱
		تاریخ آخرین آبیاری	۱۳۹۹/۰۵/۱۳	۱۳۹۹/۰۷/۱۰	۱۳۹۹/۰۶/۱۷	۱۹
		فاصله تاریخ کاشت تا آبیاری اول (روز)	−۷	۲	−۱	−۳۱۰
		فاصله اولین و آخرین آبیاری (روز)	۵۴	۱۲۲	۸۵	۲۰
		تعداد رویدادهای آبیاری اعمال شده	۳	۷	۴	۲۳
		میانگین دور آبیاری (روز)	۱۹	۴۱	۲۷	۱۹
		فاصله آخرین آبیاری تا برداشت (روز)	۳۵	۹۶	۷۲	۱۸
		تعداد دفعات کوددهی	۱	۸	۳	۶۱
مولفه‌های بیلان اقتصادی تولید سویا	هزینه‌های تولید سویا (هزار ریال بر هکتار)	تامین زمین	۳۱۵۰۰	۱۰۰۰۰۰	۵۸۰۲۷	۳۰
		عملیات کاشت	۷۴۲۵	۵۶۹۰۰	۱۹۹۴۵	۴۵
		عملیات داشت	۱۸۲۰۰	۵۰۴۹۸	۳۲۵۱۶	۳۲
		عملیات برداشت	۷۲۲۸	۲۰۰۰۰	۱۱۰۹۱	۳۰
		سایر هزینه‌ها	۴۰۰۰۰	۵۳۰۰۰	۴۴۰۸۱	۸
		مجموع	۱۰۷۳۵۴	۲۲۲۱۶۶	۱۶۵۶۶۰	۲۰
		درآمد حاصل از فروش محصول (هزار ریال بر هکتار)	۲۵۵۶۱۶	۶۱۳۴۴۵	۳۵۴۸۲۸	۲۴
		سود اقتصادی خالص (هزار ریال بر هکتار)	۹۵۵۱۱	۴۳۹۱۹۹	۱۹۶۶۹۸	۴۱

جدول ۳- آماره‌های توصیفی برآوردهای مختلف (میلی‌متر) بارندگی و نیاز آبی سویا محاسبه شده بر اساس مراحل رشد گیاه مشاهداتی در هریک از مزارع مورد مطالعه

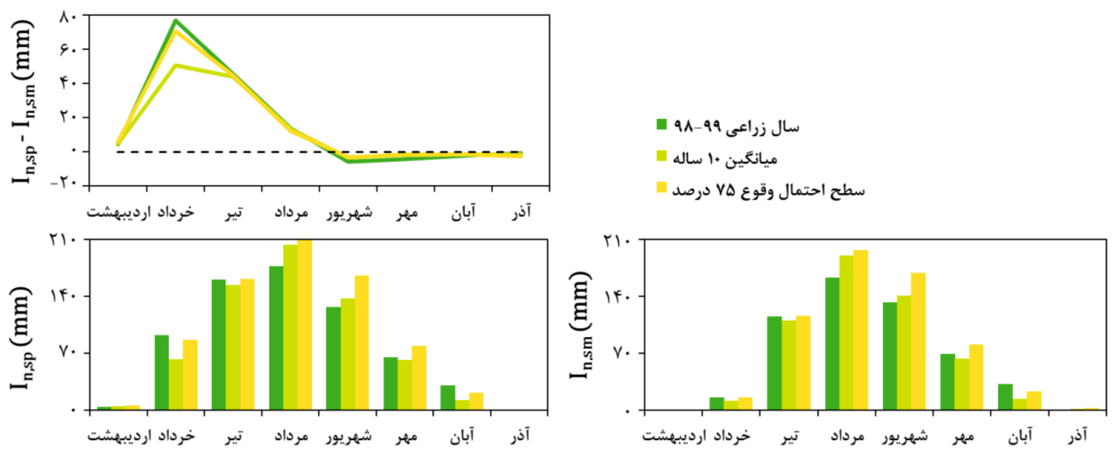
فصل کشت	آماره	سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد (با استفاده از داده‌های هواشناسی درازمدت)					میانگین ۱۰ سال اخیر					فصل زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹				
		P	P_e	ET_o	ET_c	I_n	P	P_e	ET_o	ET_c	I_n	P	P_e	ET_o	ET_c	I_n
بهاره	حداقل	۲۶	۱۴	۶۶۶	۷۰۹	۶۹۳	۱۳۷	۸۲	۷۸۳	۶۹۱	۶۰۸	۹۰	۶۷	۷۹۵	۶۸۶	۶۱۹
	حداکثر	۳۱	۱۷	۸۵۴	۷۷۸	۷۶۴	۱۵۰	۹۱	۸۴۷	۷۵۸	۶۷۱	۹۰	۶۷	۸۶۷	۷۵۷	۶۹۱
	میانگین	۲۹	۱۶	۷۴۸	۷۴۴	۷۲۸	۱۴۵	۸۸	۸۲۱	۷۲۵	۶۳۷	۹۰	۶۷	۸۳۸	۷۲۴	۶۵۷
	ضریب تغییرات (درصد)	۷	۱۰	۱۱	۴	۴	۴	۵	۳	۴	۴	۰	۰	۴	۴	۵
تابستانه	حداقل	۱۵	۸	۶۱۴	۵۲۱	۵۰۶	۹۴	۵۸	۵۷۵	۵۰۲	۴۴۲	۷۲	۵۷	۵۶۲	۴۹۰	۴۳۱
	حداکثر	۵۸	۴۱	۹۲۷	۷۱۸	۷۰۹	۱۵۴	۹۲	۷۶۰	۷۰۰	۶۲۵	۱۰۱	۷۲	۷۶۹	۶۹۳	۶۲۷
	میانگین	۲۹	۱۷	۷۱۳	۶۲۱	۶۰۴	۱۱۴	۶۸	۶۷۲	۶۰۰	۵۳۲	۸۲	۶۲	۶۶۸	۵۹۰	۵۲۹
	ضریب تغییرات (درصد)	۴۱	۵۲	۹	۸	۸	۱۴	۱۳	۶	۸	۸	۸	۶	۸	۹	۱۰
کل مجموعه داده	حداقل	۱۵	۸	۶۱۴	۵۲۱	۵۰۶	۹۴	۵۸	۵۷۵	۵۰۲	۴۴۲	۷۲	۵۷	۵۶۲	۴۹۰	۴۳۱
	حداکثر	۵۸	۴۱	۹۲۷	۷۷۸	۷۶۴	۱۵۴	۹۲	۸۴۷	۷۵۸	۶۷۱	۱۰۱	۷۲	۸۶۷	۷۵۷	۶۹۱
	میانگین	۲۹**	۱۷^{ns}	۷۱۶**	۶۳۴**	۶۱۷**	۱۱۸**	۷۰**	۶۸۸**	۶۱۳**	۵۴۳**	۸۳**	۶۲**	۶۸۶**	۶۰۵**	۵۴۲**
	ضریب تغییرات (درصد)	۳۸	۴۹	۹	۱۰	۱۰	۱۶	۱۵	۹	۱۰	۱۰	۸	۷	۱۱	۱۱	۱۲

(*) در این جدول، P بارندگی، P_e بارندگی موثر، ET_o تبخیر- تعرق چمن مرجع، ET_c نیاز آبی سـویا و I_n نیاز آبی خالص سـویا و بالانویس‌های ** و ns به‌ترتیب، بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح $P < 0.01$ و عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌های کمیت مورد بررسی بین کشت‌های بهاره و تابستانه است



شکل ۲- مقایسه مقادیر نیاز آبی خالص، آب کاربردی و نمایه AE به‌عنوان تابعی از مرحله رشد گیاه بر اساس چهار مقطع منحنی ضریب گیاهی به‌همراه تعداد نوبت‌های آبیاری در هریک از مزارع مطالعاتی. کدهای مزارع با حروف A و B به‌ترتیب، بیانگر مزارع با کشت بهاره و تابستانه سویا است

شکل ۳- مقایسه میانگین دور آبیاری، عملکرد دانه سویا، نمایه‌های بهره‌وری آب مقادیر فصلی I، $I+P_e$ و برآوردهای I_n به‌ازای سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد، میانگین ۱۰ سال اخیر و فصل زراعی مطالعاتی (به‌ترتیب، $I_{n75\%}$، I_{n10Y} و I_{nc}) در مزارع مطالعاتی



شکل ۴- مقایسه میانگین مقادیر ماهانه برآوردهای مختلف نیاز آبی خالص سویا در مزارع مطالعاتی برای کشت بهاره ($I_{n,sp}$) و تابستانه ($I_{n,sm}$)

بر اساس شکل ۴ می‌توان گفت که میانگین نیاز آبی خالص سویا در مزارع مطالعاتی طی سال زراعی انجام پژوهش حاضر، با برآوردهای متناظر آن در سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد بسیار نزدیک بوده و حتی طی ماه‌های تابستان نسبت به آن اندکی فزونی یافته است؛ بنابراین، سال زراعی مطالعاتی از سال‌های خشک در منطقه مطالعاتی محسوب می‌شود. میانگین نیاز آبی سویا در مزارع مطالعاتی در دامنه تغییرات گزارش شده توسط فائو (۲۰۲۰) برای این کمیت (۴۵۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر) قرار دارد. نتایج مقایسه میانگین طول دوره رشد، حجم آب کاربردی فصلی، عملکرد محصول و نمایه‌های راندمان کاربرد آب و بهره‌وری آب به‌عنوان تابعی از معیارهای مختلف گروه‌بندی داده‌ها در جدول ۴ ارائه گردیده است. از آنجا که سویا گیاهی روزکوتاه است، طول ساعات روز بر آهنگ توسعه

گیاه موثر بوده و افزایش آن می‌تواند موجب تاخیر در گلدهی شود (کیو و چانگ، ۲۰۱۰) . بر این اساس و با توجه به روند صعودی طول ساعات روز طی فصول بهار و تابستان می‌توان گفت در کشت بهاره سویا (نسبت به کشت تابستانه)، فرصت مناسب‌تری برای رشد و توسعه مطلوب گیاه و تکمیل مراحل مختلف رشد فراهم می‌شود. مقایسه مقادیر میانگین عملکرد دانه سویا در کشت‌های بهاره و تابستانه نیز موید این امر است (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین طول دوره رشد، حجم آب کاربردی فصلی، عملکرد محصول و نمایه‌های راندمان کاربرد آب و بهره‌وری آب به‌عنوان تابعی از معیارهای مختلف گروه‌بندی داده‌ها[*]

معیار گروه‌بندی داده‌ها	شرح	تاریخ آغاز فصل رشد گیاه	طول دوره رشد (d)	I ($m^3\ ha^{-1}$)	$I + P_e$ ($m^3\ ha^{-1}$)	Y ($ton\ ha^{-1}$)	AE (درصد)	WP_I ($kg\ m^{-3}$)	WP_{I+Pe} ($kg\ m^{-3}$)	$WP_{\$} \times 10^3$ ($Rial\ m^{-3}$)
سطح تحصیلات	دیپلم و پایین‌تر	۱۳۹۹/۰۳/۲۷ ^{a}	۱۵۷ ^{a}	۶۲۳ ^{b}	۶۸۶ ^{b}	۲/۹۵ ^{a}	۸۷ ^{b}	۰/۴۷ ^{a}	۰/۴۳ ^{a}	۳۲/۴۸ ^{a}
بهره‌برداران	بالای دیپلم	۱۳۹۹/۰۳/۲۶ ^{a}	۱۵۳ ^{a}	۵۳۸ ^{a}	۵۹۹ ^{a}	۲/۸۱ ^{a}	۹۶ ^{a}	۰/۵۳ ^{a}	۰/۴۷ ^{a}	۳۴/۵۱ ^{a}
سطح مهارت	معمولی	۱۳۹۹/۰۳/۲۹ ^{b}	۱۵۶ ^{a}	۵۹۹ ^{a}	۶۶۱ ^{a}	۲/۸۳ ^{a}	۸۹ ^{a}	۰/۴۸ ^{b}	۰/۴۳ ^{b}	۳۰/۰۱ ^{b}
بهره‌برداران	پیشرو	۱۳۹۹/۰۳/۱۶ ^{a}	۱۵۵ ^{a}	۵۷۰ ^{a}	۶۳۱ ^{a}	۳/۱۹ ^{a}	۹۶ ^{a}	۰/۵۶ ^{a}	۰/۵۱ ^{a}	۴۶/۸۳ ^{a}
تناوب زراعی	آیش-سویا	۱۳۹۹/۰۳/۲۱ ^{b}	۱۴۰ ^{a}	۴۸۰۱ ^{a}	۵۳۸۰ ^{a}	۲/۷۲ ^{b}	۱۰۰ ^{a}	۰/۵۷ ^{a}	۰/۵۱ ^{a}	۴۱/۱۰ ^{ab}
	گندم-سویا	۱۳۹۹/۰۴/۰۱ ^{c}	۱۵۵ ^{b}	۵۸۸۸ ^{b}	۶۵۱۱ ^{b}	۲/۸۱ ^{b}	۸۹ ^{b}	۰/۴۸ ^{b}	۰/۴۳ ^{b}	۳۱/۳۲ ^{b}
	کلزا-سویا	۱۳۹۹/۰۳/۱۹ ^{c}	۱۶۰ ^{b}	۶۲۰۵ ^{bc}	۶۸۲۰ ^{bc}	۲/۸۹ ^{b}	۹۱ ^{ab}	۰/۴۷ ^{ab}	۰/۴۳ ^{ab}	۲۸/۵۰ ^{ab}
	سیر-سویا	۱۳۹۹/۰۲/۳۰ ^{a}	۱۷۹ ^{c}	۷۴۶۰ ^{c}	۸۱۳۱ ^{c}	۳/۹۲ ^{a}	۹۰ ^{ab}	۰/۵۳ ^{ab}	۰/۴۸ ^{ab}	۴۵/۱۲ ^{a}
آرایش کشت	تک‌ردیفه	۱۳۹۹/۰۳/۲۴ ^{a}	۱۵۷ ^{a}	۵۹۰ ^{a}	۶۵۲ ^{a}	۲/۹۵ ^{a}	۹۰ ^{b}	۰/۵۰ ^{a}	۰/۴۵ ^{a}	۳۳/۸۴ ^{a}
	دوردیفه	۱۳۹۹/۰۳/۳۱ ^{ab}	۱۴۹ ^{a}	۶۸۸ ^{a}	۷۴۸ ^{a}	۳/۳۵ ^{a}	۸۰ ^{b}	۰/۵۰ ^{b}	۰/۴۶ ^{ab}	۳۶/۵۳ ^{a}
	کشت با ردیفکار	۱۳۹۹/۰۴/۰۸ ^{b}	۱۵۱ ^{a}	۵۵۵ ^{a}	۶۱۸ ^{a}	۲/۳۳ ^{b}	۹۹ ^{a}	۰/۴۲ ^{b}	۰/۳۸ ^{b}	۲۷/۴۳ ^{a}
رقم سویا	ویلیامز	۱۳۹۹/۰۳/۳۰ ^{ab}	۱۴۲ ^{ab}	۵۶۹۸ ^{ab}	۶۲۸۷ ^{ab}	۳/۰۸ ^{ab}	۸۷ ^{abc}	۰/۵۵ ^{a}	۰/۵۰ ^{a}	۲۳/۸۱ ^{a}
	آرین	۱۳۹۹/۰۳/۲۲ ^{a}	۱۶۳ ^{bc}	۶۲۴۰ ^{b}	۶۸۷۵ ^{b}	۳/۰۳ ^{a}	۸۹ ^{b}	۰/۴۸ ^{ab}	۰/۴۴ ^{ab}	۳۵/۲۴ ^{a}
	L17	۱۳۹۹/۰۴/۰۴ ^{b}	۱۴۹ ^{ab}	۶۲۸۱ ^{b}	۶۸۸۷ ^{b}	۳/۱۶ ^{a}	۷۹ ^{b}	۰/۵۲ ^{ab}	۰/۴۷ ^{ab}	۳۵/۱۵ ^{a}
	کتول	۱۳۹۹/۰۳/۳۱ ^{b}	۱۵۷ ^{b}	۵۶۰۸ ^{ab}	۶۲۴۱ ^{ab}	۲/۵۵ ^{b}	۹۷ ^{c}	۰/۴۶ ^{b}	۰/۴۱ ^{b}	۲۷/۲۸ ^{a}
	سایر ارقام	۱۳۹۹/۰۳/۲۱ ^{ab}	۱۴۰ ^{a}	۴۸۰۱ ^{a}	۵۳۸۰ ^{a}	۲/۵۷ ^{ab}	۱۰۰ ^{ac}	۰/۵۳ ^{ab}	۰/۴۸ ^{ab}	۲۶/۱۰ ^{a}
فصل کشت	بهاره	۱۳۹۹/۰۳/۰۲ ^{a}	۱۷۸ ^{b}	۷۲۴ ^{b}	۷۹۱ ^{b}	۳/۷۸ ^{a}	۹۱ ^{a}	۰/۵۲ ^{a}	۰/۴۸ ^{a}	۴۰/۷۹ ^{a}
سویا	تابستانه	۱۳۹۹/۰۳/۳۰ ^{b}	۱۵۳ ^{a}	۵۷۷ ^{a}	۶۳۹ ^{a}	۲/۷۹ ^{b}	۹۰ ^{a}	۰/۴۹ ^{a}	۰/۴۴ ^{a}	۳۲/۲۷ ^{a}
شیوه کشت بذر	خشکه‌کاری	۱۳۹۹/۰۳/۲۴ ^{a}	۱۵۸ ^{a}	۶۰۹ ^{a}	۶۷۱ ^{a}	۳/۰۱ ^{a}	۸۸ ^{a}	۰/۵۰ ^{a}	۰/۴۵ ^{a}	۳۳/۷۸ ^{a}
	هیرم‌کاری	۱۳۹۹/۰۴/۰۷ ^{b}	۱۴۸ ^{a}	۵۳۸ ^{a}	۵۹۹ ^{a}	۲/۴۹ ^{b}	۹۷ ^{b}	۰/۴۷ ^{a}	۰/۴۲ ^{a}	۳۱/۰۵ ^{a}
کاربرد محصول سویا	بذر	۱۳۹۹/۰۳/۲۶ ^{a}	۱۴۸ ^{a}	۵۲۷ ^{a}	۵۸۶ ^{a}	۲/۸۱ ^{a}	۹۵ ^{a}	۰/۵۴ ^{a}	۰/۴۸ ^{a}	۳۹/۹۶ ^{a}
	دانه خوراکی	۱۳۹۹/۰۳/۲۷ ^{a}	۱۵۸ ^{a}	۶۱۵ ^{b}	۶۷۸ ^{b}	۲/۹۳ ^{a}	۸۹ ^{a}	۰/۴۸ ^{b}	۰/۴۳ ^{b}	۳۱/۰۲ ^{b}
کل	حداقل	۱۳۹۹/۰۲/۲۸	۱۳۹	۴۴۱۲	۵۰۰۵	۲/۰۵	۵۶	۰/۳۶	۰/۳۳	۱۵/۲۱
	حداکثر	۱۳۹۹/۰۴/۱۶	۱۸۴	۹۴۱۵	۱۰۰۰۹	۴/۱۲	۱۰۰	۰/۶۷	۰/۶۰	۶۲/۴۰
مجموعه داده	میانگین	۱۳۹۹/۰۳/۲۶	۱۵۶	۵۹۳۲	۶۵۵۴	۲/۹۰	۹۰	۰/۴۹	۰/۴۴	۳۳/۱۹
	CV	۳۹	۹	۱۷	۱۶	۱۹	۱۱	۱۴	۱۴	۳۵

[*] در این جدول، میانگین‌های با حروف مشابه در هر گروه داده، فاقد تفاوت معنی‌دار آماری (بر اساس آزمون LSD در سطح $P < 0.05$) می‌باشند. تاریخ آغاز فصل رشد گیاه در شیوه‌های خشکه‌کاری و هیرم‌کاری به‌ترتیب، معادل با تاریخ اولین رویداد آبیاری و کشت بذر در نظر گرفته شد.CV بیانگر ضریب تغییرات (درصد) است

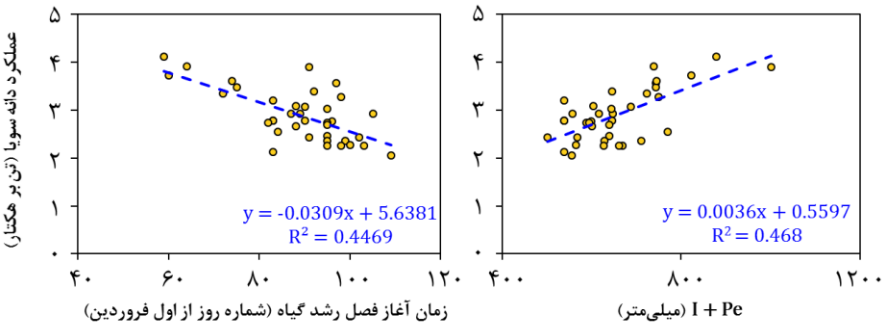
همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، میانگین عملکرد دانه سویا بهاره به‌طور معنی‌داری بیشتر (۳۵ درصد بیشتر) از مقدار متناظر آن در کشت تابستانه بوده است. بر اساس این جدول می‌توان گفت که کشاورزان پیشرو و کشاورزان با سطح تحصیلات بالاتر از دیپلم توجه بیشتری نسبت به کشت به‌موقع سویا داشته‌اند. تا جایی که میانگین تاریخ آغاز فصل رشد سویا در مزارع کشاورزان پیشرو به‌طور معنی‌داری زودهنگام‌تر از مقدار متناظر آن برای کشاورزان معمولی بوده است (جدول ۴). همچنین، میانگین تاریخ آغاز فصل رشد سویا در مزارعی که در آن‌ها کشت سویا با هدف تولید بذر صورت گرفته است، زودهنگام‌تر از سایر مزارع مطالعاتی بوده است. دلیل این امر توجه ویژه به حفظ شرایط مناسب رشد گیاه در این مزارع به‌منظور برآورد شدن استانداردهای کیفی برای بذر

تولیدی است. با این حال، اختلاف میانگین تاریخ آغاز فصل رشد بین این دو گروه از مزارع به‌لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است. بر اساس جدول ۴، میانگین تاریخ آغاز فصل رشد سویا در مزارع با شیوه هیرم‌کاری به‌طور معنی‌داری دیرهنگام‌تر از مزارع با شیوه خشکه‌کاری بوده است. دلیل اصلی این امر رایج بودن هیرم‌کاری سویا در بخش‌های پایین‌دستی شبکه آبیاری و زهکشی مغان و محدودیت دسترسی به آب طی ماه‌های تابستان در این بخش از شبکه و لذا، موکول ماندن عملیات کاشت به فراهم شدن آب جهت انجام آبیاری اولیه مزرعه است. همچنین، از آنجا که آرایش کاشت در شیوه هیرم‌کاری سویا به‌صورت کشت با ردیفکار بود، این امر موجب گردید که میانگین تاریخ آغاز فصل رشد در این آرایش کاشت دیرهنگام‌تر از آرایش کشت‌های تک‌ردیفه و دورديفه باشد (جدول ۴). همین‌طور، در میان ارقام سویای مورد بررسی ارقام L17 و کتول، دیرهنگام‌ترین میانگین تاریخ آغاز فصل رشد سویا را به خود اختصاص دادند (جدول ۴).

دلیل این امر در مورد رقم کتول رایج بودن کشت این رقم در بخش‌های پایین‌دستی شبکه (به‌دلیل مقاومت مطلوب آن در برابر تنش خشکی) و در مورد رقم L17 ناشی از به‌تاخیر افتادن زمان کشت در اثر تحمیل شدن سایر محدودیت‌ها به کشاورز (نظیر فراهم نشدن به‌موقع بذر و ادوات مکانیزاسیون) بوده است. بر اساس جدول ۴، مزارع با تناوب زراعی سیر-سویا و گندم-سویا به‌ترتیب، زودهنگام‌ترین و دیرهنگام‌ترین میانگین تاریخ آغاز فصل رشد گیاه را به‌خود اختصاص داده‌اند. به‌گونه‌ای که اختلاف میانگین تاریخ آغاز فصل رشد گیاه در این دو تناوب زراعی با دیگر تناوب‌های زراعی مورد بررسی معنی‌دار بوده است. کشت زودهنگام سویا در مزارع با تناوب زراعی سیر-سویا را می‌توان به زمان مناسب آزاد شدن زمین در این مزارع و امکان کشت بهاره سویا نسبت داد. این امر در مورد تناب زراعی آیش-سویا نیز برقرار بوده و کشت قبلی مزرعه عامل محدود کننده برای انتخاب زمان کشت سویا محسوب نمی‌شود. پس از تناوب سیر-سویا، مزارع مطالعاتی با تناوب کلزا-سویا از زودهنگام‌ترین تاریخ کشت برخوردار بوده‌اند (جدول ۴). اساسا، در دشت مغان به‌منظور کاهش تلفات ریزش دانه کلزا (در اثر وزش بادهای شدید مقارن با انتهای فصل رشد گیاه) و نیز از دست نرفتن زمان بهینه کشت دوم، برداشت کلزا عمدتا در زودهنگام‌ترین زمان ممکن انجام می‌شود. همان‌طور که گفته شد، مزارع با تناوب زراعی گندم-سویا از دیرهنگام‌ترین تاریخ آغاز فصل رشد گیاه نسبت به سایر تناوب‌های زارعی مورد بررسی برخوردار بودند. از دلایل اصلی این امر می‌توان به رایج بودن تناوب گندم-سویا در بخش‌های پایین‌دستی شبکه و محدودیت کشاورزان در دسترسی به‌موقع به ادوات مکانیزاسیون جهت برداشت محصول گندم اشاره کرد. همان‌طور که در جدول ۴ نیز قابل ملاحظه است، در مزارع تحت مدیریت کشاورزان پیشرو و کشاورزان با سطح تحصیلات بالاتر، گیاه سویا از میانگین طول دوره رشد کوتاه‌تری برخوردار بوده است (با این حال، هیچ‌یک از این تفاوت‌ها معنی‌دار نبوده‌اند).

با این حال، کشت زودهنگام‌تر سویا در کشت بهاره موجب کاهش طول دوره رشد گیاه نگردیده است (جدول ۴). به‌گونه‌ای که علی‌رغم تغییرپذیری قابل توجه تاریخ آغاز رشد گیاه در مزارع مطالعاتی (ضریب تغییرات ۴۱ درصدی)، طول دوره رشد گیاه از تغییرپذیری بسیار پایین‌تری (ضریب تغییرات نه درصدی) برخوردار بوده است (جدول ۴). این امر بدان معناست که صرف‌نظر از فصل کشت، زمان برداشت سویا از دامنه تغییرات محدودی برخوردار است. در مورد کشت تابستانه، دلیل این امر ناشی از به تعویق افتادن مراحل رشد و توسعه گیاه سویا به‌دنبال تاخیر در انجام به‌موقع عملیات کاشت و از دست رفتن بخش مهمی از دوره بهینه کشت دوم است. از سوی دیگر، تاخیر کشت سویای تابستانه موجب می‌شود که رشد گیاه از حساسیت بیشتری نسبت به تنش‌های محیطی (خصوصا تنش خشکی که در بخش‌های پایین‌دستی شبکه بسیار شایع است) برخوردار بوده و بروز این تنش‌ها موجب بیشتر به‌تعویق افتادن تکمیل مراحل مختلف رشد گیاه خواهد شد.

این درحالیست که در کشت بهاره، گیاه از فرصت بیشتری برای تکمیل مراحل رشد خود و جبران اثرات منفی تنش‌های محیطی برخوردار است؛ بنابراین، برآیند عوامل فوق موجب به‌تعویق افتادن زمان برداشت سویای تابستانه خواهد شد. این درحالیست دلیل اصلی به‌تاخیر افتادن زمان برداشت سویای بهاره، تمایل کشاورز جهت دستیابی به سطح پتانسیل عملکرد دانه سویا است. اساسا، دستیابی به سطوح بالای عمکرد دانه سویا لزوما، به‌ازای بهینه‌ترین سطح آب مصرفی گیاه حاصل نمی‌شود (آدبویه و همکاران، ۲۰۱۵). بر اساس شکل ۵، رابطه خطی افزایشی بین مقادیر فصلی $I + P_e$ و عملکرد دانه سویا در مزارع مطالعاتی نیز مشهود است. این درحالیست که گاژیچ و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که رابطه درجه دوم بین عملکرد دانه سویا و مقدار آب کاربردی فصلی وجود دارد؛ بنابراین، بر اساس شکل ۵ می‌توان گفت که مقادیر فصلی $I + P_e$ در مزارع مطالعاتی در حدی مفرط نبوده است که آستانه کاهش محصول در اثر کاربرد بی‌رویه آب به‌طور کاملا مشهود مشخص شود. از این‌رو، در مزارع سویای بهاره با وجود امکان تکمیل شدن سریع‌تر مراحل مختلف رشد گیاه از طریق برخی اقدامات مدیریتی (نظیر برنامه‌ریزی آبیاری)، کشاورزان به‌طور آگاهانه طول دوره رشد گیاه را افزایش می‌دهند. به‌گونه‌ای که با بهره‌مند ساختن مزرعه از یک نوبت آبیاری اضافی و/یا بارش‌های شهریورماه و فصل پاییز، شرایط مطلوب رطوبتی خاک جهت طولانی‌تر شدن مراحل میانی و نهایی رشد گیاه و بهبود هرچه بیشتر عملکرد دانه سویا را فراهم می‌آورند. این امر از میانگین مقادیر فصلی I و $I + P_e$ طی فصل رشد گیاه (جدول ۴) که در کشت‌های بهاره و تابستانه از اختلافی معنی‌دار با یکدیگر برخوردار بوده‌اند نیز قابل استنباط است.



شکل ۵- بررسی رابطه بین تاریخ آغاز فصل رشد و مقدار فصلی $I + P_e$ با عملکرد دانه سویا در مزارع مطالعاتی

بر اساس جدول ۴، مزارع تحت مدیریت کشاورزان پیشرو و کشاورزان با سطح تحصیلات بالاتر از دیپلم، از میانگین مقادیر فصلی I و $I + P_e$ پایین‌تری نسبت به دیگر مزارع مطالعاتی برخوردار بوده‌اند. با این‌حال، این اختلاف‌ها تنها در مورد سطح تحصیلات کشاورزان معنی‌دار بوده است. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، مزارع با آرایش کاشت دوردیفه و کشت با ردیفکار به‌ترتیب، بیشترین و کمترین میانگین مقادیر فصلی I و $I + P_e$ را به خود اختصاص داده‌اند. دلیل پیشی گرفتن میانگین مقادیر فصلی I و $I + P_e$ در آرایش کشت دوردیفه نسبت به آرایش کشت‌های دیگر، جدید بودن کاربرد این آرایش کاشت در منطقه و عدم تجربه کافی کشاورزان در خصوص نحوه برنامه‌ریزی آبیاری مزرعه در این شرایط است.

از طرف دیگر، واقع شدن مزارع با شیوه کشت خشکه‌کاری در بخش‌های بالادستی و میانی شبکه آبیاری و زهکشی مغان موجب شده است که میزان میانگین مقادیر فصلی I و $I + P_e$ در این مزارع بیشتر از شیوه کشت هیرم‌کاری (که اساسا در بخش‌های پایین‌دستی شبکه رایج است) باشد. از سوی دیگر، میزان میانگین مقادیر فصلی I و $I + P_e$ در مزارع سویای بذری به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از (هر دو به‌میزان ۱۴ درصد) مقدار نظیر آن‌ها در مزارع

سویای دانه‌ای است (جدول ۴). دلیل این امر را می‌توان به شرایط مطلوب مدیریت این مزارع به جهت لزوم برآورده شدن استانداردهای تولید بذر نسبت داد.

بر اساس جدول ۴ می‌توان گفت که به‌طور کلی، کشت زودهنگام‌تر سویا در مزارع مطالعاتی، موجب افزایش میانگین طول دوره رشد گیاه و میانگین مقادیر فصلی I و $I + P_e$ گردیده است. با این حال، این روند در مورد مزارع با تناوب آیش–سویا مصداق نداشته است. دلیل این امر ناشی از مدیریت آبیاری متفاوت اعمال شده در این مزارع نسبت به دیگر مزارع مطالعاتی است. به‌گونه‌ای که برنامه‌ریزی آبیاری این مزارع در انطباق با مراحل حساس رشد گیاه صورت گرفت و عدم دسترسی گیاه به آب مازاد موجب تسریع در تکمیل مراحل رشد گیاه و اجتناب از طولانی شدن دوره رشد گردید. این نکته از شکل ۲ نیز قابل استنباط می‌باشد. بر اساس این شکل، مزارع با تناوب آیش–سویا که در برگیرنده مزارع B29 تا B32 می‌باشد، تنها سه نوبت آبیاری با میانگین دور آبیاری ۲۷ روز (شکل ۳) و مقارن با مراحل رشد اولیه، توسعه و میانی گیاه دریافت کرده‌اند. این در حالیست که مدیریت آبیاری اعمال شده در سایر مزارع دارای اسلوبی متفاوت با مزارع فوق بوده و در مراحل ابتدایی، توسعه‌ای و/یا میانی بیش از یک نوبت آبیاری را تجربه کرده‌اند. برخی مزارع به‌دلایلی نظیر ۱) حصول اطمینان کشاورز از سبز شدن کامل بذرها، ۲) عدم اطمینان کشاورز از تامین آب مورد نیاز در آینده و ۳) کند شدن رشد گیاه در نتیجه اثر تنش‌های محیطی (به‌ویژه خسارت ناشی از کرم برگ‌خوار)، بیش از یک نوبت آبیاری را در مرحله ابتدایی رشد گیاه دریافت کرده‌اند. این امر بیانگر اهمیت آماده‌سازی مناسب زمین در زمان کاشت، قابلیت انعطاف‌پذیری شبکه آبیاری در تامین نیاز آبیاری مزارع و عملیات داشت به‌منظور فراهم شدن امکان اعمال یک مدیریت آبیاری بهینه در مزرعه است. بر اساس شکل ۲ هیچ‌یک از مزارع مطالعاتی (به‌جز مزرعه B13) طی مرحله پایانی رشد گیاه آبیاری نشده‌اند.

به‌طور جالب توجهی، درصد افزایش مقادیر فصلی $I + P_e$ در کشت بهاره نسبت به کشت تابستانه (۲۴ درصد، جدول ۴) مشابه مقدار نظیر آن برای نیاز آبی خالص در فصل زراعی مطالعاتی (جدول ۳) بوده است. با این حال، در مقایسه با کشت تابستانه، مزارع با کشت بهاره سویا همواره از تعداد رویدادهای آبیاری بیشتر (شکل ۲) و مقادیر فصلی I و $I + P_e$ بالاتر (شکل ۳) برخوردار نبوده‌اند. برآوردهای به‌دست آمده برای میانگین حجم آب کاربردی فصلی در مزارع مطالعاتی در دامنه مقادیر گزارش شده توسط مسی و همکاران (۲۰۱۷) برای کشت سویا قرار دارد. با این حال، میانگین حجم آب کاربردی فصلی در مزارع مطالعاتی به‌طور معنی‌داری ($p< 0.01$) بیشتر از برآورد فرحزا و همکاران (۱۳۹۹) برای حجم آب کاربردی فصلی کشت سویا در دشت مغان (۳۸۸۸ مترمکعب بر هکتار) است.

همین‌طور، میانگین عملکرد سویا و نمایه‌های AE و بهره‌وری آب در مزارع تحت مدیریت زارعین پیشرو بالاتر از مزارع تحت مدیریت زارعین معمولی بود. این روند در مورد مقایسه مزارع تحت مدیریت زارعین با سطح تحصیلات بالای دیپلم با سیار مزراع مطالعاتی مصداق نداشت. دلیل این امر، عمدتا ناشی از عدم توجیه اقتصادی صرف وقت و سرمایه بیشتر بر روی کشت سویا برای این دسته از کشاورزان بود. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، از دیدگاه سطح تحصیلات کشاورزان، اختلاف عملکرد دانه سویا و نمایه‌های بهره‌وری آب بین دو گروه مورد بررسی به‌لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است.

میانگین عملکرد دانه سویا و نمایه‌های بهره‌وری آب در مزارع با تناوب سیر–سویا، به‌طور معنی‌داری بالاتر از سایر تناوب‌های زراعی مطالعاتی بوده است. علاوه بر زمان مناسب کشت سویا در این تناوب زارعی، عامل مهم دیگر در حصول این نتیجه ناشی از توجیه اقتصادی کاربرد کود و سموم بیشتر در کشت سیر است. تا جایی که این عامل سبب می‌شود که پس از برداشت محصول سیر، محتوای مواد مغذی خاک در شرایط مطلوبی قرار داشته

باشد که به‌تبع آن، رشد مطلوب گیاه سویا و کاهش هزینه‌های کاربرد کود و سموم را به‌دنبال خواهد داشت. بررسی‌ها نشان داد که در مقایسه با سایر تناوب‌های زارعی مطالعاتی، عملکرد دانه سویا در مزارع با تناوب زراعی سیر–سویا از پایین‌ترین تغییرپذیری برخوردار است (ضریب تغییرات پنج درصدی در مقایسه با ضریب تغییرات ۱۶، ۱۸ و ۱۲ درصد به‌ترتیب، برای تناوب‌های آیش–سویا، گندم–سویا و کلزا–سویا). این امر می‌تواند بیانگر شرایط مطلوب رشد گیاه سویا در مزارع با تناوب–سیر سویا باشد. میزان قابل انتظار عملکرد دانه سویا در شرایط کشت آبی ارقام بهبود یافته سویا در دامنه ۲/۵ تا ۳/۵ تن دانه بر هکتار توصیه شده است (فائو، ۲۰۲۰). عملکرد دانه سویا در بخش عمده مزارع مطالعاتی (۷۰ درصد) بالاتر از ۲/۵ تن بر هکتار بود. بر این اساس و با توجه به مقادیر میانگین و حداکثر عملکرد دانه سویا در مزارع مطالعاتی (به‌ترتیب، ۲/۹۰ و ۴/۱۲ تن بر هکتار) (جدول ۴)، می‌توان گفت که منطقه مطالعاتی از شرایط مطلوبی برای تولید محصول سویا برخوردار است. همین‌طور، میانگین عملکرد دانه سویا در مزارع مطالعاتی به‌طور معنی‌داری ($P < ۰/۰۱$) بیشتر از برآوردهای گزارش شده توسط فرحزا و همکاران (۱۳۹۹) برای میانگین عملکرد دانه سویا در دشت مغان (۲/۶ تن بر هکتار) است.

