



پژوهش آب در کشاورزی

Wra.areeo.ac.ir

ISSN: 2228-7140

ب / جلد ۳۷ / شماره ۳ / سال ۱۴۰۲

صفحه

عنوان

تحلیل تغییرات زمانی و مکانی آب موردنیاز گلخراپی در اراضی شالیزاری شبکه آبیاری سپیدرود با استفاده از اطلاعات رطوبت خاک ماهواره SMAP..... ۲۲۳

محمد رضا یزدانی، ابراهیم اسعدی اسکویی، اصغر رحمانی، ناصر دواتگر و بهاره دلسوزخاکی

تعیین نیاز آبی و ضرایب یک جزی و دوجزی خاکشیر (*Descurainia sophia L.*) با استفاده از لایسیمتر..... ۲۴۵

مرضیه علی آبادی، محمدحسین نجفی مود، عباس خاشعی سیوکی و علی شهیدی

اثر روش های آبیاری بر بهره وری آب، عملکرد و اجزای عملکرد اسفناج در شرایط اقلیمی اهواز..... ۲۵۵

خشایار پیغان، رضا ولی پور، سعید برومندنسب، محمد الباجی و ناصر عالم زاده انصاری

اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر عملکرد گیاه موسیر، در شرایط تنش شوری..... ۲۶۹

رضا سعیدی، محمد مهدی ضرابی و داود بابائی

بررسی برخی سازوکارهای مؤثر بر توسعه پایدار تعاونی آب بران شبکه آبیاری و زهکشی دشت سطر در کرمانشاه..... ۲۸۵

لیلا واحدی، لیلا زلیخائی سیار و مهرداد پویا

بررسی کیفیت آب های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی در بخش هایی از استان کرمان..... ۳۰۵

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

جلد ۳۷ شماره (۳)
۱۴۰۲

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

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

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

چهار شماره
دکتر حمید سیادت
مهندس فاطمه آقاجانی

تعداد انتشار در سال:
ویراستار انگلیسی:
صفحه آرایی:

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

- تحلیل تغییرات زمانی و مکانی آب مورد نیاز گلخراپی در اراضی شالیزاری شبکه آبیاری سپیدرود با استفاده از اطلاعات رطوبت خاک ماهواره SMAP..... ۲۲۳
 محمدرضا یزدانی، ابراهیم اسعدی اسکویی، اصغر رحمانی، ناصر دواتگر و بهاره دلسوزخاکی
- تعیین نیاز آبی و ضرایب یک جزیی و دوجزیی خاکشیر (*Descurainia sophia L.*) با استفاده از لایسیمتر..... ۲۴۵
 مرضیه علی آبادی، محمدحسین نجفی مود، عباس خاشعی سیوکی و علی شهیدی
- اثر روش‌های آبیاری بر بهره‌وری آب، عملکرد و اجزای عملکرد اسفناج در شرایط اقلیمی اهواز..... ۲۵۵
 خشایار پیغان، رضا ولی‌پور، سعید پرومندنسب، محمد الباجی و ناصر عالم‌زاده‌انصاری
- اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر عملکرد گیاه موسیر، در شرایط تنش شوری..... ۲۶۹
 رضا سعیدی، محمد مهدی ضرابی و داود بابائی
- بررسی برخی سازوکارهای مؤثر بر توسعه پایدار تعاونی آب‌بران شبکه آبیاری و زهکشی دشت سطر در کرمانشاه..... ۲۸۵
 لیلا واحدی، لیلا زلیخانی سیار و مهرداد پویا
- بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی در بخش‌هایی از استان کرمان..... ۳۰۵
 سمیه صدر

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

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

الف) اصول کلی

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

ب) نحوه تهیه و ارسال مقاله

نحوه نگارش مقاله

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

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

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

شناسنامه مقاله

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

برگ شناسه

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

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

عنوان مقاله

عنوان مقاله باید روان، گویا، مختصر و مفید بوده و در 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 پاراگراف باشد. چکیده انگلیسی باید ترجمه کامل چکیده فارسی باشد

واژه‌های کلیدی:

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

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

مقدمه

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

مواد و روشها

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

نتایج

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

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

بحث

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

تشکر و قدردانی

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

فهرست منابع

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

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

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

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

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

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

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

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

مثال‌های برای تنظیم منابع

مقاله از مجله

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

مقاله از کارگاه آموزشی یا علمی

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

مطلب از کتاب

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

مطلب نقل شده یک نویسنده در یک مجموعه مقالات

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

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

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

ذکر مطلب از اینترنت

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

منابع مورد استفاده در متن بدین صورت نگاشته شوند:

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

اسمیت (۲۰۰۲) گزارش کرد ...

اسمیت و جونز (۲۰۰۲) گزارش کردند...

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

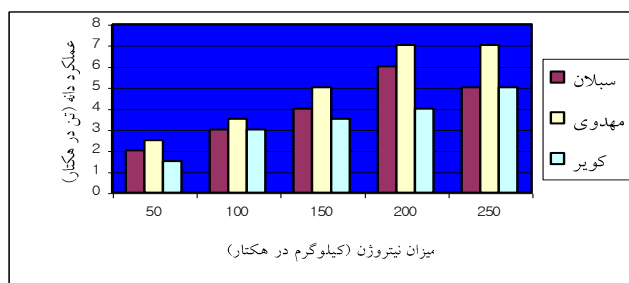
جدول نامناسب

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

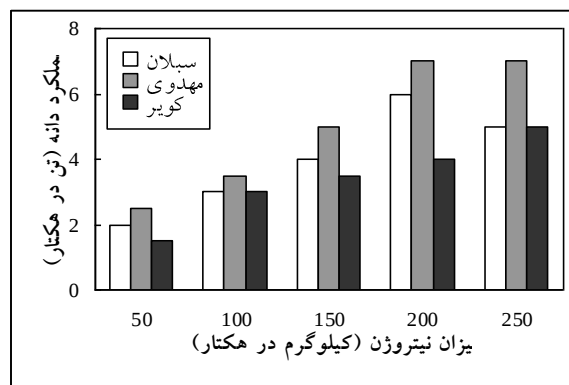
جدول مناسب

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

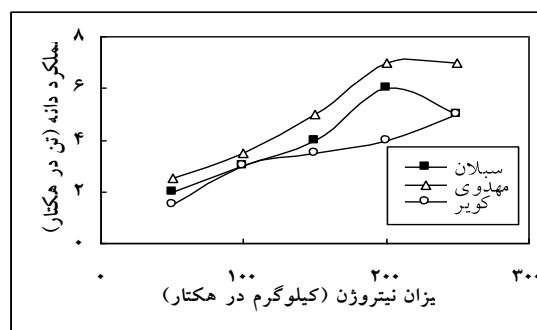
نامناسب



مناسب



مناسب



دکتر محمدرضا امداد.....	۳ دآوری
دکتر مجتبی خوش‌روش.....	۱ دآوری
دکتر محمدحسن رحیمیان.....	۲ دآوری
دکتر مجتبی رضایی.....	۱ دآوری
دکتر غلامحسن رنجبر.....	۱ دآوری
دکتر سعید سعادت.....	۱ دآوری
دکتر حسن علیپور.....	۱ دآوری
دکتر اسماعیل کرمی دهکردی.....	۲ دآوری
دکتر رضا محمدی کیا.....	۱ دآوری
مهندس اکبر محمدی محمدآبادی.....	۱ دآوری
دکتر علی مرشدی.....	۲ دآوری
دکتر فاطمه مسکینی.....	۴ دآوری
دکتر علی مومن پور.....	۱ دآوری
دکتر میلاد نوری.....	۱ دآوری

فرم تعهد نامه

نشریه پژوهش‌های آب در کشاورزی

اینجانب نویسنده مسئول مقاله زیر:

- سال‌های اجراء آزمایش ذکر شود

موارد زیر را به آگاهی می‌رسانم:

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

نام نام خانوادگی نویسنده اول: امضاء نویسنده اول مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده دوم: امضاء نویسنده دوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده سوم: امضاء نویسنده سوم مقاله

نام نام خانوادگی نویسنده چهارم: امضاء نویسنده چهارم مقاله

تحلیل تغییرات زمانی و مکانی آب موردنیاز گِلخراپی در اراضی شالیزاری شبکه

آبیاری سپیدرود با استفاده از اطلاعات رطوبت خاک ماهواره SMAP

محمدرضا یزدانی، ابراهیم اسعدی اسکویی*، اصغر رحمانی، ناصر دواتگر و بهاره دلسوزخاکی

استادیار پژوهشی، موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

smryazdany@yahoo.ca

استادیار پژوهشی، پژوهشکده اقلیم‌شناسی و تغییر اقلیم، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، مشهد، ایران.

e.asadi.o@gmail.com

دانشجوی دکتری، دانشگاه تهران، گروه علوم خاک، کرج، ایران.

a.rahmani@ut.ac.ir

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

n.davatgar@areeo.ac.ir

محقق، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

b_delsooz@yahoo.com

دریافت: آبان ۱۴۰۱ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۲

چکیده

به منظور تحلیل تغییرات زمانی و مکانی مقدار آب موردنیاز برای گِلخراپی (خاک‌ورزی خاک اشباع) در سطح اراضی شبکه آبیاری سپیدرود، داده‌های روزانه رطوبت خاک ماهواره SMAP در دوره هفت ساله (۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱) استفاده شد. مرحله گِلخراپی اراضی شالیزار از ۲۰ فروردین تا ۱۰ خرداد در نظر گرفته شد و پس از دسته‌بندی براساس احتمال وقوع مختلف (۱، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۹۰ و ۹۹ درصد) بررسی گردید و با استفاده از محاسبات رستری مورد تحلیل قرار گرفت. به منظور صحت‌سنجی محاسبات، مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از آماره‌های ارزیابی میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین اریب خطا (MBE) و ریشه میانگین نرمال شده مربعات خطا (NRMSE)، با مقادیر رطوبت اشباع خاک ۳۲۱ نمونه با مختصات جغرافیایی معین، که قبلاً اندازه‌گیری شده بود، مقایسه شد. نتایج نشان داد که در تمام سناریوهای رطوبتی (از مرطوب‌ترین تا خشک‌ترین)، مناطق کوهپایه‌ای، رطوبت کمتری نسبت به اراضی جلگه‌ای و خصوصاً مناطق پست داشتند و رطوبت خاک در طول دوره رشد روندی کاهشی نشان می‌داد. سرعت این کاهش به تدریج بیشتر شده و در مناطقی مشاهده شد که در انتهای فصل گِلخراپی (دهه اول خرداد) به ۲٪ در روز رسید. حجم آب ناخالص موردنیاز گِلخراپی از مرطوب‌ترین به خشک‌ترین سال روند افزایشی داشت و در میانه فصل (۱۳ تا ۱۵ اردیبهشت) به ترتیب از ۱۶۹۳ تا ۲۹۸۳ مترمکعب در هکتار و در انتهای فصل گِلخراپی به ترتیب از ۲۴۹۶ تا ۳۶۰۲ مترمکعب در هکتار به دست آمد. نتایج صحت‌سنجی نشان داد که مقادیر MAE، MBE و NRMSE به ترتیب ۴/۲۶٪، ۱/۵۹٪ و ۱۵٪ بود که برآوردی مناسب را نشان می‌داد. یافته‌ها نشان داد که تاخیر در انجام گِلخراپی، میزان آب مصرفی موردنیاز گِلخراپی را افزایش می‌دهد (۳۴/۱ متر مکعب بر هکتار به ازای هر روز تاخیر در سال نرمال). بنابراین، در تمامی شرایط به‌ویژه در سال‌های خشک، برای صرفه جویی در آب برای عملیات گِلخراپی در شالیزارهای این شبکه بهتر است رهاسازی و تامین آب موردنیاز از منابع آبی محلی (آب-بندان و چاه) یا از سد سپیدرود در اوایل اردیبهشت انجام شود.

واژه‌های کلیدی: نیاز آبی گِلخراپی، خاک‌ورزی خاک اشباع، تحلیل‌های احتمالاتی، صرفه جویی در آب

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



مقدمه

در ایران برنج یک محصول راهبردی است که نیاز آبی زیادی دارد. افزایش قیمت محصول و تمایل کشاورزان به توسعه کشت آن از یک طرف و از طرف دیگر، محدود بودن منابع آبی، اهمیت بررسی مقدار آب مصرفی را نشان می‌دهد. موسسه جهانی تحقیقات برنج (موسسه بین‌المللی تحقیقات برنج^۱، ۲۰۲۰) گزارش نمود که برای نرم‌سازی و شخم اولیه شالیزار در شرایط خیس بهتر است از دو تا سه سانتی‌متر آب در حدود سه تا هفت روز استفاده شود که می‌تواند در یک دوره ۴۰ روزه، به مقدار ۱۹۰ میلی‌متر برسد. توصیه بر این است که با کاهش دوره آماده‌سازی این مقدار کاهش داده شود؛ بنابراین در شالیزارها جهت مرطوب نمودن خاک و تسهیل در عملیات شخم یک تا دو روز پیش از زمان شخم، به زمین آب داده می‌شود. هدف از آبیاری در مرحله تهیه زمین، تأمین رطوبت لازم برای بهم‌زدن خاک و ایجاد مخلوط خاک و آب^۲ است (طالب‌پور، ۱۳۹۷)؛ بنابراین شخم و آماده‌سازی اراضی شالیزاری نیازمند شرایط خاص رطوبتی برای عملیات گُلخراپی و تسطیح کرت‌ها است و مقدار آب مصرفی در خاک‌های مختلف و در شرایط استفاده از ادوات مختلف یکسان نیست (طالب‌پور، ۱۳۹۷). در مطالعات پیشین از جمله دهقانی و همکاران (۲۰۲۲) برای بررسی آب مصرفی محصولات کشاورزی و به‌ویژه برنج، تنها نیاز آبی آن‌ها در دوره رشد در نظر گرفته شده و نیاز آبی خاک‌ورزی مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین پژوهش‌های بسیار محدودی به‌منظور تعیین مقدار آب موردنیاز گُلخراپی صورت گرفته است. بر اساس اطلاعات پایه، بسته به تخلخل خاک و ظرفیت اشباع آن، مقادیر متفاوتی از سوی محققین و نیز بعضی سازمان‌های مربوطه برای رطوبت گُلخراپی گزارش شده است (پیرمادیان و همکاران، ۲۰۰۴؛ فلاح، ۱۳۴۸) که تعیین مقدار دقیق آن در خاک‌های مختلف و در شرایط متفاوت رطوبتی و روش‌های آماده‌سازی، بر پایه تحقیقات علمی، لازم و

ضروری است. همچنین با توجه به تقارن مراحل آماده‌سازی زمین با ماه‌های پرباران در استان‌های شمالی ایران، چگونگی استفاده بهینه از آب به‌منظور آماده‌سازی زمین باید مورد تحقیق و توجه قرار گیرد (طالب‌پور، ۱۳۹۷).

بر اساس پژوهش‌های متعددی که در زمینه ارزیابی رطوبت گُلخراپی انجام شده‌است آب (ناخالص) موردنیاز برای آماده‌سازی زمین و غرقاب اولیه، در کشورهای مختلف متفاوت است؛ به‌طوری‌که در چین، ژاپن، کره، تایوان، بنگلادش، تایلند، مالزی، فیلیپین و هندوستان به‌ترتیب ۳۰۰، ۱۲۰، ۱۲۲، ۱۷۵، ۱۸۰، ۳۵۰، ۱۸۰، ۲۵۰ و ۲۹۸ میلی‌متر گزارش شده است (موسسه بین‌المللی تحقیقات برنج^۳، ۲۰۲۰). همچنین (هندریکس و همکاران، ۱۹۸۶) نیاز گُلخراپی شالیزارهای تسطیح شده و نشده را به‌ترتیب ۱۷۰ و ۲۵۵ میلی‌متر برآورد کرده‌اند. در پژوهشی دیگر طالب‌پور (۱۳۹۷) بیان داشت که در فرآیند گُلخراپی خاک‌های غالب استان گیلان با افزایش مقدار رطوبت اولیه خاک، بر اساس تابع لگاریتمی، آب مصرفی کاهش می‌یابد و همچنین میزان آب مصرفی برای گُلخراپی در شرایط رطوبت اولیه خاک با ۹۵ و ۱۰۰ درصد اشباع از نظر آماری بدون اختلاف و در رطوبت‌های اولیه ۹۰ و ۸۵ درصد اشباع این اختلاف معنادار است. همچنین یوسفی و همکاران (۱۳۸۷) اثر شدت‌های مختلف گُلخراپی بر نفوذ آب به خاک، نگهداشت آب توسط خاک و تعیین میزان آب مصرفی برای انجام گُلخراپی در سه کلاس بافت خاک غالب رس سیلتی، لُوم رسی و لُوم در اراضی شالیزاری استان گیلان را بررسی و بیان کردند که عملیات گُلخراپی قابلیت نگهداشت آب خاک را افزایش می‌دهد. ایشان گزارش نمودند که با افزایش شدت گُلخراپی، نگهداشت آب خاک در کلاس بافت رس سیلتی بیشتر از دو بافت دیگر بود و افزایش شدت گُلخراپی از سطح کم به زیاد سبب افزایش میزان آب مصرفی به‌طور معنی‌دار شد.

^۱ - International rice research institute (IRRI)^۲ - pudding^۳ - International rice research institute (IRRI)

در ایران و از جمله اراضی شالیکاری گیلان شبکه سراسری پایش رطوبت خاک وجود نداشته و اندازه‌گیری‌های رطوبت خاک محدود به مراکز تحقیقات هواشناسی کشاورزی سازمان هواشناسی کشور است. اندازه‌گیری‌های این ایستگاه‌ها نیز معمولاً در داخل شالیزار نبوده و منحصر به داخل پلاتفرم (سکو) هواشناسی و مناطق پشته (غیر شالیزاری) است. همچنین پراکندگی این ایستگاه‌ها در کشور نامنظم بوده و حتی برخی از استان‌ها فاقد ایستگاه اندازه‌گیری می‌باشند (اسعدی اسکویی و همکاران، ۱۴۰۰). از این رو در حال حاضر امکان بررسی توزیع زمانی-مکانی داده‌های رطوبت خاک با هدف مدیریت منابع آب و خاک، به‌ویژه در مباحث شالیکاری بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی مشکل بوده و دسترسی به نقشه‌های رطوبت خاک و تغییرات مکانی-زمانی منطقه‌ای آن مهیا نیست. برای رفع این مسئله، در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای و سنجنش از دور برای برآورد و مدل‌سازی رطوبت خاک توسعه داده شده است.

ماهواره پایش رطوبت خاک به‌صورت فعال و غیرفعال (SMAP^۱)، یکی از جدیدترین ماهواره‌هایی است که با مأموریت پایش جهانی رطوبت خاک توسط ناسا در سال ۲۰۱۵ به فضا ارسال شده و هدف اصلی آن پایش و نقشه‌برداری جهانی رطوبت خاک با درجه وضوح بالا و دقیق در دوره‌های زمانی کوتاه است. تاکنون تحقیقات متعددی در خصوص اعتبارسنجی محصولات رطوبت خاک این ماهواره و بررسی دقت و کیفیت داده‌ها و همچنین بررسی وجود خطاهای احتمالی در آن‌ها در مناطق مختلف دنیا شامل (ولپوری و همکاران، ۲۰۱۶) در ایالات متحده؛ ملادنوا و همکاران، (۲۰۲۰) در آفریقای جنوبی و استرالیا؛ الحاج و همکاران (۲۰۱۸) در فرانسه و لی و همکاران (۲۰۱۸) در فلات تبت انجام شده است. یافته‌های این پژوهش‌ها نشان داده که داده‌های رطوبت خاک SMAP ابزار قدرتمندی برای تهیه نقشه‌های

رطوبت خاک در مناطق مختلف جهان است. اگرچه در استفاده از این داده‌ها باید توجه داشت که قدرت تفکیک مکانی آن سبب محدودیت در کاربردهای علمی و کاهش مقیاس مطالعه می‌شود. علاوه بر آن هنوز نیاز به صحت-سنجی برای مناطقی با تنوع پوشش گیاهی، کاربری اراضی، خاک و خصوصیات اقلیمی که پارامترهای مؤثر بر تغییرپذیری رطوبت خاک در حوضه مورد مطالعه می-باشند، وجود دارد. مطالعات انجام شده در مورد ماهواره SMAP در ایران در قالب اهداف متنوعی بوده است. اسعدی اسکویی و همکاران (۱۴۰۱) به‌منظور بررسی زمانی-مکانی رطوبت خاک در پهنه ایران از داده‌های SMAP استفاده نمودند و گزارش نمودند که استفاده از این داده‌ها در محاسبه نوسانات مختلف ماهانه و سالانه رطوبت مفید بوده و از آنجا که این ماهواره امکان استفاده از داده‌های پیوسته با روش اندازه‌گیری یکنواخت را فراهم آورده است می‌توان گفت که انجام این محاسبات با استفاده از داده‌های زمینی با این کیفیت ممکن نبوده است. در مطالعات دیگری از ماهواره SMAP با هدف ارزیابی وضعیت خشکسالی (سوزا و همکاران، ۲۰۱۸؛ ملادنوا و همکاران، ۲۰۲۰) و برآورد مقدار رواناب (اکبر و همکاران، ۲۰۱۹؛ کرو و همکاران، ۲۰۱۹)، شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی (شیونگ و زنگ، ۲۰۱۹؛ کستر و همکاران، ۲۰۱۸)، تعیین شاخص خطر ریسک آتش‌سوزی (توماس و همکاران، ۲۰۲۰) و برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری (ژو و همکاران، ۲۰۲۱) نیز استفاده شده است. در پژوهشی حاجی ملکی و همکاران (۱۳۹۹) به اعتبارسنجی داده‌های رطوبت خاک سطحی ماهواره SMAP در کاربری‌های مختلف در حوضه سیمینه-زرنه پرداخته و نشان دادند که با توجه به عملکرد مناسب داده‌های رطوبت خاک در ماهواره SMAP، این داده‌ها می‌توانند در مطالعات هیدرولوژی و پیش‌بینی رواناب در اراضی مختلف استفاده شود. همچنین کرمی و همکاران (۱۳۹۹) به‌منظور بهبود وضوح مکانی داده‌های رطوبت خاک در ماهواره SMAP

^۱ -Soil Moisture Active Passive

از روش تلفیق رادار- تابش سنج^۱ در حوضه آبخیز فیروزآباد استان اردبیل استفاده کردند. در یک مطالعه غفاری و همکاران (۱۳۹۹) به توسعه الگوریتم‌های بهبودیافته برای ریزمقیاس‌سازی رطوبت خاک سطحی ماهواره SMAP با استفاده از داده ماهواره‌های نوری/حرارتی^۲ پرداختند. نتیجه نهایی تحقیقات انجام شده در ایران نشان می‌دهد که روش‌های به کار گرفته شده به خوبی مقیاس مکانی گسترده رطوبت خاک ماهواره SMAP را بهبود می‌بخشد. در مطالعه‌ای دیگر صبوری نوقابی و همکاران (۱۴۰۰) در یک دوره شش ماهه هم‌زمان با گذر ماهواره سنتینل یک^۳ و SMAP به اندازه‌گیری میدانی رطوبت خاک حدود هزار نمونه رطوبت خاک و اعتبار سنجی اندازه‌گیری‌های ماهواره SMAP پرداختند.

مدیریت کلان آبیاری در استان گیلان به دلیل کاهش شدید حجم آب سد سپیدرود به ویژه در سال‌های کم‌آبی، بر مبنای استفاده حداکثری از آب موجود در سطح استان متمرکز شده است (اسعدی اسکویی و همکاران، ۱۳۹۶). وضعیت آب و هوایی استان به گونه‌ای است که کشت زود هنگام به دلیل سرمای دیررس بهاره ممکن است خساراتی برای گیاه به بار آورد. از طرف دیگر کشت دیر هنگام و گرم شدن هوا ضمن خروج آب‌های سطحی به سمت دریا، موجب کاهش رطوبت خاک و افزایش آب مصرفی برای گلخراپی می‌شود. بر این اساس هر ساله تقویم زراعی برای تعیین شروع نشاکاری با بررسی پیش-بینی‌های هواشناسی توسط سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای استان گیلان با کمک موسسه تحقیقات برنج کشور و با توجه به وضعیت هیدرولوژیک هر سال، تهیه و اعلام می‌شود (اسعدی اسکویی و همکاران، ۱۴۰۰). این تاریخ عموماً از اوایل تا اواسط دهه سوم اردیبهشت بوده است. با این شرایط در بازه زمانی مورد اشاره برای بسیاری از کشاورزانی که منبع آب دیگری در اختیار ندارند تاریخ رهاسازی آب، تعیین‌کننده

زمان ورود آب به مزرعه است. آب موجود در استان شامل آب‌های جاری در رودخانه، نهرهای محلی و مهم‌تر از آن رطوبت موجود در خاک‌های سطحی شالیزارها است. در مورد آب‌های جاری، به دلیل کاهش دبی آن‌ها با گذشت زمان، مطالعه هیدرولوژی دیگری برای تعیین بهترین زمان شخم لازم است؛ اما در این پژوهش، موضوع استفاده حداکثری از آب موجود در خاک سطحی مزرعه با مطالعه رطوبت خاک مزارع و روند کم‌شدن آن با گذشت زمان مورد توجه قرار گرفته است. ازین رو پژوهش حاضر برای اولین بار در ایران با هدف استفاده مطلوب از داده‌های رطوبت خاک ماهواره SMAP در شالیزارهای استان گیلان در پایین دست سد سپیدرود برای تعیین روند تغییرات رطوبت خاک‌های شالیزاری و تعیین مقدار نیاز آبی برای مرحله گلخراپی در دوره آماری هفت ساله از زمان پرتاب ماهواره براساس محاسبه سطوح احتمال وقوع بررسی شده توسط اسعدی اسکویی و همکاران (۱۴۰۰)، برای سال‌های مختلف خشک، نرمال و مرطوب و همچنین پهنه‌بندی تغییرات مکانی پیوسته آن اجرا شد.

مواد و روش‌ها

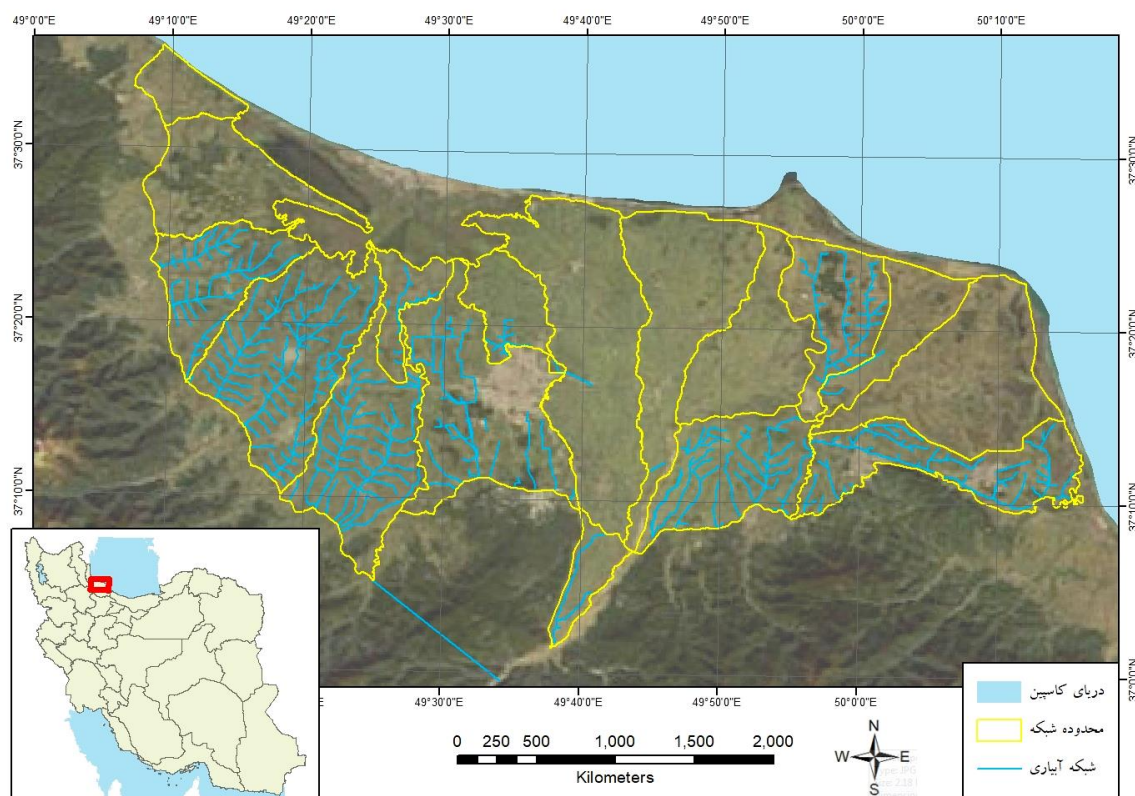
منطقه مطالعه شده

این پژوهش در محدوده اراضی جلگه مرکزی گیلان انجام شده است که بیشتر مناطق شالیکاری آن به-وسعت ۱۷۱ هزار هکتار تحت شبکه آبیاری رودخانه سپیدرود قرار دارد (شکل ۱). این منطقه یکی از مناطق مهم شالیکاری کشور است و سهم بسیاری در مقدار برنج تولیدی کشور دارد (اسعدی اسکویی و همکاران، ۱۳۹۶). شالیزارهای این منطقه را می‌توان به سه دسته کوهپایه‌ای، جلگه‌ای و پست تقسیم کرد. در محدوده مورد مطالعه، دوره گلخراپی از نیمه دوم فروردین تا دهه اول خرداد است و فصل رشد برنج در شالیزار از ۲۰ فروردین هم-زمان با نشاکاری شروع شده و در هفته دوم خرداد با برداشت محصول خاتمه می‌یابد.

¹- Synergy of Radar-Microwave Observations

²- Visible/Inferred satellite

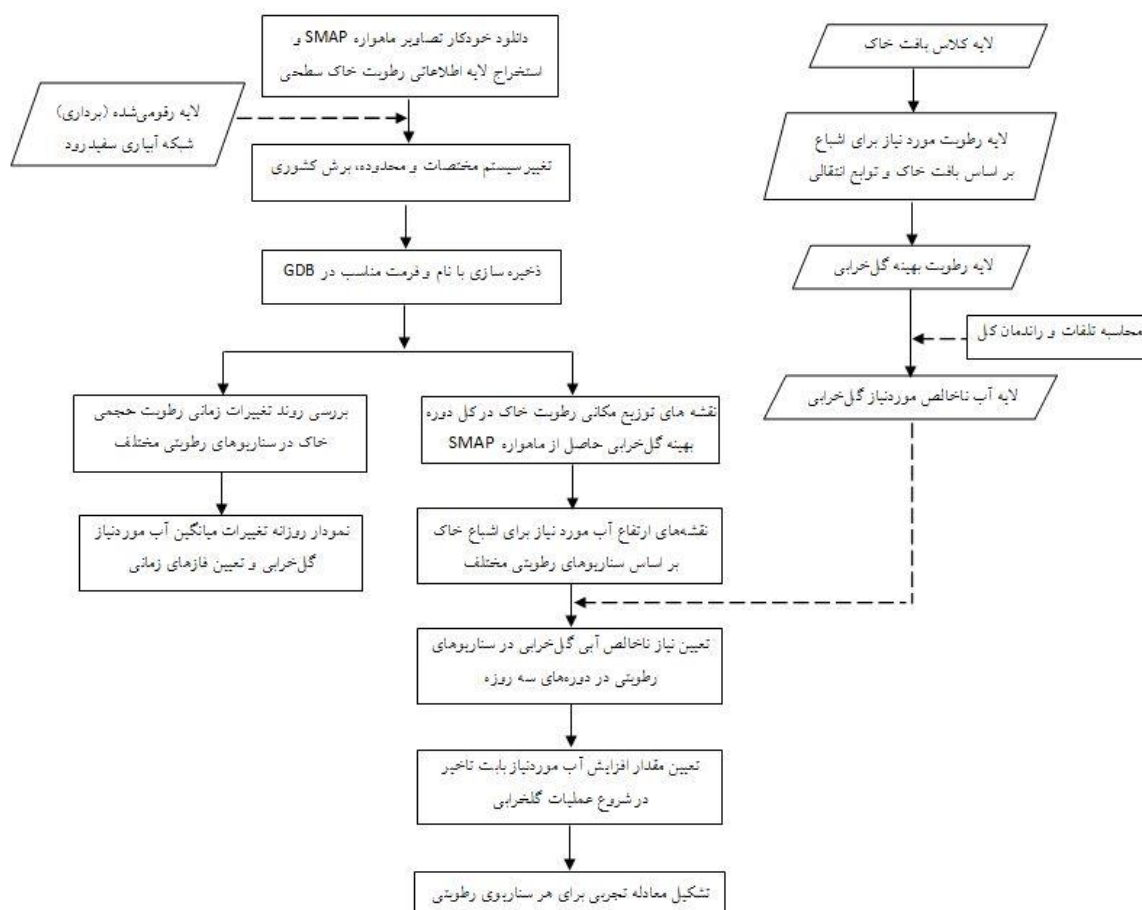
³-Sentinel-1



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و موقعیت جغرافیایی آن در ایران

جمله محاسبه لایه و نمودارهای کمینه، بیشینه و میانگین روزانه ژئولوسی برای دوره گلخراپی (اواخر فروردین تا اواسط خرداد) و سرانجام استخراج اطلاعات نیازمند این تحقیق در زبان برنامه‌نویسی آر (R) انجام شد. براین اساس برای یک دوره هفت‌ساله تعداد ۳۷۱ تصویر رستری از داده‌های روزانه رطوبت خاک با قدرت تفکیک نه کیلومتر مربع ذخیره‌سازی شدند. اگرچه این دوره آماری برای مطالعات اقلیمی کم است اما وجود سال‌های حدی بارشی ترسالی شدید (۲۰۱۹-۲۰۱۸) و کم بارشی شدید (۲۰۲۰-۲۰۲۱) در این سال‌ها باعث شد که حدود آستانه-های کم و زیاد مورد انتظار در دوره‌های آماری طولانی‌تر تا حد قابل اطمینان‌تری در نتایج این تحلیل آشکار شوند. روندنمای شیوه انجام مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است.

داده‌های رطوبت خاک در طی یک دوره زمانی هفت ساله از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ مستخرج از اطلاعات روزانه رطوبت خاک ماهواره SMAP برای دوره گلخراپی در منطقه (از ۲۰ فروردین تا ۱۰ خرداد) بررسی شدند. مأموریت اختصاصی SMAP بر اساس رادیومترهای مایکروویو باند L باهدف برآورد کمی رطوبت خاک در مقیاس جهانی طراحی شده است. در پژوهش حاضر از داده‌های سطح چهار رطوبت خاک (SMAP L4-SM) استفاده شد که هر سه ساعت یکبار و با قدرت تفکیک مکانی نه کیلومتر مربع در نتیجه درون‌یابی زمانی و مکانی داده‌های بزرگ‌مقیاس ۴۰ کیلومتری (به‌صورت افقی و عمودی) در دسترس است. تمامی فرایندهای دریافت اطلاعات رطوبت خاک، تبدیل سیستم مختصات، تغییر محدوده جغرافیایی و برش زدن داده‌ها در محدوده شبکه آبراری سپیدرود و همچنین پردازش‌های بعدی داده‌ها از



شکل ۲- الگوریتم تولید نقشه های رطوبت خاک از محصولات SMAP و محاسبه مقدار آب موردنیاز بهینه گلخراپی

بررسی تغییرات زمانی رطوبت خاک در اراضی شالیزاری شبکه آبیاری سپیدرود در ابتدای فصل (۲۰ تا ۲۲ فروردین)

ابتدا روند تغییرات زمانی (روزانه) رطوبت خاک در طول دوره گلخراپی برای سال های ترسالی (مرطوب-ترین سال)، نرمال (متوسط) و خشکسالی (خشک ترین سال) مورد انتظار برای کل اراضی شبکه بررسی شد. همچنین تغییرات رطوبت خاک، دمای هوا و رطوبت نسبی اتمسفر با هم مقایسه شد و بر اساس افزایش نرخ کاهش رطوبت و نیز افزایش توان تبخیری اتمسفر، تعداد فازهای زمانی برای تحلیل میزان آب موردنیاز گلخراپی بر مبنای رطوبت خاک در سال نرمال معین شد.

همان گونه که در شکل ۲ نیز مشاهده می شود ابتدا فازهای زمانی تعیین شد. همچنین نقشه رطوبت موردنیاز برای اشباع سازی خاک با توجه به بافت خاک تهیه شد. سپس با استفاده از این اطلاعات تغییرات مکانی-زمانی آب موردنیاز برای عملیات گلخراپی مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه مقدار افزایش آب موردنیاز برای گلخراپی (در هر کدام از فازهای زمانی) به ازای تأخیر در شروع عملیات گلخراپی محاسبه و سپس معادله تجربی محاسبه میزان آب موردنیاز گلخراپی تهیه شد. این مراحل در ادامه به شرح توضیح داده خواهد شد:

(MAE)^۱، میانگین اریب خطا (MBE)^۲ و ریشه میانگین نرمال شده مربعات خطا (NRMSE)^۳ با مقادیر پیش‌بینی- شده مقایسه شد (رابطه‌های ۱، ۲ و ۳):

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (۱)$$

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

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad (۳)$$

که در آن‌ها: O_i مقدار مشاهده، P_i مقدار برآورد شده، $\bar{O}$ میانگین مقادیر مشاهده و n تعداد مشاهدات است. شاخص‌های MAE و MBE معیاری از خطا هستند و هر اندازه به صفر نزدیک‌تر باشند، نشان‌دهنده بالا بودن دقت برآورد می‌باشند (لی و هیپ، ۲۰۱۴). $NRMSE$ به‌صورت درصد ارائه می‌شود و نشان‌دهنده تفاوت نسبی مقادیر واقعی و برآورد شده است. بر اساس نظر جامیسون و همکاران (۱۹۹۱) اگر مقدار $NRMSE$ کمتر از ۱۰٪ باشد، مدل عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد نسبتاً خوب و بیش از ۳۰٪ ضعیف محسوب می‌شود.

تهیه نقشه درصد حجمی رطوبت اشباع خاک (رطوبت موردنیاز برای اشباع‌سازی خاک)

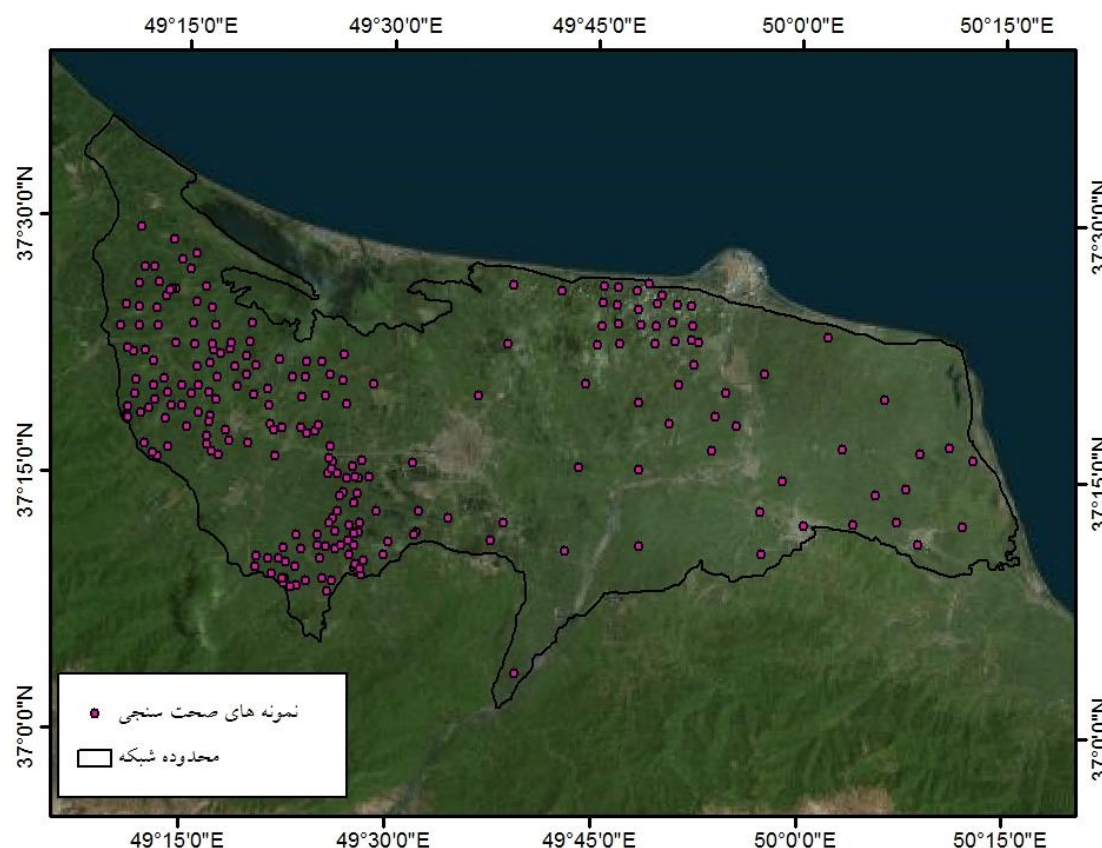
به‌منظور تهیه نقشه درصد حجمی رطوبت اشباع خاک در این تحقیق از نقشه‌های پیوسته (رستری) اندازه ذرات بافت خاک که توسط ملاح و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از ۴۶۶۵ نمونه سطحی از اراضی زراعی و باغی استان گیلان (که بیشتر در دشت‌های ساحلی و اراضی پست واقع شده‌اند) تهیه شده، استفاده شد. نقشه‌های پیوسته درصد رس و شن به‌ترتیب با ضریب تبیین ۰/۶۴ و ۰/۶۷ با استفاده از روش درون‌یابی وزن‌دهی عکس فاصله تهیه شده بودند. این نقشه‌ها در محیط نرم‌افزار SAGA GIS نسخه ۷/۹/۱ با استفاده از تابع Soil Texture Classification بر مبنای روش طبقه‌بندی ۱۲ کلاس آمریکایی به‌صورت کلاس‌های بافت خاک طبقه‌بندی شده‌اند. یافته‌ها نشان داده‌اند که در محدوده اراضی تحت پوشش شبکه، خاک‌های با بافت سنگین و سپس متوسط غالب بودند؛ بنابراین انتظار بر این است که این خاک‌ها با دارا بودن رس و سیلت بیشتر نسبت به شن، توانایی زیادی برای نگهداشت آب داشته باشند.

در پژوهش حاضر نقشه‌های رستری کلاس بافت خاک در محیط نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۷ با استفاده از دستورالعمل Raster to Polygon به فایل برداری تبدیل شد و بر اساس توابع انتقالی خاک تعریف شده در نرم‌افزار SPAW-USDA نسخه ۶/۰۲/۷۵ درصد حجمی رطوبت اشباع در هر کلاس بافتی محاسبه و در پایگاه داده نقشه‌های وکتوری به‌صورت یک‌لایه اضافه شد. در پایان لایه‌های وکتوری کلاس بافت خاک بر اساس لایه درصد حجمی رطوبت اشباع خاک طبقه‌بندی شده و با استفاده از دستور Feature to Raster به فایل رستری با قدرت تفکیک مکانی ۶۰۰ مترمربع تبدیل شدند. به‌منظور صحت‌سنجی محاسبات، مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت اشباع ۳۲۱ نمونه خاک با مختصات جغرافیایی معین، از موسسه تحقیقات برنج کشور اخذ شد (شکل ۳) و با استفاده از آماره‌های ارزیابی میانگین خطای مطلق

^۱ -Mean Absolute Error

^۲ -Mean Bias Error

^۳ -Normalized Root Mean Square Error



شکل ۳- منطقه مورد مطالعه و موقعیت جغرافیایی نقاط استفاده شده برای صحت‌سنجی محاسبات

خاک به مرحله گُلخراپی بر اساس بافت خاک تعیین و از تفاضل آن با مقدار رطوبت خاک مورد انتظار برای هر یک از سناریوهای رطوبتی، مقدار آب موردنیاز برای رساندن خاک به مرحله گُلخراپی برای آن سناریوی رطوبتی محاسبه شد. تمامی محاسبات به‌روش محاسبات رستری و با استفاده از داده‌های ماهواره SMAP برای سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۲۱ انجام شد. شایان ذکر است که در محاسبات رستری، با توجه به اینکه برای انجام عملیات گُلخراپی در هر هکتار حدود سه روز زمان لازم است و به ازای هر پیکسل، اطلاعات هفت سال موجود بود، بنابراین برای مناطقی که بازه سه روزه برای پر شدن آن‌ها موردنیاز است، ۲۷ مقدار رطوبتی برای هر پیکسل در نظر گرفته شد. سپس با توجه به این ۲۷ عدد، برای هر سناریو، مقدار رطوبت خاک مورد انتظار آن سناریو در نظر گرفته شد. در این پژوهش محاسبه مقدار رطوبت بهینه موردنیاز برای رساندن خاک به مرحله گُلخراپی به ترتیب زیر انجام شد:

تغییرات مکانی-زمانی رطوبت خاک (آب موردنیاز برای عملیات گُلخراپی)

به‌طورکلی در این مرحله ابتدا بر اساس دامنه و میزان رطوبت خاک مشاهده شده در سال‌های مختلف، هفت سناریوی رطوبتی تعریف شد. به این معنی که به‌جای ارزیابی خشکی بر اساس بارندگی، تبخیر و یا سایر پارامترهای هواشناسی، میزان رطوبت خاک مبنای تقسیم‌بندی سال‌های خشک و تر قرار گرفت. این سناریوها عبارتند از: سناریوهای خشک‌ترین سال (احتمال وقوع ۹۹ درصد)، سال بسیار خشک (احتمال وقوع ۹۰ درصد)، سال خشک (احتمال وقوع ۷۵ درصد)، سال نرمال (احتمال وقوع ۵۰ درصد)، سال مرطوب (احتمال وقوع ۲۵ درصد)، سال بسیار مرطوب (احتمال وقوع ۱۰ درصد) و مرطوب‌ترین سال (احتمال وقوع یک درصد) که به ترتیب معادل صدک‌های ۱، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۹۰ و ۹۹ می‌باشند. سپس مقدار رطوبت بهینه موردنیاز برای رساندن

که در آن y مقدار آب خالص مازاد بر اشباع برای گلخرابی، D نفوذ عمقی L نفوذ جانبی و Y آب ناخالص موردنیاز داخل مزرعه برای گلخرابی است.

در مرحله بعد با در نظر گرفتن این حقیقت که آب از سمت سد به سمت مزارع روانه می‌شود و در این انتقال مقادیری از آن هدر می‌رود، آب ناخالص برای برداشت از سد، به ترتیب زیر محاسبه شد:

راندمان کاربرد در مرحله گلخرابی از نسبت مقدار خالص به ناخالص داخل مزرعه محاسبه شد. راندمان انتقال و راندمان توزیع با توجه به نتایج طالب‌پور (۱۳۹۷) به ترتیب ۹۵ و ۷۲ درصد در نظر گرفته شد و راندمان کل از حاصل ضرب سه راندمان کاربرد، انتقال و توزیع به دست آمد. سپس از تقسیم نیاز ناخالص داخل مزرعه گلخرابی بر راندمان کل، مقدار کل آب ناخالص موردنیاز برای برداشت از سد برای گلخرابی در هر سناریوی رطوبتی محاسبه شد (در این پژوهش برای محاسبه حجم آب ناخالص موردنیاز برای هر هکتار، عمق رایج خاک‌ورزی در شالیزارهای تحت شبکه آبیاری سپیدرود ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد). در ادامه مقادیر نیاز ناخالص برداشت از سد برای گلخرابی با عنوان نیاز ناخالص آبی برای مرحله گلخرابی یا آب موردنیاز برای گلخرابی مورد بررسی قرار گرفت.

برای استفاده کاربردی از داده‌های یاد شده، تعیین روند تغییرات مصرف توسط کشاورزان در بازه‌های کاری ابتدای فصل بر اساس رهاسازی آب از سد سپیدرود و رطوبت خاک‌ها ضروری است. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد در شبکه آبیاری سپیدرود طول دوره گلخرابی از نیمه دوم فروردین تا دهه اول خرداد است. در این فاصله کشاورزان متناسب با وجود آب و همچنین سایر امکانات موردنیاز به‌طور تدریجی شروع به عملیات گلخرابی نموده و به‌طور تدریجی نیز با پایان گلخرابی اقدام به نشاکاری می‌کنند؛ بنابراین با توجه به این‌که زمان لازم برای انجام عملیات گلخرابی در هر هکتار حدوداً سه روز است، نتایج برای بازه‌های سه‌روزه محاسبه و ارائه شد. در این

نیاز آبی خالص برای مرحله خاک‌ورزی شامل آب لازم برای اشباع خاک (بر اساس بافت خاک) و آب لازم مازاد برای عملیات گلخرابی است. برای محاسبه آب موردنیاز خالص بعد از اشباع شدن خاک (مقدار آب مازاد خالص بر اشباع برای گلخرابی) از رابطه (۴) استفاده شد (طالب‌پور، ۱۳۹۷).

$$y = -142.87\theta_i + 95.949 \quad (4)$$

که در آن: θ_i رطوبت خاک (درصد حجمی) قبل از گلخرابی و y (mm) مقدار آب خالص مازاد بر اشباع برای گلخرابی کامل است.

آب ناخالص موردنیاز داخل مزرعه برای گلخرابی شامل نیاز بخش‌های خالص، تبخیر در هنگام عملیات خاک‌ورزی، نفوذ عمقی، نفوذ جانبی و رواناب خروجی است. در این رابطه طول دوره خاک‌ورزی برای محاسبه مقادیر فوق بر اساس مشاهدات تجربی متناسب با رطوبت خاک از شش روز برای خاک‌های مرطوب تا ۱۱ روز برای خاک‌های خشک در نظر گرفته شد.

برای محاسبه نفوذ عمقی (D) و جانبی (L) بر حسب میلی‌متر از روابط (۵ و ۶) استفاده شد (طالب‌پور، ۱۳۹۷).

$$D = -16.385\theta_i + 8.312 \quad (5)$$

$$L = -2.6795\theta_i + 1.2931 \quad (6)$$

برای در نظر گرفتن حجم تلفات نفوذ عمقی و جانبی، مجموع آن‌ها به مقدار آب مازاد بر اشباع برای گلخرابی (y) اضافه شد. مقدار رواناب خروجی نیز بر اساس مشاهدات تجربی در سیستم آبیاری کرت به کرت که در آن وجود رواناب خروجی غیرقابل اجتناب است، از شش تا ۱۵ درصد (به‌طور متوسط ۱۰ درصد) نیاز خالص متناسب با رطوبت خاک قبل از گلخرابی در نظر گرفته شد (طالب‌پور، ۱۳۹۷). بنابر آنچه توضیح داده شد، آب ناخالص موردنیاز داخل مزرعه برای گلخرابی از رابطه (۷) به دست آمد.

$$Y = (y + D + L) * 1.1 \quad (7)$$

معادله تجربی محاسبه میزان آب موردنیاز گُلخراپی

در انتها معادله تجربی محاسبه میزان آب مورد- نیاز گُلخراپی به منظور برآورد میزان آب موردنیاز گُلخراپی به تفکیک فازهای زمانی برای هر یک از سناریوهای رطوبتی تهیه شد.

نتایج و بحث

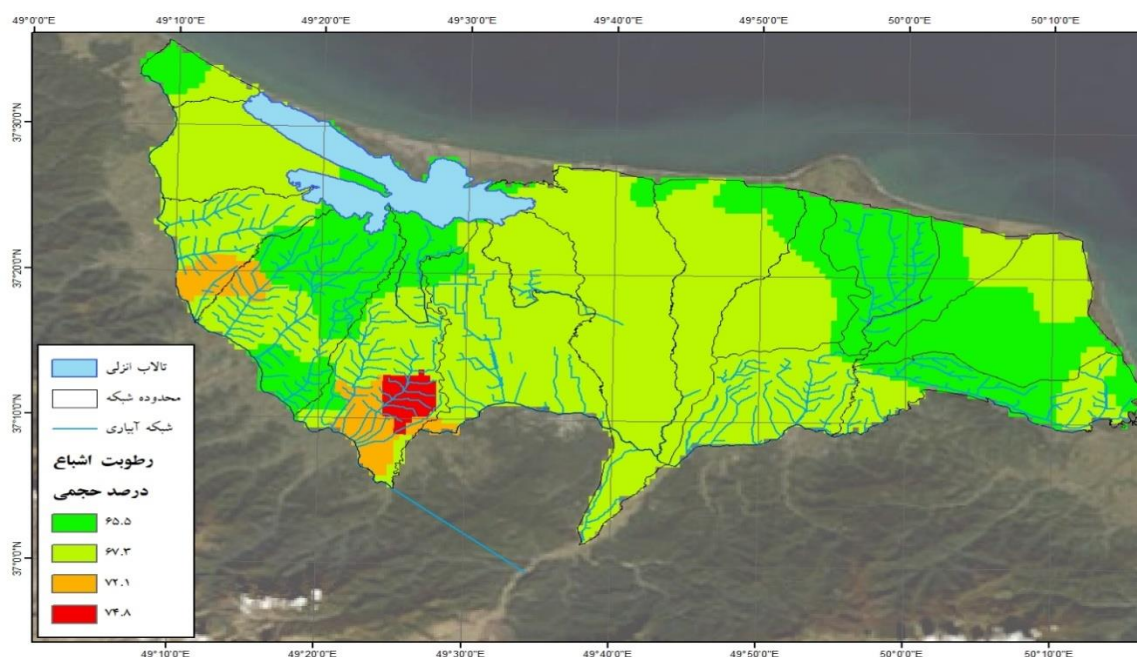
رطوبت موردنیاز برای اشباع سازی خاک در خاک‌های شالیزاری شبکه آبیاری سپیدرود

نقشه درصد حجمی رطوبت اشباع خاک (شکل ۴) و جدول ۱ نشان‌دهنده این است که بر پایه توزیع بافت خاک در مناطق مختلف شبکه، آب موردنیاز برای اشباع خاک (نیاز خالص) به طور میانگین ۶۶ درصد حجمی است. این مقدار در دشت صومعه سرا و همچنین مناطق شرقی نزدیک ۶۵ درصد و در جنوب غربی (چوبر شفت) و غرب (گوراب زرمیخ) به ۷۴ درصد حجمی می- رسد. به طور کلی اراضی دشت مرکزی کمترین و مناطق شرقی و میانه بخش غربی بیشترین نیاز خالص آبی برای گُلخراپی و رساندن رطوبت به حالت اشباع دارند.

رابطه یکی از مهم ترین عوامل تعیین کننده، تاریخ رهاسازی آب از سد سپیدرود است. بر این مبنا درصد کشاورزانی که در طی بازه کاری ابتدای فصل به طور روزانه عملیات گُلخراپی را متناسب با تاریخ‌های مختلف رهاسازی آب از سد و همچنین رطوبت موجود در خاک مزرعه آغاز می- نمایند، بر اساس آمار پیشرفت کاری تهیه شده توسط کارشناسان جهاد کشاورزی استان گیلان در سال‌های مختلف در نظر گرفته شد.

محاسبه مقدار افزایش آب موردنیاز برای گُلخراپی برای تأخیر در شروع عملیات گُلخراپی

در مرحله بعد، برای هر سناریوی رطوبتی، به تفکیک فاز زمانی، از مقادیر نیاز ناخالص آبی برای مرحله گُلخراپی، میانگین (جمع نیاز ناخالص آبی برای مرحله گُلخراپی در هر کدام از فازهای زمانی هر سناریو تقسیم بر تعداد روزهای آن فاز) گرفته شد و پس از در نظر گرفتن مساحت شبکه، به عنوان میانگین مقدار افزایش آب مورد- نیاز برای گُلخراپی، در شرایط مختلف رطوبتی، در هر فاز زمانی، به ازای هر روز تأخیر در شروع عملیات گُلخراپی ارائه شد.



