



# پژوهش آب در کشاورزی

*Wra.areeo.ac.ir*



ISSN: 2228-7140

ب / جلد ۳۷ / شماره ۱ / سال ۱۴۰۲

صفحه

عنوان

- ۱..... کاربرد توابع جذب آب برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت در شرایط اثر متقابل تنش شوری خاک و مرحله رشد.....  
رضا سعیدی و عبدالمجید لیاقت
- ۱۷..... اثر تغییرات فشار و نوع قطره‌چکان بر عملکرد سامانه‌های آبیاری قطره‌ای باغ‌های پسته استان یزد.....  
حسین پرویزی، امیر پرنیان، حدیث حاتمی و محمدحسن رحیمیان
- ۳۵..... اثر تنش شوری و روش کاشت بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی شیرین بیان در گلخانه.....  
هانیه حمیدیان، حمید سودائی‌زاده، رستم یزدانی بیوکی، محمد علی حکیم‌زاده اردکانی، مهدی سلطانی گردفرامری و ساره خواجه حسینی
- ۴۹..... بررسی و تحلیل چالش‌های پذیرش و گسترش آبیاری قطره‌ای در باغ‌های سیب ارومیه با استفاده از مدل نوآوری راجرز.....  
باقر حسین‌پور، آناهیتا جباری و حسن علیپور
- ۷۳..... تأثیر توأم دور آبیاری و ترکیب عناصر پرمصرف بر تغییرات اسانس و ترکیبات شیمیایی زنجبیل (*Zingiber officinale R.*).....  
غلامرضا پورشعبان کتشالی، غلامعلی اکبری، ایرج اله دادی و الیاس سلطانی
- بررسی کارایی سنجش از دور طیفی در برآورد رطوبت سطحی خاک و مقایسه آن با داده‌های حرارتی به منظور مدیریت آبیاری  
۸۵..... مزارع نیشکر.....  
جمال محمدی معله‌زاده، سعید حمزه و عبدعلی ناصری
- ۱۰۳..... اثر سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب برنج.....  
راضیه بیانی، مجتبی خوش‌روش، عبدالمجید لیاقت و مسعود پورغلام‌آمیچی

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

جلد ۳۷ شماره (۱)  
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.arei.ir>  
پایگاه الکترونیکی مؤسسه تحقیقات خاک و آب: [www.swri.ir](http://www.swri.ir)  
آدرس الکترونیکی مجله: [journalwater@yahoo.com](mailto:journalwater@yahoo.com)  
این نشریه در پایگاه‌های علمی زیر نمایه می‌شود:  
پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی: [www.sid.ir](http://www.sid.ir)  
پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC): [www.isc.gov.ir](http://www.isc.gov.ir)  
پایگاه سیویلیکا: <https://civilica.com>  
پایگاه با نك اطلاعات نشریات کشور (Magiran): <https://www.magiran.com>

آدرس: کرج - میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بعد از رزکان نو، بلوار امام خمینی - کد پستی ۳۱۷۷۹۹۳۵۴۵  
تلفن و نمابر ۰۲۶-۳۶۲۲۰۱۶۰ (۰۲۶) آدرس پایگاه الکترونیکی مجله: <http://www.wra.arei.ir>

عَمَّا نَسَبْنَا  
لِللَّهِ

- کاربرد توابع جذب آب برای شبیه سازی عملکرد ذرت در شرایط اثر متقابل تنش شوری خاک و مرحله رشد.....۱  
رضا سعیدی و عبدالمجید لیاقت
- اثر تغییرات فشار و نوع قطره چکان بر عملکرد سامانه های آبیاری قطره ای باغ های پسته استان یزد.....۱۷  
حسین پرویزی، امیر پزنیان، حدیث حاتمی و محمدحسن رحیمیان
- اثر تنش شوری و روش کاشت بر ویژگی های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی شیرین بیان در گلخانه.....۳۵  
هانیه حمیدیان، حمید سودائی زاده، رستم یزدانی بیوکی، محمد علی حکیم زاده اردکانی، مهدی سلطانی گردفرامری و ساره خواجه حسینی
- بررسی و تحلیل چالش های پذیرش و گسترش آبیاری قطره ای در باغ های سیب ارومیه با استفاده از مدل نوآوری راجرز.....۴۹  
باقر حسین پور، آناهیتا جباری و حسن علیپور
- تأثیر توأم دور آبیاری و ترکیب عناصر پرمصرف بر تغییرات اسانس و ترکیبات شیمیایی زنجبیل (*Zingiber officinale R.*).....۷۳  
غلامرضا پورشعبان کتشتالی، غلامعلی اکبری، ایرج اله دادی و الیاس سلطانی
- بررسی کارآیی سنجش از دور طیفی در برآورد رطوبت سطحی خاک و مقایسه آن با داده های حرارتی به منظور مدیریت آبیاری  
مزارع نیشکر.....۸۵  
جمال محمدی معله زاده، سعید حمزه و عبدعلی ناصری
- اثر سامانه های آبیاری قطره ای سطحی و زیرسطحی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره وری آب برنج.....۱۰۳  
راضیه بیانی، مجتبی خوش روش، عبدالمجید لیاقت و مسعود پورغلام آمیچی

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

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

### الف) اصول کلی

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

### ب) نحوه تهیه و ارسال مقاله

#### نحوه نگارش مقاله

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

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

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

### شناسنامه مقاله

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

### برگ شناسه

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

### عنوان مقاله

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

### چکیده

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

### واژه‌های کلیدی

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

## نتایج

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

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

## بحث

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

## تشکر و قدردانی

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

## فهرست منابع

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

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

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

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

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

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

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

## مثال‌های برای تنظیم منابع

### مقاله از مجله

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

### مقاله از کارگاه آموزشی یا علمی

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

### مطلب از کتاب

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

### مطلب نقل شده یک نویسنده در یک مجموعه مقالات

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

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

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

ذکر مطلب از اینترنت

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

منابع مورد استفاده در متن بدین صورت نگاشته شوند:

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

اسمیت (۲۰۰۲) گزارش کرد ...

اسمیت و جونز (۲۰۰۲) گزارش کردند...

اسمیت و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند...

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

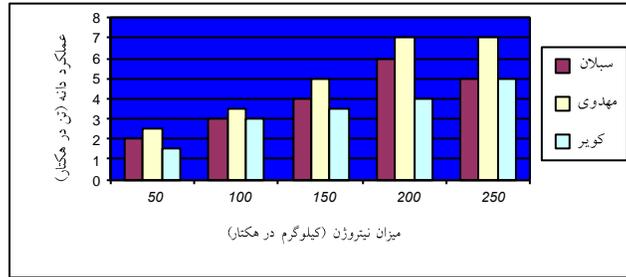
#### جدول نامناسب

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

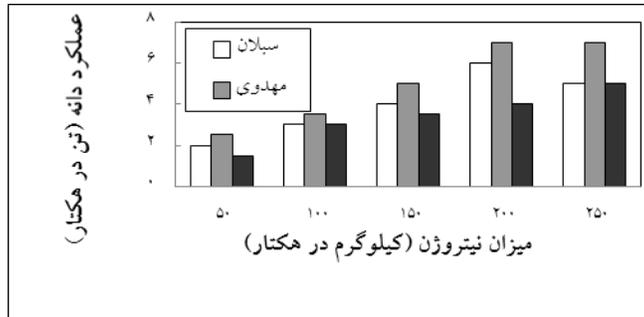
#### جدول مناسب

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

### شکل نامناسب



### شکل مناسب



دکتر مهدی اکبری.....	۳ دآوری
دکتر نادر حیدری.....	۲ دآوری
دکتر ناصر دواتگر.....	۲ دآوری
دکتر محمدحسن رحیمیان.....	۱ دآوری
مهندس رقیه رضوی.....	۱ دآوری
دکتر غلامحسن رنجبر.....	۱ دآوری
دکتر اژدر عنابی میلانی.....	۲ دآوری
مهندس سعید غالبی.....	۳ دآوری
دکتر عبدالنبی کلاهچی.....	۳ دآوری
دکتر عبدالمجید لیاقت.....	۲ دآوری
دکتر محمد مهدی مقیمی.....	۱ دآوری
دکتر علی مومن پور.....	۴ دآوری
دکتر کامران میرزاشاهی.....	۲ دآوری
دکتر فرهاد میرزایی.....	۲ دآوری
دکتر مریم نوابیان.....	۱ دآوری
دکتر شادمان ویسی.....	۳ دآوری
دکتر محمدرضا یزدانی.....	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 خانوادگی نویسنده اول: امضاء نویسنده اول مقاله

نام خانوادگی نویسنده دوم: امضاء نویسنده دوم مقاله

نام خانوادگی نویسنده سوم: امضاء نویسنده سوم مقاله

نام خانوادگی نویسنده چهارم: امضاء نویسنده چهارم مقاله

## کاربرد توابع جذب آب برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت در شرایط اثر متقابل تنش

### شوری خاک و مرحله رشد

رضا سعیدی<sup>۱</sup> و عبدالمجید لیاقت

دکترای آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی<sup>(ه)</sup>، قزوین، ایران.

saeidi@org.ikiu.ac.ir

استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

aliaghat@ut.ac.ir

دریافت: دی ۱۴۰۱ پذیرش: اسفند ۱۴۰۱

#### چکیده

این پژوهش در سال ۱۴۰۰ با هدف شبیه‌سازی عملکرد گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط کاربرد جداگانه تنش شوری در مراحل مختلف رشد در مینی لایسیمتر و در شهرستان قزوین انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. به این منظور، شوری خاک در چهار سطح  $(S_1)$  ۱/۷،  $(S_2)$  ۳،  $(S_3)$  ۵ و  $(S_4)$  ۷ دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان فاکتور اصلی و فاکتورهای فرعی شامل مراحل مختلف رشد به‌صورت یک مرحله‌ای در مراحل  $(C_1)$  شش برگی،  $(C_2)$  گل‌دهی،  $(C_3)$  شیری شدن دانه‌ها و دو مرحله‌ای شامل  $(C_1C_2)$  شش برگی-گل‌دهی،  $(C_1C_3)$  شش برگی-شیری شدن دانه‌ها و  $(C_2C_3)$  گل‌دهی-شیری شدن دانه‌ها، به کار برده شد. آب شور مطابق تیمارها از ترکیب آب شور یک زهکش شوره‌زار با آب چاه (شوری  $0.5 \text{ dS.m}^{-1}$ ) تهیه شد. سپس در مرحله رشد مورد نظر، خاک با آب شور به طوری آبیاری شد که شوری آب ورودی و خروجی از مینی لایسیمتر، با هم برابر بود. تیمار شاهد با آب چاه آبیاری شد. در فرایند مدل‌سازی از ترکیب توابع کاهش جذب آب، مدل‌های اشتقاقی برای شبیه‌سازی ضرایب کاهش عملکرد محصول ( $\alpha$ ) تهیه شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. از داده‌های تیمارهای یک مرحله‌ای رشد برای واسنجی مدل‌ها و از داده‌های تیمارهای دو مرحله‌ای رشد برای صحت‌سنجی مدل‌ها استفاده شد. بر اساس نتایج، کاربرد بالاترین سطح شوری منجر به کاهش عملکرد ماده خشک تولیدی از  $157/2$  گرم برای هر بوته (در تیمار  $S_1$ ) تا  $115/9$ ،  $53/2$ ،  $77/7$ ،  $86/1$ ،  $97$  و  $46/5$  گرم در تیمارهای  $C_1$ ،  $C_2$ ،  $C_3$ ،  $C_1C_2$ ،  $C_1C_3$  و  $C_2C_3$  گردید. نتایج نشان داد که حساسیت گیاه به دو حالت اعمال تنش یک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای رشد متفاوت بوده و کاربرد تنش شوری در مراحل حساس رشد (گل‌دهی:  $C_2$  و شیری شدن دانه:  $C_3$ )، تأثیر منفی بیشتری نسبت به تیمارهای  $C_1C_2$  و  $C_1C_3$  را به همراه داشت که دلیل آن، سازگاری فیزیولوژیکی گیاه در مراحل اولیه رشد نسبت به تنش شوری است. در این پژوهش مدل‌های جمع‌پذیر و ن‌گن‌ختن و ضرب‌پذیر دیرکسن و ماس-هافمن با مقادیر خطای کم‌تر و همبستگی بالاتر به‌عنوان مدل‌های بهینه برای شبیه‌سازی عملکرد محصول قابل توصیه می‌باشد. همچنین، اعمال تنش شوری دو مرحله‌ای (تا سطح  $7 \text{ dS.m}^{-1}$ ) در تیمارهای  $C_1C_2$  و  $C_1C_3$ ، عملکرد بیشتری نسبت به اعمال تنش یک مرحله‌ای در مراحل رشد  $C_2$  و  $C_3$  داشت.

واژه‌های کلیدی: حساسیت به شوری، ضریب تنش، مدل و ن‌گن‌ختن، مدل دیرکسن و ماس-هافمن

مقدمه

وجود محدودیت در میزان کمیت و کیفیت منابع آب در بخش کشاورزی، پژوهشگران را به سوی مطالعه عملکرد محصول در شرایط مختلف محیطی و مدیریتی هدایت می‌کند. در بین تنش‌های محیطی، افزایش شوری آب آبیاری از جمله تنش‌هایی است که باعث کاهش پتانسیل آب خاک، کاهش جذب آب و تبخیر-تعرق گیاه و در نهایت کاهش عملکرد محصول می‌شود (لاکیردا و همکاران، ۲۰۱۶). در پژوهشی بر روی گیاه ذرت علوفه‌ای در منطقه قزوین گزارش شد که افزایش شوری آب آبیاری از ۰/۵ به ۵/۷ دسی‌زیمنس بر متر، باعث کاهش پتانسیل آب خاک و کاهش جذب آب توسط گیاه می‌شود و در نتیجه مقدار مقاومت روزنه‌ای برگ‌های گیاه افزایش یافته و منجر به کاهش مقدار تبخیر-تعرق، از ۳۵۳ به ۲۷۴ میلی‌متر و عملکرد ماده خشک از ۱۵/۴ به ۹ تن بر هکتار می‌شود (سعیدی و همکاران، ۲۰۲۱). علاوه بر این، نتایج پژوهشی دیگر در منطقه اهواز نشان داد که افزایش شوری آب آبیاری از ۲ به ۷ دسی‌زیمنس بر متر، باعث کاهش عملکرد دانه ذرت از ۶۳۰۷ به ۲۶۲۳ کیلوگرم بر هکتار می‌گردد (حیدری‌نیا و همکاران، ۱۳۹۶). بر اساس یافته‌های فنگ و همکاران (۲۰۱۷)، به‌ازای افزایش هر یک دسی‌زیمنس بر متر شوری آب آبیاری، به‌طور متوسط حدود سه درصد از عملکرد محصول ذرت کاهش می‌یابد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد علاوه بر شناخت اثرات کلی شوری بر عملکرد گیاه ذرت، شناخت حساسیت درون‌فصلی این گیاه نسبت به تنش‌های محیطی، امکان مدل‌سازی دقیق‌تر عملکرد محصول را فراهم می‌کند (سعیدی و همکاران، ۲۰۲۲). افزایش تنش‌هایی مانند تنش آبی قبل از مرحله گل‌دهی ذرت، بر مقدار عملکرد و بهره‌وری مصرف آب بسیار مؤثر است به‌طوری‌که افزایش تنش در مرحله گل‌دهی، بر شدت کاهش عملکرد و بهره‌وری مصرف آب نسبت به مراحل دیگر رشد می‌افزاید (اکبری نودهی، ۱۳۹۶)؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد که گیاه ذرت جزو گیاهانی به‌شمار می‌رود که نسبت به اعمال تنش‌های محیطی در طول فصل رشد،

واکنش یکسانی از نظر کاهش عملکرد محصول نداشته و زمان اعمال تنش، اثر قابل توجهی بر کاهش میزان عملکرد محصول آن می‌گذارد. نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که دوره رشد ذرت شامل مراحل استقرار گیاهچه، مرحله رشد سریع، گرده‌افشانی و پُر شدن دانه است که از نظر فرآیندهای فیزیولوژیکی و حساسیت گیاه، متفاوت است و کاربرد تنش‌های مختلف در مراحل رشدی مذکور، تأثیر متفاوتی بر روی مقدار عملکرد محصول خواهد داشت (نیلسن، ۲۰۰۲). بررسی‌ها نشان می‌دهد که تنش شدید (۵۰ درصد نیاز آبی) در مرحله رشد رویشی، آسیب زیادی به گیاه ذرت وارد کرده به‌نحوی‌که با آبیاری کامل در مرحله گل‌دهی قابل جبران نیست. علاوه بر این، مرحله گل‌دهی و اوایل پرشدن دانه، حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی در گیاه ذرت می‌باشند. در حالی که قطع آبیاری بعد از مرحله خمیری شدن دانه، منجر به کاهش عملکرد معنی‌داری نمی‌گردد (همتی و همکاران، ۱۳۹۳).

با توجه به پژوهش‌های گذشته اثر حساسیت درون‌فصلی گیاه به تنش‌های محیطی (مانند شوری و خشکی) آشکار شده است؛ اما تاکنون بررسی اثر تنش شوری در مراحل مختلف رشد گیاه ذرت و مدل‌سازی تخمین عملکرد آن بر اساس این تنش‌ها انجام نشده است. در پژوهش سعیدی و همکاران (۱۳۹۸) اثر تنش شوری در مراحل مختلف رشد بر عملکرد گیاه ذرت بررسی شد و با توجه به حساسیت متفاوت گیاه به اعمال تنش شوری در مراحل مختلف رشد، دو فرضیه مطرح شده است. بر این اساس و در فرضیه اول، اثر تنش شوری در هر یک از مراحل رشد مستقل بوده و فقط در همان مرحله کاربرد تنش، بر میزان عملکرد گیاه اثرگذار است. به‌طوری‌که بر مقدار عملکرد گیاه در مراحل بعدی رشد، تأثیری نمی‌گذارد؛ یعنی اثر کاربرد تنش شوری (بر جذب آب و عملکرد گیاه) در دو مرحله متفاوت رشد، در پایان دوره رشد محصول قابل جمع شدن است (جمع‌پذیر بودن اثر تنش در مراحل رشد). در فرضیه دوم، اثر تنش شوری اعمال شده در مراحل اولیه رشد باعث افزایش یا کاهش

در روابط (۲) الی (۴):  $h$ : مکش ماتریک حاصل از کاهش آب خاک (سانتی‌متر)،  $h_{50}$ : میزان مکش ماتریکی که به‌ازاء آن میزان جذب آب نصف می‌شود (سانتی‌متر)،  $P$ : ضریب تجربی وابسته به خاک، گیاه و اقلیم منطقه و  $h_3$ : مکش ماتریک در آستانه کاهش جذب آب در شرایط تنش خشکی (سانتی‌متر) است.  $h_{max}$ : مقدار مکش ماتریک که بسیار بیشتر از مقدار  $h$  بوده و در آن، گیاه در یک سطح بسیار اندک به فعالیت حیاتی خود ادامه می‌دهد و هنوز زنده است (سانتی‌متر).

مدل‌هایی نیز وجود دارند که به‌طور همزمان اثر تنش شوری و خشکی را در دوره رشد گیاه در نظر گرفته‌اند. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل جمع‌پذیر و ن‌گنوختن (ون‌گنوختن، ۱۹۸۷) و مدل‌های ضرب‌پذیر و ن‌گنوختن (ون‌گنوختن، ۱۹۸۷)، دیرکسن و همکاران (دیرکسن و همکاران، ۱۹۹۳)، وان دام و همکاران (وان دام و همکاران، ۱۹۹۷)، همایی و فدس (همایی و فدس، ۱۹۹۹)، اسکگر و همکاران (اسکگر و همکاران، ۲۰۰۶) و همایی و همکاران (همایی و همکاران، ۲۰۰۲) اشاره نمود که معادلات آن‌ها به‌ترتیب در روابط (۵) الی (۱۱) ارائه شده است.

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left(\frac{a_1 h + a_2 \pi}{h_{50}}\right)^p} \quad (5)$$

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left[\frac{h}{h_{50}}\right]^{p_1}} \times \frac{1}{1 + \left[\frac{\pi}{\pi_{50}}\right]^{p_2}} \quad (6)$$

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left[\frac{h_3 - h}{h_3 - h_{50}}\right]^{p_1}} \times \frac{1}{1 + \left[\frac{\pi^* - \pi}{\pi^* - \pi_{50}}\right]^{p_2}} \quad (7)$$

$$\alpha(h, \pi) = \frac{h - h_4}{h_3 - h_4} \times \left[1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi)\right] \quad (8)$$

$$\alpha(h, \pi) = \frac{h - (h_4 - \pi)}{h_3 - (h_4 - \pi)} \times \left[1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi)\right] \quad (9)$$

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left[\frac{h}{h_{50}}\right]^{p_1}} \times \left[1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi)\right] \quad (10)$$

مقاومت گیاه به تنش‌های آبی (سازگاری یا عدم سازگاری به تنش) شده و به‌این ترتیب بر مراحل بعدی رشد هم اثرگذار بوده است (خاصیت ضرب‌پذیری اثر تنش). از این‌رو فرایند جمع‌پذیری و یا ضرب‌پذیری اثر تنش شوری در مراحل رشد گیاه و مدل‌سازی عملکرد محصول بر اساس آن، قابل مطالعه است.

تاکنون برای بررسی میزان جذب آب توسط ریشه در شرایط تنش‌هایی مانند شوری و خشکی و اثر آن بر عملکرد گیاه، مدل‌های مختلفی ارائه شده است. رابطه (۱) به‌عنوان یکی از مدل‌های پایه در این قبیل پژوهش‌ها به‌کار می‌رود. طبق رابطه مذکور اگر خاک نتواند نیاز آبی گیاه را برای حداکثر تعرق فراهم آورد، از میزان جذب آب به‌وسیله ریشه‌های گیاه کم شده و درنهایت باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود (دیرکسن و آگوستین، ۱۹۸۸).

$$S = \alpha(h) \times S_{max} \quad (1)$$

در رابطه (۱):  $S$ : میزان جذب آب توسط گیاه و  $S_{max}$ : حداکثر میزان جذب آب به‌وسیله گیاه است.

از معروف‌ترین مدل‌هایی که برای تعیین ضریب  $\alpha(h)$  در شرایط تنش آبی کاربرد دارد، تابع سیگموئیدی شکل در رابطه (۲) است که توسط ون‌گنوختن (ون‌گنوختن، ۱۹۸۷) پیشنهاد شده است. در پژوهش دیگر، رابطه (۲) نسبت به مقدار پتانسیل ماتریک در آستانه کاهش جذب آب ( $h_3$ ) تعدیل شد و به‌صورت رابطه (۳) ارائه شد (دیرکسن و آگوستین، ۱۹۸۸). با توجه به نتایج تحقیقات سایر پژوهش‌گران، پاسخ گیاهان به تنش آبی در پتانسیل‌های ماتریک کم، خطی نبوده است. همچنین در پتانسیل‌های ماتریک نزدیک به صفر، مقدار  $\alpha(h)$  زیاد برآورد شده است. از این‌رو برای رفع نواقص مذکور رابطه (۴) ارائه شد (همایی و همکاران، ۲۰۰۲).

$$\alpha(h) = \frac{1}{1 + \left[\frac{h}{h_{50}}\right]^{p_1}} \quad (2)$$

$$\alpha(h) = \frac{1}{1 + \left[\frac{h_3 - h}{h_3 - h_{50}}\right]^{p_1}} \quad (3)$$

$$\alpha(h) = \frac{1}{1 + \frac{(1 - \alpha_0) [h_3 - h]}{\alpha_0 [h_3 - h_{max}]}}^{p_1}} \quad (4)$$

شوری، کم‌آبی و تنش هم‌زمان شوری و کم‌آبی را با دقت مناسب ( $R^2=0.97$ ،  $NRMSE=8/5\%$  و  $ME=12/4\%$ ) شبیه‌سازی نماید (بابازاده و همکاران، ۱۳۹۵). در پژوهشی دیگر با استفاده از داده‌های کشت گلدانی گیاه گوجه‌فرنگی، پاسخ گیاه به تنش هم‌زمان شوری و خشکی بررسی شد. نتایج نشان داد در سطوح شوری و خشکی کم، مدل ضرب‌پذیر و ن‌گنوختن و در سطوح شوری و خشکی زیاد، مدل جمع‌پذیر و ن‌گنوختن بیش‌ترین تطابق را با داده‌های مشاهده‌ای (واقعی) دارد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۷).

با توجه به پژوهش‌های گذشته این مسئله قابل بررسی است که اگر گیاه یک‌بار تجربه تنش شوری در مراحل اولیه رشد را داشته باشد، پاسخ آن به تنش‌های آتی (در مراحل حساس رشد) و اثر آن بر عملکرد محصول چگونه خواهد بود؛ بنابراین پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی عملکرد ذرت در شرایط کاربرد تنش شوری در مراحل مختلف رشد و اثرات متقابل آن انجام شده است. به این منظور با الهام گرفتن از مدل‌های (۵) الی (۱۱)، اثر متقابل تنش شوری در مراحل اولیه و حساس رشد، بر کاهش عملکرد محصول ذرت شبیه‌سازی می‌شود. با این کار می‌توان در شرایط تلفیق تناوبی (پالسی) آب شور و شیرین در دوره کشت ذرت، مقدار عملکرد محصول را شبیه‌سازی نمود.

#### مواد و روش‌ها

##### ناحیه مورد مطالعه

این پژوهش به مدت یکسال (۱۴۰۰) در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) با موقعیت جغرافیایی  $23^{\circ} 19'$  عرض شمالی و  $50^{\circ} 00' 38''$  طول شرقی واقع در شهر قزوین انجام شد. گیاه مورد مطالعه، ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ بود که در مینی‌لایسیمترهایی با قطر ۴۰ و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر در ۱۰ خرداد ۱۴۰۰ و مطابق با روش پژوهش‌های پیشین (سعیدی، b ۱۴۰۰؛ دهقانی سانجی و همکاران، ۱۳۹۶؛ دهقانی و همکاران، ۱۳۹۶) کشت گردید. خاک فراهم‌شده برای پُر کردن مینی‌لایسیمترها، مخلوطی از خاک مزرعه،

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \frac{(1-\alpha_{01}) \left[ \frac{h_3-h}{h_3-h_{\max}} \right]^{p_1}}{\alpha_{01}}} \times \frac{1}{1 + \frac{(1-\alpha_{02}) \left[ \frac{\pi^*-\pi}{\pi^*-\pi_{\max}} \right]^{p_2}}{\alpha_{02}}} \quad (11)$$

در روابط فوق،  $\alpha(h, \pi)$ : تابع کاهش شدت جذب و یا شدت عملکرد محصول در اثر دو متغیر مستقل تنش شوری و خشکی،  $\pi$ : فشار اسمزی ناشی از تنش شوری (سانتی‌متر)،  $a_1$  و  $a_2$ : ضرایب تجربی برای مکش آب خاک و فشار اسمزی در مدل جمع‌پذیر و ن‌گنوختن،  $\pi_{50}$ : میزان فشار اسمزی که به‌ازاء آن میزان جذب آب نصف می‌شود (سانتی‌متر)،  $h_4$ : مکش ماتریک در نقطه پژمردگی دائم گیاه (سانتی‌متر)،  $\pi^*$ : فشار اسمزی در آستانه کاهش جذب آب در شرایط تنش شوری (سانتی‌متر) و  $b$ : میزان درصد کاهش عملکرد محصول به‌ازاء افزایش یک واحد شوری (دسی‌زیمنس بر متر) نسبت به آستانه تحمل گیاه است.  $\pi_{\max}$ : میزان فشار اسمزی که بیشتر از مقدار  $\pi$  بوده و در آن، گیاه در یک سطح بسیار اندک به فعالیت حیاتی خود ادامه می‌دهد و هنوز زنده است (سانتی‌متر). روش محاسبه فشار اسمزی ( $\pi$ ) بر اساس واحد سانتی‌متر، اولین بار توسط ریچاردز (ریچاردز، ۱۹۵۴) و مطابق رابطه (۱۲) ارائه شد. به‌طوری‌که  $EC_e$  شوری آب خاک بر اساس واحد دسی‌زیمنس بر متر بود.

$$\pi = -360 \times EC_e \quad (12)$$

تاکنون از روابط (۵) الی (۱۱) برای تخمین میزان کاهش جذب آب و یا کاهش عملکرد محصول در شرایط اعمال توأمان تنش‌های شوری و خشکی در کل دوره رشد گیاه، استفاده شده است. به این صورت که در پژوهش‌های مرتبط، یک حد ثابت از تنش‌های خشکی و شوری در همه مراحل رشد گیاه اعمال می‌شده و برای جلوگیری از تجمع املاح در خاک و افزایش تنش شوری، خاک همواره تحت آبخوبی قرار داشته است. برای شرایط مذکور، پاسخ گیاه ریحان به تنش‌های شوری و خشکی در محیط گلخانه مدل‌سازی شد. نتایج ارزیابی مدل‌ها با داده‌های مشاهده‌ای گیاه ریحان نشان داد که مدل مفهومی اصلاح‌شده همایی و همکاران (۲۰۰۲) قادر بوده است که واکنش گیاه به تنش

خاک، در کف مینی لایسیمترها از لوله‌های سوراخ‌دار و بستر شن (به‌عنوان زهکش) استفاده شد.

ماسه‌بادی و کود حیوانی با نسبت ۳، ۱ و ۱ بود که مشخصات آن در جدول (۱) ارائه شده است. برای جلوگیری از تجمع املاح در خاک و کنترل مقدار شوری

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مینی لایسیمتر

پارامتر	واحد	مقدار
هدایت الکتریکی عصاره اشباع	$dS.m^{-1}$	۰/۴۶
اسیدیته (pH)	-	۷/۴
بافت خاک	-	لوم شنی
رطوبت وزنی حد ظرفیت مزرعه	%	۲۳
رطوبت وزنی حد پژمردگی	%	۱۰
جرم مخصوص ظاهری	$g.cm^{-3}$	۱/۳۶

### تیمارهای پژوهش

در پژوهش حاضر سطوح مختلف تنش شوری از طریق آب آبیاری و به‌صورت ناپیوسته، در مقاطعی از دوره رشد گیاه ذرت به کار برده شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی، با ۲۴ تیمار و سه تکرار اجرا شد. بدین منظور، چهار سطح شوری خاک شامل (S<sub>1</sub>) ۱/۷، (S<sub>2</sub>) ۳، (S<sub>3</sub>) ۵ و (S<sub>4</sub>) ۷ دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان فاکتور اول (اصلی) در نظر گرفته شد. همچنین، فاکتورهای فرعی شامل مراحل مختلف رشد به‌صورت یک مرحله‌ای در مراحل (C<sub>1</sub>) شش برگی، (C<sub>2</sub>) گل‌دهی، (C<sub>3</sub>) شیری شدن دانه‌ها و دو مرحله‌ای شامل (C<sub>1</sub>C<sub>2</sub>) ۶ برگی - گل‌دهی، (C<sub>1</sub>C<sub>3</sub>) شش برگی-شیری شدن دانه‌ها و (C<sub>2</sub>C<sub>3</sub>) گل‌دهی - شیری شدن دانه‌ها، به‌عنوان فاکتور دوم تعریف شدند. از اختلاط آب شیرین چاه (۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر) با آب شور زهکش حائل در شوره‌زار منطقه آبیگ قزوین، آب شور مطابق با سطوح شوری تیمارها فراهم شد (جدول ۲). سپس در مرحله رشد مدنظر (فاکتورهای فرعی)، خاک از طریق آب شور مذکور اعمال تیمار شد. به‌گونه‌ای که در هر یک از مراحل مختلف رشد مورد نظر، آبیاری با آب شور تا رسیدن شوری عصاره اشباع خاک (در ناحیه ریشه) به شوری تیمار مد نظر انجام شد. برای این کار، میزان شوری آب ورودی و خروجی از مینی لایسیمتر، با هم برابر شد. با انتخاب رویه مذکور این اطمینان حاصل شد که کل خاک داخل مینی لایسیمتر به سطح شوری مورد نظر رسیده است. در سایر مراحل رشد (غیر از تیمارها) نیز از آب

شیرین چاه (۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر) برای آبیاری استفاده شد.

به‌منظور جلوگیری از تغییرات شوری خاک و شسته شدن املاح خاک توسط آبیاری با آب شیرین (در مراحلی که آب شور به کار برده نشده بود)، آبیاری در حد جبران کمبود رطوبت خاک انجام شد. برای این کار، میزان حجم آب آبیاری از طریق اندازه‌گیری رطوبت خاک (توسط دستگاه رطوبت‌سنج ساخت شرکت دلتا تی ( $\Delta T$ ) مدل HH<sub>2</sub>) و برای جبران کمبود آب خاک تا نقطه ظرفیت زراعی تعیین شد. به‌طوری که با در نظر گرفتن تخلیه مجاز مدیریتی ۴۰ درصد برای گیاه ذرت (سعیدی، ۱۴۰۰) محاسبه و به کار برده شد. علاوه بر تیمارهای مذکور، تیمار دیگری با کاربرد آب با کیفیت (شوری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر) در تمامی طول دوره رشد به‌منظور به دست آوردن عملکرد واقعی در شرایط بدون تنش و استفاده از آن در مدل‌های کاربردی، مورد استفاده قرار گرفت؛ بنابراین تیمار مذکور به‌عنوان شاهدی برای فرآیند مدل‌سازی عملکرد محصول بوده است؛ زیرا حد شوری ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر (تیمار S<sub>1</sub>)، آستانه تحمل گیاه ذرت به شوری خاک (بر اساس گزارش فائو-۲۹) است. از این‌رو برای اطمینان از عدم کاربرد هیچ‌گونه تنش شوری خاک در شرایط بدون تنش، حد شوری آب آبیاری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر برای این شرایط در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که شوری عصاره اشباع خاک در مینی لایسیمترهای مذکور در پایان فصل رشد حدود یک دسی‌زیمنس بر متر و کم‌تر از سطح

شوری  $S_1$  بود که کم‌تر از آستانه تنش شوری بود و نشان دهنده عدم تأثیر شوری حاصل از آبیاری با آب شیرین بر تیمارهای آزمایشی بوده است.