با مقایسه رابطه بین میانگین تاریخ کاشت و عملکرد دانه سویا در تناوب‌های زراعی مختلف (جدول ۴) می‌توان گفت که به‌طور کلی، کشت زودهنگام‌تر سویا در مزارع مطالعاتی، موجب افزایش عملکرد دانه سویا گردیده است. این امر از شکل ۵ نیز قابل استنباط است. بر اساس این شکل می‌توان گفت که در محدوده مقادیر ثبت شده تاریخ آغاز فصل رشد گیاه برای مزارع مطالعاتی، مناسبت‌ترین تاریخ کشت سویا در منطقه مطالعاتی ۲۸ اردیبهشت بوده و به‌طور متوسط، هر یک روز تاخیر نسبت این تاریخ موجب سه درصد کاهش در عملکرد دانه سویا خواهد شد. بر اساس جدول ۴، مقدار نمایه AE در مزارع مطالعاتی با میانگین ۹۰ درصد، بین ۵۶ تا ۱۰۰ درصد متغیر بوده است. مقدار بالای این نمایه لزوما به معنای اعمال یک مدیریت آبیاری مطلوب در مزرعه نیست. دلیل این امر آن است که در این نمایه نحوه توزیع آب کاربردی در طول فصل رشد گیاه در نظر گرفته نمی‌شود. همان‌طور که از بیان ریاضی این نمایه (رابطه (۶)) نیز قابل استنباط است، در صورتی که مقدار کل آب کاربردی فصلی کوچک‌تر یا مساوی با مقدار نیاز آبی خالص باشد، مقدار این نمایه برابر با ۱۰۰ درصد خواهد بود. این امر از شکل ۲ که در آن مقادیر نمایه AE به‌عنوان تابعی از مرحله رشد گیاه بر اساس چهار مقطع منحنی ضریب گیاهی ارائه شده است نیز قابل استنباط می‌باشد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، مقدار نمایه AE در مراحل ابتدایی، توسعه‌ای و میانی رشد گیاه با تبعیت از یک روند افزایشی، به‌ترتیب، بین ۱۴ تا ۶۱ درصد، ۳۸ تا ۱۰۰ درصد و ۴۱ تا ۱۰۰ درصد متغیر است. میانگین مقادیر این نمایه طی هر چهار مرحله رشد گیاه در هریک از مزارع مطالعاتی در دامنه ۵۰ تا ۸۲ درصد قرار می‌گیرد. سطح پایین نمایه AE در مراحل اولیه رشد گیاه و روند افزایشی آن با رشد و توسعه گیاه توسط مکاری قهرودی و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش شده است. محدودیت دسترسی به آب در بخش‌های پایین‌دستی شبکه آبیاری و زهکشی مغان موجب گردید که میانگین عملکرد دانه سویا و نمایه‌های بهره‌وری آب در رقم کتول (که کشت آن در پایین‌دست شبکه رایج است) به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از سایر ارقام مورد بررسی (که کشت آن‌ها در بخش‌های بالادستی و میانی شبکه رایج است) باشد. این امر در مورد آرایش کشت با ردیفکار و شیوه کشت بذر هیرم‌کاری نیز صادق است.

از سوی دیگر، میانگین مقادیر نمایه‌های WP_I، WP_{I+Pe} و $WP_\$$ برای کشت‌های بهاره بیشتر از کشت تابستانه (به‌ترتیب، شش، هشت و ۳۴ درصد بیشتر) بوده است. میانگین نمایه WP_I در مزارع مطالعاتی به‌طور معنی‌داری ($P < ۰/۰۱$) کمتر از برآوردهای گزارش شده توسط فرحزا و همکاران (۱۳۹۹) برای مقدار این نمایه در دشت مغان (۰/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب) است. مقدار نمایه

WP_{I+Pe} در اغلب مزارع مطالعاتی (۷۶ درصد)، در دامنه تغییرات گزارش شده توسط فائو (۲۰۲۰) برای مقدار این نمایه (۰/۴ تا ۰/۷ کیلوگرم بر مترمکعب) قرار داشت و مقدار آن در مابقی مزارع مطالعاتی (۲۴ درصد) کمتر از آستانه حداقلی ۰/۴ کیلوگرم بر مترمکعب بود. یکی از دلایل حصول سطوح پایین نمایه‌های WP_I و WP_{I+P} را می‌توان به کاهش عملکرد محصول در اثر عوامل محدود کننده تولید سویا در مزارع مطالعاتی و لذا، کاهش صورت کسر در نمایه‌های فوق (روابط (۳) و (۴)) نسبت داد. از سوی دیگر، با توجه به ضریب تغییرات اندک آب کاربردی فصلی، عملکرد دانه سویا و نمایه‌های WP_I و WP_{I+P} (جدول ۴) و تعداد محدود نوبت‌های آبیاری سطحی اعمال شده در اغلب مزارع مطالعاتی (شکل ۲) می‌توان گفت جریان برگشتی آبیاری نیز از سهم قابل توجهی در کاهش نمایه‌های بهره‌وری آب در مزارع مطالعاتی برخوردار بوده است. چراکه افزایش این مولفه موجب کاهش نمایه‌های WP_I و WP_{I+P} در مقیاس مزرعه خواهد شد. این امر از شکل ۳ نیز قابل استنباط است. بر اساس این شکل، علی‌رغم آن که عملکرد دانه سویا در برخی مزارع مطالعاتی (مزارع A1، A2، B1، B4 و B5) از آستانه حداکثری عملکرد قابل قبول توصیه شده توسط فائو (۲۰۲۰) برای کشت آبی سویا فراتر رفته است، اما این مزارع از سطوح پایینی از نمایه‌های WP_I و WP_{I+P} برخوردار بوده‌اند. این امر به‌وضوح بیانگر سهم قابل توجه مولفه جریان برگشتی آبیاری در بیلان آب این مزارع است که دلیل آن را می‌توان به ضعف در برنامه‌ریزی آبیاری و نیز آبیاری بی‌رویه در هریک از نوبت‌های آبیاری و/یا ضعف در مدیریت جریان سطحی در مزارع نسبت داد.

مقایسه مقادیر آب کاربردی فصلی و نمایه WP_I در مزارع مطالعاتی با دامنه مقادیر نظیر گزارش شده توسط رستمی اجیرلو و همکاران (۱۳۹۶) از مطالعات کرت‌های آزمایشی در دشت مغان (به‌ترتیب، ۲۰۰ تا ۴۱۸ میلی‌متر و ۰/۲۸ تا ۰/۹۵ کیلوگرم بر مترمکعب) حاکی از امکان بهبود بهره‌وری آب آبیاری از طریق بهبود مدیریت آبیاری (به‌ویژه از طریق بهبود برنامه‌ریزی آبیاری در انطباق با نیاز گیاه و کاهش جریان برگشتی از مزارع)، کشت به‌موقع و انتخاب رقم مناسب سویا و مدیریت کاربرد کود و آفات و بیماری‌ها در مزارع مطالعاتی است. این امر از شکل ۳ نیز قابل استنباط است. بر اساس این شکل، در مزرعه B29 (رقم ویلیامز) با حداقل تعداد نوبت آبیاری ثبت شده در مزارع مطالعاتی (سه نوبت در تاریخ‌های ۹۹/۰۳/۲۱، ۹۹/۰۴/۱۷ و ۹۹/۰۵/۱۳ و به‌ترتیب، با عمق آب کاربردی ۱۹۳۶، ۱۴۱۳ و ۱۴۵۲ مترمکعب بر هکتار) با مجموع آب کاربردی و بارش موثر ۵۳۸۰ مترمکعب بر هکتار، عملکرد ۳/۲۰ تن دانه سویا بر هکتار حاصل شده است. همچنین، در بین مزارع مطالعاتی، بالاترین سطح از نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} (به‌ترتیب، برابر با ۰/۶۰ و ۰/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب) به مزرعه B29 تعلق داشته است. مزارع B29 تا B32 تحت مدیریت بهره‌بردار پیشرو قرار داشت و بهترین شیوه‌های مدیریتی رایج در کشت سویا (خصوصا، به‌لحاظ مبازره با آفات و علف‌های هرز) در سطحی مطلوب در این مزارع اعمال گردید. با این حال، در سه مزرعه B30 تا B32 که از نظر ویژگی‌های فیزیکی، مدیریت آبیاری و سایر ویژگی‌های مدیریت زراعی (به‌جز رقم سویا) کاملا مشابه با مزرعه B29 بودند، سطوح پایین‌تری از نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} حاصل گردید. این امر بیانگر اهمیت برنامه‌ریزی آبیاری، انتخاب رقم مناسب و اعمال بهترین شیوه‌های مدیریتی کشت سویا در بهبود بهره‌وری آب سویا در مزارع مطالعاتی است که این نتیجه با نتیجه پژوهش گارسیا و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. همان‌طور که در جدول ۴ نیز قابل مشاهده است، علی‌رغم عدم وجود اختلاف معنی‌دار میانگین آب کاربردی فصلی بین ارقام سویا در مزارع مطالعاتی، میانگین نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} برای رقم ویلیامز به‌طور معنی‌داری بالاتر از مقدار این نمایه‌ها برای رقم کتول بوده است. بر اساس شکل ۳ و شکل ۴، از میان مزارع با کشت بهاره، مزرعه A3 با تعداد پنج نوبت آبیاری (یک نوبت آبیاری اولیه و دو نوبت آبیاری در هریک از مراحل توسعه و میانی) به بالاترین سطح از نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} دست یافته است. برخلاف نمایه‌های WP_I

و WP_{I+Pe}، بالاترین سطح نمایه $WP_{\$}$ به مزرعه B29 تعلق نداشته است (شکل ۳).

بررسی‌ها نشان داد که نمایه $WP_{\$}$، علاوه بر میزان عملکرد محصول و آب کاربردی در مزرعه تا درجه بیشتری به عوامل مهمی چون ارزش اقتصادی زمین، توانایی کشاورز در بازاریابی محصول تولیدی، تغییرات زمانی کشش بازار، نوع کشت سویا (با هدف تولید دانه خوراکی یا تولید بذر) و گیاه کشت شده طی فصل قبل وابسته است. این امر به‌وضوح در مقایسه میانگین نمایه $WP_{\$}$ برای سویای بذری و دانه‌ای نمود یافته است. تا جایی که ارزش اقتصادی بالاتر سویای بذری نسبت به سویای دانه‌ای موجب گردیده است که علی‌رغم پایین‌تر بودن عملکرد مزارع سویای بذری، تولید سویا در این مزارع به‌طور معنی‌داری به سطح بالاتری (به‌میزان ۲۹ درصد) از بهره‌وری اقتصادی آب کاربردی ختم شود. از سوی دیگر، به‌دلیل سودآوری و متقابلا، ریسک قابل توجه کشت سیر (به‌دلیل محدودیت‌های انبارداری و کشش بازار)، سیرکاران دشت مغان از وضعیت مطلوب‌تری به‌لحاظ سرمایه در گردش و توانایی در بازاریابی محصول خود برخوردار هستند. از این‌رو، تعدد عوامل موثر بر نمایه $WP_{\$}$ موجب گردیده است که این نمایه از تغییرپذیری به‌مراتب بالاتری در مقایسه با نمایه‌های WP_{I} و WP_{I+Pe} برخوردار باشد (جدول ۴). بررسی‌ها نشان داد که یکی از دلایل کاهش عایدات اقتصادی کشت تابستانه سویا در منطقه مطالعاتی، از به‌تاخیر افتادن تکمیل مراحل مختلف رشد گیاه و آسیب‌پذیری بیشتر گیاه نسبت به تنش‌های محیطی ناشی می‌شود. از این‌رو، اعمال یک برنامه‌ریزی آبیاری مناسب به‌همراه توجه به بهترین شیوه‌های مدیریتی در کشت سویا (به‌ویژه به‌لحاظ کنترل آفات و علف‌های هرز)، می‌تواند علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش هزینه‌های تولید، امکان برداشت به‌موقع محصول و سودآوری بیشتر و نیز فرصت بهتری برای آماده‌سازی زمین جهت کشت بعدی را فراهم می‌آورد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، آب کاربردی و بهره‌وری آب سویا طی فصل زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در شرایط واقعی مدیریت بهره‌برداری در ۳۷ مزرعه سویای منتخب در دشت مغان به‌عنوان قطب اصلی کشت آبی سویا در استان اردبیل مورد بررسی قرار گرفت. عملکرد دانه سویا در بخش عمده مزارع مطالعاتی (۷۰ درصد مزارع) فراتر از حداقل عملکرد قابل انتظار سویا در کشت آبی (۲/۵ تن بر هکتار) بود. این نتیجه بیانگر شرایط مطلوب دشت مغان برای تولید محصول سویا است. نتایج این مطالعه حاکی از اهمیت زمان آغاز فصل رشد گیاه، رقم سویا و برنامه‌ریزی آبیاری در بهبود بهره‌وری آب سویا در مزارع مطالعاتی بود. اختلاف قابل توجه نیاز آبی خالص سویای بهاره و تابستانه طی ماه‌های خرداد، تیر و مرداد عامل اصلی فزونی گرفتن نیاز آبی خالص کشت بهاره نسبت به کشت تابستانه بود. نتایج نشان داد که در شرایط منطقه مطالعاتی، با اعمال پنج نوبت آبیاری در کشت بهاره (یک نوبت آبیاری اولیه و دو نوبت آبیاری طی هریک از مراحل توسعه و میانی) و سه نوبت آبیاری در کشت تابستانه (یک نوبت آبیاری در هریک از مراحل اولیه، توسعه و میانی) سطح مطلوبی از عملکرد و نمایه‌های بهره‌وری آب قابل حصول است. اعمال تعداد نوبت آبیاری‌های پیشنهادی می‌تواند در سطح احتمال وقوع حدود ۷۵ درصد پاسخگوی نیاز آبی سویا در منطقه مطالعاتی باشد. به‌تعویق افتادن زمان کشت و برنامه آبیاری نامناسب از عوامل موثر بر طولانی شدن دوره رشد گیاه، کاهش عملکرد دانه و کاهش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در مزارع مطالعاتی است. از دیدگاه افزایش عملکرد محصول و بهره‌وری آب، کشت بهاره سویا در منطقه مطالعاتی بر کشت تابستانه برتری دارد. نتایج تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده برای این پژوهش نشان داد مناسب‌ترین تاریخ کشت سویا در منطقه مطالعاتی ۲۸ اردیبهشت بوده و به‌طور متوسط، هر یک روز تاخیر نسبت این تاریخ کاهش سه درصدی عملکرد دانه سویا را در پی خواهد داشت. با این حال، زمان کشت سویا در منطقه مطالعاتی به زمان برداشت

گیاه کشت شده قبلی بستگی دارد که در اکثر موارد امکان کشت بهاره سویا را با محدودیت مواجه می‌سازد. این عامل در ترکیب با وجود گیاهان دیگری بادام‌زمینی، گوجه‌فرنگی و پنبه به‌عنوان گزینه‌های مناسب کشت بهاره موجب شده است که کشت تابستانه سویا در تناوب با گندم بسیار رایج‌تر از کشت بهاره باشد. با این حال، عملکرد قابل قبول محصول سویا به‌عنوان یک گیاه لگوم و نیز حجم عملیات زراعی، هزینه‌های پایین‌تر تولید این محصول (به‌ویژه در مقایسه با گیاهانی چون بادام‌زمینی و گوجه‌فرنگی) و ریسک کمتر تولید آن به‌لحاظ کشش بازار موجب شده است که کشت بهاره و تابستانه این گیاه با اقبال کشاورزان منطقه مواجه شود. توجه به محدودیت‌های مورد اشاره (خصوصا به‌لحاظ زمان کشت سویا) در تدوین الگوی کشت بهینه در می‌تواند به استراتژی‌های واقع‌بینانه‌تری در راستای مدیریت پایدار منابع آب منجر شود.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر بر اساس داده‌های حاصل از اجرای پروژه مصوب به شماره ۹۹۰۰۹۶-۹۵۰۱۳-۰۰۳-۱۴-۱۴-۰۱۴ موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی در استان اردبیل است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از بهره‌برداران مزارع مطالعاتی و کارشناسان محترم مدیریت خدمات جهاد کشاورزی در شهرستان‌های پارس‌آباد و بیله‌سوار که در اجرای این پروژه همکاری و مساعدت نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی کنند.

فهرست منابع

۱. احمدی، ک.، عبادزاده، ح.ر.، حاتمی، ف.، عبدشاه، ه. و کاظمیان، آ. ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی سال ۹۷-۱۳۹۶. وزارت جهاد کشاورزی و معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، دفتر فناوری اطلاعات و ارتباطات، جلد اول: محصولات زراعی، ۸۹ ص.

۲. اسلامی، ا. ۱۳۹۵. ابزار اندازه‌گیری آب آبیاری در روش‌های آبیاری سطحی، نشریه فنی شماره ۴۴. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۲۴ ص.

۳. امینی‌فر، ج.، بیگلویی، م.ح.، محسن‌آبادی، غ. و سمیع‌زاده، ح. (۱۳۹۱). تاثیر کم‌آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب در هفت رقم سویا در منطقه رشت. نشریه دانش آب و خاک. ۲۱(۴): ۹۱-۸۱.

۴. بابازاده، ح و سرائی تبریزی، م. ۱۳۹۱. واسنجی مدل SWAP برای شبیه‌سازی عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب سویا. علوم و مهندسی آبیاری، ۳۵(۴): ۸۳-۹۶.

۵. پرچمی عراقی، ف.، میرلطیفی، س.م.، قربانی دشتکی، ش.، وظیفه‌دوست، م. و صادقی لاری، ع. ۱۳۹۵. توسعه یک چارچوب ریزمقیاس‌سازی به‌منظور برآورد تبخیر-تعرق مرجع زیرروزانه: ۱- مقایسه عملکرد برخی مدل‌های ریزمقیاس‌سازی داده‌های هواشناسی روزانه، نشریه آب و خاک، ۳۰(۲): ۳۵۴-۳۳۴.

۶. تقی‌نژاد، ج. ۱۳۹۴. آرایش کاشت دو ردیف سویا روی پشته. نشریه فنی، شماره ۵۲. مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی، سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل، اردبیل. ۱۵ص.

۷. رستمی اجیرلو، ا.، اصغری‌پور، م.، قنبری، ا.، جودی، م. و خرمی‌وفا، م. (۱۳۹۶). بررسی تأثیرکم آبیاری بر عملکرد، خصوصیات کیفی و شاخص بهره‌وری مصرف آب سه رقم سویا در دشت مغان. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۷(۱): ۱۲۵-۱۱۳.

۸. فرح‌زا، م.ن.، نظری، ب.، اکبری، م.ر.، نائینی، م.س. و لیاقت، ع. ۱۳۹۹. ارزیابی بهره‌وری آب فیزیکی و اقتصادی محصولات زراعی در دشت مغان و تحلیل رابطه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۱(۲): ۱۷۹-۱۶۶.

۹. وحدی، ن.، قلی‌نژاد، ا.، منصوری‌فر، س.، غیرتی آرانی، ل. و رحیمی، م. (۱۳۹۸). تأثیر تنش آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم سویا. فناوری تولیدات گیاهی. ۱۹(۱): ۱۱۳-۱۰۳.

10. Adeboye OB, Schultz B, Adekalu KO, and Prasad K, 2015. Crop water productivity and economic evaluation of drip-irrigated soybeans (Glyxine max L. Merr.). Agriculture & Food Security, 4(10): 1-13.

11. Allen RG, Pereira LS, Raes D, and Smith M, 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper 56, FAO, Rome, Italy, 301 pp.

12. Arora VK, Singh CB, Sidhu AS, and Thind SS, 2011. Irrigation, tillage and mulching effects on soybean yield and water productivity in relation to soil texture. Agricultural Water Management, 98(4): 563-568.

13. Bos MG, Kselik RAL, Allen RG, and Molden D, 2008. Water requirements for irrigation and the environment. Springer Science & Business Media.

14. Burt CM, 2013. The irrigation sector shift from construction to modernization: What is required for success? Irrigation and drainage, 62(3): 247-254.

15. Food and Agricultural Organisation of the United Nations (FAO), 2020. Crop Water Information: Soybean. (Available at: http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/soybean/en/)

16. Food and Agriculture Organization Statistical Data (FAOSTAT), 2021. FAO Statistical Data. (Available at: http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/E)

17. Gajić B, Kresović B, Tapanarova A, Životić L, and Todorović M, 2018. Effect of irrigation regime on yield, harvest index and water productivity of soybean grown under different precipitation conditions in a temperate environment. Agricultural Water Management, 210: 224-231.

18. Garcia AGy, Persson T, Guerra L, and Hoogenboom G, 2010. Response of soybean genotypes to different irrigation regimes in a humid region of the southeastern USA. Agricultural water management, 97(7): 981-987.

19. Massey JH, Stiles CM, Epting JW, Powers RS, Kelly DB, Bowling TH, Janes CL, and Pennington DA, 2017. Long-term measurements of agronomic crop irrigation made in the Mississippi delta portion of the lower Mississippi River Valley. Irrigation Science, 35(4): 297-313.

20. Mokari-Ghahroodi E, Noory H, and Liaghat A, 2015. Performance evaluation study and hydrologic and productive analysis of irrigation systems at the Qazvin irrigation network (Iran). Agricultural Water Management, 148: 189-195.

21. Molden D, Murray-Rust H, Sakthivadivel R, and Makin I, 2003. A water-productivity framework for understanding and action. In: Kijne W., Barkers R., and Molden D. (Eds.), Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvements. CAB International, Wallingford, United Kingdom.

22. Qiu LJ, and Chang RZ, 2010. The Origin and History of Soybean. In: Singh G. (Ed.), The soybean: botany, production and uses. CABI, Oxfordshire, UK, pp. 1-23.

23. Singh G, 2010. Water Management in Soybean. In: Singh G. (Ed.), The soybean: botany, production and uses. CABI, Oxfordshire, UK, pp. 191-208.

24. Todorovic M, Karic B, and Pereira LS, 2013. Reference evapotranspiration estimate with limited weather data across a range of Mediterranean climates. Journal of Hydrology, 481: 166-176.

25. USDA-NRCS, 1993. Chapter 2: Irrigation water requirements, Part 623: Irrigation. National Engineering Handbook, United States Depart-ment of Agriculture Soil Conservation Service, Washington, DC. (Available at: ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/wntsc/waterMgt/irrigation/NEH15/ch2.pdf.)

26. United States Salinity Laboratory Staff (USSLS), 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, Agriculture Handbook No 60, Washington DC, USA, pp. 160.

27. Wilcox LV, 1955. Classification and use of the irrigation waters. US Department of Agriculture Circular No 969, Washington, DC, pp. 19.

28. Yang K, and Koike T, 2005. A general model to estimate hourly and daily solar radiation for hydrological studies. Water Resources Research, 41, W10403.

تعیین ضریب گیاهی چغندرقند به روش سنجش از نزدیک[۱] با استفاده از تصاویر رقومی

رضا محمدی‌کیا، علی اشرف صدرالدینی[۲]، امیرحسین ناظمی، رضا دلیرحسن‌نیا و اژدر عنابی میلانی

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران.
swrirm@yahoo.com
استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران.
sadraddini@tabrizu.ac.ir
استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران.
ahnazemi@yahoo.com
دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران.
delearhasannia@yahoo.com
استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
a_o_milani@yahoo.com

دریافت: فروردین ۱۴۰۱ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۱

چکیده

هدف این پژوهش بررسی امکان تعیین ضریب گیاهی چغندرقند با استفاده از پوشش گیاهی مستخرج از تصاویر رقومی در مدیریت‌های مختلف آبیاری بود. ضریب گیاهی و پوشش گیاهی متغیرهایی بودند که در طول دوره رشد و هر ۱۰ روز یک‌بار به‌صورت مستقیم و به‌ترتیب با روش بیلان آبی و پردازش تصویر اندازه‌گیری شدند. در این مطالعه، ضریب گیاهی چغندرقند در سه مدیریت آبیاری با بیشینه تخلیه مجاز ۴۰٪، ۶۰٪ و ۸۰٪ با استفاده از معادله رگرسیونی آن با پوشش گیاهی که در شرایط پتانسیل مدل‌سازی شده بود برآورد شد و با میانگین داده‌های اندازه‌گیری‌شده در دو سال اعتبارسنجی شد. نتایج اعتبارسنجی داده‌ها نشان داد که در مدیریت‌های آبیاری با بیشینه تخلیه مجاز ۴۰٪ و ۶۰٪ ، ضرایب گیاهی برآوردشده توافق خوبی با مقادیر اندازه‌گیری‌شده داشتند. در مدیریت آبیاری با بیشینه تخلیه مجاز ۴۰٪ ضریب تبیین (R^2)، ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال‌شده (NRMSE)، و ضریب کارایی مدل (EF) به ترتیب ۰/۹۵، ۰/۱۱ و ۰/۹۵ و در مدیریت آبیاری با بیشینه تخلیه مجاز ۶۰٪ مقدار این ضرایب به ترتیب ۰/۹، ۰/۱۳ و ۰/۸۵ به دست آمد. نتایج ارزیابی مدل، کارایی استفاده از این روش را برای تعیین ضریب گیاهی چغندرقند در دامنه تغییرات رطوبتی بین ظرفیت زراعی تا بیشینه تخلیه مجاز ۶۰٪ تائید کرد. در مدیریت آبیاری با بیشینه تخلیه مجاز ۸۰٪، ضریب تبیین (R^2)، ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال‌شده (NRMSE)، و ضریب کارایی مدل (EF) به ترتیب به ۰/۴۹، ۰/۳۷ و ۰/۶۳ کاهش یافت که نشان‌دهنده کارایی ضعیف مدل در شرایط تنش خشکی شدید بود. روش پیشنهادی از یک فناوری پردازش تصاویر رقومی برای شناسایی پوشش گیاهی استفاده می‌کند و از مزایایی مانند جمع‌آوری آسان و سریع داده‌ها، دقت بیشتر و هزینه کمتر، امکان تهیه تصویر به تعداد دلخواه و عدم نیاز به داده‌های هواشناسی برخوردار است، بنابراین می‌توان رشد گیاه و تغییرات ضریب گیاهی را در طول دوره رشد بررسی کرد.

واژه‌های کلیدی: وسیله اندازه‌گیری پوشش گیاهی، فضای رنگی، لایسیمتر، بیشینه تخلیه مجاز، شاخص سبزینگی مازاد

---

۱ - Proximal Sensing

۲ - آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران.

مقدمه

به‌منظور استفاده بهینه از منابع آب، دانستن مقدار آب لازم برای تولید پایدار اقتصادی محصول از اهمیت خاصی برخوردار است. تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی گیاهان به روش‌های مستقیم برای گیاهان زراعی و باغی از راهبردهای اساسی هر منطقه با اقلیم‌های مشابه بوده که مبنای برنامه‌ریزی استفاده از منابع آب و آبیاری گیاهان مختلف است. بیلان آبی رایج‌ترین روش تعیین ضریب گیاهی و نیاز آبی است. استفاده از مقادیر ضریب گیاهی برای تخمین میزان تبخیر – تعرق واقعی گیاه به‌عنوان روش استاندارد در تعیین نیاز آبیاری پذیرفته شده است. در تعیین نیاز آبی خالص، تبخیر –تعرق پتانسیل سطوح پوشش گیاهی موردنظر، در مقادیر به‌دست‌آمده ضریب گیاهی ضرب شود. ضریب گیاهی به عواملی مانند نوع گیاه، مرحله رشد و شرایط آب و هوایی محلی بستگی دارد. ازاین‌رو ضریب گیاهی ثابت نیست و مقدار آن در طول دوره رشد تغییر می‌کند. وابستگی تغییرات ضریب گیاهی به خصوصیات گیاه بیشتر از شرایط اقلیمی است. برای تعیین ضریب گیاهی، از روش‌های مستقیم (بیلان آبی) و غیرمستقیم (معادلات تجربی و ریاضی) استفاده می‌شود. روش‌های مستقیم دشوار، پرزحمت و پرهزینه بوده و بسته به تغییرات اقلیم و گیاه نیاز به تکرار دارند و با توجه به تغییرات مکانی پارامترهای جوی، اندازه‌گیری‌های به‌دست‌آمده، فقط برای سطح محدود قابل کاربرد است. همچنین در بسیاری از مناطق، آمار درازمدت وجود ندارد و یا امکان احداث ایستگاه هواشناسی در آینده نزدیک در همه مناطق دور از انتظار است. امروزه با توجه به پیشرفت فناوری ماهواره‌ها، فن سنجش از دور[3] در تعیین تبخیر–تعرق استفاده می‌شود. در این روش داده‌های دمای سطحی، آلبیدوی سطحی، پوشش گیاهی و شاخص‌های گیاهی پس از پردازش و تصحیحات لازم بر روی تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شوند. در این روش برخی شاخص‌های گیاهی ماهواره‌ای را برآورد و با ایجاد رابطه رگرسیونی بین این شاخص‌ها با شاخص‌های گیاهی مانند ضریب گیاهی یا شاخص سطح برگ تبخیر–تعرق محاسبه می‌شود. تعداد محدود تصاویر، سطح پیکسل‌های تصویربرداری و ابرناکی هوا در زمان گذر ماهواره از مشکلات مهم این روش است. روش دیگر در تعیین تبخیر–تعرق گیاه سنجش از نزدیک[4] (عکاسی دیجیتال) است. عکاسی دیجیتال در کشاورزی دقیق، امکان نظارت بر رشد گیاه را فراهم می‌کند. در این فناوری، می‌توان بهره‌وری آب را با تعیین متغیرهایی که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به تبخیر – تعرق وابسته هستند، بهبود بخشید (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). پردازش تصاویر رقومی یکی از فناوری‌های نوین است که در آن یک تصویر به‌عنوان متغیر ورودی تعریف و با انجام عملیات پردازش تصویر بر روی آن یک مجموعه از نشان‌های ویژه یا متغیرهای مربوط به تصویر به‌عنوان خروجی از آن دریافت می‌شود. این خروجی‌ها می‌تواند نمایش و چاپ تصویر، ویرایش تصویر، بهبود تصویر، کشف و تشخیص یک ویژگی خاص در تصویر و فشرده‌سازی تصویر باشد. جمع‌آوری آسان و سریع اطلاعات، دقت بیشتر و هزینه کمتر، تهیه تصویر به تعداد دلخواه، عدم وابستگی و نیاز به داده‌های هواشناسی و امکان استفاده از آن در هر زمان و مکان از مزیت‌های این روش است. در این روش تهیه تصاویر رقومی در دامنه وسیعی از فرمت‌ها (تصویر بهبودیافته، اشعه ایکس، عکس نگاتیو، فیلم و ...) انجام و امکان استخراج و پردازش اطلاعات از تصاویر و فیلم را برای تفسیر توسط کامپیوتر فراهم می‌شود. تغییر پیکسل‌های تصاویر برای دستیابی به تراکم و کنتراست دلخواه، امکان ذخیره و بازیابی تصاویر و امکان انتقال ساده‌تر تصاویر از دیگر مزایای استفاده از این روش است. ضریب گیاهی، اثرات ویژگی‌های گیاه اصلی را از گیاه مرجع متمایز می‌کند. در نتیجه، گیاهان مختلف دارای ضرایب گیاهی متفاوتی هستند که معمولاً در طول مراحل رشد بر اساس شرایط پوشش گیاهی آن‌ها متفاوت است. از این‌رو، تعیین دقیق پوشش گیاهی، به‌عنوان یکی از مسائل اصلی، نقش کلیدی در تخمین تبخیر

[3] -Remote sensing

[4]- Proximal sensing

– تعرق گیاه دارد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). برای تعیین درصد پوشش گیاهی از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. با هر یک از این روش‌ها، برآوردی از درصد پوشش گیاهی به دست می‌آید. در روش سطحی (Area method) در منطقه نمونه‌برداری در یک قاب مرجع مشخص، در سه نقطه از یک سطح مشخص عرض ردیف گیاه با استفاده از یک نوار متریک برآورد و سپس از این داده‌ها برای تخمین عرض متوسط ردیف گیاه و پوشش گیاهی استفاده می‌شود (آدامز و آرکین، ۱۹۷۷؛ گیم‌نیز، ۱۹۸۵). در روش کنتوری (Contour method) با استفاده از نرم‌افزارهایی مانند IMAGE J ترسیم خط مرزی گیاه بر روی کاغذ انجام و سپس اندازه‌گیری ناحیه مورد نظر شبیه‌سازی می‌شود (کوت و مارشال، ۱۹۷۱). روش دیگر طبقه‌بندی مجدد تصویر (Reclassification method) است که در آن از یک فناوری پردازش تصاویر رقومی در فضای RGB[5] برای شناسایی پوشش سبز گیاهی استفاده می‌کند. در این روش سطح گیاه در دامنه سطح تابش نشان داده شده بر روی تصویر RGB از گیاه (۰ تا ۲۵۵ رنگ) تعیین و پوشش سبز گیاهی محاسبه می‌شود (کمپیلو و همکاران، ۲۰۰۸). در مطالعات مختلف، پوشش گیاهی با استفاده از پردازش تصویر رقومی برآورد شده است (کرهونین و هیک کینین ۲۰۰۹، پیکین و مک فارلین ۲۰۰۹، ری و همکاران ۲۰۱۰، چیانوچی و کوتینی ۲۰۱۳، پاتریگنانی و اوشنر ۲۰۱۵، پی آیدا و همکاران ۲۰۱۵، مورا و همکاران ۲۰۱۶، رابه و همکاران ۲۰۱۷، سالاس و همکاران ۲۰۱۷؛ آلورنینی و همکاران ۲۰۱۸؛ ژیونگ و همکاران ۲۰۱۹). در این مطالعات از شاخص‌های رنگی، ابزارها و روش‌های مختلف برای جداسازی و ایجاد تضاد بین پوشش سبز و زمینه برای رسیدن به هدف‌های مختلف استفاده شده است. سبزینگی مازاد یک از این شاخص‌های رنگی است. ووبیکه و همکاران (۱۹۹۵) شاخص سبزینگی مازاد (Excessive[6] green index) را برای پوشش گیاهی به‌عنوان یک تصویر دو طیفی پیشنهاد کردند که به‌طور گسترده در مطالعات اخیر استفاده شده است. کلیرا و همکاران (۲۰۰۱) از تصاویر رقومی استفاده و یک پرتوسنجی از کرت‌های آزمایشی جو، ذرت و چغندرقند انجام دادند. در مناطق خشک جنوب ایالات‌متحده، لالی‌برت و همکاران (۲۰۰۷) از تصاویر رقومی برای به‌دست آوردن پوشش چمنی استفاده کردند که معمولاً ترکیبی از گیاهان خشک و سبز در فضای رنگی (HSL[7]) بود. لی و لی (۲۰۱۱) پوشش سبز گیاهی را در مزارع برنج با استفاده از تصاویر رقومی و فضاهای رنگی مختلف محاسبه کردند. فیلیپ و رث (۲۰۰۲) طیف‌های رنگی مختلف را به‌منظور یافتن بهترین روش برای تفکیک گیاه از پس‌زمینه مقایسه کردند. در مطالعه دیگری، سیستم پردازش تصویر و مدل‌سازی آماری برای ارزیابی کیفیت روزانه درختان زینتی در گلخانه‌ها استفاده شد (پارسونز و همکاران ۲۰۰۹). در مطالعه‌ای بر روی استخراج رگبرگ‌ها برای تقسیم‌بندی برگ، از دو ویژگی رنگ و شدت رنگ برای جداسازی برگ‌ها و برجسته‌کردن رگبرگ‌ها استفاده شد (ژنگ و وانگ ۲۰۱۰). جیاکوملی و همکاران (۱۹۹۸ و ۱۹۹۶) از یک سیستم بینایی ماشینی برای استخراج درصد پوشش گیاهی کاهو و تعیین تنش مواد مغذی استفاده کردند. لینگ و روژیتسکی (۱۹۹۲) همبستگی زیادی بین وزن تر، وزن خشک و درصد پوشش گیاهی با استفاده از فناوری پردازش تصویر در نهال‌های گوجه‌فرنگی گزارش کردند. بلاسکو و همکاران (۲۰۰۲) یک سیستم رباتیک بر اساس تجزیه و تحلیل تصویر برای از بین‌بردن علف‌های هرز در مزارع کاهو طراحی کرد. استوری و همکاران (۲۰۱۰) یک سیستم بینایی ماشینی برای تشخیص کمبود کلسیم در کاهو با استفاده از تغییرات زمانی، رنگی و مورفولوژیکی گیاه طراحی کردند. در برخی مطالعات، رابطه بین پوشش گیاهی و ضریب گیاهی بررسی (گراتان و همکاران ۱۹۹۸، هانسون و می ۲۰۰۶، دی مدیروس و همکاران ۲۰۰۱، لوپز اوره‌آ و همکاران ۲۰۰۹ و فرناندز پاچیکو و همکاران ۲۰۱۴) و رابطه قوی بین پوشش گیاهی و ضریب گیاهی در گیاهان مختلف گزارش شده است. این

5- Red-Green-Blue
6 -2G-R-B
7- Hue- Saturation- Lightness

مطالعات در یک مدیریت آبیاری خاص بوده و تاکنون مطالعه جامعی برای تعیین روابط بین ضریب گیاهی و پوشش سبز گیاهی در مدیریت‌های مختلف آبیاری با استفاده از تصاویر رقومی سنجش از نزدیک در ایران انجام نشده است. این مطالعه با هدف تعیین رابطه رگرسیونی بین ضریب گیاهی و پوشش سبز گیاهی چغندرقند برای برآورد ضریب گیاهی در شرایط مختلف مدیریت آبیاری به روش سنجش از نزدیک انجام شد.