شکل ۴- نقشه درصد حجمی رطوبت بهینه اشباع سازی خاک در قسمت‌های مختلف شبکه آبیاری و زهکشی سپیدرود استان گیلان

جدول ۱- مساحت، درصد و مقدار رطوبت اشباع (درصد) در خاک‌های مختلف

رنگ خاک در نقشه	مساحت (هکتار)	درصد از کل اراضی	رطوبت اشباع
سبز پررنگ	۵۴۷۲۰	۳۲	۶۵/۵
سبز کم‌رنگ	۱۰۸۹۲۷	۶۳/۷	۶۷/۳
نارنجی	۳۵۹۱	۲/۱	۷۲/۱
قرمز	۱۸۸۱	۱/۱	۷۴/۸
میانگین	-	-	۶۶/۱

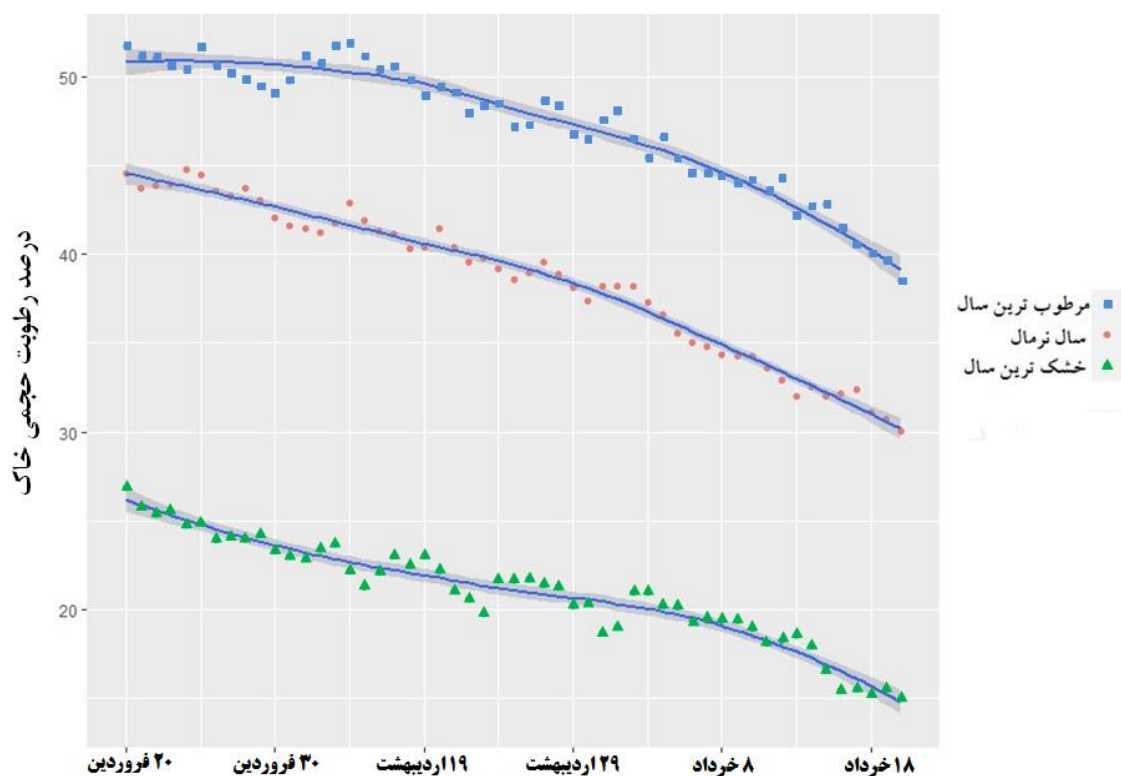
نتایج صحت‌سنجی

با توجه به این‌که مقادیر برآورد شده رطوبت اشباع برای ۳۲۱ نمونه خاک بررسی‌شده بین ۶۵/۵ تا ۷۴/۸ و مقادیر اندازه‌گیری شده توسط موسسه تحقیقات برنج کشور برای این خاک‌ها بین ۶۴/۴ و ۷۵/۵ بود، مقادیر MAE، MBE و NRMSE محاسبه‌شده برای ارزیابی صحت برآورد رطوبت اشباع، به ترتیب ۴/۲۶، ۱/۵۹ و ۱۵٪ بودند که گویای قابل قبول بودن مقادیر محاسبه‌شده می‌باشند.

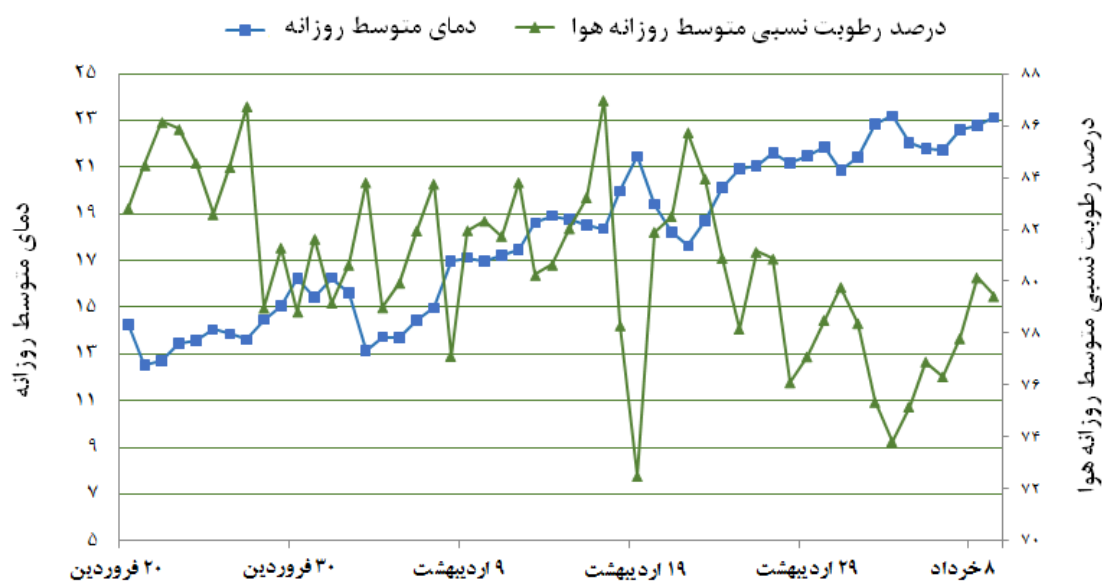
تغییرات زمانی رطوبت خاک در اراضی شالیزاری شبکه آبیاری سپیدرود

روند تغییرات زمانی (روزانه) رطوبت خاک در طول دوره گل‌خراپی برای مرطوب‌ترین سال (ترسالی)، سال نرمال و خشک‌ترین سال (خشکسالی) مورد انتظار برای کل اراضی شبکه در شکل ۵ نمایش داده شدند. همچنین شکل ۶ نشان می‌دهد که کاهش تدریجی رطوبت خاک در طول فصل با افزایش تدریجی دمای هوا و کاهش رطوبت نسبی اتمسفر هماهنگی دارد. در پژوهشی اسعدی اسکویی و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که تا زمانی که گیاه برنج به رشد کامل نرسیده می‌توان از دمای ایستگاه برای دمای مزرعه استفاده نمود؛ بنابراین در این

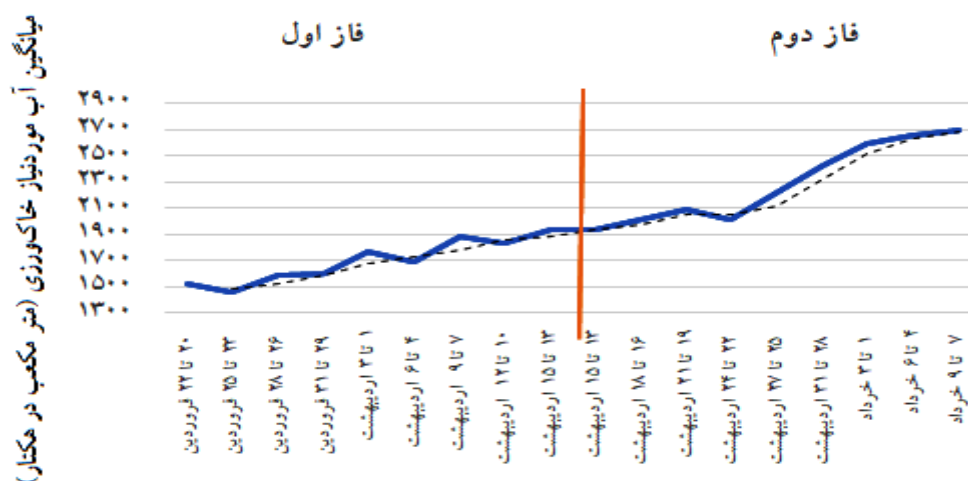
نمودار از اطلاعات دمایی ایستگاه هواشناسی کشاورزی رشت استفاده شده‌است. از نقطه‌نظر زمانی در دهه پایانی فروردین و در سال‌های خشک، شاهد افزایش ۳۵ درصدی شیب کاهش رطوبت حجمی خاک نسبت به سال‌های مرطوب و حدود ۲۵ درصدی نسبت به سال‌های نرمال هستیم. به بیان دیگر در سال‌های خشک علی‌رغم اینکه رطوبت خاک کمتر است به‌ازای هر روز تأخیر در شروع عملیات در ابتدای فصل هم مقدار بیشتری از رطوبت خاک از دسترس خارج می‌شود که نشان‌دهنده تفاوت قابل توجه در سال‌های ترسالی و خشکسالی محتوای رطوبتی خاک در اراضی منطقه است. میانگین نرخ کاهش روزانه رطوبت حجمی خاک در این دوره در سال‌های ترسالی، نرمال و خشکسالی به ترتیب ۰/۲۷، ۰/۲۴ و ۰/۲۲ درصد در روز است اما نرخ کاهش رطوبت از دهه دوم اردیبهشت به بعد که منطبق با دما و ساعت آفتابی بیشتر و در نتیجه توان تبخیری اتمسفر زیاد بود، افزایش یافت و به بیشینه دو درصد در روز نیز رسید؛ بنابراین تحلیل میزان آب موردنیاز گل‌خراپی (برمبنای رطوبت خاک در سال نرمال) در دو فاز ۱) محدوده زمانی ۲۰ فروردین تا ۱۴ اردیبهشت و ۲) ۱۵ اردیبهشت تا ۱۰ خرداد قابل تفکیک است (شکل ۷).



شکل ۵- روند تغییرات زمانی درصد رطوبت حجمی خاک کل محدوده برای دوره بهینه گلخراپی در مرطوب‌ترین سال، سال نرمال و خشک‌ترین سال



شکل ۶- روند تغییرات میانگین دما و درصد رطوبت نسبی متوسط روزانه هوا در بازه زمانی مورد مطالعه (۲۰ فروردین تا ۱۰ خرداد)

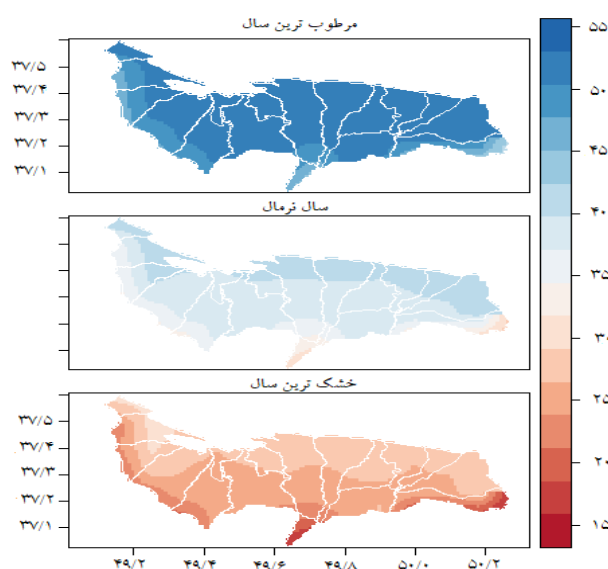


شکل ۷- روند تغییرات میانگین آب موردنیاز خاک‌ورزی (متر مکعب در هکتار) در بازه زمانی مورد مطالعه

با رطوبت متوسط به حدود ۴۰ و در سال‌های خشکسالی (خشک‌ترین سال) به حدود ۲۵ درصد حجمی رسید. مناطق نوار ساحلی و به‌ویژه اراضی پیرامون تالاب انزلی و دشت صومعه‌سرا مرطوب‌ترین مناطق و اراضی مجاور مناطق کوهپایه‌ای به‌ویژه دهانه دره سپیدرود (به‌علت ارتفاع بیشتر) و منتهی‌الیه شرقی محدوده (به‌علت کلاس بافت خاک سبک‌تر) دارای خشک‌ترین وضعیت بودند. مناطق مرکزی نیز در سال‌های خشک، افت ۲۰ تا ۲۵ درصدی نسبت به وضعیت مرطوب نشان دادند.

تغییرات مکانی-زمانی رطوبت خاک در اراضی شالیزاری سپیدرود در ابتدای فصل

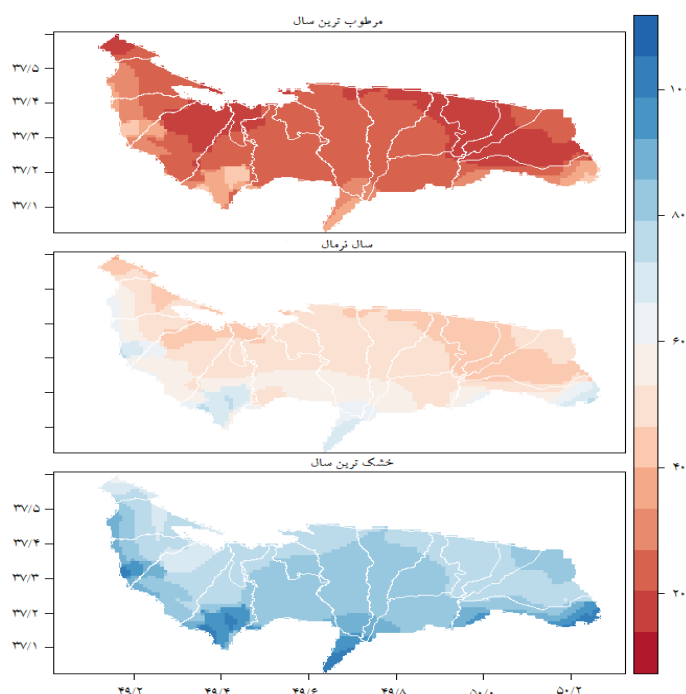
شکل ۸ نقشه‌های تغییرات مکانی مقدار رطوبت خاک، در سه سناریوی خشک‌ترین سال (۹۹ درصد)، نرمال (۵۰ درصد) و مرطوب‌ترین سال (یک درصد) بر اساس مشاهدات هفت‌ساله ماهواره SMAP برای دوره گلخراپی شالیزار در استان گیلان (۲۰ فروردین تا ۱۰ خرداد) را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل در مرطوب‌ترین سال، رطوبت خاک بیشتر مناطق مورد مطالعه بیش از ۵۰ درصد حجمی بود. در سال‌های نرمال



شکل ۸- الگوی توزیع مکانی خشک‌ترین سال، سال نرمال و مرطوب‌ترین سال (سال ۲۰۲۱-۲۰۱۵) درصد حجمی رطوبت خاک حاصل از ماهواره SMAP در کل دوره بهینه گلخراپی

نیاز دارند. همان‌طور که طالب‌پور (۱۳۹۷) و اسعدی اسکویی و همکاران (۱۴۰۰) با بررسی نتایج مطالعات خود گزارش کرده‌اند، این امر به دلیل رطوبت خاک کمتر و همچنین راندمان کاربرد پایین‌تر، بافت خاک سبک‌تر و نشت جانبی بیشتر به دلیل شیب زیادتر اراضی و تأخیر در زمان شروع گلخراپی به دلیل اطمینان از وجود آب در این نواحی است. با این حال به دلیل محدود بودن سطح این اراضی نسبت به اراضی جلگه‌ای و پست، سهم کلی این اراضی از آب موردنیاز گلخراپی، کمتر از اراضی جلگه‌ای و پست شبکه است (شکل ۹).

در شکل ۹ نقشه‌های تغییرات مکانی آب موردنیاز تا رسیدن به مرحله اشباع، در سه سناریوی خشک-ترین سال (۹۹ درصد)، نرمال (۵۰ درصد) و مرطوب‌ترین سال (یک درصد) بر اساس مشاهدات هفت‌ساله ماهواره SMAP برای دوره گلخراپی شالیزار در استان گیلان (۲۰ فروردین تا ۱۰ خرداد) نمایش داده شدند. در واقع این نقشه‌ها از تفاضل رطوبت خاک (بر اساس داده‌های ماهواره SMAP) و مقدار آب لازم برای اشباع به‌دست‌آمده است. بر اساس این نقشه‌ها در خصوص مقدار آب موردنیاز در واحد سطح، نواحی کوهپایه‌ای شبکه به آب بیشتری برای انجام عملیات شخم و گلخراپی



شکل ۹- نقشه‌های الگوی مکانی نسبت متوسط دوره‌ای ارتفاع آب (میلی‌متر) موردنیاز برای رساندن خاک به حد اشباع در خشک‌ترین سال، سال نرمال و مرطوب‌ترین سال

با احتساب میانگین عمق ۲۰ سانتی‌متر برای گلخراپی و برآورد مقادیر مختلف تلفات نفوذ عمقی، جانبی و رواناب خروجی، و راندمان کل و سپس ترکیب آن با آب موردنیاز تا رسیدن به مرحله اشباع، حجم آب ناخالص موردنیاز برای مرحله گلخراپی با احتمالات مختلف در دوره‌های سه‌روزه از بیستم فروردین تا ۱۰ خرداد در اراضی زیر پوشش شبکه سپیدرود (بر حسب

میلیون مترمکعب در اراضی شبکه) محاسبه و در جدول ۲ ارائه شده است. در سال‌های با وضعیت نرمال آب موردنیاز برای خاک‌ورزی در پهنه استان در تاریخ ۲۲ و ۳۱ فروردین و ۶، ۱۲، ۲۱ و ۲۷ اردیبهشت و ۱۰ خرداد به ترتیب حدود ۱۵۱۷، ۱۵۹۴، ۱۶۸۵، ۱۸۲۷، ۲۰۷۸، ۲۲۲۳ و ۲۷۰۰ مترمکعب بر هکتار بود. همچنین در مرطوب‌ترین سال آب موردنیاز برای خاک‌ورزی در پهنه استان در این

تاریخ‌ها (۲۲ و ۳۱ فروردین و شش، ۱۲، ۲۱ و ۲۷ اردیبهشت و ۱۰ خرداد) به ترتیب حدود ۱۳۸۸، ۱۴۹۰، ۱۵۰۰، ۱۶۴۰، ۱۸۳۸، ۲۰۰۲ و ۲۴۹۶ مترمکعب بر هکتار است. در خشک‌ترین سال‌ها نیز متوسط آب موردنیاز برای خاک‌ورزی در پهنه استان در تاریخ‌های یادشده (۲۲ و ۳۱ فروردین و شش، ۱۲، ۲۱ و ۲۷ اردیبهشت و ۱۰ خرداد) به ترتیب حدود ۲۴۵۹، ۲۶۲۸، ۲۶۷۶، ۲۸۳۷، ۳۰۹۸، ۳۲۰۴، ۳۶۰۲ مترمکعب بر هکتار است. این مقادیر در همه سال‌های خشکسالی و نرمال و ترسالی در مناطق کوهپایه‌ای شبکه بیش از اراضی جلگه‌ای و پست شبکه است. با توجه به ارقام یادشده از جدول ۲، در همه شرایط افزایش شدید مقدار آب خاک‌ورزی با درنگ در شروع عملیات خاک‌ورزی مشهود است.

همچنین حجم آب ناخالص موردنیاز گلخرابی در میانه فصل (۱۳ تا ۱۵ اردیبهشت) برای مرطوب‌ترین سال، سال بسیار مرطوب، سال مرطوب، سال نرمال، سال خشک، سال بسیار خشک و خشک‌ترین سال به ترتیب ۱۶۹۳، ۱۸۰۰، ۱۸۵۴، ۱۹۳۶، ۲۰۴۵، ۲۲۶۷ و ۲۹۸۳ مترمکعب در هکتار است. این مقادیر در انتهای فصل گلخرابی (هفته دوم خرداد) به ترتیب ۲۴۹۶، ۲۵۸۳، ۲۶۱۲، ۲۷۰۰، ۲۸۱۷، ۳۰۵۵ و ۳۶۰۲ مترمکعب در هکتار بود؛ بنابراین تأخیر در شروع عملیات گلخرابی در سال‌های خشک، مصرف آب موردنیاز گلخرابی را تا ۵۰۰ مترمکعب در هکتار نسبت به شروع به موقع عملیات و تا ۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار نسبت به کاشت زودهنگام افزایش می‌دهد.

نگاهی دقیق‌تر به جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر تأخیر بر افزایش نیاز آبی گلخرابی از ۲۴ اردیبهشت به بعد افزایش می‌یابد و به‌طور متوسط به ۵/۹ میلیون مترمکعب در سطح شبکه می‌رسد. بر مبنای احتمالات ۲۵،

۱۰ و ۱ درصد رطوبت خاک، افزایش مقدار آب لازم برای خاک‌ورزی در سال‌های خشک، بسیار خشک و خشک‌ترین، به ترتیب برابر ۴، ۱۸ و ۵۳ درصد نسبت به رطوبت میانگین بود. کاهش آب موردنیاز برای خاک‌ورزی در سال‌های مرطوب، بسیار مرطوب و مرطوب‌ترین (احتمالات ۷۵ و ۹۰ درصد و ۹۹ رطوبت خاک) نیز به ترتیب برابر ۴، ۶ و ۱۰ درصد نسبت به رطوبت میانگین بوده که نشان‌دهنده افزایش شدید نیاز آبی برای گلخرابی در سال‌های خشک است. نیز در سال‌های خشک کاهش میزان آب لازم در تاریخ ۲۲ و ۳۱ فروردین و شش اردیبهشت نسبت به تاریخ ۱۲ اردیبهشت به ترتیب برابر ۱۶، ۱۰ و هشت درصد و افزایش میزان آب لازم برای گلخرابی در تاریخ ۲۱ و ۲۷ اردیبهشت و ۱۰ خرداد به ترتیب برابر ۱۳، ۲۲ و ۴۵ درصد است که نشان‌دهنده افزایش بسیار شدید آب موردنیاز برای گلخرابی در این مرحله با تأخیر در شروع عملیات گلخرابی است.

مقدار افزایش آب موردنیاز برای گلخرابی در نتیجه تأخیر در شروع عملیات گلخرابی

جدول ۳ نشان‌دهنده میزان افزایش آب موردنیاز گلخرابی به ازای هر روز تأخیر در شروع این عملیات در سناریوهای مختلف رطوبتی است. به عنوان مثال در یک سال نرمال به ازای هر روز تأخیر در شروع عملیات گلخرابی در فاز اول (تا قبل از ۲۴ فروردین) ۱۹/۱ مترمکعب معادل ۳/۳ میلیون مترمکعب در کل شبکه به نیاز آبی ناخالص گلخرابی افزوده می‌شود. این افزایش در روز برای فاز دوم ۳۴/۱ مترمکعب معادل ۵/۸ میلیون مترمکعب خواهد بود.

جدول ۲- نیاز ناخالص آبی برای مرحله گُلخراپی در سناریوهای رطوبتی (با سطوح مختلف احتمال وقوع) در دوره‌های سه‌روزه از ۲۰ فروردین در اراضی زیر پوشش شبکه سپیدرود (مترمکعب در هکتار)

بازه زمانی	خشک‌ترین سال	سال بسیار خشک	سال خشک	سال نرمال	سال مرطوب	سال بسیار مرطوب	مرطوب‌ترین سال
۲۰ تا ۲۲ فروردین	۲۵۴۹	۱۸۶۰	۱۵۱۷	۱۵۱۷	۱۴۳۹	۱۴۳۹	۱۳۸۸
۲۳ تا ۲۵ فروردین	۲۵۴۹	۱۸۰۷	۱۵۱۶	۱۴۶۵	۱۴۱۳	۱۳۸۸	۱۳۶۱
۲۶ تا ۲۸ فروردین	۲۶۷۲	۱۹۷۰	۱۶۲۰	۱۵۹۳	۱۵۴۰	۱۵۱۴	۱۴۳۵
۲۹ تا ۳۱ فروردین	۲۶۲۸	۱۹۹۲	۱۶۷۳	۱۵۹۴	۱۵۶۸	۱۴۹۰	۱۴۹۰
۱ تا ۳ اردیبهشت	۲۸۶۷	۲۲۱۰	۱۸۳۴	۱۷۷۰	۱۶۸۹	۱۶۶۳	۱۶۰۹
۴ تا ۶ اردیبهشت	۲۶۷۶	۲۰۰۶	۱۷۱۱	۱۶۸۵	۱۶۰۵	۱۵۵۳	۱۵۰۰
۷ تا ۹ اردیبهشت	۲۹۴۶	۲۲۴۹	۱۹۶۹	۱۸۸۶	۱۸۳۰	۱۷۴۹	۱۷۲۲
۱۰ تا ۱۲ اردیبهشت	۲۸۳۷	۲۱۵۵	۱۹۰۸	۱۸۲۷	۱۷۴۶	۱۷۲۰	۱۶۴۰
۱۳ تا ۱۵ اردیبهشت	۲۹۸۳	۲۲۶۷	۲۰۴۵	۱۹۳۶	۱۸۵۴	۱۸۰۰	۱۶۹۳
۱۶ تا ۱۸ اردیبهشت	۲۹۸۷	۲۲۶۵	۲۰۶۹	۲۰۱۴	۱۹۳۱	۱۸۷۶	۱۷۶۷
۱۹ تا ۲۱ اردیبهشت	۳۰۹۸	۲۴۲۶	۲۱۹۹	۲۰۸۷	۲۰۰۴	۱۹۷۶	۱۸۳۸
۲۲ تا ۲۴ اردیبهشت	۲۹۴۰	۲۳۳۹	۲۱۱۷	۲۰۰۷	۱۹۲۵	۱۹۲۵	۱۸۱۷
۲۵ تا ۲۷ اردیبهشت	۳۲۰۴	۲۵۶۲	۲۳۳۵	۲۲۲۳	۲۱۴۰	۲۰۸۴	۲۰۰۲
۲۸ تا ۳۱ اردیبهشت	۳۴۲۰	۲۷۷۰	۲۵۷۳	۲۴۲۲	۲۳۱۵	۲۲۵۱	۲۲۰۸
۱ خرداد	۳۶۱۶	۲۹۱۹	۲۷۱۲	۲۵۹۵	۲۴۷۹	۲۴۵۰	۲۳۰۶
۴ تا ۶ خرداد	۳۶۸۲	۲۹۸۲	۲۷۱۵	۲۶۵۶	۲۵۴۰	۲۵۱۰	۲۴۲۴
۷ تا ۱۰ خرداد	۳۶۰۲	۳۰۵۵	۲۸۱۷	۲۷۰۰	۲۶۱۲	۲۵۸۳	۲۴۹۶

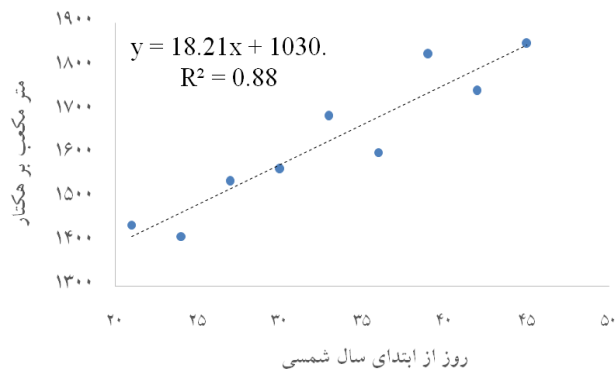
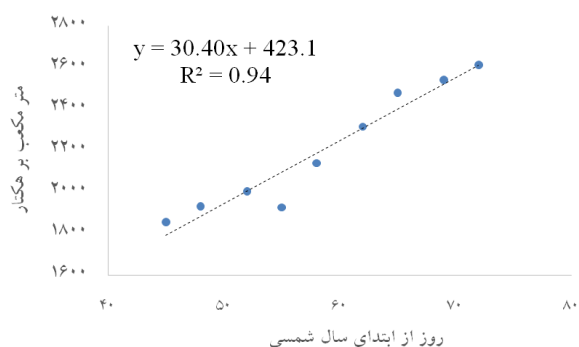
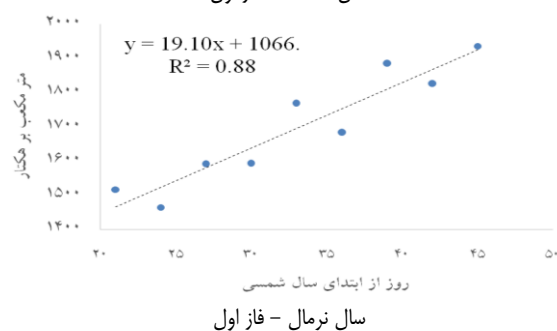
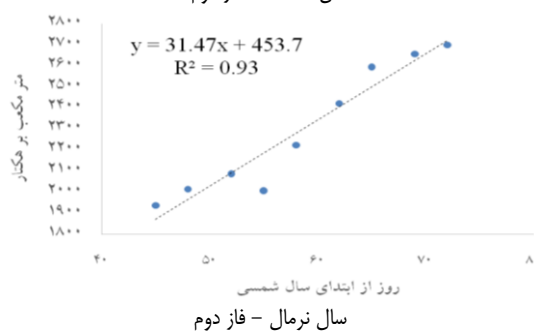
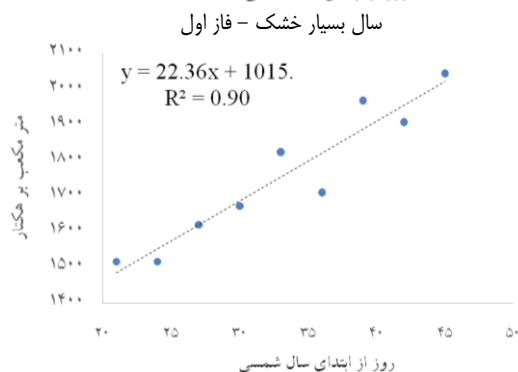
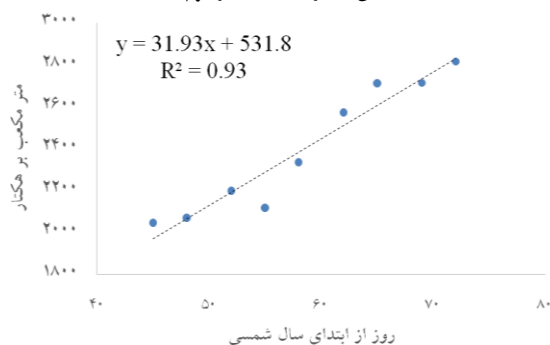
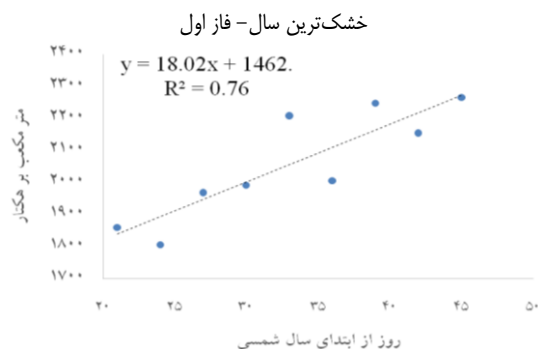
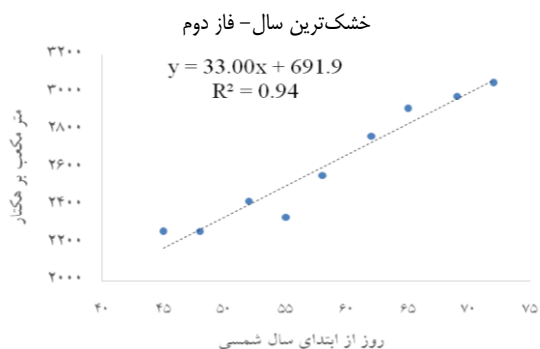
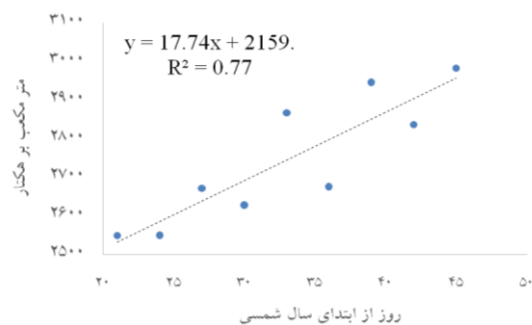
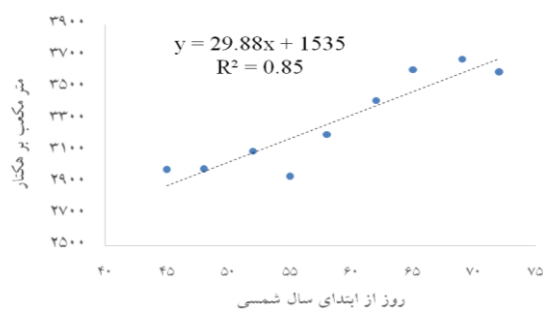
جدول ۳- میانگین مقدار افزایش آب موردنیاز برای گُلخراپی در شرایط مختلف رطوبتی در فاز اول و دوم به ازای هر روز تأخیر در شروع عملیات گُلخراپی

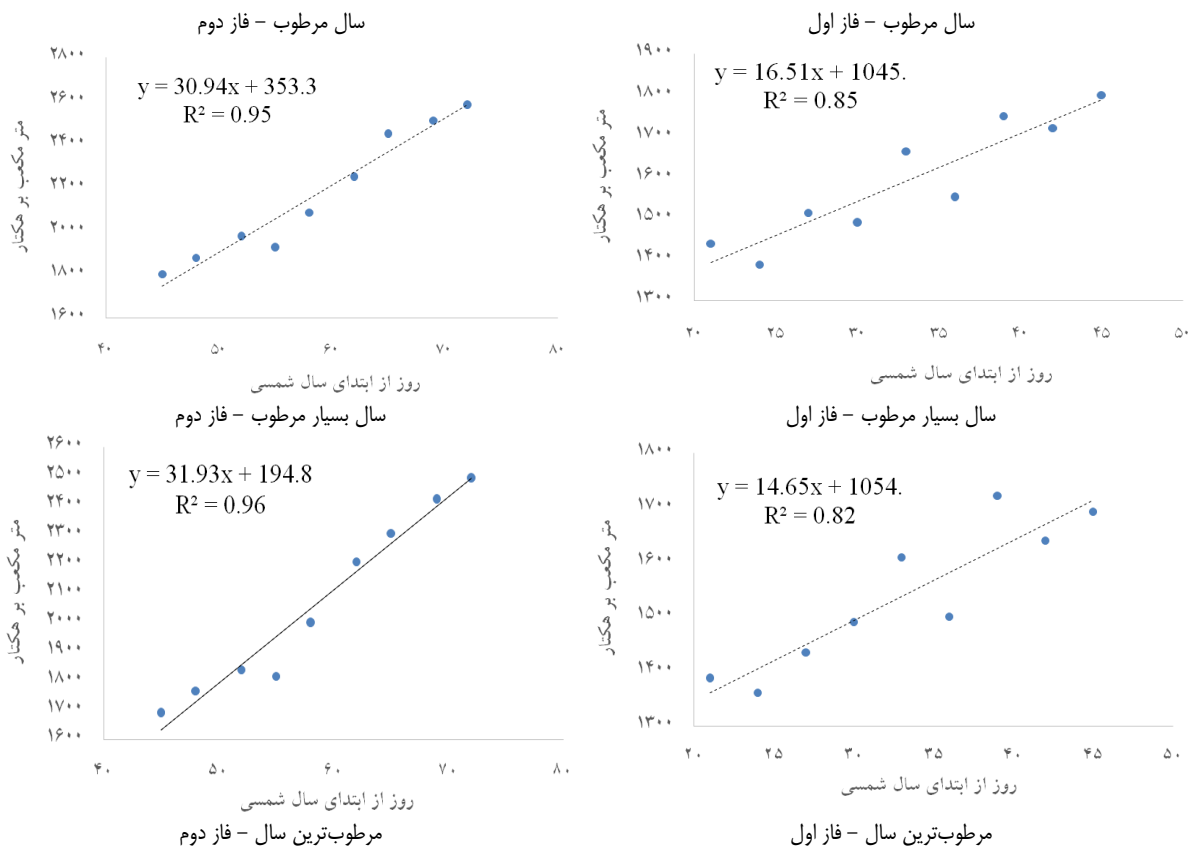
مقدار رطوبت	میزان افزایش در هکتار در فاز اول	میزان افزایش در شبکه در فاز اول	میزان افزایش در هکتار در فاز دوم	میزان افزایش در شبکه در فاز دوم
مترمکعب بر هکتار	مترمکعب بر هکتار	مترمکعب بر هکتار	مترمکعب بر هکتار	مترمکعب بر هکتار
خشک‌ترین سال	۱۷/۷	۳/۰	۳۲/۳	۵/۵
سال بسیار خشک	۱۸/۱	۳/۱	۳۵/۸	۶/۱
سال خشک	۲۲/۴	۳/۸	۳۴/۶	۵/۹
سال نرمال	۱۹/۱	۳/۳	۳۴/۱	۵/۸
سال مرطوب	۱۸/۲	۳/۱	۳۳/۹	۵/۶
سال بسیار مرطوب	۱۶/۵	۲/۸	۳۵/۵	۶/۱
مرطوب‌ترین سال	۱۴/۶	۲/۵	۳۴/۶	۵/۹
میانگین	۱۸/۱	۳/۱	۳۴/۳	۵/۹

معادله تجربی آب موردنیاز گُلخراپی

روابط برای برآورد میزان آب موردنیاز گُلخراپی برای سناریوهای مختلف رطوبتی در ابتدا و انتهای فصل قابل استفاده است.

معادله تجربی محاسبه میزان آب موردنیاز گُلخراپی در دو فاز ابتدا و انتهای فصل برای سناریوهای مختلف رطوبتی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. این





شکل ۱۰- معادله تجربی محاسبه میزان آب موردنیاز گلخراپی در دو فاز ابتدا و انتهای فصل برای سناریوهای مختلف رطوبتی (روزهای ۲۰، ۴۰، ۵۰ و ۷۵ به ترتیب نمایش دهنده ۲۰ فروردین، نه اردیبهشت، ۱۹ اردیبهشت و ۱۳ خرداد است)

نتیجه گیری

محاسبات انجام شده تأخیر در شروع عملیات گلخراپی در سالهای خشک، مصرف آب موردنیاز گلخراپی را تا ۵۰۰ مترمکعب در هکتار نسبت به شروع به موقع عملیات و تا ۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار نسبت به کاشت زود هنگام افزایش می دهد. همچنین در سالهای نرمال در ازای هر روز تأخیر در عملیات گلخراپی، آب موردنیاز برای گلخراپی تا سقف ۳۴/۱ مترمکعب در هکتار افزایش می یابد. نیز از ۲۴ اردیبهشت به بعد اثر تأخیر بر افزایش نیاز آبی گلخراپی افزایش می یابد؛ بنابراین می توان نتیجه گرفت که در همه شرایط (سناریوها) به ویژه در سالهای خشک در صورت نبودن منبع آبی دیگر (مانند چاه یا بارش) برای گلخراپی، از نقطه نظر استفاده بهینه رطوبت موجود در خاک، بهتر است رهاسازی و تأمین آب موردنیاز از سد سپیدرود برای عملیات گلخراپی در اوایل اردیبهشت انجام شود. بدیهی است تعیین تاریخ دقیق شروع گلخراپی افزون بر تحلیل اطلاعات رطوبت خاک، به دیگر عوامل

در این تحقیق از داده های هفت سال اخیر رطوبت خاک ماهواره SMAP با قدرت تفکیک نه کیلومتر مربع برای ارزیابی روزانه رطوبت خاک اراضی زیر پوشش شبکه آبیاری سپیدرود استفاده شد. در تمام سناریوهای مطالعه شده، مناطق کوهپایه ای شبکه، رطوبت کمتری نسبت به اراضی جلگه ای و خصوصاً پست داشتند و رطوبت خاک در طول دوره ۵۳ روزه متعارف عملیات گلخراپی (۲۰ فروردین تا ۱۰ خرداد) روند کاهشی داشت. سرعت این کاهش به تدریج افزایش یافته که با احتساب میانگین عمق ۲۰ سانتی متر برای گلخراپی و برآورد مقادیر مختلف تلفات نفوذ عمقی، جانبی و رواناب خروجی و ترکیب آن با داده های رطوبت خاک برآورد شده از ماهواره SMAP، حجم آب ناخالص موردنیاز گلخراپی در میانه فصل (۱۳ تا ۱۵ اردیبهشت) تفاوت قابل توجهی با انتهای فصل گلخراپی (هفته دوم خرداد) نشان داد. بنابر

هیچ راه عملیاتی دیگری برای برآورد نیاز آبی وجود ندارد، بدون استفاده از داده‌های رطوبت خاک ماهواره‌ای محاسبه و برآورد مورد نیاز گلخراپی با این دقت غیرممکن است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود استفاده از داده‌های رطوبت خاک در چنین دست محاسباتی برای سایر محصولات باغی و زراعی (که نیاز به هیرم‌کاری و مآخار دارند) مورد توجه قرار گیرد. همچنین استفاده از الگوریتم‌های ریز مقیاس‌سازی به افزایش دقت و کیفیت محاسبات در مقیاس‌های مکانی کوچک سودمند خواهد بود.

هواشناسی به‌ویژه پیش‌بینی سرماهای دیررس بهار بستگی دارد. با وجود راندمان کاربرد پایین‌تر به دلیل کمبود سطح اراضی کوهپایه‌ای، سهم کلی این اراضی از آب مورد نیاز گلخراپی کمتر از اراضی جلگه‌ای و پست شبکه است. استفاده از داده‌های ماهواره SMAP به دلیل فراهم‌سازی اطلاعات سری زمانی رطوبت خاک با تراکم مکانی مناسب که دستیابی به آن‌ها در عمل با نمونه-برداری‌های زمینی غیرممکن است، امکان جدیدی را در پایش و محاسبه آب مورد نیاز گلخراپی فراهم می‌سازد و از آنجاکه در زمان گلخراپی و عدم حضور گیاه در محیط

فهرست منابع

۱. اسعدی اسکویی، ا.، کوزه‌گران، س.، یزدانی، م. ر. و رحمانی، ا.، ۱۴۰۰. تأثیر سطوح احتمالات متفاوت در برآورد نیاز آبی خالص برنج در استان‌های شمالی ایران. آب‌و‌خاک، ۳۵(۵): ۶۷۱-۶۵۹.
۲. اسعدی اسکویی، ا.، گودرزی، س.، و هالالی، ج.، ۱۴۰۱. بررسی تغییرات مکانی و زمانی رطوبت خاک سطحی در ایران با استفاده از محصول SMAP L4. نیوار، ۴۶(۱۱۶-۱۱۷): ۱۱-۱.
۳. اسعدی اسکویی، ا.، موسوی بایگی، م.، یزدانی، م. ر.، و علیزاده، ا.، ۱۳۹۶. مقایسه فراسنج‌های دمایی اندازه-گیری شده در شالیزار و ایستگاه هواشناسی. پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک، ۲۴(۵): ۱۲۹-۱۴۵.
۴. حاجی ملکی، خ.، واعظی، ع. ر.، سرمیدیان، ف.، کراو و بروکال. (۱۳۹۹). اعتبارسنجی داده‌های رطوبت خاک سطحی ماهواره SMAP در کاربری‌های مختلف در حوضه سیمینه-زرنه (بوکان). تحقیقات آب‌و‌خاک ایران، ۵۱(۵): ۱۳۱۷-۱۳۲۹.
۵. صبور نوqابی، م.، رجبی، م. م.، و اسعدی اسکویی، ا.، ۱۴۰۰. اعتبارسنجی و ریزمقیاس‌سازی داده‌های رطوبت خاک ماهواره SMAP به روش SMBDA با استفاده از محصولات رادار Sentinel 1 و داده‌های زمینی در منطقه صالح‌آباد ایلام. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۷(۴): ۱۴۴-۱۶۰.
۶. طالب‌پور، ع.، ۱۳۹۷. اثر رطوبت اولیه و بافت خاک بر میزان آب و انرژی مصرفی و خصوصیات خاک شالیزاری در فرآیند گلخراپی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان.
۷. غفاری، ا.، داوری، ک. و حسینی، ف.، ۱۳۹۹. توسعه الگوریتم‌های بهبودیافته برای ریزمقیاس‌سازی رطوبت خاک سطحی ماهواره SMAP با استفاده از داده ماهواره‌های نوری/حرارتی. آبیاری و زهکشی ایران. ۱۴(۲): ۶۵۰-۶۶۰.
۸. فلاح، و.، ۱۳۴۸. احتیاجات آبی برنج و اندازه‌گیری آن. وزارت کشاورزی و منابع طبیعی، نشریه شماره ۴۳۳.
۹. کرمی، ا.، مرادی، ح. ر.، و موسیوند، ع. ج.، ۱۳۹۹. بهبود وضوح مکانی داده‌های رطوبت خاک ماهواره‌ای SMAP با روش تلفیق رادار-تابش‌سنج در آبخیز فیروزآباد اردبیل. پژوهش‌های آبخیزداری. ۳۳(۴): ۱۷-۲۹.

۱۰. ملاح، س.، دلسوز خاکی، ب.، دواتگر، ن.، بازرگان، ک.، نویدی، م. ن.، رضائی، ل.، شکوری کتیگری، م.، شکری واحد، ح.، شیخ‌الاسلام، ه.، شیرین‌فکر، ا.، و کهنه، ا.، ۱۳۹۸. مقایسه سه روش زمین‌آمار برای پیش‌بینی گروه‌های بافتی در اراضی زراعی و باغی استان گیلان. پژوهش‌های خاک، ۳۳(۲): ۲۱۳-۲۲۵.
۱۱. یوسفی مقدم، س.، موسوی؛ س. ف.، مصطفی‌زاده‌فر، ب.، یزدانی، م. ر.، و همت، ع.، ۱۳۹۱. تأثیر سطوح مختلف پادلینگ بر تغییرات رطوبت و چگالی حجمی سه بافت خاک غالب در اراضی شالیزاری استان گیلان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌وخاک، ۱۶(۶۰): ۱-۱۲.
12. Akbar. R., Short Gianotti DJ, Salvucci GD and Entekhabi D, 2019. Mapped hydroclimatology of evapotranspiration and drainage runoff using SMAP brightness temperature observations and precipitation information. *Water Resources Research*, 55(4): 3391-3413.
13. Crow, WT., Chen, F., Reichle, RH., and Xia. Y., 2019. Diagnosing bias in modeled soil moisture/runoff coefficient correlation using the SMAP level 4 soil moisture product. *Water Resources Research*, 55(8): 7010-7026.
14. Dehghanisanij, H., Asadi Oskouei, E., and Taghizadehghasab, A., 2022. The interpretation of water consumption in the agricultural sector based on actual evapotranspiration. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 15(6): 1251-1262.
15. El Hajj, M., Baghdadi, N., Zribi, M., Rodríguez-Fernández, N., Wigneron, JP., Al-Yaari A and Calvet, JC., 2018. Evaluation of SMOS, SMAP, ASCAT and Sentinel-1 soil moisture products at sites in Southwestern France. *Remote Sensing*, 10(4): 569.
16. Hendrickx, JMH., Vink, NH., and Fayinke, T., 1986. Water requirement for irrigated rice in a semi-arid region in West Africa. *Agricultural water management*, 11(1): 75-90.
17. International rice research institute, 2020. Land preparation - IRRI Rice Knowledge Bank. Retrieved January 22, 2019, from <http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/pre-planting/land-preparation>.
18. Jamieson, PD., Porter, JR., and Wilson, D. R., 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field crops research*, 27(4): 337-350.
19. Koster, RD., Liu, Q., Mahanama, SP., and Reichle, RH., 2018. Improved hydrological simulation using SMAP data: Relative impacts of model calibration and data assimilation. *Journal of hydrometeorology*, 19(4): 727-741.
20. Li, C., Lu, H., Yang, K., Han, M., Wright, JS., Chen, Y., and Gong, W., 2018. The evaluation of SMAP enhanced soil moisture products using high-resolution model simulations and in-situ observations on the Tibetan Plateau. *Remote Sensing*, 10(4): 535.
21. Li, J., and Heap, AD., 2014. Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling and Software*, 53: 173-189.
22. Mladenova, IE., Bolten, JD., Crow, W., Sazib, N., and Reynolds, C., 2020. Agricultural drought monitoring via the assimilation of SMAP soil moisture retrievals into a global soil water balance model. *Frontiers in big Data* 3:10.
23. Pirmoradian, N., Kamgar-Haghighi, AA., and Sepaskhah, AR., 2004. Lateral seepage, deep percolation, runoff, and the efficiencies of water use and application in irrigation rice in Kooshkak region in Fars's province, I.R. of Iran. *Iran Agricultural Research* 23.24(1): 1-8.
24. Souza, AG., Neto, AR., Rossato, L., Alvalá, R., and Souza, LL., 2018. Use of SMOS L3 soil moisture data: Validation and drought assessment for Pernambuco State, Northeast Brazil. *Remote Sensing*, 10(8): 1314.
25. Thomas Ambadan, J., Oja, M., Gedalof, ZE., and Berg, AA., 2020. Satellite-Observed Soil Moisture as an Indicator of Wildfire Risk. *Remote Sensing*, 12(10): 1543.
26. Velpuri, NM., Senay, GB., and Morissette, JT., 2016. Evaluating new SMAP soil moisture for drought monitoring in the rangelands of the US high plains. *Rangelands*, 38(4): 183-190.

27. Xiong, L., and Zeng, L., 2019. Impacts of introducing remote sensing soil moisture in calibrating a distributed hydrological model for streamflow simulation. *Water*, 11(4): 666.
28. Zhu, L., and Zhu, A., 2021. Extraction of Irrigation Signals by Using SMAP Soil Moisture Data. *Remote Sensing*, 13(11): 2142.

تعیین نیاز آبی و ضرایب یک جزیی و دوجزیی خاکشیر (*Descurainia sophia* L.) با استفاده از لایسیمتر

مرضیه علی آبادی، محمدحسین نجفی مود، عباس خاشعی سیوکی* و علی شهیدی

دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران.

m.aliabadi0429@yahoo.com

استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران.

Mhnajafi2020@yahoo.com

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

abbaskhashei@birjand.ac.ir

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران.

ashahidi@birjand.ac.ir

دریافت: فروردین ۱۴۰۲ و پذیرش: مهر ۱۴۰۲

چکیده

با توجه به محدود بودن منابع آب و بالا بودن میزان تبخیر، مسئله بحران آب یکی از عمده ترین مسائل در کشور است. به دلیل اهمیت گیاه خاکشیر به عنوان یک گیاه دارویی، نیاز آبی و ضریب گیاهی یک گانه و دو گانه آن در آزمایشگاه لایسیمتری دانشگاه بیرجند مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از شش لایسیمتر (از نوع بیلان آبی) به قطر ۶۰ سانتی متر و ارتفاع ۱۰۰ سانتی متر استفاده شد. داخل هر شش لایسیمتر، گیاه خاکشیر با تراکم ۲۰ بوته در متر مربع کشت و سپس با استفاده از معادله بیلان آب، تبخیر و تعرق محاسبه شد. تبخیر و تعرق مرجع چمن هم به طور مستقیم توسط سه لایسیمتر دیگر اندازه گیری شد و میانگین آن ۳۲۲ میلی متر بدست آمد. سپس ضرایب گیاهی برای چهار مرحله رشد (ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی) محاسبه شد. در این تحقیق مقادیر میانگین تبخیر و تعرق، تبخیر از سطح خاک و تعرق از گیاه مورد نظر به ترتیب ۲۰۲، ۲۳ و ۱۷۹ میلی متر به دست آمد. در نهایت ضریب گیاهی منفرد برای چهار مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی به ترتیب برابر ۰/۵۲، ۰/۶۸، ۰/۹۶ و ۰/۵۷ و ضریب گیاهی پایه به ترتیب برای چهار مرحله رشد برابر ۰/۳۸، ۰/۵۹، ۰/۹۴ و ۰/۵۲ میلی متر به دست آمد. به طور کلی می توان نتیجه گرفت که با توجه به اقلیم استان خراسان جنوبی و نیاز آبی کم گیاه خاکشیر، کشت آن توصیه می گردد.

واژه های کلیدی: بیلان آبی، گیاهان دارویی، لایسیمتر زهکش دار

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: abbaskhashei@birjand.ac.ir



مقدمه

گیاهان دارویی اهمیت خاصی در تأمین بهداشت و سلامتی مردم، هم از نظر درمان و هم به عنوان پیشگیری از بیماری‌ها دارند. در سال‌های اخیر توجه خاصی از جانب سازمان‌های مختلف در کشورهای جهان در ارتباط با اصلاح این گیاهان صورت گرفته است. از سوی دیگر استفاده از ترکیبات دارویی مشتق از گیاهان، نه تنها قدمت زیادی دارد، بلکه به دلیل عوارض جانبی بی‌شمار داروهای شیمیایی از یک سو و نارسایی‌های متعدد طب نوین در درمان برخی از بیماری‌ها با گذشت زمان، سبب شده بار دیگر پرورش و تولید گیاهان دارویی با رشد قابل توجهی روبرو شود (نادری، ۱۳۹۳).

خاکشیر گیاهی علفی، بوته‌ای و یک ساله یا دو ساله است که ارتفاع آنگاه به یک متر می‌رسد. ساقه از قسمت‌های بالا منشعب می‌شود. برگ‌ها دارای بریدگی زیاد و گاهی نخ مانند هستند. میوه بصورت خورجین باریک است که به شکل تقریباً عمودی در انتهای ساقه قرار می‌گیرد گل‌ها کوچک و به رنگ زرد روشن است، دانه‌ها بسیار ریز و به رنگ تقریباً نارنجی یا مایل به قهوه‌ای و بیضی‌شکل هستند که در یک ردیف داخل خورجین قرار گرفته‌اند. دانه‌های خاکشیر که قسمت مورد استفاده دارویی گیاه است، پس از رسیدن کامل میوه و در مرداد و شهریور ماه جمع‌آوری می‌شوند (رحمان زاده، ۱۳۹۶). تکثیر خاکشیر از طریق کاشتن دانه گیاه در پاییز یا در بهار صورت می‌گیرد و در خاک غنی از مواد مغذی با بافت شنی-رسی و خاک مرطوب به خوبی رشد می‌کند (نادری، ۱۳۹۳). خاکشیر از قدیم به عنوان اشتهاآور، مقوی معده، ضد تب و ملین شناخته می‌شده و در مشکلات سوءهاضمه مورد استفاده قرار می‌گرفته است. همچنین در زمان باستان جهت درمان اسهال خونی استفاده شده و توسط متخصصان گیاهان دارویی به نام *Sophia chirugorum* به معنی «عقل جراحان» نامیده می‌شده است (نادری، ۱۳۹۳). در طب سنتی چین از دانه‌های خاکشیر در بهبود سرفه، پیشگیری از ابتلا به آسم، بهبود عملکرد انقباضی قلب و درمان برخی از سرطان‌ها

استفاده می‌شود (سان و همکاران، ۲۰۰۴؛ خان و همکاران، ۲۰۱۲).

یکی از عوامل مهم و مؤثر در کشت و اهلی کردن گیاهان دارویی تعیین میزان حداقل آب مورد نیاز در مراحل مختلف رشد و توسعه است. با توجه به آمار ارائه شده در سایت جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی در سال ۱۴۰۲، ۲۶۳ هکتار زیر کشت گیاه خاکشیر است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور به علت تغییرات آب‌وهوایی و کافی نبودن دریافت گیاه از طریق بارش‌های فصلی، معمولاً گیاهان با تنش خشکی مواجه می‌گردند. آگاهی از نیاز آبی گیاهان یکی از ملاحظات عملی مهم برای بالا بردن راندمان مصرف آب است. نیاز آبی گیاهان در مراحل مختلف رشد و شرایط آب و هوایی تغییر می‌کند، بنابراین تعیین صحیح و دقیق تبخیر و تعرق گیاه از فاکتورهای مهم برای مدیریت منابع آب است (یرمی، ۱۳۸۷).

در رابطه با برآورد نیاز آبی گیاهان به‌خصوص گیاهان دارویی، در چند سال اخیر تحقیقاتی در سطح کشور انجام شده است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود: قوام-سعیدی و همکاران (۱۳۹۹) به منظور برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی شاهدانه در مراحل مختلف رشد در دشت بیرجند تحقیقی در سال ۱۳۹۶ در دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام دادند که بر اساس نتایج به دست آمده از معادله بیلان آب، تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع و تبخیر و تعرق پتانسیل شاهدانه به ترتیب برابر ۸۹۹/۶ و ۶۸۸/۸۹ میلی‌متر بود. طول مراحل مختلف رشد گیاه شامل مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به ترتیب برابر ۳۰، ۵۵، ۷۵ و ۲۰ روز به دست آمد. همچنین مقادیر ضریب گیاهی شاهدانه در مراحل چهارگانه رشد گیاه به ترتیب برابر ۰/۲۸، ۰/۶۸، ۱/۰۱ و ۰/۵۴ به دست آمد. قوام سعیدی و همکاران (۱۳۹۸) پژوهشی را طی یک سال زراعی برای تعیین ضریب گیاهی چای ترش در منطقه بیرجند انجام دادند. در این پژوهش، نیاز آبی چای ترش و تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع با استفاده از لایسیمتر محاسبه شد. در نهایت در پایان فصل رشد، مقادیر ضرایب گیاهی در چهار

مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی برای این گیاه به ترتیب برابر ۱/۲۶، ۱/۵۵، ۱/۸۱ و ۰/۹۶ برآورد شد. زارعی و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی مراحل مختلف رشد گونه سیاهدانه و تعیین ضریب گیاهی آن با استفاده از میکرو لایسیمترها پرداختند. نتایج نشان داد طول هر یک از چهار مرحله رشد به ترتیب برابر ۱۰، ۱۱، ۴۱ و ۲۳ روز و ضریب گیاهی برای این دوره‌ها به ترتیب برابر ۰/۷۵، ۱/۰۲، ۱/۲۱ و ۰/۸ به دست آمد. میرزائی دوست (۱۳۹۶) میانگین ضریب گیاهی یگانه گیاه کلزا برای مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی در بافت خاک لوم شنی ۰/۳۹، ۰/۶۶، ۱/۰۴ و ۰/۶۷ به دست آورد. مجنونی هریس و همکاران (۱۳۹۳) پژوهشی بر روی گیاه کلزا در دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام دادند که در آن میانگین ضریب گیاهی برای مراحل اولیه، میانی و پایانی رشد به ترتیب برابر ۱/۴۵، ۰/۷۲ و ۰/۶۶ تعیین شد. گوپتا و همکاران (۲۰۱۷) پژوهشی به منظور تعیین ضرایب گیاهی یک گانه و دوگانه با استفاده از لایسیمترهای وزنی بر روی گیاه خردل انجام دادند. طبق نتایج ضریب گیاهی یک گانه برای مراحل اولیه، توسعه، میانی و انتهایی به ترتیب ۰/۳۹، ۰/۷۲، ۱/۰۲ و ۰/۵ و همچنین ضریب دو گانه برای مراحل رشد به ترتیب ۰/۱۹، ۰/۵۵، ۰/۹۱ و ۰/۲۴ به دست آمد. ریحانی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از سه عدد لایسیمتر نیاز آبی زیره را به روش بیلان آب و ضریب گیاهی آن را در مراحل مختلف رشد در منطقه بیرجند برآورد نمودند. در تحقیق فوق برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع نیز از چمن مورد استفاده برای فضای سبز با ارتفاع ۱۲ سانتیمتر به عنوان گیاه مرجع استفاده گردید. در نهایت در پایان فصل رشد، مقادیر مربوط به ضرایب گیاهی زیره در مراحل مختلف رشد شامل مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و مرحله انتهایی محاسبه گردید... شریفی عاشورآبادی و همکاران (۱۳۹۱)، به منظور تعیین نیاز آبی گیاه دارویی بومادران طی سال‌های ۸۷-۱۳۸۶ در مجتمع تحقیقاتی البرز، در کرج پژوهش‌هایی انجام دادند. بر اساس نتایج به دست آمده، ضریب‌های گیاهی مراحل

چهارگانه رشد بومادران که شامل رشد اولیه، مرحله توسعه گیاه، مرحله میانی و مرحله انتهایی رشد که در مورد گیاه بومادران تا مرحله برداشت اقتصادی بود، به ترتیب برابر با ۰/۱۶، ۰/۴۵، ۱/۰۵ و ۰/۸۱ برآورد شد. نتایج نشان داد مقدار خالص آب آبیاری مورد نیاز در دوره رشد اقتصادی گیاه بومادران معادل ۱۴۹/۷۲ میلی‌متر است. قمرنیا و همکاران (۱۳۹۰) در یک تحقیق اقدام به برآورد ضریب گیاهی گشنیز در کرمانشاه نمودند که مقادیر ضریب گیاهی در چهار مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی برای این گیاه به ترتیب ۰/۶۶، ۱/۱۹، ۱/۳۶ و ۰/۹۸ به دست آمد. ویلالوبوس و همکاران^۱ (۲۰۰۴) دو آزمایش را در دو منطقه اسپانیا برای تعیین ضرایب گیاهی و تبخیر و تعرق گیاه سیر انجام دادند. آن‌ها مقدار بیشینه ضریب گیاهی سیر را در مرحله میانی بین ۱/۲ و ۱/۳ و در مرحله پایانی رشد ۰/۶ گزارش کردند. همچنین بیان کردند که K_c سیر با افزایش فشار بخار آب کاهش می‌یابد. مقدار تبخیر و تعرق (ETC) نیز در طول مدت دوره رشد برابر ۴۷۰ میلی‌متر به دست آوردند.