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی منابع آب (شوری عصاره اشباع خاک پس از تعادل) مورد استفاده در پژوهش

تیمار شوری	هدایت الکتریکی ( $dS.m^{-1}$ )	سدیم ( $meq.L^{-1}$ )	منیزیم ( $meq.L^{-1}$ )	کلسیم ( $meq.L^{-1}$ )	پتاسیم ( $meq.L^{-1}$ )	سولفات ( $meq.L^{-1}$ )	بی‌کربنات ( $meq.L^{-1}$ )	کربنات ( $meq.L^{-1}$ )	کلر ( $meq.L^{-1}$ )
سطح $S_0$	۰/۵	۲/۳۶	۰/۸۸	۱/۳۵	۰/۲	۱/۴۲	۱/۱۲	۰/۴۱	۱/۷۴
سطح $S_1$	۱/۷	۹/۴۶	۲/۶۶	۴	۰/۷	۵/۳۸	۳/۸	۰/۶۴	۶/۶
سطح $S_2$	۳	۱۴/۴	۶/۴۳	۹/۱۲	۰/۴	۹/۵۶	۸/۳۴	۱/۳۴	۱۲/۷۲
سطح $S_3$	۵	۲۴/۵۷	۸/۳۳	۱۴/۵۴	۰/۹۱	۱۶/۸۳	۱۱/۹۲	۳/۲۶	۱۸/۶۷
سطح $S_4$	۷	۳۵/۴۳	۱۳/۱۱	۱۹/۷۲	۱/۴۱	۲۲/۴۴	۱۵/۹	۵/۸۲	۲۷/۵۶

### مدل‌های کاربردی

برای مدل‌سازی عملکرد ذرت در شرایط کاربرد تنش شوری در مراحل مختلف رشد، ابتدا ضرایب مربوط به معادلات (۱۳) الی (۱۶) در تیمارهای یک مرحله‌ای رشد برآورد شد. به این صورت که با داشتن عملکرد واقعی محصول در تیمارهای مختلف یک مرحله‌ای رشد، پارامتر  $\alpha(\pi)$  محاسبه شد. پارامتر  $\alpha$  به‌عنوان ضریب عملکرد محصول و به مفهوم نسبت عملکرد محصول در شرایط اعمال تنش شوری به عملکرد محصول در شرایط بدون تنش (حد شوری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر) بود. با محاسبه ضریب عملکرد  $\alpha$  برای تیمارهای مختلف، روابط (۱۳) الی (۱۶) برای شرایط واقعی پژوهش واسنجی شد. به این صورت که برای هر کدام از مراحل رشد و به‌طور جداگانه ضرایب مجهول  $a$  و  $P$  توسط نرم‌افزار SPSS و ضریب  $b$  برای شرایط واقعی، برآورد شد. متوسط مقادیر فشار اسمزی (در کل دوره رشد) برای حد آستانه  $(\pi^*)$  و ۵۰ درصد کاهش جذب آب  $(\pi_{50})$  به ترتیب ۶۱۲- و ۲۱۲۴- سانتی‌متر برآورد شد. در برخی از پژوهش‌های گذشته (بابازاده و همکاران، ۱۳۹۵؛ حسینی و همکاران، ۱۳۹۷؛ سرائی تبریزی و همکاران، ۱۳۹۴ و ...) برای ارزیابی توابع کاهش جذب آب، میزان فشار اسمزی (حد آستانه، ۵۰ درصد کاهش جذب و ماکسیمم) به‌صورت ثابت در کل دوره رشد در نظر گرفته شد و به حساسیت مراحل رشد گیاه توجهی نشد. البته در پژوهشی با سطوح مختلف شوری

بر روی ذرت، مدل‌های جذب آب به‌گونه‌ای دیگر ارزیابی شدند. در این تحقیق مقادیر جذب آب و عملکرد گیاه در دو فصل بهار و پاییز، به‌صورت تیمارهای جداگانه در نظر گرفته شد تا حساسیت مرحله رشد نیز بررسی شود (بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۸). در نتیجه با توجه به حساسیت متفاوت گیاه به تنش شوری در مراحل مختلف رشد، میزان فشار اسمزی برای  $\pi^*$  و  $\pi_{50}$  در هر مرحله رشد متفاوت خواهد بود. از این‌رو در پژوهش حاضر، بر اساس کاربرد چهار سطح تنش شوری، میزان فشار اسمزی حد آستانه تنش و ۵۰ درصد کاهش عملکرد برای تیمارهای یک مرحله‌ای رشد به‌صورت جداگانه برآورد شد. به‌طوری‌که در مراحل رشد گل‌دهی، شیری شدن دانه‌ها و شش‌برگی به‌ترتیب کم‌ترین تا بیش‌ترین فشار اسمزی برای محدوده‌های مدنظر  $(\pi^*$  و  $\pi_{50})$ ، شناسایی شد. در مورد پایه و اساس مدل‌های اشتقاقی در پژوهش حاضر نیز پیش‌تر اشاره شد که مدل‌های (۱۳) و (۱۴) با نام ون‌گنوختن، مدل (۱۵) با نام دیرکسن و همکاران و مدل (۱۶) با نام مدل خطی ماس-هافمن شناخته شده‌اند.

$$\alpha(\pi) = \frac{1}{1 + \left(\frac{a\pi}{\pi_{50}}\right)^p} \quad (13)$$

$$\alpha(\pi) = \frac{1}{1 + \left[\frac{\pi}{\pi_{50}}\right]^p} \quad (14)$$

$$\alpha(\pi) = \frac{1}{1 + \left[\frac{\pi^* - \pi}{\pi^* - \pi_{50}}\right]^p} \quad (15)$$

$$\alpha(\pi) = \left[1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi)\right] \quad (16)$$

$$\alpha(\pi_i, \pi_j) = \left[ 1 - \frac{b_i}{360} (\pi^* - \pi_i) \right] \times \frac{1}{1 + \left[ \frac{\pi_j}{\pi_{50}} \right]^{p_j}} \quad (25)$$

$$\alpha(\pi_i, \pi_j) = \left[ 1 - \frac{b_i}{360} (\pi^* - \pi_i) \right] \times \frac{1}{1 + \left[ \frac{\pi^* - \pi_j}{\pi^* - \pi_{50}} \right]^{p_j}} \quad (26)$$

#### ارزیابی مدل‌ها

در این مرحله داده‌های ضریب عملکرد محصول ( $\alpha$ ) به صورت مشاهده‌ای (واقعی) در مقیاس مینی لایسیمتر و پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها (مدل‌های ۱۷ الی ۲۶)، با یکدیگر مقایسه شد و اعتبار مدل‌های مختلف ارزیابی شد. برای این کار از آماره‌های ارزیابی شامل حداکثر خطا<sup>۲</sup> (ME)، ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۳</sup> (RMSE)، ضریب تبیین<sup>۴</sup> ( $R^2$ )، کارایی مدل‌سازی<sup>۵</sup> (EF) و ضریب باقیمانده<sup>۶</sup> (CRM) استفاده شد. معادلات مربوط به آماره‌های مذکور در روابط (۲۷) الی (۳۱) ارائه شد. وجود حداقل مقدار (نزدیک به صفر) برای آماره‌های RMSE، ME و CRM و مقدار نزدیک به یک برای آماره‌های  $R^2$  و EF در هر مدل، نشان‌دهنده بهینه بودن آن مدل برای برآورد مقادیر  $\alpha$  بوده است. در روابط (۲۷) الی (۳۱)، حروف  $n$ ،  $O^v$  و  $P^a$  به ترتیب بیانگر تعداد تیمارها، داده‌های مشاهده‌ای در مقیاس مینی لایسیمتر و پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها بود.

$$ME = \max |P_i - O_i|_{i=1}^n \quad (27)$$

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (28)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}) \cdot (P_i - \bar{P}))^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (29)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (30)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (31)$$

برای کاربرد مدل‌های (۱۳) الی (۱۶) در شرایط اعمال تیمارهای دو مرحله‌ای رشد، از مدل‌های (۵) الی (۱۱) الهام گرفته شد و مدل‌های (۱۳) الی (۱۶) به صورت مدل‌های اشتقاقی (۱۷) الی (۲۶) توسعه داده شد. مدل‌های مذکور شامل انواع مدل‌های جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر در برآورد اثر متقابل تنش شوری در دو مرحله مختلف رشد است. در این بخش از پژوهش با داشتن ضرایب مدل‌ها (برآورد شده در تیمارهای یک مرحله‌ای رشد) اقدام به برآورد پارامتر  $\alpha(\pi_i, \pi_j)$  برای دو مرحله رشد مدنظر  $i$  و  $j$  شد. سپس در مرحله صحت‌سنجی، کارایی مدل‌های توسعه داده شده در برآورد پارامتر  $\alpha$ ، نسبت به شرایط واقعی کشت ارزیابی شد.

$$\alpha(\pi_i, \pi_j) = \frac{1}{1 + \left( \frac{a_i \pi_i + a_j \pi_j}{\pi_{50}} \right)^p} \quad (17)$$

$$\alpha(\pi_i, \pi_j) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{\pi_i}{\pi_{50}} \right]^{p_i}} \times \frac{1}{1 + \left[ \frac{\pi_j}{\pi_{50}} \right]^{p_j}} \quad (18)$$

$$\alpha(\pi_i, \pi_j) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{\pi^* - \pi_i}{\pi^* - \pi_{50}} \right]^{p_i}} \times \frac{1}{1 + \left[ \frac{\pi^* - \pi_j}{\pi^* - \pi_{50}} \right]^{p_j}} \quad (19)$$

$$\alpha(\pi_i, \pi_j) = \left[ 1 - \frac{b_i}{360} (\pi^* - \pi_i) \right] \times \left[ 1 - \frac{b_j}{360} (\pi^* - \pi_j) \right] \quad (20)$$

$$\alpha(\pi_i, \pi_j) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{\pi_i}{\pi_{50}} \right]^{p_i}} \times \frac{1}{1 + \left[ \frac{\pi^* - \pi_j}{\pi^* - \pi_{50}} \right]^{p_j}} \quad (21)$$

$$\alpha(\pi_i, \pi_j) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{\pi_i}{\pi_{50}} \right]^{p_i}} \times \left[ 1 - \frac{b_j}{360} (\pi^* - \pi_j) \right] \quad (22)$$

$$\alpha(\pi_i, \pi_j) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{\pi^* - \pi_i}{\pi^* - \pi_{50}} \right]^{p_i}} \times \left[ 1 - \frac{b_j}{360} (\pi^* - \pi_j) \right] \quad (23)$$

$$\alpha(\pi_i, \pi_j) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{\pi^* - \pi_i}{\pi^* - \pi_{50}} \right]^{p_i}} \times \frac{1}{1 + \left[ \frac{\pi_j}{\pi_{50}} \right]^{p_j}} \quad (24)$$

6 - Coefficient of residual mass, CRM

7 - Observed, O

8 - Predicted, P

2- Maximum error, ME

3 - Root of mean squared error, RMSE

4 - Coefficient of determination,  $R^2$

5 - Efficiency of modeling, EF

### اندازه‌گیری عملکرد

به منظور اندازه‌گیری وزن زیست‌توده خشک ذرت، بوته‌ها در هر مینی‌لایسمتر از سطح خاک بریده شد و برای خشک شدن به آزمایشگاه انتقال داده شد. در آزمایشگاه بوته‌ها به مدت ۴۸ ساعت در داخل گرم‌خانه قرار داده شد و در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌طور کامل خشک شد. سپس وزن کل زیست‌توده خشک گیاهی، توسط ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد و به‌عنوان عملکرد محصول ذرت مورد بررسی قرار گرفت.

### نتایج و بحث

#### عملکرد محصول

تجزیه واریانس داده‌های عملکرد زیست‌توده خشک محصول در جدول (۳) نشان داد که اثر هر کدام از

جدول ۳- تجزیه واریانس صفت مورد بررسی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات عملکرد ماده خشک محصول
تکرار	۲	۲۲۴ <sup>ns</sup>
مرحله رشد	۵	۷۰۳۶ <sup>**</sup>
تنش شوری خاک	۳	۱۳۱۱۵ <sup>**</sup>
تنش شوری خاک × مرحله رشد	۱۵	۴۳۶ <sup>*</sup>
خطا	۴۶	۱۴
ضریب تغییرات (%)		۱۷

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

تیمارهای مراحل رشد و تنش شوری بر عملکرد محصول، در سطح یک درصد و بر همکنش آن‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار است. نتایج حاصل به‌مفهوم حساسیت متفاوت مراحل رشد ذرت به اثر اعمال متقاطع (ناپیوسته) تنش شوری است. در پژوهشی مشابه، تنش آبی به‌صورت جداگانه در مراحل رشد چهار برگی، ۱۲ برگی، گل‌دهی و خمیری شدن دانه‌ها بر گیاه ذرت اعمال شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین تا کم‌ترین مقدار عملکرد محصول، به‌ترتیب مربوط به تیمارهای چهار برگی، خمیری شدن، ۱۲ برگی و گل‌دهی بوده و علت آن، میزان حساسیت و نیاز متفاوت گیاه ذرت به انجام تعرق در مراحل مختلف رشد است (سعیدی و ستوده‌نیا، ۱۴۰۰).

و C<sub>3</sub>) به‌میزان ۵، ۷/۸ و ۶/۷ درصد کاهش یافت (شکل ۲). نتایج مذکور نشان داد که یک مقدار ثابت از تنش شوری، بسته به این‌که در چه مرحله‌ای از رشد بر گیاه ذرت اعمال شود، اثر متفاوتی بر عملکرد محصول می‌گذارد. به‌عنوان نمونه مرحله‌گل‌دهی حساس‌ترین مرحله رشد ذرت به اعمال مقطعی تنش شوری شناخته شد؛ زیرا اعمال یک‌باره تنش شوری در زمان گل‌دهی ذرت، باعث اختلال در عمل کرده‌افشانی، عقیم شدن گیاه و مانعی برای تولید بلال و دانه ذرت بود. در پژوهشی مشابه در منطقه شاهرود، تنش آبی در مراحل رشد رویشی، گل‌دهی و دانه‌بندی ذرت اعمال شد و میزان کاهش عملکرد بیولوژیکی در این شرایط، به‌ترتیب ۳۲/۸۲، ۳۸/۰۹ و ۱۸/۴۹ درصد گزارش شد.

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و مرحله رشد بر روی عملکرد گیاه ذرت در شکل (۱) نشان داد که در تیمارهای یک مرحله‌ای رشد، بیش‌ترین تا کم‌ترین اثر تنش شوری بر کاهش عملکرد محصول، مربوط به مراحل رشد گل‌دهی (C<sub>2</sub>)، شیری شدن دانه‌ها (C<sub>3</sub>) و شش برگی (C<sub>1</sub>) است. بر اساس نتایج، میزان ماده خشک تولیدی در تیمار شاهد (S<sub>1</sub>) برابر با ۱۵۷/۲ گرم در هر بوته بود و کاربرد بالاترین سطح تنش شوری (S<sub>4</sub>) در هریک از مراحل رشد C<sub>1</sub>، C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub>، مقادیر عملکرد را به‌ترتیب تا ۱۱۵/۹، ۵۳/۲ و ۷۷/۷ گرم بر بوته کاهش داد. در این شرایط به‌ازای افزایش هر یک دسی‌زیمنس بر متر شوری خاک (از شوری S<sub>1</sub> تا S<sub>4</sub>)، عملکرد محصول (مربوط به تیمارهای C<sub>1</sub>، C<sub>2</sub>

عملکرد ماده خشک از ۱۵۷/۲ گرم در تیمار S<sub>1</sub> به ۸۶/۱ و ۹۷ و ۴۶/۵ گرم بر بوته در تیمارهای C<sub>1</sub>C<sub>2</sub>، C<sub>1</sub>C<sub>3</sub> و C<sub>2</sub>C<sub>3</sub> رسید. به طوری که به ازای افزایش هر یک دسی‌زیمنس بر متر شوری خاک (از شوری S<sub>1</sub> تا S<sub>4</sub>)، عملکرد محصول در تیمارهای C<sub>1</sub>C<sub>2</sub>، C<sub>1</sub>C<sub>3</sub> و C<sub>2</sub>C<sub>3</sub>، به میزان ۶/۵۵، ۶/۰۷ و ۸/۳۲ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (شکل ۲). از مقایسه شیب کاهش عملکرد در تیمارهای یک مرحله‌ای C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub> و دو مرحله‌ای C<sub>1</sub>C<sub>2</sub> و C<sub>1</sub>C<sub>3</sub> در شکل (۲) این‌طور اثبات شد که یک‌بار اعمال تنش شوری در مرحله شش برگی (C<sub>1</sub>) باعث سازگار شدن گیاه با تنش، در مواجهه با تنش‌های آتی شده است. به طوری که اگر گیاه در مراحل اولیه رشد با تنش شوری روبه‌رو شود می‌تواند تنش‌های بعدی را بهتر تحمل کند؛ اما اگر گیاه به یک‌باره در مرحله حساس رشد با تنش شوری روبه‌رو شود، توان تحمل تنش برای آن کمتر خواهد بود. در تطابق با پژوهش حاضر، نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داده است که اگر گیاه ذرت در ابتدای دوره رشد خود با تنش‌هایی مانند شوری یا خشکی مواجه شود، می‌تواند نسبت به پذیرش تنش در دوره‌های بعدی رشد، سازگاری فیزیولوژیکی پیدا کند (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۸). از سوی دیگر اگر گیاه ذرت به‌طور ناگهانی در هر دو مرحله حساس گل‌دهی و شیرینی شدن دانه‌ها (تیمار C<sub>2</sub>C<sub>3</sub>) با آب لب‌شور آبیاری شود، بی‌تردید کاهش عملکرد محصول بیش از شرایط اعمال تنش‌های یک‌مرحله‌ای رشد (تیمارهای C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub>) خواهد بود.

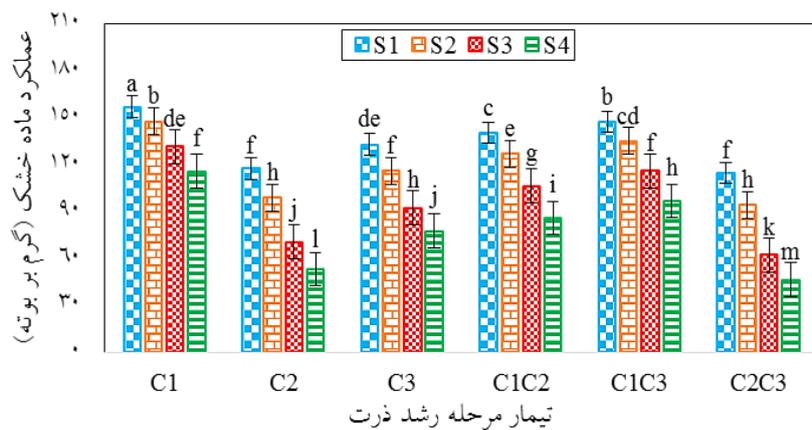
میزان شور شدن خاک منطقه توسعه ریشه گیاه، می‌تواند به میزان املاح موجود در آب آبیاری وابسته باشد. به طوری که استفاده از آب‌های لب‌شور برای آبیاری گیاهان، باعث تجمع املاح در خاک و شور شدن خاک می‌شود. در جمع‌بندی این بخش از نتایج پژوهش حاضر می‌توان گفت که اگر ذرت یک‌بار در مرحله اولیه رشد با آب لب‌شور (در سطح شوری تیمارهای پژوهش) آبیاری شود، ظرفیت آن وجود دارد که بار دیگر در مراحل حساس رشد (مانند گل‌دهی) از آب لب‌شور برای آبیاری آن استفاده شود. در

در نتیجه اعمال تنش آبی در مرحله گل‌دهی بیشترین اثر را بر کاهش مقدار عملکرد بیولوژیک ذرت داشت (محمدی بهمدی و آرمین، ۱۳۹۶). در تحقیقی گیاه ذرت به صورت گلدانی در گلخانه دانشگاه تهران کشت شد و اثر برهم‌کنش تنش شوری در دو فصل بهار و پاییز بر روی آن بررسی شد. تیمارهای شوری آب آبیاری شامل سطوح ۱/۷، ۳/۳۶، ۶/۳۳ و ۸/۳۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. اعمال تنش شوری تا سطح ۸/۳۵ دسی‌زیمنس بر متر در فصل بهار (مراحل اول رشد) باعث شد که مقدار عملکرد محصول از ۱۵۳/۸ به ۷۱/۳ گرم برسد. در حالی که همین میزان تنش شوری در فصل پاییز (مراحل پایانی رشد) موجب شد که عملکرد محصول به میزان ۵۵/۳ گرم برسد. همچنین شیب کاهش عملکرد محصول ذرت تحت اثر تنش شوری و در فصول پاییز و بهار، به ترتیب ۷/۴ و ۶/۵ درصد گزارش شد که به نتایج پژوهش حاضر نزدیک بود. نتایج حاصل نشان‌دهنده حساسیت بیشتر ذرت به تنش شوری در مراحل میانی رشد بوده است (بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۸)؛ بنابراین به نظر می‌رسد که در شرایط اعمال تنش شوری، پتانسیل آب خاک کاهش یافته و این امر باعث کاهش جذب آب و در نتیجه کاهش تعرق توسط گیاه ذرت می‌گردد. از سوی دیگر، وجود عناصری مانند سدیم و کلر در آب‌شور، اثری سمی بر روی گیاه داشته و موجب کاهش فرآیندهای گرده‌افشانی، باروری، تولید زیست‌توده و عملکرد محصول ذرت می‌گردد (سعیدی، ۱۴۰۱).

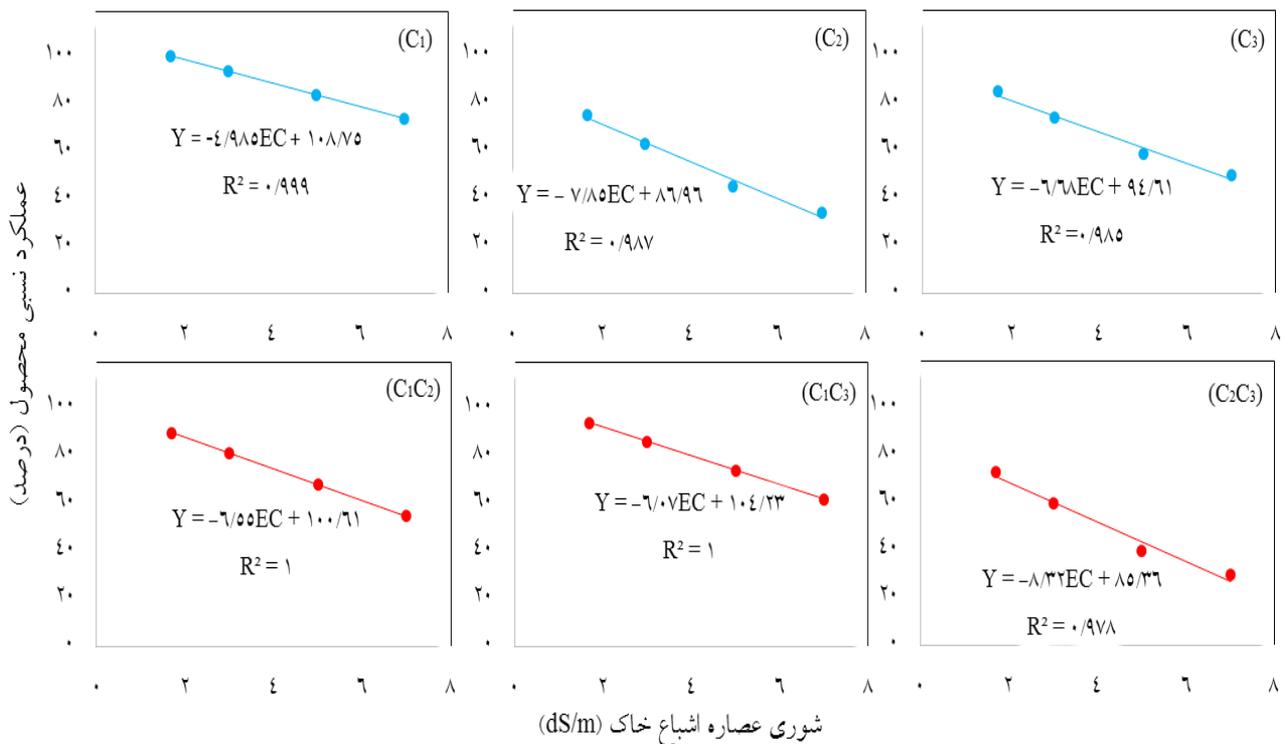
اما آنچه که در پژوهش حاضر به‌عنوان شاخصی برای نوآوری مطرح شد، پرداختن به اثر متقابل تنش شوری در دو مرحله متفاوت رشد گیاه بوده است. به این صورت که برای دو حالت اعمال تنش یک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای رشد، میزان کاهش عملکرد محصول مقایسه شد. در حالت اول، تنش شوری یک‌بار و به‌طور ناگهانی در مرحله حساس رشد گیاه ذرت اعمال شد؛ اما در حالت دوم، گیاه ذرت یک‌بار در مراحل اولیه رشد و بار دیگر در مراحل حساس رشد با تنش شوری مواجه شد. نتایج پژوهش در شکل (۱) نشان داد که تحت اثر تنش شوری تا سطح S<sub>4</sub>، میزان

روش اختلاط آب‌ها فراهم شد. در این شرایط آب‌شور همراه با آب غیرشور برای کشت ذرت استفاده شد، بدون آن‌که کاهش چندانی در عملکرد محصول ایجاد شود (مولوی و همکاران، ۱۳۹۱). نتیجه کلی این‌که دستاورد پژوهش حاضر می‌تواند در نحوه مدیریت و مصرف آب‌های نامتعارف لب‌شور برای آبیاری مزارع کاربرد داشته باشد. به این صورت که به جای اختلاط آب‌های شور و شیرین، بهتر است که آن‌ها در قالب دوره‌های تناوبی مناسب، در آبیاری مزارع استفاده شوند.

شرایط کاربرد دو مرحله‌ای تنش، اثر منفی تنش شوری بر عملکرد محصول، به اندازه یک‌بار اعمال تنش شوری در مرحله حساس رشد نخواهد بود. در این باره در تحقیقی در منطقه کرج، اثر مدیریت آب شور بر عملکرد ذرت دانه‌ای و در شرایط لایسیمتری بررسی شد. تیمارها شامل آبیاری گیاه با مخلوط آب غیرشور (۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر) و شور (پنج دسی‌زیمنس بر متر) و آبیاری تناوبی با آب غیرشور و شور بود. در این پژوهش از شش آبیاری صورت گرفته سه آبیاری در تناوب با آب‌شور انجام شد و نتایج نشان داد که شرایط مساعدتری برای رشد گیاه نسبت به



شکل ۱- مقایسه اثر متقابل تنش شوری و مرحله رشد بر مقادیر عملکرد محصول



شکل ۲- روند کاهش عملکرد محصول در تیمارهای مرحله رشد، در اثر اعمال تنش شوری

## مدل‌سازی عملکرد و ارزیابی مدل‌ها

در این پژوهش ابتدا ضرایب و پارامترهای مدل‌های (۱۳) الی (۱۶)، برای مقادیر واقعی عملکرد محصول و در شرایط اعمال یک مرحله‌ای تنش شوری، برآورد شد (جدول ۴). سپس با استفاده از آن‌ها، مدل‌های (۱۷) الی (۲۶) تولید و آماده بهره‌برداری شد. در گام بعدی، از طریق مدل‌های (۱۷) الی (۲۶) مقادیر عملکرد محصول در شرایط اعمال دو مرحله‌ای تنش شوری شبیه‌سازی شد. برای صحت‌سنجی کارایی مدل‌ها و مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر واقعی عملکرد محصول، از آماره‌های ارزیابی (روابط ۲۷ الی ۳۱) استفاده شد. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد که از نظر آماره‌های  $R^2$  و  $EF$ ، به‌ترتیب مدل‌های ضرب‌پذیر ۲۰ و جمع‌پذیر ۱۷ دارای بیش‌ترین همبستگی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی عملکرد بوده است. آماره  $ME$  نشان داد که مدل ۱۷ کم‌ترین خطا را در برآورد مقدار ضریب عملکرد داشته است. آماره  $RMSE$  نیز بیانگر این مطلب بود که مدل ۲۳ کم‌ترین ریشه میانگین مربعات خطا را در بین مدل‌ها داشته است. از این رو از طریق تجمیع اولویت‌هایی که آماره‌های ارزیابی به مدل‌ها داده بودند، به‌ترتیب مدل‌های ۱۷ و ۲۳ به‌عنوان مدل‌های بهینه در شبیه‌سازی مقدار ضریب عملکرد محصول ( $\alpha$ ) انتخاب شدند. از نظر آماره  $CRM$ ، مدل ۱۷ یک مدل کم‌برآورد و مدل ۲۳ یک مدل بیش‌برآورد بوده است. در نتیجه مدل جمع‌پذیر و ن‌گن‌وختن (مدل ۱۷) و مدل ضرب‌پذیر دیرکسن و ماس-هافمن (مدل ۲۳)، در حد قابل قبولی توانست که اثر برهم‌کنش تنش شوری را در دو مرحله متفاوت رشد ذرت نشان دهد. در پژوهشی بر روی گیاه فلفل که به‌صورت کشت گلدانی انجام شد، اثر تنش شوری شامل سه سطح ۲/۵، ۴/۵ و ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر

و تنش آبی به‌صورت سه سطح تخلیه رطوبتی ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی خاک بررسی شد. در این تحقیق پنج تابع کاهش جذب آب شامل مدل‌های ون‌گن‌وختن (جمع‌پذیر) و ضرب‌پذیر دیرکسن، آگوستین، وان‌دام و همکاران و همایی و همکاران، ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که در سطح شوری کم، واکنش گیاه به تنش‌های هم‌زمان شوری و خشکی بیشتر به‌صورت جمع‌پذیر و در سطوح زیاد شوری، به‌طور ضرب‌پذیر بوده است. متوسط آماره  $ME$  بین ۰/۰۹-۰/۱۵ و  $RMSE$  بین ۳-۹ درصد برآورد شد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۴). در پژوهشی پاسخ گیاه ذرت به سطوح شوری آب آبیاری شامل ۰/۶، ۲ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر بررسی شد. در این پژوهش عملکرد گیاه با استفاده از توابع کاهش جذب آب، شبیه‌سازی شد. نتایج اعتبارسنجی توابع نشان داد که مدل همایی و فوس (۱۹۹۹) برآورد بهتری از عملکرد گیاه، نسبت به سایر توابع داشت (عزیزیان و همکاران، ۲۰۱۵). در تحقیق دیگر بر روی ذرت، مدل‌های جذب آب و عملکرد محصول برای دو فصل بهار و پاییز ارزیابی شدند. نتایج ارزیابی توابع کاهش جذب آب نشان داد که برای شبیه‌سازی مقدار عملکرد محصول، مدل نمایی ون‌گن‌وختن از دقت بالاتری نسبت به مدل خطی ماس-هافمن برخوردار بود (بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۸). از این‌رو نتایج پژوهش اخیر در انتخاب مدل بهینه، به نتایج پژوهش حاضر نزدیک بود. به‌طورکلی دستاورد کاربردی این بود که قابلیت استفاده از مدل‌های اشتقاقی برای شبیه‌سازی عملکرد نسبی محصول ذرت در شرایط پژوهش حاضر، نشان داده شد. در نتیجه اگر گیاه ذرت یک مرتبه در مراحل اولیه رشد و بار دیگر در مراحل حساس رشد خود با تنش شوری مواجه شود، این امکان برای شبیه‌سازی و تخمین عملکرد گیاه وجود خواهد داشت.