مواد و روش‌ها

مشخصات مزرعه تحقیقاتی

این پژوهش به مدت دو سال (۱۳۹۶–۹۷) در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات خاک و آب واقع در مشکین‌دشت کرج با مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی انجام شد. این منطقه دارای آب و هوای گرم و خشک مدیترانه‌ای (بر اساس طبقه‌بندی آب و هوایی De Martonne) با تابستان‌های خشک و گرم و زمستان‌های سرد است. ارتفاع از سطح دریا ۱۳۲۱ متر، بارندگی سالانه ۲۷۱ میلی‌متر و میانگین بیشترین و کمترین دمای چهل ساله به ترتیب ۳۹/۹ درجه سانتی‌گراد (ژوئن–ژوئیه) و ۴ درجه سانتی‌گراد (دسامبر–ژانویه) است. بر اساس نتایج آزمون خاک، بافت خاک محل آزمایش لوم و شوری خاک کمتر از آستانه تحمل به شوری گیاه چغندرقند (۷ دسی زیمنس بر متر) و بدون محدودیت برای کشت بود (آلن و همکاران ۱۹۹۸). آب آبیاری از چاه تأمین شد. مطابق با طبقه‌بندی ویلکاکس آب استفاده شده در کلاس C2-S1 طبقه‌بندی می‌شود و کیفیت خوبی دارد. سطح شوری و قلیائیت آن کم و برای آبیاری انواع محصولات مناسب است.

آزمایش مزرعه‌ای

در هر سال بذر چغندرقند (رقم شکوفا) در زمینی به مساحت ۱۲۰۰ مترمربع که در مرکز آن یک عدد لایسیمتر زهکش‌دار به ابعاد یک در دو متر قرار داشت کشت شد. فاصله ردیف‌های کشت ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها در هر ردیف ۲۰–۱۸ سانتی‌متر بود. تاریخ کاشت در سال اول و دوم به ترتیب ۳۰ اردیبهشت و اول خردادماه بود. ضریب گیاهی و پوشش گیاهی متغیرهایی بودند که در طول دوره رشد برای دوره‌های ۱۰ روزه اندازه‌گیری و برای مراحل چهارگانه رشد محاسبه شدند.

تعیین ضریب گیاهی

به‌منظور تعیین ضریب گیاهی چغندرقند، در هر سال تبخیر–تعرق گیاه در شرایط پتانسیل و در سه مدیریت آبیاری با بیشینه تخلیه مجاز (MAD[8]) ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد به روش بیلان آب در خاک (رابطه ۱) اندازه‌گیری شد.

$$ETc = I + R - DP - D_{rz}(\theta_f - \theta_i) \qquad (1)$$

در این رابطه ETc: تبخیر -تعرق گیاه (mm)، I: عمق آب آبیاری (mm)، R: مقدار بارندگی (mm)، DP: نفوذ عمقی (mm)، D_{rz}: عمق توسعه ریشه (mm)، θ_f: رطوبت حجمی خاک در انتهای دوره مورد نظر (mm/m)، θ_i: رطوبت حجمی خاک در ابتدای دوره مورد نظر (mm/m) است.

عمق آب آبیاری بر اساس میانگین رطوبت خاک ناحیه توسعه ریشه با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$I = ((Fc - \theta)/100) * d \qquad (2)$$

که در آن،I: عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، Fc: محتوای حجمی آب در ظرفیت مزرعه (درصد)،θ: محتوای حجمی آب پیش از آبیاری (درصد) و d: عمق ناحیه توسعه ریشه (میلی‌متر) است.

مقدار بارندگی بر اساس یادداشت داده‌های روزانه ایستگاه هواشناسی مشکین‌دشت (واقع در فاصله ۵۰ متری محل مورد مطالعه) و تغییرات رطوبت خاک بین دو آبیاری با استفاده از نوترون‌متر اندازه‌گیری شد.

8 -Maximum Allowable Depletion

تبخیر-تعرق پتانسیل چغندرقند با استفاده از لایسیمتر اندازه‌گیری شد. آبیاری داخل لایسیمتر بر مبنای حفظ رطوبت خاک ناحیه توسعه ریشه (۶۰ سانتی‌متر) در حد ظرفیت مزرعه برای ایجاد شرایط پتانسیل بود و به منظور تولید زه‌آب حجم آب آبیاری در هر آبیاری ۲۰ درصد بیشتر از مقدار مورد نیاز گیاه بود. آب زهکشی‌شده پس از جمع شدن در داخل مخزنی که در انتهای لایسیمتر نصب بود دو روز بعد از هر آبیاری با استفاده از ظرف مدرج اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری تبخیر-تعرق چغندرقند در مدیریت-های مختلف آبیاری در داخل کرت‌هایی با مساحت ۶ مترمربع و به روش بیلان آب در خاک انجام شد. در این مدیریت‌ها، برای جلوگیری از نفوذ عمقی، حجم آب آبیاری به اندازه‌ای بود که رطوبت ناحیهٔ ریشه مجدداً به رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای برسد.

هم‌زمان، تبخیر-تعرق گیاه مرجع با استفاده از داده‌های روزانه ایستگاه هواشناسی مشکین‌دشت و روش پنمن-مانتیث فائو محاسبه شد (آلن و همکاران ۱۹۹۸):

$$ET_o = \frac{0/408\Delta(R_n - G) + \gamma\left(\frac{900}{T+273}\right)u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0/34u_2)} \qquad (۳)$$

در این رابطه ET_o: تبخیر- تعرق گیاه مرجع (mm/day)، R_n: تشعشع خالص در سطح گیاه ($MJ/m^2/d$)، G: شار گرمای خاک ($MJ/m^2/d$)، T: دمای هوا در ارتفاع دو متری (^oC)، u_2: سرعت باد در ارتفاع دو متری (m/sec)، e_s: فشار بخار اشباع (kpa)، e_a: فشار بخار واقعی (kpa)، $e_s - e_a$: کمبود فشار بخار اشباع (kpa)، Δ: شیب منحنی فشار بخار ($kpa/^oC$) و γ: ضریب ثابت سایکرومتری ($kpa/^oC$) است.

پس از تعیین تبخیر -تعرق گیاه مرجع، مقدار ضریب گیاهی چغندرقند از نسبت تبخیر-تعرق گیاه اصلی به گیاه مرجع و با استفاده از رابطه (۴) برای دوره‌های ده روزه تعیین شد (آلن و همکاران ۱۹۹۸):

$$Kc = ET_c/ET_o \qquad (۴)$$

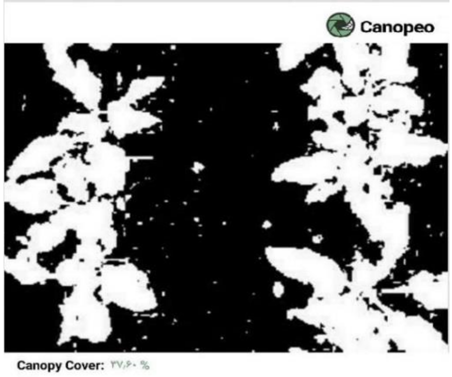
تعیین درصد پوشش گیاهی

در این مطالعه برای تعیین درصد پوشش سبز گیاه، از برنامه Canopeo (پاتریگنی و اوشنر، ۲۰۱۵) به‌عنوان ابزار پردازش استفاده شد. Canopeo ابزاری است که در زبان برنامه‌نویسی MATLAB در فضای رنگی قرمز- سبز- آبی (RGB) نوشته شده است و برای تجزیه و تحلیل خودکار آستانه رنگ در هر تصویر استفاده می‌شود. Canopeo تمام پیکسل‌های تصویر را تجزیه و تحلیل و طبقه‌بندی می‌کند. تجزیه و تحلیل خودکار آستانه رنگ تصویر بر اساس انتخاب پیکسل‌ها با توجه به نسبت‌های رنگی قرمز به سبز (R/G)، آبی به سبز (B/G) و شاخص سبزینگی مازاد (Excessive green index) بود. نتیجه تجزیه و تحلیل، یک تصویر دو طیفی است که در آن پیکسل‌های سفید با پیکسل‌هایی که معیارهای انتخاب را برآورده می‌کنند (پوشش سبز) و پیکسل‌های سیاه با پیکسل‌هایی که معیارهای انتخاب را ندارند (پوشش غیرسبز) مطابقت دارند. دامنه پوشش گیاهی سبز از صفر (بدون پوشش گیاهی سبز) تا یک (۱۰۰ درصد پوشش گیاهی سبز) است. طبقه‌بندی پوشش گیاهی سبز بر اساس معیارهای زیر است:

$$R/G < P1 \text{ and } B/G < P2 \text{ and } 2G–R–B > P3$$

P1 و P2 پارامترهایی هستند که برای طبقه‌بندی پیکسل-هایی که عمدتاً در باند سبز (۵۷۰-۵۰۰ نانومتر) قرار دارند استفاده می‌شود و مقدار هر دو پارامتر به‌صورت پیش‌فرض ۰/۹۵ است. P3 پارامتری است که کمترین مقدار شاخص سبزینگی مازاد را تعیین می‌کند که به‌طور معمول برای انتخاب پوشش سبز گیاهی مقدار آن حدود ۲۰ است (پاتریگنی و اوشنر، ۲۰۱۵). تصویربرداری برای تعیین درصد پوشش گیاهی در طول دوره رشد، از فاصله ثابت ۱/۲ متری بالای سطح گیاه و عمود بر آن و هر ۱۰ روز یک بار و زمان مشخص با استفاده از دوربین دیجیتال Sony Cyber-Shot، DSC-TX1، با وضوح ۱۰/۲ مگاپیکسل و فاصله کانونی ۲۴ میلی‌متر نصب‌شده بر روی یک پایه فلزی انجام شد. متناسب با طول مراحل چهارگانه رشد ۲ مرتبه تصویربرداری در مرحله ابتدایی، چهار مرتبه در مرحله

توسعه، نه مرتبه در مرحله میانی و سه مرتبه در محله پایانی رشد انجام شد. در مجموع، ۱۸ مرتبه تصویربرداری در طول دوره رشد انجام و از هر مدیریت آبیاری ۱۸ قطعه تصویر تهیه شد. در مجموع ۷۲ قطعه تصویر از گیاه در شرایط مختلف مدیریت آبیاری تهیه و پردازش شد. همچنین طول مراحل مختلف رشد گیاه (مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی) بر مبنای تعریف ارائه‌شده در نشریه شماره ۵۶ فائو (درصد تغییرات پوشش گیاهی) و با استفاده از برنامهCanopeo در شرایط پتانسیل تعیین شد. پس از تهیه تصاویر، از نسخه MATLAB و Android برنامه Canopeo برای تعیین درصد پوشش گیاهی استفاده شد. شکل یک نمونه‌ای از تصویر رقومی اصلی و پردازش‌شده پوشش گیاهی را با استفاده از برنامه Canopeo نشان می‌دهد.



شکل ۱- تصویر چغندرقند پیش و بعد از پردازش تصویر

مدل‌سازی و اعتبارسنجی

مدل‌سازی در شرایط پتانسیل و اعتبارسنجی در سه مدیریت آبیاری با بیشینه تخلیه مجاز (MAD) ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد و با استفاده از میانگین داده‌های اندازه‌گیری-شده ضریب گیاهی انجام شد. برای ارزیابی مدل از ضریب تعیین[9] (R^2)، ریشه دوم میانگین مربعات خطا[10] (RMSE)، ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده[11] (NRMSE)، شاخص توافق ویلموت (d)، میانگین خطای اریب[12] (MBE) و ضریب کارایی[13] (EF) (لوآگو و گرین،۱۹۹۱، جامیسون و همکاران، ۱۹۹۱ و چن و همکاران، ۲۰۰۳) استفاده شد. مقدار ضریب تعیین (R^2) بین صفر و یک متغیر بوده و هر اندازه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد بهتر است. ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) که مقادیر آن هر اندازه به صفر نزدیک‌تر باشد توافق خوب بین داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده را نشان می‌دهد. مقادیر مثبت و منفی میانگین خطای اریب (MBE) به ترتیب بیانگر بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی مدل است. شاخص توافق ویلموت (d) نمایه‌ای بدون بعد که مقدار توافق بین دو مجموعه داده اندازه‌گیری و برآوردشده را سنجیده و مقدار عاری بودن از خطای مقادیر برآوردشده را ارزیابی می‌کند. این نمایه بین صفر و یک در نوسان است. عدد یک توافق کامل دو مجموعه داده را نشان می-دهد و هرچه مقدار توافق بین دو مجموعه داده کمتر باشد مقدار آن کمتر خواهد بود. ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) بیانگر تفاوت بین مقادیر پیش‌بینی با مقادیر مشاهده‌شده است. این شاخص به‌صورت درصد، اختلاف نسبی مقادیر پیش‌بینی‌شده در برابر مقادیر واقعی را بیان می‌کند که مقادیر کمتر از ۱۰ درصد نشان‌دهندهٔ توافق عالی، ۱۰ تا ۲۰ درصد نشان‌دهندهٔ توافق خوب، ۲۰ تا ۳۰ درصد توافق قابل‌قبول و بزرگ‌تر از ۳۰ توافق ضعیف است (جامیسون و همکاران، ۱۹۹۱). EF ضریب کارایی مدل است که نشان می‌دهد مدل تا چه اندازه

[9] -Coefficient of Determination
[10] -Root Mean Square Error
[11] -Normalized Root Mean Square Error
[12] -Mean Bias Error
[13] -Model efficiency

درست عمل می‌کند. مقدار آن بین صفر و یک بوده و هر چقدر به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده کارایی بالای آن مدل است (رضایی و پریرا، ۲۰۱۳).

نتایج و بحث

میانگین طول دوره رشد چغندرقند در دو سال ۱۸۴ روز بود که طول مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی رشد آن در دو سال بر مبنای تعریف ارائه‌شده در نشریه شماره ۵۶ فائو (درصد تغییرات پوشش گیاهی) و در شرایط پتانسیل با استفاده از برنامه Canopeo به ترتیب ۲۵، ۴۳، ۸۱ و ۳۵ تعیین شد. در شرایط آبیاری پتانسیل میانگین تبخیر- تعرق دوساله چغندرقند و گیاه مرجع به ترتیب ۹۱۳/۴ میلی‌متر و ۱۰۲۶/۸ میلی‌متر بود. جدول (۱) میانگین نتایج دوساله ضریب گیاهی اندازه‌گیری‌شده در شرایط پتانسیل و ضرایب پیشنهادی در نشریه شماره ۵۶ فائو را نشان می‌دهد. ضریب گیاهی دوساله در مراحل ابتدایی، توسعه، میانی، پایانی و کل دوره رشد به ترتیب ۰/۳۹، ۰/۷۱، ۱/۱۸، ۰/۶۱ و ۰/۸۹ و درصد پوشش گیاهی متناظر با این مراحل رشد به ترتیب ۷/۲۳، ۵۳/۲۲، ۹۴/۹۹ و ۸۲/۷۷ درصد تعیین شد.

جدول ۱- میانگین دو ساله ضرایب گیاهی اندازه‌گیری‌شده در شرایط پتانسیل آبیاری و پیشنهادی در نشریه شماره ۵۶ فائو

متغیر	روش	مرحله رشد			
		ابتدایی	توسعه	میانی	پایانی
ضریب گیاهی	بیلان آبی	۰/۳۹	۰/۷۱	۱/۱۸	۰/۶۱
	فائو ۵۶	۰/۳۵	۰/۷۸	۱/۲	۰/۷
درصد خطای روش فائو نسبت به روش بیلان آبی		-۱۰/۳	+۹/۸۶	+۱/۷	+۱۴/۷۵

چگینی و همکاران (۱۳۸۷) در کرج مقدار ضریب گیاهی چغندر بذری را در مراحل مختلف رشد (ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی) به ترتیب ۰/۲۹، ۰/۸۹، ۱/۱۲ و ۰/۶۶ تعیین کردند. رئوف (۱۳۹۸) مقدار ضریب گیاهی چغندرقند را در اردبیل به ترتیب ۰/۳۳، ۰/۹، ۱/۱۶ و ۰/۸۸ برای مراحل رشد ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به دست آورد. در مطالعات مختلف تبخیر و تعرق چغندرقند برای فصول کوتاه و شرایط آب و هوایی خنک ۴۰۰ میلی‌متر و برای شرایط آب و هوایی خشک و گرم و فصول طولانی تا ۱۵۰۰ میلی‌متر گزارش شده است (هاول و همکاران ۱۹۸۷، اوچان و جنکوگلان ۲۰۰۴، رینالدی و وونیلا ۲۰۰۶). مقایسه میانگین دوساله ضرایب گیاهی اندازه‌گیری‌شده در شرایط پتانسیل و ضرایب پیشنهادی در نشریه شماره ۵۶ فائو (جدول ۱) نشان داد بین مقادیر ضرایب گیاهی در مراحل مختلف رشد اختلاف وجود دارد. در مرحله ابتدایی رشد مقدار ضریب گیاهی پیشنهادی در نشریه شماره ۵۶ فائو ۱۰/۳ درصد کمتر از مقدار اندازه‌گیری‌شده بود. علت این اختلاف افزایش تبخیر از سطح خاک به علت دور کم آبیاری‌ها در این مرحله از دوره رشد برای سبز شدن و استقرار مناسب گیاه بود. در مرحله توسعه رشد، مقدار ضریب گیاهی اندازه‌گیری‌شده ۰/۷۱ بود. در نشریه شماره ۵۶ فائو برای این مرحله از دوره رشد عدد ۰/۷۸ پیشنهاد شده است که نسبت به داده‌های اندازه‌گیری‌شده ۹/۸۶ درصد بیشتر است. در مرحله میانی رشد مقدار ضریب گیاهی پیشنهادی در نشریه شماره ۵۶ فائو برای دوره میانی رشد ۱/۲ است که با مقدار اندازه‌گیری‌شده اختلاف اندکی (۱/۷+) داشت. در مرحله پایانی رشد، مقدار ضریب گیاهی پیشنهادی در نشریه شماره ۵۶ فائو در مقایسه با مقدار اندازه‌گیری‌شده ۱۴/۷۵ درصد بیشتر بود. به‌جز مرحله میانی رشد، اختلاف بین ضرایب پیشنهادی فائو با ضرایب اندازه‌گیری‌شده در سایر مراحل رشد در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود که نشان‌دهنده ضرورت اصلاح این ضرایب با توجه به شرایط محلی است. نداشتن همخوانی بین داده‌های منتشرشده توسط فائو (نشریه شماره ۵۶) با داده‌های اندازه‌گیری‌شده در مطالعات متعددی گزارش شده است. پیک‌کینی و همکاران (۲۰۰۹) در ایالت

تگزاس آمریکا با آزمایش بر روی گیاهان ذرت و سورگوم گزارش کردند که ضرایب گیاهی پیشنهادی فائو در مرحله میانی رشد بیشتر از مقدار اندازه‌گیری‌شده و در مراحل پایانی رشد کمتر از مقدار اندازه‌گیری‌شده بود. آکاندا و همکاران (۲۰۱۷) در بنگلادش نتیجه گرفتند که ضرایب گیاهی توصیه شده توسط فائو برای سیب‌زمینی بیش از مقدار اندازه‌گیری‌شده با لایسیمتر بود. در پژوهش مشابه که توسط کاروال‌هو و همکاران (۲۰۱۳) انجام شد استفاده از ضرایب گیاهی ارائه‌شده توسط فائو منجر به ۱۰ درصد برآورد بیشتر آب مصرفی سیب‌زمینی در مقایسه با مقدار اندازه‌گیری‌شده شد. وانگ و همکاران (۲۰۱۷) در چین گزارش کردند که روش پیشنهادی فائو میزان آب مصرفی گیاه گندم زمستانه را در مرحله اولیه رشد کمتر از مقدار اندازه‌گیری‌شده از لایسیمتر و در مراحل توسعه و میانی رشد بیشتر از مقدار اندازه‌گیری‌شده برآورد می‌کند. بافکار و همکاران (۱۳۹۲) در کرمانشاه ضریب گیاهی ذرت دانه‌ای را برای مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی رشد به ترتیب ۰/۵، ۱/۲۲ و ۰/۸۹ اندازه‌گیری کردند در حالی که ضرایب گیاهی پیشنهادی فائو برای دوره‌های رشد یادشده به ترتیب ۰/۳۵، ۱/۲ و ۰/۶۸ بوده است.

همبستگی ضریب گیاهی با پوشش گیاهی در شرایط پتانسیل آبیاری

بر پایه آنالیز آماری داده‌ها و پردازش روابط رگرسیونی، رابطه بین دو متغیر ضریب گیاهی و پوشش گیاهی در شرایط پتانسیل آبیاری به‌صورت یک تابع درجه سوم با ضریب تعیین ۰/۹۷ به دست آمد که در سطح احتمال کمتر از یک درصد معنی‌دار بود.

$$Kc = 5 * 10^{-06}CC^3 - 0.0006CC^2 + 0.0285CC + 0.2017 \qquad (5)$$

در این معادله Kc ضریب گیاهی و CC درصد پوشش گیاهی است.

همبستگی بین ضریب گیاهی و پوشش گیاهی در مطالعات مختلف بررسی شده است. دی‌مدیروس و همکاران (۲۰۰۱) برای گیاه لوبیا یک رابطه قوی به‌شکل چندجمله‌ای درجه سوم بین ضریب گیاهی پایه با درصد پوشش گیاهی زمین با ضریب تعیین ۰/۹۷ و سطح احتمال کمتر از ۰/۰۱ به دست آوردند. گراتان و همکاران (۱۹۹۸) اقدام به ایجاد یک رابطه مستقیم بین درصد پوشش گیاهی و ضریب گیاهی برای هفت گیاه مختلف در کالیفرنیای ایالات‌متحده آمریکا نمودند. نویسندگان ضریب گیاهی را به روش نسبت باون اندازه‌گیری کردند، این مطالعه، تأیید کرد که ضرایب گیاهی به‌صورت یک تابع درجه دوم با درصد پوشش گیاهی تغییر می‌کند. این نویسندگان ضریب تعیین ۰/۶ برای کنگر فرنگی، ۰/۶۹ برای لوبیا، ۰/۷۴ برای کلم بروکلی، ۰/۶۳ برای کاهو، ۰/۹ برای خربزه، ۰/۷۲ پیاز و ۰/۸۷ برای توت‌فرنگی به دست آوردند. فرناندز پاچیکو و همکاران (۲۰۱۴) ضریب گیاهی کاهو را به‌صورت تابعی از نسبت درصد پوشش گیاهی زمین و ارتفاع گیاه با ضریب تعیین بسیار بالا (۰/۹۸) به دست آوردند.

ارزیابی مدل در مدیریت‌های مختلف آبیاری

جدول (۲) میانگین دوساله ضریب گیاهی و پوشش گیاهی اندازه‌گیری‌شده گیاه چغندرقند در مدیریت-های مختلف آبیاری را نشان می‌دهد. در مدیریت آبیاری با بیشینه تخلیه مجاز (MAD) ۴۰ درصد، میانگین ضرایب گیاهی مراحل چهارگانه رشد به ترتیب ۰/۳۸، ۰/۶۸، ۱/۱۴ و ۰/۵۵ اندازه‌گیری شد. ضرایب برآوردشده از مدل متناظر با این مراحل به ترتیب ۰/۳۸، ۰/۷۱، ۱/۰۲ و ۰/۸۳ بود. بر اساس نتایج اعتبارسنجی داده‌ها (جدول ۳)، در این مدیریت آبیاری، ضریب تعیین (R^2)، ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) و شاخص توافق ویلموت (d) بین داده‌های اندازه‌گیری و برآوردشده به ترتیب ۰/۹۵، ۱۱/۴ درصد و ۰/۹۸ به دست آمد. مقدار ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) ۰/۱۰۰۶ نشان‌دهنده پایداری مدل بود. میانگین خطای اریب (MBE)، ۶- درصد نشان داد مقادیر برآوردشده کمتر از مقادیر اندازه‌گیری‌شده بود. شاخص کارایی مدل (EF) ۹۵ درصد نشان‌دهنده صحت خوب مدل در برآورد داده‌های ضریب گیاهی بود.

جدول ۲- میانگین دو ساله ضریب گیاهی و پوشش گیاهی اندازه‌گیری‌شده در مدیریت‌های مختلف آبیاری

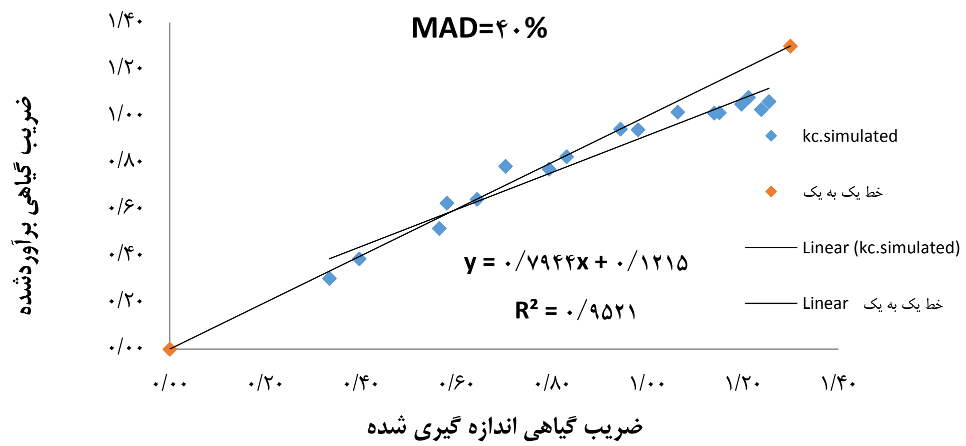
متغیر	مدیریت آبیاری	مرحله رشد			
		ابتدایی	توسعه	میانی	پایانی
ضریب گیاهی	بیشینه تخلیه مجاز ۴۰ درصد	۰/۳۸	۰/۶۸	۱/۱۴	۰/۵۵
	بیشینه تخلیه مجاز ۶۰ درصد	۰/۲۹	۰/۵۸	۰/۹۸	۰/۴۹
	بیشینه تخلیه مجاز ۸۰ درصد	۰/۲۲	۰/۳۶	۰/۶۶	۰/۲۲
درصد پوشش گیاهی	بیشینه تخلیه مجاز ۴۰ درصد	۵/۸۵	۴۹/۴۳	۹۰/۰۴	۸۰/۱۸
	بیشینه تخلیه مجاز ۶۰ درصد	۵/۷۹	۳۵/۰۹	۸۲/۶۸	۷۸/۳۵
	بیشینه تخلیه مجاز ۸۰ درصد	۴/۸	۳۰/۳	۶۵/۵۶	۵۵/۷۸

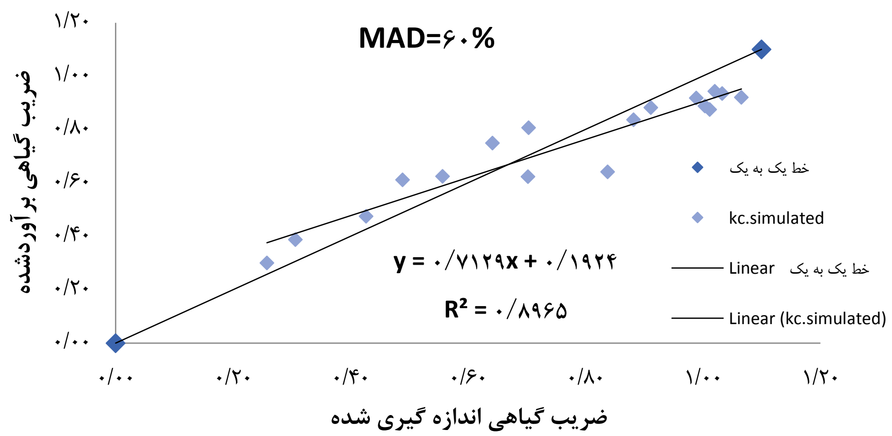
جدول ۳- نتایج آماره‌های اعتبارسنجی در مدیریت‌های مختلف آبیاری

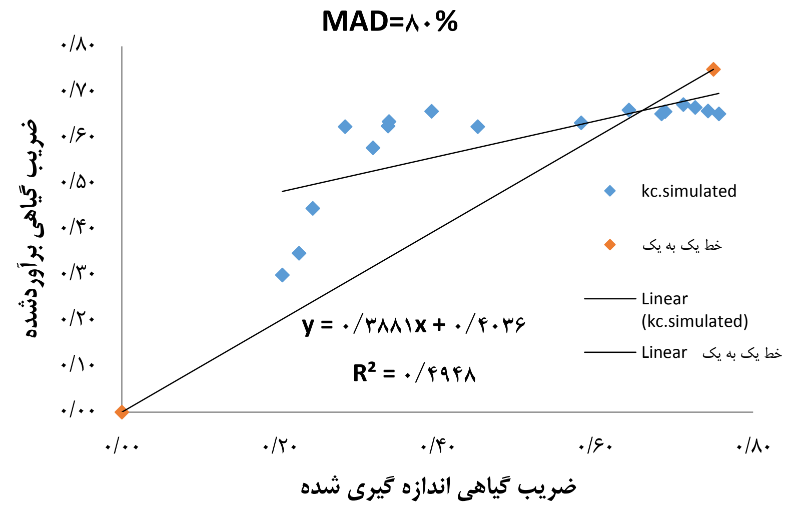
مدیریت آبیاری	آماره‌های اعتبارسنجی					
	EF	d	MBE	NRMSE	RMSE	R^2
بیشینه تخلیه مجاز ۴۰ درصد	۰/۹۵	۰/۹۷۸	−۰/۰۶	۰/۱۱۴	۰/۱۰۰۶	۰/۹۵
بیشینه تخلیه مجاز ۶۰ درصد	۰/۸۵	۰/۹۷	−۰/۰۲۴	۰/۱۳۴	۰/۱۰۱۱	۰/۹
بیشینه تخلیه مجاز ۸۰ درصد	۰/۶۳	۰/۷۹۸	+۰/۱۰۴	۰/۳۶۷	۰/۱۷۹۷	۰/۴۹

در مدیریت آبیاری با بیشینه تخلیه مجاز (MAD) ۶۰ درصد، میانگین ضرایب گیاهی مراحل چهارگانه رشد به ترتیب ۰/۲۹، ۰/۵۸، ۰/۹۸ و ۰/۴۹ اندازه-گیری و ضرایب برآوردشده از مدل متناظر با این مراحل به ترتیب ۰/۳۸، ۰/۷، ۱/۰۱ و ۰/۸۳ به دست آمد. ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) و ضریب تعیین (R^2) به ترتیب ۱۳/۴ درصد و ۰/۹ بود. مقادیر ضرایب گیاهی برآوردشده در طول دوره رشد ۲/۴ درصد کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده بود. مقدار ضریب کارایی مدل ۸۵ درصد بود که نشان داد مدل کارایی خود را در این شرایط مدیریتی حفظ نموده است. در مدیریت آبیاری با بیشینه تخلیه مجاز (MAD) ۸۰ درصد که گیاه در تنش شدید بود میانگین ضرایب گیاهی مراحل چهارگانه رشد به ترتیب ۰/۲۲، ۰/۳۶، ۰/۶۶ و ۰/۲۲ اندازه‌گیری شد. ضرایب گیاهی متناظر با این مراحل هم به ترتیب ۰/۳۸، ۰/۷، ۰/۹۹ و ۰/۸۲ برآورد شد. ضرایب گیاهی برآوردشده در طول دوره رشد ۱۰/۴ درصد بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری‌شده بود. مقادیر ضریب تعیین (R^2)، ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) و شاخص توافق ویلموت (d) بین داده‌های اندازه‌گیری و برآوردشده به ترتیب ۰/۴۹، ۰/۳۶۷ و ۰/۷۹۸ به دست آمد. ضریب کارایی مدل ۶۳ درصد بود که رضایت‌بخش نبود. بررسی روند تغییرات مقادیر ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) و ضریب کارایی مدل (EF) بین مدیریت‌های آبیاری نشان داد که با اعمال تنش از کارایی مدل کاسته شد. اثر تنش بر رشد گیاه در مرحله ابتدایی و توسعه رشد که از مراحل حساس این گیاه هستند در این مدیریت آبیاری بیشتر بود. نمودار پراکنش داده‌ها نسبت به خط یک به یک در مدیریت‌های مختلف آبیاری (شکل ۲) این موضوع را به‌خوبی نشان می‌دهد. در مدیریت آبیاری با بیشینه تخلیه مجاز ۴۰ درصد مقادیر ضرایب گیاهی برآوردشده همبستگی خوبی با مقادیر اندازه‌گیری‌شده داشتند (R^2=0.95). با افزایش ضریب بیشینه تخلیه مجاز، به‌تدریج درصد همبستگی در اثر تنش کاهش یافت و در نهایت در شرایط تنش شدید به کمترین مقدار رسید (R^2=0.49). درصد کمی از اختلاف بین ضرایب گیاهی برآوردی و اندازه‌گیری‌شده ناشی از خطاهای احتمالی در اندازه‌گیری ضریب گیاهی به روش بیلان آب، تفاوت‌های احتمالی ناشی از عملیات مدیریتی، آفات و بیماری، شرایط آب و هوایی، مشکلات تغذیه‌ای، رقم مورد استفاده، خطای مربوط به زمان عکس‌برداری و تنظیمات پایه دوربین بود و دلیل اصلی این اختلاف، ناشی از تنش آبی است که

به‌تدریج در مدیریت آبیاری با بیشینه تخلیه مجاز ۶۰ و ۸۰ درصد اثرات آن ظاهر شد. در مدیریت آبیاری با بیشینه تخلیه مجاز ۸۰ درصد (شکل ۲) و در دامنه ضرایب گیاهی ۰/۲ تا ۰/۶ یک واگرایی بین مقادیر اندازه‌گیری و برآوردشده وجود دارد. این واگرایی در دو مرحله توسعه و پایانی رشد مشاهده شد. در مرحله توسعه رشد که از مراحل حساس این گیاه است، علاوه بر تنش حاصل از مدیریت آبیاری، تنک‌کردن گیاه باعث واردشدن یک تنش مضاعف به گیاه شد. نتیجه این تنش‌ها انسداد روزنه‌ها، کاهش فعالیت‌های پروتوپلاسمی و تثبیت گاز کربنیک، کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل و در نهایت کاهش رشد رویشی گیاه بود که سبب تقلیل فرایند فتوسنتز شد. با کاهش رشد رویشی گیاه شدت اثر سرعت باد بر تبخیر–تعرق گیاه کم و ضریب گیاهی اندازه‌گیری‌شده کاهش یافت. اثرات تنش با کاهش آبیاری شروع و تا پژمردگی برگ‌ها ادامه یافت. در این مدیریت آبیاری در اثر شدت تنش، گیاه در مقایسه با دو مدیریت آبیاری دیگر، زودتر وارد مرحله پایانی رشد گردید. با پژمردگی گیاه، شدت تعرق گیاه کاهش یافته و شکل ظاهری گیاه و محتوای رنگ‌دانه‌ای (کلروفیل و کارتنوئید) آن دچار تغییرات شد. نتیجه این تغییرات در پوشش سبز گیاهی که به‌عنوان متغیر وابسته در تعیین ضریب گیاهی استفاده شده است نمایان شد. در این مرحله از رشد (پایانی) سرعت کاهش ضریب گیاهی متناسب با تغییرات پوشش سبز گیاهی نبود و با رسیدن محصول و خنک شدن هوا، ضریب گیاهی با سرعت بیشتری نسبت به پوشش سبز گیاهی کاهش یافت. در واقع با توجه به مقاوم-بودن گیاه چغندرقند به تنش آبی، روند کاهش درصد پوشش سبزینه‌ای گیاه بکندی صورت گرفت و آثار تنش در ضریب گیاهی زودتر از پوشش سبز گیاهی نمایان شد. به علت بالا بودن درصد پوشش سبزینه‌ای گیاه در این مرحله، مقدار ضریب گیاهی برآوردشده از مدل بیشتر از مقدار اندازه‌گیری‌شده بود.