این پژوهش به منظور تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی گیاه خاکشیر به عنوان یک گیاه دارویی که توان تولید فرآورده‌های دارویی آن بالاست در آزمایشگاه لایسیمتر دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار به روش بیلان آبی طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش

به منظور بررسی ضریب گیاهی یک جزئی و دو جزئی گیاه خاکشیر در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ پژوهشی در آزمایشگاه لایسیمتری دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند واقع در پنج کیلومتری جاده بیرجند- کرمان با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۷ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا انجام گرفت. پارامترهای هواشناسی مورد نیاز شامل دمای حداقل و حداکثر، میزان بارندگی، سرعت باد، ساعت-های آفتابی و سایر پارامترهای لازم در بازه زمانی دی ماه

^۱ -Villalobos and al

۱۳۹۸ تا پایان اردیبهشت ماه ۱۳۹۹ از سازمان هواشناسی بیرجند دریافت گردید. به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین خصوصیات شیمیایی آب قبل از کشت نمونه برداری از خاک لایسیمترها و آب انجام شد

که در آزمایشگاه خاک شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند اندازه گیری شد؛ که نتایج آن به شرح جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج آزمایش ها خاک و آب ایستگاه لایسیمتری

آزمایش ها شیمیایی آب و خاک										
نمونه	pH	ECe mS/cm	SAR	Ca ²⁺ meq/lit	Mg ²⁺ meq/lit	Na ⁺ meq/lit	K ⁺ meq/lit	Cl ⁻ meq/lit	HCO ₃ ⁻ meq/lit	CO ₃ ⁻² meq/lit
خاک	۸/۱	۱/۱۴۷	۰/۹۶	۱۰	۱۰	۳/۰۴	۰/۴۱	۵۰	۴۶	۱۴
آب	۷/۶	۳/۹۰۵	۰/۳۱	۲	۶/۵	۰/۶۵	۰/۰۷	۴/۴۵	۵/۶	-

آزمایش ها فیزیکی خاک							
بافت خاک	فراوانی نسبی ذرات (%)			ظرفیت زراعی (%)	نقطه پژمردگی (%)	وزن مخصوص ظاهری g/cm ³	وزن مخصوص حقیقی g/cm ³
	رس	سیلت	شن				
شنی لومی	۹	۳۱	۶۰	۱۷	۹	۱/۵۶	۲/۶۹

آن با خاک مزرعه مجاور همراه با کود پوسیده حیوانی به منظور رشد بهتر گیاه پر گردید. آبیاری اول به صورت خاک- آب و از آبیاری دوم به بعد زمان آبیاری بر اساس خروج ۵۰ درصد آب سهل الوصول بوده و مقدار آن بر پایه اندازه گیری منظم میزان رطوبت خاک انجام شد (میرزایی- دوست، ۱۳۹۶). در انجام آزمایش، آب اضافی موجود در لایسیمترها از طریق لوله زهکش تعبیه شده در انتهای لایسیمترها تخلیه و با ظروف مدرج اندازه گیری شد. از ابتدای کاشت رطوبت خاک توسط دستگاه رطوبت سنج (TDR) مدل TDR 150 اندازه گیری شد.

در این پژوهش از شش دستگاه لایسیمتر (شکل ۱) به قطر ۶۰ سانتی متر و ارتفاع ۱۰۰ سانتی متر استفاده شد. در پنج دی ماه سال ۱۳۹۸ بذر خاکشیر در داخل لایسیمترها با در نظر گرفتن ۲۰ بوته در متر مربع به عنوان تراکم مطلوب کشت گردید که با توجه به مساحت لایسیمتر تعداد شش بوته در هر لایسیمتر نگه داشته شد. جهت اندازه گیری تعلق از گیاه و یا به حداقل رساندن مقدار تبخیر از سطح خاک با استفاده از پوشش پلاستیک سطح خاک تعداد سه لایسیمتر (لایسیمترهای تعلق شماره ۴، ۵ و ۶) از گیاه خاکشیر پوشانده شد. برای سهولت در زهکشی، از کف لایسیمترها تا ارتفاع ۱۵ سانتی متر شن درشت ریخته شد و بقیه حجم



شکل ۱- موقعیت لایسیمترهای کشت شده

تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_0)

در این تحقیق از کشت مستقیم چمن برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع استفاده گردید. قبل از کاشت بذر خاکشیر، بذر چمن کشت گردید و اجازه داده شد تا ارتفاع ۱۲ سانتی متری رشد کنند. در طی زمان فصل رشد گیاه، تبخیر و تعرق چمن مشابه با تبخیر و تعرق گیاه خاکشیر اندازه گیری و به عنوان تبخیر و تعرق پتانسیل لحاظ گردید.

محاسبه تبخیر و تعرق واقعی

میزان تبخیر و تعرق واقعی گیاه خاکشیر به صورت مستقیم و با استفاده از معادله (۱) بیلان رطوبتی برآورد گردید. معادله کلی بیلان رطوبتی در شرایط استفاده از لایسیمتر به صورت رابطه زیر (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) است.

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

در این رابطه، ET_c : میزان تبخیر و تعرق واقعی گیاه (میلی-متر)، I : میزان آب آبیاری (میلی-متر)، P : میزان بارندگی (میلی-متر)، D : آب زهکشی شده (میلی-متر) و ΔS : تغییرات ذخیره های رطوبت خاک (میلی-متر) است. هریک از ویژگی های فوق در طول دوره رشد به روش وزنی اندازه گیری شدند و در نهایت میزان تبخیر و تعرق واقعی محاسبه گردید.

محاسبه ضریب گیاهی یک گانه در مراحل مختلف دوره

رشد

با استفاده از معادله (۲) مقدار ضریب گیاهی در طول دوره رشد محاسبه شده و سپس نمودار روزانه ضریب گیاهی، در طول دوره رشد ترسیم گردید. برای بررسی تغییرات ضریب گیاهی در طول دوره رشد، اقدام به برازش بهترین منحنی غیر خطی بر روی داده های مربوط به ضریب گیاهی گردید و در نهایت نمودار مربوط به ضریب گیاهی ترسیم و ضرایب گیاهی در دوره های مختلف رشد محاسبه گردید.

$$K_c = ET_c / ET_0 \quad (2)$$

در این رابطه، ET_c : میزان تبخیر و تعرق واقعی گیاه (میلی-متر)، ET_0 : میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع و K_c : ضریب گیاهی است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

مراحل رشد گیاه در نظر گرفته شده در این پژوهش که در (جدول ۲) ارائه شده است عبارت اند از مرحله ابتدایی که از تاریخ کشت شروع و تا نزدیک به زمان برقراری پوشش گیاهی ۱۰ درصد ادامه می یابد، مرحله توسعه از زمان پوشش گیاهی ۱۰ درصد شروع و تا پوشش مؤثر کامل به طول می انجامد، مرحله میانی از زمان برقراری پوشش کامل مؤثر شروع و تا رسیدن محصول ادامه خواهد یافت و مرحله پایانی از زمان رسیدن محصول تا پلاسیدگی کامل گیاه طول می کشد. این مراحل بر اساس نشریه ۵۶ آبیاری و زهکشی فائو در نظر گرفته شدند.

جدول ۲- تاریخ کاشت و طول هریک از مراحل رشد گیاه خاکشیر

تاریخ کاشت	دوره رشد اولیه	دوره توسعه	دوره میانی	دوره انتهایی	تاریخ برداشت	کل
۱۳۹۸/۱۰/۵	از ۵ دی ماه تا ۲۵ بهمن	از ۲۵ بهمن تا ۲۸ اسفند	از ۲۸ اسفند تا ۲۸ فروردین	از ۲۸ فروردین تا ۲۲ اردیبهشت	۲۲ اردیبهشت	۱۳۷ روز
طول مراحل رشد	۵۰ روز	۳۳ روز	۲۹ روز	۲۵ روز		

محاسبه ضریب گیاهی دو گانه در مراحل مختلف دوره

رشد

در این روش از ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) برای توصیف فرآیند تعرق گیاه و از ضریب تبخیر (K_e) برای توصیف فرآیند تبخیر از خاک استفاده می شود. در این

روش، ضریب گیاهی دوجزئی (K_c) به صورت معادله (۳) تعیین می شود:

$$K_c = K_{cb} + K_e \quad (3)$$

زمانی که خاک سطحی خشک بوده ولی تعرق به میزان پتانسیل است، به عبارتی مقدار آب محدودکننده تعرق نیست، ضریب گیاهی پایه به صورت نسبت تبخیر و تعرق

راندمان مصرف آب یا به عبارتی کارایی مصرف، میزان تولید به ازای هر واحد آب مصرف شده است

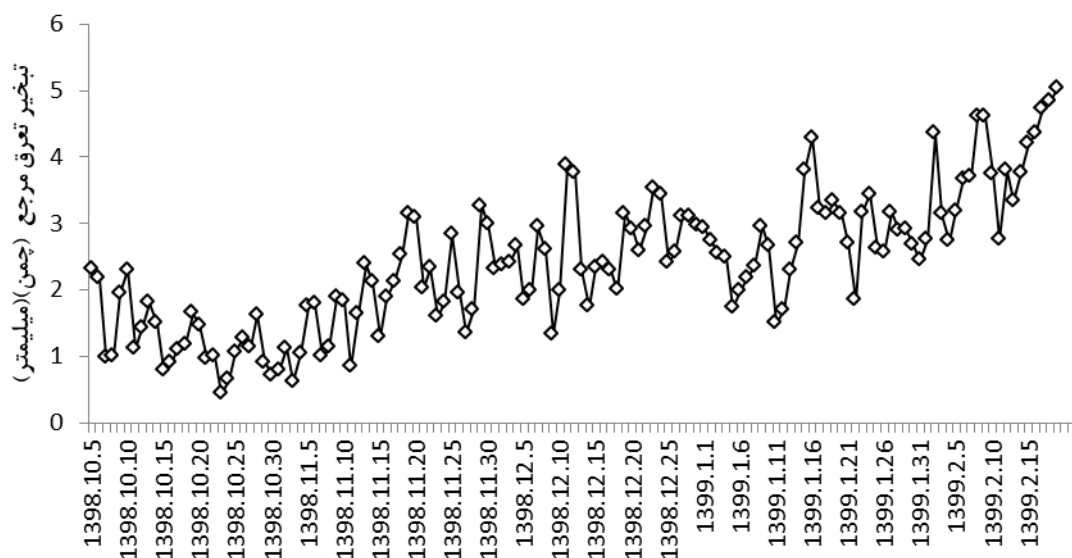
نتایج و بحث

تبخیر و تعرق مرجع (ET_0)

میزان تبخیر و تعرق مرجع چمن در طول دوره رویش خاکشیر محاسبه و در نهایت میانگین آن در لایسیمترها برابر با ۳۲۲/۴۴ میلی متر برآورد گردید. با توجه به نمودار شکل ۲ بیشترین تبخیر و تعرق در اردیبهشت ماه و کمترین میزان هم در دی ماه بود، در شروع دوره ابتدا مقدار ET_0 کم بوده و با گذشت زمان مقدار آن افزایش یافت که این افزایش به دلیل بلند بودن طول روز و افزایش تابش خالص خورشیدی بود. شکل ۲ روند تغییرات تبخیر و تعرق مرجع نشان داده شده است.

گیاه به تبخیر و تعرق مرجع (ET_c/ET_0) تعریف می شود؛ بنابراین در تبخیر و تعرق، عبارت ($K_{cb} * ET_0$) جزء تعرق گیاه را نشان می دهد. این عبارت شامل تبخیر آب از خاک (سطحی) نیز است که رطوبت مورد نیاز آن از آب لایه خاک خشک زیرین پوشش گیاهی تأمین می شود (تمدنی، ۱۳۸۷). ضریب تبخیر (K_e) بیان کننده جزء تبخیر از خاک ET_c است. هنگامی که به دنبال یک بارندگی یا آبیاری، خاک خیس می شود، مقدار K_e به حداکثر مقدار خود می رسد. با خشک شدن خاک، K_e کاهش یافته و مقدار آن متناسب با آب باقیمانده در این لایه کاهش می یابد و با تخلیه کل آب موجود در لایه سطحی خاک به صفر می رسد (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷).

کارایی مصرف آب



شکل ۲- روند تغییرات تبخیر و تعرق مرجع گیاه چمن

تعیین گردید که این مقدار در بازه ی زمانی پنج دی ماه ۱۳۹۸ تا ۱۹ اردیبهشت ماه ۱۳۹۹ اندازه گیری شد. با توجه به اینکه در منابع مختلف مقادیری برای تبخیر و تعرق خاکشیر ارائه نشده در این تحقیق برای اولین بار میزان تبخیر و تعرق خاکشیر اندازه گیری شده که همان طور که قبلاً گفته شد میانگین تبخیر و تعرق فصلی گیاه خاکشیر در این تحقیق معادل ۲۰۲/۶۵ و تعرق ۱۷۹/۶۵ و لذا با کسر این دو مقدار، میزان تبخیر ۲۳ میلی متر به دست آمد.

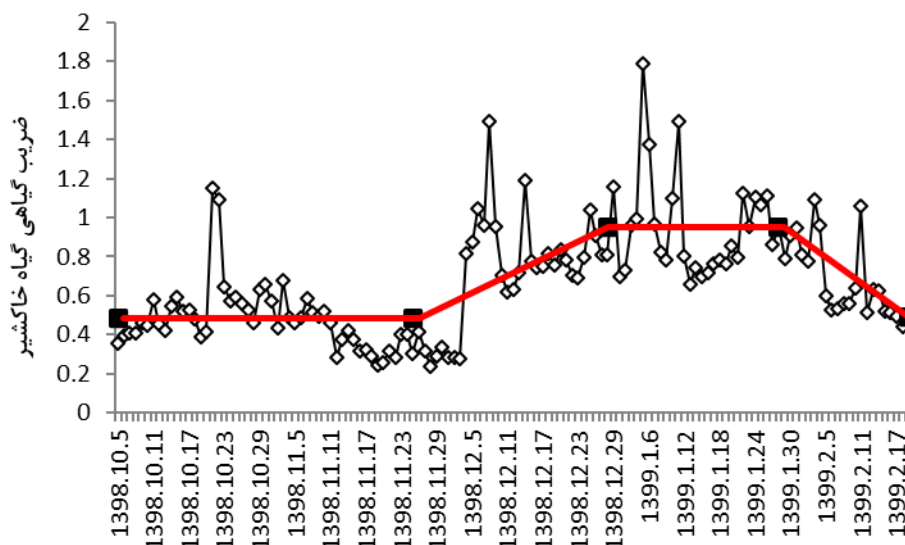
تبخیر و تعرق خاکشیر (ET_c)

بررسی نتایج تبخیر و تعرق اندازه گیری شده توسط شش لایسیمتر برای ماه های مختلف رشد نشان می دهد که میزان کل تبخیر و تعرق گیاه خاکشیر در لایسیمترهای یک، دو و سه به ترتیب معادل ۲۱۴/۴۱، ۲۰۰/۳۴ و ۱۹۳/۲ میلی متر و همچنین میزان کل تعرق گیاه خاکشیر در لایسیمترهای چهار، پنج و شش به ترتیب معادل ۱۸۰/۰۸، ۱۷۸/۵۱ و ۱۸۰/۳۶ میلی متر برای فصل رشد آن

ضریب گیاهی یک گانه خاکشیر

با در اختیار داشتن تبخیر و تعرق گیاهی حاصل از داده‌های لایسیمتر و همچنین تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن، ضریب گیاهی خاکشیر در هر روز به دست آمد. دوره رشد خاکشیر در لایسیمتر به چهار مرحله (ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی) تقسیم شد؛ که در جدول (۳) ضریب گیاهی یک جزئی در طول مراحل مختلف رشد خاکشیر ارائه شده است. در دوره اولیه رشد به دلیل کوچک بودن گیاه و نیاز کم آن به آب میزان ضریب گیاهی پایین است و مقدار ضریب گیاهی در این مرحله بیشتر تحت تأثیر توان تبخیرکنندگی اتمسفر (کمبود فشار بخار در دمای واقعی هوا

و در نتیجه ETo) است (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷) که با توجه به میزان تبخیر و تعرق، کوچک است. در دوره میانی رشد ضریب گیاهی نه تنها تابع شرایط اقلیمی است، بلکه ارتفاع گیاه نیز در آن تأثیر دارد (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷) و لذا با رشد گیاه و افزایش ارتفاع آن میزان تبخیر و تعرق در این دوره هم بالا می‌رود؛ اما در خصوص ضریب گیاهی دوره انتهایی رشد، اثر مدیریت آبیاری و عملیات زراعی در این مقدار، گنجانده شده است. از آن‌جا که گیاه تا زمانی نزدیک به برداشت آبیاری شد، لایه خاک سطحی مرطوب بوده و علاوه بر تعرق، تبخیر هم در تعیین نیاز آبی مؤثر است به همین دلیل برای مقدار ضریب گیاهی مرحله پایانی، عدد بالایی حاصل شد.



شکل ۳ - تغییرات ضریب گیاهی یک گانه گیاه خاکشیر

ضریب گیاهی دو گانه خاکشیر

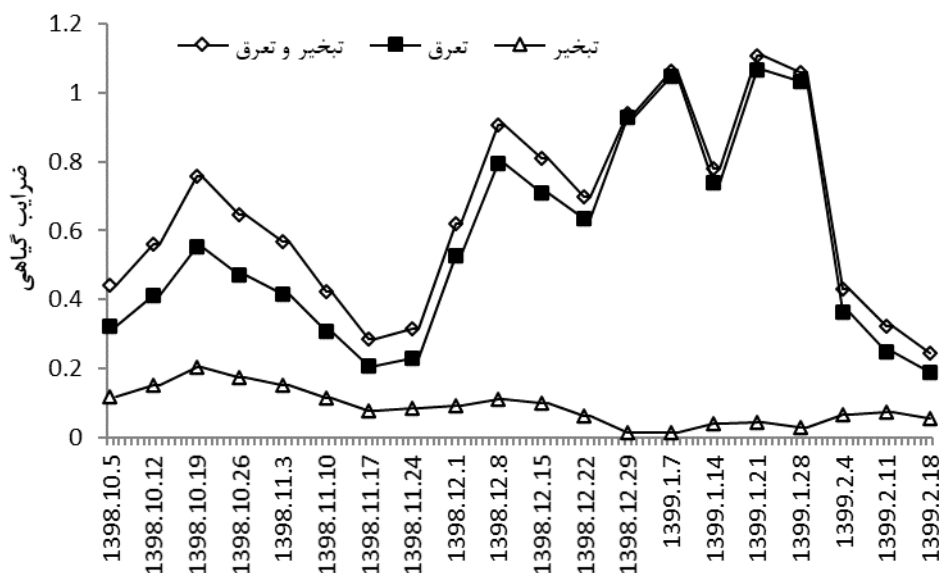
مقادیر ضریب گیاهی پایه در مراحل اولیه، توسعه، میانی و انتهایی به ترتیب ۰/۳۸، ۰/۵۹، ۰/۹۴ و ۰/۵۲ برآورد گردید. با توجه به مقادیر ارائه شده در جدول (۳) مشاهده می‌شود که مقدار ضریب گیاهی پایه (جزء تعرق) به تدریج زیاد شده و در مرحله میانی به حداکثر مقدار می‌رسد. در مرحله اولیه که پوشش سبز گیاه کم است مقدار تبخیر از خاک حداکثر است و این ضریب به تدریج کاهش می‌یابد تا اینکه در مرحله میانی به حداقل مقدار خود می‌رسد. ضریب گیاهی دو گانه که مجموع جزء تعرق و جزء

بر اساس شکل (۳) ضریب گیاهی میانگین در مرحله ابتدایی رشد (که با پوشش ۱۰ درصد سطح زمین توسط گیاه همراه است) برابر با ۰/۵۲ بوده، این در حالی است که با افزایش سرعت رشد گیاه و افزایش شاخص سطح برگ و به تبع آن افزایش تعرق در دوره توسعه ضریب گیاهی به طور صعودی افزایش یافته و به عدد ۰/۶۸ می‌رسد. در مرحله میانی که فعالیت بیولوژیکی گیاه در حد اعلای خود است این اعداد به ۰/۹۶ رسیده و در مرحله پایانی نیز عدد ۰/۵۷ نتیجه شد.

تبخیر است به تدریج کاهش می‌یابد. در منابع مختلف
ضریب گیاهی برای خاکشیر ارائه نشده است در این تحقیق
برای اولین بار ضریب گیاهی منفرد و پایه گیاه خاکشیر
تعیین شد.

جدول ۳- میانگین ضرایب گیاهی مراحل مختلف رشد با استفاده از گیاه مرجع چمن

ضریب گیاهی	ابتدایی	میانی	توسعه	نهایی
K _c	۰/۵۲	۰/۶۸	۰/۹۶	۰/۵۷
K _{cb}	۰/۳۸	۰/۵۹	۰/۹۴	۰/۵۲
K _e	۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۵



شکل ۴- تغییرات ضریب گیاهی دوگانه گیاه خاکشیر

نیاز آبی و عملکرد

بررسی نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که نیاز آبی خاکشیر در سه لایسیمتر اول (تبخیر و تعرق) برابر با ۲۰۲/۶۵ میلی‌متر است. حداکثر و حداقل نیاز آبی به ترتیب در ماه دی و فروردین بود. مرادی و محمودیان‌فرد (۱۳۹۸) در پژوهشی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی حاجی‌آباد هرمزگان به این نتیجه رسیدند که گیاه کلزا برای تولید ۲۹۵۰ کیلوگرم در هکتار دانه در منطقه مورد آزمایش به ۵۲۶/۵۵ میلی‌متر آب نیاز دارد که لازم است تا در طول دوره رشد و مطابق با نیاز روزانه گیاه در اختیار آن قرار گیرد. بعد از برداشت از زمین موارد عملکرد، اجزای عملکرد و صفات رشدی گیاه خاکشیر اندازه‌گیری شد. میانگین صفات رشدی گیاه خاکشیر به ترتیب شامل ارتفاع برابر با ۶۲/۹۷، تعداد شاخه فرعی برابر با ۲/۸۳، طول گل‌آذین اصلی برابر با

۳۵/۲، طول گل‌آذین فرعی ۲۲/۵۴، تعداد غلاف در گل‌آذین اصلی برابر با ۵۷/۵۷، طول هر غلاف برابر با ۲/۳۶ به دست آمد و همچنین میانگین اجزای عملکرد به ترتیب شامل تعداد غلاف در گل‌آذین فرعی ۳۵/۵ و تعداد دانه در غلاف برابر با ۲۲/۹ و همچنین هزار دانه ۰/۴۳۲ گرم به دست آمد. میزان عملکرد بیولوژیک محصول ۲۶۹۸/۰۱ و عملکرد دانه ۵۱۱/۶۲ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. میزان راندمان آب مصرفی برای تولید دانه معادل ۰/۱۱۵ و برای تولید بیولوژیک ۰/۶۰۴ کیلوگرم به ازای مترمکعب آب مصرف‌شده بوده است.

نتیجه‌گیری

برای صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش کشاورزی، باید آب مورد نیاز گیاه برآورد و بر اساس نیاز

در اختیار گیاه قرار گیرد. یکی از بهترین راهکارهای ارائه شده در رابطه با بررسی نیاز آبی گیاهان، تعیین میزان ضرایب گیاهی آنها است. با استفاده از نتایج به دست آمده از این پژوهش ضریب های گیاهی یک گانه ۰/۵۲، ۰/۶۸، ۰/۹۶ و ۰/۵۷ و ضریب های گیاهی دو گانه ۰/۳۸، ۰/۵۹، ۰/۵۲ و ۰/۵۲ برای مراحل چهارگانه رشد و نیاز آبی خاکشیر برابر با ۲۰۲/۶۵ میلی متر برآورد شد. با استفاده از این مقادیر که تاکنون به صورت تجربی برای منطقه بیرجند و اقلیم مشابه آن در کشور ارائه نشده است مدیریت آبیاری گیاه خاکشیر ممکن خواهد شد.

فهرست منابع

۱. تمدنی، د.، ۱۳۸۷. تبخیر- تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان). کمیته ملی آبیاری. زهکشی ایران. شماره انتشار ۱۲۲.
۲. رحمان زاده، م.، ۱۳۹۶. بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در توده های مختلف خاکشیر. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۳. ریحانی، ن.، خاشعی سیوکی، ع. ۱۳۹۴. برآورد ضریب گیاهی زیره سبز در مراحل مختلف رشد به روش لایسیمتری در منطقه بیرجند، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۹، شماره ۵، صفحه های ۱۰۴۷ تا ۱۰۵۶.
۴. زارعی، ع.، ظهرا بی، ص.، و بومه، ف.، ۱۳۹۶. ارزیابی مراحل مختلف رشد و تعیین ضریب گیاهی سیاه دانه. دو ماهنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. جلد ۳۳، شماره ۴، صفحه های ۵۹۷ تا ۶۰۷.
۵. شریفی عاشورآبادی، ا.، روحی پور، ح.، عصاره، م. ح.، لباسچی، م. ح.، عباس زاده، ب.، نادری، ب.، رضایی سرخوش، م. ۱۳۹۱. تعیین نیاز آبی گیاه دارویی بومادران با استفاده از لایسیمتر. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. جلد ۲۸ شماره ۳، صفحه های ۴۸۴ تا ۴۹۲.
۶. قمرنیا، ه.، جعفری زاده، م.، میری، ا.، و قبادی، م.، ۱۳۹۰. برآورد ضریب گیاهی گشنیز در منطقه ای با اقلیم نیمه خشک. مجله مدیریت آب و آبیاری. جلد ۱، شماره ۲، صفحه های ۷۳ تا ۸۳.
۷. قوام سعیدی نوقابی، س.، شهیدی، ع.، حمامی، ح.، ۱۳۹۹. برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی شاهدانه در مراحل مختلف رشد در دشت بیرجند. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۳۴، شماره ۴.
۸. قوام سعیدی نوقابی، س.، خاشعی سیوکی، ع.، و حمامی، ح.، ۱۳۹۸. برآورد ضریب گیاهی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در مراحل مختلف رشد به روش لایسیمتری در منطقه بیرجند. نشریه آب و خاک، جلد ۳۳، شماره ۱، صفحه های ۱ تا ۱۱.
۹. مرادی، الف.، محمودیان فرد، ح.، (۱۳۹۸). تعیین نیاز آبی گیاه کلزا با استفاده از لایسیمتر در منطقه حاجی آباد هرمزگان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۱۳، شماره ۳، صفحه های ۸۳۲ تا ۸۴۴.
۱۰. میرزایی دوست، ح.، ۱۳۹۶. تعیین تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی کلزا با استفاده از لایسیمتر در شهرکرد. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد.
۱۱. میرزائی، ش.، ۱۳۹۳. تعیین تبخیر- تعرق و ضرایب گیاهی گاوزبان در ایستگاه تحقیقاتی کرکج دانشگاه تبریز. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.
۱۲. نادری، ر.، ۱۳۹۳. مقایسه مورفولوژیک، پلئیدی و متابولیت های ثانویه خاکشیر تلخ و شیرین. دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا.

۱۳. وزیری، ژ.، سلامت، ع.، انتصاری، م.، مسچی، م.، حیدری، ن.، و دهقانی‌سانپ، ح.، ۱۳۸۷. تبخیر و تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان)، گروه کار استفاده پایدار از منابع آب برای تولید محصولات کشاورزی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، نشریه شماره ۱۲۲، ۳۶۲ صفحه.
۱۴. یرمی، ن.، کامگار حقیقی، ع.ا.، سپاسخواه، ع.، و زندپارسا، ش.، ۱۳۸۶. تعیین تبخیر و تعرق بالقوه و ضریب گیاهی زعفران با استفاده از لایسیمتر بیلان آبی، نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان.
15. Allen, R. G., Pruitt, W. O., Wright, J. L., Howell, T. A., Ventura, F., Snyder, R., & Elliott, R. (2006). A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith method. *Agricultural Water Management*, 81(1-2), 1-22.
16. Khan, M., Xiao, Y., Yu, B., Wang, N., Rasul, A., Yi, F., & Ma, T. (2012). Artabotryside A, a constituent from *Descurainia sophia* (L.) induces cell death in U87 glioma cells through apoptosis and cell cycle arrest at G2/M phase. *J Med Plants Res*, 6(21), 3754-3765.
17. Li, J., Liu, X., Dong, F., Xu, J., Zheng, Y., & Shan, W. (2010). Determination of the volatile composition in essential oil of *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl (Flixweed) by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). *Molecules*, 15(1), 233-240.
18. Sun, K., Li, X., Li, W., Wang, J., Liu, J., & Sha, Y. (2004). Two new lactones and one new aryl-8-oxa-bicyclo [3, 2, 1] Oct-3-en-2-one from *Descurainia sophia*. *Chemical and pharmaceutical bulletin*, 52(12), 1483-1486.
19. Villalobos, F. J., Testi, L., Rizzalli, R., & Orgaz, F. (2004). Evapotranspiration and crop coefficients of irrigated garlic (*Allium sativum* L.) in a semi-arid climate. *Agricultural water management*, 64(3), 233-249.

اثر روش‌های آبیاری بر بهره‌وری آب، عملکرد و اجزای عملکرد اسفناج در شرایط اقلیمی اهواز

خشایار پیغان، رضا ولی‌پور، سعید برومندنسب، محمد الباجی* و ناصر عالم‌زاده‌انصاری

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

khashayar.peyghan@ut.ac.ir

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

Rezavalipour20@gmail.com

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

boroomand@scu.ac.ir

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

m.albaji@scu.ac.ir

دانشیار گروه مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

ansari_n@scu.ac.ir

دریافت: تیر ۱۴۰۲ و پذیرش: آبان ۱۴۰۲

چکیده

با توجه به رشد فزاینده جمعیت و تغییر سبک زندگی روزمره، فشار بر منابع آب و خاک افزایش یافته و مدیریت پایدار این منابع اهمیتی حیاتی دارد. این پژوهش با هدف ارزیابی و مقایسه اثرات آبیاری جویچه‌ای، قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی بر بهره‌وری آب، عملکرد و اجزای عملکرد اسفناج در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک اهواز انجام شد. به این منظور، آزمایشی در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار روش آبیاری شامل آبیاری جویچه‌ای (FI)، آبیاری قطره‌ای سطحی (SDI) و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SSDI) در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز در سال ۱۳۹۹ انجام شد. بر پایه نتایج، میزان آب آبیاری استفاده‌شده در تیمار FI برابر ۱۰۶۶ مترمکعب در هکتار و در تیمارهای SDI و SSDI برابر ۷۸۷ مترمکعب در هکتار بود که کاهش ۲۶٪ را نشان می‌دهد. در تیمارهای FI، SDI و SSDI متوسط عملکرد بوته اسفناج (مجموع وزن تر برگ و ساقه) به ترتیب برابر ۲۳/۵۶، ۳۰/۱۷ و ۱۹/۲۸ گرم و بهره‌وری آب آبیاری برابر ۰/۳۵، ۰/۶۱ و ۰/۳۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود. در هر دو پارامتر عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری، تیمار SDI برتری معنی‌دار در سطح پنج درصد نسبت به دو تیمار دیگر داشت. اثر تیمار آبیاری بر ویژگی‌های طول ریشه، طول ساقه، طول کل، تعداد برگ، تعداد برگ پزمرده، میزان کلروفیل برگ و شاخص برداشت معنی‌دار نبود. در مجموع، با در نظر گرفتن بهره‌وری آب به‌عنوان معیار، آبیاری قطره‌ای سطحی نسبت به آبیاری جویچه‌ای برای کشت اسفناج مناسب‌تر است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تحت فشار، آبیاری سطحی، شاخص برداشت

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: m.albaji@scu.ac.ir



مقدمه

در حال حاضر، جمعیت جهان با سرعت نگران‌کننده‌ای در حال رشد بوده و همین موضوع سبب ایجاد تقاضای فزاینده برای آب شیرین برای پاسخگویی به نیاز بخش‌های مختلف شده است (میتال و همکاران، ۲۰۲۳). مصرف جهانی آب در طول یک قرن گذشته شش برابر شده و به‌طور سالانه نیز یک درصد افزایش می‌یابد (بی‌نام، ۲۰۲۰). پاسخ به تقاضای آب به دلیل مشکلاتی مانند تغییرات اقلیمی، آلودگی منابع آب و کمبود انرژی دشوار است و بحران آب در بسیاری از مناطق به یک مسئله جدی تبدیل شده است (وانگ و همکاران، ۲۰۲۲). بخش کشاورزی با اختصاص بیش از ۷۰ درصد از مصرف جهانی آب به خود، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب بوده و در بسیاری از نواحی جهان به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب یکی از عوامل اصلی محدودیت در تولید محصولات کشاورزی است (جمالی و همکاران، ۱۴۰۰؛ کاجویا و همکاران، ۲۰۱۶؛ کامینسکی و همکاران، ۲۰۱۹).

در ایران نیز آب عامل محدودکننده اصلی در بخش کشاورزی است (خشائی و همکاران، ۱۳۹۸). منابع آب تجدیدشونده ایران حدود ۱۱۶ میلیارد مترمکعب در سال برآورد می‌شود که به‌طور میانگین حدود ۸۳ درصد از آن، معادل ۹۶ میلیارد مترمکعب، برداشت می‌شود. از این حجم برداشت آب که شامل منابع سطحی و زیرزمینی است، حدود ۹۲/۵ درصد، معادل ۸۸/۸ میلیارد مترمکعب، با میانگین راندمان ۳۰ درصد در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (بی‌نام، ۱۳۹۹). منابع آب زیرزمینی کشور بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۵ حدود ۷۴ کیلومترمکعب کاهش یافته که مطابق بررسی‌ها میزان این کاهش در مناطق دارای اراضی زراعی آبی وسیع، بیش‌تر بوده است (اشرف و همکاران، ۲۰۲۱). این آمار و ارقام نشان می‌دهد که مدیریت هوشمند آب در بخش کشاورزی ضروری است و در این بین سامانه‌های آبیاری و روش‌های کاربرد مزرعه‌ای برای کشت محصولات نقش مهمی در آن دارند (کامینسکی و همکاران، ۲۰۱۹).

آبیاری سطحی قدیمی‌ترین و رایج‌ترین روش آبیاری در جهان است به‌گونه‌ای که حدود ۹۵ درصد از اراضی آبی جهان با این روش آبیاری می‌شوند (یادتا و همکاران، ۲۰۲۲؛ آدامو و همکاران، ۲۰۲۲). در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، آبیاری سطحی به دلیل مزایایی همچون هزینه و انرژی کم مورد نیاز به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. از میان روش‌های مختلف آبیاری سطحی نیز آبیاری جویچه‌ای هم در اراضی بزرگ و هم کوچک بیش‌تر از سایر روش‌ها به کار گرفته می‌شود (یادتا و همکاران، ۲۰۲۲). مشکل اساسی در آبیاری سطحی زیاد بودن تلفات آب و پایین بودن راندمان است که البته علت آن نه ماهیت این سامانه‌ها بلکه عدم طراحی علمی و اجرای مناسب است (جعفری و همکاران، ۱۴۰۱). در ایران نیز آبیاری سطحی رایج‌ترین روش آبیاری است به‌نحوی که بخش عمده‌ای از اراضی زراعی تحت پوشش آبیاری سطحی است درحالی که راندمان آبیاری سطحی در کشور حدود ۴۴ درصد برآورد شده است (پهلوانی و همکاران، ۱۴۰۱).

آبیاری قطره‌ای، در مقایسه با آبیاری سطحی، رویکردی مؤثر برای صرفه‌جویی در آب آبیاری بوده که در سال‌های اخیر به شکلی فزاینده توسعه یافته است (جعفری و همکاران، ۱۴۰۰). این روش آبیاری با کاهش سطح خیس‌شده و در نتیجه تبخیر از سطح خاک، کاهش نفوذ عمقی، عدم ایجاد رواناب سطحی و امکان استفاده یکنواخت آب، سبب افزایش عملکرد محصول و راندمان مصرف آب می‌شود (کوکسال و همکاران، ۲۰۱۷؛ کریمی و همکاران، ۲۰۲۲؛ بای و همکاران، ۲۰۲۳). با توجه به مزایای متعدد، آبیاری قطره‌ای، اعم از سطحی و زیرسطحی، به‌عنوان کارآمدترین روش آبیاری انواع محصولات زراعی، باغی، سبزی‌ها و درختان میوه به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک شناخته می‌شود (ویدیا و همکاران، ۲۰۲۲؛ پاترا و همکاران، ۲۰۲۱).

با توجه به اهمیت موضوع، پژوهش‌های متعددی با هدف ارزیابی اثر روش‌های آبیاری بر ویژگی‌های مختلف

محصولات صورت گرفته است. نوروزی و زلفی‌باوریانی (۱۳۹۹) به ارزیابی اثر روش‌های مختلف قرارگیری نوارهای آبیاری قطره‌ای بر عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک بوشهر پرداختند. بدین منظور یک آزمایش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تیمار نحوه قرارگیری نوار آبیاری روی زمین شامل قرارگیری نوارهای آبیاری روی سطح زمین (T1)، داخل جوی‌های سطحی (T2)، در عمق ۱۰ سانتی‌متری (T3) و در عمق ۲۰ سانتی‌متری (T4) زمین، در سه تکرار انجام شد. بر اساس نتایج، عملکرد محصول و کارایی مصرف آب آبیاری در تیمارهای زیرسطحی نسبت به تیمار سطحی بیش‌تر بود. بالاترین مقادیر عملکرد و کارایی مصرف آب به‌ترتیب با ۴۸/۱ تن در هکتار و ۹/۴ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار T3 و پایین‌ترین مقادیر نیز با ۳۹/۱ تن در هکتار و ۷/۷ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار T1 ثبت شد. همچنین افزایش عمق کارگذاری نوار آبیاری از ۱۰ به ۲۰ سانتی‌متر سبب کاهش عملکرد و کارایی مصرف آب شد اما این کاهش معنی‌دار نبود. جلینی و همکاران (۱۳۹۳) اثر آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر کشت گوجه‌فرنگی را در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی بررسی نمودند. بر اساس نتایج، عملکرد گوجه‌فرنگی تحت آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به‌ترتیب ۴۳ و ۵۵ تن در هکتار و کارایی مصرف آب نیز ۶/۱ و ۷/۹ کیلوگرم بر مترمکعب ثبت شد که از نظر آماری برتری معنی‌دار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را نشان داد. در پژوهشی دیگر، صدراقین (۱۳۹۱) اثر آبیاری قطره‌ای نواری سطحی و زیرسطحی بر عملکرد و کارایی مصرف آب خیار را در ورامین استان تهران بررسی نمود. مطابق نتایج، تفاوت معنی‌داری میان عملکرد و کارایی مصرف آب خیار تحت این دو روش آبیاری وجود نداشت.

محمد و ایرماک (۲۰۲۲) برای کشت ذرت در نبراسکا آمریکا از روش‌های آبیاری جویچه‌ای، قطره‌ای نواری زیرسطحی و عقربه‌ای استفاده نمودند. برای دستیابی

به حداکثر عملکرد ذرت، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به کم‌ترین میزان آبیاری در طی فصل رشد نیاز داشت در حالی که آبیاری‌های عقربه‌ای و جویچه‌ای به‌ترتیب ۳۰ و ۵۵ میلی‌متر آب آبیاری بیش‌تری نسبت به آبیاری قطره‌ای نواری زیرسطحی نیاز داشتند. الغباری و دویدر (۲۰۱۸) برای اعمال کم‌آبیاری بر کشت گوجه‌فرنگی در عربستان از آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بهره بردند. در تیمار آبیاری کامل عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری گوجه‌فرنگی تحت آبیاری قطره‌ای سطحی به‌ترتیب ۹۱/۹۸ تن در هکتار و ۱۴/۸ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد اما آبیاری قطره‌ای زیرسطحی سبب افزایش این دو پارامتر به ۹۴/۱۲ تن در هکتار و ۱۵/۹ کیلوگرم بر مترمکعب شد. انیسو و همکاران (۲۰۱۵) از آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای زیرسطحی برای کشت پیاز در دو مزرعه واقع در تگزاس آمریکا استفاده نمودند. نتایج نشان‌دهنده برتری آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به آبیاری جویچه‌ای بود. راندمان آبیاری برای آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای زیرسطحی در مزرعه اول به‌ترتیب ۵۴/۱ و ۸۸/۵ درصد و در مزرعه دوم برابر ۶۷/۱ و ۸۱/۴ درصد اعلام شد. بهره‌وری آب آبیاری نیز برای آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای زیرسطحی در مزرعه اول به‌ترتیب ۴/۲ و ۱۷/۵ کیلوگرم بر مترمکعب و در مزرعه دوم برابر ۶/۵ و ۲۵/۲ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شد.

اسفناج علاوه بر ارزش اقتصادی، ارزش غذایی بالایی داشته و یکی از مغذی‌ترین سبزی‌ها جهان است. گیاه اسفناج با برخورداری از کلسیم، فسفر، آهن، پتاسیم، امگا ۳، مس، روی و به‌طورکلی انواع مواد معدنی، ویتامین‌ها و پروتئین‌ها برای سلامتی انسان بسیار مفید است (لیو و همکاران، ۲۰۲۱؛ توماس و همکاران، ۲۰۱۹). برای کشت اسفناج، آبیاری مستمر و با دور ۳ تا ۴ روز توصیه شده است. دور آبیاری اسفناج در پژوهش‌های اوکو و همکاران (۲۰۲۳) و رضانی‌فر و همکاران (۱۴۰۰) بین ۲ تا ۴ روز بوده است. در ایران سطح زیر کشت اسفناج ۵۱۰۹ هکتار و میانگین عملکرد آن ۱۹۵۹۶ کیلوگرم در هکتار تخمین

زده می‌شود و بنابراین تولید سالانه حدود ۱۰۰۱۱۵ تن است (بی‌نام، ۲۰۲۱).

در پژوهش‌های بررسی‌شده، اعمال روش‌های آبیاری مختلف منجر به ایجاد تفاوت معنی‌دار در عملکرد و بهره‌وری آب محصولات مختلف شده است. به عبارتی دیگر، روش آبیاری به عنوان ابزاری مؤثر برای مدیریت آب مزرعه عمل نموده است. با توجه به موارد مطرح‌شده و نیز ارزش اقتصادی و غذایی گیاه اسفناج، این پژوهش با هدف بررسی و مقایسه اثرات روش‌های مختلف آبیاری بر بهره‌وری آب، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه اسفناج در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک اهواز انجام شد.

مواد و روش‌ها

محل انجام پژوهش

این پژوهش در سال ۱۳۹۹، در مزرعه پژوهشی شماره یک دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز به انجام رسید. مزرعه پژوهشی در موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۸ دقیقه و ۲۵ ثانیه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۹ دقیقه و ۲۶ ثانیه طول شرقی واقع

شده است. شهر اهواز با ۱۲ متر ارتفاع نسبت به سطح دریا، از نظر اقلیمی منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. مطابق آمار بلندمدت هواشناسی ایستگاه سینوپتیک اهواز، میانگین بارندگی سالیانه ۲۳۰/۳ میلی‌متر، رطوبت نسبی سالانه ۴۸/۹۳ درصد، میانگین حداکثر درجه حرارت ماهانه هوا ۳۳/۰۰، میانگین حداقل درجه حرارت ماهانه هوا ۱۷/۹۴ و میانگین درجه حرارت سالانه هوا ۲۵/۳۶ درجه سانتی‌گراد است (بی‌نام، ۱۴۰۰). عمق آب زیرزمینی در مزرعه پژوهشی بین ۲/۲ تا ۲/۸ متر است. برای مشخص شدن خصوصیات خاک مزرعه و آب آبیاری که از رودخانه کارون تأمین می‌شود، نمونه‌های لازم تهیه و آزمایش‌های مربوطه انجام شد. نمونه‌برداری خاک از پنج نقطه مزرعه صورت گرفت. همچنین کیفیت آب در طول فصل کشت ارزیابی شد. بر اساس جدول (۱)، بافت خاک در عمق ۰ تا ۲۵ سانتی‌متر، لوم رسی سیلتی و در عمق ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متر، لوم رسی است. همچنین، بر اساس جدول (۲)، میانگین هدایت الکتریکی آب آبیاری در طول فصل کشت برابر ۱/۷۰ دسی‌زیمنس بر متر بود و بنابراین محدودیتی برای رشد و عملکرد گیاه اسفناج ایجاد نمی‌کند (مظلومی و رونقی، ۱۳۹۱؛ اورس و سوارز، ۲۰۱۷).

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مزرعه

عمق	هدایت الکتریکی عصاره اشباع	رطوبت ظرفیت زراعی	رطوبت نقطه پژمردگی	جرم مخصوص ظاهری	بافت	نسبت ذرات		
سانتی‌متر	دسی‌زیمنس بر متر	درصد حجمی		گرم بر سانتی‌مترمکعب	-	شن	سیلت	رس
۰-۲۵	۳/۲۱	۳۰/۷۳	۱۶/۳۸	۱/۴۳	لوم رسی سیلتی	۱۸/۲	۵۴/۸	۲۷/۰
۵۰-۲۵	۴/۷۳	۳۰/۵۷	۱۵/۸۳	۱/۳۸	لوم رسی	۲۴/۱	۴۰/۳	۳۵/۶

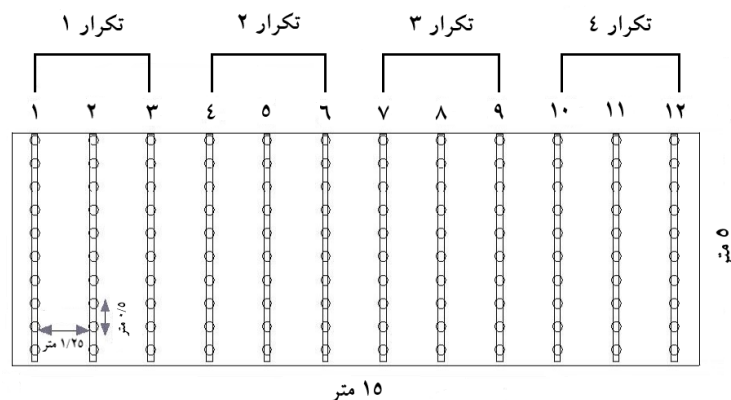
جدول ۲- ویژگی‌های آب آبیاری مزرعه

هدایت الکتریکی	اسیدیتته	نسبت جذب سدیم	کلسیم	منیزیم	سدیم	پتاسیم	کلر	سولفات	نیترات	فسفات	بی‌کربنات
دسی‌زیمنس بر متر	-	-									
۱/۷۰	۷/۳۰	۳/۲۰	۷/۵۰	۵/۷۰	۸/۲۱	۰/۰۵	۱۰/۸۰	۱/۳۰	۳/۰۱	۰/۶۵	۵/۷۰

نحوه انجام پژوهش

به منظور ارزیابی و مقایسه اثر روش‌های مختلف آبیاری بر بهره‌وری آب، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه اسفناج، رقم Virofly (به عنوان رقم مرسوم در منطقه)، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار روش آبیاری شامل آبیاری جویچه‌ای (FI)، آبیاری قطره‌ای نواری سطحی (SDI) و آبیاری قطره‌ای نواری زیرسطحی (SSDI)، در چهار تکرار انجام شد. گیاه اسفناج در تاریخ ۱۹ بهمن برداشت شد. بذر اسفناج در عمق دو تا چهار سانتی متری خاک کاشته شد. با توجه به نیاز اسفناج به کود حیوانی برای جوانه‌زنی، پیش از شروع کشت از کود حیوانی استفاده شد. با رسیدن اسفناج به مرحله سبز شدن، کود مرکب NPK به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار به زمین

اضافه شد. مساحت تحت کشت اسفناج برابر ۷۵ مترمربع و متشکل از چهار کرت، به عنوان چهار تکرار بود. هر کرت شامل سه ردیف کشت بود که هر ردیف به یکی از روش‌های سه‌گانه مورد مطالعه آبیاری شد. به منظور اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای نواری (سطحی و زیرسطحی)، از نوارهای آبیاری مدل TOP، ساخت گروه تولیدی نوار تیپ تاپ پلیمر با طول ۱۵ متر، فواصل خروجی (روزنه) ۲۰ سانتی متر، قطر داخلی ۱۶ میلی متر، ضخامت دیواره ۰/۲ میلی متر و دبی دو لیتر بر ساعت استفاده شد. همچنین عمق کارگذاری نوارها در سامانه زیرسطحی برابر پنج سانتی متر بود. طول هر ردیف کشت پنج متر، فاصله ردیف‌ها از یکدیگر ۱/۲۵ متر و فاصله بین گیاهان ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. نقشه شماتیک طرح آزمایش در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- نقشه شماتیک طرح آزمایش

$$d_g = \frac{d_n}{E} \quad (2)$$

که در آن‌ها: d_n عمق خالص آبیاری (میلی متر)، θ_{fc} رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی (درصد)، θ_m رطوبت وزنی در عمق توسعه ریشه قبل از آبیاری (درصد)، ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب)، Z_r عمق ریشه (میلی متر)، d_g عمق ناخالص آبیاری (میلی متر) و E راندمان سامانه آبیاری جویچه‌ای (اعشار) است. به منظور تعیین رطوبت وزنی در عمق توسعه ریشه قبل از هر دور آبیاری، نمونه برداری از خاک انجام و رطوبت آن اندازه‌گیری شد. بیشینه عمق توسعه ریشه اسفناج برابر ۳۰ سانتی متر در نظر گرفته شد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

برای گیاه اسفناج، حداکثر تخلیه مجاز رطوبت (MAD) معادل ۲۰ درصد از کل آب قابل استفاده (TAW) است که مقایسه آن با سایر محصولات کشاورزی حاکی از توانایی اندک اسفناج برای مقابله با کم‌آبی است (پوزش شیرازی و رخشنده‌رو، ۱۳۸۷). در پژوهش حاضر، دور آبیاری اسفناج تحت آبیاری جویچه‌ای پنج روز و تحت آبیاری قطره‌ای سه روز تعیین شد.

برای محاسبه عمق ناخالص آب در هر دور آبیاری جویچه‌ای طی فصل کشت، از روابط زیر استفاده شد:

$$d_n = (\theta_{fc} - \theta_m) \times \rho_b \times Z_r \quad (1)$$

راندمان آبیاری جویچه‌ای نیز برابر ۶۵ درصد لحاظ شد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵).

برای تعیین عمق آب آبیاری در آبیاری قطره‌ای نیز ابتدا تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از داده‌های روزانه هواشناسی ایستگاه اهواز و روش فائو پنمن-مانیت محاسبه شد. سپس با استفاده از روابط زیر عمق ناخالص آب آبیاری در هر دور سه روزه مشخص شد:

$$ET_C = ET_O \times K_C \quad (3)$$

$$T_d = ET_C \times (0.1 \times \sqrt{P_d}) \quad (4)$$

$$d_g = \frac{T_d}{E} \quad (5)$$

که در آن‌ها: ET_C تبخیر-تعرق گیاه اسفناج (میلی‌متر)، ET_O تبخیر-تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر)، K_C ضریب گیاهی اسفناج، T_d نیاز خالص آبیاری روزانه (میلی‌متر)، P_d سطح سایه‌انداز گیاه (درصد)، d_g نیاز ناخالص آبیاری روزانه (میلی‌متر) و E راندمان سامانه آبیاری قطره‌ای (اعشار) است. راندمان سامانه آبیاری قطره‌ای نواری ۹۰ درصد در نظر گرفته شد (کوهی‌چله‌کران و همکاران، ۱۳۹۹).

برای گیاه اسفناج، ضرایب گیاهی ابتدایی ($K_{C\ ini}$)، میانی ($K_{C\ mid}$) و پایانی ($K_{C\ end}$) به ترتیب برابر ۰/۷۰، ۱/۰۰ و ۰/۹۵ است. همچنین دوره رشد اسفناج در مناطق خشک شامل چهار بخش ابتدایی (۰ تا ۲۰ درصد دوره رشد)، توسعه (۲۰ تا ۵۰ درصد دوره رشد)، میانی (۵۰ تا ۹۰ درصد دوره رشد) و پایانی (۹۰ تا ۱۰۰ درصد دوره رشد) است. با تطبیق اطلاعات عنوان‌شده و طول دوره رشد اسفناج در پژوهش حاضر، مقادیر ضریب گیاهی برای تمام طول فصل کشت تعیین شد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

به منظور بررسی خصوصیات گیاهی در پایان فصل کشت، از هر ردیف چهار بوته اسفناج (در مجموع ۴۸ نمونه) به صورت کامل و سالم از خاک بیرون آورده شد و پس از انتقال به آزمایشگاه، اندازه‌گیری‌های مورد نیاز انجام شد. ابتدا وزن تر ریشه، ساقه و برگ گیاه با استفاده از ترازو دارای دقت ۰/۰۱ گرم، تعیین شد. سپس، اجزای گیاه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و در نهایت وزن خشک اجزای مختلف

مشخص شد. طول ریشه و ساقه با خط‌کش اندازه‌گیری شد. تعداد کل برگ‌ها و تعداد برگ‌های پژمرده در هر بوته نیز شمرده شد. برای تعیین میزان کلروفیل برگ‌های اسفناج از دستگاه کلروفیل‌سنج SPAD-502 استفاده شد. میزان کلروفیل در سه نقطه از برگ‌های میانی اندازه‌گیری و میانگین مقادیر اندازه‌گیری‌شده محاسبه شد. شاخص برداشت برای گیاه اسفناج به صورت نسبت وزن تازه برگ‌های قابل برداشت به وزن کل زیست‌توده (مجموع وزن تازه ساقه و برگ) و در قالب درصد تعیین شد (پاروادی و همکاران، ۲۰۲۰). با توجه به آن‌که از یک سو هدف پژوهش حاضر ارزیابی فرایند آبیاری بوده و از سوی دیگر میزان بارندگی در طی فصل رشد محصول اندک بوده، برای محاسبه شاخص بهره‌وری آب از رابطه زیر استفاده شد:

$$WP = \frac{Y}{I} \quad (6)$$

که در آن: WP بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y مقدار محصول تولیدشده (کیلوگرم) و I مقدار آب آبیاری (مترمکعب) است. با توجه به آن‌که محصول نهایی اسفناج برگ و ساقه آن است، مجموع وزن تر برگ و ساقه به عنوان مقدار محصول تولیدشده برای محاسبه بهره‌وری آب در نظر گرفته شد.

در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل اثر تیمارهای روش آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه اسفناج از نرم‌افزار SAS استفاده شد. آنالیز واریانس در سطح یک درصد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

میانگین حجم آب آبیاری برای هر تیمار طی فصل کشت اسفناج در جدول (۳) ارائه شده است. در مجموع، آبیاری جویچه‌ای در هشت نوبت و آبیاری قطره‌ای (سطحی و زیرسطحی) در ۱۴ نوبت انجام شد. مطابق جدول مشاهده می‌شود که آبیاری جویچه‌ای با ۱۰۶۶/۷ مترمکعب در هکتار بیش‌ترین مصرف آب را داشته است. اعمال آبیاری قطره‌ای سبب کاهش آب مصرفی شده؛

همچنین اثر تیمار آبیاری بر وزن تر برگ در سطح یک درصد معنی دار بوده درحالی که وزن تر ساقه در اثر تیمار آبیاری تغییر معنی داری نداشته است.