جدول ۴- پارامترهای مدل‌های (۱۳) الی (۱۶)، برای شرایط اعمال تنش شوری در تیمارهای یک مرحله‌ای رشد

شماره مدل	a			P			b		
	مرحله رشد C <sub>1</sub>	مرحله رشد C <sub>2</sub>	مرحله رشد C <sub>3</sub>	مرحله رشد C <sub>1</sub>	مرحله رشد C <sub>2</sub>	مرحله رشد C <sub>3</sub>	مرحله رشد C <sub>2</sub>	مرحله رشد C <sub>3</sub>	مرحله رشد C <sub>3</sub>
۱۳	۰/۵۲۳	۱/۴۷	۰/۹۶۳	۲/۱۱۴	۱/۴۷۴	۱/۴۱۶	-	-	-
۱۴	-	-	-	۲/۸۸۴	۰/۹۱۲	۱/۴۷۱	-	-	-
۱۵	-	-	-	۱/۷۹۹	۰/۵۵	۰/۹۳۵	-	-	-
۱۶	-	-	-	-	-	-	۰/۰۷۶	۰/۰۹	۰/۰۵

جدول ۵- مقدار پارامترهای آماری برای ارزیابی اعتبار مدل‌ها، به منظور تخمین عملکرد واقعی محصول

شماره مدل	CRM	EF	R <sup>2</sup>	RMSE	ME
۱۷	۰/۲۷۳ <sup>(۴)</sup> *	۰/۸۰۱ <sup>(۲)</sup>	۰/۸۳۹ <sup>(۳)</sup>	۰/۲۰۵ <sup>(۴)</sup>	۰/۳۱۸ <sup>(۱)</sup>
۱۸	-۲/۷۴ <sup>(۱۰)</sup>	۰/۵۳۴ <sup>(۶)</sup>	۰/۵۷۸ <sup>(۶)</sup>	۲/۳۳ <sup>(۱۰)</sup>	۴/۳۲ <sup>(۱۰)</sup>
۱۹	۰/۱۷۳ <sup>(۳)</sup>	۰/۵۹۴ <sup>(۵)</sup>	۰/۶۳۱ <sup>(۵)</sup>	۰/۲۰۷ <sup>(۵)</sup>	۰/۳۵۲ <sup>(۳)</sup>
۲۰	-۰/۸۸۶ <sup>(۷)</sup>	۰/۸۲۳ <sup>(۱)</sup>	۰/۸۵۶ <sup>(۱)</sup>	۰/۷۳۱ <sup>(۷)</sup>	۱/۴۹ <sup>(۷)</sup>
۲۱	-۰/۴۲۹ <sup>(۵)</sup>	۰/۰۳۲ <sup>(۱۰)</sup>	۰/۰۴۶ <sup>(۱۰)</sup>	۰/۳۶۷ <sup>(۶)</sup>	۰/۶۱۵ <sup>(۶)</sup>
۲۲	-۱/۶۶۵ <sup>(۹)</sup>	۰/۵۲۶ <sup>(۷)</sup>	۰/۵۷ <sup>(۷)</sup>	۱/۴۲۶ <sup>(۹)</sup>	۲/۶۷۸ <sup>(۹)</sup>
۲۳	-۰/۱۶۹ <sup>(۲)</sup>	۰/۶۸۷ <sup>(۴)</sup>	۰/۷۰۳ <sup>(۴)</sup>	۰/۱۵۵ <sup>(۱)</sup>	۰/۳۶۷ <sup>(۳)</sup>
۲۴	-۰/۵۱۱ <sup>(۶)</sup>	۰/۴۲۴ <sup>(۸)</sup>	۰/۴۴۱ <sup>(۸)</sup>	۰/۱۸۲ <sup>(۳)</sup>	۰/۳۶۷ <sup>(۴)</sup>
۲۵	-۱/۵۸ <sup>(۸)</sup>	۰/۷۷۵ <sup>(۳)</sup>	۰/۸۰۶ <sup>(۳)</sup>	۱/۲۶۷ <sup>(۸)</sup>	۲/۵۴۲ <sup>(۸)</sup>
۲۶	-۰/۱۱۳ <sup>(۱)</sup>	۰/۳۱۸ <sup>(۹)</sup>	۰/۳۴۳ <sup>(۹)</sup>	۰/۱۶۲ <sup>(۳)</sup>	۰/۳۶۸ <sup>(۵)</sup>

\*: اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده اولویت انتخاب مدل، بر اساس آماره‌های ارزیابی است

## نتیجه‌گیری

سابقه اعمال تنش شوری در مراحل اولیه رشد ذرت و قابلیت سازگاری گیاه به تنش در مراحل آتی رشد، موضوعی بود که در پژوهش حاضر بررسی شد. میزان تنش شوری خاک و مرحله رشد گیاه (از لحاظ اعمال تنش)، از عوامل مؤثر و معنی‌دار (در سطح یک درصد) بر میزان کاهش عملکرد محصول بود. به طوری که حساسیت متفاوت مراحل رشد ذرت را به اعمال متقاطع (پالسی) تنش شوری نشان داد. از نظر حساسیت مرحله رشد، بیش‌ترین تا کم‌ترین اثر تنش شوری بر کاهش عملکرد محصول، مربوط به مراحل رشد گل‌دهی (C<sub>2</sub>)، شیری شدن دانه‌ها (C<sub>3</sub>) و شش برگی (C<sub>1</sub>) بود. تنش شوری باعث اختلال در عمل کرده‌افشانی، عقیم شدن گیاه و مانعی برای تولید بلال و دانه ذرت بود. از این‌رو مرحله گل‌دهی، حساس‌ترین مرحله رشد ذرت به اعمال مقطعی تنش شوری بود.

در پژوهش حاضر، اثر متقابل تنش شوری در دو مرحله متفاوت رشد گیاه ذرت نیز بررسی شد. به این صورت که گیاه ذرت یک‌بار در مراحل اولیه رشد و بار

دیگر در مراحل حساس رشد با تنش شوری مواجه شد. ترکیب دو مرحله متفاوت رشد شامل تیمارهای C<sub>1</sub>C<sub>2</sub>، C<sub>1</sub>C<sub>3</sub> و C<sub>2</sub>C<sub>3</sub> بود. با اعمال تنش شوری از سطح S<sub>1</sub> تا S<sub>4</sub>، شیب کاهش عملکرد محصول به‌زای افزایش هر یک دسی‌زیمنس بر متر شوری خاک، در مراحل رشد C<sub>1</sub>، C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub> به ترتیب ۵، ۷/۸ و ۶/۷ درصد برآورد شد؛ اما شیب مذکور در تیمارهای C<sub>1</sub>C<sub>2</sub>، C<sub>1</sub>C<sub>3</sub> و C<sub>2</sub>C<sub>3</sub> به ترتیب ۶/۵۵، ۶/۰۷ و ۸/۳۲ درصد محاسبه شد. نتایج نشان داد که یک‌بار اعمال تنش شوری (از سطح S<sub>1</sub> تا S<sub>4</sub>) در مرحله ابتدایی رشد، باعث سازگاری گیاه در مواجهه با تنش‌های آتی شده است؛ اما اعمال پیوسته تنش شوری در مراحل حساس رشد (مانند تیمار C<sub>2</sub>C<sub>3</sub>) موجب کاهش عملکرد محصول بیش از شرایط اعمال تنش‌های یک‌مرحله‌ای رشد (تیمارهای C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub>) شده است. برای مدل‌سازی مقدار عملکرد محصول ذرت در شرایط پژوهش حاضر از مدل‌های اشتقاقی شامل مدل‌های ون‌گونختن (جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر)، دیرکسن و همکاران و مدل خطی ماس-هافمن استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل جمع‌پذیر ون‌گونختن (مدل ۱۷) و مدل

برسد، گرفته شده است. این نوع شیوه مدیریت آب‌های لب‌شور در تناوب با آب باکیفیت، باعث می‌شود که عملکرد محصول بهتر از شرایط مصرف یک‌مرحله‌ای آب لب‌شور (در مراحل حساس رشد گیاه) باشد. نکته دوم این که از طریق مدل‌های پیشنهادی، امکان شبیه‌سازی میزان عملکرد محصول در شرایط برهم‌کنش دو مرحله‌ای تنش شوری فراهم شد. در پایان توصیه می‌شود که نتایج به دست آمده در پژوهش، یک‌بار برای شرایط کشت مزرعه‌ای صحت‌سنجی گردد.

ضرب‌پذیر دیرکسن و ماس-هافمن (مدل ۲۳)، این قابلیت را داشتند که اثر برهم‌کنش تنش شوری را در دو مرحله متفاوت رشد ذرت شبیه‌سازی کنند.

به‌طورکلی در پژوهش حاضر دو نکته نتیجه‌گیری شد. اول این که اگر گیاه ذرت یک‌بار در مرحله شش برگه با آب لب‌شور (در سطح تیمارهای پژوهش) آبیاری شود، ظرفیت آن وجود دارد که بار دیگر در مراحل حساس رشد (مانند گل‌دهی) از آب لب‌شور برای آبیاری آن استفاده شود. البته نتیجه مذکور برای بحرانی‌ترین حالت که شوری عصاره اشباع خاک به‌طور کامل با شوری آب آبیاری به تعادل

### فهرست منابع

۱. اکبری نودهی، د. ۱۳۹۶. تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب ذرت. مجله مدیریت آب و آبیاری. ۷(۲): ۳۰۵-۳۰۸.
۲. بابازاده، ح. علیزاده، ح. ع. و م. سرائی تبریزی. ۱۳۹۵. توسعه مدل مفهومی تعدیل شده پاسخ گیاهان به تنش توأمان خشکی و شوری (مطالعه موردی: ریحان). مجله تحقیقات آب‌و‌خاک ایران. ۴۷(۲): ۲۸۱-۲۹۲.
۳. بذرافشان، ا. شرفا، م. محمدی، م. ح. و ع. ا. ذوالفقاری. ۱۳۹۸. پاسخ ذرت به تنش شوری با استفاده از مدل‌های جذب آب در فصول مختلف. مجله تحقیقات آب‌و‌خاک ایران. ۵۰(۹): ۲۱۷۱-۲۱۸۲.
۴. حسینی، ی. رضوانی مقدم، ج. نیک پور، م. ر. و ع. عبدلی. ۱۳۹۷. ارزیابی توابع جذب آب در شرایط تنش هم‌زمان خشکی و شوری در گیاه گوجه‌فرنگی مینیاتوری. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۳۲(۲): ۲۴۸-۲۶۶.
۵. حسینی، ی. بابازاده، ح. و ب. خاکپور عربلو. ۱۳۹۴. ارزیابی توابع کاهش جذب آب گیاه فلفل در شرایط تنش هم‌زمان خشک و شوری. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹(۴): ۵۰۹-۵۲۳.
۶. حیدری‌نیا، م. ناصری، ع. برومندنسب، س. و م. الباجی. ۱۳۹۶. تأثیر آبیاری با آب شور بر تبخیر و تعرق و کارایی مصرف آب ذرت در مدیریت‌های مختلف زراعی. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۴۰(۱/۱): ۹۹-۱۱۰.
۷. دهقانی، ا. کاظمینی، س. ع. زارعی، م. و م. علی‌نیا. ۱۳۹۶. تأثیر تنش شوری و قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک گیاه ذرت شیرین. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۷(۱): ۱۰۱-۱۱۳.
۸. دهقانی سانج، ح. کنعانی، ا. و س. اخوان. ۱۳۹۶. ارزیابی تبخیر-تعرق ذرت و اجزای آن و ارتباط آن‌ها با شاخص سطح برگ در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی. مجله آب‌و‌خاک. ۳۱(۶): ۱۵۴۹-۱۵۶۰.
۹. سرائی تبریزی، م. همایی، م. بابازاده، ح. کاوه، ف. و م. پارسى نژاد. ۱۳۹۴. مدل‌سازی پاسخ ریحان به تنش‌های توأمان شوری و کمبود نیتروژن. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۹(۷۳): ۴۵-۵۷.
۱۰. سعیدی، ر. ۱۴۰۱. تعیین ضریب تنش شوری در مراحل مختلف رشد ذرت علوفه‌ای. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۳۶(۱): ۷۵-۹۲.
۱۱. 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.

۱۲. سعیدی، ر. b ۱۴۰۰. جداسازی تبخیر و تعرق در کشت ذرت و بررسی پاسخ آن‌ها به سطوح مختلف آبیاری. مجله تحقیقات آب‌و خاک ایران. ۵۲(۵): ۱۲۶۳-۱۲۷۳.
۱۳. سعیدی، ر. و ع. ستوده‌نیا. ۱۴۰۰. واکنش عملکرد به تبخیر-تعرق ذرت، تحت تأثیر تنش آبی در مراحل مختلف رشد (در دشت قزوین). مجله تحقیقات آب‌و خاک ایران. ۵۲(۳): ۶۱۱-۶۲۰.
۱۴. سعیدی، ر. سلطانی، م. لیاقت، ع. و ع. ستوده‌نیا. ۱۳۹۸. تأثیر شوری بر عملکرد ذرت در مراحل مختلف رشد. مجله تحقیقات آب‌و خاک ایران. ۵۰(۸): ۱۹۷۵-۱۹۸۳.
۱۵. محمدی بهمدی، م. و م. آرمین. ۱۳۹۶. اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف ذرت در شرایط کشت تأخیری. مجله تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی. ۴(۱): ۱۷-۳۴.
۱۶. مولوی، ح. محمدی، م. و ع. لیاقت. ۱۳۹۱. اثر مدیریت آب شور طی دوره رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای و پروفیل شوری خاک. مجله علوم مهندسی و آبیاری. ۳۵(۳): ۱۱-۱۸.
۱۷. همتی، ر. مقصودی، ک. و ی. امام. ۱۳۹۳. پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک ذرت به تنش خشکی در مراحل مختلف رشد در منطقه نیمه‌خشک شمال فارس. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۴(۱۱): ۶۷-۷۴.
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. Ayers, R. S. and D. W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper No.29, Page 31.
20. Azizian, A. Sepaskhah, A. R. and Sh. Zand-Parsa. 2015. Modification of a maize simulation model under different water, nitrogen and salinity levels. International journal of plant production. 9(4): 609-632.
21. Dirksen, C. and D. C. Augustijn. 1988. Root water uptake function for nonuniform pressure and osmotic potentials. Agriculture. Abstracts, pp. 188
22. Dirksen, C. Kool, J. B. Koorevaar, P. and M. Th. Van Genuchten. 1993. HYSWASOR-Simulation model of hysteretic water and solute transport in the root zone. In: D. Russo and G. Dagan (Eds). Water Flow and Solute Transport in Soils. Springer Verlag, pp. 99-122.
23. Feng, G. Zhang, Z. Wan, C. Lu, P. and A. Bakour. 2017. Effects of saline water irrigation on soil salinity and yield of summer maize (*Zea mays* L.) in subsurface drainage system. Journal of agricultural water management. 193: 205-213.
24. Homae, M. Feddes, R. A. and C. Dirksen. 2002. Simulation of root water uptake. III. Non-uniform transient combined salinity and water stress. Journal of Agriculture and water management. 57: 127-144.
25. Homae, M. and R. A. Feddes. 1999. Water uptake under nonuniform transient salinity and water stress. In: J. Feyen and K. Wiyo (Eds.), Modeling of transport processes in soil at various scales in time and space. 416-427
26. Lacerda, C. F. Ferreira, J. F. S. Liu, X. and D. L. Suarez. 2016. Evapotranspiration as a criterion to estimate nitrogen requirement of maize under salt stress. Journal of agronomy and crop science. 202: 192-202.
27. Nielsen, R. L. 2002. Drought and heat stress effects on corn pollination. Journal of Agronomy (Purdue). 196: 19-25.
28. Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U. S. Department of Agriculture. Agricultural Handbook, No 60.
29. Saeidi, R. Sotoodenia, A. and H. Ramezani Etedali. 2022. Modelling the relationships between the yield and evapotranspiration of maize under salinity stress and nitrogen deficiency. Journal of irrigation and drainage. 2022: 1-15.

30. Saeidi, R. Ramezani Etedali, H. Sotoodena, A. Kaviani, A. and B. Nazari. 2021. Salinity and fertility stresses modifies  $K_s$  and readily available water coefficients in maize (Case study: Qazvin region). *Journal of irrigation science*. 39: 299- 313.
31. Skaggs, T. H. Shouse, P. J. and J. A. Poss. 2006. Irrigating forage crops with saline waters: 2. Modeling root uptake and drainage. *Vadose Zone J.* 5: 824–837
32. Van Dam, J. C. Huygen, J. Wesseling, J. G. Feddes, R. A. Kabat, P. Van Walsum, P. E. V. Groenendijk, P. and C. A. Van Diepen. 1997. Theory of SWAP, version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in soil- water- atmosphere- plant enviroment. Rep. No. 71. Department of water resource, Wageningen. Agricultural University. Wageningen, the Netherland.
33. Van Genuchten, M. Th. 1987. A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. Research Report. US Salinity Laboratory, Riverside, CA.



## اثر تغییرات فشار و نوع قطره‌چکان بر عملکرد سامانه‌های آبیاری قطره‌ای باغ‌های

### پسته استان یزد

حسین پرویزی<sup>۱</sup>، امیر پرنیان، حدیث حاتمی و محمدحسن رحیمیان

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

**Hosseinparvizi@gmail.com**

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

**Amir.parnian86@gmail.com**

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

**Hadishatami066@gmail.com**

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

**Mhrahimian@gmail.com**

دریافت: دی ۱۴۰۱ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۱

#### چکیده

در این پژوهش، اثرات تغییر فشار و نوع قطره‌چکان انتخابی بر عملکرد سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در ۲۱ باغ پسته و در شرایط کاربرد آب شور بررسی شد. بر اساس نتایج، میزان تغییرات یکنواختی پخش آب در نقاط مختلف مزرعه (EU) در باغ‌های متفاوت از ۷۱٪ تا ۹۵٪ و میزان آبدهی متوسط قطره‌چکان‌های مختلف از ۵/۵ تا ۲۸/۸ لیتر در ساعت متغیر بود. کمترین و بیشترین مقدار فشار کارکرد در پشت قطره‌چکان‌ها نیز به ترتیب ۰/۱ و ۱/۸ بار بود. باغ شماره چهار دارای کمترین (۳/۳٪) و شماره ۱۳ دارای بیشترین (۲۱٪) ضریب تغییرات بودند. علاوه بر این، کمترین (۰/۶٪) و بیشترین (۲۶٪) مقادیر انحراف آبدهی میانگین نسبت به آبدهی اسمی نیز به ترتیب در طرح‌های شماره ۳ و ۱۸ مشاهده گردید. میزان ضریب تغییرات در طرح‌های شماره ۳، ۴، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۹ و ۲۱ کمتر از ده درصد و عالی بودند. طرح‌های شماره ۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ با ضریب تغییرات تقریباً ۲۰٪ در حد فاصل خوب و بسیار خوب و سایر طرح‌ها نیز دارای ضریب تغییرات بسیار خوب در عمل بودند. نتایج نشان داد که در باغ‌هایی که در آنها تامین، یا توزیع فشار کارکرد مناسب بود (۵/۰ تا ۴ بار)، قطره‌چکان‌ها، فارغ از برند و نوع، دارای ضریب تغییرات پایین و یکنواختی پخش بالا بود. با این حال، دو نمونه یوروپلاست کینگ و یورودریپ با آبدهی هشت لیتر در ساعت برای نفوذپذیری کم خاک و برای جاهایی که آبدهی بالا با تامین فشار بین ۵/۰ تا ۱ بار مدنظر است، نمونه یورودریپ با آبدهی اسمی ۲۶/۲ لیتر در ساعت را می‌توان توصیه کرد. نتایج نشان داد که اغلب باغ‌ها نیاز به اصلاح برنامه آبیاری (دور و یا مدت) دارند. به نظر می‌رسد که شوری آب‌های بررسی شده روی گرفتگی قطره‌چکان‌ها و در نتیجه یکنواختی پخش آب در نقاط مختلف باغ اثر چندانی نداشت.

واژه‌های کلیدی: آبدهی قطره‌چکان، شوری آب، گرفتگی قطره‌چکان، یکنواختی پخش آب

همکاران، ۱۳۹۰؛ تقوایی و همکاران، ۱۳۹۰). در کنار این عوامل، به نظر می‌رسد که عمده‌ترین دلیل این موضوع، مشکلات ناشی از عدم مدیریت صحیح نگهداری و بهره‌برداری از سامانه‌ها است که منجر به گرفتگی قطره‌چکان‌ها و در نتیجه توزیع نامناسب آب و در نهایت کاهش محصول و کارایی مصرف آب (عملکرد به آب مصرفی) و عملکرد سامانه‌ها می‌گردد. علاوه بر این، نقش قطره‌چکان‌ها با توجه به تغییرات گسترده‌ای که از نظر مشخصات و ویژگی‌های فنی و کیفیت ساخت دارند در افزایش کارایی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای غیرقابل انکار است. پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که قطره‌چکان‌های مختلف در برابر تغییرات فشار عملکرد متفاوتی دارند و می‌توان آن‌ها را درجه‌بندی نمود (سهرابی و همکاران، ۱۳۷۸؛ کرناک و همکاران، ۲۰۰۴). پروینی و معروف پور (۱۳۹۲) نشان دادند که قطره‌چکان‌های نتافیم و آنتلکو با دبی هشت لیتر در ساعت و قطره‌چکان یورودریپ با دبی چهار لیتر در ساعت، برترین قطره‌چکان‌ها از بین موارد مورد بررسی از نظر معیارهای کیفی و یکنواختی پخش می‌باشند. درحالی‌که قطره‌چکان‌های میکروفلاپر با دبی چهار و هشت لیتر در ساعت به دلیل عملکرد ضعیف، غیرقابل استفاده رده‌بندی شدند. بر خلاف نتایج ذکرشده، ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴)، با مقایسه چهار قطره‌چکان (هشت لیتر بر ساعت) نتافیم، ایریتک، پالابلاست (آکسیوس) و میکروفلاپر عنوان کردند که در شرایط کاربرد آب شور ۱۳ دسی‌زیمنس بر متر، قطره‌چکان میکروفلاپر بالاترین یکنواختی پخش و کمترین میزان تغییرات دبی را از خود نشان می‌دهد. براساس نتایج پیروزفر و همکاران (۱۳۹۳) قطره‌چکان‌های نتافیم و یورودریپ در شوری‌های متفاوت، دارای میزان گرفتگی متفاوتی می‌باشند. همچنین به عقیده کریمی و همکاران (۱۳۹۰)، قطره‌چکان‌های نتافیم و آنتلکو با ضریب تغییرات ساخت کارخانه بسیار پایین دو نوع از بهترین و کاربردی‌ترین قطره‌چکان‌ها در آبیاری تحت فشار می‌باشند. بر اساس نتایج این پژوهشگران، قطره‌چکان‌های نتافیم دارای یکنواختی توزیع خوبی بوده و

با توجه به اهمیت روزافزون آب در کشاورزی ایران، در سال‌های اخیر دولت سرمایه‌گذاری‌های کلان و اعتبارات گسترده‌ای را در راستای گسترش فناوری‌های آب محور از جمله سامانه‌های آبیاری تحت فشار در جهت استفاده بهینه از منابع آب نموده است، که این فناوری‌ها می‌توانند آثار و پیامدهای قابل توجهی را در جامعه روستایی داشته باشند (کریمی، ۲۰۰۶). در کنار این توسعه سامانه‌های نوین آبیاری، استفاده از آب‌های نامتعارف (آب‌های شور، زه‌آب‌ها و پساب‌ها که به‌کارگیری آن‌ها نیاز به اعمال سیاست‌های مدیریتی و حفاظتی ویژه است (فولادمند، ۱۳۸۸) به‌عنوان راه‌حلی به‌منظور مقابله با کم‌آبی، در جایی که آب با کیفیت مناسب در دسترس نیست، رو به فزونی است (عابدی کویایی و بختیاری فر، ۱۳۸۳). با این‌وجود، متأسفانه گسترش و توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار با مسائل متعددی روبرو بوده که موجب عدم پذیرش و یا عدم ادامه به‌کارگیری این سامانه‌ها از سوی کشاورزان شده است. کارایی مطلوب سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در هنگام استفاده از آب‌های نامتعارف و شور به‌عنوان سیستم آبیاری کارآمد، به خصوصیات هیدرولیکی از جمله تغییرات دبی و به‌خصوص یکنواختی پخش آب قطره‌چکان‌ها بستگی دارد (چوپان و امامی، ۱۳۹۷). واقعیت انکارناپذیر در سال‌های اخیر، وجود تعداد بسیاری زیادی سیستم اجرا شده است که متأسفانه تعداد قابل توجهی از آن‌ها به دلیل مسائل ذکرشده غیرفعال شده و یا به حال خود رها شده‌اند؛ و یا این‌که با کارایی کم در حال بهره‌برداری هستند. دانش و آگاهی کم بهره‌برداران، عدم وجود خدمات حمایتی و ضمانتی پس از اجرا، امکان‌سنجی نادرست با توجه به شرایط آب، خاک، اقلیم و گیاه، طراحی کلیشه‌ای با معیارهای غیر میدانی، شیوه اجرایی و استفاده از لوازم با کیفیت پایین، کاربر پسند نبودن و عدم انطباق با شرایط واقعی بهره‌برداری در زمان نگهداری برخی از دلایل این موضوع می‌باشند (علی‌جانی و بهروز، ۱۴۰۰؛ ظریفیان و همکاران، ۱۳۹۹؛ موحدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ اعظمی و

مدیریت‌های متنوع موجود در عرصه بر عملکرد سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در باغات پسته استان یزد و در شرایط کاربرد آب شور انجام شده است.

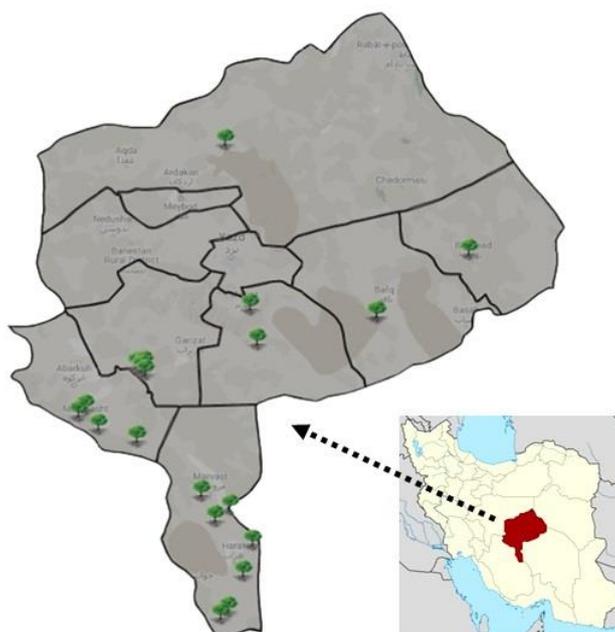
### روش پژوهش

به منظور انجام پژوهش، تعداد ۲۱ باغ پسته بر اساس تنوع در شوری آب آبیاری، سطح زیر کشت، نوع قطره‌چکان‌های مورد استفاده (همگی تنظیم کننده فشار) و پراکنش جغرافیایی مناسب در سطح استان یزد انتخاب گردید (شکل ۱ و جدول ۱). از میان این ۲۱ طرح، دو طرح به دلیل عدم استفاده بهره‌برداران و دو طرح نیز به دلیل عدم وجود آب در هنگام مراجعه و علیرغم هماهنگی‌های قبلی که با بهره‌بردار انجام شده بود قابل ارزیابی نبودند. برای ارزیابی این طرح‌ها، شیفت بحرانی با توجه به نقشه طرح انتخاب و بر اساس دستورالعمل‌های موجود (مریام و کلر، ۱۹۷۸) ارزیابی در آن شیفت انجام شد. بدین منظور در هر شیفت چهار لوله فرعی به ترتیب در ابتدا، یک سوم و دو سوم از ابتدا و انتهای شیفت انتخاب و بر روی هر لوله فرعی قطره‌چکان‌هایی در ابتدا، یک سوم و دو سوم از ابتدا و انتها مورد ارزیابی قرار گرفت. لازم به ذکر است که در تمامی باغات سیستم آرایش به صورت دوردیفه طراحی شده بود (دو قطره‌چکان برای هر نقطه) اما در دو باغ بهره‌برداران تنها یک ردیف (یک قطره‌چکان در هر نقطه) را مورد استفاده قرار می‌دادند؛ بنابراین در مجموع آبدهی تعداد حداقل ۱۶ تا حداکثر ۳۲ عدد قطره‌چکان در هر باغ مورد بررسی قرار گرفت. آبدهی این قطره‌چکان‌ها از طریق اندازه‌گیری حجم آب توسط استوانه مدرج ۵۰ میلی‌لیتر و با دقت بالا در زمان مشخص انجام شد. علاوه بر این در همه لوله‌های فرعی مورد ارزیابی فشار در انتها و در اغلب آن‌ها فشار در ابتدا نیز توسط یک فشارسنج چهار بار اندازه‌گیری شد.

در طولانی مدت نسبت به قطره‌چکان‌های آنتلکو برتری دارد. با این حال، هزار جریبی و همکاران (۲۰۰۸) عنوان نمودند که در قطره‌چکان‌های مورد بررسی نمی‌توان به اطلاعات ارائه شده از سوی کارخانه‌ها در مورد یکنواختی آبدهی قطره‌چکان‌ها اطمینان نمود. همچنین نتایج نصرالهی و همکاران (۱۳۹۲)، نشان دهنده اثرگذاری تغییرات فشار و دما بر قطره‌چکان‌های مختلف است. جمع‌بندی موارد ذکر شده در بالا نشان می‌دهد که اگرچه امروزه تقریباً تمامی مدل‌های معروف و در دسترس بر اساس معیارها و استانداردهای مربوطه ساخته می‌شوند؛ اما پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که تغییر شرایط و عوامل متعدد می‌تواند کارایی آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد و در عمل و کاربرد ممکن است نتایج دیگری را نشان دهند. برخی از این عوامل مانند کیفیت آب آبیاری و یا مدیریت‌های مختلف توسط بهره‌برداران منجر به شکل‌گیری دو سؤال اساسی در بخش اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در باغات پسته در استان یزد به شرح زیر گردیده است که پاسخ به آن‌ها از اهداف اصلی این پژوهش است.

- آیا نوع قطره‌چکان به کار برده شده در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با گذشت زمان بر روی عملکرد این سامانه‌ها در شرایط کاربرد آب شور تأثیرگذار است؟
- آیا مدیریت تأمین و توزیع فشار توسط بهره‌بردار بر روی عملکرد سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در شرایط کاربرد آب شور اثرگذار است؟

بنابراین بررسی تغییرات فشار و نوع قطره‌چکان‌های موجود در سامانه‌های آبیاری اجرا شده در سال‌های اخیر تحت کیفیت‌های مختلف آب آبیاری و مدیریت‌های متنوعی که توسط بهره‌برداران اعمال می‌گردد می‌تواند منجر به کشف نقاط ضعف و مشکلات موجود در بهره‌وری شده و یکنواختی پخش آب در سطح مزرعه و در نتیجه کارایی سیستم را در شرایط مختلف تا حد قابل توجهی افزایش دهد؛ بنابراین پژوهش حاضر باهدف ارزیابی اثرات تغییرات فشار و نوع قطره‌چکان انتخابی در



شکل ۱- نمای کلی و جانمایی باغات مورد استفاده در پژوهش

در این معادله REF ضریب کاهش یکنواختی است و مطابق با دستورالعمل مریام و کلر محاسبه گردید. همچنین در صورتی که آب اضافه‌تر از نیاز در یک چهارم پایین به کار برده شود، AELQ سیستم می‌تواند از نسبت نقصان رطوبت خاک به میانگین عمق آب کاربردی در مناطق خیس شده محاسبه شود. علاوه بر این، برای حالتی که آبیاری ایده‌آل به اندازه نقصان رطوبت و ده درصد اضافه‌تر انجام می‌گردد، مقادیر AELQ و PELQ سیستم با یکدیگر برابر خواهند بود.

علاوه بر ضرایب فوق، میزان تغییرات آبدهی (FV: Flow Variation) نیز اندازه‌گیری شد. این پارامتر که نشان‌دهنده درصد اختلاف بین حداقل و حداکثر آبدهی قطره‌چکان‌های مورد ارزیابی است، می‌تواند به‌خوبی اثر تغییرات فشار و یا گرفتگی‌های احتمالی قطره‌چکان‌ها در شیف‌ها را بیان نماید. همچنین به‌منظور مقایسه نسبی قطره‌چکان‌های مختلف با یکدیگر می‌توان از ضریب تغییرات آبدهی (CV: Coefficient of Variation) که در واقع نسبت میانگین آبدهی به انحراف آن‌ها است و یا انحراف میانگین آبدهی قطره‌چکان از دبی اسمی قطره‌چکان (Q<sub>n</sub>-D: Deviation from nominal flow) که در واقع تفاوت میانگین آبدهی‌های اندازه‌گیری شده با

پارامترهای مهم و قابل‌اندازه‌گیری به‌منظور ارزیابی قطره‌چکان‌ها در این بررسی ضریب یکنواختی پخش یا انتشار آب توسط قطره‌چکان (EU: Emitter Uniformity) در نقاط مختلف مزرعه که به ضریب یکنواختی توزیع یا Distribution Uniformity (DU) نیز معروف است، بودند. این ضریب پس از اندازه‌گیری دبی خروجی از نازل‌ها در نقاط مختلف یک سیستم آبیاری، از طریق فرمول مریام و کلر (۱۹۷۸) قابل محاسبه است.

$$EU = \frac{\bar{Q}_{1q}}{Q_t} * 100 \quad (1)$$

که در این معادله،  $\bar{Q}_{1q}$  میانگین دبی اندازه‌گیری شده در کمترین چارک (ربع) و  $Q_t$  میانگین تمام دبی‌های اندازه‌گیری شده در نقاط مختلف سیستم است.

همچنین بازده واقعی (AELQ) و بالقوه (PELQ) چارک پایین برای سیستم به شرح زیر محاسبه گردید.

$$PELQ_S = ERF * PELQ \text{ و } PELQ = 0.9 * EU \quad (2)$$

برای محاسبه AELQ سیستم در باغات مختلف با توجه به دستورالعمل ذکر شده یکی از سه حالت زیر اتفاق افتاد و مورد استفاده قرار گرفت.

$$AELQ_S = REF * EU \quad (3)$$

مقادیر اسمی ارائه شده توسط سازندگان است، استفاده نمود (مادراموتو، ۱۹۸۸). بنابر پیشنهاد سولومون (۱۹۷۹) در صورتی که ضریب تغییرات کمتر از ده درصد باشد در رده عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد بسیار خوب، ۲۰ تا ۳۰ درصد قابل قبول، ۳۰ تا ۴۰ درصد ضعیف و کمتر از ۴۰ درصد غیر قابل قبول است.