شکل ۲ – نمودار پراکنش داده‌ها نسبت به خط یک به یک در مدیریت‌های مختلف آبیاری

نتیجه گیری

در این مطالعه با عکس‌برداری از بالای سطح گیاه (سنجش از نزدیک) درصد پوشش گیاهی به روش پردازش تصاویر رقومی در فضای رنگی RGB تعیین و رابطه رگرسیونی آن با ضریب گیاهی به‌صورت یک تابع درجه سوم مدلسازی شد. مدلسازی در شرایط پتانسیل و اعتبارسنجی در سه مدیریت آبیاری با بیشینه تخلیه مجاز (MAD) ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد انجام شد. نتایج اعتبارسنجی، کارایی مدل برای تعیین ضریب گیاهی چغندرقند در دامنه تغییرات رطوبتی بین ظرفیت زراعی تا بیشینه تخلیه مجاز (MAD) ۶۰ درصد را تائید کرد. آلن و همکاران (۱۹۹۸) در نشریه شماره ۵۶ فائو بیشینه تخلیه مجاز رطوبتی برای چغندرقند را ۰/۵۵ پیشنهاد داده‌اند. با توجه به این‌که ضریب پیشنهادی در دامنه رطوبتی بین ظرفیت زراعی تا بیشینه تخلیه مجاز رطوبتی ۶۰ درصد قرار دارد می‌توان از این روش برای تعیین ضریب گیاهی چغندرقند استفاده نمود. جمع‌آوری آسان و سریع داده‌ها، دقت بیشتر و هزینه کمتر، امکان تهیه تصویر به تعداد دلخواه و عدم نیاز و وابستگی به داده‌های هواشناسی از مزایای این روش است. در استفاده از این روش برای تهیه تصاویر می‌توان از دوربین‌های دیجیتال و گوشی‌های تلفن همراه که قابلیت تصویربرداری در فضای رنگی RGB را دارند استفاده کرد. در این روش با تعیین درصد پوشش گیاهی می‌توان ضریب گیاهی و تبخیر–تعرق لحظه‌ای را محاسبه و از نتایج آن برای اعتبارسنجی داده‌های سنجش از دور در تعیین تبخیر–تعرق لحظه‌ای استفاده نمود؛ اما در شرایط تنش خشکی شدید یا کم‌آبیاری، به‌عنوان نمونه برای مدیریت آبیاری با بیشینه تخلیه مجاز (MAD) ۸۰ درصد نتایج اعتبارسنجی داده‌ها نشان‌دهنده کارایی ضعیف مدل در برآورد ضریب گیاهی در این شرایط بود و استفاده از آن توصیه نمی‌شود.

فهرست منابع

۱. بافکار، ع.، فرهادی، ب، و کریمی، ع، ر، ۱۳۹۲. برآورد ضریب گیاهی ذرت دانه‌ای با استفاده از خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه (مطالعه موردی: ماهیدشت کرمانشاه). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۷، شماره ۴. ص ۸۳۴–۸۳۲.

۲. چگینی، م، ع و غالبی، س، ۱۳۸۷. گزارش نهایی تعیین ضریب تعرق گیاهی در مراحل مختلف رشد چغندر بذری. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند. کرج.

۳. رئوف، م، ۱۳۹۸. تعیین ضریب گیاهی چغندرقند با استفاده از لایسیمتر در دشت اردبیل و مقایسه آن با داده های جهانی فائو. پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب).

4. Adams, J.E. and G.F. Arkin. 1977. Alight interception method for measuring row crop ground cover. Soil Sci. Soc. Amer. J. 41:789–792.
5. Akanda, A.R., M.S. Rahman, M.S. Islam and A.J. Mila. 2017. Crop coefficient of a popular potato variety in Bangladesh. Bangladesh J. Agril. Res. 42(1): 67-76.
6. Alivernini A, Fares S, Ferrara C, Chianucci F. 2018. An objective image analysis method for estimation of canopy attributes from digital cover photography. Trees. 32(3):713-723.
7. Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. 1998. FAO Irrigation and drainage paper No. 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 56(97): e156.
8. Allen, R.G. 2000. Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. J. Hydrol. 229: 27 – 41.
9. Andarzian, B, M. Bannayan, P. Steduto, H. Mazraeh, M. E. Barati, M. A. Barati, and A. Rahnama. "Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran." Agricultural Water Management 100, no. 1 (2011): 1-8.
10. Blasco J, Aleixos N, Roger J, Rabatel G, Moltó E. 2002. AE-Automation and emerging technologies: Robotic weed control using machine vision. Biosystems Engineering. 83(2):149-157.
11. Calera A, Martínez C, Melia J. 2001. A procedure for obtaining green plant cover: relation to NDVI in a case study for barley. International Journal of Remote Sensing. 22(17):3357-3362.
12. Campillo, C., Prieto, M. H., Daza, C., Monino, M. J., & Garcia, M. I. (2008). Using digital images to characterize canopy coverage and light interception in a processing tomato crop. Hortscience, 43(6), 1780-1786.
13. Carvalho, D.F.D., D. G. D. Silva, H. S. D. Rocha, W. S. D. Almeida, E. D. S. Sousa. 2013. Evapotranspiration and crop coefficient for potato in organic farming. Engenharia Agricola 33(1):201-211.
14. Chen, J.C., Chang, N.B., and Shieh, W.K. 2003. Assessing wastewater reclamation potential by neural network model. Journal of Engineering Application of Artificial Intelligence, 16:149-157.
15. Chianucci F, Cutini A. 2013. Estimation of canopy properties in deciduous forests with digital hemispherical and cover photography. Agricultural and Forest Meteorology. 168:130-139.
16. De Medeiros GA, Arruda FB, Sakai El, Fujiwara M. 2001. The influence of crop canopy on evapotranspiration and crop coefficient of beans (Phaseolus vulgaris L.). Agricultural Water Management. 49(3):211-224.
17. Fernández-Pacheco DG, Escarabajal-Henarejos D, Ruiz-Canales A, Conesa J, Molina-Martínez JM. 2014. A digital image-processing-based method for determining the crop coefficient of lettuce crops in the southeast of Spain. Biosystems engineering. 117:23-34.
18. Giacomelli, G.A., Ling, P.P. and Morden, R.E. (1996). An automated plant monitoring system using machine vision. International Symposium on Plant Production in Closed Ecosystems. 440:377-382.
19. Giacomelli G, Ling P, Kole J. 1998. Determining nutrient stress in lettuce plants with machine vision technology. HortTechnology. 8(3):361-365.
20. Gime´nez, C. 1985. Resistencia a sequı´a de cultivares de girasol bajo condiciones de campo. Tesis Escuela Superior De Ingenieros Agro´nomos.Universidad de Cordoba.
21. Grattan S, Bowers W, Dong A, Snyder R, Carroll J, George W. 1998. New crop coefficients estimate water use of vegetables, row crops. California agriculture. 52(1):16-21.
22. Howell, J. A; L. H. ziska; M.C. Conmik; R. L. Burtch; B. B. Fisher .1987. Response of sugar Beet to lrrigation frequency and off cut on clayloum soil, Irrig – sci, 8:1- 10.
23. Jamieson, P., Porter, J., and Wilson, D. 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. Field Crops Research 27: 337-350.
24. Korhonen L, Heikkinen J. 2009. Automated analysis of in situ canopy images for the estimation of forest canopy cover. Forest Science. 55(4):323-334.

25. Kvet, J. and J.K. Marshall. 1971. Assessments of leaf area and other assimilating plant surfaces. Z. sesta´k jc, and p.g. jarvis, The Hague, The Netherlands. p. 517–574.
26. Laliberte A, Rango A, Herrick J, Fredrickson EL, Burkett L. 2007. An object-based image analysis approach for determining fractional cover of senescent and green vegetation with digital plot photography. Journal of Arid Environments. 69(1):1-14.
27. Lee K-J, Lee B-W. 2011. Estimating canopy cover from color digital camera image of rice field. Journal of Crop Science and Biotechnology. 14(2):151-155.
28. Ling, P.P. and Ruzhitsky, V.N. (1992). Transplant uniformity inspection using machine vision. International Symposium on Transplant Production Systems 319:607-612.
29. Loague, K., and Green, R. E. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. Contaminant Hydrology Journal 7: 51-73.
30. Mora M, Avila F, Carrasco-Benavides M, Maldonado G, Olguín-Cáceres J, Fuentes S. 2016. Automated computation of leaf area index from fruit trees using improved image processing algorithms applied to canopy cover digital photograpies. Computers and Electronics in Agriculture. 123:195-202.
31. Parsons NR, Edmondson R, Song Y. 2009. Image analysis and statistical modelling for measurement and quality assessment of ornamental horticulture crops in glasshouses. Biosystems engineering. 104(2):161-168.
32. Patrignani A, Ochsner TE. 2015. Canopeo: A powerful new tool for measuring fractional green canopy cover. Agronomy Journal. 107(6):2312-2320.
33. Pekin B, Macfarlane C. 2009. Measurement of crown cover and leaf area index using digital cover photography and its application to remote sensing. Remote Sensing. 1(4):1298-1320.
34. Philipp I, Rath T. 2002. Improving plant discrimination in image processing by use of different colour space transformations. Computers and electronics in agriculture. 35(1):1-15.
35. Piayda A, Dubbert M, Werner C, Correia AV, Pereira JS, Cuntz M. 2015. Influence of woody tissue and leaf clumping on vertically resolved leaf area index and angular gap probability estimates. Forest Ecology and Management. 340:103-113.
36. Piccinni, G., J. KO, T. Marek and T. Howell. 2009. Determination of growth– stage–specific crop coefficients (Kc) of maize and sorghum. Agricultural water management 96:1698-1704.
37. Raabe K, Pisek J, Lang M, Korhonen L. 2017. Estimating the beyond-shoot foliage clumping at two contrasting points in the growing season using a variety of field-based methods. Trees. 31(4):1367-1373.
38. Raziei, T., & Pereira, L.S. (2013). Spatial variability analysis of reference evapotranspiration in Iran utilizing fine resolution gridded datasets. *Agricultural Water Management*, *126*, 104-118.
39. Rinaldi, M., and A. V. Vonella, 2006: The response of autumn and spring sown sugar beet (Beta vulgaris L.) to irrigation in Southern Italy: water and radiation use efficiency. Field Crops Res. 95, 103—114.
40. Ryu Y, Nilson T, Kobayashi H, Sonnentag O, Law BE, Baldocchi DD. 2010. On the correct estimation of effective leaf area index: Does it reveal information on clumping effects? Agricultural and Forest Meteorology. 150(3):463-472.
41. Salas-Aguilar V, Sánchez-Sánchez C, Rojas-García F, Paz-Pellat F, Valdez-Lazalde JR, Pinedo-Alvarez C. 2017. Estimation of vegetation cover using digital photography in a regional survey of central Mexico. Forests. 8(10):392.
42. Story D, Kacira M, Kubota C, Akoglu A, An L. 2010. Lettuce calcium deficiency detection with machine vision computed plant features in controlled environments. Computers and electronics in agriculture. 74(2):238-243.
43. Uçan, K., & GENÇOĞLAN, C. (2004). The effect of water deficit on yield and yield components of sugar beet. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 28(3), 163-172.
44. Wang, P., J. Qiu, Z. Huo, M.C. Anderson, Y. Zhou, Y. Bai, et. al. 2017. Temporal downscaling of crop coefficients for winter wheat in the North China Plain: A case study at the Gucheng Agro-Meteorological experimental station. Water 9(155): 1-16.

45. Woebbecke DM, Meyer GE, Von Bargen K, Mortensen DA. 1995. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. Transactions of the ASAE. 38(1):259-269.
46. Xiong Y, West C, Brown C, Green P. 2019. Digital image analysis of old world bluestem cover to estimate canopy development.
47. Zheng X, Wang X. 2010. Leaf vein extraction based on gray-scale morphology. International Journal of Image, Graphics and Signal Processing. 2(2):25.

تأثیر تنش خشکی و شوری بر عملکرد، ویژگی‌های بیوشیمیایی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سورگوم علوفه‌ای

علیرضا عمادی، امید علیزاده، بهرام امیری[1]، هادی پیراسته انوشه و مهدی زارع

دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی.

aremadi@miau.ac.ir

دانشیار دانشکده کشاورزی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی.

alizadehomid51@yahoo.com

استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی.

bchamiri@gmail.com

استادیار مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران.

h.pirasteh.a@gmail.com

دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی.

mahdi.zare2009@gmail.com

دریافت: فروردین ۱۴۰۱ و پذیرش: شهریور ۱۴۰۱

چکیده

در مطالعه حاضر، تأثیر سطوح مختلف تنش‌های خشکی و شوری بر تولید ماده خشک، ویژگی‌های بیوشیمیایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی سورگوم [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] رقم علوفه‌ای پگاه در دو منطقه مرودشت و ارسنجان در سال ۱۳۹۶ بررسی شد. تیمارها شامل چهار سطح تنش خشکی ۱۰۰٪، ۸۵٪، ۷۰٪ و ۵۵ ٪ ظرفیت مزرعه در کرت‌های اصلی و چهار سطح شوری آب آبیاری ۱/۵، ۴/۵، ۷/۵ و ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر در کرت‌های فرعی بود که در یک آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که تنش‌های خشکی و شوری در هر دو منطقه با کاهش تولید ماده خشک و غلظت کلروفیل‌های a و b و کاروتنوئیدها همراه بود، ولی بسته به شدت تنش، غلظت پرولین آزاد و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز را افزایش داد. فعالیت آنزیم آسکوربیک پراکسیداز تنها تحت تأثیر تنش خشکی افزایش یافت. بیش‌ترین ماده خشک تولیدی از تیمار آبیاری ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه با شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس در متر برابر با ۱/۲۹۲ و ۱/۱۹۸ کیلوگرم در مترمربع به‌ترتیب در مرودشت و ارسنجان به‌دست آمد. عدم تأثیر معنی‌دار رژیم آبیاری ۸۵٪ ظرفیت مزرعه بر ماده خشک و ویژگی‌های بیوشیمیایی سورگوم نشان داد که تنها رژیم‌های آبیاری ۷۰٪ و ۵۵٪ ظرفیت مزرعه منجر به تنش آبی در سورگوم گردید. از دیگرسو، تفاوت معنی‌داری بین شرایط غیرشور و ۴/۵ دسی‌زیمنس در متر مشاهده نشد؛ که بیانگر تحمل به شوری سورگوم حداقل تا این سطح شوری است. نتایج این تحقیق نشان داد که به‌خاطر خاصیت هم‌افزایی، وجود هم‌زمان تنش‌های خشکی و شوری اثر سوء بیشتری بر کاهش عملکرد گیاه داشت. بنابراین، در شرایط استفاده از آب با شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس در متر و بالاتر برای آبیاری سورگوم، استراتژی‌های کم آبیاری توصیه نمی‌گردد.

واژه‌های کلیدی: کاروتنوئید، کلروفیل، رژیم‌های آبیاری

---

[1] – آدرس نویسنده مسئول: دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی.

مقدمه

امروزه به‌دلیل استفاده زیاد، حجم قابل‌دسترس منابع آبی علاوه بر این‌که به‌شدت در حال کاهش هستند، ازنظر کیفیت نیز به‌طور روزافزونی در حال شور شدن هستند؛ بنابراین، تولید گیاهان زراعی با مشکل تنش‌های خشکی و شوری مواجه شده‌اند (رنجبر و پیراسته انوشه، ۱۳۹۴). با نظر به تحقیقات انجام‌شده توسط محققین چنین به‌نظر می‌رسد که کاشت سورگوم در مقایسه با بسیاری از گیاهان علوفه‌ای دیگر، می‌تواند باعث کاهش میزان مصرف آب گردد (آویلا و همکاران، ۲۰۲۱) و تلاش بر این است که ضمن افزایش یا ثابت نگه‌داشتن عملکرد، بتوان حتی-الامکان از آب‌های با میزان شوری نسبی نیز استفاده نمود (سونی و همکاران، ۲۰۲۱).

سورگوم (*Sorghum bicolor*) می‌تواند با ۲۵۰ میلی‌متر رطوبت چرخه‌ی زندگی خود را کامل کند و به شتر گیاهان زراعی معروف است (امام،۱۳۹۰) و تحت شرایط خشکی شدید یا گرمای شدید به‌خوبی محصول تولید می‌کند (پیراسته انوشه و همکاران، ۱۳۹۹). تعداد تارهای کشنده در هر سانتیمتر ریشه‌ی سورگوم نسبت به ذرت دو برابر است و اندازه‌ی سیستم ریشه‌ای تاجی آن نیز در هر مرحله از رشد نزدیک به دو برابر اندازه‌ی سیستم ریشه‌ای ذرت است و این ویژگی با تحمل بیشتر سورگوم به خشکی در ارتباط است (امام،۱۳۹۰).

سورگوم گیاهی سازگار به اقلیم‌های گرمسیری و نیمه گرمسیری است و به‌دلیل داشتن ویژگی‌های ویژه مورفولوژیک و فیزیولوژیک ازجمله رشد ابتدایی آهسته تا زمان گسترش سیستم ریشه‌ای، نسبت بالای ریشه به ساقه، توانایی در کاهش پتانسیل اسمزی برگ، تنظیم فشار اسمزی برگ طی دوره تنش، توانایی حفظ میزان نسبی آب برگ تحت شرایط تنش رطوبتی، تولید محور بالای لپه (اپیکوتیل) ضخیم و مومی و درنهایت پیچش برگ‌ها طی دوره رشد، گیاهی متحمل به خشکی است. (هدایتی فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۹۶). تحمل به شوری در این گیاه، در حد متوسط است و وجود مقادیر کمی از مواد قلیایی در خاک به‌طرز قابل‌ملاحظه‌ای عملکرد را کاهش می‌دهد. (پیراسته انوشه و همکاران، ۱۳۹۹). حد آستانه تحمل به شوری سورگوم ۶/۸ دسی‌زیمنس در متر و شیب کاهش عملکرد آن ۱۶ درصد گزارش‌شده است (پیراسته انوشه و همکاران، ۲۰۱۶). به‌نظر می‌رسد عدم توانایی اندام‌های هوایی سورگوم در تنظیم غلظت یون‌هایی مانند سدیم می‌تواند منجر به ایجاد واکنش‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی نامطلوبی در آن گردد. ریشه‌ها ظرفیت مناسبی برای ذخیره سدیم و دیگر یون‌ها در سطوح بالایی دارند و با اشباع این ظرفیت، آزادسازی سدیم به شاخساره آغاز می‌گردد و بعدازآن توان تنظیم‌کنندگی رشد به‌شدت کاهش می‌یابد (بورسیر و لاچلی، ۲۰۰۸).

در یک دوره‌ی خشکی طولانی در سورگوم، حتی اگر مقدار زیادی از برگ‌ها نابود شوند گیاه قادر به زنده نگه‌داشتن مریستم خود است. اگر گیاه در خشکی شدید باقی بماند، بازده فتوسنتزی و سرعت گسترش سایه‌انداز گیاهی چند روز پس از آبیاری با گیاهان شاهد تنها تفاوت اندکی دارد (هدایتی فیروزآبادی و همکاران، ۲۰۲۰). با این‌حال سیناکی و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند تنش آبی باعث کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول جوانه و وزن خشک سورگوم دانه‌ای و علوفه‌ای می‌گردد. افشون و همکاران (۱۴۰۰) بیان کردند که بیش‌ترین ماده خشک تولیدی و بهترین کیفیت علوفه به تیمار بدون تنش آب تعلق داشت. بیش‌ترین درصد پروتئین خام و کمترین درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در شرایط آبیاری مطلوب به‌دست آمد. نجفی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای گزارش دادند که سورگوم در کلیه سطوح خشکی بیش‌ترین عملکرد (۱۰۱ تن علوفه‌تر و ۳۰ تن کیلوگرم علوفه خشک در هکتار) را در مقایسه با کوشیا، ارزن و ذرت تولید نمود. بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای آبیاری بهینه، تنش ملایم و تنش شدید به‌ترتیب با مقادیر۳/۱۷، ۲/۹۷ و ۲/۸ کیلوگرم علوفه خشک بر مترمکعب آب به سورگوم تعلق داشت.

مطالعات نشان‌داده است که آب شور درحد متعادل به‌طور موفقیت‌آمیزی می‌تواند برای رشد گیاهان متحمل به شوری مورداستفاده قرار بگیرد، بدون اینکه این آب تأثیر طولانی‌مدت روی خاک داشته باشد (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین استفاده از آب شور با انجام عملیات صحیح مدیریتی، بدون اینکه باعث کاهش عملکرد گیاهان شود امکان‌پذیر است (سونی و همکاران، ۲۰۲۱). در پژوهشی مشخص شد که تحت تأثیر افزایش شوری خاک، مقدار کلسیم موجود در بافت‌های گیاه سورگوم کاهش یافت؛ ولی کلر در پهنک برگ و در سلول‌های میان-برگ و غلاف آوندی افزایش یافت (بورسیر و لاچلی، ۲۰۰۸). راوسون و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند با افزایش شوری، وزن خشک شاخساره و ریشه بوته‌های سورگوم کم شد. آنها سطح برگ زیاد را صفتی مناسب در تحمل به شوری برای اهداف گزینشی اعلام نمودند. در پژوهشی دیگر مشخص شد که عملکرد ماده خشک سورگوم تحت تأثیر تنش شوری تا سطح ۱۴ دسی‌زیمنس در متر کاهش یافت، ولی عملکرد دانه تنها تا شوری شش دسی‌زیمنس در متر مشاهده گردید و در سطوح بالاتر گیاه به مرحله زایشی نرفت (رنجبر و همکاران، ۲۰۱۵). نتایج مطالعه پیراسته انوشه و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد که تنش شوری بسته به شدت آن، موجب تغییرات معنی‌داری در رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیک سورگوم شد؛ به‌طوری‌که شوری ۱۴ دسی-زیمنس در متر با کاهش وزن خشک و غلظت پتاسیم و افزایش غلظت سدیم و کلر و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز و آسکوربیک پراکسیداز گردید.

کاشت سورگوم علوفه‌ای به‌عنوان یک گیاه علوفه‌ای، به علت عملکرد علوفه بالا، نیاز آبی پایین و تحمل بالای آن به شوری، مورد استقبال کشاورزان قرار گرفته است. با توجه به محدودیت زمین که منجر به افزایش هزینه‌ی تولید محصول می‌شود، عملکرد مناسب علوفه‌ی سورگوم علوفه‌ای، در کشت دوم، بعد از گندم یا جو در استان فارس، در توسعه‌ی کشت آن مؤثر است. با توجه به مشکل خشک‌سالی در سال‌های اخیر و لزوم اتخاذ تدابیری در جهت تأمین علوفه با مصرف آب کمتر و همچنین اهمیت بررسی واکنش سورگوم به کاربرد آب با سطوح شوری مختلف، انجام آزمایش‌هایی در این زمینه، ضروری به‌نظر می‌رسد. مطالعات خوبی در مورد بررسی تأثیر تنش-های خشکی و شوری بر رشد، عملکرد و فیزیولوژی سورگوم انجام شده است، اما در مورد تأثیر هم‌زمان این دو تنش بر سورگوم اطلاعات اندکی وجود دارد. از دیگر سو، با توجه به محدودیت شدید منابع آب شیرین و افزایش تمایل به استفاده از آب‌های نامتعارف در کشاورزی، به‌خوبی مشخص نیست که آیا کاربرد استراتژی‌های کم آبیاری در شرایط استفاده از آب‌های شور امکان‌پذیر هست یا خیر؛ بنابراین، هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی هم‌زمان اثرات سطوح مختلف تنش خشکی و شوری بر ماده خشک و ویژگی‌های بیوشیمیایی سورگوم علوفه‌ای در دو مکان مرودشت و ارسنجان، در استان فارس بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی تأثیر سطوح متفاوت تنش خشکی و سطوح مختلف شوری بر رشد و عملکرد علوفه رقم پگاه سورگوم علوفه‌ای، آزمایش مزرعه‌ای در بهار و تابستان سال ۱۳۹۶، در دو منطقه مرودشت و ارسنجان که از مهم‌ترین مناطق زراعت سورگوم در استان فارس می‌باشند، انجام شد. نتایج آزمون خاک این دو منطقه در جدول ۱ آمده است. همچنین، اطلاعات هواشناسی ماهیانه برای دو منطقه در جدول ۲ ارائه‌شده است.

جدول ۱- نتایج آزمون خاک دو مزرعه آزمایشی در مرودشت و ارسنجان در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری پیش از شروع آزمایش در سال ۱۳۹۶

منطقه	شوری ($dS\ m^{-1}$)	pH	بافت	نیتروژن (٪)	فسفر ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم ($mg\ kg^{-1}$)	ماده آلی (٪)	ظرفیت مزرعه (٪)
مرودشت	۲/۱۲	۷/۲۵	لومی شنی	۰/۷۶	۱۱/۷	۳۱۵/۶	۱/۰۲	۲۳/۵
ارسنجان	۳/۷۶	۷/۷۴	لومی شنی	۰/۵۵	۱۰/۲	۲۶۷/۶	۰/۸۴	۲۱/۷

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی ماهیانه مرودشت در طول آزمایش در سال ۱۳۹۶

	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مجموع/میانگین*
مرودشت							
مجموع بارندگی	۶۱/۷	۲۸/۲	۰	۰	۰/۶	۰	۹۰/۵
متوسط دمای هوا	۱۶	۲۱/۱	۲۶/۷	۲۹/۷	۲۹/۶	۲۵/۶	۲۴/۲
متوسط رطوبت نسبی هوا	۵۶/۵	۴۷/۵	۲۸/۵	۳۷/۲	۲۵	۲۶/۵	۳۴/۷
مجموع تبخیر	۱۴۸/۱	۲۲۲/۸	۳۴۵/۲	۴۱۹/۶	۳۷۵/۶	۳۵۰/۰	۱۸۶۱/۸
ارسنجان							
مجموع بارندگی	۴۰/۳	۸/۴	۰	۰	۰/۵	۰	۴۹/۲
متوسط دمای هوا	۱۶/۳	۲۱/۹	۲۸	۲۹/۸	۲۸/۹	۲۵/۹	۲۴/۳
متوسط رطوبت نسبی هوا	۴۲	۳۱	۱۴	۱۴	۱۶	۱۳	۲۱/۸
مجموع تبخیر	۱۹۹/۳	۲۴۸/۷	۴۲۷/۵	۴۳۳/۳	۴۳۷	۳۹۴/۳	۲۱۴۰/۱

*ستون آخر برای بارندگی و تبخیر مجموع و برای دما و رطوبت نسبی هوا میانگین محاسبه‌شده است

کاشت توسط دستگاه بذرکار ذرت با تغییر صفحه بذر انداز آن، در سوم تیر به‌صورت ردیفی و با فواصل بین ردیف و روی ردیف به‌ترتیب حدود ۶۰ و ۱۰ سانتیمتر و عمق کاشت دو تا چهار سانتی‌متر، انجام گردید (مبصر، ۱۳۹۰؛ ترابی، ۱۳۹۴). هر کرت آزمایشی شامل پنج ردیف کاشت به‌طول سه متر و فاصله بین هر دو کرت فرعی یک متر بود (مبصر، ۱۳۹۰؛ ترابی، ۱۳۹۴). کودهی شامل ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع اوره در سه زمان کاشت، ۳۰ روز و ۶۰ روز پس از کاشت و ۱۲۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار به‌صورت قبل از کاشت و همراه با شخم به مزرعه اضافه شد (خاکسار و فومن، ۱۳۹۰؛ ترابی، ۱۳۹۴).

تیمارها در یک آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طراحی گردید. تیمارها شامل تنش خشکی به‌عنوان فاکتور اصلی به‌صورت رژیم‌های آبیاری در چهار سطح ۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه و تنش شوری به‌عنوان فاکتور فرعی به‌صورت شوری آب آبیاری در چهار سطح ۱/۵، ۴/۵، ۷/۵ و ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر بودند. تیمارهای شوری با استفاده از ترکیب آب زهکش در منطقه با آب چاه غیرشوری که در هر مزرعه وجود داشت (جدول ۳)، به‌دست آمد. از ترکیب آب‌های مذکور در استخر تیمارهای شوری لازم تهیه و سپس به کرت‌های موردنظر فرستاده شد. در محل ورودی کرت، هدایت الکتریکی آب با EC-meter پرتابل اندازه‌گیری و کنترل شد. آبیاری از زمان کاشت (۳ تیر) تا استقرار کامل گیاه (۱۲ تیر)، با آب غیرشور در حد ظرفیت مزرعه انجام شد و پس‌ازاین مرحله، تیمارهای آزمایشی اعمال گردید.

جدول ۳- ویژگی‌های شیمیایی تیمارهای مختلف شوری آب آبیاری در دو مزرعه آزمایشی مرودشت و ارسنجان

	شوری ($dS\ m^{-1}$)	pH	HCO_3^-	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
			میلی اکی‌والان در لیتر					
مرودشت	۱/۵	۷/۱۵	۱/۱۱	۱۲/۵	۲/۵۸	۶/۸۷	۹/۸۷	۰/۲۲
	۴/۵	۷/۷۶	۱/۳۱	۲۰/۶	۲/۶	۷/۰۸	۱۹/۷	۰/۱۹
	۷/۵	۷/۷۰	۱/۶۰	۳۴/۷	۳/۶۶	۱۰/۱۳	۲۷/۶	۰/۲۸
	۱۰/۵	۷/۸۰	۲/۰۲	۳۷/۱	۳/۶۷	۱۲/۲۴	۴۰/۲	۰/۳۵
ارسنجان	۱/۵	۷/۲۲	۱/۱۴	۱۳/۳	۲/۶۶	۷/۰۱	۹/۹۲	۰/۳۱
	۴/۵	۷/۶۷	۲/۱۴	۲۶/۴	۳/۰۵	۱۰/۲۲	۲۲/۲۶	۰/۳۳
	۷/۵	۷/۵۴	۲/۳۵	۲۶/۱	۴/۰۴	۱۵/۴۳	۳۰/۹۱	۰/۴۰
	۱۰/۵	۷/۴۹	۲/۷۱	۴۰/۶	۴/۵۵	۱۸/۵۴	۴۱/۷۵	۰/۴۴

دور آبیاری بسته به مرحله رشدی و شرایط آب و هوایی بین ۵ تا ۱۰ روز متغیر بود. برای اعمال تیمارهای تنش خشکی، یک روز قبل از زمان آبیاری، رطوبت خاک هر کرت آزمایشی، به روش وزنی، تعیین گردید و براساس معادله ۱، عمق خالص آب موردنیاز بر اساس رژیم‌های آبیاری محاسبه گردید.

$$d_n = \frac{(\theta_{FC} - (\theta_m \times \rho_b)) \times R_d}{100} \quad (۱)$$

در این معادله، d_n عمق خالص آبیاری (میلی‌متر)، θ_{FC} محتوای حجمی آب خاک (درصد)، θ_m محتوای وزنی آب خاک (درصد)، ρ_b میانگین چگالی ظاهری خاک و R_d عمق توسعه ریشه در طول فصل رشد است. رطوبت ظرفیت مزرعه خاک در مرودشت و ارسنجان به‌ترتیب ۲۳/۵ و ۲۱/۷ درصد و چگالی ظاهری به‌ترتیب ۱/۴۱ و ۱/۵۲ گرم در سانتی‌متر مکعب بود. رطوبت ظرفیت مزرعه خاک با استفاده از دستگاه صفحات فشاری و چگالی ظاهری با نمونه‌برداری دست‌نخورده با استفاده از سیلندر تعیین شدند. عمق توسعه ریشه در طول فصل رشد بر اساس معادله ۲ به‌دست آمد:

$$R_d = P_d + R_{d\max}[0.5 + 0.5\sin(3.03\frac{D_{ag}}{D_{tm}} - 1.47)] \quad (۲)$$

در این معادله، P_d عمق کاشت، $R_{d\max}$ حداکثر عمق توسعه ریشه، D_{ag} روز پس از جوانه‌زنی و D_{tm} روز از جوانه‌زنی تا حداکثر عمق مؤثر ریشه است (بورگ و گریمز، ۱۹۸۶). با حاصل‌ضرب مساحت هر کرت در ارتفاع آب آبیاری و با اعمال راندمان کاربرد آب ۷۵ درصد، حجم آبیاری برای هر تیمار تنش خشکی به‌دست آمد. حجم آب آبیاری با استفاده از دبی ورودی و زمان لازم برای آبیاری هر کرت، محاسبه گردید. حجم کل آب استفاده‌شده برای هر تیمار در دو منطقه مرودشت و ارسنجان در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴-کل حجم آب استفاده‌شده (مترمکعب در هکتار) در طول آزمایش در دو منطقه مورد مطالعه

منطقه	رژیم آبیاری (درصد ظرفیت مزرعه)			
	۱۰۰	۸۵	۷۰	۵۵
مرودشت	۷۰۵۰	۶۱۵۰	۵۲۳۰	۴۰۱۰
ارسنجان	۶۷۶۰	۵۸۵۰	۴۸۳۰	۳۹۶۰

برای محاسبه ماده خشک، در شروع مرحله گل‌دهی یک مترمربع از دو خط وسط هر کرت (با ملاحظه اثر حاشیه‌ای) برداشت شد و پس از نگهداری در آون ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت وزن آن‌ها به‌عنوان وزن خشک هر نمونه درنظر گرفته شد. با توجه به ویژگی‌های رقم و شرایط اقلیمی منطقه یک چین انجام گردید (فومن و همکاران، ۱۳۸۷). طول دوره آزمایش از زمان کاشت تا زمان برداشت (اوایل گل‌دهی) در مرودشت و ارسنجان به‌ترتیب ۹۳ و ۹۱ روز بود.

صفات بیوشیمیایی اندازه‌گیری شده شامل پرولین آزاد، پروتئین، غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز بود. غلظت پرولین آزاد با استفاده از روش ترول (۱۹۹۵) و غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها بر اساس روش کلوپک (۲۰۰۳) اندازه‌گیری گردید. برای تعیین فعالیت آنزیم کاتالاز (Catalase, CAT) از روش تغییریافته چانس و ماهلی (۱۹۵۵)، فعالیت آنزیم پراکسیداز (Peroxidase (POD)) از روش چانس و ماهلی (۱۹۹۵) و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (Superoxide dismutase (SOD)) از روش ناکانو و آسادا (۱۹۸۱) استفاده شد.

پس از آزمون یکنواختی، داده‌ها به‌صورت مرکب (در مکان) تجزیه واریانس شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد مقایسه شدند. با توجه به معنی‌دار شدن مکان و یا مکان در تیمارها، مقایسه میانگین به‌صورت جداگانه برای دو منطقه انجام گرفت. آزمون یکنواختی، تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام شد.