مطابق جدول (۵)، بیشترین وزن تر برگ با ۱۹/۸۸ گرم در بوته در تیمار SDI حاصل شد درحالی که کمترین وزن تر برگ با ۱۱/۸۷ گرم در بوته مربوط به تیمار SSDI بود. بیشترین و کمترین میزان وزن برگ خشک نیز با ۲/۹۱ و ۱/۴۶ گرم در بوته به ترتیب مربوط به تیمارهای SDI و FI بود. وزن تر و خشک برگ در تیمار FI به ترتیب ۱۵/۴۸ و ۱/۴۶ گرم در بوته بود که نسبت به تیمار SDI کاهشی ۲۲/۱۳ و ۴۹/۸۳ درصدی را نشان می دهد. بندیان و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی ضمن کشت اسفناج (رقم Virofly) در گلخانه دانشگاه فردوسی مشهد، وزن تر برگ را ۲۵/۹۳ گرم در بوته ثبت نمودند.

مقدار بیشینه وزن تر و خشک کل نیز به ترتیب با ۳۲/۱۵ و ۴/۸۸ گرم در بوته در تیمار SDI و کمینه آن با ۲۰/۷۶ و ۲/۹۹ گرم در بوته تحت تیمار SSDI به دست آمد. یاوز و همکاران (۲۰۲۲) با ارزیابی اثر شوری آب آبیاری بر عملکرد اسفناج گلخانه ای، وزن خشک کل اسفناج تحت آبیاری با هدایت الکتریکی ۱/۵۰ دسی زیمنس بر متر را ۴/۶۲ گرم در بوته گزارش کردند.

در مجموع، آبیاری قطره ای سطحی (SDI) در تمامی هشت ویژگی مربوط به وزن بالاترین مقدار را ثبت کرد درحالی که آبیاری قطره ای زیرسطحی (SSDI) در شش مورد از این ویژگی ها پایین ترین مقدار را داشت. در برخی پژوهش های دیگر نیز برتری عملکرد محصول تحت آبیاری قطره ای سطحی نسبت به روش های آبیاری قطره ای زیرسطحی و آبیاری جویچه ای گزارش شده است. باغانی و همکاران (۱۳۹۱) عملکرد سیب زمینی تحت آبیاری قطره ای سطحی و زیرسطحی را به ترتیب ۲۹/۹۳ و ۲۴/۱۲ تن در هکتار گزارش نموده و این اختلاف را در سطح پنج درصد معنی دار توصیف نمودند. محمدخانی و همکاران (۱۳۹۹) اثر سطوح مختلف تنش آبی بر ذرت تحت آبیاری قطره ای نواری سطحی و زیرسطحی را بررسی و گزارش

به نحوی که تیمارهای SDI و SSDI با مصرف ۷۸۷/۵ مترمکعب در هکتار، سبب کاهش ۲۶/۱۷ درصدی آب آبیاری نسبت به آبیاری جویچه ای شد. علت کاهش آب آبیاری اعمال شده تحت آبیاری قطره ای نسبت به آبیاری سطحی را می توان کاهش تلفات از طریق تبخیر، نفوذ عمقی و رواناب دانست.

کوهی چله کران و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند آب آبیاری استفاده شده برای ذرت ارقام KSC 704 و KSC 410، تحت آبیاری جویچه ای به ترتیب برابر ۱۲۵۸۰ و ۱۰۳۴۰ مترمکعب در هکتار و تحت آبیاری قطره ای نواری برابر ۷۹۰۵ و ۶۷۶۵ مترمکعب در هکتار بود که کاهشی برابر ۳۷/۱۶ و ۳۴/۵۷ درصد را نشان می دهد. رحیمی پول و همکاران (۱۴۰۰) حجم آب آبیاری استفاده شده برای برنج را تحت آبیاری سطحی ۸۴۳۱ مترمکعب در هکتار و تحت انواع آبیاری قطره ای بین ۶۰۰۹ تا ۶۶۲۲ مترمکعب در هکتار گزارش کردند. همچنین، خرمیان و ظریفی نیا (۱۳۹۷) برای کشت هندوانه در استان خوزستان، آب آبیاری اعمال شده تحت آبیاری قطره ای نواری نسبت به آبیاری جویچه ای را ۵۹ درصد کم تر گزارش کردند. در پژوهش شاهین رخسار و اسدی (۱۳۹۲) نیز آب آبیاری استفاده شده برای کشت سویا در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان با کاربرد سامانه آبیاری قطره ای نواری، ۳۳ درصد کم تر از آبیاری جویچه ای بود.

جدول ۳- حجم آب آبیاری هر تیمار در فصل کشت

تیمار	حجم آب آبیاری مترمکعب در هکتار
FI	۱۰۶۶/۷
SDI	۷۸۷/۵
SSDI	۷۸۷/۵

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین های ویژگی های مربوط به وزن اجزای گیاه اسفناج در جدول های (۴) و (۵) نشان داده شده است. مطابق جدول (۴)، تیمار آبیاری بر وزن تر ریشه، وزن تر کل، وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ و وزن خشک کل دارای اثر معنی دار در سطح پنج درصد بوده است.

کردند عملکرد دانه ذرت در شرایط بدون تنش در آبیاری قطره‌ای سطحی برابر ۲۲/۳۳ تن در هکتار و در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برابر ۲۲/۳۱ تن در هکتار بوده است. در پژوهش سزن و همکاران (۲۰۱۴) عملکرد فلفل قرمز تحت آبیاری قطره‌ای در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب ۴۴۱۷۰ و ۴۷۷۹۰ کیلوگرم در هکتار و تحت آبیاری جویچه‌ای ۳۵۵۹۰ و ۴۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بود.

پژوهش‌های یادشده که نشان‌دهنده برتری عملکرد محصول تحت آبیاری قطره‌ای سطحی نسبت به زیرسطحی هستند، بر روی گیاهانی انجام شده‌اند که عملکرد آن‌ها حاصل رشد زایشی (گلدھی) است. در آبیاری قطره‌ای سطحی رشد زایشی و در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی رشد رویشی (رشد بخش بالایی گیاه، شامل ساقه و برگ‌ها) گیاه شاخص‌تر است (زاغیان و نوری، ۱۳۹۵). عملکرد گیاه اسفناج حاصل رشد رویشی است و محصول باید پیش از وقوع رشد زایشی برداشت شود زیرا

گلدھی اسفناج منجر به کاهش بازارپسندی آن می‌شود؛ بنابراین دلیل عملکرد بالاتر اسفناج تحت آبیاری قطره‌ای سطحی با دلیل مطرح‌شده برای محصولاتی همچون سیب‌زمینی، ذرت و فلفل قرمز متفاوت است. گیاه اسفناج، علاوه بر کمبود آب، نسبت به رطوبت مداوم و بیش از اندازه نیز حساس بوده و دچار کاهش عملکرد می‌شود (پوزش‌شیرازی و رخشنده‌رو، ۱۳۸۷). در آبیاری قطره‌ای سطحی، اگرچه میزان تبخیر از سطح خاک نسبت به آبیاری سطحی کاهش می‌یابد اما همچنان مقداری تلفات به‌صورت تبخیر از سطح خاک رخ می‌دهد. با این وجود در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به دلیل عدم وجود تلفات تبخیر و نفوذ عمقی (با توجه به کارگذاری نوار در عمق کم نسبت به سطح خاک) و همچنین دریافت آب آبیاری یکسان با آبیاری قطره‌ای سطحی، رطوبت خاک نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی بیش‌تر بوده و به‌نظر می‌رسد تداوم رطوبت بالا منجر به کاهش عملکرد اسفناج شده است.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های مورد بررسی اسفناج در تیمارهای روش‌های آبیاری

میانگین مربعات								درجه آزادی	منابع تغییرات
وزن خشک کل	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک ریشه	وزن تر کل	وزن تر برگ	وزن تر ساقه	وزن تر ریشه		
۱/۰۱ ^{ns}	۰/۳۱ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۱۲/۹۵ ^{ns}	۴/۳۱ ^{ns}	۵/۸۴ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	۴	تکرار
۳/۹۱*	۲/۳۷*	۰/۵۵*	۰/۰۸*	۳۴۴/۴۸*	۲۴۷/۷۰**	۱۰/۷۸ ^{ns}	۱/۸۳*	۳	تیمار آبیاری (I)
۴/۳۵	۲/۲۷	۰/۴۴	۰/۰۴	۹۲/۰۳	۵۹/۲۶	۲۱/۱۲	۱/۴۴	۱۲	خطای I
۲۶/۴۲	۲۲/۲۷	۲۳/۶۰	۲۸/۰۰	۱۶/۰۰	۲۲/۷۲	۲۲/۹۰	۲۲/۰۰		ضریب تغییرات (%)

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد و ns بدون اثر معنی‌دار می‌باشند

جدول ۵- نتایج میانگین ویژگی‌های مورد بررسی اسفناج در تیمارهای روش‌های آبیاری

تیمار آبیاری	وزن تر ریشه	وزن تر ساقه	وزن تر برگ	وزن تر کل	وزن خشک ریشه	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	وزن خشک کل	گرم در بوته
FI	۱/۱۷ ^b	۸/۰۸ ^a	۱۵/۴۸ ^b	۲۴/۷۳ ^b	۰/۲۶ ^b	۱/۲۹ ^{ab}	۱/۴۶ ^b	۳/۰۱ ^b	
SDI	۱/۹۸ ^a	۱۰/۲۹ ^a	۱۹/۸۸ ^a	۳۲/۱۵ ^a	۰/۵۲ ^a	۱/۴۵ ^a	۲/۹۱ ^a	۴/۸۸ ^a	
SSDI	۱/۴۸ ^b	۷/۴۱ ^a	۱۱/۸۷ ^b	۲۰/۷۶ ^b	۰/۲۳ ^b	۰/۹۲ ^b	۱/۸۴ ^{ab}	۲/۹۹ ^b	

ستون‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری (آزمون دانکن در سطح پنج درصد)، تفاوت معنی‌داری ندارند

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های هشت مورد دیگر از ویژگی‌های مربوط به گیاه اسفناج در جدول‌های (۶) و (۷) ارائه شده است. بر این اساس، طول ریشه در تیمار FI به‌طور میانگین برابر ۱۰/۶۰ سانتی‌متر بود. با اعمال آبیاری قطره‌ای، طول ریشه در تیمارهای SDI و SSDI به‌ترتیب به ۱۴/۹۵ و ۱۴/۶۷ سانتی‌متر افزایش یافت اما این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. در آبیاری قطره‌ای آب به‌صورت مداوم و جزئی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و بنابراین ریشه گیاه برای جذب آب و مواد غذایی گسترش‌یافته و عمیق‌تر می‌شود (نامداریان و همکاران، ۱۳۹۹).

اثر تیمار آبیاری بر ویژگی‌های طول ساقه و طول کل نیز معنی‌دار نبوده است. بیش‌ترین طول ساقه با ۲۷/۴۹ سانتی‌متر مربوط به تیمار FI بود اما میزان بیشینه طول کل با ۳۹/۸۹ سانتی‌متر در تیمار SDI ثبت شد. مقایسه نتایج با سایر پژوهش‌ها، نشان‌دهنده رشد طولی مناسب اسفناج کشت‌شده در این پژوهش است. دهقان و همکاران (۱۴۰۰) طی پژوهشی که با هدف ارزیابی اثر کم‌آبیاری با آب‌شور بر عملکرد و صفات رویشی گیاه اسفناج (رقم Viroflay) در گلخانه‌ای واقع در کاشمر استان خراسان رضوی (اقلیم خشک) انجام شد، طول ساقه اسفناج در تیمار شاهد (آبیاری کامل با هدایت الکتریکی ۰/۷۵ دسی‌زیمنس بر متر) را ۲۰/۷۵ سانتی‌متر گزارش نمودند. همچنین، در پژوهش جمالی و همکاران (۱۳۹۸) طول کل اسفناج گلخانه‌ای برابر ۲۴/۰۰ سانتی‌متر بود. ارتفاع گیاهان به شرایط محیطی از جمله فراهم بودن آب کافی بستگی دارد. چنانچه آب به میزان مورد نیاز در دسترس گیاه قرار نگیرد، فشار تورژسانس سلول‌ها کاهش می‌یابد که این مورد با اثرگذاری بر طول سلول‌ها و تقسیم سلولی، در نهایت منجر به کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (رضانی‌فر و همکاران، ۱۴۰۰). با توجه به ارتفاع مناسب اسفناج در این پژوهش، میزان آب آبیاری در هر سه تیمار روش آبیاری کافی بوده است.

تعداد برگ‌های اسفناج در هر بوته از ۱۱/۱ عدد در تیمار SDI تا ۱۲/۲ عدد در تیمار FI و تعداد برگ‌های

پژمرده در هر بوته نیز از ۲/۶ عدد در تیمار SSDI تا ۲/۷ عدد در تیمار FI و SDI متغیر بود. اثر تیمارهای آبیاری بر تعداد برگ و تعداد برگ پژمرده گیاه اسفناج معنی‌دار نبود. اوکو و همکاران (۲۰۲۳)، دو رقم گیاه اسفناج شامل Eland و Bufflehead را در شرایط مزرعه و گلخانه تحت آبیاری دستی با آب‌پاش در شهر یولیش آلمان کشت نمودند. آن‌ها تعداد برگ‌های ارقام Eland و Bufflehead را به‌ترتیب در مزرعه هفت و هشت عدد و در گلخانه ۱۳ و ۱۸ عدد گزارش کردند. در پژوهش یاوز و همکاران (۲۰۲۲) نیز تعداد برگ‌های اسفناج گلخانه‌ای (تحت آبیاری با هدایت الکتریکی ۱/۵۰ دسی‌زیمنس بر متر)، برابر ۱۹ عدد بود. میزان کلروفیل در برگ‌های اسفناج نیز تحت تأثیر تیمارهای آبیاری دچار تغییر معنی‌داری نشد. بیش‌ترین میزان کلروفیل با ۰/۴۸۹ میلی‌گرم بر گرم مربوط به تیمار FI و کم‌ترین میزان آن با ۰/۳۲۰ میلی‌گرم بر گرم مربوط به تیمار SSDI بود. رضایی‌نیک و همکاران (۱۴۰۰) نیز میزان کلروفیل اسفناج کشت‌شده در گلخانه دانشگاه اراک را ۱/۷۸۲ میلی‌گرم بر گرم محاسبه نمودند. شاخص برداشت برای تیمارهای FI، SDI و SSDI به‌ترتیب برابر ۶۵/۷۰، ۶۵/۸۹ و ۶۱/۵۷ درصد محاسبه شد که تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. پاروآدا و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی که به‌منظور بررسی اثر کودهای مختلف بر رشد اسفناج صورت گرفت، شاخص برداشت اسفناج در تیمار شاهد (دریافت کود NPK) را طی سه سال تکرار پژوهش به‌ترتیب ۶۲، ۶۴ و ۶۳ درصد محاسبه نمودند. محمدخانی و همکاران (۱۳۹۹) نیز اعلام کردند شاخص برداشت ذرت در آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در شرایط بدون تنش آبی به‌ترتیب ۶۰/۴۷ و ۵۶/۶۶ درصد به‌دست آمده که اگرچه حاکی از برتری آبیاری قطره‌ای سطحی در این پارامتر است، اما این برتری از نظر آماری معنی‌دار نیست.

بهره‌وری آب در تیمار SDI با ۰/۶۱۳ کیلوگرم بر مترمکعب اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. بهره‌وری آب در تیمارهای FI و SSDI نیز به‌ترتیب برابر ۰/۳۵۳ و ۰/۳۹۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود. با وجود مصرف

کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه و این اختلاف را معنی‌دار گزارش کرد. رودبارانی و همکاران (۱۴۰۰) نیز بهره‌وری فیزیکی آب برای کشت لوبیا را تحت آبیاری قطره‌ای نواری، بارانی و جویچه‌ای به ترتیب ۰/۳۶، ۰/۳۵ و ۰/۲۲ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند.

آب آبیاری برابر در تیمارهای SDI و SSDI، عملکرد اسفناج در تیمار SDI بیش‌تر از SSDI بوده و بنابراین بهره‌وری آب نیز در این تیمار بالاتر محاسبه شد. یافته‌های این بخش از پژوهش با پژوهش مروانی (۱۴۰۰) تطابق دارد. او بهره‌وری آب آبیاری برای کشت گوجه‌فرنگی در آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای نواری را به ترتیب ۳/۸۶ و ۴/۶۸

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های مورد بررسی اسفناج در تیمارهای روش‌های آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول ریشه	طول ساقه	طول کل	تعداد برگ	تعداد برگ پژمرده	کلروفیل	شاخص برداشت	بهره‌وری آب
تکرار	۴	۲۰/۵۴ ^{ns}	۱۷/۰۰ ^{ns}	۵۳/۳۵ ^{ns}	۱۹/۳۷ ^{ns}	۰/۳۷ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۹/۲۷ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}
تیمار آبیاری (I)	۳	۱۴/۴۶ ^{ns}	۳۲/۲۷ ^{ns}	۱۲/۶۰ ^{ns}	۱۱/۷۲ ^{ns}	۱/۸۴ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۲۹/۱۲ ^{ns}	۰/۲۳ [*]
خطای I	۱۲	۵۵/۹۷	۸۴/۳۸	۱۳۴/۸۹	۴۷/۳۲	۲/۵۹	۰/۰۲	۳۷/۱۴	۰/۶۷
ضریب تغییرات (%)		۱۴/۰۰	۱۴/۵۲	۱۱/۶۲	۱۶/۲۷	۱۴/۳۲	۱۱/۲۳	۲۱/۳۸	۱۹/۵۴

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد و ns بدون اثر معنی‌دار است

جدول ۷- نتایج میانگین ویژگی‌های مورد بررسی اسفناج در تیمارهای روش‌های آبیاری

تیمار آبیاری	طول ریشه سانتی‌متر	طول ساقه سانتی‌متر	طول کل سانتی‌متر	تعداد برگ	تعداد برگ پژمرده	کلروفیل	شاخص برداشت	بهره‌وری آب
FI	۱۰/۶۰ ^a	۲۷/۴۹ ^a	۳۸/۰۹ ^a	۱۲/۲ ^a	۲/۷ ^a	۰/۴۸۹ ^a	۶۵/۷۰ ^a	۰/۳۵۳ ^b
SDI	۱۴/۹۵ ^a	۲۴/۹۴ ^a	۳۹/۸۹ ^a	۱۱/۱ ^a	۲/۷ ^a	۰/۴۱۱ ^a	۶۵/۸۹ ^a	۰/۶۱۳ ^a
SSDI	۱۴/۶۷ ^a	۲۱/۳۷ ^a	۳۶/۰۴ ^a	۱۱/۸ ^a	۲/۶ ^a	۰/۳۳۰ ^a	۶۱/۵۷ ^a	۰/۳۹۲ ^b

ستون‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری (آزمون دانکن در سطح پنج درصد)، تفاوت معنی‌داری ندارند

نتیجه‌گیری

نظر به بحران فزاینده آب، این پژوهش با هدف ارزیابی و مقایسه اثرات آبیاری جویچه‌ای، قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر عملکرد و اجزای عملکرد اسفناج در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک اهواز انجام شد. بر اساس نتایج، آب آبیاری اعمال‌شده در آبیاری جویچه‌ای برابر ۱۰۶۶/۷ مترمکعب در هکتار و در آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی برابر ۷۸۷/۵ مترمکعب در هکتار بود. در تیمارهای FI، SDI و SSDI عملکرد گیاه (مجموع وزن تر برگ و ساقه) به ترتیب برابر ۲۳/۵۶، ۳۰/۱۷ و ۱۹/۲۸ گرم

در بوته و بهره‌وری آب آبیاری برابر ۰/۳۵۳، ۰/۶۱۳ و ۰/۳۹۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود؛ بنابراین، آبیاری قطره‌ای سطحی دارای برتری معنی‌دار نسبت به دو روش آبیاری دیگر بود و بالاترین مقادیر عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری اسفناج در این روش حاصل شد. در پژوهش حاضر، دور آبیاری و میزان آب آبیاری اعمال‌شده برای دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی یکسان بود درحالی‌که تلفات تبخیر و نفوذ عمقی در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی کم‌تر است؛ بنابراین، با توجه به حساسیت اسفناج نسبت به رطوبت مداوم و بیش از اندازه،

زراعی در کشت‌های بعد ایجاد خواهد کرد. با در نظر گرفتن مشکلات اجرایی آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از یک طرف و برتری عملکرد اسفناج تحت آبیاری قطره‌ای سطحی نسبت به زیرسطحی از طرفی دیگر، استفاده از روش آبیاری قطره‌ای سطحی برای کشت اسفناج توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله از رساله دوره دکترای تخصصی در دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز استخراج شده است. بدین وسیله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (GN: SCU. WI98.280) تشکر و قدردانی می‌گردد.

به نظر می‌رسد تداوم رطوبت بالا منجر به کاهش عملکرد اسفناج در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی شده است. عملکرد محصول در آبیاری جویچه‌ای بیش‌تر از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بود اما بهره‌وری آب در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بالاتر بود، اگرچه این دو تیمار تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. اثر تیمار آبیاری بر ویژگی‌های طول ریشه، طول ساقه، طول کل، تعداد برگ، تعداد برگ پژمرده، میزان کلروفیل برگ و شاخص برداشت معنی‌دار نبود. از نظر مدیریتی، چنانچه بهره‌وری آب هدف باشد، آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری جویچه‌ای برای کشت اسفناج مناسب‌تر است. در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، کارگذاری نوارها در زیر خاک با تحمیل هزینه حفاری موجب افزایش هزینه تولید محصول می‌شود. همچنین، این روش آبیاری معضلاتی مانند جمع‌آوری نوارها در پایان فصل به همراه داشته و باقی‌مانده نوارها نیز مشکلاتی را برای ادوات

فهرست منابع

۱. باغانی، ج.، علیزاده، ا.، و فریدحسینی، ع. ۱۳۹۱. اثر آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر عملکرد کمی و کیفی در زراعت سیب‌زمینی. مجله آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۶، شماره ۳، صفحه‌های ۲۳۸ تا ۲۴۴.
۲. بی‌نام. ۱۳۹۹. توصیه‌های ساده برای مصرف آب. وزارت نیرو. گزارش دفتر مدیریت مصرف و ارتقای بهره‌وری آب و آبفا. تهران. صفحه‌های ۴ تا ۵.
۳. بی‌نام. ۱۴۰۰. آمارنامه هواشناسی. سازمان هواشناسی کشور. تهران. ایران.
۴. پوزش شیرازی، م.، و رخشنده‌رو، م.، ۱۳۸۷. بررسی اثرات رژیم آبیاری، تراکم بوته و روش کشت بر عملکرد گیاه اسفناج (*Spinacia Oleracea L.*) (مطالعه موردی: استان بوشهر). نشریه آب‌و خاک، شماره ۲۲، جلد ۲، صفحه‌های ۱۸۷ تا ۱۹۸.
۵. پهلوانی، ع.، ابراهیمیان، ح.، و عباسی، ف.، ۱۴۰۱. تأثیر محل کارگذاری مالچ پلاستیکی در آبیاری جویچه‌ای بر بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای. مجله پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۳۶، شماره ۱، صفحه‌های ۹۳ تا ۱۰۴.
۶. جعفری، م. س.، نوری، ح.، ابراهیمیان، ح.، لیاقت، ع. م.، و سوهانی، ی.، ۱۴۰۰. بررسی تأثیر توأمان مقادیر مختلف آب آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد و بهره‌وری ذرت در آبیاری قطره‌ای. مجله مدیریت آب و آبیاری، جلد ۱۱، شماره ۴، صفحه‌های ۶۶۹ تا ۶۸۲.
۷. جعفری، م. م.، اوجاقلو، ح.، و ابراهیمیان، ح.، ۱۴۰۱. ارزیابی عملکرد روش‌های برآورد ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف در آبیاری جویچه‌ای با جریان موجی. فصلنامه دانش آب‌و خاک، جلد ۳۲، شماره ۴، صفحه‌های ۱۷ تا ۳۲.

۸. جلینی، م.، سبحانی، ع.، و کریمی، م.، ۱۳۹۳. مزیت کاربرد آبیاری قطره‌ای (نواری) زیرسطحی در کشت گوجه‌فرنگی تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری. نشریه مدیریت آب در کشاورزی، جلد ۱، شماره ۱، صفحه‌های ۱۳ تا ۲۰.
۹. جمالی، ص.، انصاری، ح.، و صالح‌نیا، ن.، ۱۴۰۰. تحلیل بهره‌وری اقتصادی آب و کود نیتروژن در آبیاری جویچه‌ای یک در میان برای کشت کینوا. نشریه مدیریت آب در کشاورزی، جلد ۸، شماره ۲، صفحه‌های ۱ تا ۱۴.
۱۰. جمالی، ص.، سجادی، ف.، و هزارجریبی، ا.، ۱۳۹۸. امکان‌سنجی استفاده از آب دریای خزر جهت آبیاری گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea* L.). مجله مدیریت آب و آبیاری، جلد ۹، شماره ۲، صفحه‌های ۲۶۳ تا ۲۷۵.
۱۱. خرمیان، م.، و ظریفی‌نیا، ن.، ۱۳۹۷. اثر مقادیر آبیاری قطره‌ای تیپ و آبیاری سطحی برنامه‌ریزی‌شده بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب دو رقم هندوانه در خوزستان. فصلنامه علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۴۱، شماره ۱، صفحه‌های ۷۳ تا ۸۴.
۱۲. خشائی، ف.، بهمنش، ج.، رضوردی‌نژاد، و.، و آزاد، ن.، ۱۳۹۸. تأثیر مقدار آبیاری و تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی. مجله پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۳۳، شماره ۴، صفحه‌های ۶۰۱ تا ۶۱۲.
۱۳. دهقان، ه.، مکاری، م.، محمدی، م.، و رمضانی‌مقدم، ج.، ۱۴۰۰. اثر کم‌آبیاری با آب شور بر عملکرد و صفات رویشی گیاه اسفناج (*Spinacia Oleraceae* L.) در یک اقلیم خشک. مجله مهندسی آبیاری و آب ایران، شماره ۱۲، جلد ۴۶، صفحه‌های ۹۲ تا ۱۱۰.
۱۴. رحیمی‌پول، م.، اکبری‌نوده‌ی، د.، اسدی، ر.، باقری، ع.، و شیردل‌شهمیری، ف.، ۱۴۰۰. تأثیر آبیاری قطره‌ای و غرقابی بر عملکرد و بهره‌وری آب در دو روش کشت برنج در مازندران. مجله پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۳۵، شماره ۴، صفحه‌های ۳۹۱ تا ۴۰۴.
۱۵. رضایی‌نیک، م.، عباسی‌فر، م. ر.، و ولی‌زاده‌کاجی، ب.، ۱۴۰۰. بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاه اسفناج با کاربرد سلیوم و نانو ذرات سبز سلیوم. مجله تغذیه گیاهان باغی، شماره ۴، جلد ۲، صفحه‌های ۱۲۹ تا ۱۴۴.
۱۶. رمضانی‌فر، ح.، یزدان‌پناه، ن.، گل‌کار حمزیه‌ی‌یزد، ح. ر.، طاوسی، م.، و محمودآبادی، م.، ۱۴۰۰. اثرات سطوح مختلف آب، شوری و کود نیتروژن بر شاخص‌های رشد و کارایی مصرف آب اسفناج. مجله آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱۵، جلد ۳، صفحه‌های ۶۹۰ تا ۷۰۰.
۱۷. رودبارانی، ج.، مظفری، ج.، و محسنی‌موحد، س. ا.، ۱۴۰۰. مقایسه عملکرد لوبیا در سامانه‌های آبیاری شیاری، تیپ و رین فلت. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، جلد ۲۸، شماره ۲، صفحه‌های ۱۹۵ تا ۲۱۰.
۱۸. زاغیان، گ.، و نوری، م.، ۱۳۹۵. مقایسه تأثیر روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی و آبیاری شیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای. مجموعه مقالات دومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۴-۲ شهریور ماه، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.
۱۹. شاهین‌رخسار، پ.، و اسدی، م. ا.، ۱۳۹۲. ارزیابی دو سیستم آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) و شیاری تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی. مجله پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۲۷، شماره ۱، صفحه‌های ۸۹ تا ۱۰۰.
۲۰. صدراقین، س. ح.، ۱۳۹۱. اثر سه روش آبیاری میکرو بر عملکرد و کارایی مصرف آب در زراعت خیار. نشریه آب‌و خاک، جلد ۲۶، شماره ۲، صفحه‌های ۵۱۵ تا ۵۲۲.

۲۱. عباسی، ف.، سهراب، ف.، و عباسی، ن.، ۱۳۹۵. ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. نشریه تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، جلد ۱۷، شماره ۶۷، صفحه‌های ۱۱۳ تا ۱۲۸.
۲۲. کوهی‌چله‌کران، ن.، دهقانی‌سانج، ح.، نقوی، ه.، و کنعانی، ا.، ۱۳۹۹. بررسی تغییرات عملکرد و بهره‌وری آب در ارقام مختلف ذرت دانه‌ای (KSC 704 و KSC 410) تحت مدیریت آبیاری با روش‌های آبیاری قطره‌ای نواری و شیاری. مجله آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱۴، شماره ۵، صفحه‌های ۱۶۳۹ تا ۱۶۴۹.
۲۳. محمدخانی، ا.، پورغلام‌آمیجی، م.، سهرابی، ت.، و لیاقت، ع. م.، ۱۳۹۹. اثر سطوح مختلف تنش آبی در دو سامانه آبیاری قطره‌ای نواری سطحی و زیرسطحی بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت. مجله مدیریت آب و آبیاری، جلد ۱۰، شماره ۲، صفحه‌های ۲۴۷ تا ۲۶۴.
۲۴. مروانی، م.، ۱۴۰۰. مقایسه روش آبیاری شیاری، قطره‌ای نواری (تیپ) و آبیاری قطره‌ای با بطری بر عملکرد اجزای گیاه گوجه‌فرنگی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۲۵. مظلومی، ف.، و رونقی، ع. م.، ۱۳۹۱. اثر شوری و فسفر بر رشد و ترکیب شیمیایی دو رقم اسفناج. نشریه روابط خاک و گیاه، جلد ۳، شماره ۹، صفحه‌های ۸۵ تا ۹۶.
۲۶. نامداریان، د.، ناصری، ع. ع.، برومندنسب، س.، و پرویزی‌آلمانی، م.، ۱۳۹۹. اثر روش‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای روی شاخص‌های رشد و عملکرد نیشکر. مجله تحقیقات آب‌و خاک ایران، جلد ۵۱، شماره ۶، صفحه‌های ۱۵۱۵ تا ۱۵۲۷.
۲۷. نوروزی، م.، و زلفی‌باوریانی، م.، ۱۳۹۹. اثر روش‌های آبیاری قطره‌ای نواری سطحی و زیرسطحی بر عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی و توزیع نمک در پروفیل خاک. مجله پژوهش آب ایران، جلد ۱۴، شماره ۳۹، صفحه‌های ۷۷ تا ۸۶.
28. Adamu, T., Ayana, M., and Aregay, G., 2022. Optimization of furrow irrigation decision variables: the case of wonji shoa sugar estate. Ethiopia. Discover Water, 2(1):10.
29. Al-Ghobari, H. M., and Dewidar, A. Z., 2018. Integrating deficit irrigation into surface and subsurface drip irrigation as a strategy to save water in arid regions. Agricultural Water Management, 209: 55-61.
30. Allen, R. G., Pereira L. S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9): p.D05109.
31. Anonymous. 2020. United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization. United Nations World Water Development Report 2020: water and climate change.
32. Anonymous. 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Statistics. www.fao.org.
33. Ashraf, S., Nazemi, A., and AghaKouchak, A., 2021. Anthropogenic drought dominates groundwater depletion in Iran. Scientific Reports, 11(1): 1-10.
34. Bai, M., Tao, Q., Zhang, Z., Lang, S., Li, J., Chen, D., Wang Y. and Hu X., 2023. Effect of drip irrigation on seed yield, seed quality and water use efficiency of Hedysarum fruticosum in the arid region of Northwest China. Agricultural Water Management, 278:108137.
35. Bandian, L., Sae, H., and Abedy, B., 2016. Effect of bentonite on growth indices and physiological traits of spinach (Spinacia oleracea L) under drought stress. Journal of Productivity and Development, 2(4): 1-6.
36. Enciso, J., Jifon, J., Anciso, J., and Ribera, L., 2015. Productivity of onions using subsurface drip irrigation versus furrow irrigation systems with an internet-based irrigation scheduling program. International Journal of Agronomy, 2015:1-6.

37. Kachwaya, D S., Chandel, J S., Vikas, G., and Khachi, B., 2016. Effect of drip and furrow irrigation on yield and physiological performance of strawberry (*Fragaria× ananassa* Duch.) cv. Chandler. *Indian Journal of Plant Physiology*, 21(3): 341-344.
38. Kamienski, C., Soininen, J P., Taumberger, M., Dantas, R., Toscano, A., Salmon Cinotti, T., Filev Maia, R., and Torre Neto, A., 2019. Smart water management platform: IoT-based precision irrigation for agriculture. *Sensors*, 19(2): 276.
39. Karimi, B., Karimi, N., Shiri, J., and Sanikhani, H., 2022. Modeling moisture redistribution of drip irrigation systems by soil and system parameters: regression-based approaches. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36(1): 157-172.
40. Koksai, E S., Tasan, M., Artik, C., and Gowda, P., 2017. Evaluation of financial efficiency of drip-irrigation of red pepper based on evapotranspiration calculated using an iterative soil water-budget approach. *Scientia Horticulturae*, 226: 398-405.
41. Liu, Z., She, H., Xu, Z., Zhang, H., Li, G., Zhang, S., and Qian, W., 2021. Quantitative trait loci (QTL) analysis of leaf related traits in spinach (*Spinacia oleracea* L.). *BMC Plant Biology*, 21(1): 1-14.
42. Mittal, A., Brajpuriya, R., and Gupta, R., 2023. solar steam generation using hybrid nanomaterials to address global environmental water pollution and shortage crisis. *Materials Today Sustainability*, 21: 100319.
43. Mohammed, AT., and Irmak, S., 2022. Maize response to irrigation and nitrogen under center pivot, subsurface drip and furrow irrigation: Water productivity, basal evapotranspiration and yield response factors. *Agricultural Water Management*. 271: 107795.
44. Ors, S., and Suarez, D L., 2017. Spinach biomass yields and physiological response to interactive salinity and water stress. *Agricultural Water Management*, 190: 31-41.
45. Parwada, C., Chigiya, V., Ngezimana, W., and Chipomho, J., 2020. Growth and performance of baby spinach (*Spinacia oleracea* L.) grown under different organic fertilizers. *International Journal of Agronomy*, 2020:1-6.
46. Patra, K., Parihar, C M., Nayak, H S., Rana, B., Singh, V K., Jat, S L., Panwar, S., Parihar, M D., Singh, L K., Sidhu, H S., and Gerard, B., 2021. Water budgeting in conservation agriculture-based sub-surface drip irrigation in tropical maize using HYDRUS-2D in South Asia. *Scientific Reports*, 11(1): 1-17.
47. Sezen, S M., Yazar, A., Daşgan, Y., Yucel, S., Akyıldız, A., Tekin, S., and Akhoundnejad, Y., 2014. Evaluation of crop water stress index (CWSI) for red pepper with drip and furrow irrigation under varying irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 143: 59-70.
48. Thomas, R M., Verma, A K., Prakash, C., Krishna, H., Prakash, S., and Kumar, A., 2019. Utilization of Inland saline underground water for bio-integration of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and spinach (*Spinacia oleracea*). *Agricultural Water Management*, 222:154-160.
49. Ukwu, U., Agbo, J., Muller, O., Schrey, S., Nedbal, L., Niu, Y., Meier-Grull, M., and Uguru, M., 2023. Effect of organic photovoltaic and red-foil transmittance on yield, growth, and photosynthesis of two spinach genotypes under field and greenhouse conditions. *Photosynthesis Research*, 1-16.
50. Vidya, K N., Nagarajan, K., Kannan, B., Ramanathan, S. P., and Duraisamy, M R., 2022. Modelling of wetting patterns for surface drip irrigation in dense clay soil. *Journal of Applied and Natural Science*, 14(2): 437-442.
51. Wang, X., Chen, Y., Fang, G., Li Z., and Liu, Y., 2022. The growing water crisis in Central Asia and the driving forces behind it. *Journal of Cleaner Production*, 378: 134574.
52. Yadeta, B., Ayana, M., Yitayew, M., and Hordofa, T., 2022. Performance evaluation of furrow irrigation water management practice under Wonji Shoa Sugar Estate condition, in Central Ethiopia. *Journal of Engineering and Applied Science*, 69(1): 1-23.
53. Yavuz, D., Kılıç, E., Seymen, M., Dal, Y., Kayak, N., Kal, Ü., and Yavuz, N., 2022. The effect of irrigation water salinity on the morph-physiological and biochemical properties of spinach under deficit irrigation conditions. *Scientia Horticulturae*, 304: 111272.

اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر عملکرد گیاه موسیر، در شرایط تنش شوری

رضا سعیدی*، محمدمهدی ضرابی و داود بابائی

گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

saeidi@org.ikiu.ac.ir

دانشیار گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

zarrabi@eng.ikiu.ac.ir

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

davoodbabaei744@yahoo.com

دریافت: مرداد ۱۴۰۲ و پذیرش: مهر ۱۴۰۲

چکیده

در این پژوهش، اثر شوری آب آبیاری و محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر عملکرد گیاه موسیر رقم بومی قزوین بررسی شد. تیمارهای شوری آب در چهار سطح (S₁) ۲، (S₂) ۴، (S₃) ۶ و (S₄) ۸ دسی‌زیمنس بر متر و تیمارهای سالیسیلیک اسید در چهار غلظت (A₁) ۰، (A₂) ۰/۵، (A₃) ۱ و (A₄) ۲ میلی‌مولار اعمال شد. آزمایش به صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار، در محیط گلخانه اجرا شد. مقدار رطوبت خاک به صورت روزانه اندازه گیری شد و برنامه ریزی آبیاری بر اساس آن انجام شد. نتایج نشان داد که تنش شوری باعث کاهش جذب آب توسط گیاه و کاهش وزن غده موسیر شد. اما کاربرد سالیسیلیک اسید موجب بهبود وضعیت رطوبتی گیاه و افزایش عملکرد غده‌ها در شرایط تنش شوری شد. تیمار A₄ غلظت ایده آل سالیسیلیک اسید برای تولید حداکثر محصول در سطوح مختلف تنش شوری بود. به طوری که کاربرد دو میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در سطوح شوری S₁، S₂، S₃ و S₄ به ترتیب باعث افزایش عملکرد تر غده‌ها به میزان ۱۱/۶٪، ۳۲٪، ۴۰٪ و ۹۱٪ در مقایسه با عدم کاربرد سالیسیلیک اسید (A₁) شد. پاسخ عملکرد خشک غده به تبخیر-تعرق نشان داد که با افزایش تنش شوری، درصد کاهش عملکرد بیش از درصد کاهش تبخیر و تعرق بود. اما مصرف سالیسیلیک اسید باعث کاهش حساسیت عملکرد خشک غده نسبت به تنش شوری شد، به طوری که از تیمار S₁ تا S₄ مقدار ضریب واکنش عملکرد (Ky) بین ۱/۰۱-۱/۶۲ (در تیمار A₁)، ۰/۹۳-۱/۳ (A₂)، ۰/۴۸-۱/۰۹ (A₃) و ۰/۳۱-۰/۹۷ (A₄) برآورد شد. اثر سالیسیلیک اسید بر میزان بهره‌وری آب در شرایط تنش شوری بین ۲/۱۳-۱/۱۴ (در تیمار A₁)، ۱/۶۸-۲/۱۵ (A₂)، ۲/۲۶-۲ (A₃) و ۲/۱۹-۲/۳۸ (A₄) کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شد. نتایج نشان داد که در صورت استفاده از آب‌های لب‌شور برای آبیاری گیاه، کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش بهره‌وری آب خواهد شد. بر اساس این نتایج، در شرایط نبود منابع آب باکیفیت برای آبیاری، برای مقابله با اثرات زیان‌بار تنش شوری بر عملکرد محصول، محلول پاشی سالیسیلیک اسید روی گیاه راه کاری مناسب خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، شوری خاک، ضریب واکنش عملکرد، گیاه دارویی

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: saeidi@org.ikiu.ac.ir



مقدمه

کمبود منابع آب و خاک باکیفیت در بخش کشاورزی باعث می شود که پژوهش هایی در زمینه استفاده بهینه از منابع آبی و کشت گیاهان راهبردی، انجام بگیرد. موسیر از جمله گیاهان راهبردی است که تأمین کننده نیازهای غذایی و دارویی انسان ها است. این گیاه در دنیا چهار نوع مختلف ایرانی، دانمارکی، هلندی و روسی دارد. هم چنین دارای حدود یک درصد اسانس و دو ترکیب گوگردی به نام های آلیسین و آلیساتین است. در مورد خواص دارویی و درمانی گیاه موسیر گزارش شده است که موسیر مانع از تکثیر سلول های سرطانی شده و در درمان رماتیسم، ترمیم زخم های سطحی، دفع سنگ کلیه، کاهش فشار خون و تقویت سیستم گوارش مؤثر بوده است (باریل، ۲۰۰۵). این گیاه به صورت بومی از شمال غرب تا مناطقی در جنوب ایران و در ارتفاعات استان های مختلف (بالای ۱۰۰۰ متر از سطح آزاد دریا) از آب و هوای سرد تا معتدل، قابلیت کشت و بهره برداری دارد (فصیح زاده و همکاران، ۲۰۱۶). موسیر یکی از گونه های دارویی و صنعتی مهم از جنس *Allium* در ایران است که در سراسر ایران از نواحی بیابانی شنی تا ارتفاعات کوهستانی دارای پراکندگی کشت است. از این رو تقریباً به جز مناطق ساحلی جنوب ایران، در اغلب نقاط کشور از اراضی زراعی، باغ ها و کوه های مرتفع قابلیت کشت دارد (شیرمردی و همکاران، ۱۳۹۹). به طور متوسط ارقام موسیر دارای طول ساقه بین ۲۵ تا ۴۴ سانتی متر بوده و عملکرد وزن تر غده (پیاز) آن ها تا حدود ۱۰ تن در هکتار گزارش شده است (یولیانی، ۲۰۱۷). در حال حاضر رویشگاه های طبیعی گیاه موسیر پاسخ گوی نیازهای صنایع غذایی و دارویی نبوده و از سویی، احتمال نابودی این گیاه بر اثر برداشت بی رویه در طبیعت وجود دارد. از این رو لازم است که تحقیقات گسترده ای در خصوص کشت انبوه این محصول در مقیاس صنعتی و در شرایط مختلف محیطی و مدیریتی انجام گیرد (کافی و همکاران، ۱۳۹۰). به دلیل محدودیت دسترسی به منابع آب

باکیفیت، لزوم پژوهش در خصوص کشت گیاهان راهبردی با آب های کم کیفیت (لب شور) و نحوه مقابله با اثرات منفی تنش شوری ضروری است.

تنش شوری از جمله تنش های محیطی است که در دو حالت شوری خاک و شوری آب آبیاری، می تواند بر کاهش تبخیر-تعرق گیاه و عملکرد محصولات گیاهی نقش مؤثری داشته باشد. به این صورت که املاح موجود در آب و خاک موجب کاهش پتانسیل آب سهل الوصول خاک (RAW) و کاهش جذب آب توسط گیاه، افزایش مقاومت روزنه ای برگ ها و کاهش تبخیر-تعرق گیاه می شود. به خصوص اثر سمی یون هایی مانند سدیم و کلر، باعث کاهش تولید اندام های گیاهی و عملکرد محصول می شوند (سعیدی و همکاران، ۲۰۲۱). در پژوهشی گزارش شد که پیازهای خوراکی از جنس *Allium* (مانند سیر، موسیر، پیاز و ...)، جزء گیاهان حساس به شوری محسوب می شوند. به طوری که حد آستانه تحمل به شوری گیاهان مذکور، به طور متوسط حدود ۱/۲ دسی زیمنس بر متر بوده و به ازای افزایش هر یک دسی زیمنس بر متر تنش شوری بیش از حد آستانه، میزان کاهش عملکرد محصول آن ها حدود ۱۶ درصد خواهد بود (مس و گراتان، ۱۹۹۹). در آزمایشی اثر شوری خاک شامل سطوح ۱/۶، ۲/۸۷، ۴/۱۴، ۵/۴۱، ۶/۶۸ و ۷/۹۵ دسی زیمنس بر متر بر روی عملکرد گیاه سیر بررسی شد. نتایج نشان داد که کاهش عملکرد محصول نهایی گیاه سیر تا سطح شوری ۴/۱۴ دسی زیمنس بر متر، قابل اغماض بود؛ اما مقدار ماده خشک آن در سطوح شوری بالاتر به میزان قابل توجهی کاهش یافت (تورهان و همکاران، ۲۰۱۴). عزیزی و کامران نژاد، (۱۳۹۷) با بررسی سه سطح شوری ۱/۸۳۵، ۸/۷۴ و ۱۳/۸ دسی زیمنس بر متر و دو بافت خاک سبک (شنی لومی) و سنگین (رسی لومی) بر عملکرد گیاه سیر نشان دادند که افزایش شوری (بیش از حد آستانه) منجر به کاهش صفات رویشی گیاه شد و در سطح شوری ۱۳/۸ دسی زیمنس بر متر، بوته ها کاملاً خشک

شدند. البته خشک شدن بوته‌ها در خاک‌های سنگین، دو هفته زودتر از خاک‌های سبک اتفاق افتاد.

در پژوهش دیگر، اثر وزن اولیه غده و کود دامی بر عملکرد موسیر جنس *Allium* بررسی شد. عامل وزن اولیه در چهار دسته ۴۵-۵۵، ۳۵-۴۵، ۲۵-۳۵ و ۱۵-۲۵ گرم و عامل کود دامی در سه سطح مصرف ۰، ۴۰ و ۶۰ تن در هکتار تعریف شد. نتایج نشان داد که بیشترین وزن غده تک بوته پس از برداشت مربوط به محدوده وزن اولیه ۴۵-۵۵ گرم و مصرف کود دامی به میزان ۶۰ تن در هکتار بود. علت نتایج مذکور این بود که کاشت غده‌های با وزن بالا موجب افزایش شاخص سطح برگ و مصرف کود دامی باعث افزایش عملکرد محصول موسیر شد (عارفخانی و همکاران، ۱۳۹۶)؛ بنابراین علاوه بر شرایط محیطی، وزن اولیه پیاز موسیر نیز می‌تواند بر عملکرد نهایی محصول مؤثر باشد. منصوری و همکاران، (۱۳۹۳) با بررسی تیمارهای مصرف کود نیتروژن در دو سطح ۱۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار، آبیاری در دو حجم ۱۵۰۰ و ۳۵۰۰ متر مکعب و تراکم کاشت در دو تعداد ۱۰ و ۱۸ بوته در مترمربع بر روی موسیر ایرانی نتیجه گرفتند که افزایش مصرف کود و حجم آب آبیاری باعث افزایش عملکرد غده موسیر و تلفات نیتروژن شد؛ اما افزایش تراکم بوته موجب افزایش عملکرد و کاهش تلفات نیتروژن شد. در پژوهشی نیز اثر تنش خشکی بر عملکرد و صفات مورفوفیزیولوژیک موسیر بررسی شد. فاکتور تنش خشکی شامل دو سطح آبیاری به‌صورت کامل و عدم آبیاری (دیم) بود. نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش وزن موسیرها (با وزن بین ۲۰ تا ۳۰ گرم) شد. هم‌چنین تنش خشکی تعداد پیازهای تولید شده (با وزن ۱۰ تا ۲۰) را کاهش داد (نقاشی و همکاران، ۱۳۹۹). بررسی تحقیقات گذشته نشان داد که تاکنون اثر برخی از فاکتورهای محیطی و مدیریتی بر روی گیاه موسیر مطالعه شده است؛ اما پژوهش‌چندانی در مورد تأثیر تنش شوری بر روی عملکرد گیاه موسیر مشاهده نشده است.

از سوی دیگر گزارش شد که در میان هورمون‌های گیاهی، سالیسیلیک اسید (SA) و مشتقات آن نقش مهمی در انجام فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان، از جوانه‌زنی بذر تا گل‌دهی و رسیدن محصول بر عهده دارند. به این صورت که بیش‌ترین نقش آن بر القای سیستم‌های دفاعی گیاه در برابر تنش‌های مختلف زیستی و غیر زیستی بوده است (کو و همکاران، ۲۰۲۰). در این‌باره گزارش شد که سالیسیلیک اسید با تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان، عوارض ناشی از تنش‌های محیطی را کاهش داده و اثرات منفی آن‌ها را بهبود می‌بخشد (بیاره و همکاران، ۲۰۲۲). در تأیید مطالب مذکور گزارش شد که محلول‌پاشی یک میلی‌مول سالیسیلیک اسید بر روی گیاه موسیر در شرایط تنش خشکی (در کشت دیم) باعث افزایش ۱۵/۱۲ درصدی در عملکرد پیاز این گیاه شد که نشان‌دهنده اثر مثبت هورمون SA برای مقابله با شرایط تحت تنش (کمبود آب) بود (یوسفوند و همکاران، ۲۰۲۲). به‌طور مشابه و در کشت گیاهان دیگر، اثر SA بر روی عملکرد گیاه دارویی سیاه‌دانه تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی بررسی شد. سطوح آبیاری شامل عدم آبیاری، یک بار آبیاری در مرحله گل‌دهی، یک بار آبیاری در مرحله پرشدن دانه و دو بار آبیاری در مرحله گل‌دهی و پرشدن دانه بود. فاکتور سالیسیلیک اسید نیز در سه سطح عدم مصرف، پیش تیمار بذر با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار و محلول‌پاشی برگ‌ها به‌میزان ۰/۵ میلی‌مولار انتخاب شد. نتایج نشان داد که کاربرد سالیسیلیک اسید آن‌هم به‌صورت محلول‌پاشی برگ‌ها باعث فعال شدن سیستم آنتی‌اکسیدانی، بهبود وضعیت رطوبتی و محتوای کلروفیل گیاه و عملکرد مطلوب گیاه شده است. در نتیجه محلول‌پاشی برگ‌های گیاه با هورمون SA، راه‌کاری برای کاهش اثرات تنش و تولید عملکرد مناسب محصول در شرایط تحت تنش آبی بود (آزادواری و همکاران، ۱۳۹۸). با جمع‌بندی نتایج پژوهش‌های گذشته، لزوم بررسی عملکرد گیاه موسیر در شرایط تنش شوری و اثر هورمون سالیسیلیک اسید بر روی آن مشاهده می‌شود. از این‌رو

هدف از پژوهش حاضر، در قالب اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر عملکرد گیاه موسیر، در شرایط تنش شوری تعیین می‌گردد. در صورت حصول نتایج مثبت در این زمینه، می‌توان توصیه‌های کاربردی در خصوص مصرف بهینه منابع آب موجود در منطقه و راه کارهای مقابله با اثرات تنش شوری در کشت گیاهان راهبردی ارائه کرد.

مواد و روش‌ها

کلیات پژوهش

پژوهشی در سال ۱۴۰۱ در گلخانه گروه مهندسی باغبانی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(۱)، واقع در شهر قزوین انجام شد. شرایط محیطی داخل گلخانه در طول دوره رشد گیاه، از نظر خصوصیات هواشناسی به شرح جدول (۱) بود. گیاه مورد مطالعه، موسیر رقم مرتعی بومی قزوین بود که در گلدان‌هایی با قطر ۴۰ و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر کشت شد (شکل ۱). انتخاب بستر کشت به صورت گلدان در پژوهشی مشابه در کشور اندونزی گزارش شد و آزمایشی به صورت کشت گلدانی بر روی ارقام موسیر محلی آن منطقه انجام شد (سیامسیاه و همکاران، ۲۰۲۰). خاک فراهم شده برای پُر کردن گلدان‌ها،

مخلوطی از خاک مزرعه، ماسه بادی و کود حیوانی با نسبت ۳، ۱ و ۱ بود (سعیدی، b ۱۴۰۰) که مشخصات آن در جدول (۲) ارائه شد. در شرایط طبیعی مزرعه، خاک شخم خورده (با بافت لومی شنی) و آماده کشت، دارای چگالی ظاهری ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. از این رو با توجه به حجم هر گلدان، وزن مشخصی از خاک برای رسیدن به تراکم مذکور، در آن‌ها ریخته شد. به طوری که خاک به صورت لایه لایه به گلدان‌ها اضافه شد و براساس چگالی مدنظر، تحت کوبش مناسب قرار گرفت. برای اطمینان بیشتر از عدم ایجاد جریان‌های ترجیحی و یا نشست احتمالی خاک در دوره رشد، قبل از کشت به گلدان‌ها آب داده شد. در انتخاب غده‌های (پیازهای) موسیر سعی شد از غده‌هایی با وزن نزدیک به هم و یکسان برای کشت استفاده شود؛ اما برای خنثی‌سازی اثر احتمالی وزن اولیه غده بر عملکرد نهایی محصول، وزن همه غده‌ها با ترازوی دقیق (دقت صدم گرم) اندازه‌گیری شد و سپس در تاریخ ۱۴۰۱/۰۸/۰۴، کاشت با یک غده موسیر در هر گلدان انجام و بلافاصله آبیاری شدند. حدود یک هفته بعد نیز، جوانه‌های گیاهان نمایان شد. به طوری که در هر گلدان، یک بوته موسیر تحت تیمار وجود داشت.

جدول ۱- شرایط محیطی داخل گلخانه در طول دوره رشد گیاه

ماه	دمای هوا (°C)		متوسط شدت نور (FC) ^۱	رطوبت نسبی (درصد)	
	کمینه	بیشینه		کمینه	بیشینه
آبان ۱۴۰۱	۱۸	۲۴	۳۹۶۰	۶۸	۷۴
آذر ۱۴۰۱	۱۷	۲۴	۳۹۲۰	۷۰	۷۸
دی ۱۴۰۱	۱۶	۲۳	۴۰۱۰	۷۲	۸۱
بهمن ۱۴۰۱	۱۷	۲۲	۳۹۷۰	۷۱	۷۶
اسفند ۱۴۰۱	۱۷/۵	۲۵	۳۹۸۰	۶۵	۸۳
فروردین ۱۴۰۲	۱۹	۲۷	۳۹۴۰	۶۰	۷۵
اردیبهشت ۱۴۰۲	۲۱	۳۰	۳۹۱۰	۶۳	۷۲

^۱- Foot candle, FC



شکل ۱- تصویری از موقعیت کشت گیاه موسیر در پژوهش حاضر

جدول ۲- مشخصات خاک بستر کشت

پارامتر	واحد	مقدار
هدایت الکتریکی عصاره اشباع	dS m^{-1}	۰/۵۶
pH	-	۷/۲
بافت خاک	-	لوم شنی
رطوبت وزنی حد ظرفیت مزرعه	%	۲۴/۵
رطوبت وزنی حد پژمردگی	%	۱۱
چگالی ظاهری	g cm^{-3}	۱/۴

تیمارها

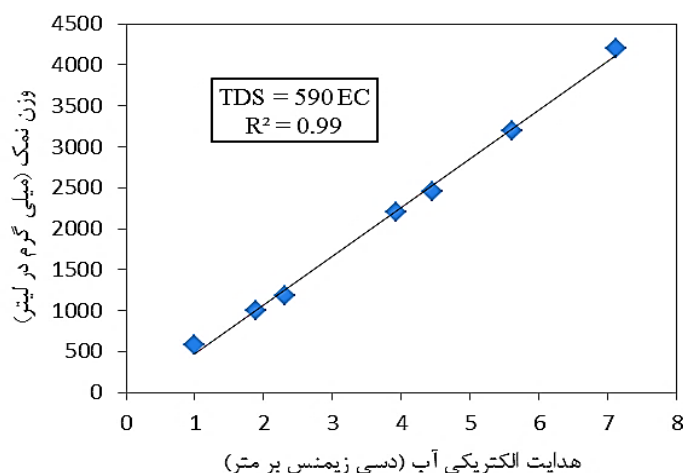
فاکتور اصلی در پژوهش حاضر تنش شوری بود که از طریق آب آبیاری و در چهار سطح (S₁) ۲، (S₂) ۴، (S₃) ۶ و (S₄) ۸ دسی‌زیمنس بر متر اعمال شد. فاکتور فرعی شامل کاربرد سالیسیلیک اسید در چهار غلظت (A₁) ۰، (A₂) ۰/۵، (A₃) ۱ و (A₄) دو میلی‌مولار بود که در یک نوبت و در تاریخ ۱۴/۱۰/۱۴۰۱ (در زمان پنج برگی شدن) بر روی گیاه موسیر محلول‌پاشی شد. محلول‌پاشی تا خیس شدن کامل سطح برگ‌های هر گیاه انجام شد. در مجموع ۱۶ تیمار با سه تکرار، به‌صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شدند. تعداد سه گلدان نیز بدون اعمال هیچ تیماری و به‌عنوان شاهد، با شوری آب آبیاری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر (آب باکیفیت چاه) و بدون

محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در نظر گرفته شد. داده‌های گلدان‌های شاهد صرفاً بیانگر شرایط استاندارد (بدون اعمال تیمار) در محیط کشت بود و در تحلیل آماری آورده نشد. لازم به‌ذکر است که آب شور مورد نیاز برای آبیاری، از طریق اضافه‌کردن نمک صنعتی به آب باکیفیت چاه تهیه شد. عناصر موجود در نمک صنعتی شامل سدیم، کلسیم، منیزیم، سولفات و پتاسیم با درجه خلوص به‌ترتیب برابر با ۹۲، ۳/۸۴، ۱/۸۹، ۱/۷۳ و ۰/۵۴ درصد بود. برای تهیه آب شور، نسبت بین وزن نمک صنعتی مصرف شده (در هر یک لیتر آب چاه) با هدایت الکتریکی آب، مطابق نمودار شکل (۲) بود. قبل از هر نوبت آبیاری، مقدار مورد نیاز آب شور بر اساس شوری مدنظر در تیمارها، در ظرف‌های بزرگ تهیه شد و پس از کنترل هدایت الکتریکی (EC^۱) مورد استفاده قرار گرفت. در پایان فصل کشت نیز شوری خاک

^۱- Electrical conductivity. EC

همه گلدانها اندازه گیری شد و مشخص شد که شوری تجمعی املاح (حاصل آبیاری های مداوم) در گلدان های شاهد حدود یک دسی زیمنس بر متر بود. از این رو اطمینان حاصل شد که در تیمار شاهد هیچ گونه تنش شوری بر گیاه اعمال نشده است. در این پژوهش کسر آبشویی (LF^1)

برای ثابت نگه داشتن شوری خاک، در نظر گرفته نشد؛ زیرا بررسی اثر تیمارهای مختلف بر میزان تجمع نمک ها در خاک، مد نظر قرار گرفت. از این رو ضمن آگاهی از تجمع نمک ها به دلیل آبیاری های مداوم، میزان شوری نهایی خاک (در پایان فصل کشت) اندازه گیری شد.