جدول ۱- مشخصات سامانه‌های آبیاری قطره‌ای مورد استفاده در ارزیابی‌ها

ردیف	مساحت (هکتار)	دور آبیاری (ساعت آبیاری)	نوع قطره‌چکان (دبی اسمی l hr <sup>-1</sup> )	میانگین دبی (اندازه‌گیری l hr <sup>-1</sup> )	کیفیت آب آبیاری		
					LDP	LSI	Ec (dS m <sup>-1</sup> )
۱	۲۱/۵	۲۴ (۱۸)	آی دراپ ایرتک (۷/۸)	۸/۹	۰/۱۲	۴/۰	
۲	۱۱	۳۶ (۶)	نتافیم (۸)	۷/۴	۰/۲۸	۱/۴۴	
۳	۶۵	۲۰ (۲۵)	یورودریپ کینگ (۸)	۸/۰۵	-۰/۰۵	۷/۹۳	
۴	۲۲	۱۸ (۶)	یورودریپ (۸/۱۵)	۸/۷۱	۰/۷۸	۱/۳۳	
۵	۳۳	۱۲ (۵)	یورودریپ (۲۶/۲)	۲۳/۴۱	۰/۴۶	۱۲/۷۷	
۶	۳۷	۴۵ (۹)	نتافیم (۲۵)	۱۹/۶۱	۰/۶۵	۳/۹۸	
۷	۲۱	-	یورودریپ (۲۶/۲)	-	۰/۶۵	۳/۹۸	
۸	۱۶	-	یورودریپ (۲۶/۲)	-	۰/۴۳	۱/۵	
۹	۸	۱۰ (۱۲)	یورودریپ (۲۶/۲)	۲۷/۵۶	۰/۲۵	۹/۷۵	
۱۰	۹	۱۰ (۶)	یورودریپ (۲۶/۲)	۲۸/۳۰	۰/۶۴	۱۲/۰۸	
۱۱	۲۴۰	۱۲ (۹)	یورودریپ (۲۶/۲)	۲۳/۸	۰/۳۳	۸/۹۲	
۱۲	۳۸	۱۰ (۶)	یورودریپ (۲۶/۲)	۲۸/۸۶	۰/۷۵	۷/۹۸	
۱۳	۸۰	۷ (۶)	یورودریپ (۲۶/۲)	۱۹/۷۷	۰/۰۵	۸/۴۳	
۱۴	۹۵	۱۲ (۶)	یورودریپ (۸/۱۵)	۷/۳۸	-۰/۱	۹/۶۴	
۱۵	۲۲	۲۰ (۹)	توربو ایران درپ (۸)	۷/۰۷	۰/۵۲	۷/۲۵	
۱۶	۷	۹ (۸)	توربو ایران درپ (۸)	۸/۱۲	۰/۳۴	۱۳/۱	
۱۷	۳۰	-	آنتلکو (۸)	-	۰/۰۲	۹/۳	
۱۸	۶	۳۰ (۱۲)	آنتلکو (۸)	۵/۵۳	۰/۷۹	۱/۷۲	
۱۹	۶۵	۲۰ (۱۲)	نتافیم (۸)	۶/۹۶	۰/۳۴	۱/۲۴	
۲۰	۵/۲۵	-	پرسی (۲۴)	-	۰/۶۶	۱/۲	
۲۱	۴	۷ (۶)	نتافیم (۸)	۸/۶۰	۰/۴۷	۲/۳۷	

در صورتی که مقادیر افزایش یابد این پتانسیل نیز افزایش یافته و احتمال رسوب آهک و در نتیجه گرفتگی تشدید می‌شود. لازم به ذکر است در شرایط بالا بودن دما و در نتیجه فراهم بودن شرایط تبخیر آب خطر گرفتگی توسط رسوب آهک افزایش می‌یابد. اطلاعات مربوط به سطح، برنامه آبیاری مورد استفاده، نوع قطره‌چکان انتخابی، آبدهی اسمی و اندازه‌گیری شده قطره‌چکان‌ها و کیفیت آب آبیاری مورد استفاده در باغات مورد بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است.

علاوه بر موارد ذکر شده، نمایه‌های شاخص اشباع لانژیلر (LSI) (لانژیلر، ۱۹۳۶) و پتانسیل رسوب آهک آب (LDP: Lime Deposition Potential) از طریق اندازه‌گیری کیفیت آب مورد استفاده در طرح‌ها تعیین و بر اساس آن وضعیت و ریسک احتمالی انسداد بررسی گردید.  $LDP = (HCO_3 + CO_3 - 2)$  بر حسب میلی اکی والان در لیتر حد اقل مجموع  $(Ca^{+2} + Mg^{+2})$  یا (۴) بر این اساس، مقادیر مثبت شاخص LSI نشان‌دهنده وجود ریسک رسوب کربنات‌ها و عناصر کلسیم و منیزیم است و در مقادیر نزدیک به صفر و یا منفی این ریسک کاهش می‌یابد. همچنین در مورد LDP در صورتی که مقادیر حاصل کمتر از دو باشد محدودیتی ایجاد نخواهد کرد و پتانسیل رسوب آهک آب کم است اما

## یافته‌ها و بحث

## ارزیابی فنی طرح‌ها

نتایج حاصل از ارزیابی طرح‌های انتخابی در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. بر این اساس، میزان تغییرات یکنواختی پخش (EU) در باغات مختلف از ۷۱/۴۲ تا ۹۵/۶ درصد متغیر بود. تغییرات فشار کارکرد اندازه‌گیری شده در پشت قطره‌چکان‌ها در ابتدا و انتهای لوله‌های فرعی برای طرح‌های مختلف متفاوت بود و از کمترین مقدار (۰/۱ بار) در باغ ردیف شماره دو تا بیشترین مقدار (۱/۷۸ بار) در باغ ردیف شماره ۲۱ متغیر بود. این تغییرات فشار منجر به تغییرات میزان آبدهی در قطره‌چکان‌ها حتی در فشار کارکردهای توصیه‌شده گردید که برای قطره‌چکان‌های با دبی اسمی هشت لیتر در ساعت دامنه تغییرات آبدهی به‌طور متوسط در باغات مختلف از ۵/۵۳ تا ۸/۹ لیتر در ساعت متفاوت بود. علاوه بر این برای قطره‌چکان‌های با آبدهی اسمی ۲۴ و ۲۵ لیتر در ساعت، کمترین مقدار آبدهی متوسط برابر با ۱۹/۶۱ لیتر در ساعت و بیشترین مقدار آن ۲۸/۸۶ لیتر در ساعت مشاهده گردید. به‌طور کلی و از میان طرح‌های موردبررسی، طرح ردیف شماره چهار دارای کمترین (۳/۳ درصد) و طرح ردیف شماره ۱۳ دارای بیشترین (۲۱/۲ درصد) ضریب تغییرات بودند. علاوه بر این، کمترین (۰/۶ درصد) و بیشترین (۲۶/۲ درصد) مقادیر انحراف آبدهی میانگین نسبت به آبدهی اسمی نیز به ترتیب در طرح‌های شماره ۳ و ۱۸ مشاهده گردید. میزان ضریب تغییرات در طرح‌های شماره ۳، ۴، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۹ و ۲۱ کمتر از ده درصد و عالی بودند. طرح‌های شماره ۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ با ضریب

تغییرات تقریباً ۲۰ درصدی در حد فاصل خوب و بسیار خوب و سایر طرح‌ها نیز دارای ضریب تغییرات بسیار خوب در عمل بودند. وجود ضریب تغییرات بیش از ۱۰ درصدی در آبدهی قطره‌چکان‌ها در طرح‌های مختلف اگرچه بر اساس معیار مقایسه در محدوده خوب تا بسیار خوب قرار می‌گیرد اما نشان‌دهنده مدیریت نادرست بهره‌بردار در تأمین و توزیع فشار کارکرد مناسب است. در برخی طرح‌ها (۱، ۵، ۹ و ۱۶) علیرغم تأمین و توزیع فشار کارکرد مناسب ضریب تغییرات بالاتر از ۱۰ درصد بود که می‌تواند نشان‌دهنده گرفتگی احتمالی قطره‌چکان‌ها باشد. نکته‌ای که لازم است در این قسمت به آن توجه شود عمر اجرای طرح‌های مختلف مورد بررسی و در نتیجه تفاوت در عمر قطره‌چکان‌ها است که می‌تواند بر روی نتایج اثرگذار باشد. اگرچه در پژوهش حاضر، تمامی طرح‌ها میزان کارکرد و اجرا بین یک تا هفت سال را داشتند و بنابر ادعای سازندگان، قطره‌چکان‌ها همچنان دارای عمر مفید می‌باشند اما یکی از دلایل نتایج متفاوت برای یک نوع قطره‌چکان در طرح‌های مختلف می‌تواند این موضوع باشد. در پژوهشی با ماهیت کاملاً متفاوت و آزمایشگاهی فراستی و همکاران (۱۳۸۹) اقدام به رتبه‌بندی قطره‌چکان‌های مختلف تنظیم‌کننده فشار نمودند که به نظر می‌رسد نتایج این پژوهشگران اگرچه می‌تواند در انتخاب قطره‌چکان برای طرح‌ها قبل از اجرا کمک کند اما باید توجه نمود که با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر، مدیریت نادرست و تأمین فشار نامناسب در پشت قطره‌چکان می‌تواند منجر به ثبت عملکرد ضعیف‌تر برای قطره‌چکانی شود که مطابق با پژوهش‌های پیشین در رتبه بهتری قرار گرفته بوده است.

جدول ۲- نتایج حاصل از بررسی و ارزیابی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در باغات پسته

ردیف	*PELQ <sub>s</sub>	AELQ <sub>s</sub>	EU	REF	تغییرات فشار (bar)	CV	Q <sub>n</sub> -D	FV
۱	۷۴/۴	۷۴/۴	۸۵/۷	۹۶/۵	-۰/۹ - ۰/۸۵	۱۱/۲	۱۴/۰	۳۳/۸
۲	۳۷/۱	۴۱/۳	۷۳/۴	۵۶/۲	-۱/۰ - ۰/۱	۱۹/۵	-۷/۴	۴۸/۸
۳	۷۹/۱	۸۷/۸	۹۰/۵	۹۷/۰	-۱/۰ - ۰/۷	۸/۲	۰/۶	۲۰/۸
۴	۸۰/۸	۸۹/۸	۹۵/۶	۹۳/۹	-۱/۷ - ۱/۳	۳/۳	۵/۵	۱۰/۲
۵	۶۹/۵	۷۷/۱	۸۳/۴	۹۲/۵	-۰/۷ - ۰/۴	۱۳/۴	-۱۰/۶	۴۰/۲
۶	۴۸/۶	۵۴/۰	۸۰/۲۶	۶۷/۳	-۰/۵ - ۰/۲	۱۵/۶	-۲۱/۵	۳۴/۰
۷	-	-	-	-	-	-	-	-
۸	-	-	-	-	-	-	-	-
۹	۷۲/۳	۷۲/۳	۸۵/۸۵	۹۳/۵	-۱/۷ - ۱/۵	۱۳/۱	۵/۲	۲۸/۳
۱۰	۷۲/۵	۸۰/۶	۸۵/۶۰	۹۴/۲	-۰/۸۵ - ۰/۷	۹/۸	۸	۲۸/۱
۱۱	۷۵/۹	۷۵/۹	۹۲/۵۸	۹۱/۱	-۰/۶ - ۰/۵	۶/۳۵	-۹/۲	۱۷/۵
۱۲	۷۵/۰	۹۴/۷	۹۲/۵	۹۰/۱	-۰/۸۵ - ۰/۵۵	۷/۶	۱۰/۳	۱۹/۷
۱۳	۵۰/۹	۹۲/۲	۷۱/۴۲	۷۹/۱	-۰/۴۵ - ۰/۲	۲۱/۱	-۲۴/۵	۵۳/۹
۱۴	۵۳/۲	۵۹/۱	۷۸/۵۴	۷۵/۳	-۰/۴ - ۰/۲	۱۹/۴	-۱۰/۹	۴۰/۵
۱۵	۵۷/۸	۶۴/۲	۷۵/۹۶	۸۴/۵	-۰/۹ - ۰/۲	۱۹/۱	-۱۱/۵	۴۷/۳
۱۶	۷۰/۰	۷۷/۷	۸۶/۶۴	۸۹/۷	-۰/۶۵ - ۰/۵	۱۳/۱	۱/۵	۴۳/۰
۱۷	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۸	۶۶/۲	۷۳/۷	۷۷/۹۶	۹۴/۵	-۰/۴ - ۰/۳	۱۶/۱	-۲۶/۲	۴۵/۹
۱۹	۷۲/۷	۸۰/۷	۹۱/۷۳	۸۸/۰	-۰/۳۵ - ۰/۲	۶/۱	-۱۳/۰	۱۹/۵
۲۰	-	-	-	-	-	-	-	-
۲۱	۶۳/۶	۷۰/۶	۹۰/۸	۷۷/۸	-۱/۷۸ - ۰/۶	۶/۵	۷/۵	۲۱/۱

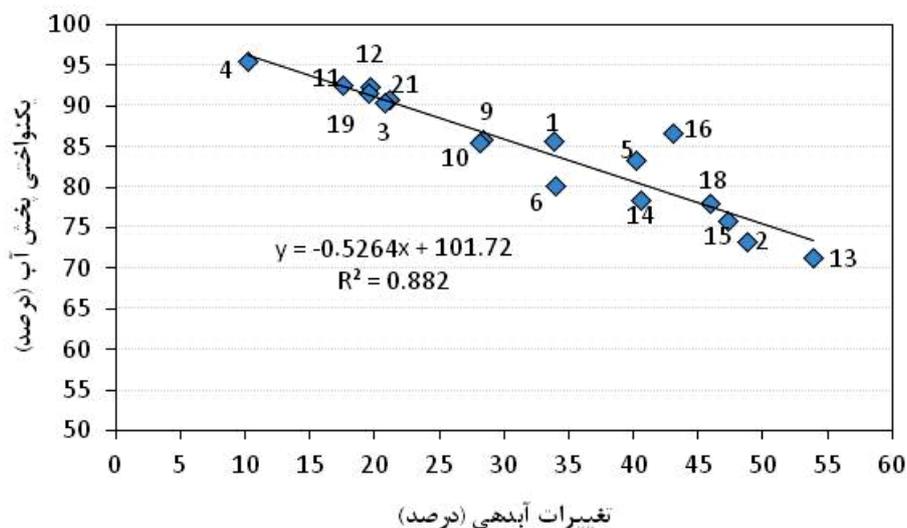
\* همه واحدها بر حسب درصد است. PELQ<sub>s</sub> و AELQ<sub>s</sub> به ترتیب نشان‌دهنده بازده بالقوه و یازده واقعی چارک پایین در سیستم می‌باشند. EU ضریب یکنواختی پخش آب قطره‌چکان‌ها در نقاط مختلف مزرعه، REF ضریب کاهش یکنواختی متأثر از تغییرات فشار، FV درصد تغییرات آبدهی بین حداقل و حداکثر مقادیر اندازه‌گیری شده، CV ضریب تغییرات آبدهی قطره‌چکان‌ها و Q<sub>n</sub>-D نشان‌دهنده درصد انحراف میانگین آبدهی قطره‌چکان‌ها نسبت به آبدهی اسمی است.

دور آبیاری نیز برای طرح‌ها بین ۷ تا ۴۵ روز متغیر بود که در کنار مدیریت‌های متفاوت بهره‌برداری و نگهداری از جمله دلایل احتمالی این تفاوت‌ها می‌باشند. رابطه بین تغییرات آبدهی قطره‌چکان‌ها و یکنواختی پخش آب در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که با افزایش تفاوت بین آبدهی حداقل و حداکثر میزان یکنواختی پخش آب نیز کاهش می‌یابد. اگرچه این نتیجه قابل‌انتظار بود اما باید توجه نمود که یکنواختی پخش ۷۰ تا ۸۰ درصدی اگرچه در گروه پخش آب نسبتاً خوب دسته‌بندی می‌شوند اما در عمل میزان تغییرات آبدهی بین حداقل و حداکثر دبی اندازه‌گیری شده در آن‌ها از ۳۴ تا ۵۴ درصد متغیر است که نشان می‌دهد در برخی از درختان بیش آبیاری و در برخی

در واقع باید عنوان نمود که در پژوهش‌های آزمایشگاهی تفاوت‌ها معمولاً اندک و به دلیل نزدیک بودن نتایج معنی‌داری اتفاق می‌افتد. علاوه بر این و در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که مدیریت آبیاری، تعداد دورهای آبیاری، تغییرات فشار و آبدهی اسمی قطره‌چکان‌ها می‌تواند بر کارایی سیستم تأثیرگذار باشد (میریان و همکاران، ۱۳۹۸ و ابراهیمی و همکاران، ۲۰۱۲). از جمله این مدیریت‌ها می‌توان به دفعات مختلف شستشوی لوله‌های فرعی به‌منظور کنترل و مدیریت گرفتگی قطره‌چکان‌ها اشاره نمود که توسط فنگ و همکاران (۲۰۱۷) انجام شده است. در پژوهش حاضر تنها در یکی از طرح‌ها (شماره ۳) اسیدشویی انجام شده بود و

اسمی بالاتر به یک یا دو عدد کاهش می‌یابد. به‌طورکلی یکنواختی بالا در جایی که مقادیر تغییرات آبدهی (تفاوت بین حداقل و حداکثر) بالا است بحث برانگیز خواهد بود.

دیگر کم‌آبیاری اتفاق افتاده است. این موضوع زمانی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که تعداد قطره‌چکان‌های مورد استفاده برای هر درخت به دلیل استفاده از نمونه‌های با آبدهی



شکل ۲- رابطه بین میزان تغییرات آبدهی قطره‌چکان‌ها با یکنواختی پخش آب در طرح‌های مورد بررسی

$$DU = (1 - 1.35 CV) \times 100 \quad (۵)$$

$$DU = (1 - 1.27 CV) \times 100 \quad (۶)$$

$$DU = (1 - 1.30 CV) \times 100 \quad (۷)$$

#### اثر نوع قطره‌چکان

به‌منظور رسیدن به یکی از اهداف مطرح‌شده در ابتدای پژوهش می‌بایست مشخص شود که آیا نوع قطره‌چکان انتخابی اثری بر کارایی سیستم دارد یا خیر؟ بر اساس نتایج و از بین تعداد نه مدل قطره‌چکان مورد بررسی در این پژوهش با آبدهی‌های متفاوت، در رابطه با قطره‌چکان پرسی با آبدهی ۲۴ لیتر بر ساعت (ردیف ۲۰ جداول ۱ و ۲) به دلیل عدم ارزیابی فنی اطلاعاتی ارائه نمی‌گردد. قطره‌چکان‌های مدل نتافیم با آبدهی ۲۵ لیتر در ساعت (ردیف شش جداول ۱ و ۲) و آنتلکو (ردیف‌های ۱۷ و ۱۸ جداول ۱ و ۲) با آبدهی اسمی هشت لیتر بر ساعت از دیگر نمونه‌های مورد بررسی است که به دلیل تأمین نشدن استانداردهای تأمین و توزیع فشار در باغات مورد ارزیابی نمی‌توان آن‌ها را مورد قضاوت قرار داد.

بررسی دقیق شکل ۲ نشان می‌دهد که یکنواختی کامل و ۱۰۰ درصدی در تغییرات آبدهی حدود سه درصدی رخ خواهد داد که با توجه ضریب تغییرات ساخت موجود بالاتر از سه درصد، در عمل رسیدن به این میزان یکنواختی امکان‌پذیر نخواهد بود. نکته مورد بحث اما شیب کاهش یکنواختی نسبت به تغییرات آبدهی است که خواننده انتظار دارد با شیب تندتری کاهش یابد که در این پژوهش این‌گونه نبوده است. در این رابطه فاریابی و قربانی (۱۳۹۴) نشان دادند که استفاده از معادلات مختلف ارائه‌شده برای محاسبه یکنواختی توزیع و بر اساس توزیع‌های مختلف نرمال، بتا و یکنواخت منجر به نتایج متفاوت و معنی‌دار در شرایط مختلف مزرعه‌ای می‌گردد و نتایج آن‌ها وابسته به شرایط مزرعه است. علاوه بر این، با تعیین رابطه بین تغییرات آبدهی و ضریب تغییرات در این پژوهش ( $FV = 2.572$ ) و جایگذاری مقادیر آن در معادله حاصل از شکل ۲، رابطه بین یکنواختی پخش و ضریب تغییرات مطابق معادله زیر است که شبیه روابط ارائه‌شده برای توزیع‌های نرمال (معادله ۶) و یکنواخت (معادله ۷) است.

## آی دراپ ایریتک (هشت لیتر در ساعت)

بر اساس اطلاعات کارخانه سازنده، قطره‌چکان نو آی دراپ ایریتک (ردیف ۱، جدول ۲) در محدوده تغییرات فشار ۰/۵ تا ۴ بار باید دارای آبدهی اسمی ۷/۸ لیتر در ساعت و ضریب تغییرات سه درصد باشد. در بررسی حاضر، به دلیل کارکرد چند ساله قطره‌چکان‌ها و گرفتگی احتمالی آن‌ها طبیعتاً مقادیر ضریب تغییرات آبدهی در همه طرح‌ها با مقادیر ارائه شده توسط کارخانه سازنده متفاوت و بیشتر خواهد بود اما مقایسه آن‌ها در قطره‌چکان‌های مختلف با یکدیگر در شرایط تأمین و توزیع فشار مناسب می‌تواند مفید واقع گردد. اگرچه در ارزیابی این قطره‌چکان میزان فشار کارکرد در پشت قطره‌چکان (۰/۸۵ تا ۰/۹ بار) در محدوده توصیه شده بود، اما ضریب تغییرات آبدهی آن حدود ۱۱ درصد بود که بسیار خوب است. با این حال، میانگین آبدهی اندازه‌گیری شده این مدل ۱۴ درصد بیشتر از آبدهی اسمی آن بود. از آنجاکه کاهش آبدهی اسمی در اثر استفاده و گرفتگی احتمالی قطره‌چکان‌ها مورد انتظار است، این افزایش نشان می‌دهد که در صورت کاربرد این مدل، لازم است در طراحی سیستم آبدهی اسمی اصلاح گردد و در طرح‌های اجرا شده با این مدل قطره‌چکان تغییرات لازم در برنامه آبیاری اعمال گردد. در واقع و بر اساس نتایج به دست آمده، میزان آب مصرفی در طرح‌هایی که از این مدل استفاده می‌کنند ۱۴ درصد بالاتر از چیزی است که بهره‌بردار طبق برنامه آبیاری به کار برده است. بالا بودن مقادیر ERF و تأمین مناسب فشار تأیید می‌کند که کاربرد مدل مورد بررسی به دلیل ایجاد تغییرات ۳۳ درصدی در آبدهی منجر به PELQ حدود ۷۴ درصدی سیستم می‌گردد. بررسی داده‌های مزرعه‌ای نشان می‌دهد که بهره‌بردار در هر دور آبیاری علاوه بر تأمین کسری رطوبت خاک حدود ۱۰ درصد نیز آب اضافه به کار برده است؛ بنابراین بازده واقعی چارک پایین در سیستم که نشان‌دهنده مدیریت موجود است برابر با بازده بالقوه چارک پایین خواهد شد. به منظور افزایش بازده واقعی در چارک پایین،

بهره‌بردار باید ساعات آبیاری را کاهش و یا دور آبیاری را افزایش دهد.

## یوروپلاست کینگ (هشت لیتر در ساعت)

نمونه دیگری که تنها در یک مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفت مدل یوروپلاست کینگ (ردیف سه، جداول ۱ و ۲) با آبدهی اسمی هشت لیتر در ساعت و ضریب تغییرات ساخت سه درصد بود که از نوع ضد زهکشی (No Drain) نیز است. بنابر ادعای سازنده این نوع قطره‌چکان در فشارهای کمتر از یک بار با کاهش آبدهی روبرو شده و در فشار ۰/۵ بار آبدهی آن صفر می‌گردد. دامنه تغییرات فشار موجود در ارزیابی این مدل از ۰/۷ تا ۱ بار متغیر بود. نتایج نشان داد که میانگین آبدهی قطره‌چکان‌های مورد ارزیابی ۸/۰۵ لیتر در ساعت و ضریب تغییرات آبدهی آن‌ها ۸/۲ درصد است. علاوه بر این، بیش از ۶۰ درصد قطره‌چکان‌های مورد ارزیابی آبدهی کمتر از هشت لیتر در ساعت را نشان دادند و این کاهش آبدهی در اثر کاهش فشار نیز مطابق با ادعای سازنده بود. همچنین، انحراف از آبدهی اسمی برای این مدل کمتر از یک درصد بود. علیرغم کارکرد چند ساله، قطره‌چکان‌های موجود در این طرح وضعیت مطلوب و مشابهی با معیارهای توصیه شده برای قطره‌چکان‌های نو داشتند که دلیل آن را می‌توان به اسیدشویی منظم و استفاده از آب شیرین کن توسط بهره‌بردار نسبت داد. بررسی مقادیر بازده بالقوه و واقعی سیستم در چارک پایین نشان می‌دهد که PELQ این سیستم حدود ۸۰ درصد و AELQ آن ۸۸ درصد است. این نتایج ثابت می‌کند که در چارک پایین، آب کمتر از نیاز در اختیار درختان قرار گرفته است و منجر به بیشتر شدن بازده واقعی نسبت به بازده بالقوه شده است.

## ایران درپ مدل توربو (هشت لیتر در ساعت)

قطره‌چکان ایران درپ مدل توربو با آبدهی اسمی هشت لیتر در ساعت در محدوده فشار کارکرد یک تا سه بار و ضریب تغییرات ۱۰ درصد در دو طرح

شود. در طرح شماره ۱۹ و بر خلاف طرح شماره ۲۱، توزیع فشار مناسب و تأمین آن نامناسب بود. احتمالاً عدم تأمین مناسب فشار منجر به کاهش ۱۳ درصدی میانگین آبدهی نسبت به دبی اسمی در این باغ گردیده است، هر چند که گرفتگی قطره‌چکان‌ها به دلیل کارکرد نسبتاً بالای آن‌ها (شش سال) نیز از دیگر دلایل این کاهش است. ضریب تغییرات پایین آبدهی در این باغ می‌تواند تأیید کننده دلیل دوم مطرح شده باشد زیرا نشان می‌دهد که تمامی قطره‌چکان‌ها با کاهش آبدهی روبرو شده‌اند. در صورت ادامه این مدیریت در باغ مذکور، همواره نیاز آبی کمتری تأمین می‌گردد و همان‌طور که AELQ سیستم نیز تأیید می‌کند کم‌آبیاری در باغ اتفاق افتاده است. توصیه می‌شود که با افزایش ساعات آبیاری و یا اسید شویی قطره‌چکان‌ها نسبت به جبران میانگین آبدهی اقدام شود.

در طرح شماره دو علیرغم عمر پایین سیستم (یک سال) به دلیل دستکاری بهره‌بردار و افزایش طول برخی لوله‌های فرعی، تأمین و توزیع فشار بسیار نامناسب بود به گونه‌ای که هم میانگین آبدهی را با کاهش هفت درصدی نسبت به دبی اسمی روبرو کرد و هم ضریب تغییرات قابل توجه حدود ۲۰ درصدی را نشان داد. این عوامل علاوه بر کاهش یکنواختی پخش، منجر به کاهش REF و در نتیجه بازده‌های بالقوه و واقعی چارک پایین گردید. با توجه به مناسب بودن فشار در ابتدای لوله‌های فرعی در این طرح، به نظر می‌رسد که در صورت برگرداندن طول لوله‌های فرعی به طول اولیه طراحی یکنواختی پخش و بازده‌های چارک پایین به‌طور قابل توجهی افزایش یابد. جمع‌بندی کلی در رابطه با این نوع قطره‌چکان با توجه به داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد که احتمالاً نمونه‌های موجود اصلی نبوده و عمدتاً در قالب‌گیری دارای زائده‌ای مانند آنچه در طرح شماره ۱۹ مشاهده شد می‌باشند و مشکلاتی را برای بهره‌برداران ایجاد خواهند نمود.

(ردیف‌های ۱۵ و ۱۶، جداول ۱ و ۲) مورد ارزیابی قرار گرفت. اگر چه در این دو طرح، معیارهای توصیه‌شده تأمین فشار رعایت نشده بود اما در طرح شماره ۱۶ که تأمین فشار بیشتر و توزیع آن یکنواخت‌تر بود آبدهی میانگین نسبت به آبدهی اسمی انحراف قابل توجهی نداشت و ضریب تغییرات آبدهی نیز حدود ۱۳ درصد و بسیار خوب بود. در مقابل در طرح شماره ۱۵ به دلیل عدم تأمین و توزیع مناسب فشار، میانگین آبدهی نسبت به دبی اسمی ۱۱ درصد کاهش و ضریب تغییرات دبی تا ۱۹ درصد افزایش یافت. در هر دو طرح، بازده واقعی چارک پایین نسبت به بازده بالقوه بیشتر و نشان‌دهنده کم‌آبیاری در چارک پایین بود. دلیل اصلی مقادیر پایین PELQ در این دو طرح عدم تأمین و توزیع مناسب فشار است. افزایش فشار کارکرد در این طرح‌ها منجر به افزایش REF و EU شده و در نتیجه بازده بالقوه و واقعی سیستم را افزایش می‌دهد.

#### نتایم (هشت لیتر در ساعت)

مدل نتایم با آبدهی اسمی هشت لیتر در ساعت در محدوده فشار کارکرد ۰/۵ تا ۴ بار و ضریب تغییرات ادعایی سه درصد توسط سازنده در سه باغ (ردیف‌های ۲، ۱۹ و ۲۱، جداول ۱ و ۲) مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج، مدیریت متفاوت تأمین فشار منجر به رفتارهای متفاوتی در این مدل گردید. در باغ شماره ۲۱، فشار مناسب تأمین و ضریب تغییرات آبدهی کمتر از ۱۰ درصد و عالی بود. همچنین میانگین دبی اندازه‌گیری شده حدود هفت درصد بالاتر از دبی اسمی قطره‌چکان بود. علیرغم تأمین مناسب فشار در این طرح، توزیع آن نامناسب بود و مقادیر REF را تا ۷۸ درصد کاهش داد. علاوه بر این، توزیع نامناسب فشار منجر به کاهش قابل توجه PELQ سیستم گردید درحالی‌که یکنواختی پخش آن بالا و قابل توجه بود. به نظر می‌رسد که دلیل کاهش بازده بالقوه چارک پایین در سیستم، شیب‌دار بودن اراضی است و توصیه می‌گردد با نصب شیرهای فشارشکن و یا تنظیم‌کننده فشار نسبت به بالا بردن بازده واقعی و بالقوه سیستم اقدام

**یورودریپ (هشت لیتر در ساعت)**

می‌رسد که این نوع قطره‌چکان، علیرغم توانایی ایجاد یکنواختی قابل قبول حتی در فشارهای کمتر از ۰/۵ بار، تأمین آبدهی میانگین بالاتری نسبت به مقادیر اسمی ارائه‌شده خواهد داشت و در طراحی سیستم و اجرای برنامه آبیاری باید به این نکته توجه شود.