نتایج و بحث

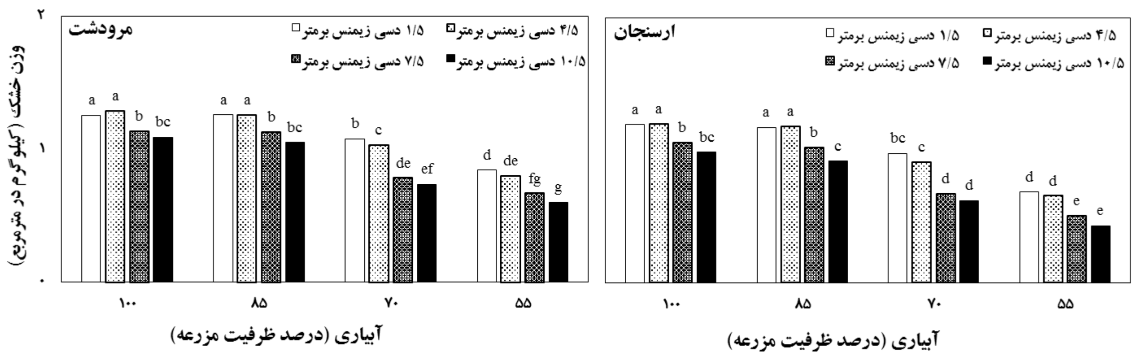
ماده خشک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵)، وزن ماده خشک تحت تأثیر معنی‌دار اثرات اصلی مکان (منطقه)، تنش شوری و تنش خشکی و همچنین اثرات برهمکنش‌های دوگانه مکان در خشکی، مکان در شوری، خشکی در شوری و برهمکنش سه‌گانه مکان در خشکی در شوری قرار گرفت. در همه رژیم‌های آبیاری در هر دو منطقه، سطوح بالای شوری وزن خشک را کاهش دادند که این تأثیر منفی در شرایط تنش خشکی بیشتر بود (شکل ۱). در هر دو منطقه موردبررسی، رژیم آبیاری ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه کاهش وزن خشک را به دنبال داشت. میانگین وزن خشک بوته در رژیم‌های آبیاری ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه نسبت به ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه به میزان ۲۳/۹ و ۳۸/۹ درصد در مرودشت و ۲۸/۴ و ۴۸/۷ درصد در ارسنجان کمتر بود (شکل ۱). در مورد شوری نیز، سطوح ۷/۵ و ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر میانگین وزن خشک را کاهش دادند که این کاهش در مرودشت به‌ترتیب ۱۶/۳ و ۲۱/۵ درصد و در ارسنجان به‌ترتیب ۱۹/۱ و ۲۶/۶ درصد بود. در مرودشت کاهش وزن خشک در اثر تنش شوری ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر در شرایط آبیاری مطلوب ۱۳/۱ درصد و در شرایط خشکی شدید (۵۵٪ ظرفیت مزرعه) ۲۸/۶ درصد بود. این مقادیر در ارسنجان نیز به‌ترتیب ۱۷/۴ و ۳۷/۲ درصد بود. در همه سطوح شوری، خشکی وزن خشک را در هر دو منطقه مرودشت و ارسنجان کاهش داد که این کاهش با شدت تنش همراه بود؛ به‌طوری‌که کمترین وزن خشک در رژیم آبیاری ۵۵ درصد به‌دست آمد. رژیم‌های آبیاری ۷۰ و ۵۵ درصد با کاهش وزن خشک سورگوم همراه بودند، بنابراین می‌توان این دو رژیم را به‌عنوان تنش خشکی در هر دو شرایط شور و غیرشور درنظر گرفت. با توجه به اینکه رژیم آبیاری ۸۵ درصد در همه سطوح شوری تفاوت معنی‌داری با آبیاری مطلوب نداشت، می‌توان گفت که در این رژیم آبیاری سورگوم تحت تنش خشکی قرار نگرفت.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و شوری و برهمکنش آن‌ها بر صفات رشدی سورگوم در دو منطقه موردمطالعه

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک	پرولین آزاد	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئیدها	کاتالاز	پراکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز	آسکوربیک پراکسیداز
مکان	۱	۲۳۳/۱۱*	۴۱۴/۲۵*	۲۶۵/۲۱*	۲۳/۴۷*	۱/۲۴ns	۳۵۷/۵۲*	۴/۲۵ns	۰/۰۰۲ns	۱۲۸۲۰/۷*
بلوک (مکان)	۴	۲۱/۴۴	۵۰/۱۴	۳۳/۵۴	۳/۰۲	۱/۰۴	۵۶/۲۴	۵/۰۹	۰/۰۰۲	۱۸۵۴/۶۹
تنش خشکی	۳	۶۳/۶۷**	۲۸۷/۲۹**	۱۰۵/۲۱*	۲۸/۹۱**	۴/۷۸**	۲۹۱/۷۲*	۲۹/۸۸*	۰/۰۰۵**	۱۲۶۱۱/۲۴**
مکان × خشکی	۳	۶۵/۲۸**	۲۸/۲۱*	۲۱۴/۲۵*	۲/۱۴ns	۰/۸۹ns	۳۱۸/۲۵*	۴/۱۰ns	<۰/۰۰۱ns	۹۸۳۲/۲۱**
خطای کرت اصلی	۱۲	۸/۶۲	۲۵/۲۱	۲۱/۵۸	۲/۵۴	۰/۵۱	۴۲/۳۶	۳/۶۹	۰/۰۰۱	۱۵۴۲/۳
تنش شوری	۳	۴۰/۲۵**	۱۰۵/۶۲**	۷۸/۷۱**	۱۲/۱۶**	۲/۰۲**	۲۴۳/۷۵**	۲۴/۱۸*	<۰/۰۰۱ns	۹۰۷/۱۴ns
مکان × شوری	۳	۲۸/۲۲*	۷۴/۴۱*	۵۳/۶۷*	۱۱/۳۹**	۱/۹۵**	۲۱۳/۱۱*	۲/۰۲ns	<۰/۰۰۱ns	۱۱۱۲/۵۱ns
شوری× خشکی	۹	۳۶/۲۱**	۲۰۶/۱۸**	۷۹/۷۹**	۱۲/۳۸**	۲/۱۲**	۲۵۸/۲۵**	۲۵/۲۰*	<۰/۰۰۱ns	۹۲۵/۶۹ns
مکان × خشکی× شوری	۹	۲۵/۳۲*	۹۷/۷۶*	۶۳/۶۴*	۸/۲۲*	۱/۹۸**	۲۰۲/۵۵*	۲۱/۰۳*	۰/۰۰۴*	۵۹۹۷/۳۹*
خطا	۴۸	۳/۲۱	۱۵/۲۱	۱۰/۲۷	۱/۵۸	۰/۱۴	۲۲/۸۳	۲/۵۸	<۰/۰۰۱	۱۲۴۷/۲۳
ضریب تغییرات	(٪)	۱۴/۱۵	۱۷/۱۵	۱۵/۳۹	۱۴/۴۳	۱۱/۵۹	۷/۹۶	۹/۸۶	۱۵/۰۲	۸/۴۵

ns: غیر معنی‌دار؛ * و **: معنی‌دار به‌ترتیب در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد



شکل ۱- تأثیر تنش خشکی و شوری بر وزن خشک سورگوم در دو منطقه موردبررسی. در هر نمودار ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

وزن خشک تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت؛ ولی در بیشتر موارد، سطح شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس در متر تأثیری بر وزن خشک بوته‌های سورگوم نداشت (شکل ۱). باتوجه حدآستانه تحمل به شوری سورگوم که ۶/۸ دسی-زیمنس در متر گزارش‌شده است (پیراسته انوشه و همکاران، ۲۰۱۶)؛ این موضوع قابل‌درک است. با این وجود، تأثیر منفی شوری به‌طور قابل‌توجهی با شدت شوری همبسته بود، به‌طوری‌که بیش‌ترین و کمترین وزن خشک به‌ترتیب در تیمارهای شوری ۱/۵ و ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر مشاهده شد. شوری نه‌تنها از طریق کاهش تعداد و سطح برگ سبب کاهش ظرفیت کل فتوسنتزی در گیاهان می‌گردد بلکه از طریق کاهش میزان کلروفیل در برگ‌ها سبب اختلال در سنتز مواد فتوسنتزی جهت رشد گیاه می‌شود. دلیل دیگر کاهش وزن می‌تواند ناشی از هزینه انرژی متابولیک مربوط به سازگاری در شرایط تنش، کاهش نرخ فتوسنتز در واحد سطح برگ، کاهش جذب کربن، صدمه به بافت‌ها و رسیدن به حداکثر غلظت نمکی باشد که گیاه آن را تحمل می‌کند (تایز و همکاران، ۲۰۱۵).

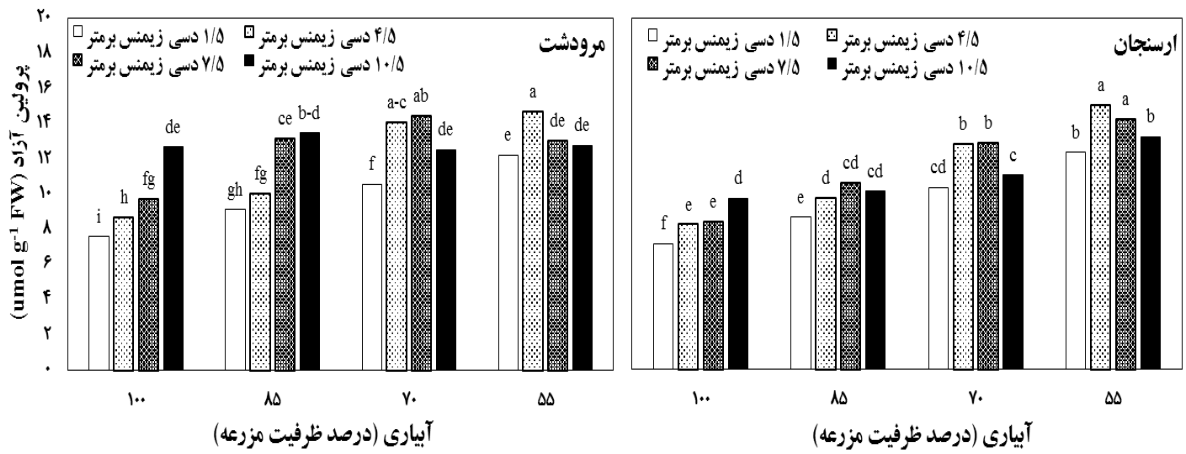
اگرچه تنش‌های خشکی و شوری به‌طور معنی-داری وزن خشک را کاهش دادند، ولی وقتی هم‌زمان اعمال شدند، اثر هم‌افزایی داشتند، به‌طوری‌که درصد کاهش وزن خشک در اثر تنش شوری در شرایط تنش خشکی بیشتر از شرایط آبیاری مطلوب بود. کاهش وزن خشک در اثر تنش خشکی با مشاهدات هاول و همکاران (۲۰۰۷) و خوزه و همکاران (۱۹۹۰) نیز مطابقت دارد؛ چنانچه آن‌ها بیان کرده بودند که سورگوم در شرایط کم آبی می‌تواند رطوبت بیشتری از خاک تخلیه کند. سومی (۱۹۸۹) نیز نشان داد که مقدار ماده‌ی خشک با افزایش مقدار آب قابل‌مصرف گیاه، افزایش می‌یابد. همچنین نتیجه‌ی این آزمایش با آنچه توسط کیخانی و همکاران (۱۳۸۹) و راهنما و همکاران (۱۳۸۷) گزارش گردیده مبنی بر اینکه در شرایط کمبود رطوبت خاک، تولید ماده خشک گیاه سورگوم، کاهش می‌یابد. مطابقت دارد.

ویژگی‌های بیوشیمیایی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵)، پرولین آزاد و غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها تحت تأثیر معنی‌دار اثرات اصلی مکان (منطقه)، تنش شوری و تنش خشکی و همچنین اثرات برهمکنش‌های دوگانه مکان در شوری، خشکی در شوری و برهمکنش سه‌گانه مکان در خشکی در شوری قرار گرفت.

در شرایط بدون تنش خشکی، با افزایش شوری محتوای پرولین افزایش یافت و بیش‌ترین پرولین آزاد در تیمار شوری ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر مشاهده شد. درحالی‌که در شرایط آبیاری ۸۵٪ ظرفیت مزرعه تیمارهای شوری ۱۰/۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس در متر پرولین بیشتری داشتند. در تیمارهای ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه شوری ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر غلظت پرولین آزاد را کاهش داد. در هر دو منطقه مرودشت و ارسنجان محتوای پرولین آزاد تحت تأثیر تنش خشکی و شوری قرار گرفت (شکل ۲)؛ و

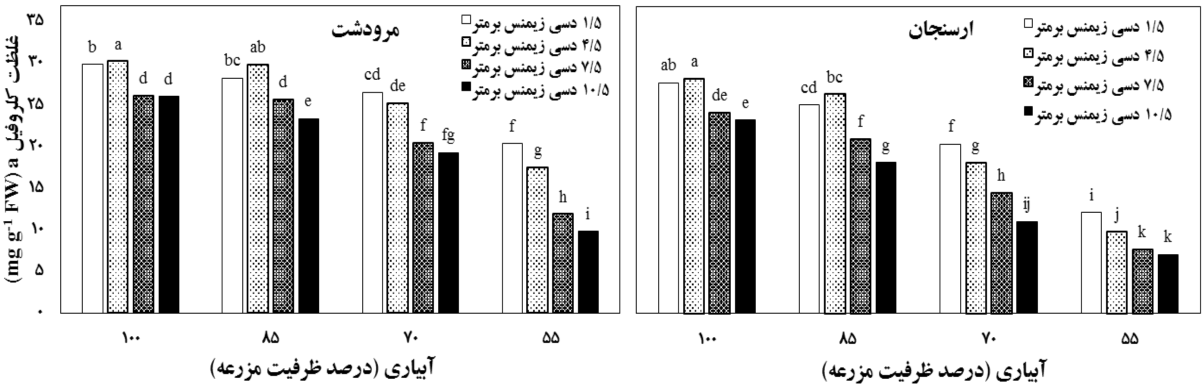
به‌طورکلی روند تغییرات در دو منطقه مشابه بود. به‌طور میانگین در مرودشت، تنش خشکی ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه ۳۶/۴ درصد و تنش شوری ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر ۳۰/۲ درصد غلظت پروتئین آزاد را نسبت به تیمار شاهد بدون تنش افزایش دادند. همچنین، در ارسنجان تنش خشکی ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه با افزایش ۶۳/۶ درصدی و تنش شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس در متر با افزایش ۱۹/۹ درصدی غلظت پروتئین آزاد همراه بودند. به‌طورکلی، بیش‌ترین غلظت پرولین آزاد از تیمار ۵۵ درصد آبیاری با شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس در متر در مرودشت و ارسنجان، به‌ترتیب برابر با ۱۴/۷۵ و ۱۵/۰۵ میکرومول در گرم وزن تر به‌دست آمد. کمترین غلظت پرولین آزاد نیز در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری با شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس در متر در مرودشت و ارسنجان، به‌ترتیب برابر با ۷/۶ و ۷/۱۵ میکرومول در گرم وزن تر مشاهده شد (شکل ۲).



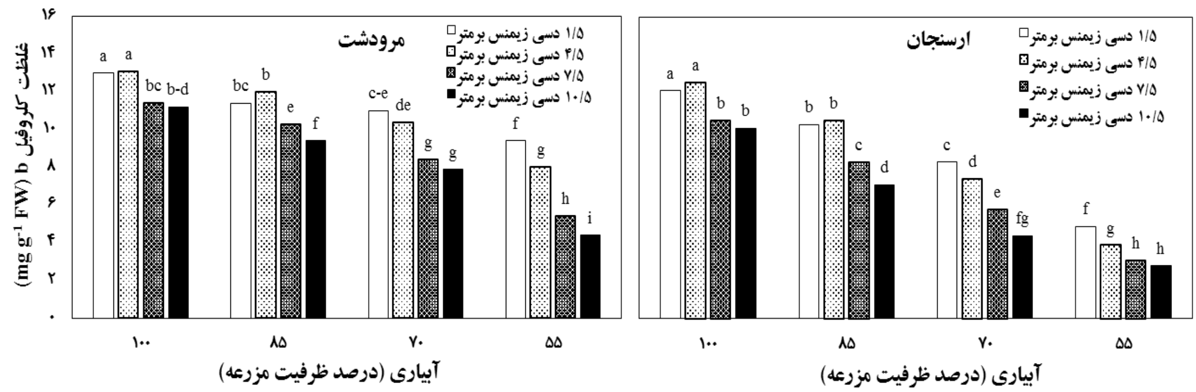
شکل ۲- تأثیر تنش خشکی و شوری بر محتوای پرولین آزاد سورگوم در دو منطقه موردبررسی. ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

تیمارهای تنش خشکی و شوری بر غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی تأثیر معنی‌داری داشتند (شکل‌های ۳ تا ۵)؛ به‌طوری‌که غلظت کلروفیل a (شکل ۳)، کلروفیل b (شکل ۴) و کاروتنوئیدها (شکل ۵) تحت تأثیر هر دو تنش خشکی و شوری در هر دو منطقه مرودشت و ارسنجان کاهش یافتند. در شرایط آبیاری ۱۰۰ و ۸۵ درصد ظرفیت مزرعه، تنش شوری تا ۴/۵ دسی‌زیمنس در متر تأثیر معنی‌داری بر غلظت کلروفیل a و کلروفیل b نداشت. همچنین، در شرایط آبیاری ۱۰۰، ۸۵ و ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه تنش شوری تا ۷/۵ دسی‌زیمنس در متر به‌طور معنی‌داری غلظت کاروتنوئیدها را کاهش نداد. با افزایش شدت تنش خشکی، تأثیر منفی تنش شوری بیشتر شد و تفاوت بین سطوح مختلف شوری آب آبیاری نیز تشدید گردید. به‌طور میانگین، تنش خشکی ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها را به‌ترتیب به میزان ۴۷/۰، ۴۴/۱ و ۴۲/۴ درصد در مرودشت و به میزان ۶۴/۴، ۶۷/۵ و ۵۵/۲ درصد در ارسنجان کاهش داد. همچنین، تنش شوری ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر نسبت به شرایط غیرشور به‌ترتیب با کاهش ۲۵/۳، ۲۶/۶ و ۱۸/۲ درصدی در غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها در مرودشت همراه بود. این مقادیر برای ارسنجان به‌ترتیب ۳۰/۲، ۳۱/۵ و ۲۳/۳ درصد بود. به‌طورکلی، بیش‌ترین غلظت کلروفیل a (شکل ۳) و کلروفیل b (شکل ۴) در هر دو منطقه مرودشت و ارسنجان و کاروتنوئیدها در ارسنجان (شکل ۵) از تیمار ۸۵ درصد ظرفیت مزرعه با شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس در متر به‌دست آمد، درحالی‌که در بیش‌ترین غلظت کاروتنوئیدها در مرودشت در تیمار ۸۵ درصد ظرفیت مزرعه با شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس در متر مشاهده شد (شکل ۵). هنگامی که گیاه در شرایط تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری رشد می‌کند، فعالیت فتوسنتزی آن کاهش‌یافته و درنتیجه

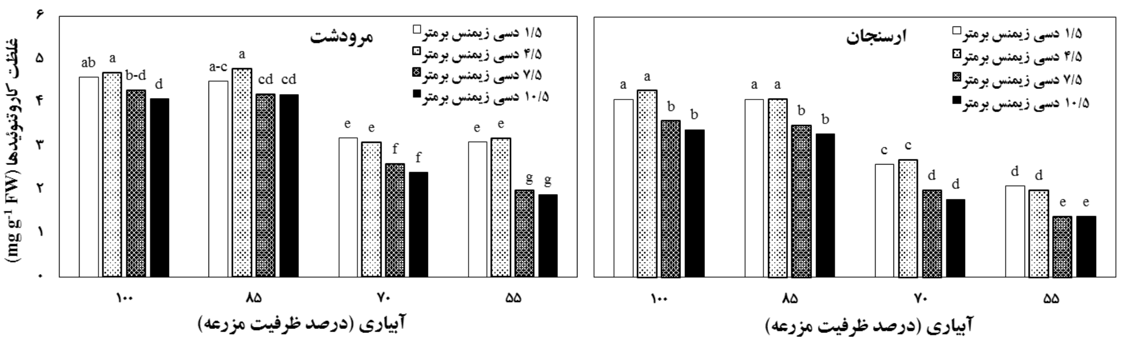
رشد، سطح برگ و محتوای کلروفیل کاهش و فلورسانس کلروفیل افزایش می‌یابد (علی و حسنین، ۲۰۱۴). وزن خشک گیاه تحت تأثیر شوری به موازات کاهش سطح برگ و میزان کلروفیل برگ‌ها کاهش می‌یابد. این امر نشان می‌دهد شاخص ماده خشک، سطح برگ و غلظت کلروفیل در ارتباط با یکدیگر می‌باشند (هدایتی فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۹۶). درواقع با کاهش سطح برگ و غلظت کلروفیل قدرت گیاه برای تولید ماده خشک و نهایتاً عملکرد دانه کاهش می‌یابد (پیراسته انوشه و همکاران، ۲۰۱۶).



شکل ۳- تأثیر تنش خشکی و شوری بر غلظت کلروفیل a پروتئین خام سورگوم در مرودشت. ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند



شکل ۴- تأثیر تنش خشکی و شوری بر غلظت کلروفیل b سورگوم در دو منطقه موردبررسی. ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند



شکل ۵- تأثیر تنش خشکی و شوری بر غلظت کاروتنوئیدهای سورگوم در دو منطقه موردبررسی. ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵)، فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان کاتالاز تحت تأثیر معنی‌دار اثرات اصلی مکان (منطقه)، تنش شوری و تنش خشکی و همچنین اثرات برهمکنش‌های دوگانه مکان در خشکی، مکان در شوری، خشکی در شوری و برهمکنش سه‌گانه مکان در خشکی در شوری، فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان پراکسیداز تحت تأثیر معنی‌داری اثرات اصلی تنش شوری و تنش خشکی، اثر برهمکنش خشکی در شوری و برهمکنش سه‌گانه مکان در خشکی در شوری، فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز تحت تأثیر تنش خشکی و برهمکنش سه‌گانه مکان در خشکی در شوری و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان آسکوربیک پراکسیداز تحت تأثیر معنی‌دار اثرات اصلی مکان (منطقه) و تنش خشکی، برهمکنش دوگانه مکان در خشکی و برهمکنش سه‌گانه مکان در خشکی در شوری قرار گرفت.

در تمام سطوح شوری، کاهش حجم آبیاری به کمتر از ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه منجر به تنش خشکی شد و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز را در بوته‌های سورگوم در هر دو منطقه مرودشت و ارسنجان افزایش داد (جدول ۶). همچنین، در تمامی رژیم های آبیاری، افزایش هدایت الکتریکی آب آبیاری از ۱/۵ به ۴/۵، ۷/۵ و ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر با اعمال تنش شوری و درنتیجه افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز همراه بود. این افزایش در فعالیت آنزیم کاتالاز در اثر تنش خشکی و شوری به افزایش شدت این دو تنش وابسته بود. در همه رژیم‌های آبیاری مطلوب و تنش خشکی، تنش شوری با افزایش فعالیت کاتالاز همراه بود؛ با این وجود در برخی موارد مانند رژیم‌های آبیاری ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه در مرودشت و رژیم‌های آبیاری ۱۰۰، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه در ارسنجان تفاوت معنی‌داری بین فعالیت آنزیم کاتالاز در شوری‌های ۷/۵ و ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر مشاهده نشد (جدول ۶).

جدول ۶- تأثیر سطوح متفاوت شوری و خشکی بر فعالیت آنزیم کاتالاز (واحد در میلی‌گرم پروتئین) سورگوم

تنش شوری ($dS\ m^{-1}$)	تنش خشکی (٪ ظرفیت مزرعه)			
	۱۰۰	۸۵	۷۰	۵۵
	مرودشت			
۱/۵	۴۰/۲ g	۵۶/۰ e	۷۰/۴ bc	۶۸/۳ cd
۴/۵	۴۲/۲ g	۵۸/۰ e	۶۹/۳ cd	۶۹/۵ cd
۷/۵	۴۸/۳ f	۶۵/۸ d	۷۵/۴ a	۷۷/۵ a
۱۰/۵	۵۵/۸ e	۷۴/۹ ab	۷۶/۸ a	۷۵/۱ a
	ارسنجان			
۱/۵	۳۶/۵ g	۴۷/۵ de	۶۰/۵ b	۶۲/۱ b
۴/۵	۳۸/۵ g	۴۸/۵ d	۶۱/۲ b	۶۳/۴ b
۷/۵	۴۳/۲ f	۵۳/۵ c	۶۸/۲ a	۷۰/۴ a
۱۰/۵	۴۴/۲ ef	۶۰/۴ b	۶۷/۹ a	۷۱/۲ a

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

به‌طورکلی بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز در مرودشت و ارسنجان به‌ترتیب در تیمارهای ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه با شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس در متر (۷۰/۵ واحد در میلی‌گرم پروتئین) و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه با شوری ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر (۷۱/۲ واحد در میلی‌گرم پروتئین) بود (جدول ۶). تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری موجب افزایش تولید گونه‌های آزاد اکسیژن (ROS) در گیاهان می‌شود و گیاهان برای کم کردن تأثیر مضر گونه‌های آزاد اکسیژن از مکانیسم‌های متفاوتی ازجمله تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برخوردار هستند که در این میان کاتالاز و پراکسیداز با غیرفعال سازی پراکسید هیدروژن بیش‌ترین تأثیر را دارند (ساعدموچشی و همکاران، ۲۰۱۴). شبیری و همکاران (۲۰۱۵) نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در کشت مخلوط ۲۵٪ جو-

۷۵٪ خلر را نسبت به سایر سامانه‌های کشت‌های مخلوط نشان دادند. آنزیم کاتالاز از دسته پروتئین‌های آهن‌دار محسوب می‌شود و فعالیت آن در هنگام افزایش پراکسید هیدروژن در گیاهان که به علت شرایط تنش، خصوصاً تنش خشکی ایجاد شده است، افزایش می‌یابد (گارگ و مانچاندا، ۲۰۰۹).

فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی پراکسیداز تحت تأثیر تنش خشکی و شوری افزایش یافت (جدول ۷). اعمال تنش خشکی در تمام سطوح موجب افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز شد، ولی شوری تنها در سطوح ۷/۵ و ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر با آنتی‌اکسیدانی فعالیت آنزیم پراکسیداز همراه بود. تقریباً در همه رژیم‌های آبیاری، تنش شوری فعالیت پراکسیداز را افزایش داد (جدول ۷)؛ ولی در تیمار با تنش خشکی شدید (۵۵٪ ظرفیت مزرعه) تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۷/۵ و ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر در هر دو منطقه مرودشت و ارسنجان مشاهده نشد. بوته‌های رشد کردن در شرایط آبیاری ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه با شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس در متر در هر دو منطقه مرودشت و ارسنجان دارای بیش‌ترین فعالیت پراکسیداز (به‌ترتیب ۲۳/۵ و ۲۱/۲ واحد در میلی‌گرم پروتئین) بودند (جدول ۷). گونه‌های فعال اکسیژن مانند H_2O_2 در شرایط تنش خشکی و شوری تولیدشده و به ساختار گیاه آسیب می‌رسانند و در مقابل گیاهان بسته به‌شدت تحمل، برای کم کردن خسارت اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن از مکانیسم‌هایی مانند تولید و تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی استفاده می‌کنند. آنزیم پراکسیداز از این طریق نقش اصلی را در غیرفعال سازی پراکسیدهیدروژن دارد (پاکار و همکاران، ۲۰۱۶). آنزیم پراکسیداز به علت نقشی که در فرآیندهای مهم فیزیولوژیک مانند کنترل رشد توسط چوبی شدن، پیوستن پکتین‌ها و پروتئین‌های ساختاری در دیواره سلولی و کاتابولیسم اکسین دارد، به‌عنوان نشانگری بیوشیمیایی برای انواع مختلف تنش‌های زنده و غیرزنده استفاده می‌گردد (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۷). پراکسیداز آنزیم آنتی‌اکسیدانی مهمی است که در چرخه گلوتاتیون که در دفع مسمومیت هیدروژن پراکسید مؤثر است، نقش دارد. سایر پراکسیدازها مانند گایاکول پراکسیداز (POD) نیز در فرایند تجزیه هیدروژن پراکسید دخالت دارند (آویلا و همکاران، ۲۰۲۱).

جدول ۷- تأثیر سطوح متفاوت شوری و خشکی بر فعالیت آنزیم پراکسیداز (واحد در میلی‌گرم پروتئین) سورگوم

تنش شوری (dS m^{-1})	تنش خشکی (٪ ظرفیت مزرعه)			
	۱۰۰	۸۵	۷۰	۵۵
	مرودشت			
۱/۵	۱۰/۱ e	۱۴/۲ c	۱۷/۶ b	۲۲/۴ a
۴/۵	۱۰/۶ de	۱۴/۹ c	۱۷/۸ b	۲۳/۵ a
۷/۵	۱۲/۱ d	۱۷/۳ b	۱۸/۲ b	۲۲/۷ a
۱۰/۵	۱۴/۰ c	۱۸/۷ b	۱۷/۷ b	۲۲/۶ a
	ارسنجان			
۱/۵	۹/۲ f	۱۱/۹ d	۱۶/۳ c	۲۰/۱ a
۴/۵	۹/۷ ef	۱۲/۱ d	۱۶/۴ c	۲۱/۲ a
۷/۵	۱۱/۲ d	۱۶/۲ c	۱۶/۱ c	۲۰/۶ a
۱۰/۵	۱۱/۰ de	۱۷/۸ b	۱۶.۷ ۱۶/۷	۲۰/۴ a

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

تنش‌های خشکی و شوری در سطوح متوسط و شدید فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را افزایش دادند (جدول ۸)؛ ولی سطوح ملایم تنش خشکی (۸۵ درصد ظرفیت مزرعه) و شوری (۴/۵ دسی‌زیمنس در متر) تأثیر معنی‌داری بر فعالیت این آنزیم نداشت. تنش خشکی ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌ترتیب ۵۵/۸ و ۵۹/۰ درصد در مرودشت و ارسنجان افزایش داد. از دیگر سو، تنش شوری ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر با افزایش ۱۶/۴ و ۱۵/۵ درصدی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نسبت

به تیمار ۱/۵ دسی‌زیمنس در متر به‌ترتیب در مرودشت و ارسنجان همراه بود (جدول ۸). در همه رژیم‌های آبیاری، تنش شوری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را افزایش داد. بالاترین فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در هر دو منطقه مرودشت (۰/۱۸۹ واحد در میلی‌گرم پروتئین) و ارسنجان (۰/۱۷۱ واحد در میلی‌گرم پروتئین) در تیمار ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه با شوری ۱۰/۵ دسی‌زیمنس در متر مشاهده شد (جدول ۸). یکی از مؤثرترین آنتی‌اکسیدان‌های درون‌سلولی سوپراکسید دیسموتاز است. بسیاری از پژوهشگران آن را قوی‌ترین آنتی‌اکسیدان شناخته می‌دانند؛ که سبب پایداری گیاه در برابر بسیاری از تنش‌های محیطی می‌شود (آویلا و همکاران، ۲۰۲۱؛ تیتال و همکاران، ۲۰۲۱). هدایتی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کرد که سطوح تنش شوری ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس در متر موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به‌ترتیب به میزان ۸۱ و ۸۶ درصد در سورگوم گردید.

جدول ۸- تأثیر سطوح متفاوت شوری و خشکی بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (واحد در میلی‌گرم پروتئین) سورگوم

تنش شوری ($dS\ m^{-1}$)	تنش خشکی (٪ ظرفیت مزرعه)			
	۱۰۰	۸۵	۷۰	۵۵
مرودشت				
۱/۵	۰/۱۰۱ g	۰/۱۴۴ e	۰/۱۷۶ cd	۰/۱۷۷ bc
۴/۵	۰/۱۰۵ g	۰/۱۴۶ e	۰/۱۷۴ cd	۰/۱۷۵ cd
۷/۵	۰/۱۲۱ f	۰/۱۶۶ d	۰/۱۸۷ ab	۰/۱۷۷ bc
۱۰/۵	۰/۱۳۹ e	۰/۱۸۷ ab	۰/۱۸۹ a	۰/۱۸۱ a-c
ارسنجان				
۱/۵	۰/۰۹۲ g	۰/۱۱۲ e	۰/۱۵۴ c	۰/۱۵۹ bc
۴/۵	۰/۰۹۶ g	۰/۱۲۱ e	۰/۱۵۵ c	۰/۱۶۱ a-c
۷/۵	۰/۱۰۹ f	۰/۱۳۹ d	۰/۱۶۷ ab	۰/۱۵۸ bc
۱۰/۵	۰/۱۱۰ f	۰/۱۵۶ c	۰/۱۷۱ a	۰/۱۶۰ bc

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

به‌طورکلی، تنش خشکی فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی آسکوربیک پراکسیداز را افزایش داد (جدول ۹)؛ ولی پاسخ مشخصی از فعالیت آنزیم آسکوربیک پراکسیداز به تنش شوری مشاهده نشد. تنش خشکی تا سطح ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه در مرودشت و تا سطح ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه در ارسنجان فعالیت آسکوربیک پراکسیداز را افزایش داد، به عبارت دیگر بیش‌ترین فعالیت آنزیم آسکوربیک پراکسیداز در مرودشت از رژیم آبیاری ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه (۵۲۱/۵ واحد در میلی‌گرم پروتئین) و در ارسنجان از رژیم آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه (۴۶۴/۸ واحد در میلی‌گرم پروتئین) به‌دست آمد (جدول ۹). آنزیم آسکوربیک پراکسیداز از مهم‌ترین آنتی‌اکسیدان‌های مؤثر در مقابله با تنش خشکی است (تیتال و همکاران، ۲۰۲۱). ازآنجاکه آسکوربیک پراکسیداز با کمک آسکوربیک اسید باعث حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود، لذا بالاتر بودن فعالیت این آنزیم به معنی حذف بیشتر رادیکال‌های اکسیژن و درنتیجه کاهش مرگ سلولی و افزایش مقاومت به تنش است (فاروق و همکاران، ۲۰۲۰). آسکوربیک پراکسیداز، به‌دلیل فعالیت زیاد، دارای بیش‌ترین توانایی در حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که در مطالعات انجام‌شده این موضوع به‌طور آشکار مشخص شده است (آویلا و همکاران، ۲۰۲۱).

جدول ۹- تأثیر سطوح متفاوت شوری و خشکی بر فعالیت آنزیم آسکوربیک پراکسیداز (واحد در میلی‌گرم پروتئین) سورگوم

تنش شوری ($dS\ m^{-1}$)	تنش خشکی (٪ ظرفیت مزرعه)			
	۱۰۰	۸۵	۷۰	۵۵
	مرودشت			
۱/۵	۳۲۱ c	۴۱۹ b	۵۱۱ a	۵۱۷ a
۴/۵	۳۳۳ c	۴۲۳ b	۵۲۱ a	۵۲۶ a
۷/۵	۳۱۸ c	۴۴۱ b	۵۱۸ a	۵۲۲ a
۱۰/۵	۳۲۵ c	۴۱۸ b	۵۱۶ a	۵۲۱ a
	ارسنجان			
۱/۵	۲۹۸ c	۳۴۷ b	۴۵۸ a	۴۵۲ a
۴/۵	۲۸۸ c	۳۳۶ b	۴۶۶ a	۴۵۳ a
۷/۵	۲۹۱ c	۳۵۰ b	۴۷۴ a	۴۵۵ a
۱۰/۵	۲۹۳ c	۳۳۷ b	۴۶۱ a	۴۶۰ a

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که وزن خشک سورگوم در هر دو منطقه تحت تأثیر سطوح متوسط و شدید تنش‌های خشکی و شوری کاهش یافت، با این‌حال کاهش معنی‌داری در عملکرد ماده خشک سورگوم در شرایط آبیاری مطلوب و تیمار کم آبیاری به‌میزان ۸۵ درصد ظرفیت مزرعه و شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس در متر نسبت به شرایط آبیاری مطلوب با آب غیرشور مشاهده نشد؛ اما با کاهش حجم آب مصرفی در تیمار تنش متوسط خشکی (۸۵ ٪ ظرفیت مزرعه) و بیشتر از آن، میزان عملکرد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای مختلف شوری کاهش یافت. درواقع با توجه به عدم تأثیر معنی‌دار رژیم آبیاری ۸۵٪ ظرفیت مزرعه و شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس در متر، به‌نظر می‌رسد که می‌توان سورگوم را گیاهی نسبتاً متحمل (Moderate tolerant) نسبت به هر دو تنش خشکی و شوری دانست. با این وجود، این دو تنش خاصیت هم‌افزایی (Synergy) داشته و تأثیر سوء بیشتری بر کاهش عملکرد گیاه داشته است؛ بنابراین بر اساس یافته‌های این مطالعه، در شرایط استفاده از آب با شوری‌های ۷/۵ دسی‌زیمنس در متر و بالاتر برای آبیاری سورگوم، استراتژی‌های کم آبیاری توصیه نمی‌گردد.

فهرست منابع

۱. افشون ا، مقدم ح، جهانسوز م ر، صوفی زاده س و اویسی م، ۱۴۰۰. ارزیابی اثر خاک‌ورزی، تنش آبی و کود نیتروژن بر کیفیت علوفه ذرت در کرج. علوم گیاهان زراعی ایران، جلد ۵۳، شماره ۲، صفحه‌های ۲۵ تا۴۰.

۲. امام ی، ۱۳۹۰. زراعت غلات، چاپ چهارم. انتشارات دانشگاه شیراز.

۳. پیراسته انوشه ه، رنجبر غ وطباطبائی س ع، ۱۳۹۹. اثر تنش شوری بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و وزن خشک در کشت مخلوط سورگوم (*Sorghum bicolor*) وکوشیا (*Bassiaindica*). خشکبوم، جلد ۱، شماره ۱۰، صفحه‌های ۱۴ تا ۳۰.

۴. ترابی م، ۱۳۹۴. کشت سورگوم در مناطق خشک و نیمه خشک. مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی استان اصفهان.

۵. خاکسار ک و فومن ع، ۱۳۹۰. دستورالعمل تولید بذر سورگوم دانه ای. موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، کرج.

۶. راهنما ع، آبسالان ش و مکوندی م ا، ۱۳۸۷. اثر کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم سورگوم علوفه ای. مجله ی پژوهش در علوم زراعی، جلد ۱، شماره ۲، صفحه های ۱۱ تا۲۲.

۷. رنجبر غ و پیرسته انوشه ه، ۱۳۹۴. نگاهی به تحقیقات شوری در ایران؛ با تاکید بر بهبود تولید گیاهان زراعی. مجله علوم زراعی ایران. جلد ۱۷، شماره ۲، صفحه های ۱۶۵ تا ۱۷۸.

۸. کیخانی ف، گنجی ن، فرزانجو م، کیخا غ، ثقفی ک وکیخا م، ۱۳۸۹. بررسی اثر کم آبیاری بر عملکرد کمی و کارایی مصرف آب محصول سورگوم علوفه‌ای در منطقه سیستان. مجله پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۲۴، شماره ۱، صفحه‌های ۴۱ تا۴۷.

۹. فومن اجیرلو ع، مختارزاده محمدی ع، بهشتی ع، و شیری م، و راهنما ع، نادعلی ف، نورمحمدی س، حسن زاده مقدم ه. ۱۳۸۷. معرفی رقم پگاه، رقم جدید سورگوم علوفه‌ای. مجله نهال و بذر، جلد ۲۴، شماره ۲، صفحه های ۳۷۱ تا ۳۶۷.

۱۰. مبصر ص، ۱۳۹۰. دستورالعمل ملی آزمون های تمایز، یکنواختی و پایداری در سورگوم. موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، کرج. ۲۸ صفحه.

۱۱. نجفی نژاد ح، جواهری م ع، کوهی ن و شاکری پ، ۱۳۹۸. عملکرد و کیفیت علوفه و بهره وری مصرف آب کوشیا، ارزن، سورگوم و ذرت در شرایط تنش کم آبی. مجله بهزراعی نهال و بذر. جلد ۳۵، شماره ۲، صفحه های ۲۶۱ تا۲۸۳.

۱۲. هاشمی س ا، امام ی و پیراسته انوشه ه، ۱۳۹۷. پاسخ محتوای یونی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی جو به روش‌های کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط شور. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. جلد ۳۴، شماره ۲، صفحه های ۱ تا ۱۱.

۱۳. هدایتی فیروزآبادی ع، کاظمینی س ع و پیراسته انوشه ه، ۱۳۹۶. ارزیابی نسبتهای مختلف کشت مخلوط سورگوم–کوشیا در شرایط متفاوت شوری. مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۲۴، شماره ۳، صفحه های ۶۸۵ تا۶۹۸.