شکل ۲- نمودار واسنجی میزان هدایت الکتریکی آب نسبت به وزن نمک مصرف شده

زمان و حجم آب آبیاری

برای تنظیم زمان آبیاری گیاه به طوری که تنش خشکی بر گیاه اعمال نشود، مقدار رطوبت روزانه خاک توسط دستگاه رطوبت سنج ساخت شرکت دلتا تی (ΔT) مدل HH2، در مرکز هر گلدان اندازه گیری شد. در مورد نحوه کار با دستگاه رطوبت سنج نیز قبل از شروع آزمایش، اعداد ثبت شده توسط دستگاه مذکور نسبت به مقادیر واقعی رطوبت خاک واسنجی شد. به این صورت که در یک نمودار، داده های واقعی رطوبت خاک در محور عمودی و داده های ثبت شده توسط دستگاه در محور افقی قرار داده شد و منحنی اِشِل (با معادله مشخص) برای تبدیل داده های دستگاه به داده های واقعی رطوبت تهیه شد. برای نیل به این هدف که هیچ گونه تنش آبی بر گیاه اعمال نشود، باید در فواصل بین دو آبیاری همواره آب به صورت سهل الوصول در دسترس گیاه باشد. نشریه فائو-۵۶ ضریب تخلیه آب خاک در حد سهل الوصول را برای گیاه موسیر، عدد ۰/۳ گزارش کرده است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). از این رو به

محض اتمام ۳۰ درصد از رطوبت خاک بین دو حد ظرفیت مزرعه (FC^2) و نقطه پژمردگی دائم (PWP^3)، عملیات آبیاری انجام شد. این کار باعث ایجاد فواصل زمانی متفاوت بین آبیاری ها (دوره های متفاوت آبیاری) در طول دوره رشد گیاه شد. درصد رطوبت وزنی خاک در حد FC و PWP نیز با استفاده از دستگاه صفحات فشاری (به ترتیب تحت فشارهای مکشی یک سوم و ۱۵ اتمسفر) و خشک کردن خاک در گرم خانه، محاسبه و در جدول (۲) ارائه شد. لازم به ذکر است که برای محاسبه و کنترل حد آب سهل الوصول خاک از رابطه (۱) استفاده شد (سعیدی، ۱۴۰۰).

$$RAW = \frac{\theta_{FC} - \theta_i}{\theta_{FC} - \theta_{PWP}} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، RAW : معرف ضریب آب سهل الوصول خاک است و کسری از کل آب قابل استفاده خاک* (TAW) است که در آن محدوده رطوبتی، هیچ تنش آبی برای گیاه ایجاد نمی شود (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). θ_{FC} : رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت مزرعه (درصد)، θ_{PWP} : رطوبت وزنی خاک در حد نقطه پژمردگی دائم (درصد) و

در گلدان‌ها، عمق آب مصرفی بیانگر ارتفاع تبخیر-تعرق صورت گرفته در دوره رشد گیاه بوده است.

$$V = \frac{(\theta_{FC} - \theta_i)}{100} \times pb \times Z \times A \quad (2)$$

V : حجم آب آبیاری (مترمکعب)، θ_{FC} : رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت مزرعه (درصد)، θ_i : رطوبت وزنی خاک در زمان اتمام آب سهل الوصول خاک و قبل از انجام آبیاری (درصد)، pb : چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، Z : عمق گلدان (متر) و A : مساحت سطح خاک (مترمربع).

عملکرد محصول و تحلیل آماری

برداشت محصول نهایی موسیر (غده‌های زیرزمینی) در تاریخ ۱۴۰۲/۰۲/۰۷ انجام شد. قبل از برداشت غده‌ها، طول اندام هوایی گیاه بر اساس روش هان (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد. به‌طور مشابه در پژوهشی بر روی گندم، از روش مذکور برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته و صفات رویشی گیاه استفاده شد (ظفری قلعه‌رودخانی و همکاران، ۱۳۹۶). سپس وزن خشک و تر غده‌های خوراکی و اندام هوایی گیاه موسیر با ترازوی دقیق (دقت صدم گرم) اندازه‌گیری شد. لازم به‌ذکر است که در فرآیند اندازه‌گیری وزن خشک غده‌ها، ابتدا اجازه داده شد که به مدت دو هفته غده‌های تر هوا خشک شوند. سپس آن‌ها به مدت ۴۸ ساعت در گرم‌خانه حرارتی (آون) و در دمای تنظیم‌شده ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. روش مذکور در پژوهشی برای اندازه‌گیری بهره‌وری آب گیاه سیر در زهک دشت سیستان گزارش شد (پیری و بامری، ۱۳۹۸). تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌های مربوط به مقادیر عملکرد محصول توسط نرم‌افزار SPSS و با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای برآورد میزان بهره‌وری آب (WP^1) در تیمارهای مختلف، از رابطه (۳) استفاده شد (سعیدی، ۱۴۰۱).

$$WP = \frac{Y}{V} \quad (3)$$

θ_i : مقدار رطوبت وزنی خاک (درصد) در حد تخلیه مجاز آب خاک ($RAW=0.3$) و در زمان انجام آبیاری است. در این پژوهش با توجه به یکسان بودن بافت و تراکم خاک در همه گلدان‌ها، مقدار θ_i در زمان آبیاری عدد ۲۰/۴ درصد برآورد شد.

در هر دور آبیاری، مقدار حجم آب مصرفی به‌گونه‌ای تعیین شد که کمبود رطوبت خاک را از حد تخلیه مجاز تا حد ظرفیت مزرعه (FC) تأمین کند. از این رو زهاب خروجی از گلدان‌ها وجود نداشت و تأثیر تجمع املاح در خاک (حاصل از تیمارهای آبیاری)، بخشی از سناریوهای پژوهش در مورد اعمال تنش شوری بر روی گیاهان بود؛ یعنی شیوه اعمال تنش شوری به این صورت بود که آبیاری با شوری مشخص در یک خاک بدون زهکش، چه اثری بر عملکرد گیاه و شوری نهایی خاک خواهد داشت. لازم به‌ذکر است که زمان اعمال تیمارهای شوری پس از جوانه‌زنی غده‌ها و استقرار گیاه، در تاریخ ۱۴۰۱/۰۹/۲۰ (مرحله سه برگگی گیاه) آغاز شد. به‌دلیل کاهش جذب آب توسط گیاه با افزایش تنش شوری، تعداد آبیاری در همه تیمارها یکسان نبود؛ اما به‌طور متوسط گلدان‌ها به تعداد ۱۵ نوبت با آب شور آبیاری شدند. به این منظور با توجه به مقدار کمبود رطوبت خاک ($\theta_{FC} - \theta_i$)، چگالی خاک، عمق و مساحت سطح خاک در گلدان، حجم آب آبیاری بر اساس رابطه (۲) تعیین شد. در این شرایط آب اضافی برای تبدیل به زهاب و رواناب وجود نداشت و راندمان آبیاری ۱۰۰ درصد بود. به‌طوری‌که حجم آب آبیاری در هر دور ثابت بود و برای یک گلدان، ۳/۶ لیتر برآورد شد. لازم به‌ذکر است که تنش شوری بر میزان پتانسیل آب و جذب آب توسط گیاه مؤثر بود و باعث شد که در شوری‌های بیش از آستانه تحمل گیاه، جذب آب کاهش یابد. از این رو در کل دوره رشد گیاه، عمق آب آبیاری گلدان‌ها در تیمارهای S_0, S_1, S_2, S_3, S_4 به‌ترتیب برابر با ۳۴۳، ۳۰۸، ۲۷۳، ۲۴۱ و ۱۹۶ میلی‌متر بود. با توجه به عدم وجود زهاب و رواناب

WP: بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y: عملکرد زیست‌توده خشک گیاه در واحد سطح (کیلوگرم بر هکتار)، V: کل حجم آب مصرفی در دوره رشد گیاه و در واحد سطح (مترمکعب بر هکتار).

لازم به ذکر است که در شرایط اعمال تنش شوری بر گیاه، مقدار تبخیر-تعرق و عملکرد زیست‌توده گیاه نسبت به شرایط استاندارد (بدون تنش) کاهش یافت. از این‌رو حساسیت کاهش عملکرد محصول نسبت به تبخیر-تعرق گیاه، با استفاده از ضریب K_y (ضریب پاسخ عملکرد به تبخیر-تعرق) تبیین شد و از طریق رابطه (۴) محاسبه شد (دورنبوت و کسّام، ۱۹۷۹).

(۴) $1 - \frac{Y_a}{Y_{max}} = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_{max}} \right)$
 K_y : ضریب پاسخ عملکرد گیاه به تبخیر-تعرق (بی بُعد)
 Y_a : وزن زیست‌توده خشک گیاه در شرایط تنش (کیلوگرم)
 Y_{max} : وزن زیست‌توده خشک گیاه در شرایط بدون تنش و کنترل‌شده (کیلوگرم)
 ET_a : مقدار تبخیر-تعرق گیاه در شرایط تنش (میلی‌متر)
 ET_{max} : مقدار تبخیر-تعرق گیاه در شرایط بدون تنش و کنترل‌شده (میلی‌متر).

نتایج و بحث

عملکرد محصول

در پژوهش حاضر اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر روی برگ‌های گیاه موسیر، به‌منظور مقابله با اثرات زیان‌بار تنش شوری آب آبیاری بررسی شد. تجزیه واریانس صفات در جدول (۳) نشان داد که اثر هر یک از تیمارهای

تنش شوری و سطوح کاربرد سالیسیلیک اسید بر میزان وزن خشک و تَر غده‌های موسیر، در سطح یک درصد معنی‌دار بود. البته اثر متقابل دو فاکتور مذکور بر وزن خشک و تَر غده‌های موسیر در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. در مورد میزان ارتفاع اندام هوایی نیز، اثر تنش شوری در سطح یک درصد و اثر کاربرد سالیسیلیک اسید در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و اثر متقابل آن‌ها بی‌معنی بود.

علت واکنش معنی‌دار گیاه موسیر به افزایش شوری آب آبیاری این بود که بنابر گزارش پژوهش‌های گذشته، گونه‌های جنس آلیوم موسیر از گیاهان نسبتاً حساس به تنش شوری به‌شمار می‌روند (کادایفسی و همکاران، ۲۰۰۵؛ کرمیت و آرسلان، ۲۰۱۶). کاهش جذب آب توسط گیاه (به‌دلیل کاهش پتانسیل آب خاک) و از سوی دیگر جذب عنصر سدیم (موجود در آب شور)، از عوامل کاهش عملکرد اندام هوایی گیاه موسیر در شرایط تنش شوری بوده است (سیامسیاه و همکاران، ۲۰۲۰). در مورد کاربرد سالیسیلیک اسید نیز گزارش شد که این هورمون گیاهی باعث افزایش ذخیره آبی و پرولین در سلول‌های گیاهی شده و با حفظ فشار اسمزی (در شرایط تنش شوری) موجب افزایش فتوسنتز، رشد گیاه و عملکرد محصول می‌شود (هایات و همکاران، ۲۰۰۸). در پژوهشی مشابه بر روی گندم نیز اعلام شد که محلول پاشی سالیسیلیک اسید با تأثیر مثبت بر پروتئین‌های آپوپلاستی، موجب افزایش تحمل گندم به تنش شوری شده است (تاسگین و همکاران، ۲۰۰۶).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در طرح

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد غده (وزن تَر)	عملکرد غده (وزن خشک)	میانگین مربعات	ارتفاع بوته
تنش شوری	۳	۲۷۷۵**	۱۷۳/۴**	۱۷۳/۴**	۲۹۴/۵**
سالیسیلیک اسید	۳	۱۱۴۰/۳**	۹۵/۲**	۹۵/۲**	۱۷۱/۲*
تنش شوری × سالیسیلیک اسید	۹	۵۱/۲*	۳/۲*	۳/۲*	۱۱۱ ^{ns}
خطای آزمایشی	۳۲	۲۵	۱/۵۶	۱/۵۶	۶۱/۴۸

ns، * و **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد آماری

به‌منظور مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده، جدول (۴) ارائه شد. در تیمار بدون کاربرد سالیسیلیک اسید

(A₁)، افزایش شوری آب از ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر به دو، چهار، شش و هشت دسی‌زیمنس بر متر (تیمارهای تنش

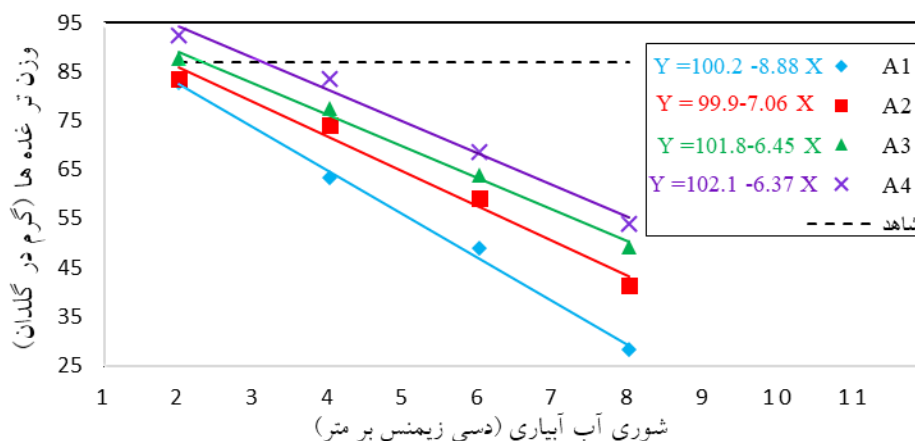
شوری) باعث شد که وزن تر غده‌ها به ترتیب به میزان ۲۱، ۳۱/۸، ۴۷/۱ و ۶۷/۵ درصد کاهش یابد؛ اما با افزایش میزان سالیسیلیک اسید (از تیمار A_1 به A_4)، مقدار وزن تر غده‌ها در تیمارهای تنش شوری افزایش یافت. به این صورت که از تیمار A_1 تا A_4 ، مقدار وزن تر غده‌های موسیر در سطوح شوری S_1 ، S_2 ، S_3 و S_4 به ترتیب ۱۱/۶، ۳۲، ۴۰ و ۹۱ درصد افزایش داشت. از سوی دیگر شیب کاهش عملکرد غده‌های تر در شرایط با و بدون کاربرد سالیسیلیک اسید در شکل (۳) بررسی شد. نتایج نشان داد که به ازای هر یک دسی‌زیمنس بر متر افزایش شوری آب، عملکرد محصول در تیمارهای A_1 ، A_2 ، A_3 و A_4 به ترتیب ۸/۸، ۷، ۶/۴ و ۶/۳ گرم کاهش یافته است؛ یعنی با کاربرد سالیسیلیک اسید علاوه بر افزایش عملکرد محصول در شرایط تنش شوری، از شدت کاهش عملکرد نیز کاسته شده است. به طور مشابه در پژوهشی در کشور اندونزی، اثر شوری آب آبیاری شامل سطوح صفر، یک، دو و سه دسی‌زیمنس بر متر، بر روی ویژگی‌های شیمیایی خاک، رشد و عملکرد ارقام موسیر محلی بررسی شد. نتایج نشان داد که افزایش سطح شوری آب آبیاری، باعث افزایش میزان pH و درصد سدیم قابل تبادل خاک شد. از سطح شوری صفر تا سه دسی‌زیمنس بر متر مقدار وزن تازه غده موسیر از ۳۲/۴۳ گرم به ۲۷/۷ گرم

و مقدار وزن خشک غده موسیر از ۲۶/۵۵ به ۲۴/۲۷ گرم رسید. همچنین ارقام Brebes و Purbalingga به عنوان ارقام محلی موسیر مقاوم به شوری آب تا سطح سه دسی‌زیمنس بر متر معرفی شدند (سیامسیاه و همکاران، ۲۰۲۰). در پژوهش دیگر در استان لرستان، اثر فاکتور اصلی تنش خشکی در چهار سطح بدون آبیاری (دیم) و آبیاری بر اساس ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۰ و ۱/۰۰٪ نیاز آبی گیاه و فاکتور فرعی شامل محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (SA) در چهار سطح ۰، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ میلی‌مول بررسی شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین عملکرد غده موسیر در تیمار آبیاری کامل و محلول‌پاشی یک میلی‌مول SA، به مقدار ۱۴۲۷ گرم بر مترمربع به دست آمد. از سوی دیگر، کم‌ترین عملکرد غده موسیر در تیمار بدون آبیاری و بدون کاربرد SA به میزان ۴۱۹/۸ گرم بر مترمربع اندازه‌گیری شد. در نتیجه هورمون SA با بهبود صفات فیزیولوژیکی مؤثر در مقاومت به کمبود آب، باعث کاهش اثر تنش خشکی بر عملکرد گیاه موسیر شد (یوسفوند و همکاران، ۲۰۲۲). نتایج پژوهش‌های اخیر از نظر اثر منفی تنش شوری آب و اثر مثبت محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر عملکرد موسیر، مؤید نتایج پژوهش حاضر بود.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده

تیمار	وزن تر غده (گرم در بوته)	وزن خشک غده (گرم در بوته)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)
A_1S_1	۶۸ ^{cd*}	۱۶/۴ ^d	۸۴ ^{cd}
A_1S_2	۵۹/۳ ^e	۱۴/۸ ^e	۸۲/۶ ^{cd}
A_1S_3	۴۵/۹ ^f	۱۱/۵ ^f	۸۲ ^{cd}
A_1S_4	۲۸/۲ ^g	۷/۱ ^g	۸۰ ^d
A_2S_1	۶۸/۴ ^{cd}	۱۷/۱ ^d	۸۹/۷ ^{abcd}
A_2S_2	۶۴/۱ ^{de}	۱۶ ^{de}	۸۶/۷ ^{abcd}
A_2S_3	۵۸/۲ ^e	۱۴/۵ ^e	۸۶/۴ ^{abcd}
A_2S_4	۴۴/۳ ^f	۱۱/۱ ^f	۸۵/۶ ^{bcd}
A_3S_1	۸۰/۷ ^b	۲۰/۳ ^{bc}	۹۵ ^{abcd}
A_3S_2	۷۲/۴ ^c	۱۸/۱ ^{cd}	۹۴/۳ ^{abcd}
A_3S_3	۶۳/۹ ^{de}	۱۶ ^{de}	۹۰ ^{abcd}
A_3S_4	۴۹/۱ ^f	۱۱/۷ ^f	۸۹/۷ ^{abcd}
A_4S_1	۹۲/۳ ^a	۲۳ ^a	۱۰۱/۳ ^a
A_4S_2	۸۳/۶ ^b	۲۰/۹ ^b	۱۰۰/۳ ^{ab}
A_4S_3	۶۸/۵ ^{cd}	۱۷/۱ ^d	۹۷/۳ ^{abc}
A_4S_4	۶۸ ^f	۱۲ ^f	۹۶/۳ ^{abc}

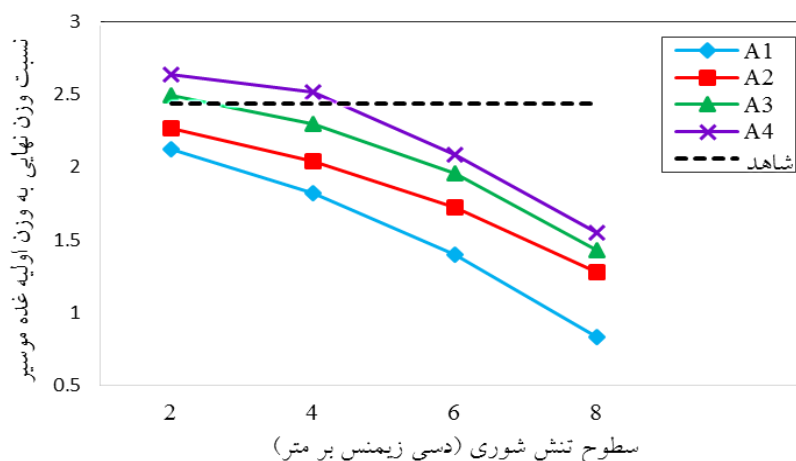
* میانگین‌های دارای حروف یکسان، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند



شکل ۳- اثر شوری آب بر شیب کاهش عملکرد گیاه، در شرایط با و بدون کاربرد سالیسیلیک اسید

افزایش عملکرد محصول حتی بیش تر از تیمار تحت کنترل (شاهد) شد. به طوری که در پژوهشی مشابه اثر پنج غلظت سالیسیلیک اسید بر واکنش های فیزیولوژیکی گیاه شبلیله تحت پنج سطح تنش شوری بررسی شد. نتایج نشان داد که سالیسیلیک اسید با افزایش فعالیت آن تی اکسیدانی در گیاه موجب افزایش عملکرد در شرایط تنش شوری نسبت به گیاهان شاهد (غلظت صفر سالیسیلیک اسید) شد (پسندی پور و همکاران، ۱۳۹۲).

برای خشتی سازی اثر احتمالی وزن اولیه غده های موسیر (قبل از کاشت)، نسبت وزن نهایی به وزن اولیه غده های موسیر در شکل (۴) ارائه شد. نتایج نشان داد که به علت کاربرد سالیسیلیک اسید، عملکرد وزن تر غده های موسیر در برخی از تیمارهای تحت تنش شوری (S_1A_3 ، S_2A_4 و S_1A_4)، حتی از تیمار شاهد (بدون تنش شوری و بدون کاربرد سالیسیلیک اسید) نیز بیشتر بوده است. برای تأیید نتایج به دست آمده، در پژوهش هایی بر روی سایر گیاهان گزارش شد که کاربرد سالیسیلیک اسید باعث

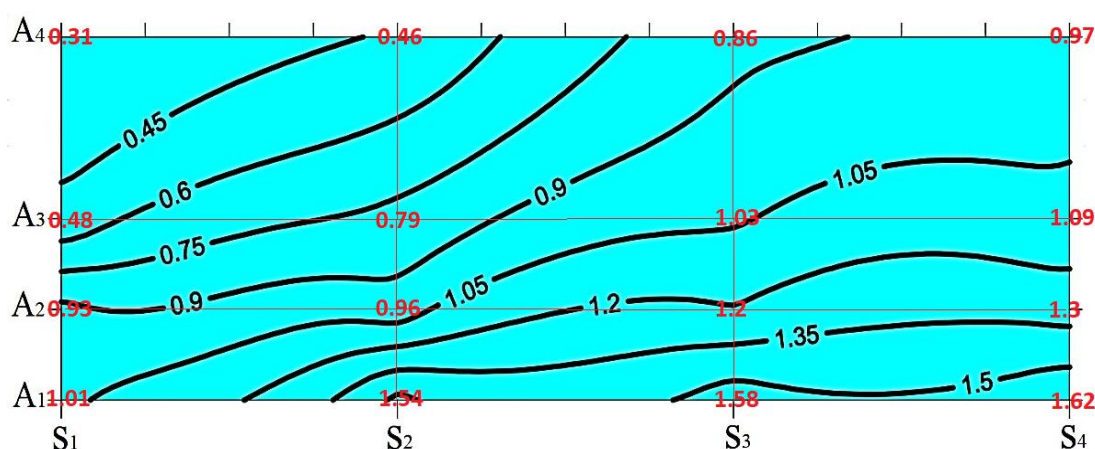


شکل ۴- نسبت وزن نهایی به وزن اولیه (قبل از کشت) غده های موسیر، در تیمارهای مختلف

از سوی دیگر به منظور بررسی پاسخ عملکرد وزن خشک غده های موسیر به تبخیر-تعرق در تیمارهای مختلف پژوهش، ضریب K_y برآورد شد و در قالب منحنی های هم مقدار، در شکل (۵) ارائه شد. مقدار ضریب K_y در تیمارهای S_1 ، S_2 ، S_3 و S_4 به ترتیب برابر با ۱/۰۱، ۱/۵۴، ۱/۵۸ و ۱/۶۲ (در تیمار A_1)، ۰/۹۶، ۰/۹۳ و ۱/۲ و ۱/۳ (در تیمار A_2)، ۰/۷۹، ۰/۴۸ و ۱/۰۳ و ۱/۰۹ (در تیمار A_3) و ۰/۳۱، ۰/۴۶، ۰/۸۶ و ۰/۹۷ (در تیمار A_4) محاسبه شد. تاکنون پژوهشی در مورد برآورد ضریب K_y برای گیاه موسیر در شرایط مشابه پژوهش حاضر گزارش نشده است.

از سوی دیگر به منظور بررسی پاسخ عملکرد وزن خشک غده های موسیر به تبخیر-تعرق در تیمارهای مختلف پژوهش، ضریب K_y برآورد شد و در قالب منحنی های هم مقدار، در شکل (۵) ارائه شد. مقدار ضریب K_y در تیمارهای S_1 ، S_2 ، S_3 و S_4 به ترتیب برابر با ۱/۰۱، ۱/۵۴، ۱/۵۸ و ۱/۶۲ (در تیمار A_1)، ۰/۹۶، ۰/۹۳ و ۱/۲ و ۱/۳ (در تیمار A_2)، ۰/۷۹، ۰/۴۸ و ۱/۰۳ و ۱/۰۹ (در تیمار A_3) و ۰/۳۱، ۰/۴۶، ۰/۸۶ و ۰/۹۷ (در تیمار A_4) محاسبه شد. تاکنون پژوهشی در مورد برآورد ضریب K_y برای گیاه موسیر در شرایط مشابه پژوهش حاضر گزارش نشده است.

تیمارهای با ضریب Ky بزرگتر، حساسیت بیشتری در مورد کاهش عملکرد محصول وجود داشت، زیرا اثر تنش شوری در تیمارهای مدنظر بیشتر بود. به طور کلی شکل (۵) نشان داد که با افزایش شدت تنش شوری و افزایش میزان سالیسیلیک اسید کاربردی، مقدار ضریب Ky به ترتیب افزایش و کاهش یافته است. در نتیجه با استفاده از مجموعه منحنی‌های مشابه شکل (۵) می‌توان سطح بهینه دو فاکتور تنش شوری و سالیسیلیک اسید را شناسایی نمود تا حتی‌الامکان اثر منفی وارد بر عملکرد محصول را کاهش داد.



شکل ۵- منحنی‌های دارای ضریب Ky یکسان در تیمارهای تحت تنش شوری و سالیسیلیک اسید

بهره‌وری آب بیشتر نسبت به تیمار شاهد (با بهره‌وری آب ۲/۰۲ کیلوگرم بر مترمکعب) بودند. نتایج به دست آمده به این دلیل بود که با کاربرد سالیسیلیک اسید، هدایت روزنه‌ای گیاه کاهش پیدا می‌کند که این امر به اثر ضد تعرقی سالیسیلیک اسید نسبت داده می‌شود. در این صورت کاربرد سالیسیلیک اسید باعث حفظ آب در گیاه شده و مصرف بهینه آب را به همراه دارد (بیات و همکاران، ۱۳۹۰). در پژوهشی مشابه که بر روی گیاه سیر انجام شد، بهره‌وری فیزیکی آب در دو سامانه آبیاری بارانی و سطحی در استان همدان بررسی شد. نتایج نشان داد که مقدار بهره‌وری فیزیکی آب در دو سامانه آبیاری بارانی و سطحی به ترتیب برابر با ۲/۶ و ۱/۷۶ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد شد (سیدان و قدمی فیروزآبادی، ۱۳۹۸). با توجه به این که گیاه سیر و موسیر از نظر گیاه‌شناسی هم‌خانواده می‌باشند، نتایج

صرفاً در نشریه فائو-۳۳ برای شرایط اعمال تنش آبی در کشت گیاه پیاز، مقدار ضریب Ky عدد ۱/۱ اعلام شده است (دورنبوت و کسام، ۱۹۷۹). با توجه به تشابه پیاز به موسیر و روند مشابه کاهش پتانسیل آب خاک در شرایط تنش‌های شوری و آبی، می‌توان گفت که اعداد محاسبه شده برای ضریب Ky منطقی بوده و به گزارش فائو-۳۳ نزدیک بوده است.

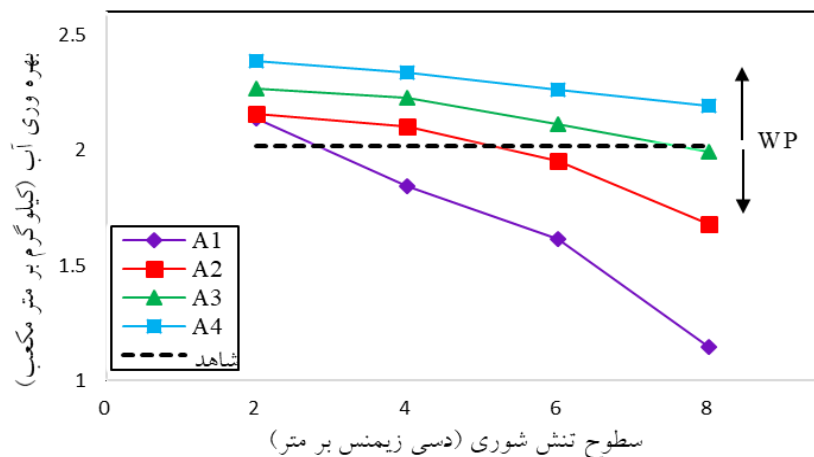
در پژوهش حاضر، بیشتر شدن ضریب Ky از عدد یک نشان‌دهنده این بود که عملکرد غده‌های گیاه نسبت به تبخیر- تعرق، کاهش بیشتری داشته است. در

بهره‌وری آب

در شرایط تنش شوری میزان جذب آب توسط گیاه، حجم آب مصرفی و عملکرد غده‌های موسیر کاهش یافت و در مقابل، محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید باعث تحمل تنش شوری توسط گیاه و افزایش عملکرد غده‌ها شد. از این‌رو برای تحلیل بهتر اثر متناقض دو فاکتور مذکور، مقادیر بهره‌وری آب محاسبه و در شکل (۶) ارائه شد. به طوری که مقدار بهره‌وری آب در تیمارهای S₁، S₂، S₃ و S₄ به ترتیب برابر با ۲/۱۳، ۱/۸۴، ۱/۶۱ و ۱/۱۴ (در تیمار A₁)، ۲/۱۵، ۲/۱، ۱/۹۵ و ۱/۶۸ (در تیمار A₂)، ۲/۲۲، ۲/۱۱ و ۲/۲۲ (در تیمار A₃) و ۲/۳۸، ۲/۳۳، ۲/۲۶ و ۲/۱۹ (در تیمار A₄) کیلوگرم بر مترمکعب برآورد شد. بر اساس شکل (۶)، تیمارهایی که از نظر میزان تنش شوری و مصرف سالیسیلیک اسید در شرایط بهینه‌تر بودند، دارای

پژوهش مذکور با پژوهش حاضر قابل مقایسه و نزدیک به هم بود. در پژوهش دیگر اثر برهم کنش مقدار آب و مصرف کود بر بهره‌وری آب گیاه سیر در زهک (دشت سیستان) مطالعه شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار بهره‌وری آب آبیاری به میزان ۱/۴۸ کیلوگرم بر مترمکعب در سطح آبیاری ۶۰ درصد و سطح کودی ۱۰۰ درصد

به دست آمد (پیری و بامری، ۱۳۹۸). مقدار بهره‌وری آب به دست آمده در پژوهش اخیر نیز در محدوده نتایج پژوهش حاضر قرار داشت. نتیجه کلی این که حتی در شرایط کمبود منابع آب باکیفیت، می‌توان با کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش عملکرد محصول نسبت به حجم آب مصرفی شد و از منابع آب‌های کم کیفیت نیز استفاده بهینه نمود.



شکل ۶- مقدار بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف

تغییرات شوری خاک

به‌طورکلی تنش شوری از دو طریق کاهش پتانسیل و جذب آب خاک توسط گیاه و هم‌چنین جذب عناصر سمی موجود در آب خاک (مانند سدیم و ...)، بر کاهش عملکرد محصول گیاهی تأثیرگذار است. در پژوهش حاضر، آبشویی خاک در نظر گرفته نشد و آبیاری به حد نیاز گیاه بود (خروج زهاب وجود نداشت) تا اثر کاربرد سالیسیلیک اسید بر روی میزان جذب املاح توسط گیاه موسیر مشخص شود. از این‌رو شوری نهایی عصاره اشباع خاک (منطقه ریشه گیاه) در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری و تغییرات شوری نهایی خاک (پس از فصل کشت) بررسی شد (جدول ۵). به‌طوری‌که مقدار شوری عصاره اشباع خاک در تیمارهای S_1 ، S_2 ، S_3 و S_4 به ترتیب برابر با ۲/۸۳، ۵/۴۸، ۷/۵۵ و ۱۰ (در تیمار A_1)، ۳/۵۳، ۶/۴، ۸/۲۳ و ۱۱/۲ (در تیمار A_2)، ۴/۳۵، ۷/۲، ۹/۶ و ۱۲/۳۴ (در تیمار A_3) و ۵/۴۲، ۸، ۱۰/۸۴ و ۱۴/۲۴ (در تیمار A_4) دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد. نتایج در جدول (۵) نشان داد که با افزایش شوری آب آبیاری میزان شوری خاک افزایش یافته

است که به‌علت تجمع املاح حاصل از آبیاری‌های مداوم در خاک، واکنش مذکور طبیعی بود؛ اما با افزایش مصرف سالیسیلیک اسید نیز، میزان شوری خاک افزایش یافت. از این‌رو برای بررسی واکنش شوری خاک به تیمارهای سالیسیلیک اسید، به نتایج پژوهش‌های گذشته مراجعه شد. از اثرات منفی تنش شوری این است که موجب افزایش نشت‌پذیری (نشت یونی) غشای سلول‌های گیاهی می‌شود. دلیل افزایش نشت‌پذیری غشاء، نفوذ و جایگزینی عنصر نامطلوب Na^+ به جای Ca^{++} در غشاء است (گوپتا، ۲۰۰۵). در این‌باره گزارش شد که در شرایط تنش شوری، جذب یون‌های کلرید سدیم توسط گیاه افزایش یافت و به دلیل عدم تعادل در جذب سایر عناصر غذایی مفید، باعث کاهش عملکرد محصول گیاهی شد (کینگزباری و همکاران، ۱۹۸۴). در پژوهش دیگر نیز اعلام شد که افزایش غلظت عناصر سدیم و کلر در آب خاک، می‌تواند بر جذب رقابتی بسیاری از عناصر ضروری و انتخاب‌پذیری یونی در غشای گیاه اثرگذار باشد که موجب کاهش وزن خشک زیست‌توده گیاه می‌گردد (توکلی و همکاران، ۲۰۱۰). در

تحقیقی اثر سطوح مختلف شوری آب آبیاری شامل ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ دسی‌زیمنس بر متر بر روی ارقام مختلف گیاه جو، در محیط کشت پتری‌دیش بررسی شد. نتایج نشان داد که افزایش تنش شوری، عملکرد دانه جو را کاهش داد، اما باعث افزایش مقدار سدیم و پتاسیم در دانه‌های گیاه گردید (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۲). نتایج پژوهش‌های گذشته نشان دادند که در شرایط تنش شوری، جذب عناصر مضر (مانند سدیم، کلو و ...) توسط گیاه انجام می‌گیرد که این عمل موجب کاهش عملکرد محصول می‌شود.

از سوی دیگر نتایج برخی از پژوهش‌ها، اثر مثبت کاربرد سالیسیلیک اسید را بر کاهش نشت‌پذیری یونی غشای سلولی در شرایط تنش شوری، اثبات کردند. در تحقیق گانس و همکاران (۲۰۰۷) گزارش شد که کاربرد سالیسیلیک اسید موجب کاهش نفوذپذیری غشای سلول‌های گیاهی ذرت نسبت به عناصر مضر Na^+ و Cl^- شد. به‌طوری‌که محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در شرایط تحت تنش شوری، از تجمع دو عنصر مذکور در غشای سلول‌های گیاه جلوگیری نموده و باعث افزایش رشد و عملکرد محصول شد. در پژوهشی اعلام شد که کاربرد سالیسیلیک اسید به‌صورت محلول‌پاشی برگ، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه را افزایش داده و در نهایت گیاه را از واکنش‌های اکسیداتیو (نفوذ کاتیون‌ها و آنیون‌ها مانند سدیم و کلو به غشای سلول‌های گیاهی) محافظت می‌نماید.

(بیات و همکاران، ۱۳۹۰). در تحقیقی بر روی ذرت، نشان داده شد که کاربرد سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۱۵ پی‌پی‌ام باعث شد که شدت واکنش‌های اکسیداتیو در گیاهان تحت تنش شوری به‌طور قابل توجهی کاهش یابد (سنارانتا و همکاران، ۱۹۹۹). در پژوهش دیگر اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه جو در شرایط تنش شوری بررسی شد. نتایج نشان داد که کاربرد غلظت بیشتر از یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید باعث کاهش معنی‌دار نشت یونی در بوته‌های جو گردید. به‌این صورت که تیمارهای ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌مولار به‌ترتیب ۲۷/۱، ۴۱/۸ و ۴۷/۷ درصد میزان نشت یونی را کاهش داد (پیرسته انوشه، ۱۳۹۵). جمع‌بندی نتایج پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد که در پژوهش حاضر از طریق محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید، جذب عناصر نامطلوب (سمی) موجود در آب آبیاری (مانند سدیم و ...) توسط گیاه کاهش یافته است که حاصل آن افزایش عملکرد غده‌های موسیر بوده است. در نهایت به‌دلیل کاهش جذب کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب خاک (توسط گیاه)، عناصر مذکور در خاک تجمع یافته (باقی‌مانده) و باعث افزایش شوری عصاره اشباع خاک شده‌اند؛ بنابراین کاربرد سالیسیلیک اسید اگرچه برای مقابله گیاه با تنش شوری و افزایش عملکرد محصول مفید است، اما از جهت تجمع نمک‌ها در خاک و شور شدن خاک می‌تواند زیان‌بار باشد.

جدول ۵- شوری عصاره اشباع خاک پس از پایان برداشت محصول

تیمار شوری آب (دسی‌زیمنس بر متر)	غلظت کاربردی سالیسیلیک اسید (میلی‌مولار)		
	۰	۰/۵	۱
۲	۲/۸۳	۳/۵۳	۴/۳۵
۴	۵/۴۸	۶/۳۹	۷/۲۱
۶	۷/۵۵	۸/۲۳	۹/۶
۸	۱۰	۱۱/۲	۱۲/۳۴
			۱۴/۲۴

نتیجه‌گیری

اثر هر یک از تیمارهای تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر میزان عملکرد خشک و تر غده‌ها، در سطح یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. کاهش پتانسیل آب خاک و جذب آب توسط گیاه، افزایش

جذب عناصر سمی (مانند سدیم) در تقابل با سایر عناصر غذایی مفید و در نهایت کاهش عملکرد محصول، از اثرات زیان‌بار تنش شوری بود. از سوی دیگر سالیسیلیک اسید با حفظ فشار اسمزی در سلول‌های گیاهی و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه، باعث کاهش جذب عناصر سمی،

افزایش فتوسنتز و تحمل سطوح تنش شوری توسط گیاه شد که نتیجه آن افزایش عملکرد محصول (نسبت به شرایط عدم کاربرد سالیسیلیک اسید) بود. از این رو در تیمارهای تحت تنش شوری، بهترین غلظت سالیسیلیک اسید برای تولید حداکثر محصول، تیمار A4 بود. به طوری که کاربرد دو میلی مولار سالیسیلیک اسید در سطوح شوری S1، S2، S3 و S4 به ترتیب باعث افزایش عملکرد تر غده‌ها به میزان ۱۱/۶، ۳۲، ۴۰ و ۹۱ درصد، در مقایسه با عدم کاربرد سالیسیلیک اسید (A1) شد. نتایج مذکور نشان داد که در سطوح شوری کم (مانند S1) که گیاه تا حدودی می‌تواند با تنش شوری سازگار باشد، اثر سالیسیلیک اسید بر عملکرد محصول چندان قابل توجه نیست؛ اما در سطوح شوری زیاد (مانند S4) که احتمال انسداد روزنه‌ها، توقف تبخیر-تعرق و اختلال در رشد گیاه وجود دارد، سالیسیلیک اسید می‌تواند اثر چشم‌گیری بر افزایش عملکرد محصول داشته باشد.

با بررسی پاسخ عملکرد وزن خشک غده‌ها به تبخیر-تعرق گیاه موسیر مشخص شد که با افزایش تنش شوری، مقدار ضریب Ky به بیش از عدد یک افزایش یافت. به این معنی که راندمان عملکرد محصول کمتر از راندمان تبخیر-تعرق گیاه شد؛ اما با کاربرد سالیسیلیک اسید، مقدار ضریب Ky کاهش یافت و تعادل میان عملکرد و تبخیر-

تعرق گیاه برقرار شد. مقادیر بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف نیز نشان داد که در صورت استفاده از منابع آب‌های نامتعارف لب‌شور در منطقه، کاربرد سالیسیلیک اسید موجب استفاده بهینه و افزایش بهره‌وری آب می‌شود. آبیاری مداوم در محیط ایزوله کشت گیاه (بدون خروج آب)، باعث تجمع و بیلان مثبت نمک‌ها در خاک شد. داده‌های شوری نهایی عصاره اشباع خاک نشان داد که با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید، میزان شوری نهایی خاک نیز افزایش یافته است. دلیل نتایج مذکور، کاهش جذب نمک‌ها توسط گیاه در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید بود که منجر به باقی ماندن نمک‌ها در خاک و افزایش شوری نهایی خاک شد؛ زیرا کاربرد سالیسیلیک اسید بر روی گیاه، باعث فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه و کاهش نفوذ عناصر مُضِر (موجود در آب خاک) به غشای سلول‌های گیاهی می‌شود. جمع‌بندی کلی و کاربردی نتایج این است که در شرایط بحران کمیّت و کیفیت منابع آب در بخش کشاورزی، می‌توان با کاربرد هورمون‌های گیاهی مانند سالیسیلیک اسید در دوره رشد گیاه، اثرات زیان‌بار تنش‌های محیطی (مانند شوری) را بر عملکرد محصول موسیر کاهش داد.

فهرست منابع

۱. آزادواری، ح.، نعیمی، م.، قلی‌زاده، ع.، و نخ‌زری مقدم، ع.، ۱۳۹۸. بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک بر برخی صفات فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه دارویی سیاه‌دانه تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۱۲(۳): ۸۵-۱۰۰.
۲. بیات، ح.، مردانی، ح.، آرویی، ح.، و سلاح‌ورزی، ی.، ۱۳۹۰. تأثیر سالیسیلیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دانه‌های خیار تحت شرایط تنش خشکی. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی. ۱۸(۳): ۶۳-۷۶.
۳. پسندی‌پور، ا.، فرح‌بخش، ح.، صفاری، م.، و کرامت، ب.، ۱۳۹۲. اثر سالیسیلیک اسید بر برخی واکنش‌های فیزیولوژیک گیاه شنبلیله تحت تنش شوری. نشریه اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۲(۲۶): ۲۱۵-۲۲۸.
۴. پیرسته‌انوشه، ه.، امام، ی.، روستا، م. ج.، و هاشمی س. ا.، ۱۳۹۵. اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکرد دانه جو رقم نصرت در شرایط تنش شوری. مجله علوم زراعی ایران. ۱۸(۳): ۲۳۲-۲۴۴.
۵. پیری، ح.، و بامری، ا.، ۱۳۹۸. برهم‌کنش مقادیر آب و کودهای آلی و شیمیایی بر بهره‌وری آب گیاه سیر در زهک دشت سیستان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۳(۲): ۲۴۹-۲۶۳.

۶. سعیدی، ر.، ۱۴۰۱. اثر آبیاری با آب شور بر روی عملکرد عدس، در مقایسه با شرایط غیرشور کشت دیم (در قزوین). مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۳(۲): ۲۶۳-۲۷۵.
۷. 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.
۸. 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.
۹. سیدان، س. م.، و قدمی فیروزآبادی ع.، ۱۳۹۸. بهره‌وری عوامل تولید محصول سیر در دو سامانه آبیاری بارانی و سطحی در استان همدان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۳(۱۳): ۸۴۵-۸۵۴.
۱۰. شیرمردی، ح. ع.، قلی‌پور، ز.، جهانبازی، ح.، ایرانمنش، ی.، طالبی، م.، و محمدی، ح.، ۱۳۹۹. کشت موسیر در اراضی دیم رها شده و مراتع کم بازده. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری. چاپ اول. ۱-۲۱.
۱۱. ظفری قلعه‌رودخانی، ب.، سلطانی، ا.، زینلی، ا.، کامکار، ب.، و فیروزفرد، م.، ۱۳۹۶. تأثیر تراکم بوته بر روابط آلومتريک بین ارتفاع بوته و صفات رویشی در گندم. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۵(۲): ۲۸۶-۲۹۷.
۱۲. طباطبایی، س. ع.، کوچکی، ه. ر.، و ملاصادقی، ج.، ۱۳۹۲. ارزیابی تحمل به شوری ارقام جو در شرایط آزمایشگاه و مزرعه. فصلنامه فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۵(۲۰): ۸۷-۱۰۱.
۱۳. عارفخانی، م.، خیرخواه، م.، قربانزاده نقاب، م.، و بابائیان، م.، ۱۳۹۶. مطالعه تأثیر وزن اولیه غده بذری و کود دامی بر زادآوری و عملکرد موسیر (*Allium altissimum* Regel) در شرایط آب و هوایی شیروان. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. ۹(۳): ۷۴۹-۷۵۹.
۱۴. عزیزی، م.، و کامران نژاد ج.، ۱۳۹۷. مطالعه تأثیر شوری و بافت خاک بر عملکرد سیر (*Allium sativum* L.). دومین کنفرانس بین‌المللی گیاهان دارویی، کشاورزی ارگانیک. ۲۲ اسفند. مشهد. ۱-۷.
۱۵. کافی، م.، رضوان بیدختی، ش.، و سنجابی، س.، ۱۳۹۰. اثر زمان کاشت و تراکم بوته بر عملکرد و صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه موسیر (*Allium altissimum* Regel) در شرایط آب و هوایی مشهد. نشریه علوم باغبانی. ۲۵(۳): ۳۱۰-۳۱۹.
۱۶. منصوری، ح.، بنایان اول، م.، رضوانی مقدم، پ.، و لکزیان، ا.، ۱۳۹۳. مدیریت کوددهی نیتروژن، آبیاری و تراکم کاشت در گیاه دارویی موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium*) با استفاده از روش بهینه‌سازی مرکب مرکزی. ویژه نامه نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۴۱-۶۰.
۱۷. نقاشی، ع. م.، رستمی، م.، و قبولی، م.، ۱۳۹۹. تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و صفات مورفوفیزیولوژیک موسیر. ششمین کنفرانس ایده‌های نوین در کشاورزی، محیط زیست و گردشگری. شهرپور. تهران. ۱-۷.
18. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and M., Smith. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper No.56, 1-326.
19. Barile, E., Capasso, R., Izzo, A. A., Lanzotti, V., Sajjadi, S. E., and Zolfaghari, B., 2005. Structureactivity relationships for saponins from *Allium hirtifolium* and *Allium elburzense* and their antispasmodic activity. *Planta Medica*. 71: 1010-1018.
20. Biareh, V., Shekari, F., Sayfzadeh, S., Zakerin, H., Hadidi, E., Beltrao, J G T., and Mastinu, A., 2022. Physiological and qualitative response of *Cucurbita pepo* L. to salicylic acid under controlled water stress conditions. *Horticulturae*. 8: 79.

21. Doorenbos, J., and Kassam, A K., 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper 33. FAO, United Nations, Rome. 176 p.
22. Fasihzadeh, S., Lorigooini, Z., and Jivad, N., 2016. Chemical constituents of *Allium stipitatum* regel (Persian shallot) essential oil. *Journal of Der Pharmacia*. 8(1): 175-180
23. Gunes, Y., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Bagci, E G, and Cicek, G N., 2007. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays*L.) grown under salinity. *Journal of plant physiology*, 164: 728-736.
24. Gupta, U S., 2005. Physiology of stressed crops; (Vol. II) Nutrient relations. Science Publishers, Inc. 253 p.
25. Han, J R., 1973. Visual qualification of wheat development. *Journal of Agron*. 65:116-119.
26. Hayat, S., Hasan, S A., Fariduddin, Q., and Ahmad, A., 2008. Growth of tomato in response to salisylic asid under water stress. *Journal of plant interact*. 3: 297-304.
27. Kadayifci, A., Tuylu, G İ., Ucar, Y., and Cakmak, B., 2005. Crop water use of onion (*Allium cepa* L.) in Turkey. *Journal of Agricultural water management*. 72(1): 59–68.
28. Kingsbury, R W., Epstein, E, and Percy, R W., 1984. Physiological responses to salinity in selected lines of wheat. *Journal of plant physiology*, 74: 417-423.
29. Kiremit, M S, and Arslan, H., 2016. Effects of irrigation water salinity on drainage water salinity, evapotranspiration, and other leek (*Allium porrum* L.) plant parameters. *Journal of scientia horticulturae*. 201: 211–217
30. Koo, Y M., Heo, A Y., and Choi, H W., 2020. Salicylic acid as a safe plant protector and growth regulator. *Plant. Pathol*. 36: 1–10
31. Maas, E V., and Grattan, S R., 1999. Crop yields as affected by salinity. In: *Agricultural drainage agronomy monograph*. 55-108.
32. Saeidi, R., Ramezani Etedali, H., Sotoodenia, A., Kaviani, A., and Nazari, B., 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.
33. Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E., and Dixon. K., 1999. Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant growth regulation*. 30: 157-161.
34. Tasgin, E., Atici, O., Nalbantoglou, B., and L Popova, P., 2006. Effects of salicylic acid and cold treatments on protein levels and on the activities of antioxidants enzymes in the apoplast of winter wheat leaves. *Phytochemistry*. 67: 710-15.
35. Tavakkoli, E., Rengasamy, P., and McDonald, G K., 2010. High concentrations of Na^+ and Cl^- ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress. *Journal of experimental botany*, 61: 4449-4459.
36. Turhan, M S., Kuscu, H., Özmen, N., and Demir, A O., 2014. The effect of different salinity levels on the yield and some quality parameters of garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of agricultural sciences*. 20: 280–287.
37. Yousefvand, P., Sohrabi, Y., Heidari, G., Weisany, W., and Mastinu, A., 2022. Salicylic acid stimulates defense systems in *allium hirtifolium* grown under water deficit stress. *Journal of molecules*. 27: 1-23.
38. Yuliani, F., 2017. Respon morfologi dan fisiologi tanaman bawang merah (*Allium cepa* L.) Terhadap cekaman salinitas. Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia.

بررسی برخی سازوکارهای مؤثر بر توسعه پایدار تعاونی آب‌بران شبکه آبیاری و زهکشی دشت سطر در کرمانشاه

لیلا واحدی، لیلا زلیخائی سیار و مهرداد پویا*

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته توسعه روستایی، موسسه آموزش عالی عمران و توسعه، همدان، ایران، و کارشناس طرح و برنامه سازمان جهاد کشاورزی

کرمانشاه، ایران. vahedi1386@gmail.com

دانش‌آموخته دکتری توسعه کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

la.zolikhai@gmail.com

استادیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

m.pouya@basu.ac.ir

دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۲ و پذیرش: مهر ۱۴۰۲

چکیده

خشکسالی و سیل از پیامدهای تغییر اقلیم بوده و بسترسازی مشارکت مردمی از طریق تعاونی‌های آب‌بران از مهم‌ترین تمهیدات اخیر در مواجهه با تغییر اقلیم است. هدف تحقیق حاضر، تحلیل برخی سازوکارهای مؤثر بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران مطالعه موردی دهستان سطر شهرستان سنقر و کلیایی بود. ابزار تحقیق، پرسشنامه‌ای محقق ساخته است که بر اساس مطالعه ادبیات تحقیق تدوین شد. روایی پرسشنامه با استفاده از نظرات کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه و اعضای هیات مدیره تعاونی‌های آب‌بران و پایایی آن از طریق ضریب آلفای کرونباخ بررسی و تأیید شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، از مدل‌سازی معادلات ساختاری با استفاده از نرم‌افزار Smart PLS₃ استفاده شد. اعضای تعاونی‌های آب‌بران در دهستان سطر در شهرستان سنقر و کلیایی جامعه آماری تحقیق را تشکیل داد که جمعیت کل آنان ۴۷۲ نفر بود، افراد نمونه با استفاده از روش نمونه‌گیری طبقه‌ای و فرمول کوکران به تعداد ۲۱۱ نفر انتخاب شدند. نتایج تحلیل مسیر نشان داد که سازوکارهای قانونی با ضریب مسیر ($\beta=0/257$) بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران دهستان مزبور تأثیر مثبت و معناداری داشت. همچنین سازوکارهای آموزشی ($\beta=0/233$)، سازوکارهای حمایتی ($\beta=0/214$)، سازوکارهای رابطه‌ای ($\beta=0/203$) و سازوکارهای سیاست‌گذاری ($\beta=0/147$) تأثیر مثبت و معناداری بر توسعه پایدار تعاونی آب‌بران دهستان سطر نشان داد.

واژه‌های کلیدی: مشارکت آب‌بران، مدیریت آب، سازوکارهای قانونی، توسعه پایدار تعاونی

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: m.pouya@basu.ac.ir



مقدمه

امروزه دنیا با چالش‌هایی جدی، همچون گرمایش کره زمین (لوبر و مک گلین، ۲۰۰۸)، افزایش نیاز به انرژی و افزایش تخریب خاک (فائو، ۲۰۱۶)، افزایش پسماندهای شهری و صنعتی (چائو چن، ۲۰۱۸) و مهم‌تر از همه، کاهش کمیت و کیفیت آب (آرونارت و پوميجونوگ، ۲۰۱۵) روبروست که پیامدهای (مستقیم و غیرمستقیم) زیادی را به‌ویژه برای افرادی که در کشورهای درحال توسعه زندگی می‌کنند، ایجاد می‌کند (گلی و همکاران، ۲۰۲۰). کشور ایران، در یکی از خشک‌ترین مناطق جهان قرار گرفته و کمبود آب، مهم‌ترین تنگنای توسعه کشاورزی در آن محسوب می‌شود (رشوند و همکاران، ۱۳۹۷).

افزایش بهره‌وری آب و سودآوری فعالیت‌های کشاورزی مستلزم حرکت به سمت مدیریت جامع آب است (کارتال، ۲۰۲۱). در این راستا، بانک جهانی با توجه به نقش مؤثر جامعه محلی، ظرفیت‌های اجتماعی و دانش آبیاری کشاورزان، راهبرد مدیریت مشارکتی آبیاری^۱ و انتقال مدیریت شبکه‌های آبیاری^۲ به بهره‌برداران را ارائه نمود (بانک جهانی، ۲۰۱۴)، از این رو کشورهای مختلف، سرمایه‌گذاری‌های ویژه‌ای روی ظرفیت‌سازی و کمک به ایجاد زیرساخت‌های اجتماعی در سیستم آبیاری کردند که یکی از مهم‌ترین دستاوردها در این زمینه، ایجاد تعاونی‌های آب‌بران است (حسین‌پور و همکاران، ۱۳۹۴). تعاونی‌ها یا انجمن‌های آب‌بران^۳، راهبرد اصلی انتقال مدیریت طرح‌های آبیاری و زهکشی با متشکل نمودن بهره‌برداران آب در جهان هستند. این تعاونی‌ها گروهی از کشاورزان می‌باشند که همه‌ی آن‌ها از یک منبع مشترک استفاده کرده و در مدیریت بهینه و تقسیم و توزیع پایدار منابع آبی با یکدیگر مشارکت می‌کنند (وفایی و همکاران، ۲۰۲۱)، به‌طوری‌که باید اذعان داشت تعاونی‌های آب‌بران نیازی دیرین با رویکردی نوین در مدیریت سامانه‌های آبیاری به شمار می‌روند (کرمی و همکاران، ۱۳۹۶). بدیهی است با روند

کنونی مدیریت منابع آب، بخش کشاورزی با آسیب‌های زیادی مواجه خواهد شد؛ بنابراین لازم است سیاست‌گذاری و راهکار مدیریت مشارکتی آبیاری از طریق شکل‌گیری تشکل‌های آب‌بران برای درگیری بهره‌برداران در تمامی مراحل و سطوح مدیریت منابع کشاورزی صورت گیرد. با ایجاد نظام‌های بهره‌برداری نوین و مناسب می‌توان زمینه را برای همیاری و تشکل کشاورزان فراهم ساخت و آنان را به همکاری و همیاری با یکدیگر در جهت مدیریت منابع آب کشاورزی واداشت (حسین‌پور و همکاران، ۱۳۹۴). تمرکززدایی و انتقال مدیریت منابع آب، موجب ایجاد حس مالکیت و افزایش مشارکت اجتماعی انجمن‌های آب‌بران در تصمیم‌گیری و کاهش هزینه‌ها شده و انگیزه‌ی مدیریت و مسئولیت‌پذیری را در نگهداری و بهره‌برداری از تأسیسات انتقال و توزیع آب با حضور کلیه گروه‌های ذینفع افزایش می‌دهد. به‌علاوه با ارتقای کیفیت خدمات آبیاری، باعث کاهش تضادها و اختلاف بهره‌برداران، افزایش سرمایه اجتماعی، عدالت اجتماعی، توسعه فعالیت‌های گروهی و کاهش وابستگی کشاورزان به حمایت‌های دولتی می‌گردد (حسین‌پور و همکاران، ۱۳۹۴).