**یورودریپ (۲۴ لیتر در ساعت)**

پرکاربردترین مدل در ارزیابی‌ها قطره‌چکان یورودریپ با آبدهی اسمی ۲۶/۲ لیتر در ساعت و ضریب تغییرات ساخت چهار درصدی در محدوده فشار کارکرد ۰/۵ تا ۴ بار بود. این مدل در باغ‌های ردیف ۵ و ۹ تا ۱۳ از جداول ۱ و ۲ مورد ارزیابی قرار گرفت. در باغ‌های شماره ۹، ۱۰ و ۱۲ که تأمین فشار مناسب و تا حدود یک‌بار بود، میزان ضریب تغییرات کمتر از ۱۰ درصد و عالی و میانگین آبدهی نیز حدود هفت درصد بالاتر از دبی اسمی بود. نتیجه این توزیع مناسب مقادیر بالای بازدهی برای سیستم در چارک پایین بود. در باغ شماره نه مقادیر آب کاربردی علاوه بر جبران کمبود رطوبت ده درصد نیز بالاتر بود که در این حالت مقادیر بازده بالقوه و واقعی برابر می‌باشند. باغ شماره ۱۱ از نظر مدیریت تأمین آب موردنیاز مشابه با شماره نه بود اما تأمین و توزیع فشار در آن پایین‌تر بود که منجر به کاهش میانگین آبدهی تا ۱۰ درصد نسبت به دبی اسمی گردید. در باغ شماره ۵ نیز علیرغم شوری بالای آب، تأمین و توزیع فشار و آبدهی مشابه باغ شماره ۱۱ بود اما ضریب تغییرات بالاتر از ۱۰ درصد بود و آب موردنیاز کمتری نیز در اختیار گیاه قرار داده شده بود که منجر به بالاتر بودن AELQ سیستم نسبت به PELQ آن گردید. در باغ شماره ۱۳ به دلیل عدم تأمین فشار مناسب، میانگین آبدهی حدود ۲۵ درصد نسبت به دبی اسمی کاهش نشان داد و در نتیجه یکنواختی توزیع و بازده بالقوه چارک پایین در سیستم را کاهش داد. بر خلاف این پارامترها، AELQ سیستم بالاتر از ۹۰ درصد بود که نشان‌دهنده جبران کامل نقصان رطوبت در چارک پایین سیستم علیرغم کاهش قابل توجهی آبدهی است. این جبران در باغ شماره

قطره‌چکان یورودریپ با آبدهی اسمی ۸/۱۵ لیتر در ساعت در محدوده فشار کارکرد ۰/۵ تا ۴ بار و ضریب تغییرات ساخت چهار درصدی در باغ‌های ردیف ۴ و ۱۴ از جداول ۱ و ۲ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مربوط به باغ شماره چهار به‌عنوان تنها طرحی که در آن تمامی فشارها بالاتر از یک بار بود نشان داد که مدیریت مناسب تأمین و توزیع فشار توسط بهره‌بردار منجر به کاهش قابل توجه ضریب تغییرات آبدهی (۳/۳ درصد) و انحراف از آبدهی نسبت به دبی اسمی (۵/۵ درصد) می‌گردد. نکته قابل توجه قرار گرفتن مقادیر این دو پارامتر در محدوده استاندارد برای قطره‌چکان‌های نو علیرغم کارکرد سه ساله آن‌ها بود که نقش و اهمیت مدیریت سیستم را روشن می‌نماید. علاوه بر این، منجر به افزایش مقادیر PELQ و AELQ در سیستم به بالای ۸۰ درصد گردید. بالاتر بودن مقادیر بازده واقعی چارک پایین نسبت به بازده بالقوه نشان می‌دهد که علیرغم افزایش پنج درصدی میانگین آبدهی، آب کمتر از نیاز در چارک پایین به‌کاربرده شده است و احتمالاً تمامی باغ با کم‌آبیاری روبرو است؛ بنابراین، توصیه می‌گردد با افزایش ساعات آبیاری، کاهش دور آبیاری و یا افزودن قطره‌چکان برای هر درخت نسبت به تأمین نیاز آبی مناسب اقدام گردد. برخلاف طرح شماره چهار، شرایط نامناسب تأمین و توزیع فشار در باغ شماره ۱۴، منجر به ضریب تغییرات دبی تا ۲۰ درصد و کاهش آبدهی ۱۰ درصدی نسبت به دبی اسمی گردید. همچنین به دلیل کاهش مقادیر REF، بازده واقعی و بالقوه سیستم تا حدود ۵۰ درصد کاهش یافت. وجود یکنواختی پخش بالا در کنار تغییرات زیاد آبدهی در این باغ نشان می‌دهد که در فشارهای پایین، تغییرات آبدهی این نوع قطره‌چکان نسبت به فشار بسیار بالا است و در مدیریت تأمین فشار سیستم باید مدنظر قرار گیرد. به دلیل قرارگیری این باغ در زمین مسطح، حداقل فشار و کاهش قابل توجه آبدهی در انتهای لوله‌های فرعی رخ داده اما این کاهش به‌طور یکنواخت در تمام طرح وجود داشته و منجر به یکنواختی بالا شده است. به‌طورکلی به نظر

۱۲ نیز اتفاق افتاد که نشان می‌دهد در هر دو باغ مقادیر قابل توجهی آب بیشتر از نیاز مصرف می‌گردد و تغییر ساعات یا دور آبیاری ضروری است. به‌طور کلی نتایج نشان داد که این مدل قطره‌چکان در فشار پایین حدود ۰/۵ بار یکنواختی مناسبی تأمین می‌نماید و آبدهی آن نیز مطابق با تصور عمومی درباره آن یعنی ۲۴ لیتر در ساعت بود. علاوه بر این، در صورت تأمین فشار مناسب و بالا برای کارکرد این مدل، طراحان و باغداران باید دبی اسمی واقعی آن یعنی ۲۶/۲ لیتر در ساعت و یا ۱۰ درصد بالاتر را در محاسبات در نظر بگیرند.

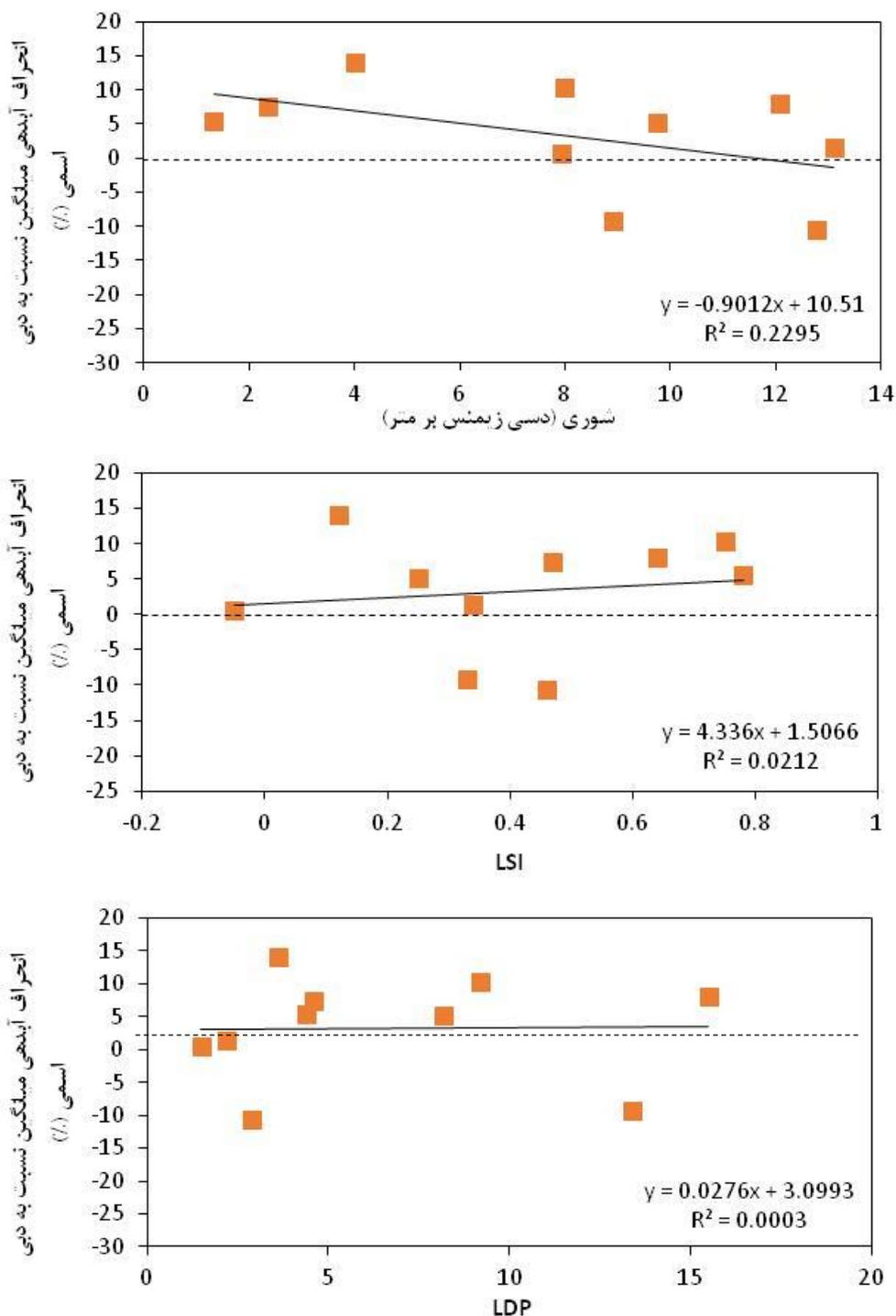
### اثر کیفیت آب آبیاری و تغییرات فشار

نتایج مربوط به شوری آب آبیاری و شاخص‌های LSI و LDP در جدول ۱ در قسمت روش پژوهش ارائه شده است. نتایج نشان داد که اغلب طرح‌ها به دلیل مقادیر مثبت LSI و مقادیر LDP بالای دو دارای پتانسیل رسوب آهک درون قطره‌چکان‌ها و در نتیجه وقوع گرفتگی و انسداد می‌باشند؛ بنابراین از این دیدگاه شرایط یکسانی در اکثر باغات مورد ارزیابی وجود دارد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که به‌عنوان مثال، علیرغم شرایط مناسب برای رسوب آهک و انسداد در باغ‌های ردیف ۹ تا ۱۲ که همگی از یک نوع قطره‌چکان استفاده کرده‌اند و تأمین مناسب فشار کارکرد را تأمین کرده‌اند و شوری‌های متفاوت و البته بالایی را نیز داشته‌اند دارای نتایج یکسانی در یکنواختی و پخش آب می‌باشند و تغییرات آبدهی تقریباً یکسانی نیز داشته‌اند. به‌منظور بررسی اثر کیفیت و شوری آب آبیاری، رابطه بین مقادیر انحراف از آبدهی میانگین نسبت به دبی اسمی و این پارامترها در باغاتی که تأمین و توزیع مناسب فشار مطابق با توصیه کارخانه سازنده داشته‌اند تعیین و در شکل ۳ ارائه شده است. بر این اساس مشاهده می‌شود که با کاهش کیفیت آب آبیاری (افزایش LSI و LDP) و افزایش شوری کاهش معنی‌داری در انحراف از مقادیر میانگین آبدهی رخ نداده است. به نظر می‌رسد که در صورت تأمین و توزیع مناسب فشار، گرفتگی قطره‌چکان‌ها و در نتیجه یکنواختی

پخش آب، کمتر تحت تأثیر شوری قرار بگیرند. هر چند که باید توجه نمود که در پژوهش حاضر تنها هدایت الکتریکی آب‌هایی با خطر رسوب کربنات کلسیم و آهک متفاوت مبنای قضاوت و نتیجه‌گیری بوده است. دلیل این موضوع احتمالاً وجود عوامل رسوب دیگری به‌جز آهک و کربنات کلسیم مانند انواع کربنات‌ها و اکسیدهای منیزیم و آهن است که جزو منابع رسوب و گرفتگی بوده و در این پژوهش اثر این نوع رسوبات دیده نشده است. اگرچه ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴) نشان دادند در شرایط کاربرد آب شور و از نظر آماری، گذشت زمان عملکرد قطره‌چکان‌های تنظیم‌کننده فشار را تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش میزان آبدهی می‌گردد اما بررسی دقیق‌تر داده‌های این پژوهشگران نشان می‌دهد که میزان این کاهش کمتر از یک درصد بوده و در واقع در محدوده ضریب تغییرات ساخت قطره‌چکان‌ها است که طبیعی است. نکته دیگر در یافته‌های پژوهش مذکور تأثیر نوع قطره‌چکان بر یکنواختی پخش سیستم و پارامترهای هیدرولیکی آن است که در تطابق با یافته‌های پژوهش حاضر نیز است. علاوه بر این و در تطابق با نتایج این پژوهش، پیروزر و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که قطره‌های چکان نتافیم و یوردریپ تحت تأثیر شوری‌های مختلف رفتار یکسانی را علیرغم نتایج متفاوت در میزان گرفتگی به نمایش می‌گذارند. بررسی تغییرات فشار در باغات تحت ارزیابی نشان داد که در فشار کارکردهای کمتر از ۰/۵ بار در پشت قطره‌چکان‌ها، افت قابل توجه آبدهی اتفاق می‌افتد و در مقابل در باغاتی که محدوده فشار بالاتر از یک بار را رعایت کرده‌اند آبدهی قطره‌چکان‌ها متناسب با کالانماهای ارائه شده است و تطابق خوبی دارند. با این حال باید توجه داشت که اصولاً و از نظر تئوری نیز تنها عدم تأمین فشار مناسب باعث افزایش انحراف از آبدهی اسمی و توزیع نامنظم آب خواهد گردید. شکل ۴ اثرات تغییر فشار در محدوده فشار کارکرد (۰/۵ تا ۴ بار) را بر روی انحراف آبدهی از دبی اسمی در باغاتی که این میزان فشار را تأمین نموده‌اند نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که هر چه تأمین فشار بیشتری در محدوده کارکرد

آبدهی اسمی در طرح‌های مورد ارزیابی عدم تأمین فشار مناسب است و نوع قطره‌چکان‌ها تأثیر کمتری دارد. علاوه بر این، اثرات تغییر فشار بر اثرات احتمالی گرفتگی در اثر شوری نیز برتری داشته و در صورت تأمین فشار مناسب تأثیر آن را کاهش می‌دهد.

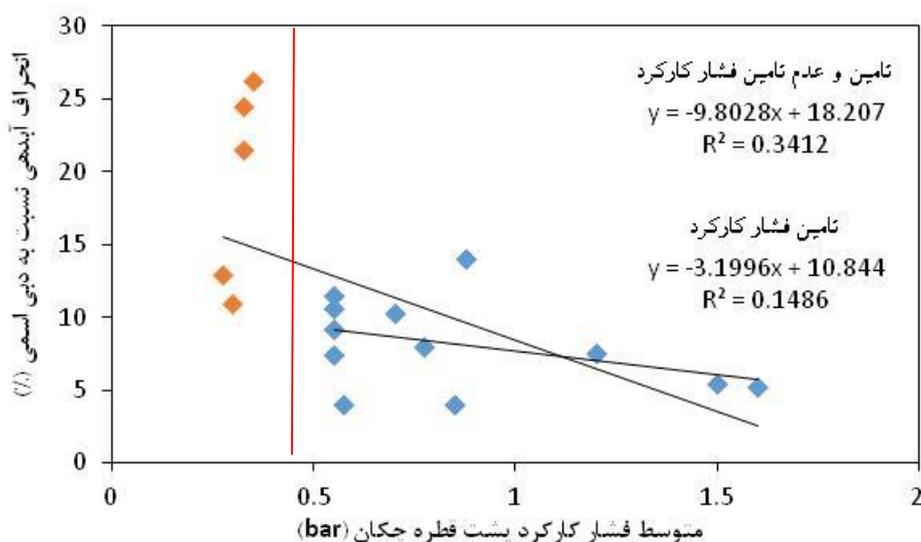
توصیه شده باشد میزان انحراف از آبدهی نیز کاهش می‌یابد. این وابستگی به گونه‌های بود که با لحاظ کردن باغ‌هایی که تأمین فشار در محدوده کارکرد نداشتند میزان همبستگی نیز افزایش یافت. درحالی‌که در محدوده فشار کارکرد این وابستگی انحراف از دبی اسمی به تغییرات فشار بسیار کمتر بود. در واقع نتایج ثابت می‌کند که دلیل اصلی انحراف از



شکل ۳- رابطه بین تغییرات شوری و کیفیت آب آبیاری و انحراف آبدهی میانگین نسبت به دبی اسمی قطره‌چکان‌های مورد بررسی

تائید کننده نتایج متفاوت پژوهش حاضر در مورد قطره‌چکان‌های مختلف نیز است جایی که بر تأثیر نوع قطره‌چکان پس از موضوع تأمین فشار مناسب تأکید شده است. لازم به ذکر است که دلیل این تفاوت ماهیت دو نوع پژوهش نیز است که در پژوهش حاضر در همه طرح‌ها تأمین فشار مناسب وجود نداشته است.

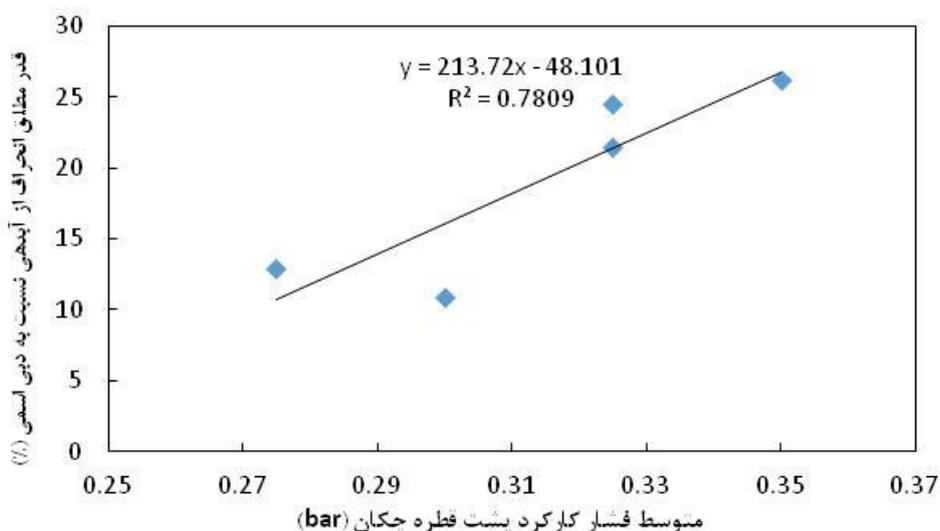
بر خلاف نتایج پژوهش حاضر، غلامی سفیدکوهی و برزگر آخته‌خان (۱۳۹۳) بیان کردند که نوع قطره‌چکان تأثیر معنی‌داری بر گرفتگی و در نتیجه عملکرد دارد. به نظر می‌رسد که در پژوهش مذکور به دلیل مقایسه قطره‌چکان‌های تنظیم‌کننده فشار در کنار غیر تنظیم‌کننده‌ها این نتیجه کلی حاصل شده است. علاوه بر این، از طرفی



شکل ۴- رابطه بین تغییرات فشار متوسط کارکرد و انحراف آبدهی میانگین نسبت به دبی اسمی در قطره‌چکان‌های مورد بررسی

باشد. نکته مهم و قابل توجه، شکل‌گیری روند و تغییرات گسترده و در نتیجه افزایش غیریکنواختی به دلیل عدم تأمین فشار مناسب است که باید مدنظر قرار گیرد. به‌طور کلی و با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، نتایج نشان داد که تأمین فشار مناسب در محدوده فشار کارکرد توصیه‌شده (۰/۵ تا ۴ بار) از ایجاد روند معنی‌دار در تغییرات آبدهی به‌صورت کاهشی یا افزایشی جلوگیری نموده و آبدهی را در محدوده مقبولی نگه می‌دارد.

در محدود باغاتی که میزان متوسط فشار کارکرد تأمین‌شده در پشت قطره‌چکان‌ها کمتر از ۰/۵ بار بود روند در انحراف آبدهی نسبت به دبی اسمی به‌خوبی مشاهده گردید (شکل ۵). بر این اساس و در فشارهای کمتر از ۰/۵ بار به دلیل کاهش قابل توجه آبدهی، میزان انحراف از دبی اسمی نیز دچار تغییرات تا بیش از ۳۰ درصد گردید. لازم به ذکر است که نوع روند در اینجا ثابت‌کننده هیچ موضوعی نیست و این روند می‌توانست در آن محدوده کاهشی نیز



شکل ۵- رابطه بین تغییرات فشار متوسط کارکرد و انحراف ابدهی میانگین نسبت به دبی اسمی در قطره‌چکان‌های موردبررسی در طرح‌های بدون تأمین فشار کارکرد

### نتیجه‌گیری

جمع‌بندی کلی ارزیابی‌های فنی در مزرعه نشان داد که تأمین و توزیع فشار مناسب به‌عنوان اصلی‌ترین عامل که منجر به کارایی بالای سامانه‌ها می‌گردد توسط برخی بهره‌برداران مورد توجه قرار نمی‌گیرد. این عدم توجه که ریشه در عدم دانش مناسب در این زمینه دارد باعث عدم تأمین فشار کارکرد مناسب و در نتیجه کاهش یکنواختی توزیع می‌گردد. در نظر گرفتن جمیع شرایط نشان می‌دهد که هر جا فشار به‌خوبی تأمین و توزیع شده است قطره‌چکان‌ها فارغ از برند و نوع به‌خوبی معیارهای استاندارد را تأمین کرده و نمره قبولی کسب کرده‌اند. با این حال، نمی‌توان همه برندهای موجود را از نظر کارایی یکسان در نظر گرفت. به‌طورکلی می‌توان برای باغاتی که شرایط آن‌ها از نظر نفوذپذیری خاک متناسب با قطره‌چکان‌های با ابدهی هشت لیتر در ساعت است دو نمونه یورودریپ و یوروپلاست کینگ را توصیه نمود و برای جاهایی که ابدهی بالا و تأمین فشار بین ۰/۵ تا ۱ بار مدنظر است یورودریپ ۲۴ لیتر در ساعت قابل توصیه است اما باید توجه نمود که ابدهی اسمی این نمونه بر خلاف شناخت رایج، ۲۴ لیتر در ساعت نبوده و حدود ۲۶ لیتر در ساعت است. در رابطه با کاربرد آب‌های شور، می‌توان

نتیجه‌گیری نمود که در صورت تأمین و توزیع مناسب فشار، اثر شوری و پارامترهای کیفی بر گرفتگی قطره‌چکان‌ها کاهش خواهد یافت. در واقع دامنه قابل توجهی از شوری‌ها و کیفیت‌های مختلف آب آبیاری با قطره‌چکان‌های مختلف موردبررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که با افزایش شوری تغییر معنی‌داری در انحراف ابدهی میانگین قطره‌چکان‌های مختلف نسبت به دبی اسمی آن‌ها به وجود نیامده است. لازم به ذکر است که این نتیجه‌گیری با شرط تأمین و توزیع مناسب فشار به‌دست آمده است و در صورت رعایت نشدن این شرط، می‌تواند معتبر نباشد. علاوه بر این، باید توجه نمود که در پژوهش حاضر تنها هدایت الکتریکی آب‌هایی با خطر رسوب کربنات کلسیم و آهک متفاوت مبنای قضاوت و نتیجه‌گیری بوده و وجود کربنات‌های دیگری مانند منیزیم و آهن که می‌توانند منجر به انسداد شوند موردبررسی قرار نگرفته است.

### قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان این اثر مراتب تشکر و قدردانی خود را از مدیریت آب‌و‌خاک استان یزد بابت تأمین اعتبار و همکاری در اجرای این پژوهش اعلام می‌نمایند.

## فهرست منابع

۱. ابراهیمی، م.، شریفان، ح.، هزارجریبی، ا و حسام، م. ۱۳۹۴. بررسی عملکرد چهار نوع قطره‌چکان در شرایط به‌کارگیری آب‌شور. مجله آبیاری و زهکشی ایران، دوره ۹، شماره ۲. صفحات ۳۹۸-۳۹۱.
۲. اعظمی، ا.، زرافشانی، ک.، دهقانی سانچ، ح و گرجی، علی. ۱۳۹۰. تحلیل رضامندی کشاورزان از اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار در استان کرمانشاه، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، دوره ۲۵، شماره ۴. صفحات ۸۵۳-۸۴۵.
۳. پروینی، م و معروف پور، ع. ۱۳۹۲. بررسی ضریب تغییرات ساخت و یکنواختی ریزش قطره‌چکان‌های تنظیم‌کننده فشار رایج در کشور. مجله آبیاری و زهکشی ایران، دوره ۷، شماره ۲. صفحات ۲۳۱-۲۴۲.
۴. پیروزفر، و.ر.، برومند نسب، س.، محمدی سلطانی، ا و معاضد، ه. ۱۳۹۳. بررسی عملکرد قطره‌چکان نتافیم و یورودریپ در شوری‌های مختلف آب آبیاری. دومین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار. تهران، <https://civilica.com/doc/309894>
۵. سهرابی، ت.، اکرام نیا، ف و میراب‌زاده، م. ۱۳۷۸. ارزیابی خصوصیات هیدرولیکی قطره‌چکان‌های ساخت داخل. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۰ شماره ۲. صفحات ۲۷۶-۲۶۳.
۶. چوپان، ی. و امامی، س. ۱۳۹۷. تأثیر کاربرد فاضلاب تصفیه‌شده بر تغییرات دبی قطره‌چکان‌ها، دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، اصفهان، <https://civilica.com/doc/856089>
۷. ظریفیان، ش.، رستمی، ج و پیش بهار، ا. ۱۳۹۹. عوامل مؤثر بر به‌کارگیری سامانه‌های نوین آبیاری در توسعه کشاورزی پایدار (مطالعه موردی: شهرستان بستان‌آباد، استان آذربایجان شرقی). نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، دوره ۳۰، شماره ۳. صفحات ۲۲۹-۲۱۷.
۸. عابدی کویایی، ج. و بختیاری فر، ع. ۱۳۸۳. تأثیر پساب تصفیه‌شده بر خصوصیات هیدرولیکی انواع قطره‌چکان‌ها در سیستم آبیاری قطره‌ای. نشریه علوم آب‌و‌خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، دوره ۸ شماره ۳. صفحات ۴۲-۳۳.
۹. علیجانی، ف و بهروز، ش. ۱۴۰۰. بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش سیستم آبیاری تحت‌فشار تجمیعی (مطالعه موردی باغداران شهرستان تاکستان، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات اقتصاد کشاورزی، دوره ۱۳، شماره ۳. صفحات ۵۶-۴۲).
۱۰. غلامی سفیدکوهی، م. ع و برزگرآخته، خ. ع. ۱۳۹۳. تأثیر مدیریت آبیاری و نوع قطره‌چکان بر گرفتگی قطره‌چکان در منطقه ساری. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. دوره ۲۸، شماره ۲. صفحات ۳۹۴-۳۸۵.
۱۱. فاریابی، ا و قربانی، ب. ۱۳۹۴. ارزیابی معادلات یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی و امکان استفاده آن‌ها در شرایط مختلف مزرعه‌ای. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. دوره ۲۹، شماره ۴. صفحات ۵۳۶-۵۲۵.
۱۲. فراستی، م.، بهزاد، م و برومندنسب، س. ۱۳۸۹. بررسی عملکرد چند نوع قطره‌چکان تنظیم‌کننده فشار موجود در بازار ایران. علوم مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، دوره ۳۳ شماره ۱. صفحات ۳۰-۱۵.
۱۳. فولادمنند، ح.ر. ۱۳۸۸. اصول آبیاری. انتشارات نوید شیراز. ۲۲۳ صفحه.
۱۴. کریمی، ن.، قوچانی، ح.، طاحونه دار، م و یقینی، ف. ۱۳۹۰. ارزیابی قطره‌چکان‌های مورد استفاده در آبیاری تحت‌فشار. اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، کرج، <https://civilica.com/doc/173404>
۱۵. موحدی، ر.، ایزدی، ن و وحدت ادب، ر. ۱۳۹۶. بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری آبیاری تحت‌فشار بین کشاورزان شهرستان اسدآباد. پژوهش آب در کشاورزی، دوره ۳۱، شماره ۲. صفحات ۳۰۰-۲۸۷.

۱۶. میریان، ص.، شریفی پور، م و نصرالهی، ع. ح. ۱۳۹۸. اثر مدیریت آبیاری، دبی و فشار کارکرد بر گرفتگی قطره‌چکان‌های تنظیم‌کننده فشار. تحقیقات آب‌و‌خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۹. صفحات ۲۲۳۸-۲۲۲۸.
۱۷. نصرالهی، ع. ح.، بهزاد، م.، برومند نسب، س و حیدری نیا، م. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر تغییرات فشار روی مشخصات هیدرولیکی قطره‌چکان‌های تنظیم‌کننده فشار. مجله علوم آب‌و‌خاک. جلد ۱۷ شماره ۶۶. صفحات ۲۳۳ تا ۲۲۵.
۱۸. هزارجریبی، ا.، و قربانی نصرآبادی، ق.، و فضل اولی، ر.، و عابدین پور، م. ۱۳۹۲. بررسی عملکرد هیدرولیکی سه نوع قطره‌چکان خارجی تنظیم شونده در فشارهای کارکرد مختلف. پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۰(۱)، ۱۹۹-۲۱۱.
19. Ebrahimi, H., Golkar hamzee, H., Tavasoli, F. and Nazarjani, M. (2012). Evaluation of Emitter Clogging in Trickle Irrigation with Wastewater. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2(5), 5288-5291.
20. Feng, D., Kang, Y., Wan, S. and Liu, S., 2017. Lateral flushing regime for managing emitter clogging under drip irrigation with saline groundwater. *Irrigation science*, 35(3), pp.217-225.
21. Karami, E. (2006). Appropriateness of farmers' adoption of irrigation methods: The application of the AHP model. *Agricultural systems* 87.1: 101-119.
22. Kirnak, H., DOĞAN, E., Demir, S., & Yalçın, S. (2004). Determination of hydraulic performance of trickle irrigation emitters used in irrigation systems in the Harran Plain. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 28(4), 223-230.
23. Langelier, W.F. (1936). The Analytical Control of Anti-Corrosion Water Treatment. *Journal of American Water Works Association*, 28 (10), 1500-1521.
24. Madramootoo, C. A. (1988). Effect of pressure changes on the discharge characteristics of pressure compensating emitters *Journal of Agricultural Engineering Research*, 40(2) 159-164.
25. Merriam, J.L., Keller, J., (1978). *Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management*. Department of Agricultural and Irrigation Engineering, Utah State University, Logan.
26. Solomon, K., (1979). Manufacturing variation of trickle emitters. *Transactions of the ASAE*, 22(5) 1034-1038.



## اثر تنش شوری و روش کاشت بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی شیرین بیان در گلخانه

هانیه حمیدیان، حمید سودائی زاده<sup>۱</sup>، رستم یزدانی بیوکی، محمد علی حکیمزاده اردکانی،

مهدی سلطانی گردفرامری و ساره خواجه حسینی

دانشجوی کارشناسی ارشد شیمی و حاصلخیزی خاک، دانشکده منابع طبیعی و کورشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. [hhani6074@gmail.com](mailto:hhani6074@gmail.com)

دانشیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. [hsodaie@yazd.ac.ir](mailto:hsodaie@yazd.ac.ir)

استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. [R.yazdani@areeo.ac.ir](mailto:R.yazdani@areeo.ac.ir)

دانشیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. [hakim@yazd.ac.ir](mailto:hakim@yazd.ac.ir)

کارشناس پژوهش بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، یزد، ایران. [m\\_soltani50@yahoo.com](mailto:m_soltani50@yahoo.com)

دانش آموخته دکتری گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان، دامغان، ایران. [sarehkhajhosseini@gmail.com](mailto:sarehkhajhosseini@gmail.com)

دریافت: مهر ۱۴۰۱ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۱

### چکیده

پژوهش گلدانی حاضر با هدف بررسی پاسخ گیاه شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) به روش‌های مختلف کاشت و سطوح مختلف شوری آب به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مرکز ملی تحقیقات شوری در استان یزد انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل پنج سطح شوری آب (شوری ۰/۹ (شاهد)، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) به عنوان فاکتور اول و روش کاشت (نشاء و کاشت مستقیم بذر) به عنوان فاکتور دوم بودند. در این پژوهش صفات مورفولوژیکی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، سطح برگ، وزن خشک کل، و صفات فیزیولوژیکی شامل میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید و همچنین میزان عناصر سدیم و پتاسیم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین میزان ارتفاع گیاه (۶۲ سانتی‌متر)، تعداد شاخه جانبی (۷۰ عدد در بوته)، سطح برگ (۱۰۳۲ سانتی‌متر مربع)، وزن خشک کل (۲/۶۸ گرم در بوته) در تیمار شوری شاهد و کاشت نشاء، کاروتنوئید (۵/۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کلروفیل کل در تیمار شاهد و کشت بذر (۵۱/۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر)، سدیم در تیمار شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و کشت نشاء (۱۵/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک)، پتاسیم در تیمار شاهد و کشت بذر (۱۴/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) مشاهده شد. نیز، با افزایش شوری تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، ارتفاع در هر دو روش کاشت کاهش یافت. همچنین افزایش شوری تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، منجر به کاهش ۸۴٪ تعداد شاخه جانبی و ۸۸/۵٪ سطح برگ شد. پارامترهای کلروفیل کل، کاروتنوئید و پتاسیم نیز به طور معنی‌داری کاهش نشان داد ولی میزان یون سدیم روند افزایشی داشت. کشت نشاء در بیشتر پارامترها به غیر از صفات کلروفیل کل و سدیم نتایج بهتری داشت. افزایش تنش شوری منجر به کاهش ارتفاع، تعداد شاخه جانبی، سطح برگ و همچنین میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید گردید. بطور کلی روش کاشت نشاء از کارایی بالاتری نسبت به کشت مستقیم بذر برخوردار بوده و با توجه به نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌گردد که در شرایط با منابع آب شور و کمبود آب شیرین آبیاری نشاء با آب شیرین انجام شود و بعد از انتقال نشاء، آبیاری با آب شور صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی: آب شور، سمیت سدیمی، نشاکاری، کشت مستقیم بذر، شورپسند

## مقدمه

شوری بالا در خاک‌های کشاورزی و آب آبیاری، گیاه را با تنش مواجه کرده که همین امر یکی از مشکلات اساسی در تولید محصولات کشاورزی به شمار می‌آید (زو و مو، ۲۰۱۶). تنش شوری رشد گیاه را توسط فرآیندهای فیزیولوژیکی همچون فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تنظیم اسمزی، جذب یونی، سنتز پروتئین، سنتز اسید نوکلئیک، فعالیت آنزیمی و تعادل هورمونی به تأخیر انداخته و همچنین بر روند انتقال آب و یونها تأثیر گذاشته که در نتیجه سمیت یونها و عدم تعادل تغذیه‌ای ایجاد شده و به دنبال آن ویژگی‌هایی نظیر وزن خشک، ارتفاع گیاه و سطح برگ به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرند (مانس و تستر، ۲۰۰۸؛ تاز و زایگر، ۲۰۱۰). تنش شوری بعد از تنش خشکی از موانع اصلی در تولید گیاهان دارویی در بسیاری از مناطق به‌ویژه مناطق خشک است (گنجعلی و همکاران، ۱۳۹۶). در همین راستا، پژوهشگران گزارش کردند که شوری ناشی از کلرید سدیم، شاخص‌های رشدی گیاه دارویی خرفه، از قبیل طول ریشه، وزن تر ریشه، کلروفیل b و کلروفیل کل را کاهش می‌دهد (طالعی و همکاران، ۱۳۹۷). در پژوهشی دیگر، افزایش شوری در محیط هیدروپونیک، کاهش وزن تر ساقه، وزن تر و خشک ریشه و طول ساقه در اسطوخودوس را به دنبال داشت (خراسانی نژاد و همکاران، ۱۳۹۵).