14. Ali TM and Hasnain A, 2014. Morphological, physicochemical, and pasting properties of modified white sorghum (*Sorghum bicolor*) starch. International Journal of Food Properties, 17(3): 523-535.

15. Avila RG, Magalhães PC, da Silva EM, de Souza KRD, Campos CN, de Alvarenga AA and de Souza TC, 2021. Application of silicon to irrigated and water deficit sorghum plants increases yield via the regulation of primary, antioxidant, and osmoregulatory metabolism. Agricultural Water Management, 255: 107004.

16. Borg H and Grimes DW, 1986. Depth development of roots with time: An empirical description. Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 29, 194-197.

17. Boursier P and Lauchli A, 1990. Growth responses and mineral nutrient relation of salt-stressed sorghum. Crop Science, 30: 1226-1233.

18. Chance B and Maehly AC, 1995. Assay of catalase and peroxidase. PP. 764-765 in: Culowic SP, Kaplan NO. (eds). Methods in enzymology. Academic Press. Inc. New York.

19. Chloupek O, Hrstkova P and Jurecka D, 2003. Tolerance of barley seed germination to salt and drought – stress expressed as seed vigor. Plant Breed. 122: 199-203.

20. Farooq A, Bukhari SA, Akram NA, Ashraf M, Wijaya L, Alyemeni MN and Ahmad P, 2020. Exogenously applied ascorbic acid-mediated changes in osmoprotection and oxidative defense system enhanced water stress tolerance in different cultivars of safflower (*Carthamus tinctorious* L.). Plants, 9(1): 104.

21. Garg N and Manchanda G, 2009. ROS Generation in plants. Plant Biology, 143: 88-96.

22. Hedayati-Firoozabadi A, Kazemeini SA, Pirasteh-Anosheh H, Ghadiri H and Pessarakli M, 2020. Forage yield and quality as affected by salt stress in different ratios of *Sorghum bicolor-Bassia indica* intercropping. Journal of Plant Nutrition, 43(17): 2579-2589.

23. Howell TA, Tolk JA, Evett SR, Copeland KS and Dusek DA, 2007. Evapotranspiration of deficit irrigated sorghum. World Environmental and Water Resources Congress. ASCE.

24. Jose R, Pardales J and Yasuhiro K, 1990. Development of sorghum root system under increasing drought stress. Japan Jour. Crop Sci. 59(4): 752-761.

25. Nakano Y and Asada K, 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology, 22*:* 867–880.
26. Pakar N, Pirasteh-Anosheh H, Emam Y and Pessarakli M, 2016. Barley growth, yield, antioxidant enzymes, and ion accumulation affected by PGRs under salinity stress conditions. Journal of Plant Nutrition, 39(10): 1372-1379.
27. Pirasteh-Anosheh H, Ranjbar G, Pakniyat H and Emam Y, 2016. Physiological mechanisms of salt stress tolerance in plants; an overview: 141-160. In: Azooz MM and Ahmad P, (Eds). Plant-environment Interaction: Responses and Approaches to Mitigate Stress. Wiley, London.
28. Ranjbar GH, Ghadiri H, Razzaghi F, Sepaskhah AR and Edalat M, 2015. Evaluation of the SALTMED model for sorghum under saline conditions in an arid region. International Journal of Plant Production, 9(3): 373-392.
29. Rawson HM, Long MJ and Munns R, 2006. Growth and development in NaCl treated plants. I: Leaf Na and Cl concentration do not determine gas exchange of leaf blades in sorghum. Australian Journal of Plant Physiology, 35: 519-527.
30. Saed-Moucheshi A, Pakniyat H, Pirasteh-Anosheh H and Azooz MM, 2014. Role of ROS as signaling molecules in plants. In Oxidative damage to plants (pp. 585-620). Academic Press.
31. Shobeiri SS, Habibi D, Kashani A, Paknejad F and Jafari A, 2015. Study of physiological traits of grass pea with barely in pure and mixed cropping under dry land and irrigated conditions. Agronomy Journal, 107: 91-98.
32. Sinaki JM, Nourmohammadiand G and Maleki H, 2004. Effect of water deficit on seedling, plantlets and compatible solutes of forage sorghum CV. Speed feed. 4th International Crop Sci. Conference. Brisbane, Aus, 26 Sep-1 Oct.
33. Soni PG, Basak N, Rai AK, Sundha P, Narjary B, Kumar P and Yadav RK, 2021. Deficit saline water irrigation under reduced tillage and residue mulch improves soil health in sorghum-wheat cropping system in semi-arid region. Scientific reports, 11: 1-13.
34. Sumi A, 1989. Some relationship between plant growth and soil moisture variations. Kagoshima University, Japan 25: 39-51.
35. Taiz L, Zeiger E, Moller IM and Murphy, A2015. Plant Physiology and Development. Sinauer Associates, Incorporated.
36. Tittal M, Mir RA, Jatav KS and Agarwal RM, 2021. Supplementation of potassium alleviates water stress-induced changes in Sorghum bicolor L. Physiologia Plantarum, 172(2): 1149-1161.
37. Troll W and Lindley J, 1955. A photometry method for the determination of Proline. J. Biol. Chem. 215: 655-660.
38. Zhang C, Li X, Kang Y and Wahba MA, 2021. Leaching efficiency and plant growth response in an integrated use of saline water for coastal saline soil reclamation. Land Degradation & Development, 32(16): 4595-4608.

برآورد جداگانه اجزای تبخیر و تعرق ذرت با استفاده از مدل‌های تجربی در شرایط تنش آبی

رضا سعیدی[۱]

دکترای آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران.
saeidi@org.ikiu.ac.ir

دریافت: بهمن ۱۴۰۰ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۱

چکیده

در برنامه‌ریزی آبیاری، اجزاءِ تبخیر- تعرق شامل نیاز آبی واقعی گیاه (تعرق) و تلفات آب (تبخیر) نقش دارند. در این پژوهش، برای مدیریت کم‌آبیاری، مقادیر اجزاءِ تبخیر- تعرق ذرت در شرایط تنش آبی شبیه‌سازی شد. تنش آبی از طریق کاهش آب خاک نسبت به حد آب سهل‌الوصول اعمال شد. تیمارها شامل تخلیه مجاز آب خاک در چهار سطح ۴۰٪ (I_0)، ۵۵٪ (I_1)، ۷۰٪ (I_2) و ۸۵٪ (I_3) از کل آب قابل استفاده خاک بود. مقادیر تبخیر- تعرق ذرت و اجزاءِ آن (مقدار تبخیر و مقدار تعرق به‌طور جداگانه)، در بستر کشت مینی‌لایسیمتر اندازه‌گیری شد. جمع مقادیر تبخیر- تعرق، جزء تعرق و جزء تبخیر (در کل دوره رشد ذرت) به‌ترتیب برابر با ۴۴۳، ۳۱۹ و ۱۲۴ میلی‌متر (I_0)، ۴۰۱، ۲۸۲ و ۱۱۹ میلی‌متر (I_1)، ۳۰۳، ۲۱۱ و ۹۲ میلی‌متر (I_2) و ۲۰۱، ۱۲۷ و ۷۴ میلی‌متر (I_3) بود. کمبود آب خاک باعث کاهش مقدار تبخیر- تعرق و اجزاءِ آن نسبت به حالت رایج در منطقه (تیمار I_0) شد. کاهش تلفات تبخیر از نکات مطلوب در این شیوه کم‌آبیاری (دور آبیاری بلند) بود. برای شبیه‌سازی مقادیر تعرق و تبخیر، از داده‌های تبخیر- تعرق (در تیمار I_0)، ضرایب تنش تبخیر- تعرق (K_s) و حساسیت مرحله رشد گیاه (K_{pi}) و کاربرد توابع خطی، نمایی، لگاریتمی، درجه دوم و توانی، به‌عنوان مدل‌های رگرسیونی استفاده شد. با استفاده از داده‌های واقعی، ضرایب مجهول در توابع توسط نرم‌افزار SPSS برآورد شد و مدل‌های رگرسیونی ایجاد شد. آماره‌های ارزیابی مدل‌ها نشان دادند که تابع خطی با ضریب تبیین (R^2) ۰/۹۱ و تابع درجه دوم با ضریب تبیین (R^2) ۰/۸۷۴، به‌ترتیب، مدل‌های بهینه برای برآورد مقدار تعرق و تبخیر در شرایط تنش آبی بوده‌اند. از طریق برآورد جداگانه اجزاءِ تبخیر- تعرق ذرت، می‌توان نیاز آبی واقعی گیاه و تلفات تبخیر را دقیق‌تر برآورد کرد. در این‌صورت معیار مناسبی برای برنامه‌ریزی آبیاری و محاسبه راندمان مصرف آب در دست خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: تلفات تبخیر، حساسیت مرحله رشد، ضریب تنش، مدل‌سازی رگرسیونی

---

[۱] – آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران.

مقدمه

بحران کمبود منابع آب باکیفیت در بخش کشاورزی، تلاش پژوهش‌گران و برنامه‌ریزان آبیاری را به سَمت مدیریت مصرف آب بر اساس نیاز آبی واقعی گیاه معطوف می‌نماید. آنچه به‌عنوان نیاز خالص آبی گیاه در نظر گرفته می‌شود، پارامتر تبخیر- تعرق گیاه[۲] (ET) است که بر اساس شرایط استاندارد (بدون تنش) و یا غیراستاندارد (تنش‌زا) محیط تحت کشت، مقدار آن می‌تواند متفاوت باشد. پارامتر تبخیر- تعرق شامل دو جزء تبخیر از سطح خاک[۳] (E) و تعرق گیاه[۴] (T) است که تعرق به‌عنوان جزء مطلوب و تبخیر به‌عنوان جزء نامطلوب محسوب می‌شود (آلِن و همکاران، ۱۹۹۸). از این‌رو تعیین نیاز آبی گیاه منطبق بر مقدار واقعی تعرق و حتی‌الامکان حذف جزء نامطلوب تبخیر از سطح خاک، می‌تواند باعث صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش راندمان کاربرد آب شود. در میان گیاهان زراعی، ذرت، گیاهی است که به‌صورت آبی تحت کشت می‌رود و از لحاظ نقش استراتژیک آن در تولید غذای انسان و دام، می‌تواند در پژوهش‌های مرتبط با برنامه‌ریزی آبیاری مورد مطالعه قرار بگیرد (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۹). در بین تنش‌های محیطی، تنش آبی در قالب کم‌آبیاری گیاه و به‌منظور مدیریت بهره‌وری مصرف آب اِعمال می‌شود. در این‌باره تحقیقی تحت سه رژیم آبیاری شامل ۱۰۰ (I_1)، ۷۵ (I_2) و ۵۰ (I_3) درصد نیاز آبی گیاه، بر روی ذرت انجام شد (عزیزیان و سپاسخواه، ۲۰۱۴). نتایج نشان داد که مقدار بهره‌وری مصرف آب در تولید زیست‌توده خشک ذرت به‌ترتیب ۲/۱۵، ۲/۳۲ و ۲/۴۸ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شد؛ یعنی با کاهش مصرف آب در آبیاری، مقدار بهره‌وری مصرف آب افزایش داشته است.

در پژوهش دیگر گزارش شد که تنش آبی باعث می‌شود که هورمون آبسایزیک اسید وارد اندام‌های هوایی گیاه شده و به‌صورت یک سیستم هشداردهنده اولیه عمل می‌نماید. در این شرایط گیاه با بستن روزنه‌های خود، اقدام به کاهش تعرق، حفظ رطوبت و جلوگیری از اتلاف آب می‌کند (ماهرخ و همکاران، ۱۳۹۸)؛ بنابراین واکنش گیاه به اِعمال تنش آبی، کاستن از مقدار تعرق خود است. به‌طوری‌که در منطقه تایوان جنوبی، مقدار تبخیر- تعرق ذرت تحت سطوح آبیاری ۱۰۰، ۸۳، ۶۷، ۵۰ و ۳۳ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب ۶۰۵، ۵۲۶، ۴۵۵، ۳۸۳ و ۳۳۱ میلی‌متر برآورد شد (گریوز و وانگ، ۲۰۱۷). در پژوهشی در ترکیه، مقدار تبخیر- تعرق ذرت تحت سطوح آبیاری ۱۰۰، ۷۰ و ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه، اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد در اثر اعمال تنش آبی، مقدار تبخیر- تعرق ذرت (در کل دوره رشد) کاهش یافت و در سطوح آبیاری مذکور به‌ترتیب ۷۳۸، ۵۸۳ و ۳۹۰ میلی‌متر برآورد شد (اوچاک و همکاران، ۲۰۱۶). در پژوهش‌های مذکور تأثیر تنش آبی بر تبخیر- تعرق گیاه ذرت، به‌صورت کاهش مقدار تبخیر- تعرق در کل دوره رشد گزارش شد؛ اما با توجه به این‌که نشریه فائو-۵۶ دوره رشد گیاهان زراعی را به چهار مرحله متمایز[۵] اولیه،[۶] توسعه،[۷] میانی و[۸] پایانی رشد تقسیم کرده است (آلِن و همکاران، ۱۹۹۸)، امکان تفاوت حساسیت گیاه به تنش آبی در مراحل مختلف رشد وجود دارد. مرحله اولیه رشد گیاه از تاریخ کاشت بذر شروع شده و تا زمانی که پوشش گیاهی حدود ۱۰ درصد از سطح زمین را بپوشاند، ادامه می‌یابد. مرحله توسعه گیاه از ادامه مرحله قبل آغاز شده و تا زمان رسیدن به سطح سایه‌اندازی کامل گیاه ادامه دارد. مرحله میانی رشد از زمان برقراری پوشش کامل گیاه (که مصادف با آغاز گل‌دهی است) شروع شده و تا ابتدای رسیدن بیولوژیک محصول ادامه دارد. در این مرحله، ضریب گیاهی تبخیر- تعرق (K_c) به بیشترین مقدار خود می‌رسد. مرحله پایانی رشد از رسیدگی بیولوژیک محصول آغاز شده و تا خشک شدن طبیعی برگ‌های گیاه (پلاسیدگی کامل) و ریزش آن‌ها ادامه می‌یابد (آلِن و همکاران، ۱۹۹۸).

[2] Evapotranspiration, ET
[3] Evaporation, E
[4] Transpiration, T
[5] Initial stage
[6] Development stage
[7] Middle stage
[8] Late stage

از این‌رو در پژوهشی در منطقه قزوین، میزان حساسیت مراحل مختلف رشد ذرت به تنش آبی، بررسی شد. به این صورت که یک حد ثابت تنش آبی، در مراحل رشد چهار برگی، ۱۲ برگی، گل‌دهی و خمیری شدن دانه‌ها بر ذرت اِعمال شد. مقدار کل تبخیر- تعرق در تیمارهای شاهد، چهار برگی، ۱۲ برگی، گل‌دهی و خمیری شدن دانه‌ها به‌ترتیب ۴۶۲، ۴۰۱، ۳۲۲/۵، ۳۰۴/۵ و ۳۵۵ میلی‌متر برآورد شد. نتایج نشان داد که با اِعمال یک‌بار تنش آبی (به‌صورت جداگانه) در مراحل مختلف رشد، مقدار تبخیر- تعرق ذرت نسبت به تیمار شاهد، به میزان برابر کاهش نیافته است. به‌طوری که بیش‌ترین تا کم‌ترین مقدار تبخیر- تعرق مربوط به اعمال تنش کم‌آبی در مراحل رشد چهار برگی، خمیری شدن دانه‌ها، ۱۲ برگی و گل‌دهی بود. درنتیجه حساسیت تبخیر- تعرق ذرت به تنش آبی، در مراحل مختلف رشد یکسان نبوده است (سعیدی و ستوده‌نیا، ۱۴۰۰). در پژوهشی در شهرستان شاهرود تنش آبی با حذف یک مرحله آبیاری، در مراحل رشد رویشی، گل‌دهی و دانه‌بندی ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ اجرا شد. نتایج نشان داد اعمال تنش آبی در مرحله گل‌دهی نسبت به مرحله رشد رویشی، تأثیر بیشتری بر کاهش عملکرد محصول داشت. علت این بود که در مرحله گل‌دهی، علاوه بر ورود گیاه به مرحله زایشی که امکان رشد مجدد و افزایش ارتفاع نبود، گیاه با افزایش دما نیز روبه‌رو شده بود (محمدی بهمدی و آرمین، ۱۳۹۶).

از سوی دیگر پژوهش‌هایی برای مدل‌سازی مقدار تبخیر- تعرق ذرت در منطقه مورد مطالعه انجام شده است. به‌عنوان نمونه، مقدار تبخیر- تعرق ذرت تابستانه در شرایط آبیاری قطره‌ای، در کشور چین مدل‌سازی شد. بر اساس روش موازنه آب خاک و در سطوح آبیاری شامل ۱۲۰، ۱۰۰ و ۸۰ درصد تبخیر- تعرق گیاه، مقدار تبخیر- تعرق ذرت نسبت به شرایط وجود و عدم وجود خاک‌پوش (مالچ) مدل‌سازی شد. در شرایط کاربرد خاک‌پوش رابطه خطی با معادله $ET_p=0.9ET_M+3.23$ و در شرایط بدون خاک‌پوش رابطه $ET_p=0.86ET_M+4.82$ بین مقدار تبخیر- تعرق پیش‌بینی شده (ET_p) و اندازه‌گیری شده (ET_M) برازش داده شد (لی و ما، ۲۰۱۹). در منطقه قزوین، تیمارهای شوری آب آبیاری (EC_w) شامل مقادیر ۰/۵، ۲/۱، ۳/۵ و ۵/۷ دسی‌زیمنس در متر و حاصلخیزی خاک (F) شامل مصرف ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد کود نیتروژن (بر اساس نیاز کودی گیاه)، بر روی گیاه ذرت مطالعه شد. نتایج نشان داد مدل رگرسیونی درجه دوم با معادله $ET=326.7+16.3F^2-3.53EC_w^2+5.37F.EC_w$ و ضریب تبیین ۰/۹۷۸، بهترین مدل برای برآورد مقدار تبخیر- تعرق ذرت (بر واحد میلی‌متر) در شرایط وجود تنش‌های شوری و حاصلخیزی بود (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۷).

تحقیقی در برزیل، تحت تیمارهای شوری آب آبیاری شامل مقادیر ۰/۵، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس در متر، بر روی مقدار تبخیر- تعرق گیاه ذرت انجام شد. نتایج نشان داد رابطه خطی $ET= -0.717\ EC+15.07$ با ضریب تبیین (R^2) ۰/۷۶ بین مقدار تبخیر- تعرق ذرت (بر واحد لیتر بر گیاه) و سطح شوری آب ارائه شد (لاکردا و همکاران، ۲۰۱۶). در پژوهش دیگر از مدل‌های ساده رگرسیونی برای برآورد مقدار تبخیر- تعرق واقعی گندم در مناطق خشک مصر استفاده شد. دو تیمار شامل سطوح آبیاری بر اساس مقدار تبخیر- تعرق محاسباتی گیاه (A) و آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک نسبت به حد ظرفیت مزرعه (B) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد در تیمارهای A و B به‌ترتیب دو رابطه نمایی با معادله $ET_a=0.131(GDD)^{1.1405}$ و $ET_a=0.1201(GDD)^{1.1203}$ بین مقادیر تجمعی تبخیر- تعرق واقعی (ET_a) و درجه-روز-رشد (GDD) برازش داده شد (سالاما و همکاران، ۲۰۱۵). آگاهی از مقدار اجزاءِ تبخیر و تعرق در مراحل رشد گیاه و شرایط مختلف محیطی (مانند مدیریت کم‌آبیاری)، می‌تواند برنامه‌ریزی دقیق‌تری را برای تعیین نیاز آبی واقعی گیاه و کنترل تلفات تبخیر ایجاد کند. در این خصوص و در کشور چین، اجزاءِ تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاه ذرت با استفاده از روش میکرولایسیمتری در سیستم آبیاری جویچه‌ای برآورد شد.

نتایج نشان داد در کل دوره رشد، ۳۰ تا ۴۰ درصد از مقدار کل تبخیر- تعرق گیاه ذرت به جزء تبخیر از سطح خاک و مابقی به جزء تعرق گیاه اختصاص یافت (فریرا و همکاران، ۲۰۱۲).

جمع‌بندی پژوهش‌های گذشته این بود که امکان استفاده گسترده از مدل‌های رگرسیونی، برای مدل‌سازی مقدار تبخیر- تعرق گیاه بر اساس پارامترهای مختلف محیطی و مدیریتی وجود دارد؛ اما آنچه که در پژوهش حاضر دارای اهمیت بوده و آن را نسبت به تحقیقات گذشته متمایز می‌سازد، تفکیک اجزاءِ تبخیر- تعرق ذرت و برآورد آن‌ها از طریق پارامترهای قابل اندازه‌گیری در منطقه است. از این‌رو هدف از انجام پژوهش، برآورد جداگانه مقادیر تبخیر و تعرق ذرت با استفاده از مدل‌های تجربی (رگرسیونی)، در شرایط تنش آبی و در منطقه قزوین است. با مدل‌سازی جداگانه اجزاءِ تبخیر و تعرق ذرت در شرایط تنش‌زای محیطی، می‌توان نگاه واقع‌بینانه‌تری نسبت به نیاز آبی گیاه، تلفات تبخیر از سطح خاک و راندمان آب کاربردی در آبیاری داشت. همچنین می‌توان نیاز آبی گیاه را بر اساس مقدار تعرق واقعی گیاه تعیین نمود و از مصرف بیش از اندازه آب جلوگیری کرد.

مواد و روش‌ها

کلیات پژوهش

در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) پژوهشی بر روی گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴، انجام شد. هدف از انجام پژوهش، مدل‌سازی مقدار اجزاءِ جداگانه تبخیر و تعرق ذرت در شرایط اِعمال تنش آبی (مدیریت کم‌آبیاری) بود. محل انجام پژوهش واقع در شهر قزوین و در موقعیت جغرافیایی با عرض شمالی "۲۳ '۱۹ °۳۶ و طول شرقی "۳۸ '۰۰ °۵۰ بود. برای بستر کشت، از مینی‌لایسیمترهای استوانه‌ای شکل با قطر ۴۰ و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر (شکل ۱) استفاده شد تا کار برآورد اجزاءِ تبخیر و تعرق ذرت (به صورت جدا از هم) امکان‌پذیر شود. در پژوهش‌های گذشته نیز از مینی‌لایسیمترهایی با ابعاد مذکور برای کشت ذرت استفاده شده است (دهقانی سانیج و همکاران، ۱۳۹۶). خاک بستر کشت از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره) تأمین شد و مشخصات آن در جدول (۱) ارائه شد. مقدار چگالی ظاهری خاک آماده کشت (شخم‌خورده) در شرایط طبیعی مزرعه، برابر با ۱/۳۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب اندازه‌گیری شد. از این‌رو با توجه به حجم هر مینی‌لایسیمتر، وزن مشخصی از خاک برای رسیدن به چگالی (تراکم) مذکور، در آن‌ها ریخته شد و به‌طور یکنواخت متراکم شد. سپس از طریق غرقاب نمودن مینی‌لایسیمترها، از بروز هرگونه نشست احتمالی خاک در دوره رشد گیاه جلوگیری شد. روش کاشت بذور به این صورت بود که در داخل هر مینی‌لایسیمتر تعداد سه بذر به‌صورت دستی و با فواصل یکسان از هم کاشته شد (دهقانی سانیج و همکاران، ۱۳۹۶؛ سعیدی، b ۱۴۰۰). پس از جوانه‌زنی بذور و خارج شدن گیاهان از خاک، تعداد بوته‌ها در مینی‌لایسیمترها با توجه به رعایت تراکم تعداد ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار برای ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ (سعیدی و همکاران، ۲۰۲۱) تعیین شد. به این صورت که بر اساس مساحت سطح خاک در مینی‌لایسیمترها، فقط یک بوته در وسط سطح هر مینی‌لایسیمتر باقی ماند و بوته اضافی از سطح خاک قطع شد. در نشریه فائو-۵۶ چهار مرحله اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد ذرت علوفه‌ای در یک دوره ۱۴۰ روزه، به‌ترتیب برابر با ۲۵، ۴۰، ۴۵ و ۳۰ روز در نظر گرفته شده است (آلِن و همکاران، ۱۹۹۸). در پژوهش حاضر نیز از زمان کاشت بذور تا هنگام برداشت علوفه‌ای محصول ذرت، فاصله زمانی ۱۴۰ روز طی شد و بازه زمانی مراحل رشد ذرت، مطابق با گزارش فائو- ۵۶ منطبق شد. البته ویژگی‌های مراحل مختلف رشد گیاه (بر اساس گزارش فائو-۵۶) در پژوهش حاضر نیز، در کنترل بازه زمانی مراحل رشد نقش مهمی داشت. با توجه به این‌که در دوره رشد گیاه بارندگی مؤثری اتفاق نیفتاد، نیاز آبی گیاهان صرفاً از طریق انجام آبیاری تأمین شد. آبیاری مینی‌لایسیمترها به‌صورت سطحی و با استفاده از آب چاه با هدایت الکتریکی ۰/۵ دسی‌زیمنس در متر و اسیدیته ۷/۱ انجام شد. سایر ویژگی‌های آب آبیاری در جدول (۲) نشان

داده شد. به‌طور کلی، آزمایش به‌صورت طرح پایه کاملاً تصادفی اجرا شد و تیمارهای آبیاری بر اساس حد تخلیه مجاز رطوبتی خاک در چهار سطح (I_0) ۴۰، (I_1) ۵۵، (I_2) ۷۰ و (I_3) ۸۵ درصد کل آب قابل استفاده خاک (TAW)[۹] تعریف شد. به‌طوری که پس از تخلیه آب خاک در سطوح مذکور، عملیات آبیاری برای رسیدن رطوبت خاک به حد ظرفیت مزرعه (FC)[۱۰] انجام شد. علت مقادیر انتخاب شده این بود که در نشریه فائو-۵۶ متوسط ضریب تخلیه مجاز رطوبتی خاک در کل دوره رشد ذرت برابر با ۰/۵۵ گزارش شد (آلِن و همکاران، ۱۹۹۸). از سوی دیگر در پژوهشی در منطقه قزوین، ضریب مذکور در حساس‌ترین مرحله رشد ذرت برابر با ۰/۴ در نظر گرفته شد (سعیدی، a ۱۴۰۰). از این‌رو اطمینان حاصل شد که در تیمار I_0 (تیمار شاهد)، حتی در مراحل حساس رشد ذرت نیز، تنش آبی بر گیاه وارد نشده است. مقدار TAW بر اساس اختلاف رطوبت خاک بین دو حد ظرفیت مزرعه (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP[۱۱]) محاسبه شد. درصد رطوبت وزنی خاک در حد FC و PWP با استفاده از دستگاه صفحات فشاری (به‌ترتیب تحت فشارهای مکشی یک‌سوم و ۱۵ اتمسفر) و خشک کردن خاک در گرم‌خانه، محاسبه و در جدول (۱) ارائه شد (سعیدی، b ۱۴۰۰). داده‌های اصلی در این پژوهش شامل مقادیر تبخیر-تعرق، تعرق گیاه و تبخیر از سطح خاک بود که به‌صورت روزانه اندازه‌گیری شد.

شکل ۱- تصویری از مینی‌لایسیمتر استفاده شده در پژوهش حاضر

جدول ۱- مشخصات خاک مینی‌لایسیمتر

پارامتر	واحد	مقدار
هدایت الکتریکی عصاره اشباع	$dS.m^{-1}$	۰/۴۸
اسیدیته (pH)	-	۷/۱
بافت خاک	-	لوم شنی
رطوبت وزنی حد ظرفیت مزرعه	%	۲۴
رطوبت وزنی حد پژمردگی	%	۱۰/۳
چگالی ظاهری	$g.cm^{-3}$	۱/۳۶

جدول ۲- ویژگی‌های آب مورد استفاده برای آبیاری

هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	سدیم ($meq.L^{-1}$)	منیزیم ($meq.L^{-1}$)	کلسیم ($meq.L^{-1}$)	پتاسیم ($meq.L^{-1}$)	سولفات ($meq.L^{-1}$)	بی‌کربنات ($meq.L^{-1}$)	کربنات ($meq.L^{-1}$)	کلر ($meq.L^{-1}$)
۰/۵	۲/۳۶	۰/۸۸	۱/۳۵	۰/۲	۱/۴۲	۱/۱۲	۰/۴۱	۱/۷۴

اندازه‌گیری تبخیر- تعرق و اجزاءِ آن

برآورد تبخیر- تعرق گیاه در فاصله بین دو آبیاری، از طریق پایش مقدار رطوبت خاک در اعماق ۰-۱۵، ۱۵-۳۰، ۳۰-۴۵ و ۴۵-۶۰ سانتی‌متری هر مینی‌لایسیمتر انجام شد. روش کار به این صورت بود که مقدار رطوبت روزانه خاک توسط دستگاه رطوبت‌سنج ساخت شرکت دِلتا تی (ΔT)، در مرکز سطح هر مینی‌لایسیمتر و در اعماق مذکور اندازه‌گیری شد. در طی دوره حیات گیاه و با توجه به عمق توسعه ریشه آن، مجموع مقادیر کاهش رطوبت خاک در چهار لایه خاک به‌عنوان

[9]- Total available water, TAW
[10]- Field capacity, FC
[11]- Permanent wilting point, PWP

تبخیر- تعرق گیاه در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که در خاک مینی‌لایسیمترها هیچ‌گونه دَرز و تَرَکی وجود نداشت و به‌دلیل انجام آبیاری تا حد FC، زه‌آب خروجی از مینی‌لایسیمترها نیز وجود نداشت؛ بنابراین اطمینان حاصل شد که رَوَند کاهشی مقدار رطوبت خاک (در منطقه ریشه) در روزهای پس از آبیاری، صرفاً متأثر از فرآیند تبخیر- تعرق گیاهان بوده است. قبل از شروع آزمایش، اعداد ثبت‌شده توسط دستگاه مذکور نسبت به مقادیر واقعی رطوبت خاک واسنجی شد. به این صورت که در یک نمودار، داده‌های واقعی رطوبت خاک در محور عمودی و داده‌های ثبت‌شده توسط دستگاه در محور افقی قرار داده شد و منحنی واسنجی (با معادله مشخص) برای تبدیل داده‌های دستگاه به داده‌های واقعی رطوبت تهیه شد. در این شرایط از طریق پایش روزانه رطوبت خاک و محاسبه بیلان آب در فاصله بین دو آبیاری، امکان برآورد مقدار روزانه تبخیر- تعرق گیاه توسط رابطه (۱) فراهم شد. لازم به ذکر است که ابتدا مقدار تبخیر-تعرق در هر لایه ۱۵ سانتی‌متری خاک محاسبه شد و سپس مجموع مقادیر تبخیر- تعرق در چهار لایه مینی‌لایسیمتر، به‌عنوان مقدار تبخیر- تعرق روزانه در نظر گرفته شد.

$$(\mathrm{ET_c})_i = \sum_{j=1}^{j=4}\left[\frac{(\theta_{i-1}-\theta_i)}{100}\times \rho b \times D_j\right] \quad (۱)$$

$(\mathrm{ET_c})_i$: تبخیر- تعرق روزانه گیاه (سانتی‌متر)، θ: مقدار رطوبت وزنی خاک (درصد)، i: شمارنده روزهای بین دو آبیاری، $(\theta_{i-1}-\theta_i)$: اختلاف رطوبت روزانه خاک (درصد)، ρb: چگالی ظاهری خاک (گرم در سانتی‌متر مکعب)، D: عمق لایه خاک در مینی‌لایسیمتر (سانتی‌متر)، j: شمارنده لایه‌های خاک در مینی‌لایسیمتر که تعداد چهار لایه ۱۵ سانتی‌متری در نظر گرفته شده بود. از سوی دیگر با هدف برآورد جداگانه مقادیر اجزاءِ تبخیر و تعرق ذرت، همه تیمارها در دو سِری مینی‌لایسیمتر و دارای شرایط کاملاً یکسان اجرا شد. در سری اول، سطح خاک مینی‌لایسیمتر بدون پوشش و در حالت طبیعی قرار داشت. از این‌رو تغییرات روزانه رطوبت خاک در بین دو آبیاری، نشان‌دهنده مجموع مقادیر تبخیر و تعرق گیاهان بود؛ اما در سری دوم و پس از جوانه‌زنی بذور، برای حذف اثر تبخیر و برآورد جزءِ تعرق گیاه، از مالچ پلاستیکی با رنگ روشن و به شکل ورقه‌های نازک بر روی سطح خاک استفاده شد. برای جلوگیری از جذب گرمای تابشی خورشید توسط مالچ و انتقال آن به خاک، مالچ با فاصله‌ی پنج سانتی‌متری از سطح خاک قرار داده شد. لذا تهویه‌ی مناسب در سطح خاک امکان‌پذیر شد و از تشکیل قطره‌های آب در زیر مالچ و تأثیر آن بر مقدار رطوبت خاک جلوگیری شد (سعیدی، ۱۴۰۰ b). همچنین مینی‌لایسیمترها در داخل یک ترانشه به‌گونه‌ای قرار داده شدند تا سطح خاک در مینی‌لایسیمترها با زمین اطراف آن هم‌سطح باشند. با این کار از اثر مستقیم نور خورشید بر سطوح جانبی مینی‌لایسیمترها و احتمال تعرق در سطوح متصل به خاک جلوگیری شد؛ بنابراین تغییرات روزانه رطوبت خاک در سِری دوم مینی‌لایسیمترها فقط مربوط به تعرق گیاه بود و اختلاف آن با داده‌های سری اول، نشان‌دهنده مقدار تبخیر روزانه از سطح خاک بود. به‌طور کلی تعداد ۲۴ مینی‌لایسیمتر (برای اجرای چهار تیمار در سه تکرار و دو سِری مینی‌لایسیمتر) در نظر گرفته شد.

تعیین زمان و حجم آب آبیاری

زمان انجام آبیاری بر اساس حد تخلیه مجاز آب در تیمارها تعریف شده بود. به این صورت که در تیمارهای I_0، I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب پس از تخلیه ۴۰، ۵۵، ۷۰ و ۸۵ درصد از کل آب قابل استفاده در خاک (در عمق توسعه ریشه)، عملیات آبیاری انجام شد. لازم به ذکر است که برای تشخیص عمق توسعه ریشه، برای هر تیمار و مراحل مختلف رشد گیاه مینی‌لایسیمترهای جداگانه‌ای در نظر گرفته شد و با خارج کردن ریشه گیاه، عمق آن اندازه‌گیری شد. هدف مورد نظر برای محاسبه حجم آب آبیاری، جبران کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت مزرعه (FC) بود. ازاین‌رو با توجه به مقدار کمبود رطوبت خاک $(\theta_{FC}-\theta_i)$، چگالی ظاهری خاک، عمق ریشه و مساحت سطح خاک در مینی‌لایسیمتر، حجم آب آبیاری بر اساس رابطه (۲) تعیین شد. در این شرایط آب اضافی برای تبدیل به زه‌آب و

خروج از انتهای مینی‌لایسیمترها وجود نداشت و راندمان آبیاری ۱۰۰ درصد بود. در پژوهش حاضر، مسئله تجمع تدریجی املاح حاصل از آب آبیاری در خاک نیز رَصَد شد. به‌طوری که در پایان فصل رشد و پس از برداشت محصول، میزان شوری همه لایه‌های خاک اندازه‌گیری شد. به‌علت کیفیت مطلوب آب، حتی در تیمار دارای بیشترین مقدار آبیاری، شوری عصاره اشباع خاک به‌میزان ۱/۳ دسی‌زیمنس در متر بود. با توجه به این‌که در نشریه فائو–۵۶ آستانه تحمل شوری عصاره اشباع خاک برای گیاه ذرت علوفه‌ای مقدار ۱/۸ دسی‌زیمنس در متر گزارش شد، از این‌رو اطمینان حاصل شد که از نظر میزان شوری خاک، هیچ تنش شوری بر گیاه اعمال نشده است.

$$V=\frac{(\theta_{FC}-\theta_i)}{100}\times \rho b\times D\times A \qquad (۲)$$

V: حجم آب آبیاری (مترمکعب)، θ_{FC}: رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت مزرعه (درصد)، θ_i: رطوبت وزنی خاک قبل از انجام آبیاری (درصد)، ρb: چگالی ظاهری خاک (گرم در سانتی‌متر مکعب) ، D: عمق توسعه ریشه (متر) و A: مساحت سطح خاک (مترمربع).