شهرستان سنقر و کلیایی واقع در استان کرمانشاه با توجه به دارا بودن توانمندی‌های بالای کشاورزی همواره به‌عنوان یکی از قطب‌های مهم کشاورزی کشور مطرح است، اما مشکل کم‌آبی از دیرباز محدودیت‌هایی را برای توسعه فعالیت کشاورزی ایجاد کرده و راه‌های مقابله با آن از قدیم مورد توجه کشاورزان منطقه بوده است (سازمان جهاد کشاورزی شهرستان سنقر و کلیایی، ۱۴۰۰). با توجه به احداث سد خاکی سلیمان‌شاه جهت تأمین آب اراضی مستعد زیردست آن با حجم ۵۲/۴ میلیون مترمکعب که حدود ۶ میلیون مترمکعب از آب آن جهت شرب شهر سنقر و ۳۷ میلیون مترمکعب دیگر آن به کشاورزی تخصیص داده شده است؛ در این راستا و به‌منظور بهره‌برداری مناسب‌تر از سرمایه‌گذاری‌های انجام‌گرفته در زمینه ذخیره و توزیع آب، فرایند مشارکت بهره‌برداران در اولویت تصمیم‌سازان قرار

³ -Water Users' Associations (Water Users' Cooperatives)

¹ -Participatory Irrigation Management (PIM)

² -Irrigation Networks Management Transfer

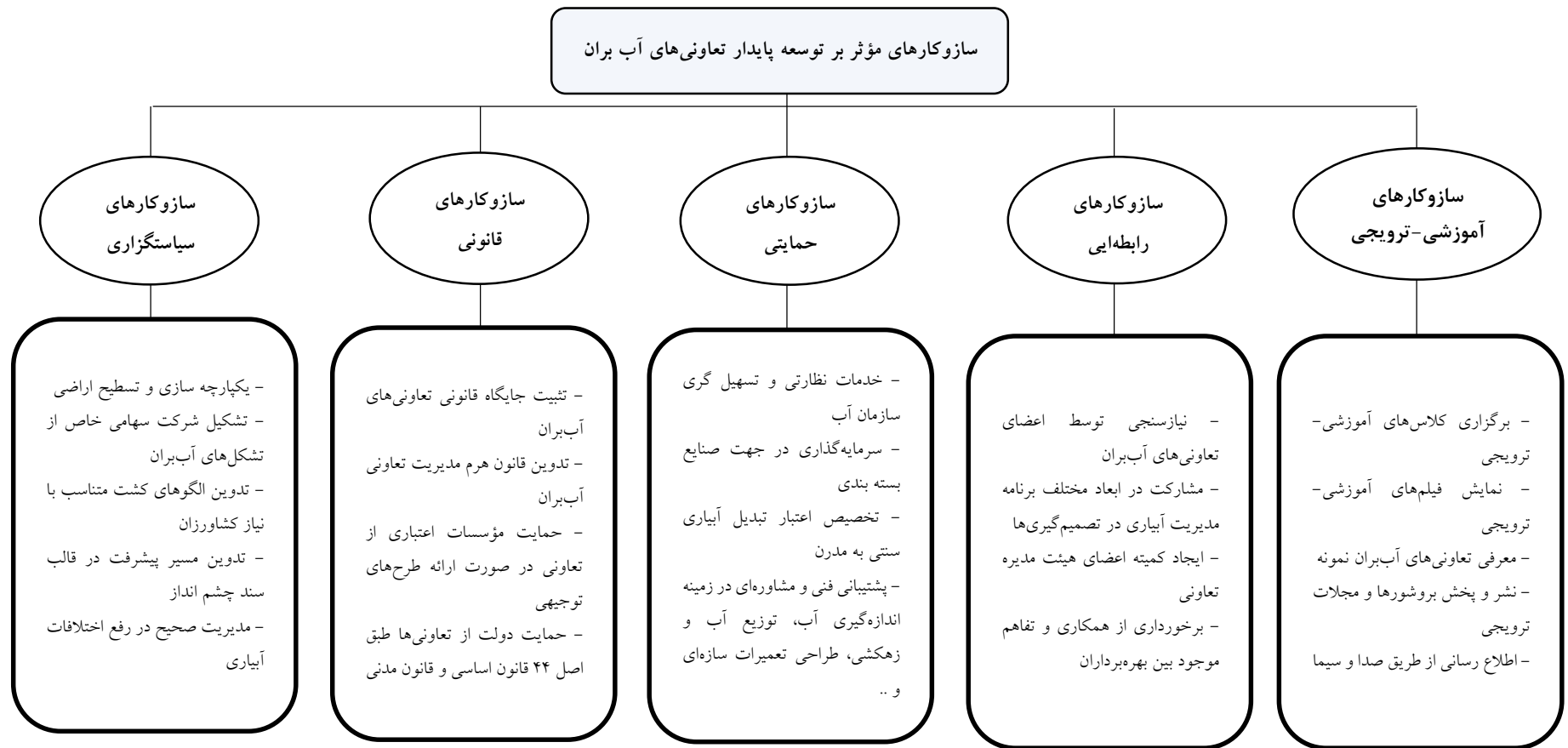
گرفته است تا مدیریت بهینه مالی و حجمی آب از طریق تشکلهای مناسب اجتماعی صورت پذیرد و تا آنجا که مقدور است مدیریت نگهداری شبکه و توزیع آب به خود مردم منطقه واگذار شود. در منطقه سنقر که استعداد و توانایی لازم برای توسعه کمی و کیفی کشاورزی را دارد؛ سازمان جهاد کشاورزی با همکاری شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه با فراهم نمودن امکانات لازم، توزیع و بهره‌برداری از سد سلیمان‌شاه را به مردم واگذار نموده و در این راستا از سال ۱۳۹۵ اقداماتی به منظور ایجاد تشکلهای آب بران در شبکه آبیاری دهستان سطر انجام و در مهرماه سال ۱۳۹۶ این طرح به مرحله اجرا درآمده است. محدوده طرح شامل اراضی زیربخش شبکه آبیاری دشت سطر بالغ بر ۲۷۶۰ هکتار که در محدوده هفت روستای جوب کبود سفلی، چشمه بهاءالدین، سطر، شورآباد، باباشیخعلی، صفاییه و داشتی بلاغ است که اراضی مورد نظر از طریق سه شرکت تعاونی آب‌بران که محدوده هر تعاونی در قالب ایستگاه‌های پمپاژ تحت پوشش تعاونی تعریف شده است مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. عمده محصولات آبی منطقه عبارتند از گندم، جو، آفتابگردان، یونجه و سبزی‌ها و محصولات دیم شامل گندم، جو، نخود و عدس است. از این اراضی حدود ۷۰۰ هکتار آن طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۹۳ در سه روستای جوب کبود سفلی، چشمه بهاءالدین و باباشیخعلی با همکاری معاونت آب‌و خاک جهاد کشاورزی استان کرمانشاه و مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان سنقر و مهندسان مشاور مهار آب عمران گستر یکپارچه‌سازی شده است (سازمان جهاد کشاورزی شهرستان سنقر و کلیایی، ۱۴۰۰). تشکلهای آب‌بران در سال‌های نه چندان دور در شهرستان سنقر و کلیایی به‌ویژه در دهستان سطر مورد توجه قرار گرفته است، به‌طوری‌که از سال ۱۳۹۵ اقداماتی به منظور ایجاد تشکلهای آب‌بران در شبکه آبیاری دهستان سطر انجام شده است و در مهرماه سال ۱۳۹۶ به مرحله اجرا درآمده است (سازمان جهاد کشاورزی شهرستان سنقر و کلیایی، ۱۴۰۰). با توجه به این نکته که تعاون و مشارکت‌های مردمی یکی از بهترین شیوه‌های مؤثر در

دستیابی به اهداف توسعه پایدار در طرح‌های منابع آب است و با وجود تحقیق‌هایی که در سطح کشور در خصوص ارزیابی و عوامل مؤثر بر موفقیت تشکلهای آب‌بران انجام گرفته است، ولی با گذشت چندین سال از شکل‌گیری تشکلهای و نقش آن‌ها در توسعه بخش کشاورزی در زمینه موفقیت و عملکرد آن‌ها مطالعات اندکی شده و آگاهی کمی از میزان موفقیت این تشکلهای در دسترس مدیران و سیاست‌گذاران قرار دارد، بنابراین لازم است سازوکارهای مؤثر بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران شناسایی و با بهره‌گیری از تجربیات موفق، موانع و محدودیت‌ها برطرف گشته و شرایط انتقال مدیریت آب به تشکلهای بهره‌برداران فراهم شود. از این‌رو مسئله اصلی پژوهش این بود که؛ چه سازوکارهایی در راستای توسعه و تقویت منجر به توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران در دهستان سطر واقع در شهرستان سنقر و کلیایی می‌گردد (شکل ۱).

در این راستا شانگل و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیق خود دریافتند که عدم اعتماد اجتماعی، ناهمگونی قدرت و عدم تعادل در تصمیم‌گیری‌های خرد و فقدان مشارکت میان اعضا در تصمیم‌گیری‌ها از موانع مدیریت مشارکتی آب هستند. در مطالعه‌ی دیگری وفایی و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که عوامل اجتماعی-فرهنگی و سرمایه اجتماعی تأثیر بالایی در مدیریت بهینه تعاونی‌های آب‌بران داشته، درحالی‌که تأثیر عوامل اقتصادی به میزان کمتری بوده است. آگوستینی و اسکندر (۲۰۲۱) دریافتند که مدیریت مشارکتی آب، برای حفاظت از منابع آب کاربرد دارد و در واقع همکاری و تعاملات مناسب میان مصرف‌کنندگان آب منجر به مدیریت بهینه آب می‌گردد. ایواناگا و همکاران (۲۰۲۰) تحقیقی نشان داد که دانش و مدیریت مزرعه با توجه به نیازهای آبی محصول، ظرفیت آب‌و خاک، میزان آبیاری مهم‌ترین عوامل در دستیابی به مدیریت پایدار آب هستند. نتایج مطالعه‌ی فنگ و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که کشاورزان تمایل بالایی به مشارکت در فعالیت‌های تعاونی‌های آب‌بران دارند. همچنین آن‌ها دریافتند که مشارکت در تعاونی‌های آب‌بران هدفی است که به بهترین

وجه از طریق همکاری‌های دو جانبه با سازمان آب صورت می‌گیرد. آنتونیو زما و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی نشان دادند که میزان اراضی و سطح زیرکشت آبی، میزان درآمد سالانه کشاورزان، میزان تماس‌های ترویجی با مشارکت کشاورزان عضو تعاونی آب‌بران در مدیریت منابع آب رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد. همچنین بین میزان مصرف آب و انواع سامانه‌های آبیاری با متغیر میزان مشارکت در تعاونی آب‌بران رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد. مطالعه آیدوگدا و همکاران (۲۰۱۶) در ترکیه نشان داد که عواملی مانند رفتار عادلانه تعاونی آب‌بران نسبت به اعضا با ویژگی‌های اجتماعی و اقتصادی متفاوت، دسترسی و ارتباط مستمر و راحت به مدیران تعاونی، ارائه‌ی خدمات مناسب در زمینه‌ی آبیاری، تعمیر و نگهداری شبکه‌ها و توزیع مناسب آب بر رضایت کشاورزان از تعاونی تأثیرگذار است. اکبری و محمودی کرمجوان (۱۴۰۱) در مطالعه خود نشان دادند که رابطه معنی‌داری بین میزان تحصیلات، سابقه کار، رضایت از شغل با میزان فرهنگ‌سازی مدیریت آبیاری وجود دارد. نتایج تحقیق ادهم ملکی و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد که واگذاری وظایف غیر حاکمیتی حفاظت و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در چارچوب یک توافق‌نامه مشخص به تشکلهای آب‌بران زمینه پایداری و موفقیت تشکلهای را فراهم می‌نماید. فلکی (۱۳۹۹) نشان داد که سازوکارهای فنی، آموزشی-ترویجی، حمایتی، قانونی و اجتماعی در بهبود و ساماندهی تعاونی آب‌بران سد تبارک

تأثیر دارند و ۶۲ درصد واریانس متغیر وابسته را تبیین نموده‌اند. سازوکارهای فنی و آموزشی-ترویجی بیشترین اثر را بر بهبود و ساماندهی تعاونی آب‌بران سد تبارک داشتند. زلیخایی سیار و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی نشان دادند که از بین راهکارهای مدیریت پایدار آب کشاورزی، «برنامه‌ریزی آبیاری» به‌عنوان راهکار اصلی بیشترین اهمیت و تأثیر را داشته است. نتایج حاصل از تحقیق مولان نژاد و یعقوبی (۱۳۹۸) نشان داد متغیرهای دانش و آگاهی کشاورزان نسبت به مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی، میزان آگاهی کشاورزان از مفاهیم و روش‌های مشارکت، شایستگی مسئولین و کارکنان دولتی در اجرای طرح‌های آبیاری از دیدگاه کشاورزان، نگرش نسبت به مشارکت در طرح‌های حفاظت از منابع آب، میزان انسجام اجتماعی و روحیه همگرایی کشاورزان و میزان استفاده از وام کشاورزی ۴۵/۴ درصد از تغییرات متغیر میزان مشارکت در مدیریت منابع آب را تبیین می‌کنند. رشوند و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیقی دریافتند که رابطه مثبت و معنی‌دار بین سطح تحصیلات و میزان مالکیت اراضی با میزان موفقیت تشکل آب‌بران وجود دارد. از طرفی، بین سابقه عضویت افراد در تشکل آب‌بران و ارزیابی آن‌ها از میزان موفقیت تشکل آب‌بران ارتباط منفی و معنی‌داری وجود داشت. با مرور مبانی نظری و پیشینه تحقیق سازوکارهای مؤثر بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران شناسایی شدند که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- مدل مفهومی تحقیق (نگارندگان)

روش بررسی

نوشتار حاضر از بعد روش‌شناسی، کمی؛ بر مبنای هدف، کاربردی؛ و به لحاظ روش، پیمایشی بوده که در پی شناخت برخی سازوکارهای مؤثر بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران از طریق مطالعه موردی دهستان سطر شهرستان سنقر و کلیایی است. جامعه آماری تحقیق، کلیه اعضای تعاونی‌های آب‌بران در دهستان سطر در شهرستان سنقر و کلیایی هستند که با استناد به سازمان جهاد کشاورزی شهرستان سنقر و کلیایی تعداد جمعیت آنان ۴۷۲ نفر است (دشت سطر=۹۰ نفر؛ قائم دشت سطر=۱۲۱ نفر؛ بهار باران

چالاب=۲۶۱ نفر) (N=۴۷۲). برای برآورد حجم نمونه آماری از بین جامعه آماری اعضای تعاونی‌های آب‌بران، بر اساس فرمول کوکران (رابطه شماره ۱)، ۲۱۲ نفر از اعضای تعاونی‌ها به عنوان نمونه‌ی آماری تعیین و از روش تصادفی طبقه‌ای با انتساب متناسب انتخاب شدند. با توجه به طبقات موجود (دشت‌ها) در هر یک از دشت‌ها از نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای با انتساب متناسب استفاده شد (طبقات، دشت‌های دهستان سطر است). توزیع جامعه نمونه در میان تعاونی‌های مورد مطالعه به روش نسبی (نسبت جمعیت) انجام شد (جدول ۱). در نهایت پرسشنامه ۲۱۱ نفر قابل بررسی و ارزیابی بود.

$$n = \frac{\frac{t^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N} \left(\frac{t^2 pq}{d^2} - 1 \right)} \quad (1)$$

$$N=472; p=0/5; q=0/5; d=0/05; t=1/96$$

جدول ۱- تعداد اعضای تعاونی‌های آب‌بران دهستان سطر در شهرستان سنقر و کلیایی

دهستان	تعاونی	تعداد نفرات عضو تعاونی	حجم نمونه
سطر	دشت سطر	۹۰	۴۰
	قائم دشت سطر	۱۲۱	۵۵
	بهار باران چالاب	۲۶۱	۱۱۶
	جمع کل	۴۷۲	۲۱۲

به منظور اندازه‌گیری برخی سازوکارهای مؤثر بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران از پرسشنامه محقق ساخته با استفاده از مبانی نظری تحقیق و ادبیات تحقیق استفاده شد. گزینه‌های سؤالات مدرج و از طیف لیکرت بود. به منظور سنجش روایی ابزار تحقیق، پرسشنامه در اختیار استاد راهنما و کارشناسان کشاورزی موضوعی قرار گرفت که پس از انجام

بررسی‌های لازم و جمع‌آوری نظرات آنان و اعمال اصلاحات مورد نظر روایی پرسش‌نامه حاصل شد. به منظور تعیین پایایی ابزار تحقیق، برای هر بخش از سؤالات پرسشنامه به طور مجزا ضریب کرونباخ آلفا محاسبه گردید که بیانگر مناسب بودن انسجام درونی گویه‌ها و ثبات پرسشنامه است (جدول ۲).

جدول ۲- ضریب آلفای کرونباخ پرسشنامه تحقیق

بخش‌های پرسشنامه	زیر بخش‌ها	مقیاس اندازه‌گیری	تعداد گویه‌ها	ضریب آلفا
سازوکارهای تعاونی‌های آب‌بران	سازوکارهای آموزشی ترویجی	فصلنامه	۱۱	۰/۸۹
	سازوکارهای رابطه‌ای		۹	۰/۸۵
	سازوکارهای حمایتی		۱۰	۰/۸۸
توسعه پایدار	سازوکارهای قانونی	فصلنامه	۱۲	۰/۸۱
	سازوکارهای سیاست‌گذاری		۱۱	۰/۸۴
	اقتصادی		۹	۰/۷۹
	اجتماعی		۱۰	۰/۸۳
	فرهنگی		۱۰	۰/۸۷
مجموع				۰/۸۷

یافته‌ها

یافته‌های تحقیق نشان داد ۹۸/۱ درصد از افراد مورد مطالعه مرد و مابقی زن می‌باشند. میانگین سنی افراد مورد مطالعه، ۵۲ سال بود که در دامنه سنی ۲۸ تا ۸۰ سال متغیر بود. از مجموع ۲۱۱ نفر از پاسخگویان، ۳۲/۷ درصد ساکن روستا و ۶۷/۳ درصد ساکن شهر بودند. بررسی وضعیت تحصیلات پاسخگویان نشان داد که ۲۰/۴ درصد از آن‌ها بی‌سواد، ۲۲/۳ درصد تحصیلات در حد ابتدایی، ۱۸/۵ درصد راهنمایی و دبیرستان، ۳۰/۲ درصد دیپلم و فوق‌دیپلم، ۶/۲ درصد لیسانس و ۲/۴ درصد فوق‌لیسانس بودند. یافته‌های تحقیق حاکی از آن بود که اکثریت پاسخگویان (۷۴ درصد) شغل اصلی‌شان کشاورزی و مابقی غیرکشاورزی است. میانگین سابقه کار کشاورزی اعضای تعاونی‌های آب‌بران، ۳۲ سال با انحراف معیار ۱۴/۶ بود. یافته‌های تحقیق نشان داد میانگین وسعت اراضی کشاورزی، ۱۲ هکتار است. در خصوص شیوه‌ی آبیاری نیز یافته‌ها نشان داد که همه

پاسخگویان (۱۰۰ درصد)، از شیوه‌ی آبیاری بارانی استفاده می‌کنند.

اولویت‌بندی بعد اجتماعی توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران
جدول ۳ نظرات اعضای تعاونی‌های آب‌بران دهستان سطر در شهرستان سنقر و کلیایی را در مورد بعد اجتماعی توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، گویه "ایجاد اشتغال پایدار برای اعضا" با کمترین ضریب تغییرات (۰/۳۴۶) دارای بیشترین اهمیت بوده و در اولویت اول قرار گرفته است. همچنین گویه‌های "افزایش اعتماد اعضا به یکدیگر" با ضریب تغییرات ۰/۳۴۷، "تقویت همکاری اعضا با دیگر تعاونی‌های کشاورزی" با ضریب تغییرات ۰/۳۵۰، "کاهش نزاع در مورد آب" با ضریب تغییرات ۰/۳۵۵ در اولویت‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

جدول ۳- اولویت‌بندی بعد اجتماعی توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران

اولویت	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	بعد اجتماعی توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران
۱	۰/۳۴۶	۱/۱۹	۳/۴۳	ایجاد اشتغال پایدار برای اعضا
۲	۰/۳۴۷	۱/۲۶	۳/۶۳	افزایش اعتماد اعضا به یکدیگر
۳	۰/۳۵۰	۱/۲۵	۳/۵۷	تقویت همکاری اعضا با دیگر تعاونی‌های کشاورزی
۴	۰/۳۵۵	۱/۲۵	۳/۵۲	کاهش نزاع در مورد آب
۵	۰/۳۵۶	۱/۲۳	۳/۴۵	اولویت‌بندی مصرف آب و کاهش درگیری و تضاد بین اعضا.
۶	۰/۳۴۵	۱/۲۳	۳/۵۶	تقویت احساس مسئولیت اعضا نسبت به سازه‌ها و تجهیزات شبکه‌ها
۷	۰/۳۶۸	۱/۲۷	۳/۴۵	تقویت حس مشارکت و همفکری بین اعضای تعاونی
۸	۰/۳۸۹	۱/۳۱	۳/۳۶	تقویت حس مشارکت کشاورزان در بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری
۹	۰/۳۹۴	۱/۳۳	۳/۳۷	عضویت در تعاونی آب‌بران نقش آن بر احساس رضایتمندی از زندگی و ارزشمندی اعضا
۱۰	۰/۴۰۱	۱/۳۵	۳/۳۶	ارتقای آگاهی اعضا از هدف و اصول تعاونی با برگزاری کلاس‌های توجیهی

گرفته است. همچنین گویه‌های "پرداخت بخشی از هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌ها توسط کشاورزان پیشرو عضو آب‌بران" با ضریب تغییرات ۰/۳۷۸، "اقدامات تعاونی در زمینه تهیه نهاده‌های کشاورزی برای اعضای خود" با ضریب تغییرات ۰/۳۸۸، "بهره‌مندی اعضای تعاونی از اعتبارات و تسهیلات بانکی و دولتی (وام، یارانه)" با ضریب تغییرات ۰/۳۹۶ در اولویت‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

اولویت‌بندی بعد اقتصادی توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران

جدول ۴ نظرات اعضای تعاونی‌های آب‌بران دهستان سطر در شهرستان سنقر و کلیایی را در مورد بعد اقتصادی توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، گویه "تأمین سرمایه تعاونی با خودیاری اعضا و پس‌انداز مستمر" با کمترین ضریب تغییرات (۰/۳۷۰) دارای بیشترین اهمیت بوده و در اولویت اول قرار

جدول ۴- اولویت‌بندی بعد اقتصادی توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران

اولویت	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	بعد اقتصادی توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران
۱	۰/۳۷۰	۱/۲۷	۳/۴۳	تأمین سرمایه تعاونی با خودیاری اعضا و پس‌انداز مستمر
۲	۰/۳۷۸	۱/۲۹	۳/۴۱	پرداخت بخشی از هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌ها توسط کشاورزان پیشرو عضو آب‌بران
۳	۰/۳۸۸	۱/۳۲	۳/۴۰	اقدامات تعاونی در زمینه تهیه نهاده‌های کشاورزی برای اعضای خود
۴	۰/۳۹۶	۱/۳۲	۳/۳۳	بهره‌مندی اعضای تعاونی از اعتبارات و تسهیلات بانکی و دولتی (وام، یارانه)
۵	۰/۴۰۵	۱/۳۵	۳/۳۳	افزایش تولید و عملکرد محصولات کشاورزی اعضا
۶	۰/۴۱۴	۱/۳۵	۳/۲۶	بهبود معیشت کشاورزان
۷	۰/۴۲۷	۱/۳۹	۳/۲۵	افزایش درآمد کشاورزان
۸	۰/۴۴۰	۱/۴۰	۳/۱۸	کاهش هزینه‌ها یا کاهش مراجعات کشاورزان به ادارات دولتی
۹	۰/۵۱۸	۱/۸۱	۳/۴۹	توازن بین هزینه‌ها و درآمد شبکه‌های آبیاری توازن

تغییرات (۰/۳۵۲) دارای بیشترین اهمیت بوده و در اولویت اول قرار گرفته است. همچنین گویه‌های "استفاده بی‌رویه از کودها و سموم شیمیایی در بین اعضا" با ضریب تغییرات ۰/۳۶۴، "ترویج استفاده از کودهای آلی و دامی در بین اعضای تعاونی" با ضریب تغییرات ۰/۳۶۵، "ترویج استفاده از روش‌های کشاورزی حفاظتی (نگهداری بقایا روی خاک)" با ضریب تغییرات ۰/۳۷۰ در اولویت‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

اولویت‌بندی بعد زیست‌محیطی توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران

جدول ۵ نظرات اعضای تعاونی‌های آب‌بران دهستان سطر در شهرستان سنقر و کلیایی را در مورد بعد زیست‌محیطی توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، گویه "ترویج استفاده از کودهای آلی و دامی در بین اعضای تعاونی" با کمترین ضریب

جدول ۵- اولویت‌بندی بعد زیست‌محیطی توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران

اولویت	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	بعد زیست‌محیطی توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران
۱	۰/۳۵۲	۱/۲۴	۳/۵۲	ترویج استفاده از کودهای آلی و دامی در بین اعضای تعاونی
۲	۰/۳۶۴	۱/۲۶	۳/۴۶	استفاده بی‌رویه از کودها و سموم شیمیایی در بین اعضا
۳	۰/۳۶۵	۱/۲۶	۳/۴۵	استفاده از روش‌های نوین آبیاری (قطره‌ای) در مزارع کشاورزی توسط اعضا
۴	۰/۳۷۰	۱/۲۹	۳/۴۸	ترویج استفاده از روش‌های کشاورزی حفاظتی (نگهداری بقایا روی خاک)
۵	۰/۳۷۴	۱/۲۸	۳/۴۲	کاهش برداشت غیرقانونی آب
۶	۰/۳۷۷	۱/۲۹	۳/۴۲	افزایش انگیزه‌ی اعضا برای یکپارچه کردن اراضی‌شان
۷	۰/۳۸۴	۱/۳۳	۳/۴۶	بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش کشاورزی
۸	۰/۳۹۵	۱/۳۳	۳/۳۶	حفظ و احیای منابع طبیعی اعم از آب، خاک
۹	۰/۴۰۲	۱/۳۷	۳/۴۰	بهینه‌سازی سیستم آبیاری و نگهداری تأسیسات شبکه آب
۱۰	۰/۴۰۴	۱/۳۳	۳/۲۶	توسعه استفاده از فناوری‌های سازگار با محیط‌زیست (بذور مقاوم به خشکی)

اولویت‌بندی سازوکارهای مؤثر بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران

کمترین ضریب تغییرات (۰/۲۳۳) دارای بیشترین اهمیت بوده و در اولویت اول قرار گرفته است. همچنین «سازوکارهای رابطه‌ای» با ضریب تغییرات ۰/۲۹۹ در اولویت بعدی قرار گرفت. «سازوکارهای حمایتی» نیز با ضریب تغییرات ۰/۳۰۳ در جایگاه آخر جای گرفت.

جدول ۶ نظرات اعضای تعاونی‌های آب‌بران دهستان سطر در شهرستان سنقر و کلیایی را در مورد سازوکارهای مؤثر بر تعاونی‌های آب‌بران نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، «سازوکارهای سیاست‌گذاری» با

جدول ۶- اولویت‌بندی سازوکارهای مؤثر بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران

اولویت	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	سازوکارها
۱	۰/۲۳۳	۸/۷۵	۳۷/۵۴	سازوکارهای سیاست‌گذاری
۲	۰/۲۹۲	۸/۱۶	۳۷/۹۷	سازوکارهای رابطه‌ای
۳	۰/۲۹۶	۱۰/۷۴	۳۶/۱۸	سازوکارهای آموزشی ترویجی
۴	۰/۳۰۰	۹/۸۴	۳۲/۷۷	سازوکارهای قانونی
۵	۰/۳۰۳	۹/۵۵	۳۱/۴۸	سازوکارهای حمایتی

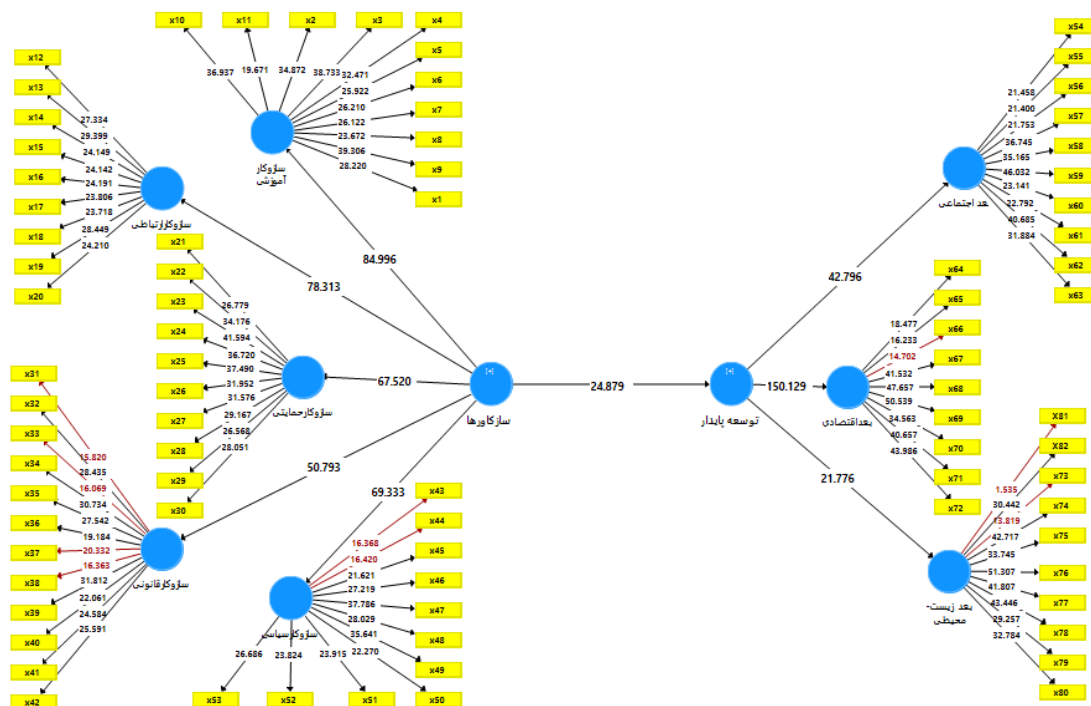
اندازه‌گیری سازوکارهای مؤثر بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران

جهت آزمون فرضیات مورد توجه بود. ابتدایی‌ترین معیار برای سنجش پایایی مدل (رابطه‌ی بین سازه‌ها در مدل)، اعداد معناداری است. در صورتی‌که مقدار این اعداد از ۱/۹۶ بیشتر شود، نشان از صحت رابطه میان سازه‌ها و در نتیجه تأیید فرضیه‌های پژوهش در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. البته باید توجه داشت که اعداد t فقط صحت رابطه‌ها را نشان می‌دهند و شدت رابطه‌ی بین سازه‌ها را نمی‌توان با آن‌ها سنجید. با توجه به شکل (۲) می‌توان گفت کدام شاخص در اندازه‌گیری متغیر مربوطه‌اش سهم بیشتر و کدام شاخص سهم کمتری ایجاد می‌کند؛ یعنی هرچه بارهای عاملی بزرگ‌تر باشد، سهم آن متغیر در اندازه‌گیری متغیر مربوطه‌اش بیشتر

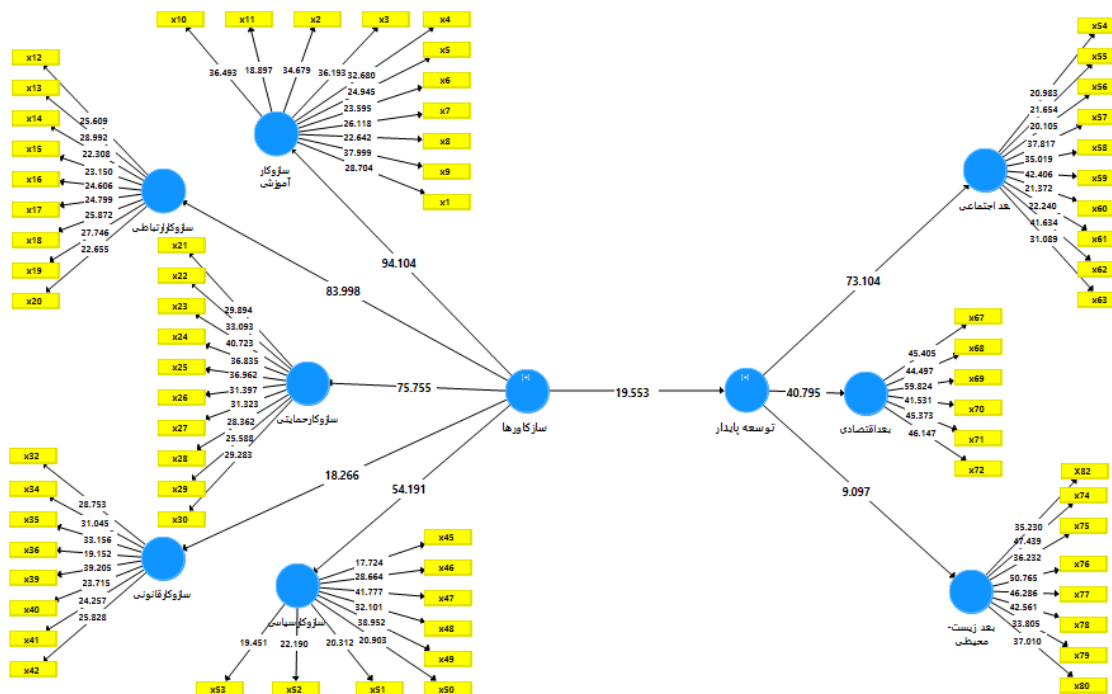
برای بررسی تأثیر سازوکارهای مؤثر بر توسعه‌ی پایدار تعاونی‌های آب‌بران از مدل‌سازی معادلات ساختاری با استفاده از PLS استفاده شد. مدل‌سازی معادلات ساختاری از دو بخش مدل اندازه‌گیری (رابطه‌ی میان سازه‌ها و ابعاد آن سازه‌ها) و مدل ساختاری (رابطه‌ی سازه‌ها با یکدیگر) تشکیل شده است. در قسمت اندازه‌گیری ارتباط نشانگرها یا همان سؤالات پرسشنامه با سازه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و در قسمت ساختاری ارتباط عامل‌های مورد بررسی با یکدیگر

شاخص X57 (ایجاد اشتغال پایدار برای اعضا)؛ در اندازه‌گیری بعد اقتصادی شاخص X69 (اقدامات تعاونی در زمینه تهیه نهاده‌های کشاورزی برای اعضای خود) و در بعد زیست‌محیطی شاخص X78 (ترویج استفاده از کودهای آلی و دامی در بین اعضای تعاونی) سهم بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند. شکل (۱) مدل اصلی پژوهش را در حالت معناداری ضرایب (t-value) نشان می‌دهد. این مدل در واقع تمامی بارهای عاملی و ضرایب مسیر را با استفاده از آزمون t آزمون می‌کند. هنسلر^۴ و همکاران (۲۰۰۹) بیان می‌کنند که جهت معنادار بودن رابطه در تحلیل عاملی تأییدی، قدر مطلق بار عاملی و آماره t باید بالاتر از ۱/۹۶ و ۱-۱/۹۶ باشد، در این صورت می‌توان نتیجه‌گیری نمود که رابطه معنادار است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، بارهای عاملی سؤالات ۳۱، ۳۳، ۳۷، ۳۸، ۴۳، ۴۴، ۶۶، ۷۳ و ۸۱ زیر ۰/۷ بود که تصمیم به حذف آن‌ها گرفته شد. مدل اندازه‌گیری پس از حذف متغیرهای فوق در شکل ۳ آورده شده است.

است. با توجه به نتایج می‌توان دریافت که در اندازه‌گیری متغیر سازوکارهای آموزشی شاخص X10 (آموزش استفاده از روش‌های مختلف آبیاری به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف آب به اعضای تعاونی)؛ در اندازه‌گیری متغیر سازوکارهای ارتباطی شاخص X12 (نقش اعضای تعاونی در انتخاب اعضای هیئت مدیره تعاونی)؛ در اندازه‌گیری متغیر سازوکارهای حمایتی شاخص X21 (نقش دولت در تجهیزات نگهداری و بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری (الکتریکال و مکانیکال) در تعاونی)؛ در اندازه‌گیری متغیر سازوکارهای قانونی شاخص X39 (پیگیری وصول آب‌بهاء اعم از جاری و سنواتی (معوقه) برابر قوانین و مقررات)؛ در اندازه‌گیری متغیر سازوکارهای سیاست‌گذاری شاخص X47 (عمل مسئولان به وعده‌ها و قول‌هایی که به اعضای تعاونی داده‌اند) سهم بیشتری دارند. در خصوص ابعاد مختلف توسعه‌ی پایدار تعاونی‌های آب‌بران نیز در بعد اجتماعی



شکل ۲- مدل اندازه‌گیری اولیه در حالت معناداری ضرایب (BI)



شکل ۳- مدل اندازه‌گیری اولیه در حالت معناداری ضرایب (BT) بعد از حذف سؤالات

ضرایب پایایی ترکیبی نیز باید بالای ۰/۷ باشد. نتایج مربوط به آلفای کرونباخ، پایایی ترکیبی و پایایی اشتراکی سازوکارها و ابعاد مختلف تحقیق در (جدول ۷) آورده شده است. از آنجاکه آلفای کرونباخ، پایایی ترکیبی و پایایی اشتراکی تأیید شد، پایایی مدل مورد نظر مورد تأیید است.

برای سنجش آزمون کیفیت مدل اندازه‌گیری از شاخص پایایی اشتراکی استفاده شد. این شاخص نشان می‌دهد که آیا شاخص‌ها و سؤالات ما به‌درستی متغیرها را در قالب یک مدل اندازه‌گیری سنجیده است یا خیر. ضرایب پایایی اشتراکی باید بالای ۰/۵ باشد (کلین، ۲۰۱۰). میزان

جدول ۷- بررسی پایایی مدل

ابعاد	کرونباخ آلفا (α)	پایایی ترکیبی (CR)	پایایی اشتراکی (Comunality)
سازوکارهای آموزشی	۰/۹۳۳	۰/۹۴۳	۰/۷۷۳
سازوکارهای ارتباطی	۰/۹۰۱	۰/۹۱۹	۰/۷۴۶
سازوکارهای حمایتی	۰/۹۳۶	۰/۹۴۶	۰/۷۹۷
سازوکارهای قانونی	۰/۹۰۷	۰/۹۲۵	۰/۷۷۸
سازوکارهای سیاست‌گذاری	۰/۹۰۶	۰/۹۲۳	۰/۷۵۵
بعد اجتماعی توسعه پایدار	۰/۹۳۱	۰/۹۴۲	۰/۸۷۱
بعد اقتصادی توسعه پایدار	۰/۹۳۵	۰/۹۴۹	۰/۸۶۹
بعد زیست‌محیطی توسعه پایدار	۰/۹۳۹	۰/۹۴۹	۰/۸۳۷

در مدل معادلات ساختاری علاوه بر روایی سازه، روایی تشخیصی نیز مورد نظر است. این فرایند از طریق شاخص میانگین واریانس استخراج شده مشخص می‌شود. با توجه به اینکه AVE در تک تک سؤالات بالای ۰/۵ است (فورنل و لارکر، ۱۹۸۱). در نتیجه AVE تک تک سؤالات تأیید گردید. این ضرایب نشان می‌دهند تمامی سازه‌ها به‌خوبی از هم تفکیک شده‌اند (جدول ۸).

از دیگر معیارهای روایی ($CR > AVE$) است که بر این اساس میزان پایایی ترکیبی بایستی بیشتر از میانگین واریانس استخراجی باشد (هک و رینگل، ۲۰۰۶). نتایج این قسمت در جدول ۹ آورده شده است.

جدول ۸- بررسی آزمون AVE

ابعاد	AVE	ابعاد	AVE
سازوکارهای آموزشی	۰/۵۹۹	سازوکارهای سیاست‌گذاری	۰/۵۷۲
سازوکارهای رابطه‌ایی	۰/۵۵۸	بعد اجتماعی توسعه پایدار	۰/۶۱۸
سازوکارهای حمایتی	۰/۶۳۷	بعد اقتصادی توسعه پایدار	۰/۷۵۶
سازوکارهای قانونی	۰/۶۰۷	بعد زیست‌محیطی توسعه پایدار	۰/۷۰۱

جدول ۹- بررسی $CR > AVE$

ابعاد	AVE	CR	ابعاد	AVE	CR
سازوکارهای آموزشی	۰/۵۹۹	۰/۹۴۳	سازوکارهای سیاست‌گذاری	۰/۵۷۲	۰/۹۲۳
سازوکارهای رابطه‌ایی	۰/۵۵۸	۰/۹۱۹	بعد اجتماعی توسعه پایدار	۰/۶۱۸	۰/۹۴۲
سازوکارهای حمایتی	۰/۶۳۷	۰/۹۴۶	بعد اقتصادی توسعه پایدار	۰/۷۵۶	۰/۹۴۹
سازوکارهای قانونی	۰/۶۰۷	۰/۹۲۵	بعد زیست‌محیطی توسعه پایدار	۰/۷۰۱	۰/۹۴۹

آزمون کیفیت مدل (CV Com)

با توجه به نتایج جدول ۱۱ مدل اندازه‌گیری پژوهش، در سطح بسیار قوی است زیرا همه متغیرها در سطح بالای ۰/۳۵ می‌باشند (فورنل و لارکر، ۱۹۸۱).

مدل ساختاری

در شکل ۴ مدل ساختاری در حالت تخمین ضرایب استاندارد گزارش شده است.

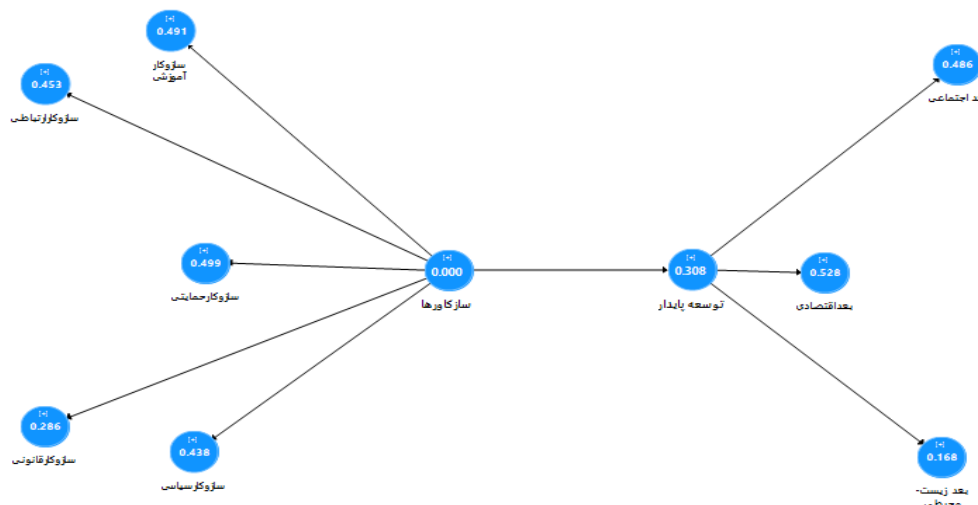
روایی واگرا وقتی در سطح قابل قبول است که میزان AVE برای هر سازه بیشتر از واریانس اشتراکی بین آن سازه و سازه‌های دیگر (مربع مقدار ضرایب همبستگی بین سازه‌ها) در مدل باشد. در PLS این امر به‌وسیله آزمون فورنل و لارکر صورت می‌گیرد (فورنل و لارکر، ۱۹۸۱). آزمون فورنل و لارکر، همبستگی بین متغیرها را می‌سنجد. نتایج حاصل نشان داد که جذر AVE هر سازه با سازه‌های دیگر بیشتر بوده و این امر حاکی از قابل قبول بودن روایی واگرای سازه‌ها بود. با توجه به نتایج جدول (۱۰) می‌توان دریافت تمامی سؤالات متغیرها همبستگی دارند.

جدول ۱۰ - نتایج آزمون فورنل و لارکر

بعد زیست محیطی	بعد زیست محیطی توسعه پایدار	بعد اقتصادی توسعه پایدار	بعد اجتماعی توسعه پایدار	سازوکار سیاست گذاری	سازوکار قانونی	سازوکار حمایتی	سازوکار رابطه ای	سازوکار آموزشی
								سازوکار آموزشی
							۰/۷۴۶	۰/۷۷۳
							۰/۷۰۱	سازوکار رابطه ای
						۰/۷۹۸	۰/۶۵۱	۰/۲۷۲
					۰/۷۷۹	۰/۳۲۶	۰/۱۹۲	۰/۶۲۷
				۰/۷۵۶	۰/۷۵۱	۰/۶۳۴	۰/۱۷۱	۰/۱۳۸
			۰/۷۸۶	۰/۱۵۶	۰/۲۸۵	۰/۴۸۴	۰/۴۸۴	۰/۴۲۲
		۰/۸۷۹	۰/۴۱۵	۰/۲۷۰	۰/۵۶۲	۰/۰۸۶	۰/۱۷۲	۰/۱۶۰
	۰/۸۳۷	۰/۱۳۰	۰/۱۰۶	۰/۳۷۶	۰/۵۰۴	۰/۳۴۹	۰/۶۱۴	۰/۴۲۴
								بعد زیست محیطی توسعه پایدار

جدول ۱۱ - بررسی کیفیت مدل (CV Com)

CV Com	ابعاد	CV Com	ابعاد
۰/۴۵۲	سازوکارهای سیاست گذاری	۰/۴۸۴	سازوکارهای آموزشی
۰/۵۰۸	بعد اجتماعی توسعه پایدار	۰/۴۳۲	سازوکارهای رابطه ای
۰/۶۳۳	بعد اقتصادی توسعه پایدار	۰/۵۲۶	سازوکارهای حمایتی
۰/۵۸۱	بعد زیست محیطی توسعه پایدار	۰/۴۷۵	سازوکارهای قانونی



شکل ۴ - مدل ساختاری در حالت تخمین ضرایب استاندارد

شاخص های برازش در مدل ساختاری

شاخص برازش مدل ساختاری، شاخص Q^2 است.

این معیار که توسط استون و گیسر (۱۹۷۵) معرفی شد، قدرت پیش بینی مدل در سازه های درونزا را مشخص می کند. به

اعتقاد آن ها مدل هایی که دارای برازش ساختاری قابل قبول هستند، باید قابلیت پیش بینی متغیرهای درونزای مدل را داشته باشند. بدین معنی که اگر در یک مدل، روابط بین سازه ها به درستی تعریف شده باشند، سازه ها تأثیر کافی بر

یکدیگر گذاشته و از این راه فرضیه‌ها به‌درستی تأیید شوند. اگر مقدار شاخص Q^2 مثبت باشد نشان می‌دهد که برازش مدل مطلوب است و مدل از قدرت پیش‌بینی‌کنندگی مناسبی برخوردار است (هنسler و همکاران، ۲۰۰۹). با توجه به نتایج جدول ۱۲ چنین می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت مدل ساختاری در حد قوی و مطلوب است.

جدول ۱۲- بررسی Q^2

ابعاد	Q^2	ابعاد	Q^2
سازوکارهای آموزشی	۰/۴۹۱	سازوکارهای سیاست‌گذاری	۰/۴۳۸
سازوکارهای رابطی	۰/۴۵۳	بعد اجتماعی توسعه پایدار	۰/۴۸۶
سازوکارهای حمایتی	۰/۴۹۹	بعد اقتصادی توسعه پایدار	۰/۵۲۸
سازوکارهای قانونی	۰/۲۸۶	بعد زیست‌محیطی توسعه پایدار	۰/۱۶۸

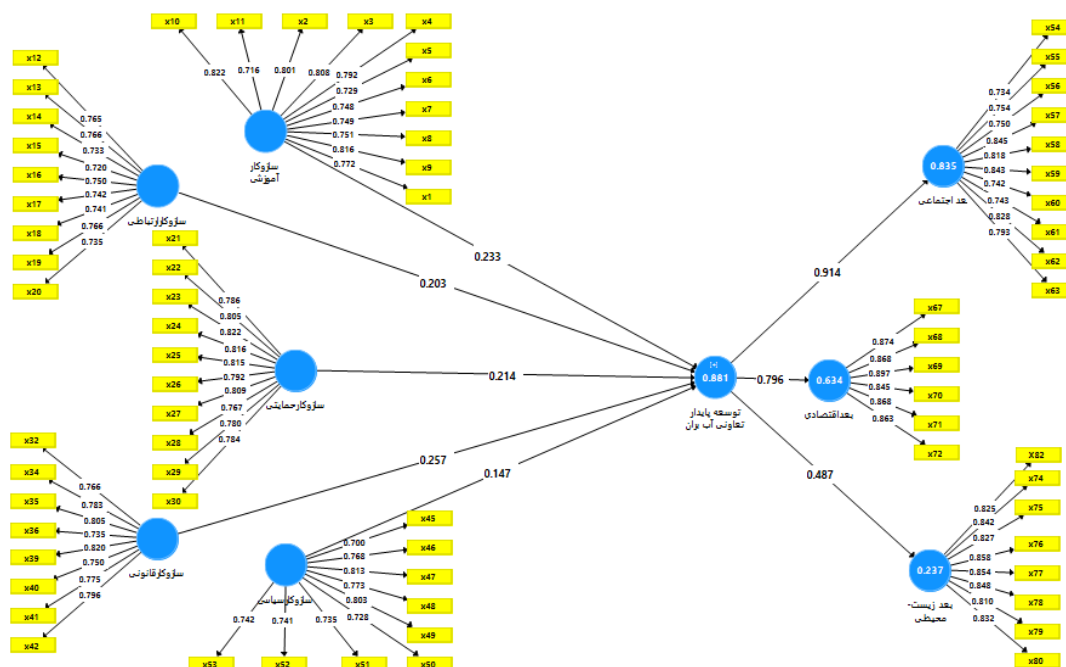
با توجه به اینکه مقدار p-value سازوکارهای آموزشی-ترویجی کمتر از ۰/۰۵ است ($p\text{-value}=۰/۰۰۰$) و مقدار ($\beta=۰/۲۳۳$ و $T\text{-value}=۳/۶۷۴$)، فرض آماری H_0 رد و فرض H_1 که همان فرض محقق است تأیید می‌شود؛ بنابراین می‌توان بیان نمود که سازوکارهای آموزشی-ترویجی با ۹۹ درصد اطمینان بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران دهستان سطر شهرستان سنقر و کلیایی تأثیر مثبت و معناداری دارند (جدول ۱۳).

با توجه به اینکه سطح معنی‌داری سازوکارهای رابطی کمتر از ۰/۰۵ است ($p\text{-value}=۰/۰۲۰$) و مقدار ($\beta=۰/۲۰۳$ و $T\text{-value}=۲/۳۲۵$)، فرض آماری H_0 رد و فرض H_1 که همان فرض محقق است تأیید می‌شود؛ بنابراین می‌توان بیان نمود که سازوکارهای رابطی با ۹۵ درصد اطمینان بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران دهستان سطر شهرستان سنقر و کلیایی تأثیر مثبت و معنی‌داری دارند (جدول ۱۲). سطح معنی‌داری سازوکارهای حمایتی نیز کمتر از ۰/۰۵ است ($p\text{-value}=۰/۰۰۰$) و مقدار ($\beta=۰/۲۱۴$ و $T\text{-value}=۳/۶۸۵$)، است؛ بنابراین فرض آماری H_0 رد و فرض H_1 که همان فرض محقق است تأیید می‌شود؛ بنابراین می‌توان بیان نمود که سازوکارهای حمایتی با ۹۹ درصد اطمینان بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران دهستان سطر شهرستان

سنقر و کلیایی تأثیر مثبت و معناداری دارند. سازوکارهای قانونی با سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ ($p\text{-value}=۰/۰۰۰$) و مقدار ($\beta=۰/۲۵۷$ و $T\text{-value}=۵/۰۳۳$)، تأثیر مثبت و معناداری بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران دهستان سطر شهرستان سنقر و کلیایی داشتند. سازوکارهای سیاست‌گذاری با سطح معنی‌داری ($p\text{-value}=۰/۰۱۴$) و مقدار ($\beta=۰/۱۴۷$) و مقدار ($T\text{-value}=۲/۴۵۵$)، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران دهستان سطر شهرستان سنقر و کلیایی داشتند (جدول ۱۲)؛ بنابراین چنین می‌توان نتیجه گرفت که اثر سازوکارهای آموزشی، رابطی، حمایتی، قانونی و سیاست‌گذاری بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران دهستان سطر شهرستان سنقر و کلیایی مثبت و معنی‌دار است. همچنین با توجه به شکل ۵، می‌توان دریافت اثر سازوکارهای قانونی بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران دهستان سطر شهرستان سنقر و کلیایی دارای رتبه بالاتری ($B=۰/۲۵۷$) نسبت به سایر عوامل است و اثر سایر عوامل شامل سازوکارهای آموزشی ($B=۰/۲۳۳$)، سازوکارهای حمایتی ($B=۰/۲۱۴$)، سازوکارهای رابطی ($B=۰/۲۰۳$) و سازوکارهای سیاست‌گذاری ($B=۰/۱۴۷$) به ترتیب در رتبه‌های بعدی اولویت قرار دارند.

جدول ۱۳- آزمون فرضیه‌ها

P Values	T Statistics (O/STDEV)	Standard Deviation (STDEV)	Sample Mean (M)	Original Sample (β)	
۰/۰۰۰	۵/۰۲۳	۰/۵۱	۰۰/۲۵۸	۰/۲۵۷	سازوکار قانونی-توسعه پایدار تعاونی آب‌بران
۰/۰۰۰	۳/۶۷۴	۰/۰۶۳	۰/۲۳۸	۰/۲۳۳	سازوکار آموزشی-توسعه پایدار تعاونی آب‌بران
۰/۰۰۰	۳/۶۸۵	۰/۰۵۸	۰/۲۱۳	۰/۲۱۴	سازوکار حمایتی-توسعه پایدار تعاونی آب‌بران
۰/۰۲۰	۲/۳۲۵	۰/۰۸۷	۰/۲۰۲	۰/۲۰۳	سازوکار رابطه‌ای-توسعه پایدار تعاونی آب‌بران
۰/۰۱۴	۲/۴۵۵	۰/۰۶۰	۰/۱۴۳	۰/۱۴۷	سازوکار سیاست‌گذاری-توسعه پایدار تعاونی آب‌بران



شکل ۵- مدل اندازه‌گیری اولیه فرضیه‌های تحقیق در حالت تخمین ضرایب استاندارد (PLS-A)

بحث و نتیجه‌گیری

مدیریت بهینه منابع آبی به‌منظور دستیابی به توسعه پایدار امری ضروری است و دستیابی به اهداف توسعه پایدار نیز بدون مشارکت مردم به‌عنوان عامل محوری توسعه امکان‌پذیر نیست، در این راستا، تشکلهای آب‌بران نقش مهمی در توسعه پایدار خواهند داشت. از همین‌رو تحقیق حاضر با هدف تحلیل برخی سازوکارهای مؤثر بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران مطالعه موردی دهستان سطر شهرستان سنقر و کلیایی انجام شد. به‌منظور تدوین مدل مفهومی تحقیق مصاحبه با خبرگان، مطالعات کتابخانه‌ای، کتب و مقالات داخلی و خارجی و جستجوی منابع علمی، انجام پذیرفت. یافته‌های تحقیق نشان داد که سازوکارهای قانونی بر

توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران دهستان سطر شهرستان سنقر و کلیایی تأثیر معناداری دارد. همچنین سازوکار قانونی به‌عنوان مهم‌ترین سازوکارهای مؤثر بر توسعه تعاونی‌های آب‌بران شناخته شد. در تبیین این یافته می‌توان گفت: به‌منظور توسعه و رشد بخش تعاون و تعاونی‌ها، بستر قانونی مناسبی در منطقه مورد مطالعه ایجاد شده است و نظارت و حمایت دولت از بخش تعاون و کشاورزی بیش از پیش پا برجاست. بخش دولتی با حمایت‌ها و پشتیبانی‌های مستمر از تعاونی‌های نوپا، آموزش و تقویت آن‌ها، دستیابی به توسعه اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی مناطق اجرای طرح‌ها را که همانا نیل به اهداف توسعه پایدار منابع آب است را تحکیم می‌بخشد. این نتیجه در راستای نتایج حاصل از تحقیق ادهم ملکی و

همکاران (۱۴۰۰)، نجفی (۱۳۹۳) و سوارز بوسا (۲۰۱۵) است. در این راستا پیشنهاد زیر ارائه می‌گردد؛

انعقاد قرارداد با مشاورین توانمند جهت انجام خدمات فنی و اجرایی؛

انعقاد قرارداد با شرکت آب منطقه‌ای و سازمان جهاد کشاورزی و دیگر سازمان‌های ذی‌ربط جهت اخذ خدمات پشتیبانی و توانمندسازی تعاونی‌های آبربران از جمله انجام پروژه گشت و نظارت شبکه آبرسانی؛

تدوین برنامه‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت برای ارتقای کیفیت ارائه خدمات این تشکله‌ها به‌نحوی که بتواند رضایت اعضای این تشکله‌ها را به سطح مطلوب برساند؛

نظرخواهی دولت در تصویب قوانین و مقررات تعاونی از اعضای تعاونی؛

سیاست‌های حمایتی دولت (اعطای تسهیلات کم‌بهره به طرح‌های توجیهی براساس توان مالی شرکت‌های تعاونی، تأمین اعتبارات در راستای استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری، بیمه تجهیزات آبیاری و تجهیز مزارع به آبیاری قطره‌ای و بارانی) از تعاونی آبربران.