استفاده از گیاهان مقاوم به شوری می‌تواند در قالب راهکاری مناسب به‌منظور کاهش اثرات شوری و افزایش بهره‌وری از آب‌ها و زمین‌های شور مطرح شود (حیدری و کریمی، ۱۳۹۷). گیاهان شورپسند گیاهانی با پتانسیل بالقوه اقتصادی هستند که علاوه بر اینکه کمک شایانی به ترمیم و تجدید محیط‌زیست می‌کنند، به‌واسطه دارا بودن مواد فعال زیستی سبب ارتقاء سلامتی نیز شده و به‌عنوان ذخیره منابع دارویی نیز کاربرد دارند (قسیم و همکاران، ۲۰۱۱).

شیرین‌بیان از جمله گونه‌های شورپسند بوده و به‌عنوان گیاهی مناسب برای احیاء اراضی خشک و شور به کار می‌رود (یزدانی بیوکی و همکاران، ۱۳۹۹). شیرین‌بیان با نام علمی *Glycyrrhiza glabra L.*، از خانواده بقولات<sup>۱</sup>، گیاهی چندساله با ارتفاعی متفاوت، بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر بوده و دارای برگ‌هایی مرکب و به رنگ سبز تیره با گل‌هایی به‌صورت مجتمع در انتهای ساقه‌های گل‌دهنده و به رنگ زرد است (قه‌رمان، ۱۳۷۸؛ امیدبیگی، ۱۳۸۴). این گیاه ملین، خلط‌آور و مدر بوده و در درمان بیماری‌های زخم معده و اثنی‌عشر، بیماری‌های دستگاه تنفسی مانند برونشیت و التهاب نای به کار می‌رود (نصیری اصل و حسین زاده، ۱۳۸۶). مطالعات محدودی در زمینه اثر تنش شوری بر رشد شیرین‌بیان صورت گرفته است. در این رابطه نتایج یک پژوهش، نشان‌دهنده افزایش در میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شیرین‌بیان و تحمل بالاتر این گیاه با افزایش سطوح شوری بود (حسینی و همکاران، ۱۳۹۸). در آزمایشی دیگر با افزایش سطح تنش شوری در شیرین‌بیان، میزان وزن خشک، ارتفاع بخش هوایی و طول ریشه و همچنین مقدار پتاسیم و فسفر در بخش هوایی کاهش یافت (خدابندلو و همکاران، ۱۳۹۸).

مدیریت مناسب مراحل مختلف کاشت محصول همچون تهیه بستر، وضعیت قرارگیری بذر در خاک، سیستم کاشت، مدیریت آبیاری و آشنویی و سایر جنبه‌های مدیریت زراعی در کاهش اثر تنش شوری بر تولید، برای دستیابی به عملکرد اقتصادی و تولید پایدار در شرایط شور ضروری به نظر می‌رسد (طباطبائیان، ۲۰۱۴). روش کاشت گیاه از جمله عواملی است که می‌تواند بر میزان مقاومت به شوری گیاه تأثیرگذار باشد (گراتان و همکاران، ۲۰۰۴). نتایج بررسی‌ها نشان داده که در مناطق دارای منابع آب‌وخاک به نسبت شور، کاشت گیاهانی مثل چغندر قند به‌صورت نشاء، با اطمینان ۹۹ درصد بهتر از کاشت مستقیم بذر آن گیاه بوده است (گوهری، ۱۳۷۳).

### مواد و روش‌ها

این پژوهش گلدانی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در گلخانه مرکز ملی تحقیقات شوری به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. عامل‌های آزمایش شامل پنج سطح شوری (شوری ۰/۹ (شاهد)، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) به‌عنوان عامل اول و دو نوع روش کاشت (نشاء و کاشت مستقیم بذر) به‌عنوان فاکتور دوم بودند. بذرهای شیرین‌بیان از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شدند. در آذرماه سال ۱۳۹۸، به‌منظور کاشت، بذرهای شیرین‌بیان به دلیل پوسته سخت، ابتدا به مدت ۱۰ دقیقه در اسید سولفوریک ۹۵٪ خیس‌انده شده و سپس برای تولید نشاء، در سینی‌های محتوی کوکوپیت، پرلیت و ورمی‌کمپوست با نسبت حجمی ۶۵:۱۵:۲۰ درصد کاشته شدند. سینی‌ها بلافاصله پس از کاشت، با آبی با هدایت الکتریکی ۰/۹ دسی‌زیمنس بر متر آبیاری گردیدند. بعد از اینکه گیاه رشد اولیه را سپری کرده و گیاهچه‌ها به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر رسیدند، به گلدان‌های هفت کیلویی محتوی خاک، ماسه و کود دامی با نسبت حجمی ۱:۱:۲ منتقل شده و بلافاصله تیمارهای شوری اعمال شدند. به‌منظور روش کاشت مستقیم نیز، بذرهای گلدان‌های هفت کیلوگرمی محتوی خاک، ماسه و کود دامی با نسبت حجمی ۱:۱:۲ هم‌زمان با انتقال نشاها به گلدان کشت گردیدند (عسکرزاد و همکاران، ۱۳۹۸). بلافاصله پس از کاشت، نسبت به اعمال تیمارهای شوری اقدام شد. نتایج تجزیه خاک مورد استفاده در پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

یزدانی بیوکی (۱۴۰۰) با ارزیابی سطوح شوری ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر بر گیاه دارویی شیرین‌بیان در محیط کنترل‌شده نشان داد که شیب کاهش عملکرد ماده خشک اندام هوایی گیاه به ازای هر واحد افزایش شوری بر حسب دسی‌زیمنس بر متر برابر با ۵/۵۰ درصد است. همچنین میزان شوری آب آبیاری که سبب کاهش عملکرد ۵۰ درصدی و عملکرد صفر شد به ترتیب برابر با ۱۰/۹۸ و ۲۱/۰۶ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شد. بهنام نیا و شنوایی زارع (۱۳۹۲) با مطالعه چهار سطح تنش شوری صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در شرایط آزمایشگاهی بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه شیرین‌بیان گزارش کردند که شوری موجب کاهش ماده خشک گیاه گردید. آن‌ها همچنین نشان دادند که افزایش سطوح شوری پارامترهای بیوشیمیایی نظیر آنتوسیانین، پرولین،  $H_2O_2$ ، MDA، قندهای احیایی و فعالیت آنزیم گایکول پراکسیداز را افزایش داد. همچنین مقدار ترکیبات فنلی در برگ با افزایش غلظت کلرید سدیم کاهش و در ریشه افزایش پیدا کرد. بهداد و همکاران (۲۰۲۰) با مطالعه اثرات تنش شوری ۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ میلی‌مولار نمک طعام بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شیرین‌بیان گزارش کردند که شوری به‌طور معنی‌داری پارامترهای رشدی گیاه را کاهش داد. تاکنون مطالعه‌ای در زمینه اثر روش کاشت و شفاف‌سازی بهترین روش، به‌منظور تحمل بیشتر این گیاه صورت نگرفته است؛ بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر روش کاشت بر تحمل به شوری گیاه شیرین‌بیان انجام شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS.m <sup>-1</sup> )	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	فسفر قابل دسترس (درصد) Phosphorus (%)	پتاسیم قابل دسترس (درصد) Potassium (%)	شن (درصد) Sand (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	رس (درصد) Clay (%)	بافت خاک Soil texture
7.53	3.45	0.01	0.000592	0.0141	58	13	29	Sandy clay loam

تیمار، وجود داشت و حجم آب داده شده به گلدان‌ها از طریق توزین آن‌ها قبل از هر نوبت آبیاری و محاسبه اختلاف وزن گلدان با نقطه ظرفیت زراعی خاک به دست آمد. با هدف کنترل شوری، پس از هر آبیاری، شوری زهکش‌ها با دستگاه EC متر اندازه‌گیری گردید و سعی شد تا میزان حجم زهکش به بیش از ۳۰ درصد حجم آبیاری تجاوز نکند (یزدانی بیوکی و همکاران، ۱۳۹۹).

به‌منظور تهیه سطوح مختلف شوری، از آب شهر به‌عنوان آب غیر شور و آب چشمه کویر استان یزد به‌عنوان آب شور استفاده شد. به این منظور قبل از آبیاری، سطوح مختلف با مخلوط کردن نسبت‌های مختلف آب غیر شور با آب شور (جدول ۲) تهیه شدند. نتایج تجزیه آب آبیاری در این آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. امکان تعیین رطوبت خاک گلدان‌ها به‌صورت روزانه با توجه به توزین روزانه گلدان‌های معرف در هر

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

تیمار Treatment	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (dS. m <sup>-1</sup> )	اسیدیته pH	نسبت جذب سدیم SAR	سدیم Sodium (Na <sup>+</sup> )	پتاسیم Potassium (K <sup>+</sup> )	منیزیم Magnesium (Mg <sup>2+</sup> )	کلسیم Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	سولفات Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	کلر Chlorine (Cl <sup>-</sup> )	بی‌کربنات Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	کربنات CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
میلی‌اکی‌والان بر لیتر (mEq.L <sup>-1</sup> )											
منبع آب غیر شور Non-saline water resource	0.9	8.05	3.9	11.74	0.1	8.42	9.7	9.75	17.31	0.9	0
منبع آب شور Non-saline water resource	10	8	28.83	80.73	0.21	12.88	3.26	7.82	86.48	2.77	0

آن‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. همچنین میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید برگ‌ها با استفاده از روش آرنون (۱۹۴۹) محاسبه شد. مقادیر سدیم و پتاسیم بخش هوایی گیاه نیز با کمک روش والینگ و همکاران (۱۹۸۹) با استفاده از فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد. مقادیر میانگین شوری زهکش برای سه تکرار در جدول ۳ گزارش شده است. داده‌های بدست آمده، با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح پنج درصد و رسم نمودارها و جداول نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

هفت ماه پس از اعمال تنش شوری، در خرداد ۱۳۹۹ قسمت‌های رویشی بوته‌ها برداشت گردید. سپس صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، سطح برگ، وزن خشک، میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید و همچنین میزان عناصر سدیم و پتاسیم مورد بررسی قرار گرفتند. بدین منظور، ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش، تعداد شاخه جانبی شمارش و سطح برگ و برگچه‌ها با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج (Windias 3) اندازه‌گیری گردید. سپس بوته‌ها (بخش هوایی) به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در دستگاه آون قرار گرفته و سپس وزن خشک

جدول ۳- میانگین شوری زه آب گلدانها در طول آزمایش

تیماها (Treatments)	شوری زه آب EC <sub>dw</sub> (dS.m <sup>-1</sup> )
تنش شوری salinity stress	روش کاشت cultivation type
شاهد (Control)	بذر seed
	نشاء seedling
3 (دسی‌زیمنس بر متر) 3 (dS. m <sup>-1</sup> )	بذر seed
	نشاء seedling
6 (دسی‌زیمنس بر متر) 6 (dS. m <sup>-1</sup> )	بذر seed
	نشاء seedling
9 (دسی‌زیمنس بر متر) 9 (dS. m <sup>-1</sup> )	بذر seed
	نشاء seedling
12 (دسی‌زیمنس بر متر) 12 (dS. m <sup>-1</sup> )	بذر seed
	نشاء seedling

### نتایج و بحث

#### تعداد شاخه جانبی

دسی‌زیمنس بر متر، کاهش ۸۴ درصدی تعداد شاخه جانبی نسبت به شاهد را به دنبال داشت (جدول ۴).

به‌طورکلی با افزایش شوری، پتانسیل اسمزی و در نتیجه انرژی آزاد آب کاهش یافته و در نتیجه گیاه را برای جذب آب با مشکل مواجه می‌کند (حیدری شریف‌آباد، ۱۳۸۰). در چنین شرایطی شاخه‌دهی زیاد صفت نامطلوب به حساب آمده، زیرا باعث افزایش سطح تعرق کننده و اتلاف آب می‌گردد (کیم و کرونستاد، ۱۹۸۱). در پژوهش حاضر نیز کاهش در تعداد شاخه‌های جانبی را می‌توان به‌عنوان راه‌حلی در کاهش اتلاف آب در گیاه نسبت داد. پژوهشگران نیز کاهش در تعداد شاخه جانبی را با افزایش تنش شوری در گیاه کینوا گزارش کردند (جمالی و انصاری، ۱۳۹۸). علت عدم معنی‌دار بودن روش کاشت در تعداد شاخه جانبی می‌تواند به علت تحت کنترل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنها اثرات ساده سطوح مختلف تنش شوری در سطح یک درصد بر تعداد شاخه جانبی گیاه معنی‌دار بودند (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نیز کاهش معنی‌داری در تعداد شاخه جانبی با افزایش تنش شوری را نشان داد. در کل بیشترین تعداد شاخه جانبی در تیمارهای شاهد (۷۰/۱۷ بر بوته) و سه دسی‌زیمنس بر متر (۵۷ بر بوته) مشاهده شد و در تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کمترین تعداد شاخه جانبی (۱۱ بر بوته) بدست آمد که دارای اختلاف معنی‌داری با تیمارهای شش و نه دسی‌زیمنس بر متر نبوده و در یک سطح آماری قرار گرفتند. افزایش تنش شوری تا ۱۲

بودن ژنتیکی صفت تعداد شاخه‌های جانبی باشد، به‌طوری‌که نتایج مطالعات رضایی و همکاران (۱۴۰۰) بر عملکرد و اجزای عملکرد پنبه در سامانه‌های کشت نشایی و مستقیم بذر در شرایط آب و هوایی گرگان نشان داد که هیچ‌کدام از صفات فنولوژیکی تحت تأثیر روش کاشت قرار نگرفتند. همچنین سایر محققان (امیرمادی و رضوانی مقدم، ۱۳۹۰؛ تدین و همکاران، ۱۳۹۲) نیز نشان دادند که

صفات فنولوژیکی تحت کنترل ژنتیکی بوده و تحت تأثیر روش کاشت قرار نمی‌گیرد. به نظر می‌رسد در مطالعه‌ی حاضر نیز تعداد شاخه‌های جانبی جزو صفاتی هستند که تحت کنترل ژنتیک بوده و به لحاظ اینکه در پژوهش حاضر از یک توده بذر استفاده شد، لذا این صفت تحت تأثیر روش کاشت قرار نگرفته است.

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra L.*) تحت سطوح مختلف تنش شوری و روش کاشت

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	ارتفاع Height	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branch	سطح برگ Leaf area	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight
تنش شوری Salinity Stress (S)	4	1287.65**	3644.13**	836947.88**	3.19**
روش کاشت Cultivation type (CT)	1	1291.71**	700.83 <sup>ns</sup>	702802.55**	17.18**
تنش شوری × روش کاشت S × CT	4	265.06**	286.66 <sup>ns</sup>	14905.54 <sup>ns</sup>	11.17**
خطای آزمایش Error	20	37.85	229.56	6174.37	3.68
درصد تغییرات C.V(%)		15.97	3.96	14.6	3.67
منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل کل Total Chlorophyll	سدیم Na <sup>+</sup>	پتاسیم K <sup>+</sup>
تنش شوری salinity Stress (S)	4	9.04**	677.81**	149490616.3**	122757677**
روش کاشت Cultivation type (CT)	1	4.03 <sup>ns</sup>	646.19**	10778.14 <sup>ns</sup>	26244138.87*
تنش شوری × روش کاشت S × CT	4	4.54*	431.83**	116645198.7**	16418424.54*
خطای آزمایش Error	20	0.76	34.02	5001512.93	3724956.48
درصد تغییرات C.V(%)		8.17	12.23	6.29	9.16

<sup>ns</sup>، \* و \*\* به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد است

جدول ۵ - نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده تنش شوری و روش کاشت بر تعداد شاخه جانبی و سطح برگ در شیرین بیان

تنش شوری (dS. m <sup>-1</sup> ) Stress Salinity	تیمارها (Treatments)	تعداد شاخه جانبی (عدد در بوته) Number of lateral branch (number per plant)	سطح برگ (سانتی متر مربع) Leaf area (Cm <sup>2</sup> )
	شاهد (Control)	70.16 <sup>a</sup>	1031.68 <sup>a</sup>
	3	57 <sup>a</sup>	812.03 <sup>a</sup>
	6	31 <sup>b</sup>	402.28 <sup>b</sup>
	9	22 <sup>b</sup>	327.08 <sup>b</sup>
	12	11 <sup>b</sup>	118.19 <sup>b</sup>
	LSD (0.05)	18.24	363.46
روش کاشت Cultivation Type	بذر (seed)	ns	385.19 <sup>b</sup>
	نشاء (seedlings)	ns	691.3 <sup>a</sup>
	LSD (0.05)		363.46

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند

### سطح برگ

نتایج نشان داد که اثرات ساده سطوح مختلف تنش شوری و روش کاشت در سطح برگ گیاه معنی‌دار بودند (جدول ۴). بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها، افزایش تنش شوری، کاهش معنی‌داری در سطح برگ گیاه را باعث شد، بطوری‌که بیشترین میزان را تیمار شاهد (۱۰۳۱/۷ سانتی‌متر مربع) و تنش سه دسی‌زیمنس بر متر (۸۱۲/۰ سانتی‌متر مربع) دارا بود و کمترین میزان در تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (۱۱۸/۲ سانتی‌متر مربع) بدست آمد. افزایش تنش شوری تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، کاهش ۸۸/۵۴ درصدی میزان سطح برگ را نسبت به شاهد در برداشت. از طرفی روش کاشت نیز بر میزان سطح برگ گیاه تأثیرگذار بود. بطوری‌که بیشترین میزان این صفت در حالت کاشت نشایی (۶۹۱/۳ سانتی‌متر مربع) حاصل گردید (جدول ۵). کاهش سطح برگ در تیمار شش دسی‌زیمنس بر متر در این پژوهش را می‌توان در نتیجه کاهش سرعت گسترش سلول‌ها و یا کاهش سرعت تقسیم سلولی به علت کم شدن آماس سلولی احتمال داد (ولکمار و همکاران، ۱۹۹۷). در اسفناج نیز کاهش در میزان سطح برگ با افزایش تنش شوری گزارش

شده است (۱). در مورد عدم معنی‌دار شدن اثر متقابل روش کاشت در شوری به نظر می‌رسد بدلیل آنکه در هر دو شرایط شور و غیرشور تأثیر روش کاشت نشا بهتر از بذر بود، لذا اثر متقابل معنی‌دار نشده است.

### ارتفاع بوته

اثرات ساده سطوح مختلف تنش شوری، روش کاشت و اثر متقابل تنش شوری و روش کاشت در سطح یک درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بودند (جدول ۴). با توجه به جدول ۶، نتایج مقایسه میانگین‌ها کاهش معنی‌داری در میزان ارتفاع گیاه با افزایش تنش شوری را نشان داد. روش کاشت نیز در این روند نزولی و تأثیر معنی‌داری را داشت، بطوری‌که کاشت نشاء، میزان بالاتری از ارتفاع را در تمامی سطوح شوری به‌جز سطوح شوری سه و نه دسی‌زیمنس بر متر نشان داد (جدول ۶). در کل بیشترین میزان ارتفاع گیاه در تیمار شاهد در هر دو روش کاشت نشاء و بذر (۶۲/۲۳ سانتی‌متر) مشاهده شد. در بالاترین سطح تنش شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) در حالت کشت بذر، گیاه رشدی نداشته و کمترین میزان میانگین را در بین تیمارها نشان داد. همچنین ترکیب تیماری شوری شش دسی‌زیمنس بر متر و

ارتفاع را در برداشت (جوشن و همکاران، ۱۳۹۸؛ نباتی و همکاران، ۱۳۹۱). از طرف دیگر روند کلی، نشان‌دهنده رشد بهتر گیاه در شرایط نشاء بود. در حالت کلی کاهش رشد گیاهچه‌ها و در نهایت کاهش ارتفاع گیاه در شرایط کشت بذر را می‌توان به کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از لپه‌ها به جنین و همچنین کاهش جذب آب به وسیله بذر در شرایط تنش که موجب کاهش ترشح هورمون‌هایی از جمله اسید جیبرلیک و فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه اختلال در رشد گیاهچه می‌شود، نسبت داد (بهنام نیا و شنوایی زارع، ۱۳۹۲).

روش کاشت مستقیم (۳۱/۸۲ سانتی‌متر) نیز کاهش ۴۸/۸۵ درصدی ارتفاع نسبت به شاهد را نشان داد که با شوری نه دسی زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری نداشته و بعد از سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کمترین میزان ارتفاع را شامل گردیدند. در کل کاهش میزان رشد در اثر تنش شوری را می‌توان به دلیل اثر ابتدایی آسیب کاتیون سدیم به علت کاهش فعالیت کانال پتاسیمی و نیز سمیت کلر که با جلوگیری از جذب نیتراتی که در رشد رویشی نقش مؤثری دارد؛ احتمال داد (شهبانی و همکاران، ۱۳۹۷). در همین راستا در گیاه کوشیا و نعنای نیز افزایش شوری کاهش میزان

جدول ۶- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری و روش کاشت بر صفات مورد ارزیابی گیاه شیرین‌بیان

تیمارها (Treatments)	ارتفاع (سانتی‌متر) Height (cm)	وزن خشک اندام هوایی (گرم بر بوته) Shoot dry weight (g. plant <sup>-1</sup> )	کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Carotenoid (mg.g FW <sup>-1</sup> )	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Total Chlorophyll (mg.g FW <sup>-1</sup> )	سدیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) Na <sup>+</sup> (mg.kg dW <sup>-1</sup> )	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) K <sup>+</sup> (mg.kg dW <sup>-1</sup> )	
تنش شوری (dS. m <sup>-1</sup> ) salinity stress	روش کاشت cultivation type						
	شاهد (Control)	بذر seed	52.14 <sup>ab</sup>	0.79 <sup>cd</sup>	5.5 <sup>a</sup>	51.21 <sup>a</sup>	1.11 <sup>e</sup>
3	نشاء seedling	62.23 <sup>a</sup>	2.68 <sup>a</sup>	4.46 <sup>abc</sup>	41.14 <sup>b</sup>	0.71 <sup>e</sup>	12.70 <sup>ab</sup>
	بذر seed	43.41 <sup>bc</sup>	0.58 <sup>cde</sup>	4.33 <sup>abc</sup>	33.22 <sup>bcd</sup>	6.76 <sup>d</sup>	12.03 <sup>ab</sup>
6	نشاء seedling	49.07 <sup>b</sup>	1.08 <sup>b</sup>	3.97 <sup>bc</sup>	33.59 <sup>bc</sup>	2.35 <sup>e</sup>	10.97 <sup>b</sup>
	بذر seed	31.82 <sup>d</sup>	0.38 <sup>cde</sup>	3.06 <sup>c</sup>	42.24 <sup>ab</sup>	15.20 <sup>a</sup>	7.10.89 <sup>c</sup>
9	نشاء seedling	43.79 <sup>bc</sup>	0.76 <sup>cd</sup>	4.57 <sup>ab</sup>	27.35 <sup>cd</sup>	8.34 <sup>cd</sup>	10.85.6 <sup>b</sup>
	بذر seed	32.37 <sup>d</sup>	0.29 <sup>de</sup>	3.15 <sup>bc</sup>	23.36 <sup>d</sup>	14.67 <sup>ab</sup>	3.44 <sup>d</sup>
12	نشاء seedling	34.4 <sup>cd</sup>	0.8 <sup>cd</sup>	3.34 <sup>bc</sup>	29.64 <sup>cd</sup>	1.16 <sup>bc</sup>	6.81 <sup>c</sup>
	بذر seed	0 <sup>e</sup>	0 <sup>e</sup>	0 <sup>d</sup>	0 <sup>e</sup>	0 <sup>e</sup>	0 <sup>e</sup>
	نشاء seedling	35.87 <sup>cd</sup>	1.09 <sup>c</sup>	3.36 <sup>bc</sup>	34.92 <sup>bc</sup>	15.23 <sup>a</sup>	5.47 <sup>cd</sup>

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند

### وزن خشک اندام هوایی

با توجه به نتایج، اثرات ساده سطوح مختلف تنش شوری و روش کاشت و همچنین اثر متقابل تنش شوری و روش کاشت در سطح یک درصد بر میزان وزن خشک اندام هوایی گیاه معنی‌دار بودند (جدول ۴). همچنین نتایج

پژوهش حاضر کاهش معنی‌داری در میزان وزن خشک گیاه با افزایش تنش شوری تا شوری شش دسی‌زیمنس بر متر در روش کاشت نشاء را نشان داد، به طوری که تفاوت معنی‌داری بین سه تیمار شوری ۶، ۹ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده نشد (جدول ۶). بیشترین میزان وزن خشک در

تیمار شاهد در شرایط نشاء (۲/۶۸ گرم بر بوته) مشاهده شد. در بالاترین سطح تنش شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) در روش کاشت بذر، گیاه رشدی نداشته و کمترین مقدار را در مقایسه میانگین‌ها نشان داد. همچنین بر همکنش تیمارهای شوری نه دسی‌زیمنس بر متر در شرایط بذر (۰/۲۹ گرم بر بوته) نیز کاهش ۶۳/۲۹ درصدی وزن خشک کل را نسبت به تیمار شاهد نشان داد (جدول ۶). کاهش در تجمع ماده خشک در شرایط شوری، به علت کاهش غلظت کلروفیل و در نتیجه کاهش مواد فتوسنتزی لازم جهت رشد است. همچنان که در این پژوهش نیز در ابتدا، میزان کلروفیل (در ادامه بحث خواهد شد) روند کاهشی را داشت و دیگر صفات رویشی مرتبط با رشد، همچون سطح برگ و تعداد شاخه‌جانبی که در میزان نهایی وزن خشک کل تأثیرگذارند، نیز به واسطه شوری روند کاهشی را نشان دادند. از طرف دیگر برخی از محققین نیز سمیت یونها و جذب بیش از حد سدیم را دلیل کاهش رشد گیاه در شرایط تنش شوری دانسته و بیان نمودند که افزایش غلظت سدیم و کلر بر جذب رقابتی بسیاری از عناصر ضروری و انتخاب‌پذیری یونی در غشا اثر کرده که در نهایت منجر به کاهش وزن گیاه می‌گردد (باورسادی و همکاران، ۱۳۹۶). هم‌راستا با این نتایج، در کینوا نیز، کاهش در میزان عملکرد این گیاه با افزایش تنش شوری (۶/۲ دسی‌زیمنس بر متر) گزارش شد (امیریوسفی و همکاران، ۱۳۹۹).

نتایج دانگ و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که کاشت نشائی گیاه پنبه در مقایسه با کاشت مستقیم بذر به دلیل استفاده بهتر از دما و نور دارای مرحله رشد سریع‌تری بوده و در نتیجه دارای عملکرد بالاتری بود. همچنین به دلیل سیستم ریشه‌ای قوی‌تر، جذب آب و مواد غذایی به‌صورت مؤثرتری صورت گرفت. همچنین یو و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که گیاه پنبه در مرحله جوانه‌زنی و سبز شدن به تنش شوری حساس است و لذا نشاکاری و انتقال گیاهچه به زمین سبب می‌شود گیاه دوره حساس را در بستر مناسب رشد کرده و در زمان انتقال به زمین به شوری مقاوم باشد. به نظر می‌رسد در پژوهش حاضر نیز به

دلیل آنکه نشای شیرین‌بیان در مراحل اولیه رشد، تحت شرایط مساعد بوده توانسته پس از انتقال به محیط اصلی نسبت به کاشت مستقیم بذر از توان بیشتری برخوردار بوده و لذا منجر به تولید ماده خشک بالاتری در روش کاشت نشاء شود.

### کاروتنوئید

نتایج نشان داد که اثرات ساده سطوح مختلف تنش شوری در سطح یک درصد و اثر متقابل تنش شوری و روش کاشت در سطح پنج درصد بر میزان کاروتنوئید معنی‌دار بودند (جدول ۴). با توجه به جدول شش کاهش معنی‌داری در میزان کاروتنوئید گیاه با افزایش تنش شوری از سه دسی‌زیمنس بر متر در روش کاشت مستقیم بذر مشاهده شد؛ اما در روش کاشت نشاء، با افزایش تنش شوری اختلاف معنی‌داری از لحاظ میزان کاروتنوئید مشاهده نشد. در بالاترین سطح تنش شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) در حالت کاشت بذر، گیاه رشدی نداشته و به واسطه آن مقدار کاروتنوئید صفر بود. در ترکیب تیمار شوری شش دسی‌زیمنس بر متر و روش کاشت مستقیم بذر (۳/۰۶ میلی‌گرم برگرم وزن تر) کاهش ۴۴/۵۴ درصدی میزان کاروتنوئید نسبت به تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ۶). در پژوهش مشابه نیز کاهش در میزان کاروتنوئید سه نوع ژنوتیپ گیاه شیرین‌بیان (ایلام، سمنان و چهارمحال و بختیاری) تحت تنش شوری، گزارش شد. به‌طوری‌که بیشترین میزان کاروتنوئید در تیمار شاهد (نمک صفر) و کمترین میزان در تیمار تنش شدید (۳۰۰ میلی-مولار) بدست آمد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۸).

### کلروفیل کل

بر اساس نتایج، اثرات ساده سطوح مختلف تنش شوری، روش کاشت و اثر متقابل تنش شوری و روش کاشت در سطح یک درصد بر میزان کلروفیل کل معنی‌دار بودند (جدول ۴). کاهش معنی‌داری در میزان کلروفیل گیاه، با افزایش تنش شوری از تیمار شاهد تا شوری ۱۲

دسی‌زیمنس بر متر در روش کاشت بذر مشاهده شد؛ اما در روش کاشت نشاء، با افزایش تنش شوری تا سطح سه دسی‌زیمنس بر متر، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در بالاترین سطح تنش شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) در روش کاشت بذر، گیاه رشدی نداشته و کمترین مقدار را در مقایسه میانگین‌ها نشان داد. همچنین در تیمار شوری نه دسی‌زیمنس بر متر در شرایط کاشت بذر (۲۳/۳۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) نیز کاهش ۵۴/۳۸ درصدی کلروفیل کل نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ۶). در همین راستا، میزان کلروفیل کل گیاهچه‌های *Atriplex halimus* در تمام تیمارهای آزمایش شوری (۰، -۴، -۸، -۱۲، -۱۶ بار) نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت و بیشترین اثر کاهشی مربوط به -۱۶ بار بود. همین‌طور در گیاه تاج‌خروس که گیاهان به مدت هفت روز در محیط رشد حاوی ۳۰۰ میلی-مولار کلرید سدیم قرار داشتند، روند کاهشی در میزان کلروفیل کل گزارش شد (دیلم و همکاران، ۱۳۹۷؛ وانگ و نیل، ۲۰۰۰). یکی از علل کاهش غلظت و تجزیه شدن کلروفیل تحت تنش به دلیل افزایش میزان فعالیت آنزیم کلروفیلاز است، به نظر می‌رسد در مطالعه‌ی حاضر با افزایش سطوح شوری فعالیت آنزیم کلروفیلاز افزایش یافته و در نتیجه منجر به تجزیه کلروفیل و کاهش غلظت آن شده است. ضمن اینکه دلیل بالا بودن میزان کلروفیل در دو تیمار شاهد و شوری شش دسی‌زیمنس بر متر در روش کاشت نشاء در مقایسه با روش کاشت بذر به نظر می‌رسد به دلیل قوی بودن نشاء نسبت به بذر و تحمل بالاتر آن نسبت به شوری و در نتیجه غلظت کلروفیل کمتر تحت تأثیر قرار گرفته باشد.

#### سدیم

نتایج حاکی از آن بود که اثرات ساده سطوح مختلف تنش شوری و اثر متقابل تنش شوری و روش کاشت در سطح یک درصد بر میزان سدیم گیاه معنی‌دار بودند (جدول ۴). افزایش معنی‌داری در میزان سدیم گیاه، با افزایش تنش شوری در هر دو روش کاشت مشاهده شد (جدول ۶). میزان پتاسیم بین تیمارهای سطوح شوری شاهد، سه و شش دسی‌زیمنس بر متر و همچنین تیمارهای شوری ۹ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در کشت نشائی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. در کشت

(جدول ۶). این افزایش در تمام سطوح در کشت بذری بیشتر از نشاء بود. در کل بیشترین میزان سدیم در تیمار شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط کشت نشاء (۱۵/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) بدست آمد که با تیمار شوری نه دسی‌زیمنس بر متر و شش دسی‌زیمنس بر متر در شرایط کشت بذر اختلاف معنی‌دار نداشته و در یک سطح قرار گرفت. در بالاترین سطح تنش شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) در حالت کشت بذر، گیاه رشدی نداشته و کمترین میزان میانگین را در بین تیمارها نشان داد. ترکیب تیمار شاهد و روش کاشت نشائی (۰/۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) به همراه ترکیب تیمار شاهد و روش کاشت مستقیم و ترکیب تیمار شوری سه دسی‌زیمنس بر متر و کاشت نشائی، کمترین میزان غلظت سدیم را داشتند (جدول ۵). تجمع و انباشته شدن یون‌های سدیم در واکنش‌های سلول، نوعی مکانیسم مقدماتی در گیاهان شورپسند در سطح شوری بالا است (گالشی، ۱۳۹۴). این عمل، ضمن ممانعت از سمیت اندامک‌های سیتوپلاسمی تنظیم اسمزی را نیز باعث می‌گردد (تباراحمدی و بابائیان جلودار، ۱۳۸۱). در پژوهشی مشابه در گیاه سیاه شور مصری نیز با افزایش شوری تا ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر بر غلظت سدیم اندام هوایی گیاه (۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) افزوده شد (ذاکری اصل و همکاران، ۱۳۹۳).