معادلات کاربردی

در این پژوهش از رابطه (۳) برای مدل‌سازی اجزاءِ تبخیر- تعرق ذرت در شرایط تنش آبی استفاده شد. به این صورت که پارامترهای تعرق (T) و تبخیر (E) به‌عنوان متغیر وابسته و پارامترهای تبخیر- تعرق در تیمار I_0 (ET_c)، ضریب تنش تبخیر- تعرق (K_s) و ضریب حساسیت مرحله رشد گیاه (K_{pi}) به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد. به‌بیان دیگر پارامترهای تبخیر و تعرق گیاه به‌صورت مُجَزا، وابسته به مقدار تبخیر–تعرق، ضرایب تنش و حساسیت مرحله رشد گیاه بوده است. پارامتر A_0 نیز نشان‌دهنده اثر سایر عوامل مؤثر بر مقادیر مدل‌سازی شده تعرق و تبخیر بود که به‌عنوان بردار ثابت در نظر گرفته شد. برای انجام مدل‌سازی، از توابع رگرسیونی ارائه‌شده در نرم‌افزار اِکسل به‌عنوان توابع تولید پارامترهای تعرق و تبخیر استفاده شد. توابع مذکور شامل فرم‌های خطی، نمایی، لگاریتمی، درجه دوم و توانی بود که بین متغیرهای مستقل و وابسته برازش داده شد. برای این کار نرم‌افزار SPSS به کار گرفته شد و برای واسنجی توابع مذکور و تولید ضرایب آن‌ها، از مقادیر واقعی تبخیر–تعرق، تعرق و تبخیر استفاده شد. برای در نظر گرفتن اثر سطوح مختلف تنش آبی در فرایند مدل‌سازی، از رابطه ارائه‌شده در نشریه فائو–۵۶ (رابطه ۴) برای محاسبه ضریب K_s استفاده شد.

$$E \text{ و } T=f(ET_c, K_s, K_{pi}, A_0) \qquad (۳)$$

$$K_s=\frac{TAW-D_r}{TAW-RAW}$$ (آلِن و همکاران، ۱۹۹۸) (۴)

در رابطه (۴)، TAW: کل آب قابل استفاده خاک (بین دو حد FC و PWP) در عمق توسعه ریشه گیاه (سانتی‌متر)، D_r: مقدار تخلیه آب خاک در عمق توسعه ریشه گیاه (سانتی‌متر) و RAW[۱۲]: مقدار تخلیه آبی که گیاه بدون تنش آبی از خاک جذب می‌کند (سانتی‌متر). لازم به ذکر است که اگر مقدار رطوبت وزنی خاک برای پارامترهای TAW، RAW و D_r، در چگالی ظاهری خاک (گرم در سانتی‌متر مکعب) و عمق توسعه ریشه گیاه (سانتی‌متر) ضرب شوند، حاصل آن مقدار ارتفاع آب خاک بر واحد سانتی‌متر است. در این صورت با قرار دادن مقادیر پارامترهای مذکور در رابطه (۴)، مقدار ضریب K_s محاسبه می‌شود. در تیمار I_0، مقدار D_r و RAW با هم برابر بود و مقدار ضریب K_s مساوی عدد یک شد؛ اما در سایر تیمارها (تحت تنش آبی) مقدار D_r بیشتر از RAW تعریف شده است. از این‌رو بر اساس مقدار ۴۰ درصد برای RAW و مقادیر ۵۵، ۷۰ و ۸۵ درصد برای D_r در تیمارهای I_1، I_2 و I_3، به‌ترتیب مقدار ضریب K_s در تیمارهای مذکور برابر با ۰/۷۵، ۰/۵ و ۰/۲۵ محاسبه شد.

برای شبیه‌سازی مقدار تعرق، روابط (۵) الی (۹) و برای شبیه‌سازی مقدار تبخیر، روابط (۱۰) الی (۱۴) که به‌ترتیب نشان‌دهنده توابع خطی، نمایی، لگاریتمی، درجه دوم و توانی بود، مورد استفاده قرار گرفت. در نرم‌افزار SPSS، ضرایب مجهول A_0، A_1، A_2 و K_{pi} برای توابع

[12] - Readily available water, RAW

مذکور برآورد شد. به این صورت که مقادیر ضرایب A_0، A_1، A_2 در کل دوره رشد به‌طور ثابت و مقدار K_p برای هر کدام از مراحل رشد (چهار مرحله رشد) به‌طور مُجَزا برآورد شد. درنتیجه اثر حساسیت مرحله رشد گیاه در قالب ضریب K_p در نظر گرفته شد. به این ترتیب با استفاده از مدل‌های تجربی تولید شده و داشتن مقادیر واقعی تبخیر- تعرق و ضریب K_s، امکان برآورد مقادیر تعرق گیاه و تبخیر از سطح خاک فراهم شد.

$$T= K_{pi}.\ (A_0 + A_1.\ (K_s.\ ET_c)) \quad (۵)$$

$$T= K_{pi}.\ A_0.\ e^{A_1.(Ks.ETc)} \quad (۶)$$

$$T= K_{pi}.\ (A_0+ A_1.\ \ln\ (K_s.\ ET_c)) \quad (۷)$$

$$T= K_{pi}.\ (A_0+ A_1.\ (K_s.\ ET_c) + A_2.\ (K_s.\ ET_c)^2) \quad (۸)$$

$$T= K_{pi}.\ A_0.\ (K_s.\ ET_c)^{A1} \quad (۹)$$

$$E= K_{pi}.\ (A_0 + A_1.\ (K_s.\ ET_c)) \quad (۱۰)$$

$$E= K_{pi}.\ A_0.\ e^{A_1.(Ks.ETc)} \quad (۱۱)$$

$$E= K_{pi}.\ (A_0+ A_1.\ \ln\ (K_s.\ ET_c)) \quad (۱۲)$$

$$E= K_{pi}.\ (A_0+ A_1.\ (K_s.\ ET_c) + A_2.\ (K_s.\ ET_c)^2) \quad (۱۳)$$

$$E= K_{pi}.\ A_0.\ (K_s.\ ET_c)^{A1} \quad (۱۴)$$

ارزیابی مدل‌ها

در این مرحله با استفاده از مدل‌های تجربی تولید شده در پژوهش و مقادیر واقعی متغیرهای مستقل، اقدام به شبیه‌سازی مقادیر تعرق و تبخیر در طول دوره رشد گیاه ذرت شد. سپس داده‌های مشاهده‌ای (واقعی) در مقیاس مینی‌لایسیمتر و پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها، با یکدیگر مقایسه شد و اعتبار مدل‌های مختلف ارزیابی شد. برای این کار از آماره‌های ارزیابی شامل حداکثر خطا[۱۳](ME)، ریشه میانگین مربعات خطا [۱۴](RMSE)، ضریب تبیین[۱۵](R^2)، کارایی مدل‌سازی[۱۶](EF) و ضریب باقیمانده [۱۷](CRM) استفاده شد. معادلات مربوط به آماره‌های مذکور در روابط (۱۵) الی (۱۹) ارائه شد. وجود حداقل مقدار (نزدیک به صفر) برای آماره‌های RMSE ،ME و CRM و نزدیک به یک برای آماره‌های R^2 و EF در هر مدل، نشان‌دهنده بهینه بودن آن مدل برای برآورد مقادیر تعرق و تبخیر بوده است. در روابط (۱۵) الی (۱۹)، حروف n، O[۱۸] و P[۱۹] به‌ترتیب بیان‌گر تعداد تیمارها، داده‌های مشاهده‌ای در مقیاس مینی‌لایسیمتر و پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها بود.

$$ME = \max|P_i - O_i|_{i=1}^{n} \quad (۱۵)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{n}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (۱۶)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O}).(P_i-\bar{P})\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})^2.\sum_{i=1}^{n}(P_i-\bar{P})^2} \quad (۱۷)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})^2-\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})^2} \quad (۱۸)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n}O_i-\sum_{i=1}^{n}P_i}{\sum_{i=1}^{n}O_i} \quad (۱۹)$$

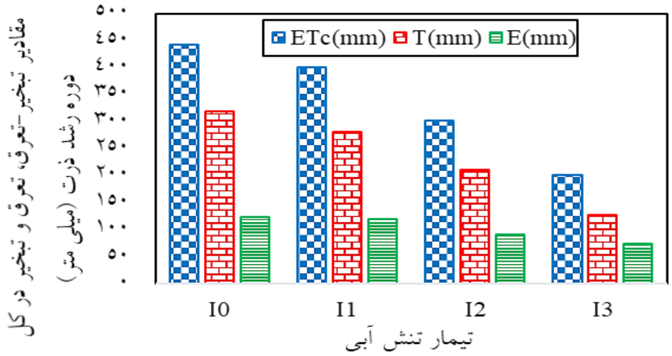
نتایج و بحث

تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر

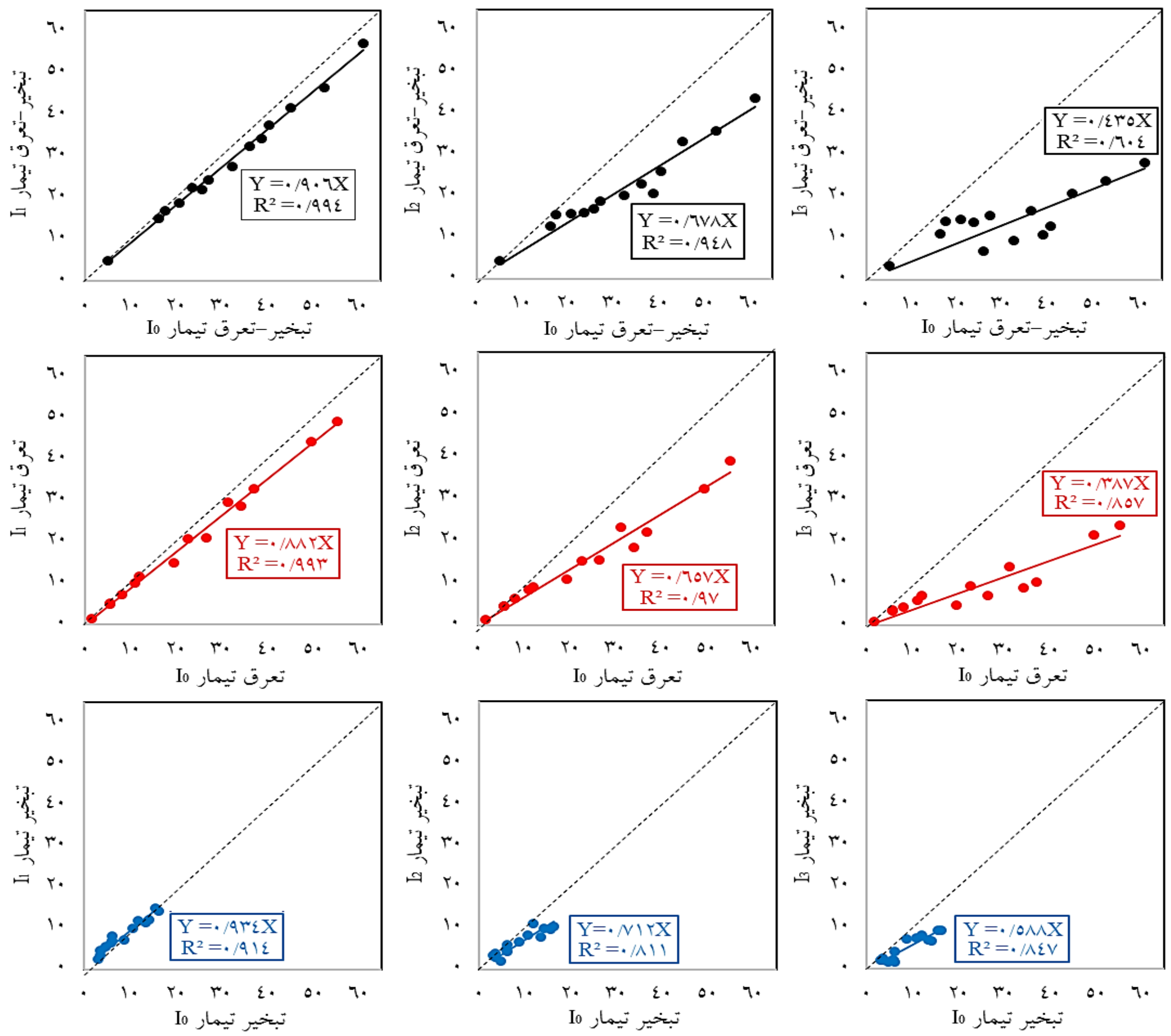
مجموع مقادیر تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر از سطح خاک در کل دوره رشد گیاه، از تیمار I_0 تا I_3 به‌ترتیب در بازه ۴۴۲/۷ تا ۲۰۱/۴، ۳۱۹/۳ تا ۱۲۷ و ۱۲۳/۴ تا ۷۴ میلی‌متر برآورد شد (شکل ۲). نتایج نشان داد که اِعمال تنش آبی بر گیاه از طریق کاهش آب خاک (نسبت به حد آب سهل‌الوصول)، باعث کاهش تبخیر- تعرق گیاه نسبت به شرایط استاندارد (تیمار I_0) شد. این شرایط برای اجزاءِ تعرق و تبخیر نیز وجود داشت. برای حصول نتایج دقیق‌تر در مورد تغییرات داده‌های تیمار تحت تنش نسبت به تیمار شاهد، مقدار تجمعی ۱۰ روزه داده‌ها (در طول دوره رشد) در نمودارهایی در شکل (۳) بررسی شد. تحلیل داده‌های تجمعی ۱۰ روزه باعث شد تا شیب نرمالی برای رَوَند تغییرات داده‌ها به‌دست آید. به‌طوری که در کل دوره رشد ذرت و در تیمارهای I_1، I_2 و I_3، مقدار تبخیر- تعرق

13- Maximum error, ME
14- Root of mean squared errorRMSE ,
15- Coefficient of determination, R^2
16- Efficiency of modeling, EF
17- Coefficient of residual mass, CRM
18- Observed, O
19- Predicted, P

به‌ترتیب با ضرایب ۰/۹، ۰/۶۷ و ۰/۴۳، مقدار تعرق به‌ترتیب با ضرایب ۰/۸۸، ۰/۶۵ و ۰/۳۸ و مقدار تبخیر به‌ترتیب با ضرایب ۰/۹۳، ۰/۷۱ و ۰/۵۸، نسبت به تیمار I_0 کاهش یافت (شکل ۳). علت نتایج به‌دست آمده این بود که وقتی رطوبت خاک به کم‌تر از حد سهل‌الوصول می‌رسد، پتانسیل آب خاک برای جذب توسط گیاه کاهش می‌یابد. در این میان، مقدار تعرق نسبت به پارامتر تبخیر- تعرق (در پژوهش حاضر) با شیب بیشتری کاهش یافته است. در این‌باره در نشریه فائو-۵۶ نیز گزارش شد که در شرایط تحت تنش آبی باید یک ضریب K_s (کوچک‌تر از یک) برای ضریب گیاهی پایه K_{cb} در نظر گرفت، زیرا تعرق گیاه با شدت بیشتری نسبت به تبخیر- تعرق کاهش می‌یابد (آلِن و همکاران، ۱۹۹۸).



شکل ۲- مقادیر تجمعی تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر از سطح خاک در کل دوره رشد گیاه ذرت



شکل ۳- واکنش مقادیر واقعی تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر در تیمارهای تنش آبی، نسبت به تیمار تحت کنترل (I_0)

به‌منظور مقایسه نتایج پژوهش حاضر با سایر پژوهش‌ها، در پژوهشی مشابه گزارش شد که تنش آبی از طریق کاهش پتانسیل آب سلول‌های گیاهی، باعث افزایش مقاومت روزنه‌ای، انسداد روزنه برگ‌ها و در نهایت کاهش تبخیر- تعرق گیاه می‌شود (هانِر و هاپکینز، ۲۰۰۸). در تحقیقی بر روی ذرت گزارش شد که در شرایط کمبود رطوبت خاک (تنش آبی)، هورمون آبسزیک اسید (ABA) به‌عنوان مکانیسم پیغام هورمونی وارد اندام‌های هوایی شده و به‌صورت یک سیستم هشداردهنده اولیه عمل نموده و باعث بسته شدن روزنه‌ها می‌شود. در این شرایط گیاه با توقف تعرق خود، اقدام به حفظ رطوبت کرده و از اتلاف آب جلوگیری می‌کند (ماهرخ و همکاران، ۱۳۹۸). در منطقه قزوین، تبخیر- تعرق گیاه ذرت تحت سطوح آبیاری شامل (I_0) ۱۰۰، (I_1) ۸۰، (I_2) ۶۰ و (I_3) ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه، بررسی شد. نتایج نشان داد که مقدار تبخیر- تعرق نسبی ذرت (در کل دوره رشد) در سطوح آبیاری I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب برابر با ۹۵/۶، ۸۵ و ۷۱/۶ درصد برآورد شد (سعیدی، c ۱۴۰۰). در پژوهشی در منطقه باجگاه شیراز، اثر سه رژیم آبیاری شامل (I_1) ۱۰۰، (I_2) ۷۵ و (I_3) ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، بر روی ذرت آزمایش شد. نتایج نشان داد که با کاهش مقدار آبیاری از سطح I_1 به I_2 و I_3، به‌ترتیب ۱۹ و ۴۲ درصد از مقدار تبخیر- تعرق ذرت کاهش یافت. همچنین از مقدار تعرق ذرت به‌ترتیب ۲۵ و ۴۳ درصد کاسته شد (عزیزیان و سپاسخواه، ۲۰۱۴).

اما در مورد تبخیر از سطح خاک، بیشترین مقدار تبخیر در تیمار I_0 انجام شد؛ زیرا دور آبیاری در تیمار I_0

کوتاه‌تر از بقیه تیمارها بود و به‌دلیل مرطوب‌تر بودن سطح خاک نسبت به سایر تیمارها (در کل دوره رشد)، مقدار تبخیر در تیمار I_0 بیشتر بود. به همین ترتیب با افزایش فاصله زمانی بین دو آبیاری در تیمارهای I_1، I_2 و I_3، از مقدار تبخیر از سطح خاک در سایر تیمارها کاسته شد. در پژوهشی مشابه بر روی ذرت در منطقه قزوین گزارش شد که در دورهای آبیاری کوتاه، آب آبیاری معمولاً صرف خیس کردن سطح خاک شده و فاصله بین دو آبیاری هم‌پوشانی بیشتری با زمان انجام تبخیر پیدا می‌کند. درنتیجه سهم تبخیر از سطح خاک در دورهای آبیاری کوتاه بیشتر از دورهای آبیاری بلند بوده و نیازمند مدیریتی مطلوب در جهت کاهش تلفات تبخیر آب است (سعیدی، b ۱۴۰۰). در پژوهشی دیگر بر روی ذرت در ایالت آیُوا اعلام شد که مقدار آب موجود در سطح خاک به‌عنوان یک عامل محدودکننده برای تبخیر محسوب شده، ولی تأثیری در مقدار تعرق گیاه ندارد. به‌طوری که هنگام خشک شدن سطح خاک در روزهای پس از آبیاری و غیربارانی، سهم تبخیر از سطح خاک رَوَند کاهشی می‌یابد (شیائو و همکاران، ۲۰۱۶).

از سوی دیگر، تنش آبی در مراحل مختلف رشد ذرت، اثر یکنواخت و ثابت بر پارامتر تبخیر- تعرق و اجزاءِ آن نداشت. به‌طوری که بیشترین تا کم‌ترین مقدار کاهش تعرق و تبخیر- تعرق گیاه در اثر تنش آبی، متعلق به مراحل رشد میانی، توسعه، اولیه و پایانی بود. آغاز گل‌دهی گیاه، گرده‌افشانی و تشکیل بلال در مرحله میانی رشد، دلیل بالا بودن حساسیت گیاه به تنش آبی در این مرحله رشد بود (محمدی بهمدی و آرمین، ۱۳۹۶؛ فار و فیسی، ۲۰۰۹؛ همتی و همکاران، ۱۳۹۳). در مرحله توسعه نیز به علت رشد سریع اندام‌های گیاه و نیاز به تعرق زیاد، گیاه به اِعمال تنش آبی حساس بود؛ اما در مرحله اولیه رشد به دلیل آغاز رشد و نمو گیاه و در مرحله پایانی به سبب رسیدگی فیزیولوژیک، شروع پَلاسیدگی گیاه و به‌طور کلی کم بودن مقدار تبخیر- تعرق و تعرق گیاه، واکنش دو پارامتر مذکور به تنش آبی چندان محسوس نبود. به‌طور مشابه در پژوهشی در منطقه قزوین گزارش شد که اگر یک حد ثابت تنش آبی به‌طور جداگانه در مراحل مختلف رشد ذرت اعمال شود، اثر متفاوتی بر میزان کاهش تبخیر- تعرق گیاه مشاهده می‌شود. از این‌رو اولویت حساسیت مراحل رشد ذرت به تنش آبی به‌ترتیب مربوط به مراحل گل‌دهی، ۱۲ برگی، خمیری شدن دانه‌ها و چهار برگی گزارش شد. به‌طوری که در مرحله رشد چهار برگی، کم‌ترین میزان حساسیت تعرق گیاه ذرت به تنش آبی وجود داشت (سعیدی و ستوده‌نیا، ۱۴۰۰). نتایج پژوهش مذکور از نظر حساسیت کم تعرق ذرت به تنش آبی در مرحله اولیه رشد، با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت. از سوی دیگر در چین گزارش شد که مقدار تبخیر از سطح خاک در اوایل دوره رشد ذرت، زیاد و مقدار تعرق در این مرحله رشد، کم بود. توصیه شد که با اتخاذ تدابیر مناسب (مانند مالچ کردن سطح خاک در این مرحله رشد)، می‌توان موجب کاهش هدر رفت آب از طریق تبخیر شد. در همین پژوهش بیان شد که از مقدار تعرق ذرت در دوره‌های پایانی رشد کاسته شد. دلیل آن مربوط به بلوغ گیاه، زرد شدن و ریزش برگ‌های گیاه در دوره پایانی رشد بود که موجب کاهش تعرق شد (ژو و همکاران، ۲۰۱۷). پژوهش ژو و همکاران (۲۰۱۷) نیز مؤید کم بودن میزان تعرق گیاه ذرت در مراحل اولیه و پایانی رشد بود و از این‌رو با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت. در پژوهش دیگر برای بررسی مقدار اجزاءِ تبخیر- تعرق ذرت تحت سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در منطقه کرج گزارش شد که مقدار تعرق گیاه در دوره‌های اولیه، توسعه و میانی رشد به‌ترتیب برابر با ۱۲/۷۸، ۸۱/۳۱ و ۱۱۸/۹۵ میلی‌متر (در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی) و ۵/۸۸، ۷۶/۸۲ و ۱۱۸/۲۱ میلی‌متر (در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی) برآورد شد (دهقانی سانیج و همکاران، ۱۳۹۶). در پژوهش اخیر، بیشتر بودن مقدار تعرق گیاه به‌ترتیب مربوط به مراحل میانی، توسعه و اولیه رشد بود. از این‌رو حساسیت مراحل رشد ذرت در پژوهش دهقانی سانیج و همکاران (۱۳۹۶) با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشته است. نتایج کلی این بخش از پژوهش نشان داد که

در مدیریت کم‌آبیاری ذرت، افزایش دادن حد تخلیه مجاز رطوبتی خاک (از طریق افزایش فاصله زمانی بین دو آبیاری) اگرچه باعث کاهش تعرق گیاه (در اثر تنش آبی) می‌شود، اما مقدار جزءِ تبخیر را نیز کاهش می‌دهد؛ زیرا در اثر طولانی شدن دور آبیاری، کم‌تر سطح خاک مرطوب شده و از این‌رو مقدار تبخیر از سطح خاک در دوره رشد گیاه کاهش می‌یابد؛ اما در مدیریت‌های کم‌آبیاری که دور آبیاری بر اساس شرایط استاندارد (بدون تنش) تعریف شده و فقط حجم آب آبیاری کم‌تر از آبیاری کامل است، سهم بیشتری از آب کاربردی صرف جزءِ تبخیر (تلفات آب آبیاری) می‌شود. درنتیجه در مدیریت کم‌آبیاری ذرت، آبیاری کامل گیاه با دورهای آبیاری بلند می‌تواند سودمندتر از کم‌آبیاری گیاه با دورهای آبیاری کوتاه باشد.

مدل‌سازی تعرق و ارزیابی مدل‌ها

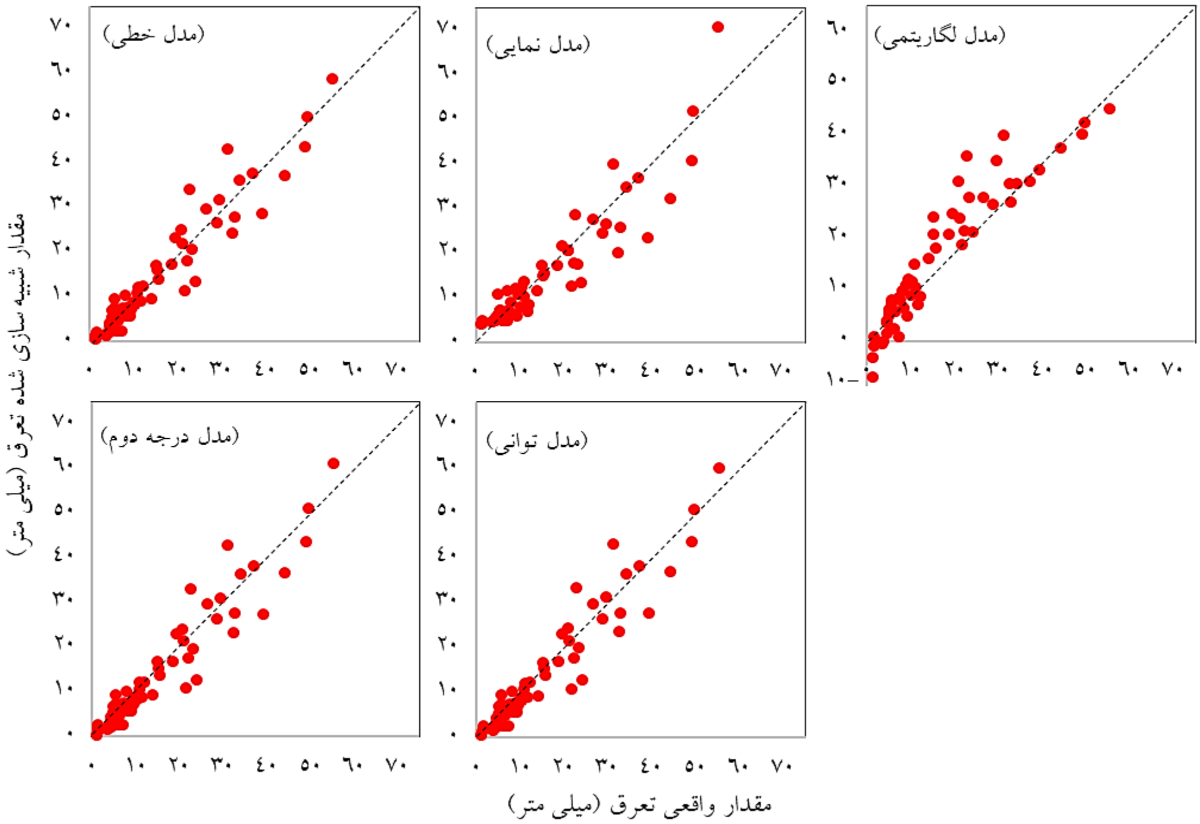
ضرایب توابع مربوط به مدل‌سازی مقدار تعرق گیاه (روابط ۵ الی ۹) توسط نرم‌افزار SPSS برآورد شد و در جدول (۳) ارائه شد. مقادیر ضرایب A_0، A_1، A_2 در کل دوره رشد ذرت به‌صورت ثابت بود و ضریب K_pبرای هر مرحله از رشد، مقدار خاص خود را داشت. به‌طوری که در اغلب مدل‌ها، ضریب K_p در مراحل توسعه و میانی رشد (مراحل ۲ و ۳) دارای بیشترین مقدار و در مراحل اولیه و پایانی رشد (مراحل ۱ و ۴) دارای کم‌ترین مقدار بود. علت آن می‌تواند به مقدار سهمی که تعرق گیاه در پارامتر تبخیر–تعرق و در مراحل مختلف رشد داشته است، مربوط باشد. از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت که در این قبیل مدل‌سازی‌ها باید حساسیت مراحل رشد گیاه نیز در نظر گرفته شود و نمی‌توان شرایط یکسانی را برای کل دوره رشد لحاظ نمود. از سوی دیگر، آماره F در جدول (۳) نشان داد مدل‌هایی که بین متغیرهای وابسته و مستقل برازش داده شده‌اند، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده‌اند. در پژوهشی مشابه در فلات چین، پارامتر تبخیر– تعرق ذرت به دو جزء تبخیر از خاک و تعرق گیاه تفکیک شد. نتایج نشان داد که نسبت تعرق به تبخیر– تعرق (T/ET) ذرت در کل دوره‌ی رشد مقدار ۵۳ درصد و در دوره‌ی گل‌دهی تا بلوغ گیاه (دوره میانی رشد) مقدار ۶۳/۳ درصد بود و در دوره‌ی پایانی رشد از مقدار آن کاسته شد. علاوه بر آن اعلام شد که نسبت سهم تعرق به تبخیر– تعرق ذرت، در شرایط کشت دیم (تنش آبی) کم‌تر بود (ژو و همکاران، ۲۰۱۷). نتایج پژوهش مذکور نشان داد که سهم تعرق گیاه در مرحله میانی رشد بیشتر بود و کمبود آب خاک به‌عنوان یک تنش محیطی، باعث کاهش سهم جزء تعرق گیاه شد. در پژوهش‌های دیگر مقدار عملکرد محصول ذرت (متغیر وابسته) بر اساس مقدار تبخیر– تعرق گیاه (متغیر مستقل) مدل‌سازی شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، به‌دلیل حساسیت بیشتر گیاه به تنش آبی در مرحله گل‌دهی، ضریب حساسیت گیاه در مرحله رشد مذکور بیشتر از بقیه مراحل گزارش شد (کیپکوریر و رِیس، ۲۰۰۲؛ شی و همکاران، ۲۰۲۰). برای ارزیابی عملکرد مدل‌های تجربی، مقادیر مدل‌سازی شده تعرق نسب به مقادیر واقعی آن، در شکل (۴) بررسی شد. بر اساس شکل (۴) مدل‌هایی که بیشترین همبستگی را حول خط ۱:۱ داشته‌اند، مدل بهینه برای برآورد مقدار تعرق بوده‌اند. برای این منظور، از طریق مقادیر پارامترهای آماری در جدول (۴)، مدل بهینه شناسایی شد. نتایج نشان داد که در بین مدل‌های مختلف، مدل خطی دارای بهترین کارایی مدل‌سازی (EF) و همبستگی بین متغیرها (R^2) و کم‌ترین ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) بود. البته مدل خطی به دلیل سادگی معادله آن نسبت به سایر مدل‌ها، با استقبال بیشتری نیز می‌تواند روبه‌رو باشد. از این‌رو مدل خطی با معادله $T= K_{pi}.(-1.57 + 0.928 (K_s. ET_c))$ در اولویت انتخاب قرار گرفت. در مورد سایر مدل‌ها، به‌ترتیب فرم‌های توانی، درجه دوم، لگاریتمی و نمایی در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. آماره‌های CRM و ME نشان دادند که همه مدل‌ها، کم‌برآورد بودند و کم‌ترین خطا در شبیه‌سازی مقدار تعرق به‌ترتیب مربوط به مدل‌های درجه دوم، خطی، توانی، لگاریتمی و نمایی بوده است. در پژوهش‌های گذشته نیز، تحقیقات مشابهی با استفاده از مدل‌های رگرسیونی انجام

شده است. در کشور چین و در شرایط آبیاری قطره‌ای تحت سطوح آبیاری شامل ۱۲۰، ۱۰۰ و ۸۰ درصد تبخیر- تعرق گیاه، مقدار تعرق ذرت مطالعه شد. در این پژوهش مقدار تعرق ذرت نسبت به شرایط وجود و عدم وجود خاک‌پوش (مالچ) مدل‌سازی شد. در شرایط کاربرد خاک‌پوش رابطه خطی با معادله $T_P=0.93T_M+15.53$ و در شرایط بدون خاک‌پوش رابطه $T_P=1.05T_M+18.1$ بین مقدار تعرق پیش‌بینی شده (T_P) و اندازه‌گیری شده (T_M) برازش داده شد (لی و ما، ۲۰۱۹). در پژوهشی در شمال‌شرقی گریلی واقع در آمریکا، تأثیر شش رژیم آبیاری شامل ۱۰۰٪، ۸۵٪، ۷۵٪، ۷۰٪، ۵۵٪ و ۴۰٪ نیاز آبی گیاه بر ذرت علوفه‌ای بررسی شد. نتایج نشان داد بین مقدار تعرق نرمال شده (T/ET_0) و عملکرد زیست‌توده گیاهی (Y) رابطه‌ای خطی به‌صورت $Y=27.64\times(T/ET_0)-0.312$ قابل برازش بود (تروت و دیجانگ، ۲۰۱۷). در پژوهش دیگر بر روی ذرت در کشور چین، رابطه خطی با معادله $Y=0.764X+4.944$ بین نرخ تعرق گیاه (Y) و نرخ جریان شیره گیاهی (X) برازش داده شد (ژو و همکاران، ۲۰۱۷). پژوهش‌های مذکور نشان دادند که قابلیت برازش رابطه خطی بین مقدار تعرق گیاه و سایر متغیرهای مرتبط به آن وجود دارد و از رابطه خطی می‌توان به‌عنوان مدل شبیه‌سازی مقدار تعرق استفاده نمود. از این‌رو بر اساس دستاورد پژوهش حاضر می‌توان در شرایط اِعمال مدیریت کم‌آبیاری بر ذرت، با استفاده از پارامتر تبخیر- تعرق در شرایط استاندارد (ET_c) و ضرایب K_s و K_p، مقدار تعرق گیاه را در دوره رشد آن برآورد کرد. از طریق برآورد مقدار تعرق گیاه، نیاز آبی واقعی گیاه برآورد شده و می‌توان در شرایط کاربرد مالچ در سطح خاک، آن را به‌عنوان نیاز آبیاری گیاه لحاظ نمود. به این ترتیب از مصرف بیش از اندازه آب جلوگیری به‌عمل آمده و در افزایش راندمان مصرف آب توسط گیاه، مؤثر خواهد بود.