نتایج مدل‌سازی معادلات ساختاری حاکی از آن بود که سازوکارهای آموزشی-ترویجی بر توسعه پایدار تعاونی‌های آبربران دهستان سطر شهرستان سنقر و کلیایی تأثیر معناداری دارد. آموزش در شرکت‌های تعاونی آبربران جهت نیل به اهداف تعاونی نقش سازنده و زیر بنایی دارد. آموزش در تعاونی‌ها وسیله‌ای است که موجب همکاری بیشتر، کارایی و توانمندی و سرانجام تبلور فعالیت‌ها می‌گردد. در واقع آموزش مداوم و هدفمند اعضای و مدیران در زمینه تعاونی کلید موفقیت نهایی تعاونی‌ها به شمار می‌رود. به عبارتی شرکت در دوره‌های آموزشی و ترویجی در افزایش سطح حرفه‌ای کشاورزان تأثیر ویژه‌ای دارد. با اطلاع‌رسانی دقیق و شفاف و برگزاری دوره‌های آموزشی، بهره‌برداران با ارکان تعاونی آبربران، اهداف، وظایف و حقوق خویش و نقش دولت در تعاونی‌های آبربران آشنا می‌شوند. آموزش و

اطلاع‌رسانی منجر به ایجاد تعهدی متقابل بین بهره‌برداران و دولت می‌شود تا ضامن مشارکت طرف‌های ذینفع و اجرای مراحل بعدی شکل‌گیری تعاونی آبربران باشد. علاوه بر این، آموزش اعضای تعاونی در زمینه تعمیر و نگهداری از تأسیسات شبکه‌های آبیاری و اطلاع‌رسانی و آگاهی بخشی به اعضا از طریق بازدید از تعاونی‌های آبربران موفق، به بهبود وضعیت تعاونی آبربران کمک شایانی خواهد نمود. این نتیجه در راستای نتایج حاصل از تحقیق اکبری و محمودی کرمجوان (۱۴۰۱)، زلیخایی سیار و همکاران (۱۳۹۹)، عیدی و همکاران (۱۳۹۹)، فلکی (۱۳۹۹)، مولان نژاد و یعقوبی (۱۳۹۸)، نصرآبادی و حیاتی (۱۳۹۳) و امید و همکاران (۲۰۱۲) است. در این راستا به‌منظور بهبود وضعیت تعاونی‌های آبربران پیشنهاد می‌گردد:

ادارات ترویج سازمان جهاد کشاورزی با هماهنگی سازمان تعاون و شرکت آب منطقه‌ای در راستای برگزاری کلاس‌های آموزشی-ترویجی، تهیه و پخش فیلم‌های مستند و آموزشی با ایجاد نگرش مثبت در کشاورزان جهت شرکت در کلاس‌های آموزشی و مسئولیت‌پذیری در تعاونی آبربران با همدیگر همکاری مستمر داشته باشند؛

با برگزاری سمینارها و همایش‌های مختلف و معرفی تعاونی‌های آبربران موفق، در راستای ایجاد انگیزه در دیگر روستاییان در جهت تشکیل و توسعه تعاونی‌های آبربران، گام‌های استواری برداشته شود؛

با استقرار و توسعه تعاونی‌های آبربران، ارائه خدمات پیشرفته ترویجی از طریق چندمنظوره کردن تعاونی‌های آبربران برای مشارکت بیشتر کشاورزان در مدیریت آب آبیاری روستا، اجرای برنامه‌های آموزشی و ترویجی، استفاده از کانال‌های ارتباطی از قبیل تبادل نظر و مشارکت رهبران محلی، شورای روستا، کشاورزان پیشرو و... از جمله راهکارهایی است که باعث بهبود بهتر مصرف آب در شبکه‌های آبیاری در مزارع و باغات کشاورزان می‌شود؛

نشست‌های عمومی و جلساتی منظم به صورت دوره‌ای متناسب با نیاز هر منطقه و تعاونی‌ها با حضور نمایندگان و مسئولان و تمامی اعضای تعاونی به منظور شنیدن نظرات و پیشنهاد‌های اعضا برگزار شود؛

استفاده از پروشورها و مجلات ترویجی برای آگاهی‌بخشی به کشاورزان در زمینه مدیریت بهینه از آب.

نتایج تحقیق نشان داد که سازوکارهای حمایتی بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران دهستان سطر شهرستان سنقر و کلیایی تأثیر معناداری دارد. ایجاد تشکلهای آب‌بران باعث به وجود آمدن تعامل سازنده با سایر سازمان‌های درگیر در آبیاری می‌شود. مهم‌ترین سازمان‌های درگیر در آبیاری وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی است که می‌توانند با توجه بیشتر به تعاونی‌های آب‌بران رضایت کشاورزان را افزایش دهند و از مشکلات خود بکاهند. این نتیجه در راستای نتایج حاصل از تحقیق مولان نژاد و یعقوبی (۱۳۹۸)، نجفی (۱۳۹۳)، شانگل و همکاران (۲۰۲۲)، وفایی و همکاران (۲۰۲۱)، افشاری و همکاران (۲۰۱۸) و احمدی و همکاران (۲۰۱۶) است. در این راستا پیشنهاد‌های زیر ارائه می‌گردد:

اجرای کشت قراردادی با در نظر گرفتن شرایط منطقه و بهینه‌سازی مصرف آب و سودآور نمودن فعالیت‌های کشاورزی با تغییر الگوی کشت، استفاده از ضایعات و پسماندهای کشت، کشت گلخانه‌ای در منطقه؛

اخذ کمک‌های بلاعوض و یا تسهیلات بانکی و یا استفاده از امکانات دولتی جهت تسهیل در فعالیت‌های آبیاری و کشاورزی تعاونی‌های آب‌بران؛

کمک‌ها و حمایت‌های تشویقی به تعاونی‌ها، اعطای تسهیلات و بخشودگی‌های لازم به منظور ایجاد انگیزه در آن‌ها؛

یارانه‌های دولتی با اعتبارات و وام‌های کم‌بهره از طریق سازمان جهاد کشاورزی با همکاری بانک کشاورزی برای تقویت تعاونی‌های آب‌بران ارائه گردد؛

از همه مهم‌تر نهادها و سازمان‌های حمایت‌کننده به تعهدات خود در قبال تعاونی‌های آب‌بران متعهد باشند.

نتایج حاکی از آن بود که سازوکارهای رابطه‌ای بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران دهستان سطر شهرستان سنقر و کلیایی تأثیر معناداری دارد. داشتن روحیه همبستگی و روحیه مشارکت‌پذیری در میان اعضای تشکلهای آب‌بران به منظور مشارکت مادی و فکری اعضا در شکل‌گیری تعاونی‌ها و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی برای پایداری تشکلهای نقش‌آفرین بوده است. بدین ترتیب مدیریت مشارکتی آبیاری از طریق انجمن‌های آب‌بران ضمن آن‌که باعث بهبود خدمات تحویل آب، نگهداری سیستم، توسعه آبیاری منطقه، کاهش پیامدهای زیست‌محیطی، افزایش بهره‌وری و درآمد کشاورزان می‌شود، روحیه تعاون و همکاری را بین کشاورزان و بهره‌برداران افزایش می‌دهد و به این ترتیب پویایی و موفقیت تشکلهای را به همراه دارد. این نتیجه در راستای نتایج حاصل از تحقیق عیدی و همکاران (۱۳۹۹)، مولان نژاد و یعقوبی (۱۳۹۸)، پارسا و همکاران (۱۳۹۴) و فنگ و همکاران (۲۰۱۹) است. در این زمینه پیشنهاد‌های زیر ارائه می‌شود:

انتقال درخواست‌های تعاونی‌های آب‌بران به مدیران شرکت آب منطقه‌ای یا سازمان جهاد کشاورزی و دیگر سازمان‌های ذی‌ربط و پیگیری تا وصول نتیجه؛

ایجاد نگرش مثبت در کشاورزان نسبت به شیوه‌های نوین مدیریت آب ضروری است؛

وجود متخصصان و کارشناسان ماهر در زمینه شیوه‌های نوین آبیاری، فراهم کردن امکانات لازم برای آشنایی با روش‌های نوین آبیاری، معرفی کشاورزان پیشرو به عنوان الگو؛

تشکیل گروه‌های محلی با توجه به نیازها و علایق مردم و همچنین ارائه اطلاعات و اختیارات لازم به آن‌ها باعث ایجاد اعتماد بین افراد و تعهد آن‌ها به حفاظت از منابع آب و تأسیسات آبیاری می‌شود؛

تعامل و رابطه بین تعاونی و شرکت آب منطقه‌ای جهت تعیین سطح زیر کشت؛ و رابطه‌ی تعاونی با شرکت‌های فنی و مشاوره‌ای و کلینیک‌های گیاه‌پزشکی برای دریافت خدمات مختلف.

از آنجاکه قانون توجه دولت به موضوع خصوصی‌سازی و حمایت از تشکلهای مردمی جلب شده است، بنابراین مشارکت مردم در ایجاد تعاونی‌های آب‌بران در طرح‌های توسعه منابع آب می‌باید مورد توجه بیشتری قرار گیرد؛ جذب سرمایه‌گذاری‌های خصوصی محلی و خارجی توسط تعاونی‌ها و کاهش تصدی‌گری دولت؛ ایجاد زمینه مشورت و همکاری کشاورزان و حل‌وفصل درگیری‌ها، مشکلات و مناقشات آنان در سطوح محلی؛ به نظر می‌رسد برای عملکرد بهتر تعاونی‌ها، دولت باید با نقش‌نظارتی و برنامه‌ریزی، شرایط و امکانات لازم را جهت گسترش و توسعه تعاونی‌ها فراهم سازد. بنابراین با عنایت به آنچه گفته شد، سازمان‌دهی و توسعه تعاونی‌ها که باهدف تأمین سرمایه، اشتغال‌زایی، گسترش مکانیزاسیون و برخورداری کشاورزان از حمایت‌های دولتی انجام شده است، یکی از راه‌حل‌های مهم جهت کاهش مشکلات ساختاری تعاونی‌هاست.

در پایان تأثیر سازوکارهای سیاست‌گذاری بر توسعه پایدار تعاونی‌های آب‌بران دهستان سطر شهرستان سنقر و کلیایی مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج حاکی از تأثیر مثبت و معنی‌دار بین دو متغیر مذکور بود. ایجاد تشکلهای آب‌بران هم برای دولت و هم برای کشاورزان منطقه سودمند است زیرا با ایجاد تشکل آب‌بران، آب مورد نیاز کشاورزان تأمین می‌شود. در نتیجه تولید محصول اضافه‌شده و درآمد نیز به طبع آب افزوده می‌شود و دولت نیز با واگذاری امور مربوط به تعاونی‌های آب‌بران به خود مردم هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. دخالت دولت در امور تعاونی‌ها می‌تواند موجب تجلی بروکراسی، توقف خودیاری، تلقی از تعاونی به‌عنوان سازمان دولتی، از بین رفتن اصل خودیاری و کم‌رنگ شدن استقلال تعاونی‌ها و اداره آن به‌صورت یک اداره دولتی و یا یک بروکراسی مرکزی شود. این نتیجه در راستای نتایج حاصل از تحقیق ادهم ملکی و همکاران (۱۴۰۰)، زلیخایی سیار و همکاران (۱۳۹۹)، نجفی (۱۳۹۳) و مرتضی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۱) است. در این راستا پیشنهاد می‌شود:

فهرست منابع

۱. ادهم ملکی، م.، خسروی‌پور، ب و سلطانی ف، ۱۴۰۰. عوامل بازدارنده و پیش‌برنده مدیریت مشارکتی منابع آب زیرزمینی در بخش کشاورزی (مطالعه موردی: دشت مرغاب، استان خوزستان). جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۳، شماره ۱، صفحه‌های ۴۱۹ تا ۴۲۳.
۲. اکبری، ع.، و محمودی کرم‌جوان، ج.، ۱۴۰۱. طراحی الگوی ترویجی بهبود مدیریت آبیاری برای مقابله با بحران کم‌آبی در استان آذربایجان شرقی. نشریه آب و توسعه پایدار، دوره ۹، شماره ۱، صفحه‌های ۹۵ تا ۱۰۴.
۳. پارسا، م.، الهیاری، م. ص.، پیکانی، غ.، و کاووسی کلاشمی، م.، ۱۳۹۴. امکان‌سنجی استقرار تعاونی‌های آب‌بران در استان گیلان. تعاون و کشاورزی (تعاون)، دوره ۴ شماره ۱۵، صفحه‌های ۶۵ تا ۸۹.
۴. حسین‌پور، ز.، منهای، م. ح.، و کاووسی کلاشمی، م.، ۱۳۹۴. ارزیابی عوامل مؤثر بر مشارکت اعضای تعاونی آب‌بران در مدیریت منابع آب کشاورزی، رشد و توسعه اقتصاد روستایی و کشاورزی، ویژه‌نامه فصلنامه پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی، دوره ۱ شماره ۲، صفحه‌های ۹۱ تا ۱۰۴.
۵. رشوند، ا.، میردامادی، م.، و لشگرآرا، ف.، ۱۳۹۷. بررسی عوامل مؤثر بر موفقیت تشکلهای آب‌بران شبکه آبیاری دشت قزوین. فصلنامه پژوهش‌های ترویج و آموزش کشاورزی، دوره ۱۱، شماره ۳، ۲۱ تا ۲۸.

۶. زلیخایی سیار، ل.، نادری مهدی ک.، و موحدی، ر.، ۱۳۹۸. راهکارهای مدیریت پایدار آب کشاورزی (مورد مطالعه استان همدان). فصلنامه پژوهش‌های روستایی، دوره ۱۰، شماره ۱، صفحه‌های ۶۴ تا ۷۷.
۷. عیدی، ا.، کاظمیه، ف.، و ظریفیان، ش.، ۱۳۹۹. شناسایی عوامل مؤثر بر مدیریت پایدار منابع کشاورزی از دیدگاه کشاورزان (مطالعه موردی: گندم کاران روستاهای شهرستان مراغه). نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار، دوره ۳، شماره ۴، صفحه‌های ۳۱۱ تا ۳۲۶.
۸. فلکی، م.، ۱۳۹۹. تحلیل سازوکارهای بهبود و پایداری تعاونی آب‌بران سد تبارک در شهرستان قوچان. مجله روستا و توسعه پایدار فضا. دوره ۱، شماره ۴، صفحه‌های ۶۹ تا ۸۶.
۹. کرمی، غ.، عزیزی، م.، و آگهی، ح.، ۱۳۹۶. ارزیابی مشارکتی عملکرد تعاونی‌های آب بران در مدیریت آبیاری طرح توسعه باغ‌ها مورد مطالعه تعاونی‌های تفین و پالنگان استان کردستان. مجله مهندسی منابع آب، دوره ۱۰، شماره ۱، صفحه‌های ۱ تا ۱۶.
۱۰. مرتضی‌نژاد، م.، یعقوبی، ج.، داغستانی، م.، و ستوده‌نیا، ع.، ۱۳۹۱. بررسی راهکارهای بهینه‌سازی مدیریت منابع آب از دیدگاه آب‌بران (مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت قزوین). اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار، تهران، صفحه‌های ۳۱۱ تا ۳۱۸.
۱۱. مولانژاد، ل.، و یعقوبی، ج.، ۱۳۹۸. بررسی عوامل مؤثر بر مشارکت کشاورزان در مدیریت منابع آب مورد مطالعه شهرستان میاندوآب. فصلنامه منابع آب، دوره ۳۶، شماره ۱، صفحه‌های ۱۱ تا ۲۰.
۱۲. نجفی، ن.، غنیم، م.، خسروی‌پور، ب.، برادران، م.، و دحیمای، ع.، ۱۳۹۳. شناسایی عوامل مؤثر بر موفقیت تشکلهای آب‌بران: دیدگاه بهره‌برداران حوزه‌های کرخه شمالی و جنوبی استان خوزستان. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، دوره ۱۰، شماره ۲، صفحه‌های ۱۰۵ تا ۱۲۰.
۱۳. نصرآبادی، ح.، و حیاتی، د.، ۱۳۹۳. بررسی عوامل مؤثر بر مشارکت بهره‌برداران در توسعه شبکه‌های فرعی آبیاری و زهکشی در حوضه رودخانه بوژان شهرستان نیشابور. پژوهش آب در کشاورزی، دوره ۲۸، شماره ۴، صفحه‌های ۷۲۵ تا ۷۳۵.
14. Afshari, S., Gholizdeh, H., and Sha'ban Ali Fami H, 2018. Analysis of Explanatory Factors Related to Sustainable Management of Agricultural Water Resources in Kamijan City. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 1 (28): 285-267.
15. Agustini, D., and Iskandar, J., 2021. Overview of participatory water management to overcome drought towards agricultural sector. *E3S Web of Conferences* 249.
16. Ahmadi, M., Abasi, F., and Soltani, M., 2016. Evaluation of Factors Affecting Sustainable Management of Agricultural Water Resources in Rural Areas Case Study: Upper Andabad Village, Zanzan County. *Second National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment*, 13-14 March, 1-6.
17. Antonio Zema, D., Nicoano, A., Mateos, L., and Zimbone, S., 2018. Improvement of the irrigation performance in Water Users Associations integrating data envelopment analysis and multi-regression models. *Agricultural Water Management*, 205(35): 38-49.
18. Arunrat, N., and Pumijumnong, N., 2015. The preliminary study of climate change impact on rice production and economic in Thailand. *Asian Social Science*, 11(15): 275-289.
19. Aydogdu, M., Karli, B., Yenigun, K., and Aydogdu, M., 2016. The farmers' views and expectations to the Water Users Associations; GAP-Harran plain sampling, Turkey. *Global Advanced Research, Journal of Agricultural Science* 4(1):33-41.

20. Chu Chen, Y., 2018. Evaluating greenhouse gas emissions and energy recovery from municipal and industrial solid waste using waste-to-energy technology. *Journal of Cleaner Production*, 29(1): 262-269.
21. FAO, 2016. Climate change and food security: risk and responses. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i5188e.pdf>
22. Feng, Y., Wang, W., Oscar Suman, D., and Yu Sh, 2019. Water Cooperation Priorities in the Lancang-Mekong River Basin Based on Cooperative Events Since the Mekong River Commission Establishment. *Chinese Geographical Science* 29(1):58-69.
23. Goli, I., Omid Najafabadi, M., and Lashgarara, F., 2020. Where are We Standing and Where Should We Be Going? Gender and Climate Change Adaptation Behavior. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*. 33(11): 187-218.
24. Iwanaga, T., Partington, D., Ticehurst, J., Croke, B., and Jakeman, A., 2020. A socio-environmental model for exploring sustainable water management futures: Participatory and collaborative modelling in the Lower Campaspe catchment. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 28(1): 1-34.
25. Luber, G., and McGeen, M., 2008. Climate change and extreme heat events. *American Journal of Preventive Medicine*, 35: 429–435.
26. Madani, K., 2014. Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *Journal Environment Study Science*, 4(2): 315-328.
27. Omid, M H., Akbari, M., Zarafshani, K., Eskandari, G H., and Fami, H Sh., 2012. Factors influencing the success of water user associations in Iran: a case of Moqan, Tajan, and Varamin. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14 (1): 27-36.
28. Shunglu, R., Kopke, S., Kanol, L., Nissanka, T., Gamage, D., and Dissanayake, H., 2022. Barriers in Participative Water Governance: A Critical Analysis of Community Development Approaches. *Water*, 14(2): 1-24.
29. Suarez Bosa, S., 2015. Water Institutions and Management in Cape Verde. *Water*, 7: 2641-2655.
30. Vafaei, E., Shahabi Ahangarkolaei, S., Lucas-Borja, M., Fami, H. Sh., and Antonio Zema, D. 2021. A framework to evaluate the factors influencing groundwater management in Water User Associations: The case study of Tafresh County (Iran). *Agricultural Water management*, 255(21): 1-14.
31. World Bank, 2014. Water resources sector strategy. Strategic directions for World Bank engagement. World Bank, Washington, DC.

بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی در بخش‌هایی از استان کرمان

سمیه صدر*

استادیار پژوهش، پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات و علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران.

2716sadr@gmail.com

دریافت: اسفند ۱۴۰۱ و پذیرش: مهر ۱۴۰۲

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی کیفی آب زیرزمینی بخش‌هایی از شمال و مرکز استان کرمان انجام شد و از محدوده هشت شهرستان (کرمان، زرنند، بم، بردسیر، جیرفت، بافت، فاریاب و رفسنجان) تعداد ۵۳۴ نمونه آب از منابع آب زیرزمینی برداشت گردید و غلظت یونهای Na^+ ، Ca^{+2} ، Mg^{+2} ، Cl^- ، SO_4^{-2} ، HCO_3^{-2} تعیین شد. همچنین شاخص‌هایی مانند کل مواد جامد محلول (TDS)، نسبت جذب سدیم (SAR)، شاخص نفوذپذیری (PI)، بی‌کربنات سدیم باقیمانده (RSBC)، هدایت الکتریکی (EC)، پتانسیل شوری (PS)، خطر منیزیم (MH)، سختی آب (TH)، درصد سدیم محلول در آب (SSP) تعیین و ارزیابی شد. برای رسم نمودارهای بررسی و مقایسه خصوصیات آب از نرم‌افزار AqQA استفاده گردید. بر اساس نتایج، بیش از ۳۷٪ از منابع مورد مطالعه از نظر شوری در ردیف آب‌های نامناسب (شوری بالاتر از ۲ dS/m) قرار داشت. شهرستان‌های زرنند و رفسنجان از نظر شاخص‌های کیفیت آب زیرزمینی در شرایط نامطلوبی قرار داشت چرا که شاخص‌های EC، SAR، PS، TH، SSP و MH در یکی یا هر دوی این شهرستان‌ها در شرایط بحرانی بود، ولی از نظر استانداردهای آب کشاورزی، اغلب دیگر مناطق مطالعه شده دارای آب با کیفیت مناسبی بود. تیپ ترکیبی آب زیرزمینی در تمامی مناطق Ca-Mg-SO₄-Cl به‌دست آمد، به طوری که در شهرستان‌های شمالی‌تر استان مانند رفسنجان، زرنند، بردسیر و همچنین شهرستان‌های بم و کرمان آنیون غالب آب کلر بود در حالی که در مناطق فاریاب، بافت و جیرفت وضعیت آنیونهای غالب آب کمی به سمت سولفات شده پیش می‌رود. در منابع آب مورد مطالعه در اغلب شهرستان‌ها $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$ است و آنیون غالب کلر را دارند و بی‌کربنات کمی نسبت به سایر آنیونها در نمونه‌های آب مشاهده گردید. همچنین بر اساس نتایج، رخساره غالب آب در تمامی مناطق Na-Cl و Mg-Cl بود، لذا لازم است آب‌ها با مدیریت صحیح مورد استفاده قرار گیرند و متناسب با شرایط شیمیایی آنها گیاه مناسب انتخاب شود.

واژه‌های کلیدی: نرم‌افزار AqQA، خطر منیزیم، سختی آب

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: 2716sadr@gmail.com



مقدمه

یکی از تنگناهای اساسی دنیای امروز آلودگی و کافی نبودن آب برای مصارف گوناگون اعم از شرب و کشاورزی است. آب زیرزمینی ۶۰ درصد از کل عرضه آب در ایران را تشکیل می‌دهد و تقریباً ۹۰٪ در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (صفدری و همکاران، ۲۰۲۲). ایران یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان آب‌های زیرزمینی در جهان است و ۸۷ درصد از جمعیتش در مناطقی زندگی می‌کنند که برای شرب و آبیاری به شدت به آب‌های زیرزمینی وابسته هستند. ادامه رویکرد معمول در کاهش سفره‌های زیرزمینی، ایران را در معرض مخاطرات غذا و آب و همچنین مسائل امنیتی قرار می‌دهد (صفدری و همکاران، ۲۰۲۲). تقریباً ۸۵٪ از مساحت ایران را مناطقی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک در بر گرفته است که کاملاً به منابع آب زیرزمینی وابسته بوده و به خاطر پراکنش زمانی-مکانی نامناسب بارش، منبع آب جایگزینی برای تأمین این منابع وجود ندارد (سائمیان و همکاران، ۲۰۲۲). در چنین شرایطی افت کیفیت آب معیشت ساکنان را تهدید می‌نماید؛ لذا حفظ کیفیت منابع آب موجود اهمیت خود را نشان می‌دهد. آگاهی داشتن از وضعیت کیفیت آب مناطق تحت تنش آبی، بسیار حیاتی است. بنابراین در مطالعات هیدرولوژی علاوه بر مطالعه کمی، معیارهای کیفی آب نیز بررسی می‌شوند. تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و شور شدن منابع آب هم‌اکنون خطری بزرگ در راه استقرار پایدار جمعیت در اراضی خشک است. افت کیفیت منابع آب زیرزمینی در درازمدت منجر به مواردی همچون اثرات مخرب اکولوژیکی اثر مخرب بر حاصلخیزی خاک و بروز اختلاف میان ذی‌نفعان و پدید آمدن بحران‌های اجتماعی می‌شود. مطالعات متعددی در زمینه بررسی هیدروشیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای آشامیدن و کشاورزی در دنیا و ایران انجام شده است. ساپا و همکاران (۲۰۱۴) برای ارزیابی آب آبخوان‌های کربناته در منطقه جنوب التیوم ایتالیا، از جهت کشاورزی و آشامیدن از نرم‌افزار AqQA بهره بردند. نتایج تجزیه و تحلیل‌های شیمیایی و پارامترهای کیفیت آب

محاسبه شده توسط این نرم‌افزار نشان داد که اکثر نمونه‌های آب برای کشاورزی و آشامیدن مناسب هستند. حسینی‌فرد و همکاران (۲۰۱۵)، برای بررسی ویژگی‌های هیدروشیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای آشامیدن و کشاورزی دشت رفسنجان از مدل AqQA استفاده کردند. نتایج نشان داد کیفیت آب منطقه برای آشامیدن و کشاورزی در وضعیت مناسبی قرار ندارد. گوپتا و میسرا (۲۰۱۶) به تجزیه و تحلیل کیفیت آب‌های زیرزمینی آبخوان‌های کوآترنری، منطقه جاهجار در هند پرداختند. این مطالعه نشان داد کیفیت آب‌های زیرزمینی جاهجار برای اهداف نوشیدن کاملاً نامناسب است. همچنین حدود ۶۰-۷۰ درصد از نمونه‌ها، فلوراید بالا را نشان داد. داناسکراپاندیان و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی و مناسب بودن آن برای کشاورزی و آشامیدن با استفاده از AqQA پرداختند. نتایج نشان داد که آب‌های زیرزمینی منطقه به دلیل فعالیت‌های انسانی، بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و تغییر الگوی استفاده زمین برای کشاورزی و آشامیدن مناسب نیستند. عبدل ستار و همکاران (۲۰۱۷) به ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی و کشاورزی در منطقه هیل واقع در عربستان سعودی پرداختند. نتایج نشان داد حدود ۹۷ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی در رده عالی قرار دارند. چیتسازن و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای تحت عنوان ویژگی‌های هیدروشیمیایی و تأثیر فعالیت‌های انسان بر کیفیت آب‌های زیرزمینی در حومه شهر ارومیه - ایران، از نرم‌افزار AqQA استفاده کردند. نتایج نشان داد ماده اصلی آب‌های زیرزمینی منطقه حومه شهری و ۱۳ درصد مناطق روستایی ضعیف مشخص شد.

عباس‌نژاد و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت راین، کرمان پرداختند. بدین منظور ارزیابی ژئوشیمی آبخوان و فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر آن، نمایش گرافیکی و تحلیل‌های آماری داده‌های هیدروژئوشیمیایی

روش بررسی

منطقه مطالعاتی

در پژوهش حاضر، آب زیرزمینی در بخش‌هایی از مرکز و شمال استان کرمان مورد بررسی قرار گرفت. استان کرمان در جنوب شرقی فلات مرکزی ایران، بین ۲۶' ۵۳° تا ۲۹' ۵۹° شرقی و ۲۵' ۵۵° تا ۳۲' شمالی قرار دارد. این استان با وسعت ۱۸۳۲۸۵ کیلومتر مربع پهناورترین استان کشور است (<https://miras.kr.ir>) بر اساس گزارش اداره کل هواشناسی استان کرمان آب‌وهوای این استان تنها در شهر بافت نیمه‌خشک است و بیشتر مناطق آن دارای آب‌وهوای فراخشک و بیابانی می‌باشند (<https://kerman-met.ir>) از مشخصات بارز این منطقه رطوبت و بارندگی کم، تبخیر بالقوه فوق‌العاده زیاد و اختلاف زیاد درجه حرارت در فصول تابستان و زمستان در طول شبانه‌روز است. نواحی مختلف استان تحت تأثیر عوامل منطقه‌ای متعددی قرار دارد که از جمله این عوامل می‌توان به وجود امتداد رشته کوه‌های زاگرس و کوه‌های مرکزی، واقع شدن دشت لوت در شرق، عرض جغرافیایی پایین، مدت زیاد تابش خورشید، فیزیوگرافی منطقه و تأثیر توده‌های هوایی متعدد اشاره کرد. متوسط بارندگی بر اساس اطلاعات اداره هواشناسی استان حدود ۱۴۵ میلی‌متر در سال است که این مقدار حدود ۵۸ درصد متوسط بارش کشوری و حدود ۱۹ درصد میانگین بارش جهانی است (شاهی و عباس نژاد، ۱۳۸۹). موقعیت جغرافیایی استان کرمان و توزیع نقاط نمونه‌برداری شده در منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ آورده شده است.

برداشت نمونه آب و آنالیز شیمیایی نمونه‌ها

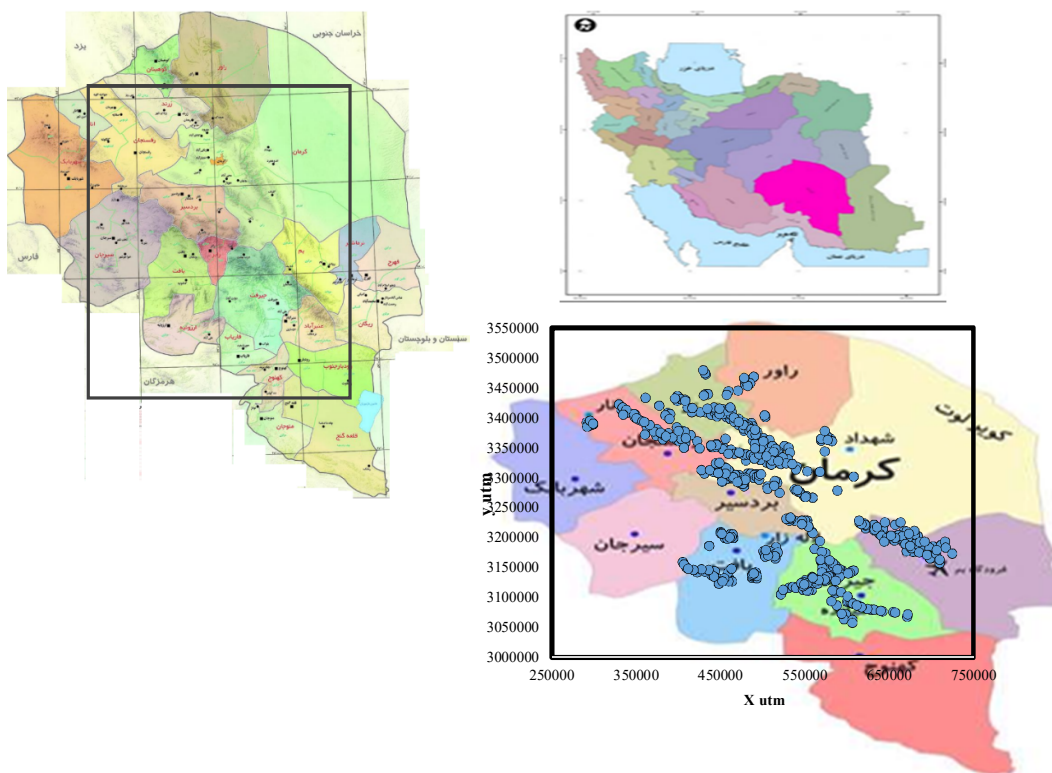
در این مطالعه از محدوده هشت شهرستان، تعداد ۵۳۴ نمونه آب از منابع مختلف آب زیرزمینی شامل چاه عمیق و نیمه عمیق، قنات و چشمه در بطری‌های پلی‌اتیلن (۲۵۰ میلی‌لیتری) نمونه‌برداری گردید. تعداد نقاط نمونه‌گیری شده از هر منطقه در جدول ۱ نشان داده شده است. در این پژوهش جمعاً ۵۳۴ نمونه آب زیرزمینی از

انجام شد. با بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی مشخص شد اصلی‌ترین عامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه، برهم‌کنش بین آب و مواد سازنده آبخوان است. فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی، انحلال کانی‌های تبخیری و کربناتی، هیدرولیز سیلیکات‌ها و تبادل یونی است. رسم داده‌ها روی نمودار گیبس نشان داد که انحلال کربنات‌ها و هیدرولیز سیلیکات‌ها و انحلال کانی‌های تبخیری از عوامل غالب کنترل‌کننده شیمی آب زیرزمینی منطقه محسوب می‌شود. بیگلری و سیاری در سال ۱۳۹۶ برای ارزیابی پارامترهای کیفی جریان آب قنات بم از مدل AqQA بهره بردند. بر اساس مقادیر بدست آمده از اجرای نرم‌افزار و مقایسه نقشه‌های شاخص کیفیت آب زیرزمینی و کلاس‌بندی آب توسط روش شولر مشخص گردید که آب این قنات‌ها از نوع کربناته و از کیفیت مناسبی برای مصارف کشاورزی برخوردار است. فرهادی و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی دشت ابهر-زنجان از نرم‌افزار AqQA استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که اکثر آبخوان‌های ابهر و سلطانیه تا شهر زنجان از کیفیت مناسبی برخوردار بوده و محدودیتی برای شرب، کشاورزی و صنعت وجود ندارد. در تحقیق حاضر، به تعیین کیفیت آب زیرزمینی در بخش‌هایی از استان کرمان پرداخته شده است. استان کرمان در جنوب ایران واقع شده است و به علت موقعیت خاص جغرافیایی و تأثیر دیگر عوامل از مناطق خشک ایران به شمار می‌رود. لذا، به دلیل کمبود بارندگی و عدم توزیع یکنواخت آن، آبیاری یک اصل مهم در کشاورزی این مناطق محسوب می‌شود. همچنین محدود بودن منابع آب سطحی و افزایش بیش از حد سطح زیرکشت، بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی به‌ویژه در مناطق تحت کشت خرما افزوده شده است. لذا در این پژوهش سعی شده است با استفاده از نرم‌افزار AqQA، چشم‌انداز و درک مناسبی از وضعیت کیفی منابع آب در این قسمت‌ها ارائه شود.

هشت شهرستان در استان کرمان، شامل ۴۱۹ حلقه چاه، ۱۶ نمونه ۱۷ پارامتر مختلف شیمیایی آب زیرزمینی بر اساس دهانه چشمه و ۹۹ رشته قنات برداشت گردید و در هر دستورالعمل‌های استاندارد، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

جدول ۱- تعداد نقاط نمونه‌گیری شده در هر منطقه

ردیف	نام منطقه	تعداد نمونه				ردیف	نام منطقه	تعداد نمونه			
		چشمه	قنات	چ	ص			چشمه	قنات	چ	ص
۱	کرمان	۱۰	۱۳	۱۱۲	۱۳۵	۵	جیرفت	۷	۲۴	۷۰	۱۰۱
۲	زرند	-	۱	۶۱	۶۲	۶	بافت	-	-	۲۲	۲۲
۳	بم	-	۲۸	۴۰	۶۸	۷	فاراب	۱۰	۱۸	۲۸	۲۸
۴	بردسیر	-	۱۵	۴۶	۶۱	۸	رفسنجان	۱۲	۴۵	۵۷	۵۷



شکل ۱- الف. موقعیت جغرافیایی استان کرمان و ب. توزیع نقاط نمونه‌برداری در منطقه مطالعاتی

سیستم مختصات جغرافیایی (GPS)، تعیین و نقشه پراکنش نقاط نمونه‌برداری تهیه شد (شکل ۲).

آنالیزهای شیمیایی نمونه‌ها، ۴۸ ساعت پس از برداشت آغاز گردید. بر این اساس در نمونه‌های آب، ویژگی‌های رسانایی الکتریکی با استفاده از EC متر مدل "Metrohm AG Herisus, Switzerland Ohm-644", اسیدیته توسط پی-اچ متر مدل "691, M0065trohm"

نمونه‌های آب پس از حداقل ۳۰ دقیقه کار کردن سیستم پمپ آب، از چاه برداشت گردید و در قنات‌ها و چشمه‌ها نیز از نقطه خروج آب به فضای آزاد نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌ها برای اندازه‌گیری مشخصات شیمیایی مؤثر در کیفیت آب به آزمایشگاه منتقل گردید. پس از برداشت نمونه آب، مختصات هر یک از منابع توسط

(Cl^-) توسط تیتراسیون با محلول نیترا ت نقره (پایپر، ۲۰۱۰) و غلظت سولفات (SO_4^{2-}) توسط کدورت سنجی اسپکتروفتومتری (پانوس و گاتیروس، ۲۰۰۶) اندازه گیری شد. سایر شاخص های مورد استفاده در تعیین کیفیت آب از روش های ذکر شده در جدول ۲ محاسبه گردید.

جدول ۲- شاخص های مورد استفاده در تعیین کیفیت آب زیرزمین در مطالعه حاضر

منبع	روابط	علامت	ec
دلگادو و همکاران، ۲۰۱۰	$PS = Cl^- + \sqrt{SO_4^{2-}}$	PS	پتانسیل شوری Potential of salinity
ریچارد، ۱۹۵۴	$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}}$	SAR	نسبت جذب سدیم Sodium Adsorption Ratio
جوشی و همکاران، ۲۰۰۹	$MAR = \frac{Mg^{2+}}{Ca^{+2} + Mg^{+2}} \times 100$	MH	خطر منیزیم Magnesium hazard
سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۸	$SSP = \frac{Na^+}{Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+} \times 100$	SSP	درصد سدیم محلول در آب Sodium soluble persente
گوپتا و گوپتا، ۱۹۸۷	$RSBC = HCO_3^- - Ca^{+2}$	RSBC	بی کربنات سدیم باقیمانده Residual Sodium becarbonate
حسینی فرد و همکاران، ۲۰۱۵	EC < 8 EC(ds m ⁻¹)*680 EC > 8 EC(ds m ⁻¹)*800	TDS	کل جامدات حل شده Total dissolved solids
	$TH (mg CaCO_3 * 1^{-1}) = (Ca^{+2} + Mg^{+2}) \times 50$	TH	سختی آب Total hardness

یافته ها و بحث

خلاصه ی گزارش آمار توصیفی مربوط به پارامترهای هیدروشیمیایی نمونه های آب زیرزمینی در منطقه ی مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. EC یک تصویر کیفی از وضعیت آب های زیرزمینی ارائه می دهد. حداکثر مقدار مجاز EC برای آب های زیرزمینی به منظور کشت اغلب محصولات کشاورزی ۵ dS/m است (پارک و همکاران، ۲۰۰۵). میانگین EC آب های منطقه مورد مطالعه (۲/۶۲۸ dS/m) و حدود تغییرات این شاخص (۲۶-۰/۲۱۸ dS/m)، نشان دهنده تغییرات زیاد شوری در آب منطقه مورد مطالعه است. ۴۱ درصد از نمونه های آب زیرزمینی مورد مطالعه در محدوده قابل استفاده برای کشت محدوده وسیعی از محصولات قرار دارند در حالی که ۳۴ درصد از نمونه ها در شرایط مشکوک و نامناسب هستند و در انتخاب گیاه برای کشت باید به ویژگی گیاه و تحمل به شوری و همچنین وضعیت آب و هوایی منطقه و فراهمی

پس از تعیین ویژگی های کیفی آب، نتایج با استانداردهای آب برای کشاورزی مقایسه و تفسیر گردید. در این مطالعه برای رسم نمودارهای بررسی و مقایسه خصوصیات آب، از نرم افزار AqQA استفاده گردید. نرم افزار AqQA در سال ۲۰۰۵ توسط شیمیدان های آب، به منظور بررسی کیفیت منابع آب و ترسیم نمودارهای شیمیایی و محاسبات ژئومترال و خصوصیات آماری نمونه ها ابداع شد. این نرم افزار با قابلیت ترسیم انواع نگاره ها از جمله دررو، پایپر، استیف و همچنین دارا بودن بیش از ۲۰۰ نوع تحلیل از پیش تعیین شده ابزار مناسبی برای تجزیه و تحلیل و بررسی کیفیت آب است که در این مطالعه از آن استفاده شده است. در این مطالعه بررسی های آماری شیمیایی نمونه های آب توسط نرم افزار آماری SPSS انجام گرفت. همچنین برای رسم برخی نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

آب توجه کرد (شکل ۲.ب). میانگین شوری آب در مناطق زرنند و رفسنجان بالاتر از حدود مجاز شوری برای کشاورزی است (شکل ۲.الف) بخصوص در منطقه رفسنجان بیشینه مقدار EC آب در یکی از منابع آب به 26 dS/m رسیده است که به‌طور جدی از حدود مجاز بالاتر است. صالحی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی حداکثر شوری در دشت رفسنجان - انار را $19/970 \text{ dS/m}$ و در منطقه انار گزارش کردند. بر اساس نظر ایشان میزان شوری در قسمت شمال غربی دشت رفسنجان شدید بوده و با امتداد در راستای جنوب شرقی از میزان شوری کاسته می‌شود. حسینی فرد و همکاران (۲۰۱۵) نیز در بررسی آب‌های زیرزمینی شهرستان رفسنجان، چاه‌هایی با شوری آب بسیار بالاتر از حدود مجاز را گزارش کردند. در مناطق رفسنجان و زرنند محصول پسته مورد توجه زیاد کشاورزان قرار دارد و سال‌های طولانی مورد کشت بوده است. بر اساس مطالعات جعفری و همکاران (۱۳۹۵) عملکرد درختان پسته در شوری‌های آب آبیاری بالاتر از 8 dS/m به‌طور معنی‌داری کمتر از عملکرد درختانی است که با آب کمتر از 8 dS/m آبیاری می‌شوند. لذا حد آستانه شوری برای درختان پسته از سایر محصولات مورد کشت در استان بالاتر و حدود 8 dS/m است. نتایج حاصل از نقشه‌های تولیدشده به روش کریجینگ معمولی طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰ از افزایش و گسترش اراضی با شوری آب زیرزمینی بیش از 8 dS/m گزارش می‌کند. در سال ۱۳۸۱ تنها ۲/۶ درصد از اراضی استان کرمان دارای آب زیرزمینی بیش از 8 dS/m بوده است و در سال ۱۳۹۲ این مقدار به ۳/۴ درصد رسیده است (زارع و خلدیان، ۱۳۹۶). در مطالعه حاضر حدود ۲۵ درصد از منابع زیرزمینی مورد مطالعه در منطقه رفسنجان و پنج درصد در زرنند در محدوده بیش از حد آستانه شوری برای پسته (8 dS/m) هستند. استفاده از آب آبیاری با مقادیر بالای EC، نمک‌ها را به خاک و ناحیه ریشه وارد می‌کند. ریشه گیاه آب را جذب کرده اما نمک بسیار کمی را از خاک جذب می‌کند (حسین و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین، آب از سطح خاک تبخیر می‌شود اما

نمک‌ها در خاک باقی می‌مانند (کارلبرگ و دورایس، ۲۰۰۴). دو فرآیند منجر به تجمع تدریجی املاح در منطقه ریشه می‌شود و گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد: (۱) با ایجاد خطرات شوری و کمبود آب (لیو و همکاران، ۲۰۱۲) و (۲) با ایجاد سمیت عناصر (بوستان و همکاران، ۲۰۰۴). روابط بین جذب یونی و رشد بسیار پیچیده است و در مجموع غلظت زیاد بسیاری از یون‌ها در محیط ریشه گیاهان باعث محدود شدن جذب برخی عناصر غذایی می‌شود. شدت سمیت یون‌ها برای گیاه، بستگی به نوع نمک غالب، محیط رشد و گونه گیاهی دارد. پیتمن (۱۹۱۸) نشان داد که اثر سمی نمک‌های کلره حداکثر، نمک‌های سولفات‌ها حداقل و نمک‌های کربناته حد متوسط است. تغییرات فشار اسمزی معمولاً به تغییرات کلر مربوط است و افزایش کلر و ترکیبات آن علاوه بر ایجاد فشار اسمزی در خاک، می‌تواند در سنتز آنیون‌های آلی، کاهش جذب نیترات و نیتروژن کل در گیاه، مختل شدن متابولیسم نیتروژن در گیاه و در نتیجه اختلال در سنتز پروتئین و اسید نوکلئیک تأثیر سوء خود را نشان دهد (مس، ۱۳۸۴). شکل ۲ وضعیت توزیع شوری و غلظت کلر را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد در راستای نتایج به دست آمده، از آنجا که در استان کرمان آب زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین منبع قابل استفاده در کشاورزی است و کشاورزان مجبور به استفاده از این منابع هستند لذا شیوه‌های کشاورزی باید به سمت روش‌های بهینه مصرف آب هدایت گردد. در بهینه‌سازی مصرف آب در بخش کشاورزی، رعایت الگوی کشت متناسب با وضعیت آب و هوایی و توجه به ظرفیت آبی هر منطقه و همچنین بهره‌گیری از فناوری‌هایی که به افزایش بهره‌وری آب در مزرعه یا باغ می‌انجامد ضروری است.

نسبت جذب سدیم (SAR) به‌عنوان یک شاخص مؤثر در ارزیابی خطر بالقوه سدیم در محلول در حال تعادل با فاز جامد خاک است. همچنین یک معیار مناسب برای ارزیابی خطر قلیایی شدن خاک محسوب می‌شود (کایور و همکاران، ۲۰۱۷). بر اساس نتایج حاصل،

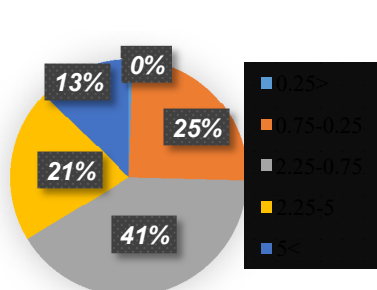
میانگین SAR در تمام مناطق مورد بررسی کمتر از ۱۸ است. ریچارد (۱۹۵۴) مقادیر بالاتر از ۱۸ را برای استفاده در کشاورزی مشکوک و مقادیر بالاتر از ۲۶ را نامناسب اعلام نمود. بیشترین SAR در منطقه رفسنجان با میانگین ۱۱/۳ مشاهده می‌شود. با توجه به بالا بودن مقدار بیشینه این شاخص در مناطق کرمان، زرنند، بافت و رفسنجان نسبت به مقدار مجاز، به نظر می‌رسد برخی از منابع آب این مناطق محصولات را در معرض خطر قلیائیت سدیم قرار می‌دهد؛ اما در کل ۹۶ درصد از منابع آبی مورد مطالعه در منطقه شرایط مطلوبی از نظر این شاخص دارند. مطالعات نشان داده است هنگامی که EC آب آبیاری پایین و SAR آن بالا باشد، پراکنده شدن ذرات خاک اتفاق خواهد افتاد ولی افزایش EC به مقادیر بیشتر از این حد

آستانه از پراکنده شدن ذرات خاک جلوگیری خواهد کرد (تقی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸). با توجه به نمودار ویلکوکس (ویلکوکس، ۱۹۵۵) آب‌های زیرزمینی شهرستان‌های مورد مطالعه به لحاظ کشاورزی در کلاس‌های C_3S_1 ، C_4S_1 و C_4S_2 قرار می‌گیرند (جدول ۳). منابع آب مناطق بم، بردسیر، جیرفت، بافت و فاریاب که کلاس C_3S_1 دارند، غالباً برای آبیاری خاک‌هایی که زهکشی محدودی دارند نباید مورد استفاده قرار گیرند حتی در خاک‌های با زهکشی کافی نیز روش بخصوصی جهت کنترل شوری آب لازم است و گیاهانی که با این آب‌ها آبیاری می‌شوند باید در مقابل املاح مقاومت زیادی داشته باشند. در برخی از خاک‌های تحت آبیاری با این آب‌ها احتمال اندکی برای ازدیاد میزان سدیم قابل تعویض وجود دارد.

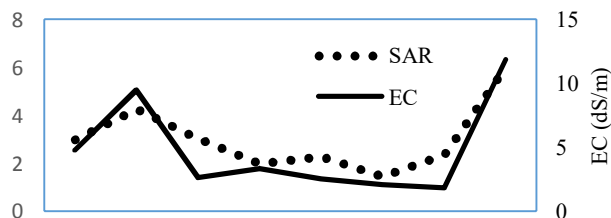
۳۱۲ / بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی در بخش‌هایی از استان کرمان

جدول ۲- خصوصیات آماری پارامترهای هیدروشیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی در مناطق مورد مطالعه

TH	PS	KR	PI	RSBC	SP	MH	EC	SAR	TDS	%Na	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	pH		
۶۱۸	۱۸/۶	۱/۱	۶۲	-۱/۳	۴۸	۵۱	۲۵۵۱	۵/۶	۱۶۵۸	۴۸	۱/۴	۶/۵	۵/۸۷	۴/۵	۱۶/۱	۸	۷/۴	میانگین	کرمان
۱۰۰	۰/۵	۰/۱	۱۱	-۴۶/۵	۷/۴	۱۸/۲	۲۴۶	۰/۲	۱۶۰	۷/۴	۰/۲	۰/۴	۱	۰/۸	۲۰	۰/۱	۴	کمینه	
۴۵۰۰	۱۷	۶/۱	۹۱	۲۱	۸۶	۸۱/۲	۱۹۳۰۰	۲۶	۱۲۵۴۵	۸۶	۱۶۰	۵۵	۵۰	۳۲	۱۹۰	۸۷	۸/۱	بیشینه	
۱۳۳۲	۳۸/۸	۱/۱	۶۱	-۹۷	۵۰	۵۲	۵۰۳۷	۸	۳۲۰۴	۵۰/۱	۳۲/۷	۱۳/۵	۱۳/۱	۵/۲	۳۴/۸	۱۹/۳۴	۷/۲۶	میانگین	زاهد
۲۳۰	۳/۹	۰/۳	۳۶	-۴۷/۸	۲۱/۵	۲۶/۵	۸۵۵	۱/۲	۵۵۶	۲۱/۴	۲/۲	۲	۲/۴	۱/۵	۲/۲	۲/۳	۶/۳	کمینه	
۴۵۰۰	۱۷۳	۲/۲	۱۰۰	۱/۴	۶۹/۲	۶۵/۲	۱۷۹۲۰	۲۳	۱۱۶۴۸	۶۹/۲	۱۵۰	۴۵	۵۰	۱۴	۱۶۵	۱۰۸/۵	۸/۲	بیشینه	
۲۵۲	۹/۸	۱/۸	۶۵	-۰/۱	۶۲	۳۲/۵	۱۴۰۵	۵/۷	۹۱۳	۶۲	۹/۸	۱/۷	۳/۳	۳/۲	۸	۳/۴	۷/۷	میانگین	بج
۶۰	۰/۸	۰/۵	۳۲	-۱۲	۳۵	۳/۲	۲۷۰	۱/۳	۱۷۶	۳۵/۲	۱/۴	۰/۴	۸/۰	۱/۵	۰/۴	۰/۱	۷/۱	کمینه	
۱۱۰	۷۹/۳	۴/۷	۸۶	۴/۲	۸۲/۵	۳۲/۶	۸۵۳۰	۲۲/۱	۵۵۴۵	۸۲/۵	۷۰	۱۴	۱۵	۱۲/۲	۷۶	۱۴/۸	۸/۲	بیشینه	
۵۱۲	۱۱	۰/۹	۷۰	۰/۲۵	۴۳	۴۲	۱۷۸۲	۳/۷	۱۱۵۳	۴۲/۸	۸/۷	۴/۶	۵/۶	۵/۸	۹/۲	۳/۹	۷/۲۵	میانگین	بردسیر
۱۲۵	۱/۶	۰/۲	۳۳	-۱۳	۱۵/۵	۱۶/۷	۴۰۰	۰/۸	۲۶۰	۱۵/۵	۱	۰/۵	۲	۱	۰/۶	۰/۵	۶/۲	کمینه	
۱۴۰۰	۴۵	۲/۷	۹۷	۲۰	۷۲/۶	۷۷/۳	۵۸۳۰	۹/۸	۳۷۹۰	۷۲/۶	۳۶	۱۷	۱	۲۵	۴۲	۱۲/۳	۸/۲	بیشینه	
۳۱۴	۷/۷	۱/۳	۷۰/۶	-۰/۷	۴۷/۸	۳۴/۵	۱۳۴۴	۳/۴	۸۷۳	۴۲/۸	۸	۲/۲	۴	۳/۴	۵/۶	۵/۲۵	۷/۲۵	میانگین	چابقت
۷۰	۰/۴	۰/۱	۳۵	-۲۱/۸	۶/۷	۱۰	۲۱۸	۰/۲	۱۴۲	۶/۷	۰/۲	۰/۲	۱	۱/۵	۰/۳	۰	۶/۸	کمینه	
۱۸۰۰	۵۶/۷	۷۵	۱۱۴	۳	۱۵/۱	۷۱/۴	۶۵۰۰	۱۵/۴	۴۲۲۵	۸۵/۲	۴۴	۱۲	۲۴	۶	۵۲	۲۱/۸	۸	بیشینه	
۳۱۸	۶	۷۰	۷۳	۰/۰۳	۳۵/۷	۵۵/۲	۱۱۰۸	۲/۷	۷۲۰	۳۵/۷	۵/۴	۳/۲	۳/۱	۳/۱	۴/۲	۴/۵	۷/۵۶	میانگین	بافت
۱۵۰	۰/۴	۰/۱	۵۳	-۵	۱۱/۸	۳۷/۷	۳۴۰	۰/۳	۲۲۱	۱۱/۸	۰/۴	۱/۵	۱	۲/۲	۰/۴	۰	۷/۲	کمینه	
۸۲۵	۱۸/۴	۲	۱۰۱	۲	۶۷	۷۵	۳۲۰۰	۸	۲۰۸۰	۶۷	۲۰	۷/۵	۱۰	۵	۱۵	۱۹	۸	بیشینه	
۲۰۴	۵	۱/۸	۷۳	۱/۱	۵۷/۶	۳۸	۹۸۱	۴/۴	۶۳۸	۵۷/۶	۶	۱/۷	۲/۴	۳/۵	۳/۴	۳/۲	۷/۵۹	میانگین	قاریاب
۵۰	۱/۱/۸	۰/۵	۴۷	-۲/۸	۳۱/۴	۱۶/۷	۴۵۷	۱/۳	۲۹۷	۳۱/۴	۱/۶	۰/۲	۰/۸	۲/۲	۱	۰/۶	۷	کمینه	
۵۶۰	۱۵/۴	۵/۳	۹۶	۳/۵	۸۴/۱	۶۸/۸	۲۴۷۰	۱۰/۱	۱۶۰۶	۸۴/۱	۱۶/۶	۵/۵	۷/۲	۶	۱۲/۵	۱۰	۸/۱	بیشینه	
۱۵۰۰	۵۸/۴	۱/۹	۶۸	-۱۳/۴	۶۰	۴۳	۶۳۲۶	۱۱/۳	۴۰۹۷	۵۹/۷	۴۴/۵	۱۳/۴	۱۶/۶	۳/۲	۵۴/۷	۱۶/۵	۷/۲۸	میانگین	رفسنجان
۱۰۰	۱/۶	۰/۳	۳۱	-۸۸	۲۰/۸	۲۰	۴۴۰	۰/۷	۲۸۶	۲۰/۸	۱	۰/۸	۱	۱	۰/۶	۱	۶	کمینه	
۷۹۰۰	۲۸۸	۸	۱۰۹	۵/۵	۸۹	۷۱/۵	۲۶۰۰۰	۳۲/۸	۱۶۹۰۰	۸۸/۹	۱۹۰	۶۸	۹۰	۱۱/۵	۲۸۰	۶۶	۸/۶	بیشینه	

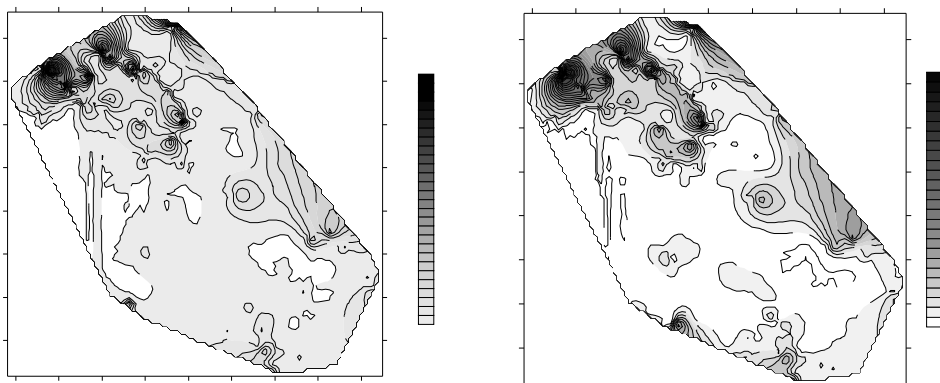


ب



الف

شکل ۲- الف. میانگین شوری (dS/m) و SAR در مناطق مطالعاتی و ب. دیاگرام شوری در منابع آب نمونه برداری شده



شکل ۳- (الف) توزیع شوری dS/m و غلظت کلر (ب) در منطقه مطالعاتی

کیفیت خوب و متوسط بودند و ۶۰/۲ درصد دارای کیفیت نامناسب و ۲۲/۱ درصد در شرایط بسیار بد بودند. شاخص پتانسیل شوری (PS) اثر غلظت بالای نمک را در رابطه با کلر و سولفات نشان می‌دهد. این شاخص با کاهش رطوبت خاک افزایش می‌یابد. میانگین این شاخص در منابع آب مورد بررسی در این مطالعه ۱۹/۸ است. بر اساس این شاخص، آب در سه کلاس خوب (PS ۳ الی ۱۵ میلی مول بر لیتر) و غیرقابل استفاده (PS بیشتر از ۱۵ میلی مول بر لیتر) تقسیم‌بندی می‌شود. در این مطالعه ۳۵ درصد از منابع آب در کلاس غیرقابل استفاده قرار می‌گیرند. به نظر می‌رسد که این منابع آب در شهرستان‌های رفسنجان، زرند و کرمان قرار دارند چرا که در میان مناطق مورد مطالعه، این سه شهرستان بالاترین میانگین PS را نشان می‌دهند. استفاده از آب منابعی که دارای شاخص پتانسیل شوری بالا هستند در سامانه‌های مدرن آبیاری تحت فشار می‌تواند مشکلاتی را

نمونه‌های آب در مناطق کرمان و زرند که کلاس آب $C4S1$ است، غالباً برای آبیاری در شرایط عادی قابل استفاده نیستند، هرچند ممکن است اجباراً در موارد خیلی بخصوص از آن‌ها استفاده شود. خاک‌هایی که با این آب‌ها آبیاری می‌شوند باید قابلیت زهکشی خوبی داشته باشند مانند خاک‌های درشت‌بافت و آلی. آبیروی زمین باید به دفعات و به مقدار زیاد انجام گیرد و نیز گیاهانی که برای آبیاری با این آب‌ها انتخاب شده‌اند باید مقاومت زیاد در مقابل غلظت‌های بالای املاح داشته باشند در این مناطق خطر سدیمی شدن خاک مانند موارد قبل چندان بالا نیست. در شهرستان رفسنجان که کلاس آب $C4S2$ است تمامی موارد گروه قبل را دارند با این تفاوت که خطر سدیمی شدن خاک بخصوص در خاک‌های ریزبافت بیشتر است. صالحی و همکاران (۱۴۰۱) در بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت رفسنجان و مقایسه نتایج با دیاگرام ویلکوکس اعلام کردند که تنها ۳/۵ درصد از نمونه‌های مورد مطالعه دارای

ایجاد کند. طی دهه اخیر محققان تأکید زیادی بر استفاده از سامانه‌های آبیاری زیرسطحی در این مناطق داشته‌اند (صدادتی و همکاران، ۱۳۹۸؛ عطایی و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین آب‌هایی که شاخص کل جامدات حل‌شده (TDS) بالایی دارند در این زمینه می‌تواند مشکل ایجاد کند. مقدار مجاز TDS برای کشاورزی کمتر از ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تعیین شده است (آیز و وستکات، ۱۹۹۴). در منطقه مورد مطالعه میانگین این شاخص ۱۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد که به تبعیت از شوری خاک شهرستان‌های رفسنجان و زرنند بیشترین میانگین TDS را نشان دادند.