#### پتاسیم

با توجه به نتایج، اثرات ساده سطوح مختلف تنش شوری در سطح یک درصد، روش کاشت و اثر متقابل تنش شوری و روش کاشت در سطح پنج درصد بر میزان پتاسیم گیاه معنی‌دار بودند (جدول ۴). همچنین کاهش معنی‌داری در میزان پتاسیم گیاه، با افزایش تنش شوری در هر دو روش کاشت مشاهده شد (جدول ۶). میزان پتاسیم بین تیمارهای سطوح شوری شاهد، سه و شش دسی‌زیمنس بر متر و همچنین تیمارهای شوری ۹ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در کشت نشائی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. در کشت

بذری هم تیمارهای شاهد و شوری سه دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در بالاترین سطح تنش شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) در حالت کشت بذر، گیاه رشدی نداشته و کمترین مقدار را نشان داد. همچنین تیمارهای شوری نه دسی‌زیمنس بر متر در شرایط کشت بذر (۳۴۴۰/۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) نیز کاهش ۷۶/۸۹ درصدی پتاسیم را نسبت به شاهد نشان داده و بعد از سطح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کمترین میزان را شامل گردیدند (جدول ۶). در واقع در شرایط تنش شوری، فراوانی یون سدیم در سطح ریشه از جذب پتاسیم جلوگیری کرده و با این عنصر برای محل‌های اتصال درون سلول رقابت نموده و سبب جذب غیرفعال پتاسیم می‌گردد (باقالیان و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین پژوهشگران بیان نمودند که گیاهانی که در معرض شوری قرار می‌گیرند میزان زیادی سدیم جذب می‌کنند که در نهایت سبب کاهش پتاسیم گیاه می‌گردد (هاسگوا و همکاران، ۲۰۰۰). هم‌چنان‌که در این پژوهش نیز با افزایش تنش شوری، میزان سدیم افزایش یافت؛ بنابراین کاهش در میزان پتاسیم در چنین شرایطی قابل انتظار است. در همین راستا در گیاه دارویی شیرین‌بیان و سیاه‌شور نیز با افزایش سطوح شوری میزان پتاسیم به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت (بهداد و همکاران، ۲۰۲۱؛ دوست حسینی و همکاران، ۱۳۹۹).

### نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش تنش شوری سبب کاهش پارامترهای ارتفاع، تعداد شاخه جانبی، سطح برگ و همچنین میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید می‌شود. همچنین شوری باعث تغییرات محتوای یون‌های اندازه‌گیری در این مطالعه شد، به‌طوری‌که امکان

جذب بیشتر سدیم را فراهم آورد و غلظت این عنصر را در بافت گیاه افزایش داد و در مقابل از غلظت پتاسیم کاسته شد. در روش کاشت بذر با افزایش شوری به سطح سه دسی‌زیمنس بر متر صفت کلروفیل کل و تا شوری شش دسی‌زیمنس بر متر صفات ارتفاع و کاروتنوئید نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی‌داری داشت و سپس صفات مذکور با افزایش شوری تا سطح نه دسی‌زیمنس بر متر تغییر معنی‌داری نداشتند. در روش کاشت نشا با افزایش شوری تا سطح سه دسی‌زیمنس بر متر تنها صفات ارتفاع و وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند و سپس با افزایش شوری تا سطح شش و نه دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب برای صفات وزن خشک و ارتفاع تغییر معنی‌داری مشاهده نشد. در نهایت افزایش شوری تا سطح ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر سبب از بین رفتن گیاهان در روش کاشت بذر شد (کاهش ۱۰۰ درصد)، اما در این سطح شوری به ترتیب برای صفات ارتفاع و وزن خشک اندام هوایی کاهش ۴۲ و ۶۰ درصدی برای روش کاشت نشا مشاهده شد. لذا به نظر می‌رسد روش کاشت نشا نسبت به روش کاشت مستقیم نتیجه بهتری به دنبال داشته باشد که این امر می‌تواند به دلیل استقرار نشا و سپری شدن مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه که از حساس‌ترین مراحل به تنش شوری هستند، باشد. به نظر می‌رسد کاشت این گیاه، به روش کاشت نشاء در مقایسه با روش کاشت بذر در مناطقی که با بالا بودن میزان شوری منابع آبی مواجه هستند می‌تواند کمک شایانی در مدیریت بهتر خسارت ناشی از این تنش و بالا بردن میزان تولید نماید. به‌طورکلی بر اساس نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌گردد که در شرایط با منابع آب شور و کمبود آب شیرین آبیاری نشاء با آب شیرین انجام شود و بقیه دوره کشت (بعد از انتقال نشاء)، آبیاری با آب شور صورت گیرد.

### فهرست منابع

۱. امیدبیگی، ر. ۱۳۸۴. تولید و فرآوری گیاهان دارویی. انتشارات به نشر. ۳۹۷ ص.

۲. امیرمردادی، رضاوینی مقدم، پ. ۱۳۹۰. اثر تراکم و زمان مصرف نیتروژن بر خصوصیات مورفولوژیکی، مراحل فنولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه (*Nigella sativa*). نشریه علوم باغبانی. ۲۵(۳): ۲۵۱-۲۶۰.
۳. امیریوسفی، م.، تدین، م.ر. و ابراهیمی، ر. ۱۳۹۹. اثر کودهای شیمیایی و زیستی بر برخی صفات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد دانه گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa L.*) در خاک‌های شور و غیرشور. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۱۳(۱): ۱۲۵-۱۴۶.
۴. باورسادی، م.، مدحج، ع. و مجدم، م. ۱۳۹۶. بررسی اثر تنش شوری بر جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و محتوای یونی ژنوتیپ‌های یونجه (*Medicago sativa L.*). فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۹(۳۵): ۱۲۱-۱۳۶.
۵. بهنام نیا، م. و شنوایی زارع، ا. ۱۳۹۲. اثر سالیسیلیک اسید بر گیاهچه شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra L.*) در شرایط تنش شوری. فرآیند و کارکرد گیاهی. ۲(۳): ۸۳-۷۳.
۶. تباراحمدی، م.خ.ز. و بابائیان جلودار، ن.ا. ۱۳۸۱. رشد گیاه در اراضی بایر و شور. انتشارات مازندران. ۱. ۴۰۸ ص.
۷. تدین، ع.، ترابیان، ش. و تدین، م.ر. ۱۳۹۲. اثر تراکم بوته بر عملکرد و کیفیت چهار رقم تجاری بزرک خوراکی. نشریه به زراعی کشاورزی. ۱۵(۱): ۱۵-۲۶.
۸. جمالی، ص. و انصاری، ح. ۱۳۹۸. اثر کیفیت آب و مدیریت آبیاری روی رشد و عملکرد گیاه کینوا. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۳(۳): ۳۳۹-۳۵۱.
۹. جوشن، ز.، سودایی زاده، ح.، حکیم زاده اردکانی، م.ع. یزدانی بیوکی، ر. و خواجه حسینی، س. ۱۳۹۸. بررسی تأثیر محلول‌پاشی گلاسیسین بتائین بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی نعناع (*Mentha spicata var. crantz*) تحت تنش شوری. مجله تولیدات گیاهی. ۴۳(۲): ۲۶۹-۲۸۰.
۱۰. حسینی، م.ا.، صمصام پور، د.، ابراهیمی، م. و خان احمدی، م. ۱۳۹۸. بررسی تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شیرین‌بیان ایران (*Glycyrrhiza glabra*) تحت تنش شوری در شرایط مزرعه. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی. ۱۱(۲۹): ۱۹۳-۲۰۱.
۱۱. حیدری شریف‌آباد، ح. ۱۳۸۰. گیاه و شوری. انتشارات موسسه جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران. ۱۹۹ ص.
۱۲. حیدری، ح. و کرمی، م. ۱۳۹۷. بررسی برخی از خصوصیات جوانه‌زنی گیاه کتان در شرایط تنش شوری. دومین کنفرانس ملی تنش شوری در گیاهان و راهکارهای توسعه کشاورزی در شرایط شور. دانشگاه شهید مدنی آذربایجان.
۱۳. خدابندلو، م.، امانی فر، س.، محسنی فرد، ا. و عسکری، م.ص. ۱۳۹۸. بررسی کارایی همزیستی قارچ میکوریز آربوسکولار و قارچ ریشه زی تحت تنش شوری در شیرین‌بیان. تحقیقات کاربردی خاک. ۷(۳): ۴۰-۵۳.
۱۴. خراسانی نژاد، س.، سلطانلو، ح.، هادیان، ج. و آتشی، ص. ۱۳۹۵. اثر تنش شوری بر برخی خصوصیات ظاهری، کمی و کیفی اسانس در گیاه اسطوخودوس. نشریه علوم باغبانی. ۳۰(۲): ۲۰۹-۲۱۶.
۱۵. دوست حسینی، م.، سودایی زاده، ح.، یزدانی بیوکی، ر.، سرافراز اردکانی، م.ر. و حکیم زاده، م.ا. ۱۳۹۹. بررسی واکنش‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی سیاه شور به مقدار شوری آب. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۴(۱): ۱۲۲-۱۳۵.
۱۶. دیلم، آ.، روحانی، ح.، صبوری، ح. و پورعلمداری، ا.غ. ۱۳۹۷. بررسی پاسخ *Atriplex halimus* به تنش شوری و خشکی در مرحله گیاهچه‌ای. نشریه حفاظت زیست‌بوم گیاهان. ۶(۱۳): ۲۳-۳۶.

۱۷. ذاکری اصل، م.ا.، بلندنظر، ص.، اوستان، ش. و طباطبائی، س.ج. ۱۳۹۳. تأثیر سطوح کلرید سدیم و نیتروژن بر رشد، غلظت ویتامین C و نترات سبزی هالوفیت *Suaeda aegyptiaca*. نشریه دانش آب و خاک. ۲۴(۱): ۲۳۹-۲۵۰.
۱۸. رضایی، م.، داداشی، م.ر.، مختارپور، ح. و عجم نوروزی. ۱۴۰۰. بررسی عملکرد و اجزای عملکرد پنبه در سامانه‌های کشت نشایی و مستقیم بذر در شرایط آب و هوایی گرگان. مجله پژوهش‌های پنبه ایران. ۹(۱): ۱۸۹-۲۰۸.
۱۹. شهبانی، ز.، خوشخوی، م.، صالحی، ح.، کافی، م.، کامگار حقیقی، ع.ا. و عشقی، س. ۱۳۹۷. اثرهای تنش شوری بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک ورد مینیاتوری (*Rosa chinensis* Jacq. var. *minima* Rehd). مجله علوم و فنون باغبانی ایران. ۱۹(۱): ۴۱-۵۲.
۲۰. طالعی، د.، شریفی، ر. و پیرصالحی س.م. ۱۳۹۷. مطالعه واکنش‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه خرفه به متیل جاسمونات تحت تنش شوری. مجله به زراعی کشاورزی. ۲۰(۳): ۶۶۷-۶۷۸.
۲۱. طباطباییان، ج. ۱۳۹۳. بررسی تاثیر کلسیم در بهبود آسیب‌های ناشی از تنش شوری در گیاه گوجه فرنگی. فصلنامه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۲۱(۲): ۱۲۵-۱۳۷.
۲۲. عالی‌نژادیان بیدآبادی، ا.، حسینی، م و ملکی ع. ۱۳۹۷. تأثیر مقدار و شوری آب بر شوری خاک و رشد و غلظت عناصر غذایی اسفناج در گلدان. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۹(۳): ۶۴۱-۶۵۱.
۲۳. عسکرنژاد، م.، سودایی زاده، ح.، مصلح آرنانی. ا. و یزدانی بیوکی، ر. ۱۳۹۸. اثر سیلیسیم بر برخی ویژگی‌های ریحان بنفش در تنش خشکی. مجله علوم و فنون باغبانی ایران. ۲۰(۱): ۲۱-۳۰.
۲۴. قهرمان، گیاه‌شناسی پایه: آناتومی و مورفولوژی. انتشارات دانشگاه تهران. ۵۳۹ ص.
۲۵. گالشی، س. ۱۳۹۴. تأثیر تنش‌های محیطی (خشکی، شوری، گرما و غرقاب) بر روی گیاهان. انتشارات دانشگاه منابع طبیعی و علوم کشاورزی دانشگاه گرگان. ۱. ۳۸۶ص.
۲۶. گنجعلی، ع.ر.، آجورلو، م. و خاک سفیدی، ع. ۱۳۹۶. تأثیر تنش‌های خشکی و شوری بر جوانه‌زنی بذر گیاه قدومه. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی. ۹(۲۱): ۱۳۹-۱۴۵.
۲۷. گوهری، ج. ۱۳۷۳. نتایج تحقیقات کاشت نشائی و مقایسه آن با کشت مستقیم بذر چغندرقد در ایران. مجموعه مقالات دومین همایش زراعت و اصلاح نباتات.
۲۸. نباتی، ج.، کافی، م.، نظامی، ا.، رضوانی مقدم، پ.، معصومی، ع. و زارع مهرجردی، م. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر تنش شوری در مراحل مختلف رشدی بر خصوصیات کمی و کیفی علوفه کوشیا. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۵(۲): ۱۱۱-۱۲۸.
۲۹. نصیری اصل، م. و حسین زاده. ح. ۱۳۸۶. مروری بر اثرات ضدویروسی گیاه شیرین‌بیان و ترکیب مؤثره آن. فصلنامه گیاهان دارویی. ۶(۲۲): ۱-۱۲.
۳۰. یزدانی بیوکی، ر. ۱۴۰۰. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی ارزیابی مقدماتی تحمل به تنش شوری در برخی گیاهان دارویی در محیط کنترل‌شده. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. مرکز ملی تحقیقات شوری. ۵۰ص.
۳۱. یزدانی بیوکی، ر.، بناکار، م.ح. و خواجه حسینی، س. ۱۳۹۷. مروری بر توسعه کاشت هالوفیت دارویی شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) جهت احیای اراضی شور. دومین همایش بین‌المللی شورورزی. مرکز ملی تحقیقات شوری. ۹۸۴-۹۸۹.

۳۲. یزدانی بیوکی، ر.، رحیمیان، م.ح.، رنجبر، غ.ح.، راد، م.ه.، بیرامی، ح. مفتایی زاده، ح. ۱۳۹۹. تأثیر شوری آب آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی و کارایی مصرف آب گل محمدی در شرایط گلدانی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۴ (۲): ۲۵۸-۲۶۷.
33. Arnon, D., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant. Physiol.* 24:1. 1-15.
34. Baghalian, K, Haghiry, A. Naghavi, M. R. and Mohammadi, A. 2008. Effect of saline irrigation on agronomical and phytochemical characters of chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Sci Hort.* 116:4. 437-441.
35. Behdad, A., Mohsenzadeh, S., and Azizi, M. 2021. Growth, leaf gas exchange and physiological parameters of two *Glycyrrhiza glabra* L. populations subjected to salt stress condition. *Rhizosphere*, 17: 1-11.
36. Behdad, A., Mohsenzadeh, S., Azizi, M. and Moshtaghi, N. 2020. Salinity effects on physiological and phytochemical characteristics and gene expression of two *Glycyrrhiza glabra* L. populations. *Phytochemistry*. 171: 1-10.
37. Dong, H.Z., Li, W., Tang, W., Li, H.Z., and Zhang, D.M. 2005. Increased yield and revenue with a seedling transplanting system for hybrid seed production in but cotton. *Agronomy and Crop Science*. 1910: 116-124.
38. Grattan, S. R., Grieve, C. M., Poss, J. A., Robinson, P. H., Suarez, D. L., and Benes, S.E. 2004. Evaluation of salt-tolerant forages for sequential water reuses systems. I. Biomass production. *Agric. Water Manag.* 70: 2004. 109-120.
39. Hasegawa, P. M. Bressnan, R. A. Zhu, J. K. and Bohnert, H. J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu Rev Plant Physiol and Plant Mol Biol.* 51: 2000. 463-499.
40. Keim, D.L., and Kronstad, W.E., 1981. Drought response of winter wheat cultivars grown under field stress conditions. *Crop Sci.* 21: 1. 11-14.
41. Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59: 2008. 651-681.
42. Qasim, M., Gulzar, S., Khan, M. and Ajmal. Halophytes as Medicinal Plants, Chapter 21, Ozturk, M., Mermut, A.R., Celik, A., 2011. Urbanisation, Land Use, Land Degradation and Environment. Daya Publishing House, Karachi-75270, Pakistan.
43. Schonfeld, M. A., Jhonson, R. Carver, B. F. and Mornhinweg, D. W. 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Sci.* 28: 3. 526-531.
44. Taiz, L., and Zeiger, E. 2010. *Plant Physiology*. 5th Ed. Sinauer Associates Inc., Sunderland.
45. Volkmar, K.M., H. Hu., and Stephun. H. 1997. Physiological responses of plants to salinity: A review. *Can. J. Plant Sci.* 78: 1. 19-27.
46. Waling, I., Van Vark, W., Houba, V. J. G., and Van der Lee, J. J. 1989. Soil and plant analysis. Part 7, plant analysis procedures. Wageningen Agricultural University, Wageningen.
47. Wang, Y., and Nill, N. 2000. Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase-oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *Iran. j. hortic. sci. technol.* 75: 6. 623-627.
48. Xu, C., and Mou, B. 2016. Responses of Spinach to Salinity and Nutrient Deficiency in Growth, Physiology, and Nutritional Value. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 141:1. 12-21.
49. Yousif, B. S., Nguyen, N. T., Fukuda, Y., Hakata, H., Okamoto, Y., Masaoka, Y., and Saneoka, H. 2010. Effect of salinity on growth, mineral composition, photosynthesis and water relations of two vegetable crops; New Zealand Spinach (*Tetragonia tetragonioides*) and water spinach (*Ipomoea*). *Int J Agric Biol.* 12:2. 211-216.
50. Yu, S.X., Wei, X.W. and Zhao, X.H. 2000. Cotton production and technical development in China. *Cotton Science*. 12(6): 327-329.

## بررسی و تحلیل چالش‌های پذیرش و گسترش آبیاری قطره‌ای در باغ‌های سیب ارومیه با استفاده از مدل نوآوری راجرز

باقر حسین پور، آناهیتا جباری<sup>۱</sup> و حسن علیپور

استادیار بخش تحقیقات اقتصادی و اجتماعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، ارومیه، ایران. [hoseinpour@areeo.ac.ir](mailto:hoseinpour@areeo.ac.ir)

استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، ارومیه، ایران. [a.jabbari@areeo.ac.ir](mailto:a.jabbari@areeo.ac.ir)

دانشیار پژوهش، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. [halipour2001@yahoo.com](mailto:halipour2001@yahoo.com)

دریافت: آذر ۱۴۰۱ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۱

### چکیده

هدف این پژوهش شناسایی و تحلیل عوامل مؤثر بر پذیرش یا عدم پذیرش سیستم آبیاری قطره‌ای در باغات سیب شهرستان ارومیه به‌عنوان کانون تولید سیب استان، با استفاده از روش تحقیق پیمایشی و مدل اشاعه نوآوری اورت راجرز بود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص گردید که ۵۷٪ پاسخگویان معتقدند که اجرای آبیاری قطره‌ای به علت استفاده از منابع آبی مشترک (چاه مشترک) مشکلات زیادی دارد، ۶۳٪ نیز این سامانه را برای باغات مسن نامناسب می‌دانند. حدود ۶۴٪ بر این باورند که در شرایط فعلی، فایده نسبی این سامانه برای باغات در حد متوسط یا کمتر است. به نظر ۷۷٪ باغداران، سامانه‌های آبیاری قطره‌ای بنا به علل مختلف قابلیت اجرایی بالایی ندارند. همچنین، ۸۱/۵٪ معتقدند که در مقایسه با روش‌های سنتی، اجرای این سامانه‌ها از جهاتی چون اجرا و به‌کارگیری، بوروکراسی اداری، اخذ تسهیلات، و تعمیر و نگهداری پیچیدگی زیادی دارد. طبق آماره کاکس-نل (با ضریب احتیاط بالا)، متغیرهای وارد شده در مدل، در مجموع قادر به تبیین ۵۰٪ از واریانس متغیر پذیرش آبیاری قطره‌ای و براساس آماره نیجل کرک، ۶۸٪ از واریانس پذیرش آبیاری قطره‌ای می‌باشند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مهم‌ترین توصیه‌های قابل اجرا در منطقه، عبارت‌اند از: استفاده از الگوهای موفق و گروه‌های مرجع برای ارائه آموزش‌های کاربردی، افزایش فایده نسبی و کاهش ریسک سرمایه‌گذاری در آبیاری قطره‌ای، بازنگری بر روند طراحی و اجرای گردش کار و کیفیت تجهیزات در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، رفع مشکل صدور مجوزهای لازم برای اراضی فاقد سند مالکیت، و عدم کاربرد آبیاری قطره‌ای برای باغ‌های مسن.

واژه‌های کلیدی: سامانه آبیاری قطره‌ای، روش تحقیق پیمایشی، آماره کاکس-نل، آماره نیجل کرک

## مقدمه

از دیرباز، قابلیت دسترسی به آب در ایران به دلیل غالب بودن الگوهای مختلف اقلیمی<sup>۱</sup> از مهم‌ترین تنگناهای توسعه در بخش کشاورزی بوده و لذا سازگاری دیرینه‌ای با کم‌آبی در فرهنگ این سرزمین شکل گرفته است. انواع نظام‌های اجتماعی و اقتصادی پیچیده‌ای که حول فعالیت‌هایی چون کوچروی و زندگی شبانی، استحصال و مدیریت آب (قنات، دیوان‌های آبیاری، گل، بندسار یا خوشاب، خندق، دگار<sup>۲</sup> و ...) و مشارکت و همیاری (بنه، صحرا و ...) سازمان یافته‌اند، گواهی بر سازگاری کارآمد تاریخی بین انسان و جغرافیا در این سرزمین است؛ اما در گذر زمان و با سست‌تر شدن سنت‌ها و غلبه روزافزون مظاهر تمدنی جدید به‌ویژه در حوزه ابزارهای صنعتی، الگوهای مصرفی در تمامی عرصه‌های زندگی اجتماعی و از جمله کشاورزی دگرگون شد. در کشاورزی به مدد تجهیزات نوین، زمین‌های بسیاری به زیر کشت رفته و استحصال بی‌رویه آب از اعماق زمین به سهولت انجام گرفت. افزایش تصاعدی جمعیت و نیاز به تأمین غذایی آن‌ها از سویی و میل به صادرات در بخش کشاورزی از سویی دیگر مزید بر علت شده و در نتیجه تاراج منابع آب زیرزمینی رقم خورد، به‌گونه‌ای که به عقیده بسیاری از محققین، بخش کشاورزی در ایران به‌تنهایی تبدیل به مصرف‌کننده بیش از ۹۰ درصد<sup>۳</sup> از آب‌های تجدیدپذیر کشور گردید (شاهرودی و چیدری، ۱۳۸۶؛ محمدجانی و یزدانیان، ۱۳۹۳ و مرزبان و همکاران، ۱۳۹۸)، حال آنکه این میزان در سطح جهانی به‌طور متوسط ۶۹ درصد است (عباسی و عباسی، ۱۳۹۹). این در حالی است که تغییرات اقلیمی حادث‌شده مبنی بر تغییرات در کمیت و الگوی بارش‌ها و افزایش میانگین دمایی در سطح جهانی، مسئله

کم‌آبی در ایران را بغرنج‌تر و ابعاد آن را گسترده‌تر نموده است (نوری و همکاران، ۱۳۹۶).

با توجه به نیاز روزافزون به تأمین غذا و اهمیت استراتژیک امنیت غذایی در معادلات سیاسی و نیز با عنایت به اینکه در شرایط فعلی افزایش تولیدات کشاورزی از طریق توسعه اراضی با محدودیت‌های جدی در تأمین آب و حتی زمین مواجه است و ایضاً این واقعیت که تداوم روند کشاورزی موجود با روش‌های فعلی نیز غیرممکن است، این ضرورت اجتناب‌ناپذیر مطرح می‌شود که؛ تنها راه برون‌رفت از این بحران، اهتمام جدی به افزایش بهره‌وری آب با رویکرد افزایش تولید در واحد سطح و ارتقای راندمان‌های آبیاری (با هدف کاهش تلفات آب) در بخش کشاورزی است؛ اما علی‌رغم چنین اضطراری، متأسفانه هنوز هم اصرار غیرمنطقی در خصوص تداوم روش‌های سنتی آبیاری از سوی بهره‌برداران وجود دارد و این در حالی است که تحقیقات نشان می‌دهند راندمان آبیاری سطحی در ایران بسیار پایین و تقریباً حوالی ۴۰ تا ۴۵ درصد در نوسان است درحالی‌که در روش‌های نوین آبیاری راندمانی حدوداً ۸۵ تا ۹۰ درصد قابل‌انتظار است (احمدی و سپاسخواه، ۱۳۹۶).

هم‌راستا با مباحث فوق، حاکمیت پایدار واقعیت‌های نامتعادل طبیعی در حوضه دریاچه ارومیه، توأم با مدیریت ناکارآمد منابع، اکیداً در حوزه آب‌وخاک، صورت ناگوار و بحرانی خود را به‌صورت خشک شدن دریاچه ارومیه نمایان ساخت به‌نحوی که از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۲، سطح این دریاچه از ۵۵۰۰ کیلومتر مربع به ۱۸۴۸/۵۴ کیلومتر مربع کاهش پیدا کرد (اسمی، ۱۴۰۱ و محبی و همکاران، ۱۳۹۹). در راستای مقابله با بحران مذکور، یکی از سیاست‌های محوری که در برنامه کاری ستاد احیاء

مبنای محاسبه بوده‌اند، لذا اشتباه اتفاق افتاده است زیرا تعداد معتناهی چاه کشاورزی خشک شده و بلااستفاده وجود دارد که هیچ آبی از آن‌ها استخراج و مصرف نمی‌شود. بر این اساس، وزارت جهاد کشاورزی رقم ۷۵ درصد را اعلام نموده است (پایگاه خبری اقتصاد بازرگانی).

۱ - ایران در ناحیه خشک جهانی قرار دارد و متوسط بارش آن ۲۵۰ میلی‌متر است. ۲۵ درصد خاک ایران در مناطق فراهشک، ۴۰ درصد در مناطق خشک و ۲۵ درصد در مناطق غیر خشک قرار دارد (شاطری و فیروزنیا، ۱۳۹۹).

۲ - نجف لو و همکاران، ۱۳۹۸.

۳ - در رابطه با رقم مذکور، اخیراً اعتراضاتی توسط وزارت جهاد کشاورزی صورت گرفته و بیان شده که چون در آمار وزارت نیرو، چاه‌های کشاورزی هم

گذشت، طرح حاضر به منظور شناسایی و تحلیل چالش‌های توسعه آبیاری قطره‌ای در سطح باغات سیب شهرستان ارومیه که بزرگ‌ترین قطب تولید سیب کشور و مواجه با مشکلات متعددی در مسیر توسعه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای است، تعریف و به مورد اجرا گذاشته شد.

#### مبانی تئوریک: تئوری‌های پذیرش نوآوری

جوزف شومپتر اقتصاددان و نویسنده کتاب معروف "تئوری توسعه اقتصاد" به‌عنوان یکی از نظریه‌پردازان کلاسیک مشهور، تلاش کرد تا به فهم نیروهای پیش برنده نظام سرمایه‌داری و آنچه باعث تغییرات مثبت یا منفی می‌گردد نائل شود. او در این مسیر به مفاهیم "کارآفرینی" و "نوآوری" توجهی خاص نموده (شومپتر، ۱۹۳۴) و تحت عبارت "تخریب خلاق"، نوآوری را به‌عنوان یک برهم زنده نظم موجود و فرآیندی که تعادلی جدید در نظام اقتصادی ایجاد می‌نماید، تعریف کرد. بعدها تئوری‌های منسجم‌تری در رابطه با پذیرش نوآوری با درون‌مایه‌های روان‌شناختی ارائه شدند که می‌توان به تئوری تریانندیس با عنوان "رفتار گزینشی"<sup>۱</sup> (تریانندیس، ۱۹۷۷)، تئوری آیزن - فیش با این عنوان "رفتار عقلانی"<sup>۲</sup> (آیزن و فیش با این، ۱۹۷۵)، تئوری آیزن با نام "رفتار هدایت‌شده"<sup>۳</sup> (آیزن، ۱۹۸۵) و دیویس تحت عنوان "مدل پذیرش فناوری"<sup>۴</sup> (دیویس، ۱۹۸۶) اشاره کرد. این تئوری‌ها که اصطلاحاً 4T نامیده می‌شوند، تلاش می‌کنند تا پذیرش نوآوری را با اتکا بر تمایلات افراد و مفاهیمی چون گرایش‌ها، هنجارهای ذهنی، کنترل رفتار درک شده، شرایط تسهیل‌کننده و ... تبیین نمایند (صالح زولیت، ۲۰۱۴). "تئوری شناختی اجتماعی"<sup>۵</sup> بر اساس سه فاکتور؛ رفتاری، شخصی و محیطی تدوین گردید که به‌صورت دوسویه به‌منظور پیش‌بینی رفتار گروهی و فردی با یکدیگر تعامل دارند. علاوه بر این، تئوری شناختی به دنبال روش‌هایی است تا به استناد آن‌ها بتوان رفتار را تغییر

دریاچه و نیز سازمان‌های ذی‌ربط دیگر قرار گرفت، تغییر روش‌های آبیاری از سنتی به مدرن، به‌ویژه در سطح باغات بود. بررسی تطبیقی آمار مربوط به سامانه‌های آبیاری قطره‌ای استان و کشور در طول سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۰ نشان می‌دهد که در مدت ۱۳ سال، حدود ۶۵۷۳۱۴ هکتار از اراضی باغی کشور به سامانه‌های قطره‌ای مجهز شده‌اند که به‌طور متوسط به ازای هر استان، بالغ بر رقمی در حدود ۲۰۶۵۰ هکتار است، درحالی‌که جمع اراضی باغی مجهز به آبیاری قطره‌ای استان آذربایجان غربی در همین مدت ۱۳ ساله، برابر با ۱۳۱۸۴ هکتار بوده است. ملاحظه می‌شود که عملکرد آذربایجان غربی به‌طور قابل‌توجهی کمتر از میانگین کشوری (عملکرد متوسط استان‌ها) است. مضافاً اگر این عملکرد را با توجه به وسعت اراضی باغی بررسی نماییم، درمی‌یابیم که استان آذربایجان غربی دربرگیرنده ۵/۴ درصد از کل باغات کشور است در صورتی‌که از کل سامانه‌های آبیاری قطره‌ای اجراشده، فقط ۲ درصد متعلق به این استان بوده است (آمارنامه‌های کشاورزی، ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۹ و چکیده طرح آمارگیری باغداری، ۱۳۹۸). ملاحظه اختلافات عملکردی فوق‌العاده حاکمی از وجود چالش‌هایی جدی در مسیر توسعه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در این استان است. حال اگر این واقعیت را نیز در نظر بگیریم که در طول سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۰، ستاد احیاء دریاچه ارومیه نیز ضمن انجام سرمایه‌گذاری‌های بسیار کلان در رابطه با توسعه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در سطح حوضه، همواره به‌عنوان نیروی پیشروانه‌ای در این زمینه عمل کرده است، آنگاه چالشی بودن موضوع آبیاری قطره‌ای در این استان دوچندان جدی‌تر خواهد شد. در کنار تمام این حقایق، مشاهدات اخیر مجری طرح در سطح باغات استان را نیز باید اضافه کرد که متأسفانه حاکمی از شواهد متعددی است مبنی بر این‌که باغدارانی که قبلاً سیستم آبیاری قطره‌ای را اجرا کرده بودند، اخیراً اقدام به جمع‌آوری آن‌ها و بازگشت به سیستم غرقابی سنتی خود نموده‌اند. با عنایت به آنچه

<sup>۱</sup> -Theory of Planned Behavior (TPB)

<sup>۲</sup> -Technology Acceptance Model (TAM)

<sup>۳</sup> -Social Cognitive Theory (SCT)

<sup>۴</sup> -Creative Destruction

<sup>۵</sup> -Triandis' Choice behavior (TCB)

<sup>۶</sup> -Theory of Reasoned Action (TRA)

داد و یا اصلاح نمود (سیلا، ۲۰۱۵). "مدل انگیزشی"<sup>۱</sup> معتقد است که اساساً نحوه استفاده از یک سیستم جدید توسط دو انگیزه درونی و بیرونی تعیین می‌شود. انگیزه بیرونی به این معنی است که افراد رفتاری را با این هدف انجام می‌دهند که تصور می‌کنند برایشان نتایج سودمندی (متمایز از خود فعالیت) به بار خواهد آورد درحالی‌که انگیزه درونی به دنبال هیچ نتیجه سودمندی خارج از خود فعالیت نیست (دیویس و همکاران، ۱۹۹۲).