جدول ۳- ضرایب فرم‌های مختلف مدل‌های تجربی برای برآورد مقدار تعرق گیاه

ضرایب	فرم خطی	فرم نمایی	لگاریتمی	درجه دوم	توانی
A_0	۱/۵۷-	۷/۴۰۱	۲۰/۶۳۱-	۰/۳۶۸-	۰/۵۸۷
A_1	۰/۹۲۸	۰/۰۳۶	۱۳/۷۶۲	۰/۷۹۳	۱/۱۱۳
A_2	-	-	-	۰/۰۰۳	-
K_{P1}	۰/۵۱	۰/۵۲۹	۰/۴۲۳	۰/۵۱۷	۰/۵۲۴
K_{P2}	۱/۰۶۵	۱/۰۵۸	۱/۲۵۲	۱/۰۳۱	۱/۰۵۴
K_{P3}	۱/۰۵	۱/۱۷۱	۱/۰۲۵	۱/۰۴۸	۱/۰۶۲
K_{P4}	۰/۷۰۵	۰/۵۵	۰/۴۰۹	۰/۷۱	۰/۷۲۴
آماره F	**۳۹۰/۷	**۲۶۲	**۱۶۸/۶	**۲۵۸/۷	**۳۹۶/۴

**: نشان‌دهنده معنی‌داری کلی تابع در برآورد پارامتر مدنظر، در سطح احتمال یک درصد است



شکل ۴- صحت سنجی مدل‌های تجربی پیش‌بینی کننده مقدار تعرق گیاه

جدول ۴- مقدار پارامترهای آماری برای ارزیابی اعتبار مدل‌های تجربی در برآورد مقدار تعرق

نام مدل	CRM	EF	R^2	RMSE	ME
خطی	۰/۰۵۲(۳) *	۰/۹۰۱(۱)	۰/۹۱(۱)	۴/۲۷۱ (۱)	۱۱/۹(۲)
نمایی	۰/۰۳۱(۲)	۰/۸۵۵(۵)	۰/۸۵۹(۵)	۵/۱۶۱(۵)	۱۵/۶۹(۵)
لگاریتمی	۰/۰۳(۱)	۰/۸۷۶(۴)	۰/۸۸(۴)	۴/۷۷(۴)	۱۳/۳۶(۴)
درجه دوم	۰/۰۵۳۳(۴)	۰/۸۹۵(۳)	۰/۹۰۵(۳)	۴/۴۰۳(۳)	۱۱/۸(۱)
توانی	۰/۰۵۳۴(۵)	۰/۸۹۶(۲)	۰/۹۰۶(۲)	۴/۳۷۵(۲)	۱۱/۹۲(۳)

*: اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده اولویت انتخاب مدل، بر اساس شاخص‌های آماری است

مدل‌سازی تبخیر و ارزیابی مدل‌ها

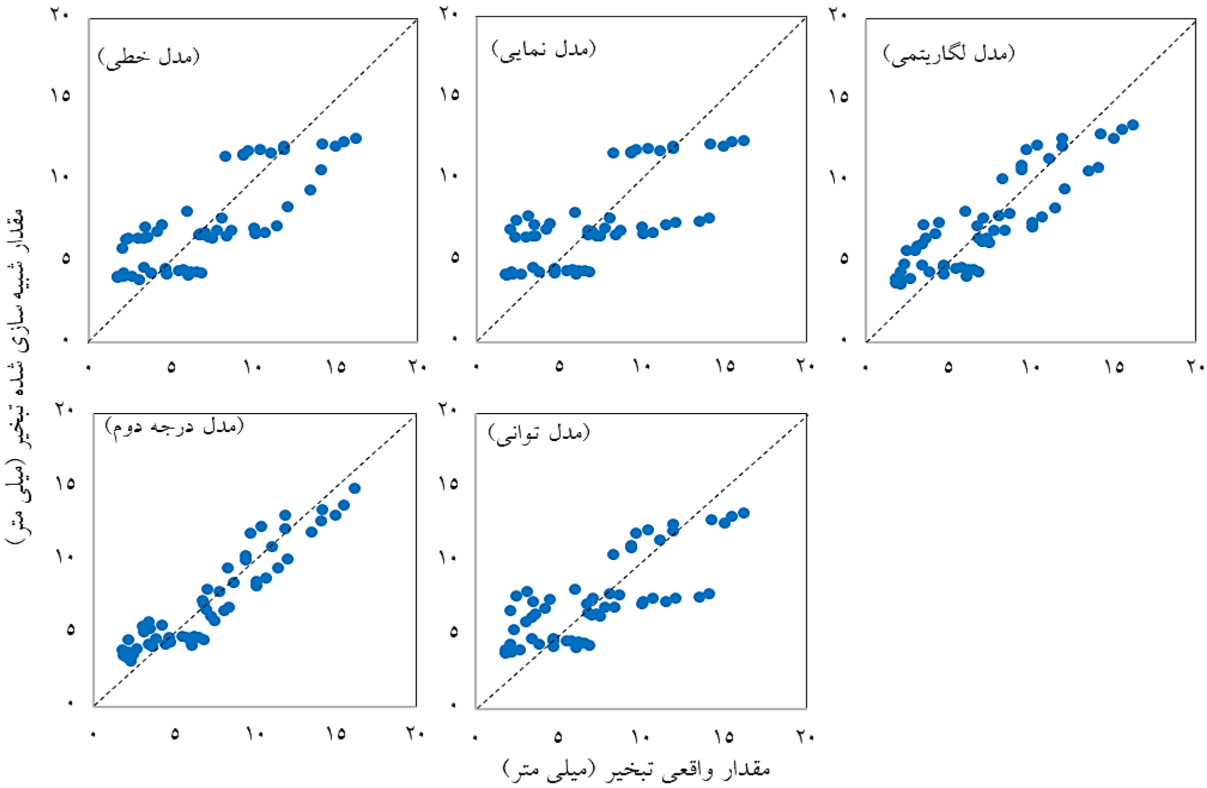
برای مدل‌سازی مقدار تبخیر از سطح خاک از روابط (۱۰) الی (۱۴) در پژوهش حاضر استفاده شد. در فرآیند مدل‌سازی مقدار تبخیر، مقدار آماره F در جدول (۵) نشان داد که مدل‌های کاربردی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده‌اند. ضرایب روابط مذکور توسط نرم‌افزار SPSS برآورد شد و در جدول (۵) ارائه شد. در این بخش از پژوهش نیز مقادیر ضرایب A_0، A_1، A_2 در کل دوره رشد ذرت به‌صورت ثابت بود و ضریب K_p برای هر مرحله از رشد، مقدار خاص خود را داشت. مقدار ضریب K_p نشان داد که حساسیت جزءِ تبخیر در مراحل رشد ذرت با حساسیت جزءِ تعرق تفاوت داشت. به‌طوری که در اغلب مدل‌ها، بیشترین تا کم‌ترین مقدار ضریب K_p مربوط به مراحل رشد اولیه، توسعه، پایانی و میانی رشد بود. علت آن به این صورت می‌تواند تفسیر شود که از مرحله جوانه‌زنی بذر تا بخشی از مرحله توسعه گیاه، سطح خاک هنوز از طریق اندام‌های گیاهی به‌طور کامل پوشیده نشده است. از این‌رو در دوره رشد مذکور، بیشترین مقدار تبخیر از سطح خاک وجود داشته است. به‌طوری که در پژوهشی بر روی ذرت در غرب اروگوئه، گزارش شد در زمانی که

سطح خاک بدون پوشش گیاهی بود و گیاه تحت تأثیر تنش آبی بود، نسبت تبخیر به تبخیر- تعرق ذرت (E/ET) حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد افزایش داشت (گیمنز و همکاران، ۲۰۱۶). در مرحله میانی نیز به‌دلیل پوشش کامل سطح خاک توسط گیاه، کم‌ترین مقدار تبخیر از سطح خاک اتفاق افتاده است؛ اما این‌که چرا در مرحله پایانی رشد دوباره مقدار تبخیر افزایش یافته است، ممکن است به این علت باشد که در مرحله پایانی رشد، مقدار تعرق گیاه به سمت توقف کامل (به دلیل پَلاسیدگی و خشکیدگی گیاه) پیش می‌رود؛ بنابراین آنچه به‌عنوان پارامتر تبخیر- تعرق در مرحله پایانی رشد وجود دارد، به نظر می‌رسد که غالباً متعلق به جزءِ تبخیر از سطح خاک باشد. درنتیجه حساسیت مرحله رشد گیاه، باید برای برآورد مقدار تبخیر از سطح خاک نیز در نظر گرفته شود. همچنین اولویت دادن به پوشاندن سطح خاک در مراحل مختلف رشد، مسئله‌ای است که می‌تواند بر سهم اجزاءِ مطلوب و نامطلوب تبخیر- تعرق گیاه اثرگذار باشد. در این‌باره گزارش شد که با مدیریت مناسب آبیاری در کشت ذرت (کاربرد مالچ)، می‌توان از مقدار تبخیر از سطح خاک کاسته و به مقدار تعرق گیاه افزود. در این‌صورت مقدار بهره‌وری مصرف آب افزایش می‌یابد (میرزایی الموتی و رمضانی اعتدالی، ۱۳۹۶). در فرآیند شبیه‌سازی مقدار تبخیر، شکل (۵) نشان داد که در مدل درجه دوم بهترین همبستگی بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده تبخیر ایجاد شده است. برای ارزیابی دقیق‌تر مدل‌ها، پارامترهای آماری در جدول (۶) بررسی شد. از نظر آماره‌های ارزیابی، به‌ترتیب مدل‌های درجه دوم، لگاریتمی، خطی، توانی و نمایی برای برآورد مقدار جزءِ تبخیر، اولویت‌بندی شدند. به این ترتیب مدل درجه دوم با معادله $E= K_{pi}. (4.525+ 0.273 (K_s. ET_c) -0.005 (K_s. ET_c)^2)$، به‌عنوان بهترین مدل تجربی برای برآورد مقدار تبخیر از سطح خاک در شرایط اِعمال تنش آبی معرفی شد. در مورد سایر مدل‌ها، کم‌تر بودن مقدار آماره R^2 از عدد ۰/۶ در مدل‌های نمایی و توانی نشان داد که در این مدل‌ها، متغیرهای مستقل نتوانسته‌اند به خوبی تغییرات متغیر وابسته را تبیین کنند. از این‌رو مدل‌های نمایی و توانی برای مدل‌سازی مقدار تبخیر در شرایط پژوهش حاضر قابل توصیه نبود. مقدار آماره CRM نشان داد که مدل درجه دوم یک مدل کم‌برآورد و سایر مدل‌ها، مدل‌هایی بیش‌برآورد نسبت به شرایط واقعی بوده‌اند. به‌طور مشابه در پژوهشی در آمریکا، رژیم‌های آبیاری شامل ۱۰۰، ۸۵، ۷۵، ۷۰، ۵۵ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه، بر روی ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد که رابطه درجه دوم با معادله $Y=-2.91E^2+5.98E-2.06$ بین مقدار عملکرد نسبی محصول (Y) و تبخیر نسبی از سطح خاک (E) قابل برازش بود (تروت و دیجانگ، ۲۰۱۷). در سایر پژوهش‌ها و در شرایط توأمان اِعمال تنش‌های شوری و خشکی، تابع درجه دوم به عنوان مدل بهینه برای برآورد مقدار عملکرد گوجه‌فرنگی در منطقه کرج معرفی شد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹). از این‌رو نتایج پژوهش‌های گذشته نیز تأیید کردند که مدل رگرسیونی درجه دوم به‌عنوان یک مدل تجربی، کارایی لازم برای برآورد پارامترهای گیاهی را دارد. نتیجه کلی این‌که از طریق برآورد مقدار واقعی جزءِ تبخیر در شرایط تنش آبی (کم‌آبیاری)، می‌توان معیار دقیق‌تری از میزان تلفات آب آبیاری به‌دست آورد. از این‌رو با توجه به حجم تلفات آب، شاید بتوان تصمیمات قاطعانه‌تری برای مدیریت صحیح مصرف آب و افزایش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آن اتخاذ نمود.

جدول ۵- ضرایب فرم‌های مختلف مدل‌های تجربی برای برآورد مقدار تبخیر از سطح خاک

ضرایب	فرم خطی	فرم نمایی	لگاریتمی	درجه دوم	توانی
A_0	۶/۶۹۱	۶/۷۹۸	۴/۳۸۵	۴/۵۲۵	۵/۰۸۲
A_1	۰/۰۲۹	۰/۰۰۳	۱/۰۶۲	۰/۲۷۳	۰/۱۳
A_2	–	–	–	−۰/۰۰۵	–
K_{P1}	۱/۶۸۶	۱/۶۸۶	۱/۷۰۴	۱/۶۸	۱/۷۰۱
K_{P2}	۰/۹۶۲	۰/۹۷۸	۰/۹۲۸	۱/۰۰۹	۰/۹۳۶
K_{P3}	۰/۵۹۱	۰/۵۹۶	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۸۳
K_{P4}	۰/۹۵۲	۰/۹۴۶	۱/۰۵۵	۱/۰۶	۱/۰۲۹
آماره F	۹۴/۳**	۹۴/۱**	۹۹**	۶۷/۸**	۹۸/۲**

**: نشان‌دهنده معنی‌داری کلی تابع در برآورد پارامتر مدنظر، در سطح احتمال یک درصد است



شکل ۵- صحت سنجی مدل‌های تجربی پیش‌بینی کننده مقدار تبخیر از سطح خاک

جدول ۶- مقدار پارامترهای آماری برای ارزیابی اعتبار مدل‌های تجربی در برآورد مقدار تبخیر

نام مدل	CRM	EF	R^2	RMSE	ME
خطی	−۰/۰۰۳۶(۳) *	۰/۶۲۷(۳)	۰/۶۳۲(۳)	۲/۳۹(۳)	۴/۲۶(۳)
نمایی	−۰/۰۰۳۵(۲)	۰/۵۰۲(۵)	۰/۵۰۲(۵)	۲/۷۶(۵)	۶/۴۸(۵)
لگاریتمی	−۰/۰۱۵۶(۵)	۰/۷۳۵(۲)	۰/۷۴۹(۲)	۲/۰۱(۲)	۳/۸۱(۲)
درجه دوم	۰/۰۰۲۷(۱)	۰/۸۶۶(۱)	۰/۸۷۴(۱)	۱/۴۳(۱)	۲/۵(۱)
توانی	−۰/۰۱(۴)	۰/۵۷۱(۴)	۰/۵۷۴(۴)	۲/۵۶(۴)	۶/۲۹(۴)

*: اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده اولویت انتخاب مدل، بر اساس شاخص‌های آماری است

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، مقادیر تبخیر- تعرق ذرت، تعرق و تبخیر از سطح خاک در شرایط مدیریت کم‌آبیاری بررسی شد. نتایج نشان داد که اِعمال تنش آبی بر گیاه از طریق کاهش آب خاک (نسبت به حد آب سهل‌الوصول)، باعث کاهش تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر نسبت به شرایط استاندارد منطقه شد. به‌طوری که در کل دوره رشد ذرت و در تیمارهای I_1، I_2 و I_3، مقدار تبخیر- تعرق به‌ترتیب با ضرایب ۰/۹، ۰/۶۷ و ۰/۴۳، مقدار تعرق به‌ترتیب با ضرایب ۰/۸۸، ۰/۶۵ و ۰/۳۸ و مقدار تبخیر به‌ترتیب با ضرایب ۰/۹۳، ۰/۷۱ و ۰/۵۸، نسبت به تیمار I_0 کاهش یافت. علت این بود که در شرایط مذکور، پتانسیل آب خاک برای جذب توسط گیاه کاهش یافت و با افزایش فاصله زمانی بین دو آبیاری (افزایش حد تخلیه مدیریتی آب خاک)، سطح خاک کم‌تر مرطوب شده و تبخیر از آن کاهش یافت. از این‌رو در مدیریت کم‌آبیاری ذرت، آبیاری کامل گیاه با دورهای آبیاری بلند می‌تواند سودمندتر از کم‌آبیاری گیاه با دورهای آبیاری کوتاه باشد. در فرآیند مدل‌سازی مقادیر تبخیر و تعرق، ضریب K_p به‌خوبی حساسیت مرحله رشد گیاه را نشان داد. به‌طوری که بیشترین حساسیت پارامترهای تعرق و تبخیر به‌ترتیب مربوط به مراحل میانی و اولیه رشد بود. در بین مدل‌های مختلف، مدل خطی به‌عنوان مدل بهینه برای برآورد مقدار تعرق گیاه انتخاب شد. البته سادگی مدل خطی نسبت به سایر مدل‌ها نیز می‌تواند باعث استقبال بیشتر کاربران از آن باشد. در مورد شبیه‌سازی مقدار تبخیر، مدل درجه دوم دارای اولویت اول بود. نتیجه کلی این‌که از طریق مقدار تبخیر- تعرق در شرایط استاندارد (ET_c)، ضرایب K_s و K_p، امکان برآورد مقادیر تعرق گیاه و تبخیر در دوره رشد ذرت و برای شرایط تنش آبی وجود داشت. از این‌رو در شرایط مدیریت کم‌آبیاری می‌توان با کاربرد مدل‌های پیشنهادی در این پژوهش، مقادیر جداگانه اجزاءِ تبخیر- تعرق گیاه را برآورد کرد و به دنبال آن تصمیمات راهبردی برای مدیریت نیاز آبی گیاه و کاهش تلفات آبیاری اتخاذ نمود.

فهرست منابع

۱. دهقانی سانیج، ح. کنعانی، ا. و س. اخوان. ۱۳۹۶. ارزیابی تبخیر-تعرق ذرت و اجزای آن و ارتباط آن‌ها با شاخص سطح برگ در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی. مجله آب و خاک. ۳۱(۶): ۱۵۴۹-۱۵۶۰.

۲. سعیدی، ر. a ۱۴۰۰. اثر تنش خشکی و شوری در برآورد عملکرد ذرت علوفه‌ای از طریق تبخیر-تعرق دوره‌ای، با استفاده از مدل‌های مختلف. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۳۵(۲): ۱۰۷-۱۲۲.

۳. سعیدی، ر. b ۱۴۰۰. جداسازی تبخیر و تعرق در کشت ذرت و بررسی پاسخ آن‌ها به سطوح مختلف آبیاری. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۲(۵): ۱۲۶۳-۱۲۷۳.

۴. سعیدی، ر. c ۱۴۰۰. بررسی حساسیت درون فصلی تبخیر- تعرق ذرت به تنش آبی، در سطوح مختلف آبیاری. مجله آب و خاک. ۳۵(۳): ۳۳۵-۳۴۸.

۵. سعیدی، ر. و ع. ستوده‌نیا. ۱۴۰۰. واکنش عملکرد به تبخیر- تعرق ذرت، تحت تأثیر تنش آبی در مراحل مختلف رشد (در دشت قزوین). مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۲(۳): ۶۱۱- ۶۲۰.

۶. سعیدی، ر. رمضانی اعتدالی، ه. ستوده‌نیا، ع. نظری، ب. و ع. کاوریانی. ۱۳۹۹. مدیریت مصرف آب شور و کود نیتروژن در کشت ذرت. مجله آب و خاک. ۳۴(۴): ۸۶۱- ۸۷۷.

۷. سعیدی، ر. ستوده‌نیا، ع. رمضانی اعتدالی، ه. کاویانی، ع. و ب. نظری. ۱۳۹۷. مطالعه تأثیر تنش‌های شوری آب و حاصلخیزی خاک، بر تبخیر و تعرق ذرت علوفه‌ای. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۹(۴): ۹۴۵- ۹۵۴.

۸. ماهرخ، ع. نبی‌پور، م. روشنفکر، ح. و ر. چوکان. ۱۳۹۸. واکنش برخی صفات فیزیولوژیکی ذرت دانه‌ای به تنش خشکی و کاربرد هورمون‌های سیتوکینین و اکسین. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۲(۱): ۱-۱۵.

۹. محمدی، م. لیاقت، ع. و ح. مولوی. ۱۳۸۹. بهینه‌سازی مصرف آب و تعیین ضرایب حساسیت گوجه فرنگی در شرایط توأمان تنش شوری و خشکی در منطقه کرج. مجله آب و خاک. ۲۴(۳): ۵۸۳-۵۹۲.

۱۰. محمدی بهمدی، م. و م. آرمین. ۱۳۹۶. اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف ذرت در شرایط کشت تأخیری. مجله تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی. ۴(۱): ۱۷- ۳۴.

۱۱. میرزایی الموتی، ل. و ه. رمضانی اعتدالی. ۱۳۹۶. بررسی اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری بر سهم مجزا تبخیر و تعرق با استفاده از مدل AquaCrop. چهاردهمین همایش ملی آبیاری و کاهش تبخیر. ۳ الی ۴ آبان ماه، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.

۱۲. همتی، ر. مقصودی، ک. و ی. امام. ۱۳۹۳. پاسخ‌های مورفو-فیزیولوژیک ذرت به تنش خشکی در مراحل مختلف رشد در منطقه نیمه‌خشک شمال فارس. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۴(۱۱): ۶۷-۷۴.

13. Allen, R. G. Pereira, L. S. Raes, D. and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation Drainage Paper. 56: 1-326.
14. Azizian, A. and A. R. Sepaskhah. 2014. Maize response to water, salinity and nitrogen levels: yield-water relation, water-use efficiency and water uptake reduction function. Journal of Plant Production. 8(2): 183- 214.
15. Farre, I. and J. M. Faci. 2009. Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. Journal of Agricultural Water Management. 96: 383–394.
16. Ferreira, M. I. Silvestre, J. Conceic, N. and A. C. Malheiro. 2012. Crop and stress coefficients in rain fed and deficit irrigation vineyards using sap flow techniques. Journal of irrigation science. 30: 433–447
17. Gimenez, L. Petillo, M. G. Paredes, P. and L. S. Pereira .2016. Predicting maize transpiration, water use and productivity for developing improved supplemental irrigation schedules in western Uruguay to cope with climate variability. Journal of water. 8(309): 1-22.
18. Greaves, G. and Y. Wang. 2017. Yield response, water productivity, and seasonal water production functions for maize under deficit irrigation water management in southern Taiwan. Journal of Plant Production Science. 20(4): 353-365.
19. Huner, N. P. and W. G. Hopkins. 2008. Introduction to Plant Physiology: Wiley, NewYork
20. Kipkorir, E. D. and D. Raes. 2002. Transformation of yield response factor into Jensen's sensitivity index. Journal of Irrigation and Drainage Systems. 16: 47–52.
21. Lacerda, C. F. Ferreira, J. F. S. Liu, X. and D. L. Suarez. 2016. Evapotranspiration as a criterion to estimate nitrogen requirement of maize under salt stress. Journal of Agronomy and Crop Science. 202: 192-202.
22. Li, F. and Y. Ma. 2019. Evaluation of the dual crop coefficient approach in estimating evapotranspiration of drip-irrigated summer maize in Xinjiang, China. Journal of Water. 11(1053): 125-140.
23. Saeidi, R. Ramezani-Etedali, H. Sotoodenia, A. Kaviani, A. and B. Nazari. 2021. Salinity and fertility stresses modifies K_s and readily available water coefficients in maize (Case study: Qazvin region). Journal of irrigation science. 39: 299- 313.
24. Salama, M. A. Yousef, Kh. M. and A. Z. Mostafa. 2015. Simple equation for estimating actual evapotranspiration using heat units for wheat in arid regions. Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 8: 418-427.
25. She, R. Tong, L. Du, T. and M. Shukla. 2020. Response and Modeling of Hybrid Maize Seed Vigor to Water Deficit at Different Growth Stages. Journal of Water. 12(11): 1-20.

26. Trout, T. J. and K. C. Dejonge. 2017. Water productivity of maize in the US high plains. Journal of Irrigation Science. 35: 251–266.
27. Ucak, A. B. Ayasan, T. and N. Turan. 2016. Yield, quality and water use efficiencies of silage maize as effected by deficit irrigation treatments. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology. 4(12): 1228-1239.
28. Xiao, X. Sauer, T. J. Singer, J. W. Horton, R. Ren, T. and J. L. Heitman. 2016. Partitioning evaporation and transpiration in a maize field using heat-pulse sensors for evaporation measurement. Journal of American society of agricultural and biological engineers. 59(2): 591- 599.
29. Zhou, S. Liu, W. and W. Lin. 2017. The ratio of transpiration to evapotranspiration in a rain fed maize field on the Loess Plateau of China. Journal of water science and technology. 17(1): 221-228.
30. Separate Estimation of Maize Evapotranspiration Components by Using the Experimental Models, under Water Stress Conditions.

Separate Estimation of Maize Evapotranspiration Components by Using Experimental Models under Water Stress Conditions

R. Saeidi[1]

Assistant Prof., Irrigation and Drainage Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

saeidi@org.ikiu.ac.ir

Received: January 2022 and Accepted: June 2022

Abstract

For irrigation planning, parameters such as actual crop water needs (transpiration) and water losses (evaporation) are considered. In this research, for management of deficit irrigation, the amounts of maize evapotranspiration components were simulated under water stress conditions. Water stress was applied by reducing the soil water, relative to the readily available water. Four treatments were defined as depletion of the available soil water by 40% (I_0), 55% (I_1), 70% (I_2), and 85% (I_3). The amounts of maize evapotranspiration and its components (transpiration and evaporation rates separately) were measured in a mini-lysimeter. The seasonal total values of evapotranspiration and components of transpiration and evaporation were equal to 443, 319 and 124 mm (I_0), 401, 282 and 119 mm (I_1), 303, 211 and 92 mm (I_2), and 201, 127 and 74 mm (I_3), respectively. Soil water deficiency reduced the evapotranspiration and its components relative to the normal conditions (treatment I_0). Reduction of evaporation losses was favorable point in this deficit irrigation method (long irrigation interval). Transpiration and evaporation values were simulated based on the evapotranspiration data (in I_0), evapotranspiration stress coefficient (K_s), and crop growth stage sensitivity (K_{pi}). For this purpose, we used the linear, exponential, logarithmic, polynomial, and power functions as the regression models. By using the actual data, unknown coefficients in the functions were estimated by SPSS software and regression models were generated. Statistical analyses showed that the linear function (R^2= 0.91) and polynomial function (R^2= 0.874) were the optimal models for estimation of transpiration and evaporation components (under water stress conditions), respectively. The actual water requirement of crop and evaporation losses can be estimated more accurately by separate estimation of evapotranspiration components. This would provide a suitable criterion for irrigation planning and calculation of water use efficiency.

Keywords: Evaporation losses, Growth stage sensitivity, Regression modeling, Stress coefficient

[1] - Corresponding author: Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

Effect of Drought and Salinity Stress on Yield, Biochemical Properties, and Activity of Antioxidant Enzymes in Forage Sorghum

A. Emadi, O. Alizadeh, B. Amiri[1], H. Pirasteh-Anosheh, and M. Zare

Ph D. Student of Agronomy, Department of Agriculture, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Iran.
aremadi@miau.ac.ir
Associated Prof., Department of Agriculture, Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran.
alizadehomid51@yahoo.com
Assistant Prof., Department of Agronomy, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Iran.
bchamiri@gmail.com
Assistant Prof., National Salinity Research Centre, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Yazd, Iran.
h.pirasteh.a@gmail.com
Associated Prof., Department of Agronomy, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Iran.
mahdi.zare2009@gmail.com

Received: April 2022, and Accepted: August 2022

Abstract

In the present study, the effect of different levels of water and salinity stresses was investigated on dry matter production, biochemical attributes, and activity of antioxidant enzymes in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] in Marvdasht and Arsanjan regions in 2017. The treatments included four levels of water stress: 100%, 85%, 70%, and 55% of field capacity (FC) in the main plots and four levels of salinity stress: 1.5, 4.5, 7.5 and 10.5 dS m^{-1} in the sub plots, which were arranged in split plots based on randomized complete block design, with three replications. The results showed that water and salinity stresses in both regions were associated with decreased dry matter production and concentrations of chlorophylls a and b and carotenoids, while the concentration of free proline and the activity of antioxidant enzymes catalase, peroxidase and superoxide dismutase were increased depending on the stress level. Ascorbic peroxidase activity was increased only under water stress. The highest dry matter yields were obtained from 100% FC irrigation with 4.5 dS m^{-1} salinity and were 1.292 and 1.198 kg ha^{-1} in Marvdasht and Arsanjan, respectively. Non-significant effect in 85% FC irrigation regime showed that only 70% and 55% FC irrigation regimes led to water stress in sorghum. On the other hand, no significant difference was observed between non-saline conditions and 4.5 dS m^{-1}, which indicates salinity tolerance of sorghum, at least up to this level. In both regions, the intensity of changes due to water and salinity stress was correlated with the intensity of that stress. The results of this research showed that due to antagonistic effects, drought and salinity stresses have a greater effect on reducing plant yield; therefore, water deficit irrigation strategies are not recommended in case of using water with salinities of 7.5 dS m^{-1} and more for sorghum irrigation.

Keywords: Carotenoids, Irrigation regime, Chlorophyll

[1] - Corresponding author: Department of Agronomy, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Iran.

Determination of Crop Coefficient of Sugar Beet by Proximal Sensing Method Using Digital Images

R. Mohammadikia, A. A .Sadraddini[1], A. H. Nazemi, R. Delerhasannia, and A. Onnabi Milani

PhD. Candidate, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.
swrirm@yahoo.com
Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.
sadraddini@tabrizu.ac.ir
Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.
ahnazemi@yahoo.com
Associate Prof., Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.
delearhasannia@yahoo.com
Assistant Prof., Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Tabriz, Iran.
a_o_milani@yahoo.com

Received: April 2022 and Accepted: June 2022

Abstract

This study aimed to determine the crop coefficient of sugar beet using canopy cover extracted from digital images under different irrigation managements. The crop coefficient and canopy cover were directly measured by water balance and image processing methods, respectively, in 10 days intervals during the growing season. The crop coefficient of sugar beet in three irrigation managements with maximum allowable depletion (MAD) of 40%, 60%, and 80%, was estimated using its regression equation with canopy cover. This was modeled for potential conditions and then validated by using the average measurements in two years. The findings showed that the estimated crop coefficients were in good agreement with the observations in irrigation managements that had MAD of 40% and 60%. The coefficient of determination (R^2), normalized Root Mean Square Error (nRMSE), and model efficiency (EF) were 0.95, 0.11 and 0.95, for 40% MAD, 0.9, 0.13 and 0.85 for 60% MAD, respectively. The results illustrate that the crop coefficient of sugar beet, within the moisture range between field capacity to a MAD of 60%, can be reliably estimated by this approach. The values of determination coefficient (R^2), normalized Root Mean Square Error (nRMSE) and model efficiency (EF) decreased to 0.49, 0.37 and 0.63, respectively, for 80% MAD, indicating poor performance of the model under severe drought stress conditions. The proposed method has some advantages including easy and fast data collection, greater accuracy and lower cost, the ability to provide the desired number of images, and no need for meteorological data. Therefore, this can be applied to study the plant growth and crop coefficient variations during the growth period.

Keywords: Canopeo, Color space, Lysimetric, Maximum Allowable Depletion, Excessive green index

[1] - Corresponding author: Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.

Assessment of Soybean Applied Water and Water Productivity across Moghan Plain, Ardabil Province, Iran

F. Parchami-Araghi[1], F. Abbasi, and K. Akhavan
Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran.
f.parchamiaraghi@areeo.ac.ir
Prof., Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
fariborzabbasi@ymail.com
Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran.
akhavang12@gmail.com

Received: January 2022 and Accepted: June 2022

Abstract

In this study, the seasonal applied water and physical and economic water productivity of soybean were evaluated through monitoring 37 farmers' fields (with furrow/border irrigation systems) in Moghan Plain, Ardabil Province, Iran, during the 2020-21 growing season. The net soybean water requirement during that growing season and its 10-year mean value ranged from 431-691 mm and 442-671 mm with a mean of 542 and 543 mm, respectively. The mean seasonal total applied water (irrigation + effective precipitation) and the grain yield were 6554 m^3 ha^{-1} and 2.90 ton ha^{-1}, ranging from 5005-10009 m^3 ha^{-1} and 2.05-4.12 ton ha^{-1}, respectively. The mean seasonal total applied water for spring soybean (7906 m^3 ha^{-1}) was significantly ($P < 0.01$) higher than its corresponding value for summer soybean (6390 m^3 ha^{-1}). Total water productivity (WP_{I+Pe}) and economic water productivity ($WP_{\$}$) ranged from 0.18 to 0.30 kg m^{-3} and 15.21×10^3 to 62.40×10^3 Rials m^{-3} with a mean of 0.24 kg m^{-3} and 33.19×10^3 Rials m^{-3}, respectively. In most of the studied farms (70% of total cases), the grain yield was higher than the minimum expected threshold for irrigated soybean (2.5 ton ha^{-1}). The results indicated that reasonable levels of grain yield and water productivity indices can be achieved by applying five and three irrigations for spring and summer soybean, respectively. The mean water application efficiency over soybean growth stages in the studied fields ranged between 50-82%.

Keywords: FAO Penman-Monteith, Furrow Irrigation, Economic Water Productivity, Net Water Requirement

---

[1]- Corresponding author: Agricultural Engineering Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran.

Evaluation of the Effect of Different Irrigation Systems and Weed Control Treatments on Quantitative and Qualitative Yield of Sugarcane and Weeds Biomass

M. Fazli1, A. Zare[1], A.R. Siahpoosh, and E. Elahifard

MSc. Graduate in Weed Science, Plant Production and Genetics Department, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Bavi, Mollasani, Khuzestan, Iran.
fazlimahmood@yahoo.com
Assistant Prof., Plant Production and Genetics Department, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Bavi, Mollasani, Khuzestan, Iran.
ahmadzare@asnrukh.ac.ir
Assistant Prof., Plant Production and Genetics Department, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Bavi, Mollasani, Khuzestan, Iran.
siahpooshabdolreza@gmail.com
Assistant Prof., Plant Production and Genetics Department, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Bavi, Mollasani, Khuzestan, Iran.
e.elahifard@gmail.com

Received: February 2022, and Accepted: August 2022

Abstract

In order to investigate the effect of different irrigation systems and weed control treatments on quantitative and qualitative yield of sugarcane and weeds biomass, an experiment was conducted as split plot based on randomized complete block design (RCBD) with three replications in 2020 at Sugarcane Development Research and Training Institute of Khuzestan, Iran. The five irrigation systems included surface drip irrigation (I0), two types of subsurface drip irrigation with a discharge rate of 2.3 and 3.6 L/h and emitter spacing of 50 and 60 cm (I1 and I2 respectively), Low Energy Precision Application (LEPA) sprinkler irrigation (I3), and the conventional furrow irrigation method (I4) as the main plot, and weed treatments included no weed control throughout the season, (W0), weed control throughout the season (W1), and use of cultivator (W2). The highest and lowest mean cane yield (167 and 117 ton/ha, respectively) and sugar yield (18.24, 12.40 ton/ha, respectively) were observed in I3 and I4 irrigations, respectively. Mean cane and sugar yield in W0 were significantly lower than W1 and W2 treatments (with a difference of 18.34% and 18.78% for cane yield and 17.84% and 18.85% for sugar yield, respectively). Qualitative traits including Brix, syrup sucrose percentage and syrup purity percentage were not affected by irrigation systems and weed control treatments. The total dry matter of weeds for I0, I1, I2, I3 and I4 Irrigation treatments were 90, 78, 47, 43 and 173 g/m^2 under W0 treatment and 30, 23, 16, 15 and 40 g/m^2 under W2 treatment, respectively. In the condition of the study area, results indicated that adoption of LEPA sprinkler or subsurface drip irrigation system together with the use of cultivator in the first ratoon leads to irrigation water saving and reduces weeds competition in sugarcane fields.

Keywords: Brix, Furrow irrigation, integrated weed management, Sprinkler irrigation, subsurface irrigation

[1] - Corresponding author: Plant Production and Genetics Department, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Bavi, Mollasani, Khuzestan, Iran.

A Look at the Performance of Irrigation and Drainage Network of Varamin Plain Based on SWOT Model

M. Afshani, M. Sarai Tabrizi[1], and M. Teimouri

M.Sc. of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering and Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

afshani606@ymail.com

Assistant Prof., Department of Water Engineering and Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

mahdisarai@yahoo.com

Assistant Prof., Department of Rural Development, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

m.teimoori1982@yahoo.com

Received: April 2022, and Accepted: August 2022

Abstract

The current research was conducted with the aim of identifying the weaknesses, strengths, threats, and opportunities in the operation of the Dasht Varamin Network from the viewpoint of users, experts, and managers of the network. The research tool was a questionnaire whose validity was improved by completing 30 prototypes and checking reliability under the supervision of university professors, managers, and experts in this field. Data was collected by single-stage, random, and field survey. The statistical population included the network operators, experts, and active managers. The statistical sample size was 98 through the Cochrane relationship and 105 to avoid errors. The results of the SWOT analytical model showed that with increasing information and real awareness of the users about the challenges of the network, the cost of construction and maintenance, the actions of the Irrigation Department and Water Affairs, Agricultural Jihad, and other related organizations, will encourage the users to stop confronting and having a negative attitude. Thus, they would probably have a more responsible and concerned participation and would take more effective steps in order to remove the threat, eliminate the weakness, enhance the strength, and use the opportunities. The comparative examination of the opinions of experts such as users determined opportunities more than threats, weaknesses and strengths, this shows a shared view and hope for the existing opportunities of the network. From the respondents’ point of view, the priority was to determine the competitive strategies, then, the defensive ones. Knowing the problems of the users (challenge of the administrative process, inconsistency of the sectors related to water, negative view of the government measures by considering the previous unsuccessful experiences) experts can eliminate the weaknesses and threats in order to facilitate the affairs for the water users. Activities such as promoting new methods of irrigation and agriculture and showing the successful experiences of cooperative management of water users in the network, should have pioneering and practical results.

Keywords: Performance Evaluation; Water Users' Organization; Participatory Management

[1] - Corresponding author: Department of Water Engineering and Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Estimation of Volume of Applied Water and Water Productivity for Onion in Some Provinces of Iran

M. akbari[1*], F. Abbasi[2], A. Nasseri[3], M.A. Shahrokhnia[4], M. Khramian[5], M. Farzamniya[6], M. Keramati[7], A. Azizi[8], M. Abbasi[9], M. Zarea Mehrani[10], H. Khosravi[11], E. Moghbelidamane[12], M. M. Nakhjavanimoghaddam[13], N. Abbasi[14], and J. Baghani[15]

1- Associated Prof., Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. **akbari_m43@yahoo.com**
2- and14- Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. **fariborzabbasi@ymail.com and nader_iaeri@yahoo.com**
3- Associated Prof., Agricultural Engineering Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran. **nasseri_ab@yahoo.com**
4- Associated Prof., Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Fars, Iran. **mashahrokh@yahoo.com**
5- Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, Safi Abad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khuzestan, Iran. **khorramy.mohamad@yahoo.com**
6- Academic staff, Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran. **masoud_farzamnia@yahoo.com**
7- Academic staff, Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran. **majide_keramati@yahoo.com**
8- Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khuzestan, Iran. **Azy911@yahoo.com**
9- Academic staff, Soil and Water Research Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zanjan, Iran. **abasimohamad7@gmail.com**
10- Expert, Agricultural Engineering Research Department, Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bandar Abbas, Iran. **zare505@gmail.com**
11- Expert, Agricultural Engineering Research Department, North Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bojnord, Iran. **hassan_kho0571@yahoo.com**
12- Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Jiroft, Iran. **esmaeil804@gmail.com**
13- and 15- Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. **mehdin55@yahoo.com and baghani37@gmail.com**

Received: May 2022, and Accepted: August 2022

Abstract

This project was implemented with the aim of measuring water applied to onion under farmers' management in 190 selected sites at the production hubs of onion in Iran including Azarbaijan Sharghi, Isfahan, Khusestan, Zanjan, Kerman, Fars, Khorasan Razavi, Khorasan Shomali, and Hormozgan provinces. According to the results, differences between the average volumes of irrigation water in those provinces, different irrigation methods, various sources and salinities of irrigation water and soil, and different onion varieties were significant ($p<1\%$), during the growing season of 2020-2021. The average amount of applied water by farmers in those provinces was 9502, 13273, 9740, 16588, 9618, 13880, 11998, 8438 and 7057 m^3/ha, respectively, with the weighted average of 10823 m^3/ha. The onion yield in selected sites, varied from 20000 to 90000 kg/ha, with an average of 49980 kg/ha. The measured values were compared with the net irrigation water requirement estimated by the FAO Penman-Monteith method and with the National Water Document values. The results showed that the differences between average volumes of applied water by farmers, yield and irrigation water productivity, and irrigation water plus effective rainfall productivity in the selected sites were significant at 5% probability level. Irrigation water productivity varied from 3.13 to 6.30 kg/m^3 and its average was 4.93 kg/m^3. The average irrigation water plus effective rainfall productivity for onion in Iran was 4.50 kg/m^3. The average net irrigation water requirement in the study areas by the Penman-Monteith method and the National Water Document were 8834 and 6972 m^3/ha, respectively. These results showed that the average applied water in surface, sprinkler, and drip irrigation methods were 11453, 12740 and 10317 m^3/ha, respectively, with significant ($p<5\%$) difference. These results showed that in drip irrigation method, applied water was 10% lesser while irrigation water plus effective rainfall productivity was 35% higher. Transplanting seedling compared to direct seeding caused 14.7% reduction in applied water and 16.7% increase in water productivity. According to the results of this study, drip irrigation and transplanting method for onion fields is recommended.

Keywords: Onion yield, Irrigation methods, Net water requirement, Transplanting

* - Corresponding author: Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

Ministry of Jihad-e-Agriculture

Agricultural Research, Education, and Extension Organization

Soil and Water Research Institute

Journal of Water Research in Agriculture

Vol. 36, No. 2
2022

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

Journal of Water Research in Agriculture

wra.areeo.ir

Volume 36/ No 2/ 2022

ISSN: 2228-7140

Contents

Subject **Page**