سختی آب (TH) نیز یک معیار مهم برای تعیین مناسب بودن آب برای اهداف مختلف است. سختی آب در منطقه مورد مطالعه میانگین ۶۴۳ را نشان داد. آب با سختی بالاتر از ۱۵۰ محدودیت‌هایی را در استفاده از آب ایجاد می‌کند. با تفکیک مناطق مطالعاتی مشاهده می‌شود که سختی آب در تمامی شهرستان‌ها در کلاس سخت و خیلی سخت طبقه‌بندی می‌شوند در این میان شهرستان‌های زرنند و رفسنجان در بالاترین رده از نظر سختی آب قرار دارند. نشاط و غلامرضایی (۱۴۰۰) نیز در مطالعات خود آب‌های زیرزمینی رفسنجان را در محدوده سخت معرفی کردند. pH آب معمولاً بین ۶/۵ تا ۸/۴ متغیر است (آیز و وستکات، ۱۹۹۴). بر اساس دستورالعمل‌های فائو در تمام مناطق، مقدار pH در سطح بهینه است و تغییرات اندکی را نیز نشان می‌دهد. تعیین pH آب در تصفیه آب برای رفع خوردگی احتمالی لوله آهنی مفید است (هم، ۱۹۹۱).

کلسیم، منیزیم و سدیم کاتیون‌های مهم از نظر آب مصرفی در بخش کشاورزی هستند. به‌طور کلی در بیشتر آب‌های طبیعی غلظت یون‌های Ca و Mg با هم در تعادل هستند. زمانی که میزان منیزیم در آب زیاد می‌شود اثر معکوس بر کیفیت خاک دارد. به‌طوری‌که سبب قلیایی شدن خاک و در نتیجه کاهش بازدهی محصول کشاورزی می‌شود. خطر منیزیم (MH) اولین بار توسط Szabolcs و darab (۱۹۶۴) ارائه شد. این شاخص در مقادیر بیش از

۵۰ برای کشاورزی مضر و نامناسب معرفی شده است (پالیوال، ۱۹۷۲). در مطالعه حاضر نتایج نشان می‌دهد که ۳۰ درصد از نمونه‌های مورد مطالعه در وضعیت بحرانی از نظر شاخص خطر منیزیم (MH) قرار دارند. با توجه به میانگین این شاخص در شهرستان‌های مورد مطالعه، به نظر می‌رسد که نمونه‌های آب بافت و زرنند در شرایط بحرانی قرار دارند.

غلظت یون سدیم در آب در طبقه‌بندی کیفی آب برای آبیاری، بسیار مهم است (پورشتمان و همکاران، ۲۰۱۲). سدیم موجود در آب توسط ذرات باردار رس جذب می‌شوند. افزون بر این، یون سدیم براساس فرآیند تبادل یونی توانایی جایگزینی یون‌های دو ظرفیتی منیزیم و کلسیم موجود در ذرات خاک را دارد (کومار و همکاران، ۲۰۰۷). نتیجه این عمل کاهش نفوذپذیری خاک به همراه زهکشی داخلی ضعیف و در پی آن کاهش حرکت آب‌وهوا در شرایطی که خاک مرطوب است (غلامی و ریکانتسوامی، ۲۰۰۹) ولی در شرایطی که خاک خشک است، غلظت بالای یون سدیم باعث سخت شدن خاک می‌شود (صالح و همکاران، ۱۹۹۹). در این رابطه می‌توان درصد سدیم محلول در آب (SSP) را بررسی کرد. درصد بالای سدیم محلول در آب ممکن است رشد گیاه را متوقف کند و نفوذپذیری خاک را کاهش دهد. نتایج نشان می‌دهد که نزدیک به ۷۰ درصد از نمونه‌های آب مورد مطالعه مقدار SSP کمتر از ۶۰ را نشان می‌دهند که در محدوده قابل قبول قرار دارد (ویلکوکس، ۱۹۵۵). بیشترین میانگین این شاخص در شهرستان‌های بم و رفسنجان مشاهده می‌گردد. در این مطالعه خطر بی‌کربنات در آب‌های کشاورزی توسط شاخص بی‌کربنات سدیم باقیمانده (RSBC) برای تمامی نمونه‌ها بررسی گردید. بی‌کربنات در آب زیرزمینی می‌تواند رشد گیاهان را مختل کند و به رسوب کلسیت، کاهش نفوذپذیر خاک و افزایش فرسایش خاک منجر شود. مقدار این شاخص باید در نمونه‌های آب کمتر از ۱/۲۵ باشد (آییفونا و شریف، ۲۰۱۰). نمونه‌های آب مورد مطالعه در این پژوهش در این شاخص نیز در محدوده

آبیاری زمین با این آب سبب بایر شدن زمین و رسوب بیکربنات سدیم می‌شود.

مورد قبول قرار دارند. با توجه به اسیدیته مناسب آب‌های مورد مطالعه این نتیجه دور از ذهن نیست چرا که آب‌های دارای RSBC بالا، دارای pH بالایی نیز هستند بنابراین

جدول ۳- کلاس شور و سدیمی آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه

شهرستان	کلاس شور سدیمی	شهرستان	کلاس شور سدیمی
کرمان	C ₄ S ₁	جیرفت	C ₃ S ₁
زرنند	C ₄ S ₁	بافت	C ₃ S ₁
بم	C ₃ S ₁	فاریاب	C ₃ S ₁
بردسیر	C ₃ S ₁	رفسنجان	C ₄ S ₂

در این طبقه‌بندی‌ها آب بر اساس کاتیون‌ها به سه رخساره منیزیک، کلسیک و سدیک و نیز بر پایه آنیون‌ها به سه تیپ بی‌کربناته، سولفات و کلره تقسیم‌بندی می‌شود (رهنما و سیاری، ۱۳۹۸). شکل ۵ نمودار پایپر را در مناطق مطالعاتی نشان می‌دهد. همان‌طور که در این نمودارها مشاهده می‌گردد در شهرستان‌های کرمان و بم سختی‌های غیرکربناتی (دایم)، متجاوز از ۵۰ درصد است و غلظت‌های بالای منیزیم نسبت به سایر کاتیون‌ها مشاهده می‌شود و در سایر مناطق هیچ کاتیونی از مرز ۵۰ درصد تجاوز نمی‌کند و تعادل کاتیونی قابل مشاهده است درحالی‌که در تمامی مناطق وضعیت آنیونی آب‌ها در محدوده آب‌های کلوره مشاهده می‌گردد که خطر شوری و تجمع املاح توسط آب در خاک قابل پیش‌بینی است. تیپ ترکیبی آب زیرزمینی در تمامی مناطق بر اساس نمودار پایپر Ca-Mg-SO₄-Cl است.

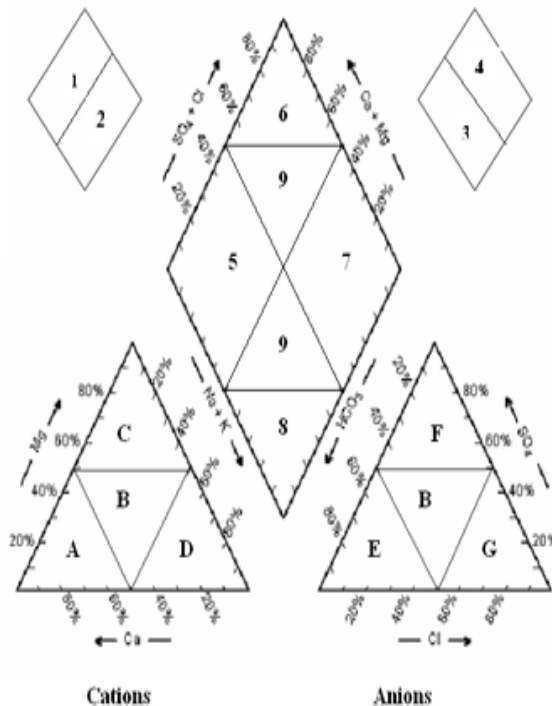
با استفاده از نمودار پایپر (piper diagram) تیپ و وضعیت شیمیایی آب مشخص شد. در این نمودار درصد آنیون‌ها و کاتیون‌ها در میدان‌های مثلی و موقعیت ترکیبی آن‌ها در میدان لوزی شکل پیاده شد (درصدها بر اساس مجموع اکسی‌والان در میلیون یون‌ها محاسبه شده‌اند). شکل کلی میدان‌ها در نمودار پایپر در شکل ۴ نشان داده شده است. رسم این نمودار به این شکل است که در مثلث سمت راست آنیون‌ها پیاده می‌شوند و به این ترتیب که در روی ضلع مربوط به آنیون‌ها، درصد آن پیدا شده و خطی به موازات ضلعی که روبروی رأس ۱۰۰ درصد مربوط به آن آنیون است رسم می‌گردد به این ترتیب به خط که یکدیگر را در یک نقطه قطع می‌نمایند رسم می‌شود. سپس همین کار برای کاتیون‌ها در مثلث سمت چپ انجام‌شده تا نقطه دیگری به دست آید. آنگاه این دو نقطه به موازات اضلاع لوزی امتداد داده شده تا یکدیگر را در نقطه‌ای در میدان‌های لوزی قطع نمایند.

راهنمای میدین مثلثی:

- A- تیپ کلسیمی
- B- هیچ یونی غالب نیست
- C- تیپ منیزی
- D- تیپ سدیم - پتاسیمی
- E- تیپ بیکربنات
- F- تیپ سولفات
- G- تیپ کلرید

راهنمای میدان لوزی:

۱. قلیایی خاکی (Ca+Mg) بیشتر از قلیایی‌ها (Na+K)
۲. قلیایی‌ها بیشتر از قلیایی‌های خاک
۳. اسیدهای ضعیف ($\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$) بیشتر از اسیدهای قوی SO_4 (+Cl)
۴. اسیدهای قوی بیشتر از اسیدهای ضعیف
۵. سختی کربنات از ۵۰ درصد تجاوز می‌کند، به عبارت دیگر قلیایی‌های خاک و اسیدهای ضعیف غالب هستند.
۶. سختی‌های غیرکربناتی متجاوز از ۵۰ درصد است.
۷. قلیایی غیرکربناتی بیش از ۵۰ درصد و غلبه با قلیایی‌ها و اسیدهای قوی است.
۸. قلیایی کربناتی متجاوز از ۵۰ درصد است. در اینجا آب‌هایی قرار می‌گیرند که سختی آنها در مقایسه با مواد محلول موجود در آنها خیلی کم باشد.
۹. هیچ زوج آنیون و کاتیونی از مرز ۵۰ درصد تجاوز نمی‌کنند

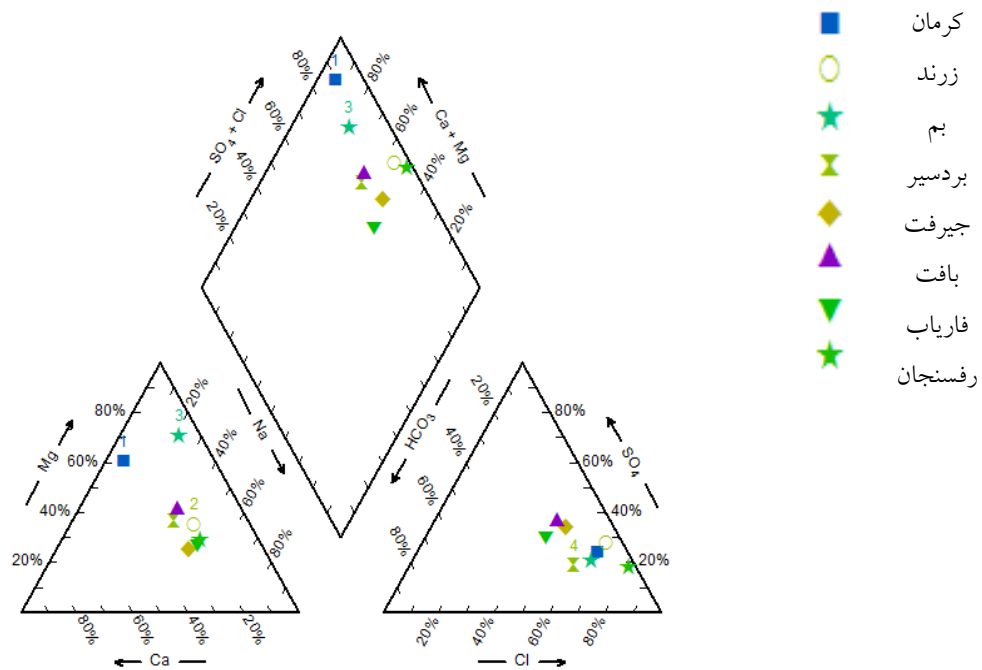


شکل ۴- راهنمای نمودار پایپر

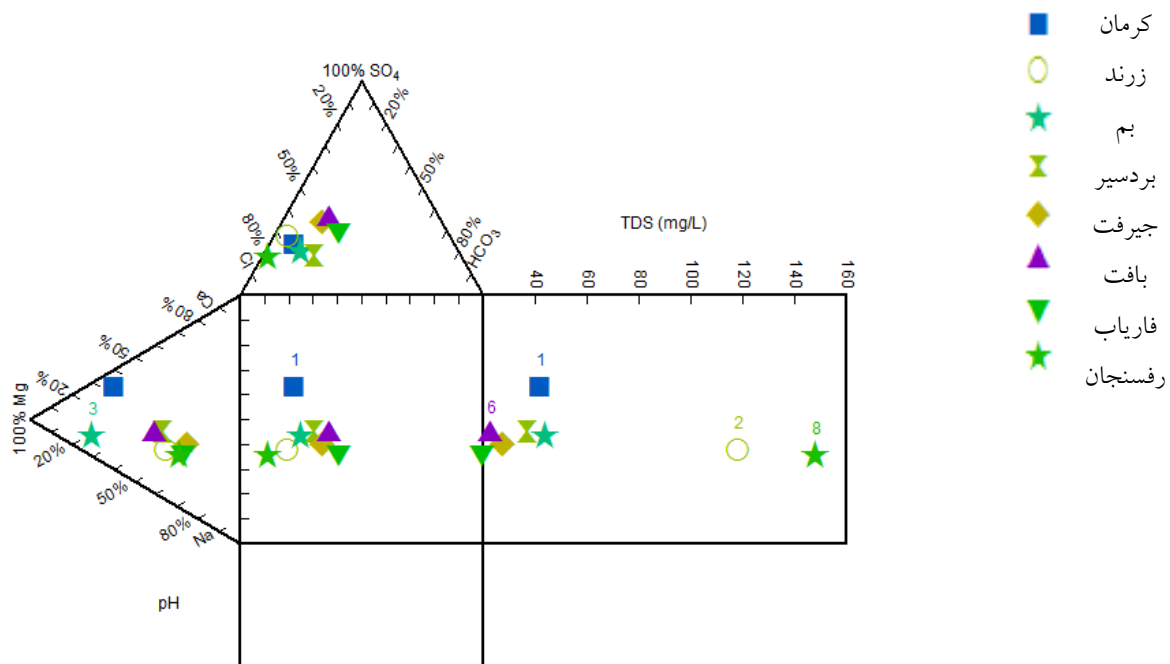
پیش می‌رود درحالی‌که سایر مناطق کاتیون سدیم در تعادل با منیزیم مشاهده می‌شود. این در حالی است که در شهرستان‌های شمالی‌تر استان مانند رفسنجان، زرنده، بردسیر و همچنین شهرستان‌های بم و کرمان آنیون غالب آب کلر است درحالی‌که در مناطق فاریاب، بافت و جیرفت وضعیت آنیون‌های غالب آب کمی به سمت سولفات شده پیش می‌رود. همان‌طور که پیش‌ازاین اشاره شد در این نمودار نیز سختی زیاد آب در شهرستان‌های زرنده و رفسنجان قابل مشاهده است.

شکل ۶ نمودار دورو (Durov diagram) را نشان می‌دهد. از مزایای نمودار دورو نسبت به پایپر نمایش بهتر تیپ‌های مختلف آبی و فرایندهای هیدروشیمیایی مانند تبادل یونی است (سینگال و گوپتا، ۱۹۹۹). این نمودار نشان دهنده ترکیبات یون، pH و میزان TDS هر تعداد نمونه است. برای تعیین نوع و منشأ آب زیرزمینی که اساس آن مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های عمده آب، بر حسب درصد است (دورو، ۱۹۵۹).

در نمودار دورو مشاهده می‌شود که منابع آب شهرستان‌های کرمان و بم غلظت کاتیونی به سمت منیزیم



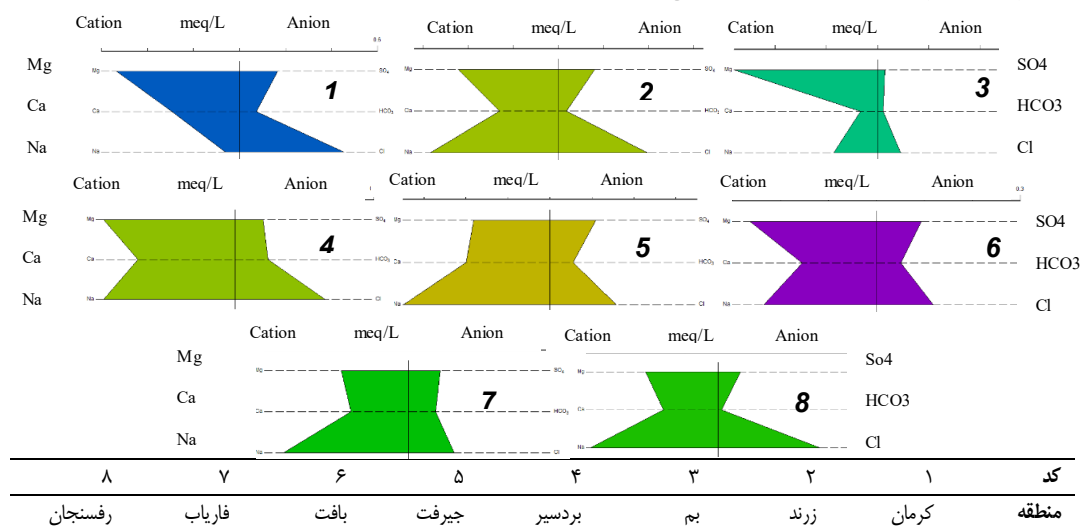
شکل ۵- نمودار پایپر منابع آب در منطقه مطالعه شده با استفاده از نرم افزار AqQa



شکل ۶- نمودار دورو منابع آب در منطقه مطالعه شده با استفاده از نرم افزار AqQa

مطلوب این نسبت بیش از یک اعلام شده است. خطر تخریب سدیم در خاک‌های منیزی و یا در صورت استفاده از آب‌های دارای منیزیم بالا افزایش پیدا می‌کند. بکایف و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای در قزاقستان اعلام کردند در بیش از ۳۰ درصد خاک‌های تحت آبیاری با این نوع آب‌ها، درصد منیزیم تبدلی به ۲۵ تا ۴۵ و حتی ۶۰ درصد می‌رسد. این خاک‌ها به Takyar معروف‌اند و دارای سرعت نفوذ کم و هدایت هیدرولیکی آهسته هستند. با عنایت به موارد فوق استنباط می‌گردد که استفاده از آب آبیاری دارای نسبت کلسیم به منیزیم کوچک‌تر از یک به‌ویژه در شرایط شور باید با احتیاط صورت گیرد. بخصوص که در غالب مناطق مورد مطالعه به‌استثناء شهرستان کرمان غلظت سدیم نیز نسبت به کلسیم بالاتر است و این موضوع خطر سدیم را بسیار بیشتر مدنظر قرار می‌دهد. در منابع آب مورد مطالعه در اغلب شهرستان‌ها فراوانی کاتیون‌ها به‌صورت $(Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+})$ است. از نظر غلظت غالب آنیون‌ها مشاهده می‌گردد که در اغلب مناطق مورد بررسی، آنیون غالب کلر است و بیکربنات کمی نسبت به سایر آنیون‌ها در نمونه‌های آب مشاهده می‌گردد.

در شکل ۷ نمودارهای استیف (Stiff diagram) مربوط به مناطق مختلف مشاهده می‌گردد. این نمودار امکان مقایسه‌ی کل آنیون‌ها و کاتیون‌ها را فراهم می‌کند. در این نمودار نتایج شیمیایی آب بر حسب meq/L بر روی محور افقی (کاتیون‌ها در سمت چپ عدد صفر و آنیون‌ها در سمت راست عدد صفر) پیاده می‌شوند. با اتصال نقاط به‌دست‌آمده به هم، شکل‌های مشخصی به وجود می‌آید که از لحاظ مقایسه سریع تعداد زیادی از نمونه‌ها بسیار مفید است. در نمودار استیف کلسیم در مقابل بیکربنات + کربنات، منیزیم در مقابل سولفات، سدیم و پتاسیم در برابر کلرور قرار می‌گیرند. هر چه کاتیون‌ها و آنیون‌ها از نظر مقدار به هم نزدیک باشند شکل حاصل منظم‌تر خواهد بود. بر اساس این نمودارها مشاهده می‌گردد که غلظت آنیون‌ها در نمونه‌های آب تمام مناطق کمتر از کاتیون‌ها است. این موضوع می‌تواند وابسته به زمان نمونه‌برداری نیز باشد. در تمامی مناطق مورد مطالعه غلظت کلسیم آب از منیزیم آن کمتر نشان داده می‌شود. لذا می‌توان انتظار داشت که در مناطق تحت آبیاری با این منابع آبی نسبت کلسیم به منیزیم کمتر از یک شود. در منابع مقدار



شکل ۷- نمودار استیف منابع آب در منطقه مطالعه شده با استفاده از نرم‌افزار AqQa

نتیجه‌گیری

این پژوهش به‌منظور بررسی کیفی آب زیرزمینی بخش‌هایی از استان کرمان انجام گرفته است و با استفاده از

سنجه‌های گرافیکی متفاوت، تیپ شیمیایی آب‌های مناطق مورد نظر بررسی گردید. بر اساس نتایج حاصل بیش از ۳۵ درصد از منابع مورد مطالعه از نظر شوری در ردیف آب‌های

وجود دارند که علاوه بر عوامل انسانی، بر کیفیت آب مؤثر هستند. در زرنند وجود سنگ‌های متعلق به نئوژن به دلیل داشتن لایه‌های گچ و نمک و همچنین سنگ‌های آواری - تبخیری متعلق به ژوراسیک و کامبرین در قسمت شمال غربی دشت زرنند، تأثیر نامطلوبی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی دارند (ملکی و همکاران. ۱۳۸۷). نمودارهای ترسیمی در این مطالعه نکاتی را در مورد کلاس و تیپ ترکیب شیمیایی و آنیون و کاتیون غالب در آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه نشان می‌دهد. تیپ ترکیبی آب زیرزمینی در تمامی مناطق بر اساس نمودار پایپر $\text{Ca-Mg-SO}_4\text{-Cl}$ است. به‌طوری‌که در شهرستان‌های شمالی‌تر استان مانند رفسنجان، زرنند، بردسیر و همچنین شهرستان‌های بم و کرمان آنیون غالب آب کلر است درحالی‌که در مناطق فاریاب، بافت و جیرفت وضعیت آنیون‌های غالب آب کمی به سمت سولفات‌ها شدن پیش می‌رود. در منابع آب مورد مطالعه در اغلب شهرستان‌ها $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ است و از نظر غلظت غالب آنیون‌ها مشاهده می‌گردد که اغلب مناطق مورد بررسی آنیون غالب کلر را دارند و بیکربنات کمی نسبت به سایر آنیون‌ها در نمونه‌های آب مشاهده می‌گردد همچنین بر اساس نتایج، رخساره غالب آب در تمامی مناطق Na-Cl و Mg-Cl هستند.

نامناسب قرار می‌گیرند و این امر همچنان خطراتهای شوری آب‌های زیرزمینی در استان کرمان را که از سال‌ها پیش توسط پژوهشگران به آن اشاره شده است مورد تأکید قرار می‌دهد. در میان شهرستان‌های مورد مطالعه در استان کرمان، شهرستان‌های زرنند و رفسنجان از نظر شاخص‌های کیفیت آب زیرزمینی در شرایط نامطلوبی قرار دارند به‌طوری‌که MH ، SSP ، TH ، PS ، SAR ، EC در یکی یا هر دوی این شهرستان‌ها در شرایط بحرانی قرار دارند و اغلب مناطق دیگر استان که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است از نظر استانداردهای آب کشاورزی دارای آب با کیفیت مناسبی هستند. شهرستان‌های زرنند و رفسنجان در استان کرمان به‌عنوان دو قطب صنعتی و کشاورزی شناخته می‌شوند. طی دهه‌های اخیر افزایش وسعت کاربری‌های شهری، رشد صنایع و بالا رفتن سطح زیر کشت بخصوص پسته در این شهرستان‌ها به‌طور مستقیم تقاضای آب را به‌شدت افزایش داده است و این امر باعث برداشت‌های بی‌رویه شده است و در نتیجه فشار زیادی به آبخوان‌های این دو منطقه وارد شده است (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۸). البته مطالعات متعددی وخامت وضعیت کیفی آب زیرزمینی این دو شهرستان را مورد تأکید قرار داده‌اند (زمزم و همکاران، ۱۳۹۱؛ مرتضوی و همکاران، ۲۰۱۴؛ حسینی فرد و امینیان، ۲۰۱۵). در این دو منطقه سازندهای مختلفی نیز

فهرست منابع

۱. اسکندری، ح.، خسروی، ح.، و ابوالحسنی، ا.، ۱۳۹۸. ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری بر کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت زرنند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و زمین‌آماری. مجله مخاطرات محیط طبیعی. شماره ۸ جلد ۲۰ صفحه‌های ۶۷ تا ۸۲.
۲. بیگلری، ن.، و سیاری، ن.، ۱۳۹۶. ارزیابی پارامترهای کیفی جریان آب قنات بم با مدل AqQa ، سومین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، عمران و مدیریت شهری، شیراز. ۲۱ اردیبهشت.
۳. جعفری مهدی‌آباد، ف.، عبدالحی عزت‌آباد، م.، و اسلامی، م. ر.، ۱۳۹۵. بررسی آثار اقتصادی و اجتماعی بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب در دشت رفسنجان - انار در استان کرمان. اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۲۳(۹۳): ۱۹۳-۲۲۱
۴. رهنما، س.، و سیاری، ن.، ۱۳۹۸. بررسی روند تغییرات پارامترهای شیمیایی کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و نرم‌افزار Aqua chem . انسان و محیط‌زیست. شماره ۴۸: ۱۴ تا ۲۵.

۵. زارع، ح.، و خالدیان، م. ر.، ۱۳۹۶. بررسی تغییرات مکانی و زمانی شوری آب‌های زیرزمینی استان کرمان به‌منظور استفاده در آبیاری قطره‌ای پسته. نشریه آبیاری و زهکشی ایران ۱۱(۵): ۸۱۰-۸۲۱.
۶. زمزم، ع.، و رهنما، م. ب.، ۱۳۹۱. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با مدل ریاضی MT3DMS (مطالعه موردی: دشت رفسنجان). مجله پژوهش آب ایران، شماره ۶ جلد ۱۰ صفحه‌های ۲۰۳ تا ۲۰۷.
۷. شاه‌ی دشت، ع. ر.، و عباس نژاد، ا.، ۱۳۸۹. مدیریت منابع آبی، چالش‌ها و راهکارها (مطالعه موردی: استان کرمان) چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام ۲۵ تا ۲۷ فروردین. زاهدان. ایران.
۸. صالحی، س.، اسماعیلی، ع.، و فرهادی، ه.، ۱۴۰۱. تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از سیستم GIS_AHP مبنا و مقایسه آن با دیاگرام ویلکوکس (مطالعه موردی دشت رفسنجان)، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر. شماره ۵۴ جلد ۱ صفحه‌های ۲۸۴ تا ۲۹۸.
۹. صداقتی، ن.، حسینی فرد، ج.، عبدالحی عزت‌آبادی، م.، محمدی محمدآبادی، ا.، و نیکوئی دستجردی، م.، ۱۳۹۸. اثر تغییر سیستم آبیاری از روش سطحی (غرقابی) به زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی (PVC) بر شوری خاک، رشد و عملکرد درختان پسته. علوم و فناوری پسته. ۴(۸): ۲۸-۴۲.
۱۰. عبا نژاد، ا.، و دهقانی، م.، ۱۳۹۵. بررسی فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت راین، کرمان با استفاده از روش‌های زمین‌آمار، ژئوشیمی. شماره ۵ جلد ۲ صفحه‌های ۱۴۵ تا ۱۵۵.
۱۱. عطایی، ع.، اکبری، م.، نیشابوری، م. ر.، زارع حق، د.، و عنابی میلانی، ا.، ۱۳۹۸. پاسخ گیاه پسته به توزیع رطوبت و شوری در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۱): ۱۵-۱۲۸.
۱۲. فرهادی، ص.، محمدی، م.، محمدی، ج.، و بهرام‌خانی، ح.، ۱۳۹۶. بررسی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت ابهر- زنجان، دهمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور، ۱۳ و ۱۴ اردیبهشت.
۱۳. ملکی گنادیشی، ف.، و رهنما، م. ب.، ۱۳۸۷. بررسی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت زرنند از نظر شرب با استفاده از زمین‌آمار و نرم‌افزار GS⁺. دومین همایش ملی آب و فاضلاب (با رویکرد بهره‌برداری) مهرماه ۱۶، تهران.
۱۴. نشاط، ع.، و غلامرضایی، ر.، ۱۴۰۰. کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از نرم‌افزار AqQA و تعیین مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی (مطالعه موردی دشت رفسنجان). علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. شماره ۲۰ جلد ۱۰ صفحه‌های ۱۶۱ تا ۱۷۷.
15. Abdel-Satar, A., Al-Khabbas, A., Alahmad, W., Yousef, W., Alsomadi, R., and Iqbal, T., 2017 Quality assessment of groundwater and agricultural soil in Hail region, Saudi Arabia, Egypt. J. Aquat. Res. 43(1):55-64.
16. Ayers, R S., and Westcot, D W., 1994. Water Quality for Agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Publication number 29, Rome, Italy.
17. Bekbaev, R., Vyshpolsky, F., Ibatullin, S., Mukhamedjanov, Kh., and Bekbaev, U., 2005. Influence of application of phosphogypsum on infiltration rate of solonchic soil. Bull agriculture Science. Kazakhstan (in Russian) 7: 18-20.A
18. Bustan, A., Sagi, M., De Malach, Y., and Pasternak, D., 2004. Effects of saline irrigation water and heat waves on potato production in an arid environment. Field Crops Res 90:275-285
19. Chapman, H D., and Pratt, P F., 1962. Methods of analysis for soils, plants and waters. Soil Sci. 93(1): 68
20. Chitsazan, M., Aghazadeh, N., Mirzaee, Y., and Golestan, Y., 2017. Hydrochemical characteristics and the impact of anthropogenic activity on groundwater quality in suburban area of Urmia city, Iran, Environ Dev Sustain 21: 331-351.

21. Delgado, C., Pacheco, J., Cabrera, A., Batllori, E., Orellana, R., and Bautista, F., 2010. Quality of groundwater for irrigation in tropical karst environment: The case of Yucatan, Mexico. *Agric. Water Manag.* 97: 1423–1433.
22. Dhanasekarapandian, M., Chandran, S., SaranyaDevi, D., and Kumar, V., 2016. Spatial and temporal variation of groundwater quality and its suitability for irrigation and drinking purpose using GIS and WQI in an urban fringe, J. *African Earth Sci.* 124:270-288.
23. Doneen, L D., 1964. Notes on Water Quality in Agriculture published as a Water Science and Engineering Paper 4001, Department of Water Science And Engineering, University of California.
24. Durov, S A., 1959. *Geometricheskij metod v gidrochimii*. Rostovskoje kniznoje izdatelstvo, Rostov. USSR. (Geometrical methods in hydrochemistry).
25. Eaton, F M., 1950. Significance of carbonate in irrigation waters. *Soil Sci.* 67(3): 128-133.
26. Gholami, S., Srikantaswamy, S., 2009. Analysis of agricultural impact on the Cauvery river water around KRS dam. *World Appl Sci J.* 6:1157–1169.
27. Gupta, R., and Misra, A., 2016 Groundwater quality analysis of quaternary aquifers in Jhajjar District, Haryana, India: Focus on groundwater fluoride and health implications. *Alex. Eng. J.* 57(1): 375-381.
28. Gupta, S K., and Gupta, I C., 1987. *Management of Saline Soils and Water*. Oxford and IBH publication, New Delhi, India.
29. Hem, J D., 1991. *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. Geological Survey Water-Supply Paper 1973, U.S. Government Printing Office, Washington DC, 363 p.
30. Hosseinifard, S j., Mirzaei Aminiyan, M., 2015, Hydrochemical Characterization of Groundwater Quality for Drinking and Agricultural Purposes: A Case Study in Rafsanjan Plain, Iran. *Water Qual Expo Health* 7:531-544.
31. Hussain, M., Ahmed, S M., and Abderrahman, W., 2008. Cluster analysis and quality assessment of logged water at an irrigation project, eastern Saudi Arabia. *J Environ Manag* 86:297–307
32. Joshi, D M., Kumar, A., and Agrawal, N., 2009. Assessment of the irrigation water quality of river Ganga in Haridwar district. *Rasayan. J. Chem.* 2(2): 285-292.
33. Karlberg, L., and de Vries, FWP, 2004. Exploring potentials and constraints of low-cost drip irrigation with saline water in sub-Saharan Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 29: 1035-1042.
34. Kaur, T., Bhardwaj, R., and Arora, S., 2017. Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using hydrochemical studies in Malwa region, southwestern part of Punjab, India. *Appl. Water Sci.* 7(6): 3301-3316.
35. Kumar, M., Kumari, K., Ramanathan, A L., and Saxena, R., 2007. A comparative evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in two intensively cultivated districts of Punjab, India. *J. Environ. Geol.* 53: 553-574.
36. Liu, M X., Yang, J S., Li, X M., Mei, Y u., Wang, J., 2012. Effects of irrigation water quality and drip tape arrangement on soil salinity, soil moisture distribution, and cotton yield (*Gossypium hirsutum* L.) under mulched drip irrigation in Xinjiang, China. *J Integr Agric* 11(3):502–511.
37. Mass, E V., 1984. Salt tolerance of plants. In: B. R. Christie (Ed.), *Hand book of Plant Science in Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, FL:P:1- 25.
38. Mortazavi, S M., Solaimani, K., Matkan, A A., Habibnejad, M., and Ahmadi, MKZT., 2014 The Effect of degradation of ground water resources on capital of pistachio growers in Kerman province. *Curr World Environ.* 9(3):932–939.
39. Obiefuna, G I., and Sheriff, A., 2010. Assessment of shallow groundwater quality of Pindiga Gombe area, Yola Area, NE, Nigeria for irrigation and domestic purposes. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences* 3(2): 131-141.
40. Palliwal, K V., 1972. *Irrigation with Saline Water*, ICARI Monograph No.2, New Delhi, p198.

41. Pansu, M., and Gautheyrou, J., 2006, Handbook of Soil Analysis Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Springer.
42. Park, S., 2005. Regional hydrochemical study on salinization of coastal area of South Korea. *J. Hydrol.*, 313(3-4): 182-194.
43. Piper., C S., 2010. Soil and plant analysis: A Laboratory Manual of Methods for the Examination of Soils and Determination of the Inorganic Constituents of Plants. Scientific Publishers, India.
44. Pittman, D W., 1918. Soil factors affecting the toxicity of alkali. *Journal of Agricultural Reasearch*.15:235-243.
45. Purushothman, P., Rao, M S., Kumar, B., Rawat, Y S., Krishan, G., Gupta, S., Marwah, S., Bhatia, A K., Kaushik, Y B., Angurala, M P., and Singh, G P., 2012. Drinking and irrigation water quality in Jalandhar and Kapurthala Districts, Punjab, India: using hydrochemistry. *Int. J. Earth Sci. Eng.* 5(6), 1599-1608.
46. Richards, L A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook 60. USDA and IBH Publications, New Delhi, India.
47. Safdari, Z., Nahavandchi, H., and Joodaki, G., 2022. Estimation of Groundwater Depletion in Iran's Catchments Using Well Data. *Water*. 14(1):131.
48. Saemian, P., Tourian, M J., AghaKouchak, A., Madani, K., Sneeuw, N., 2022. How much water did Iran lose over the last two decades? *Journal of Hydrology: Regional Studies*: 41,
49. Saleh, A., Al-Ruwaih, F., and Shehata, M., 1999. Hydrogeochemical processes operating within the main aquifers of Kuwait. *J. Arid Environ.* 42:195-209.
50. Sappa, G., Ergul, S., and Ferranti, F., 2014. Water quality assessment of carbonate aquifers in southern Latium region, Central Italy: a case study for irrigation and drinking purposes. *Appl Water Sci* 4:115-128.
51. Singhal, B B S., and Gupta, R P., 1999. Applied Hydrogeology of Fractured Rocks. Kluwer Academic Publisher, 400 pp
52. Soleimani, H., Abbasnia, A., Yousefi, M., Mohammadi, A A., and Changani Khorasgani, F., 2018. Data on assessment of groundwater quality for drinking and irrigation in rural area Sarpol-e Zahab city, Kermanshah province, Iran. *Data in Brief* 17: 148–156.
53. A User's Guide to RockWare Aq.Qa, Version 1.1, Golden, Colorado 80401, USA, 2003-2004.
54. Szabolcs, I., and Darab, C., 1964. The Influence of Irrigation Water of High Sodium Carbonate Content of Soils. *Proceedings of 8th International Congress of ISSS*, 2, 803-812.
55. Tucker, B B., and Kurtz, L T., 1961. Calcium and magnesium determinations by EDTA titrations. *Soil Sci Soc Am J.* 25: 27-29.
56. Wilcox, L., 1955. Classification and Use of Irrigation waters. United States Department of Agriculture. Washington.
57. Zangen, M., 1962. Titration of carbonate-bicarbonate leach solutions. *J. Appl. Chem.* 12: 92-96.

Investigating the Quality of Groundwater for Agricultural Purposes in Parts of Kerman Province

S. Sadr*

Research Assistant, Pistachio Research Center, Horticulture Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran. 2716sadr@gmail.com

Received: February 2023 and Accepted: September 2023

Abstract

This research was conducted in order to investigate the quality of groundwater for agricultural use in the northern and central parts of Kerman Province. In this study, there were 534 water samples from 8 counties (Kerman, Zarand, Bam, Bardsir, Jiroft, Baft, Faryab, and Rafsanjan), which were collected from different sources, and concentration of Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2} , and HCO_3^{-2} was determined. Also, indicators such as Total Dissolved Solids (TDS), Sodium Absorption Ratio (SAR), Permeability Index (PI), Residual Sodium Bicarbonate (RSBC), Electrical Conductivity (EC), Salinity Potential (PS), Magnesium Hazard (MH), Water Hardness (TH), percentage of sodium soluble in water (SSP) were determined and evaluated. After determining the quality characteristics of water, the results were compared and interpreted with water standards for agriculture. AqQA software was used to draw graphs to investigate and compare water characteristics. Based on the results, more than 37% of the studied resources were classified as unsuitable (salinity above 2 dS/m) in terms of salinity. Zarand and Rafsanjan counties had unfavorable conditions in terms of groundwater quality indicators, with EC, SAR, PS, TH, SSP and MH in critical conditions in one or both counties, but, in terms of agricultural water standards, the other sites had good quality water. The combined type of underground water in all areas was Ca-Mg-SO₄-Cl: while in the northern parts of the province, such as Rafsanjan, Zarand, Bardsir, as well as Bam and Kerman, the predominant anion of water was chlorine, in Faryab, Baft and Jiroft, the status of the predominant anions was slightly sulfate. In most of the counties, $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2}$ were the dominant anions of chlorine-waters, and little bicarbonate was observed. Also, the dominant water in all areas were Na-Cl and Mg-Cl. Therefore, it is necessary to manage water properly and plant crops suitable for the chemical conditions of waters.

Keywords: AqQA software, Magnesium hazard, Water hardness

* - Corresponding author's email: 2716sadr@gmail.com

Analysis of Some Effective Mechanisms on the Sustainable Development of Water Users Cooperative of Satar Plain Irrigation and Drainage Network in Kermanshah

L. Vahedi, L. Zolikhvaei Sayyar, and M. Pouya*

MSc. in Rural Development, The University College of Rural Development, Hamedan, Iran; and Expert of Plan and Program, Kermanshah Jihad-e Agriculture, Iran. vahedi1386@gmail.com

PhD in Agricultural Development, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. la.zolikhvai@gmail.com

Assistant Prof., Agricultural Extension and Education Dept., Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. m.pouya@basu.ac.ir

Received: May 2023 and Accepted: September 2023

Abstract

Drought and flood are the consequences of climate change. However, establishing public participation through water cooperatives is one of the most important recent measures in the face of climate change. The purpose of this research was to analyze some mechanisms affecting the sustainable development of water cooperatives thru a case study of Dehestan-e Satar, Songhor and Kolyayi County. This quantitative applied research was a survey in terms of method. The research tool was a researcher-made questionnaire based on the theoretical framework and a review of the related literature. The reliability of the questionnaire was checked and confirmed by Cronbach's alpha coefficient, after using the opinions of the experts of the Kermanshah Province Jihad-e Agriculture Organization plus the board members of water users cooperatives to secure its validity. Structural Equation Modeling was used to test the hypotheses and analyze the data. For this purpose, Smart PLS3 and SPSS23 software were used. The statistical population of the research were all the members of the water users cooperatives in Satar Plain whose total population was 472 people. The sample participants (n=211) were selected through stratified sampling method and using the Cochran's formula. According to the results of the path analysis and research hypothesis testing, legal mechanisms with the path coefficient of ($\beta=0.257$) had a positive and significant effect on the sustainable development of the cooperatives. Also, the results showed that educational mechanisms ($\beta=0.233$), support mechanisms ($\beta=0.214$), relational mechanisms ($\beta=0.203$), and policy-making mechanisms ($\beta = 0.147$) had a positive and significant effect on the sustainable development of Dehestan-e Satar Water Users Cooperative.

Keywords: Water users participation, Water management, Legal mechanisms, Sustainable development of cooperatives

* - Corresponding author's email: m.pouya@basu.ac.ir

Effect of Salicylic Acid Spraying on Shallot Yield under Salinity Stress Conditions

R. Saeidi*, M. M. Zarrabi, and D. Babaei

Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. saeidi@org.ikiu.ac.ir

Associate Prof., Department of Horticultural Science Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. zarrabi@eng.ikiu.ac.ir

MSc. student, Department of Horticultural Science Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. davoodbabaei744@yahoo.com

Received: July 2023 and Accepted: September 2023

Abstract

In this research, the effect of irrigation water salinity and salicylic acid spraying were investigated on the yield of shallot (Qazvin local variety). Water salinity treatments at four levels of 2(S₁), 4(S₂), 6(S₃), and 8(S₄) dS.m⁻¹ and salicylic acid at four concentrations of 0(A₁), 0.5(A₂), 1(A₃) and 2(A₄) mM were applied in the greenhouse. The experiment was performed as factorial and in a completely randomized design, with three replications. Soil moisture was measured daily, and irrigation scheduling was done based on it. Results showed that salinity stress reduced crop water uptake and shallot tuber weight. Salicylic acid application improved crop water status and increased tubers weight under salinity stress. A₄ treatment was the ideal concentration for maximum yield. Application of 2 mM salicylic acid at salinity levels of S₁, S₂, S₃, and S₄ increased tubers yield by 11.6%, 32%, 40% and 91%, respectively, compared to the control (A₁). The response of dry yield to evapotranspiration showed that by increasing salinity stress, percentage of yield decreased more than the percentage of evapotranspiration. Use of salicylic acid decreased dry yield sensitivity to salinity stress, such that from treatment S₁ to S₄ yield response coefficients (K_y) were between 1.01- 1.62 (in A₁ treatment), 0.93- 1.3 (A₂), 0.48- 1.09 (A₃) and 0.31- 0.97 (A₄). The effect of salicylic acid on water productivity were calculated between 2.13- 1.14 (in A₁), 2.15- 1.68 (A₂), 2.26- 2 (A₃), and 2.38- 2.19 kg.m⁻³ (A₄). In conditions of using saline water for crop irrigation, application of salicylic acid will increase water productivity. Based on the experiment results and in conditions of lack of high-quality water for irrigation, salicylic acid spraying on crops will be a suitable method to reduce the harmful effects of salinity stress.

Keywords: Yield response coefficient, Medicinal crop, Soil salinity, Water productivity

* - Corresponding author's email: saeidi@org.ikiu.ac.ir

Effects of Different Irrigation Methods on Water Productivity, Yield, and Its Components in Spinach under Climatic Conditions of Ahvaz

Kh. Peyghan, R. Valipour, S. Boromandnasab, M. Albaji*, and N. Alemzadeh Ansari

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

Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Rezavalipour20@gmail.com

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

Associate Prof., Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. m.albaji@scu.ac.ir

Associate Prof., Department of Horticultural Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. ansari_n@scu.ac.ir

Received: June 2023 and Accepted: October 2023

Abstract

Due to the increasing growth of population and changes in lifestyle, the pressure on water and soil resources has increased, thus, proper management of these resources has vital importance. This research was conducted with the aim of evaluating and comparing the effects of furrow, surface, and subsurface drip irrigation on water productivity, yield, and yield components of spinach in arid and semi-arid climatic conditions of Ahvaz. For this purpose, an experiment in the form of randomized complete blocks with three treatments of irrigation methods including furrow irrigation (FI), surface drip irrigation (SDI) and subsurface drip irrigation (SSDI) was done in three replications in the research farm of the Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, in 2021. According to the results, the amount of irrigation water used in the FI treatment was 1066 m³/ha and in the SDI and SSDI it was 787 m³/ha, which showed a decrease of 26.17%. In FI, SDI, and SSDI, the average yield of spinach plant (total fresh weight of leaves and stems) was equal to 23.56, 30.17 and 19.28 g and irrigation water productivity was 0.353, 0.613 and 0.392 kg/m³, respectively. In both yield and irrigation water productivity, the SDI treatment had a significant advantage at 5% level compared to the other two treatments. The effects of irrigation treatment on the characteristics of root length, stem length, total length, number of leaves, number of fresh leaves, leaf chlorophyll content and harvest index were not significant. Generally, considering water productivity as criterion, surface drip irrigation is more suitable than furrow irrigation for spinach cultivation.

Keywords: Pressurized irrigation, Surface irrigation, Harvest index

* -Corresponding author's email: m.albaji@scu.ac.ir

Determination of Water Requirement and Single and Dual Crop Coefficients of *Descurainia sophia* L. Using Lysimeter

M. Aliabadi, M. H. Najafi Mood, A. Khashei Siuki*, and A Shahidi

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

m.aliabadi0429@yahoo.com

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

Mhnajafi2020@yahoo.com

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

abbaskhashei@birjand.ac.ir

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

ashahidi@birjand.ac.ir

Received: April 2023 and Accepted: September 2023

Abstract

Considering the limited water resources and the high rate of evaporation, water crisis is one of the most important issues in the country. Due to the importance of Flixweed as a medicinal plant, its water requirement and its single and dual plant coefficients were investigated in the lysimeter laboratory of University of Birjand. For this purpose, six lysimeters (of the water balance type) with a diameter of 60 cm and a height of 100 cm were used. Inside all six lysimeters, Flixweed plants were planted with a density of 20 plants/m², then, evaporation and transpiration were calculated using the water balance equation. Evaporation and transpiration of grass reference was measured directly by three lysimeters and its average was 322 mm. Then, plant coefficients were calculated for four stages of growth (initial, development, middle, and end). In this research, the average values of evaporation and transpiration, evaporation from the soil surface, and transpiration from the target plant were obtained as 202, 23, and 179 mm, respectively. Finally, the individual plant coefficients for the four initial, development, middle and final stages were 0.52, 0.68, 0.96 and 0.57, respectively, and the basic plant coefficients were 0.38, 0.59, 0.94 and 0.52 mm. In general, considering the climate of South Khorasan Province, Flixweed plant is recommended for cultivation due to its low water requirement.

Keywords: Water balance, Medicinal plants, Drainage lysimeter

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

Analysis of Temporal and Spatial Variations of Water Requirement for Puddling in Paddy Fields of Sefidrood Irrigation Network Using SMAP Satellite Soil Moisture Information

M. R. Yazdani, E. Asadi Oskoueï*, A. Rahmani, N. Davatgar, and
B. Delsouz Khaki

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

Assistant Prof., Climatology and Climate Change Research Institute, Atmospheric Science and Meteorology
Research Center, Mashhad, Iran. e.asadi.o@gmail.com

Ph.D. student, Tehran University, Soil Science group, Karaj, Iran. a.rahmani@ut.ac.ir

Associate Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization
(AREEO), Karaj, Iran. n.davatgar@areeo.ac.ir

Researcher, Soil and Water Research Institute, AREEO, Karaj, Iran. b_delsouz@yahoo.com

Received: October 2022 and Accepted: June 2023

Abstract

In order to analyze the temporal and spatial changes in the amount of water required for puddling in rice fields of the Sapidroud Network, daily soil moisture data from the SMAP satellite was obtained and used in a seven-year period (2015 to 2021). The puddling stage (from April 20 to June 10) was analyzed after grouping based on different probability of occurrence (1%, 10%, 25%, 50%, 75%, 90% and 99%) and using raster calculations. In addition, in order to validate the calculations, the predicted values were compared with the saturated soil moisture values of 321 soil samples with specific geographic coordinates that had been measured by the Rice Research Institute of Iran. The comparison was conducted by using the mean absolute error (MAE), mean bias error (MBE), and normalized root mean square error (NRMSE). The results showed that in all moisture scenarios (from the wettest to driest), the foothills had less moisture than the plain and, especially, the low lands, and the soil moisture showed a decreasing trend during the growing period. The rate of this reduction increased gradually and in some areas it reached 2% per day at the end of the puddling period (May 22 to 31). The amount of gross water required for puddling increased from the wettest to the driest year and in the middle of the season (May 3 to 5) it was from 1693 to 2983 square meters per hectare and at the end of the season from 2496 to 3602 m³/ha, respectively. The validation results showed that the calculated MAE, MBE, and NRMSE values were 4.26%, 1.59%, and 15%, respectively, indicating that the accuracy is acceptable. The findings showed that the delay in the start of the puddling operation increases the water required for puddling operation (1.34 m³/ha for each day delay in a normal year). Therefore, in the lands of this network, in all circumstances, especially in dry years, to save water, it is better to release/supply water required for puddling from local reservoirs, wells, or from the Sepidrood Dam in early May.

Keywords: Water required for puddling, Plowing saturated soil, Probabilistic analysis, Water saving

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

Analysis of Temporal and Spatial Variations of Water Requirement for Puddling in Paddy Fields of Sefidrood Irrigation Network Using SMAP Satellite Soil Moisture Information.....14*M. R. Yazdani, E. Asadi Oskouei, A. Rahmani, N. Davatgar, and B. Delsouz Khaki***Determination of Water Requirement and Single and Dual Crop Coefficients of Descurainia sophia L. Using Lysimeter15***M. Aliabadi, M. H. Najafi Mood, A. Khashei Siuki, and A Shahidi***Effects of Different Irrigation Methods on Water Productivity, Yield, and Its Components in Spinach under Climatic Conditions of Ahvaz.....16***Kh. Peyghan, R. Valipour, S. Boromandnasab, M. Albaji, and N. Alemzadeh Ansari***Effect of Salicylic Acid Spraying on Shallot Yield under Salinity Stress Conditions.....17***R. Saeidi, M. M. Zarrabi, and D. Babaei***Analysis of Some Effective Mechanisms on the Sustainable Development of Water Users Cooperative of Satar Plain Irrigation and Drainage Network in Kermanshah.....18***L. Vahedi, L. Zolikhahi Sayyar, and M. Pouya***Investigating the Quality of Groundwater for Agricultural Purposes in Parts of Kerman Province.....19***S. Sadr*

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

Journal of Water Research in Agriculture

Vol. 37, No. 3
2023

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

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

Editorial Board

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

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

English Editor
Design

Hamid Siadat, PhD
Fatemeh Aghajani

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



Journal of Water Research in Agriculture

wra.areeo.ir



Volume 37/ No 3/ 2023

ISSN: 2228-7140

Contents

Subject

Page

Analysis of Temporal and Spatial Variations of Water Requirement for Puddling in Paddy Fields of Sefidrood Irrigation Network Using SMAP Satellite Soil Moisture Information.....14

M. R. Yazdani, E. Asadi Oskoue, A. Rahmani, N. Davatgar, and B. Delsouz Khaki

Determination of Water Requirement and Single and Dual Crop Coefficients of Descurainia sophia L. Using Lysimeter15

M. Aliabadi, M. H. Najafi Mood, A. Khashei Siuki, and A Shahidi

Effects of Different Irrigation Methods on Water Productivity, Yield, and Its Components in Spinach under Climatic Conditions of Ahvaz.....16

Kh. Peyghan, R. Valipour, S. Boromandnasab, M. Albaji, and N. Alemzadeh Ansari

Effect of Salicylic Acid Spraying on Shallot Yield under Salinity Stress Conditions.....17

R. Saeidi, M. M. Zarrabi, and D. Babaei

Analysis of Some Effective Mechanisms on the Sustainable Development of Water Users Cooperative of Satar Plain Irrigation and Drainage Network in Kermanshah.....18

L. Vahedi, L. Zolikhaei Sayyar, and M. Pouya

Investigating the Quality of Groundwater for Agricultural Purposes in Parts of Kerman Province.....19

S. Sadr