پرکاربردترین مدل در زمینه پذیرش نوآوری، "مدل اشاعه نوآوری"<sup>۲</sup> است که توسط اورت راجرز معرفی گردیده و چهارچوب تئوریک پژوهش حاضر نیز بر همین اساس بنا شده است. مدل راجرز نه تنها در هر دو سطح سازمانی و فردی مورد استفاده قرار گرفته است، بلکه یک پایه نظری برای بحث در مورد پذیرش در سطح جهانی ارائه می‌دهد. مدل اشاعه نوآوری راجرز در قیاس با مدل‌های مشابه، ضمن اینکه چارچوبی روشن و جامع برای درک چگونگی گسترش ایده‌ها و فناوری‌های جدید در میان جمعیت‌های مختلف فراهم می‌کند، به توضیح اینکه چرا برخی نوآوری‌ها نسبت به نوآوری‌های دیگر به سرعت و موفقیت مورد پذیرش می‌شوند، می‌پردازد. این تئوری به محققان کمک می‌کند تا برخلاف بسیاری از تئوری‌های دیگر، جنبه‌های روانی، اجتماعی و فرهنگی فرایند انتشار توأمان در قالب یک مدل در نظر گرفته شوند.

این مدل سه جزء اصلی را ادغام می‌کند: ویژگی‌های پذیرنده، ویژگی‌های نوآوری و فرآیند تصمیم‌گیری نوآوری (راجرز و شومیکر، ۱۹۷۱ و طاهر دوست، ۲۰۱۸). در ویژگی‌های پذیرنده، فاکتورهای تحصیلی، گرایش به تغییر، ریسک‌پذیری و نیاز به نوآوری تعریف شده‌اند. این ویژگی‌ها که در مرحله مقدماتی مدل قرار دارند، با کارکرد نظام اجتماعی نیز همراه شده و فرد را به سمت کسب (عدم کسب) اطلاعات کلی پیرامون نوآوری جدید هدایت می‌کنند. در مرحله دوم یعنی پس از کسب اطلاعات و دانش، ویژگی‌های نوآوری مطرح می‌شود

بطوریکه فرد سعی می‌کند تا ویژگی‌هایی از قبیل فایده نسبی فناوری جدید، پیچیدگی‌های آن، سازگاری‌اش با شرایط فرد، قابلیت اجرایی آن و نهایتاً مشاهده‌پذیر بودن نتایج به‌کارگیری آن را بررسی نماید. در این مرحله فرد ممکن است به سمت نوآوری جدید تمایل پیدا کند و یا هیچ تمایلی بدان نیابد. پس‌ازاین مرحله، فرد به مرحله تصمیم‌گیری عملی مبنی بر پذیرش یا عدم پذیرش نوآوری می‌رسد (راجرز و شومیکر، ۱۹۷۱). راجرز معتقد است که پس از تصمیم‌گیری، دو مرحله دیگر تحت عناوین اجرا و تثبیت نیز اتفاق می‌افتند. در مرحله اجرا فرد نسبت به عملی کردن تصمیم خود اقدام می‌نماید. این مرحله در حقیقت مرحله آزمایش عملی به‌کارگیری نوآوری جدید تلقی می‌شود که اگر موفقیت‌آمیز باشد، به آخرین مرحله یعنی تثبیت نوآوری منتهی می‌گردد (هادی بیگلر و همکاران، ۱۳۹۷).

#### پیشینه تحقیق

در زمینه پذیرش نوآوری، تحقیقات فراوانی در حوزه‌های مختلف کشاورزی، صنعتی، سلامت و بهداشت، آموزشی و غیره صورت پذیرفته است. در اینجا سعی بر این شده تا مطالعاتی که در ارتباط نزدیک‌تری با پذیرش فناوری آبیاری قطره‌ای از سوی کشاورزان می‌باشند مورد توجه قرار گیرند، اما پیش از مرور این دسته از منابع، باید به این نکته توجه داشت که نزد خود اندیشمندان و صاحب‌نظران حوزه آب نیز در رابطه با پذیرش فناوری آبیاری تحت فشار به‌عنوان مؤثرترین راهکار حفظ پایداری منابع آبی در حوضه‌های آبی کشور، اتفاق نظر وجود ندارد. به اعتقاد بسیاری از محققان، سامانه‌های نوین آبیاری (تحت فشار) مهم‌ترین و اثرگذارترین راه‌حل برای مقابله با بحران خشک‌سالی هستند. تحلیل‌های این گروه از صاحب‌نظران، عموماً در سطح مزرعه بوده و بدون توجه به ابعاد حوضه‌ای موضوع، به مفاهیمی چون راندمان آبیاری، بهره‌وری آب، کارایی و اثربخشی آب می‌پردازند (شاهنوشی و همکاران،

<sup>2</sup> -Diffusion of Innovations Theory (DOI)

<sup>1</sup> -Motivational Model (MM)

هنجارهای ذهنی، کمبود دانش فنی و... (آقاپور و همکاران، ۱۳۹۲؛ امیرنژاد و رفیعی، ۱۳۸۸؛ بخشوده، ۱۳۸۷؛ جهان نما، ۱۳۸۰؛ چوپچیان و همکاران، ۱۳۹۶؛ حاج میر رحیمی و یزدیان، ۱۳۸۶؛ زارع کهنه شهری و همکاران، ۱۳۹۴؛ لهسایی زاده و حبیبی، ۱۳۸۹؛ موحدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ آلکون و همکاران، ۲۰۱۱؛ انبری و همکاران، ۲۰۱۳؛ موموندی و همکاران، ۲۰۱۸؛ پانديا و ديودي، ۲۰۱۶ و پراجاپاتی و همکاران، ۲۰۱۶).

بخش دیگری از عوامل، در خصوص موضوعات اقتصادی و مالی مرتبط با نوآوری‌ها هستند که به‌زعم محققین، در شرایط مختلف به‌عنوان محرک یا مانع پذیرش عمل نموده‌اند. این عوامل شامل مسائلی از قبیل فقدان تسهیلات اعتباری کافی، هزینه‌های بالا، نیازمندی‌های اقتصادی، مشکلات دریافت وام از بانک‌ها، عدم پرداخت کامل خسارت به محصولات کشاورزی توسط بیمه و عدم پرداخت به‌موقع خسارت بیمه به محصولات کشاورزی بیمه‌شده، اعتبارات بانکی، خصوصیات اقتصادی، هزینه اولیه بالای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، صرفه‌جویی در مصرف آب، افزایش کیفیت محصول تولیدی، افزایش عملکرد، منافع اقتصادی، محدودیت‌های مالی، کمیت و کیفیت اراضی، مشکلات در عملیات اجرایی کشت، راندمان پایین و .. می‌باشند (پورکریمی و همکاران، ۱۳۹۳؛ چرمچیان لنگرودی و جانباز، ۱۳۹۷؛ حمیدی و یعقوبی، ۱۳۹۶؛ شیبانی و کاظمی، ۱۳۹۲؛ بوريا و همکاران، ۲۰۱۵؛ پارمار و همکاران، ۲۰۱۶؛ شاشیدهارا و همکاران، ۲۰۰۷؛ ورما و شارما، ۲۰۱۷ و یاداو و همکاران، ۲۰۱۷).

نهایتاً گروهی از محققان نیز به ابعاد فنی تجهیزات و سامانه‌های آبیاری قطره‌ای پرداخته و مواردی چون مشکلات قطره‌چکان‌ها، عدم توزیع یکنواخت آب در سطح مزرعه، افزایش مدت کار سامانه، تعویض پیوسته تجهیزات، بی‌توجهی به مسائل فنی، مشکلات سازه‌ای، آسیب‌های ناشی از حیوانات و غیره را به‌عنوان موانع پذیرش این دستگاه‌ها موردتوجه قرار داده‌اند (عباسی و همکاران،

۱۳۹۸ و ناصری و همکاران، ۱۳۹۹). برخی دیگر معتقدند که سامانه‌های تحت فشار درست است که در سطح مزرعه، عملکرد مناسبی ارائه می‌نمایند اما در سطح حوضه‌ای لزوماً چنین نبوده و ممکن است منتهی به کاهش مصرف آب و افزایش جریان‌های خروجی از حوضه نگردد. به نظر این گروه، تبخیر-تعرق کل در آبیاری تحت فشار معمولاً بیشتر از آبیاری سطحی بوده و همچنین رواناب سطحی نیز در دوره آبیاری تحت فشار به‌واسطه کاهش جریان بازگشتی آبیاری و بارش از دوره آبیاری سطحی کمتر است. معتقدان این دیدگاه بر این باورند که به‌منظور جلوگیری از سوءتفاهم در خصوص اثرات هیدرولوژیکی آبیاری تحت فشار، باید از حسابداری آب برای مدیریت بیلان آب در سطح حوضه استفاده کرد (طلوعی و همکاران، ۱۳۹۴ و محمدپور و همکاران، ۱۳۹۶).

در رابطه با ادبیات تحقیقی مرتبط با موضوعات پذیرشی آبیاری تحت فشار، به‌طورکلی سه گروه از تحقیقات یا ترکیب‌هایی از این سه گروه بچشم می‌خورد: گروه اول- آن‌ها که بر ویژگی‌های شخصی افراد در پذیرش یا رد فناوری آبیاری قطره‌ای توجه نموده‌اند. گروه دوم- محققانی که بر عوامل اقتصادی تمرکز بیشتری نموده‌اند و گروه سوم- مطالعاتی که ابعاد فنی و سخت‌افزاری تجهیزات و کیفیت آن‌ها را در پذیرش یا رد آبیاری قطره‌ای مورد تأکید قرار داده‌اند.

اکثریت محققین ویژگی‌های شخصی افراد را از جمله مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر پذیرش آبیاری قطره‌ای عنوان کرده‌اند. در این گروه طیف وسیعی از ویژگی‌ها مورد توجه و بررسی قرار گرفته‌اند که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: سطح تحصیلات، میزان درآمد، سن، شغل، دانش و آگاهی، نگرش به فناوری، زیرساخت‌ها و تجهیزات، میزان ارتباط با منابع اطلاعاتی به‌ویژه با ترویج، میزان نوپذیری، میزان مشارکت در طرح‌های عمرانی، موقعیت اجتماعی، انگیزه کار در کشاورزی، رضایت شغلی، سابقه کار، امکانات مالی، تعداد افراد خانوار، ذهنیت نسب به دولت، میزان رغبت به پیش‌قدمی، احساس مسئولیت اجتماعی،

۱۳۹۴؛ قربانی و شهنازبان فرد، ۱۳۹۶؛ فریدلاندر و همکاران، ۲۰۱۳ و کرناک و همکاران، ۲۰۰۴).

#### مواد و روش

#### جامعه آماری، حجم نمونه و روش نمونه‌گیری

به دلیل اهمیت ویژه سیب در استان آذربایجان غربی<sup>۱</sup> و احراز جایگاه نخست تولید کشوری، بحرانی بودن شرایط آبی حوضه دریاچه ارومیه، نیاز آبی بالای سیب، مرسوم بودن آبیاری سنتی (غرقابی) در باغات و عدم استقبال کشاورزان از آبیاری قطره‌ای و نهایتاً ضرورت و اولویت بالای برنامه‌های اصلاحی روش‌های آبیاری برای باغات سیب در استان، این محصول به‌عنوان موضوع بررسی تعیین شد. از آنجاکه شهرستان ارومیه با در اختیار داشتن حدود یک‌سوم از کل باغات سیب استان به‌عنوان مهم‌ترین قطب تولید سیب مطرح است، لذا این شهرستان نیز به‌عنوان جامعه آماری انتخاب گردید. با استفاده از رابطه کوکران نمونه‌گیری از باغات سیب به عمل آمد (رابطه شماره ۱) که طی آن  $79/58$  هکتار یا با تقریب ۸۰ هکتار به‌عنوان حجم نمونه تعیین گردید. جهت ارائه پرسش‌نامه به نمونه‌ها باید هر پرسش‌نامه به یک باغ تخصیص داده می‌شد، بنابراین با فرض میانگین مساحت یک هکتار برای باغ‌های سیب (مساحت غالب باغ‌های سیب استان)، ۸۰ باغ به‌عنوان حجم نمونه در نظر گرفته شد. از پرسش‌نامه‌های نهایی دو پرسش‌نامه دارای اطلاعات معیوب بود که به همین دلیل از فرآیند تحلیل کنار گذاشته شد. نهایتاً کل حجم نمونه تحقیق حاضر ۷۸ باغ سیب است که با روش تصادفی ساده، انتخاب شدند.

$$n = \frac{\frac{Z^2 qp}{d^2}}{1 + \frac{1}{N \left( \frac{Z^2 qp}{d^2} - 1 \right)}} = \frac{\frac{1.96^2 * 0.055 * 0.945}{0.05^2}}{1 + \frac{1}{22000 \left( \frac{1.96^2 * 0.055 * 0.945}{0.05^2} - 1 \right)}} = 79.58 \quad (1)$$

که در آن: n حجم نمونه، Z نمره استاندارد، p نسبت صفت مورد مطالعه، q = 1-p، تعداد جمعیت و d میزان خطای قابل قبول (در اینجا برابر ۰/۰۵) است.

#### پیاده‌سازی مدل

چنانکه در قسمت‌های قبلی هم بیان گردید، مدل اشاعه نوآوری راجرز به‌عنوان چهارچوب تئوریک در بررسی حاضر بکار گرفته شد. این مدل طی سه مرحله، اقدام به تبیین پذیرش یا اشاعه یک نوآوری می‌نماید (شکل ۲). در مرحله اول یا مقدماتی مدل، موضوع دانش یا آگاهی از یک نوآوری جدید مطرح می‌شود. در دنیای واقعی، همگان به‌طور هم‌زمان متوجه نوآوری‌های جدید نمی‌شوند. همیشه تعدادی هستند که زودتر از دیگران متوجه پدیده‌های جدید شده و به دنبال کسب اطلاعات در خصوص آن‌ها می‌روند درحالی‌که بسیاری چنین نیستند و حتی ممکن است که هیچ‌وقت در پی کسب اطلاعات در مورد یک نوآوری جدید نروند؛ بنابراین، اینکه چه کسانی به دنبال کسب اطلاعات در مورد یک نوآوری جدید می‌روند، در اولین مرحله مدل تبیین می‌شود. راجرز در این مرحله چهار متغیر تحت عناوین سطح تحصیلات، گرایش به تغییر، ریسک‌پذیری و نیاز به نوآوری را ذیل مفهوم ویژگی‌های عمومی و یک متغیر با عنوان هنجارهای اجتماعی را ذیل مفهوم ویژگی‌های نظام اجتماعی تعبیه نموده است که چگونگی این متغیرها در حقیقت شاخصی است از این‌که فرد نسبت به کسب دانش و اطلاعات

۱- میزان تولید سیب استان در سال ۱۴۰۰ حدود یک میلیارد و دویست هزار تن معادل ۲۷ درصد از کل سیب تولیدی کشور بود (آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۹).

ناموافق با آن موضوع به نمایش خواهیم گذاشت. پدیده‌های جدید در زندگی ما ایجاد تغییر می‌نمایند و رویه‌های مرسوم عادت شده ما را بر هم می‌زنند. طرز مواجهه ما با پدیده‌های جدید تا حدی تابع نوع گرایش ما به تغییرات است به این معنی که میزان موافقت یا مخالفت ما با تغییرات، نوع مواجهه ما با پدیده‌های جدید را تعیین می‌کند؛ بنابراین، در مورد آبیاری قطره‌ای نیز نوع گرایش کشاورزان به تغییر، می‌تواند بخشی از رفتار ایشان در رابطه با پذیرش یا رد این فناوری را تبیین نماید. جهت سنجش این متغیر از مدل عبدالکریم و کین (۲۰۱۸) استفاده شد. در این مدل هر سؤال نمره‌ای بین یک تا شش داشته و تعداد کل سؤالات ۲۴ مورد هستند. این مدل سعی کرده تا سه مفهوم شناختی، احساسی و رفتاری در رابطه با تغییر را مورد سنجش قرار دهد. طبق مقیاس‌های مربوطه، اگر میانگین نمرات فرد بین ۱ تا ۲/۲۴ باشد، فرد در ناحیه مقاومت در برابر تغییر قرار می‌گیرد. نمره بین ۲/۲۵ تا ۳/۴۹ در ناحیه بی‌طرف، مابین ۳/۵۰ تا ۴/۷۴ در ناحیه پذیرش و نهایتاً اگر ۴/۷۵ تا ۶ باشد، در ناحیه استقبال از تغییر جای می‌گیرد. ت- هنجارهای اجتماعی: هنجارهای اجتماعی مجموعه مشترکی از انتظارات و باورهایی را فراهم می‌کنند که رفتار افراد را شکل می‌دهند و می‌توانند با ارائه راهنمایی برای آنچه در درون یک جامعه خاص پذیرفته می‌شود، به‌عنوان نوعی کنترل اجتماعی عمل کنند. وقتی صحبت از انتشار نوآوری‌ها می‌شود، نقش هنجارهای اجتماعی در حقیقت تعیین این مسئله می‌شود که کدام محصولات و ایده‌ها باید توسط یک جامعه، مورد پذیرش و کدام موارد نادیده گرفته شوند؛ بنابراین، هنجارها به‌طور مستقیم با میزان پذیرش یک محصول یا ایده جدید توسط یک جامعه مرتبط بوده و این موضوع را که چرا ایده‌ها یا نوآوری‌هایی که با مجموعه خاصی از هنجارهای اجتماعی همسو هستند، احتمال پذیرش بالاتری دارند را تبیین می‌نمایند.

به‌منظور سنجش "هنجارهای اجتماعی" از مدل نظری بیچری (۲۰۱۶) استفاده گردید. در این مدل برای

پیرامون یک نوآوری جدید اقدام خواهد نمود یا خیر. به‌منظور اندازه‌گیری متغیرهای این مرحله، از دو نوع ابزار استفاده شد. ابزار اول که پرسشنامه محقق ساخته بود، از طریق سؤالاتی مستقیم به شکل بسته پاسخ انجام شد. متغیرهای سطح تحصیلات و نیاز به نوآوری از این طریق اندازه‌گیری شدند. سنجش متغیرهای گرایش به تغییر، ریسک‌پذیری و هنجارهای اجتماعی، به‌وسیله پرسشنامه‌های استاندارد شده انجام گرفتند. ذیلاً نحوه اندازه‌گیری متغیرهای بکار رفته در اولین مرحله مدل (مرحله مقدماتی) تشریح می‌شوند: الف- سطح تحصیلات: منظور از این متغیر، تعداد سال‌هایی است که فرد در قالب آموزش‌های رسمی در کلاس‌های درسی مدرسه‌ای یا دانشگاهی شرکت و مدرک قبولی دریافت کرده است. این متغیر به‌صورت فاصله‌ای-نسبی اندازه‌گیری گردید. ب- نیاز به نوآوری: "نیاز به نوآوری" مفهومی است که بسته به رشته کاری، از طرق مختلف قابل اندازه‌گیری است. یکی از روش‌ها این است که از زاویه دید بهره‌برداران، به مقایسه فنآوری(های) فعلی با فنآوری یا فنآوری جدید از جهت دستاوردهای مطلوبی که هر کدام دارا هستند، اقدام نمود. از این طریق، امکان بررسی و شناخت میزان کفایت یا نقصان فنآوری(های) موجود و میزان پوشش این نقایص توسط فنآوری جدید و نتیجتاً اندازه‌گیری میزان نیاز به نوآوری جدید میسر می‌شود. البته شایان‌ذکر است که شرط زمینه‌ای لازم برای احساس نیاز این است که فرد از فنآوری(های) موجود، به خاطر وجود نواقص آن، ناراضی باشد. در روش‌های دیگر، می‌توان از شاخص‌های نرخ هزینه-فایده، تجارب بهره‌بردار و کارایی فنآوری استفاده کرد. در مطالعه حاضر از روش نخست برای اندازه‌گیری میزان نیاز به نوآوری استفاده شده است. پ- گرایش به تغییر: گرایش‌ها، تمایلات عمیقی هستند که رفتار ما را تحت تأثیر قرار می‌دهند. اگر ما نسبت به موضوعی گرایش مثبت داشته باشیم، بسیار محتمل است که در ارتباط با آن موضوع همیشه رفتاری مثبت و موافق از خود نشان دهیم و برعکس، چنانچه گرایشمان منفی باشد، غالباً رفتاری

هنجارهای اجتماعی چهار زیر متغیر تحت عناوین زیر تعریف گردید و مورد سنجش قرار گرفت:

### ترجیحات (Preferences)

منظور از ترجیحات در این بررسی، انتخاب یا انتخاب‌هایی است که در موقعیتی خاص برای فرد دارای اولویت بیشتری باشند. شاخص‌هایی که می‌توانند برای اندازه‌گیری ترجیحات اجتماعی مورد استفاده قرار گیرند عبارت‌اند از: (۱) جامعه سنجی. از این روش می‌توان برای اندازه‌گیری روابط درون یک گروه و ارائه بینش‌هایی در مورد ترجیحات اجتماعی استفاده کرد. (۲) نظرسنجی. این روش برای اندازه‌گیری نگرش‌ها، باورها و ارزش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. (۳) آزمایش. از آزمایش‌ها برای سنجش چگونگی تصمیم‌گیری افراد در موقعیت‌های اجتماعی خاص می‌توان استفاده کرد. (۴) مشاهده. از این روش می‌توان برای اندازه‌گیری ترجیحات اجتماعی از طریق فراوانی و شدت رفتارها در موقعیت‌های خاص استفاده کرد.

در بررسی حاضر، با اقتباس از روش‌های دوم و سوم، ابزاری طراحی شد تا از طریق نظرسنجی از باغداران، انتخاب‌ها یا همان ترجیحات آن‌ها در موقعیت‌های مختلفی که در رابطه با مقایسه روش‌های آبیاری سنتی و قطره‌ای ترسیم شده بودند، در قالب باینری (موافق/مخالف) اندازه‌گیری شوند.

### باورهای هنجاری فردی (Personal normative beliefs)

باورهای هنجاری فردی در حقیقت معطوف به مجموعه ارزش‌ها و اعتقاداتی است که فرد پیرامون یک موضوع خاص بدان‌ها معتقد است (در اینجا پیرامون مقایسه آبیاری سنتی و قطره‌ای از منظر ضرورت‌هایی که با توجه

به بحران اقلیمی در رابطه با مدیریت مصرف آب باید لحاظ شوند). برای سنجش این مفهوم، از همان ابزار اندازه‌گیری ترجیحات اجتماعی، ولی با گویه‌هایی<sup>۱</sup> متفاوت استفاده گردید.

### انتظارات اجتماعی (Social expectation)

انتظاری است که دیگران از ما دارند تا بر آن سباق رفتار کنیم. بی‌توجهی به این انتظارات غالباً نتایج ناخوشایندی برای افراد در پی دارند. در طرح حاضر، انتظارات اجتماع محلی و گروه‌های پیرامونی پاسخگویان در مورد اینکه تا چه اندازه به ضرورت توجه به بحران آبی و لزوم کنترل مصرف معطوف هستند، طبق همان ابزار اندازه‌گیری ترجیحات اجتماعی، اندازه‌گیری شد.

### شبکه مرجع (Reference network)

افراد معمولاً برای خود گروه‌های مرجعی دارند که تلاش می‌کنند طرز فکر، رفتار و منش خود را مشابه آنان نمایند؛ بنابراین اینکه گروه‌های مرجع کشاورزان در خصوص بحران آبی و نحوه مقابله با آن و پذیرش یا رد آبیاری قطره‌ای چگونه می‌اندیشند و رفتار می‌کنند، تأثیر بسزایی بر رفتار کشاورزان تابعی خواهد گذاشت. سنجش این مفهوم نیز از طریق همان ابزار مشابه با ترجیحات اجتماعی (اما با گویه‌های متفاوت) انجام گردید. تفاوت عمده‌ای که در اندازه‌گیری این مفهوم با سه مفهوم قبلی وجود داشت، مربوط به جامعه آماری آن‌ها بود به این معنی که پاسخگویان سؤالات این مفهوم، شامل کسانی بود که در هر روستا یا ناحیه روستایی، به‌عنوان افراد خوش‌نام و بانفوذ بالای اجتماعی شناخته می‌شدند. ث- ریسک‌پذیری: میزان ریسک‌پذیری افراد در نحوه مواجهه آن‌ها با پدیده‌های جدید مؤثر است. انتظار می‌رود افرادی که ریسک‌پذیر نیستند، در برابر آبیاری قطره‌ای مقاومت بیشتری از خود

۱ - اگر در یک پرسش‌نامه، یک متغیر از طریق تنها طرح یک سؤال قابل اندازه‌گیری نباشد و برای سنجش آن نیاز باشد مجموعه‌ای از سؤالات مطرح شوند در آن صورت به تک‌تک آن سؤالات یک گویه اطلاق می‌گردد.

(اینکه نوآوری تا چه اندازه با شرایط اجتماعی و فرهنگی، ویژگی‌های اراضی، وضعیت منابع آب، نوع کشت و زرع و غیره سازگار است) و پیچیدگی (اینکه اجرای فناوری تا چه اندازه سخت/سهل است، به‌کارگیری فناوری تا چه اندازه برای فرد سخت/سهل است، مراحل قبل از اجرا از قبیل بوروکراسی اداری، اخذ تسهیلات و ... تا چه اندازه سخت/سهل هستند، نگهداری تجهیزات و غیره چقدر سخت/سهل هستند) را بررسی می‌نماید. در این مرحله اگر ارزیابی فرد مثبت باشد، در او رغبت نسبت به پذیرش یا رد نوآوری ایجاد می‌گردد. اندازه‌گیری این متغیرها نیز بر اساس پرسشنامه محقق ساخته با سؤالاتی در قالب طیف پنج گزینه‌ای لیکرت انجام گردید.

مرحله سوم که در اصل خروجی مدل است، تصمیم نهایی فرد در قبال یک نوآوری جدید را معین می‌سازد. اگر چنانچه طی مراحل اول و دوم، متوسط نگاه و گرایش فرد نسبت فناوری جدید مثبت باشد، در آن صورت خروجی مدل به‌سوی پذیرش عملی نوآوری و در غیر این صورت، به‌سوی رد آن منتهی خواهد گردید.

#### نتایج و بحث

بطوریکه پیش‌تر هم ذکر گردید، مدل مفهومی راجرز به‌عنوان چهارچوب تئوریک در این بررسی بکار گرفته شد. در این مدل به‌طورکلی سه مرحله در زمینه پذیرش نوآوری پیش‌بینی گردیده است: مرحله مقدماتی، مرحله فرایندی و مرحله نهایی یا نتیجه که در حقیقت قسمت خروجی مدل است که منتهی به پذیرش یا رد نوآوری می‌گردد. در هر یک از این مراحل، مجموعه متغیرهایی دخیل هستند که هر یک بخشی از فرایند پذیرش نوآوری را تبیین می‌نمایند. در بخش اول ارائه یافته‌ها تلاش خواهیم کرد تا به متغیرهای بکار رفته در مدل و سپس در بخش دوم، به تحلیل استنباطی آن‌ها پردازیم.

نشان دهند و برعکس. افراد ریسک‌پذیر، از احتمال بیشتری برای پذیرش آبیاری قطره‌ای برخوردارند. در خصوص "ریسک‌پذیری" از پرسشنامه استاندارد رورمان (۲۰۰۵) استفاده شد. این پرسشنامه اصطلاحاً تحت عنوان پرسشنامه گرایش به ریسک (ROQ) شناخته می‌شود که دارای ۱۲ سؤال و هر سؤال با استفاده از طیف لیکرت شامل هفت انتخاب است. ج- دانش: در این مقاله، منظور از دانش، در حقیقت اطلاعات کلی و ضروری کشاورزان از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای است که این اطلاعات ممکن است بعضاً ماهیت عمومی و بعضاً ماهیت فنی داشته باشند. جهت سنجش میزان دانش (در حد متوسط و در سطح یک کشاورز/ بهره‌بردار باغی) تعدادی گویه پیرامون موضوعاتی از قبیل: مفهوم آبیاری قطره‌ای، مزایا و معایب سیستم آبیاری قطره‌ای در مقایسه با آبیاری سنتی، ضرورت یا عدم ضرورت آبیاری قطره‌ای، طرز کار کلی یک سیستم آبیاری قطره‌ای، مقایسه کلی و تخمینی میزان مصرف آب در آبیاری قطره‌ای با سنتی و غیره در قالب طیف پنج گزینه‌ای لیکرت تنظیم گردیدند. کم و کیف دانش و اطلاعات اخذشده، بانضمام چگونگی ویژگی‌های شخصیتی و متغیرهای نظام اجتماعی که در مرحله مقدماتی مشخص می‌شوند، فرد را یا به سمت بررسی‌های بیشتر پیرامون نوآوری (مرحله دوم مدل) هدایت کرده و یا مانع بررسی‌های بیشتر می‌شوند. در مرحله دوم که تحت عنوان "فرایند" نامیده شده است، فرد در خصوص ویژگی‌های خود نوآوری اقدام به ارزیابی می‌نماید و مفاهیمی شامل: فایده نسبی (اینکه نوآوری تا چه اندازه از نظر هزینه‌های مصرفی آب، هزینه‌های کنترل آفات و بیماری‌ها، میزان عملکرد، حفظ منابع آب و تداوم کشاورزی برای سالیان آتی و غیره برای فرد می‌تواند مفید باشد)، قابلیت اجرا (اینکه نوآوری تا چه اندازه از نظر هزینه‌های اجرایی، مجوزهای قانونی و بخشنامه‌های سازمان‌های اجرایی دخیل در موضوع، میزان دسترسی به تجهیزات و خدمات اجرایی و پشتیبانی و غیره، قابلیت عملیاتی شدن دارد)، مشاهده‌پذیری (اینکه نتایج نوآوری تا چه اندازه برای فرد ملموس و قابل مشاهده است)، سازگاری

بخش اول- توصیف متغیرها

الف-۱) متغیرهای مرحله مقدماتی: ویژگی‌های شخصیتی

۱. میزان تحصیلات

طبق داده‌های به دست آمده، حدود ۴۹ درصد از پاسخگویان بی‌سواد و یا دارای سواد سطح ابتدایی، ۲۳ درصد راهنمایی یا دبیرستان و شش درصد برخوردار از تحصیلات دانشگاهی بودند.

۲. گرایش به تغییر

از نظر گرایش به تغییر بر اساس مدل عبدالکریم و کین (۲۰۱۸) افراد به چهار گروه به شرح زیر طبقه‌بندی

جدول ۱- گرایش به تغییر

درصد کل	فراوانی	درصد کل	فراوانی	تغییر	تغییر
۱۳	۱۰	۲۲	۱۷	مثبت	پذیرش تغییر
۲۲	۱۷	۴۳	۳۴	منفی	بی‌تفاوتی در برابر تغییر
				فعال	منفعل

می‌شوند: پذیرش تغییر- استقبال از تغییر- بی‌تفاوتی در قبال تغییر- مقاومت در برابر تغییر. این گروه‌ها از منطری دیگر، مجدداً به چهار رده دیگر تقسیم می‌گردند: گرایش مثبت به تغییر، گرایش منفی به تغییر، گرایش منفعل در قبال تغییر و نهایتاً گرایش فعال در برابر تغییر. جدول (۱) اطلاعات این متغیر را ارائه کرده است. ملاحظه می‌شود که بیشترین فراوانی (۴۳٪) مربوط به کسانی است که در قبال تغییر بی‌تفاوت هستند که این نوع گرایش از نظر طبقه‌بندی عبدالکریم و کین منفی- منفعل محسوب می‌گردد.

۳. ریسک‌پذیری/ نیاز به نوآوری

دو متغیر ریسک‌پذیری و نیاز به نوآوری در حقیقت سومین و چهارمین متغیر از مرحله مقدماتی مدل راجرز هستند. نمونه‌های بررسی شده به میزان ۵۵ درصد دارای ریسک‌پذیری متوسط یا کم و حدود ۷۳ درصد نیز به میزان متوسط یا کم به نوآوری (آبیاری قطره‌ای) احساس نیاز داشتند.

الف-۲) متغیرهای مرحله مقدماتی: نظام اجتماعی (هنجارهای اجتماعی)

متغیر هنجارهای اجتماعی یکی از متغیرهای مهم در مدل راجرز است که نقش تعیین‌کننده‌ای در رابطه با

سوگیری‌های رفتاری افراد ایفا می‌نماید. این متغیر متشکل از چهار بعد فرعی است که هر یک به نوبه خود سهمی مهم در تعیین و شکل‌دهی رفتار دارا هستند. ترجیحات، باورهای هنجاری فردی، انتظارات اجتماعی و گروه‌های مرجع در حقیقت شکل‌دهنده هنجارهای اجتماعی پیرامون ما هستند. جدول (۲) اطلاعات مرتبط با این متغیر را ارائه کرده و نشان می‌دهد که باغداران مصاحبه‌شونده در خصوص آبیاری قطره‌ای توسط کدام فضای هنجاری احاطه شده‌اند. داده‌های بررسی شده به وضوح نشان می‌دهند که هنجارهای اجتماعی حاکم در فضای مورد مطالعه، به طور قابل توجهی با آبیاری قطره‌ای ناهم‌سو هستند.

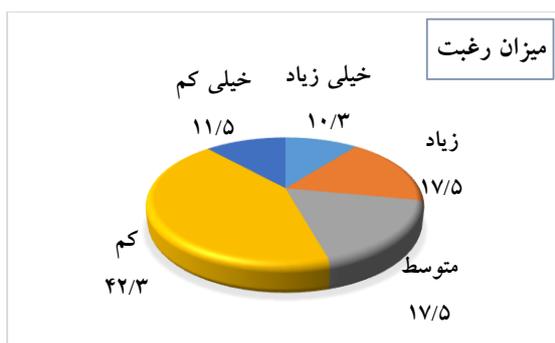
جدول ۲- متغیرهای مرحله مقدماتی: نظام اجتماعی

متغیرها	فراوانی	درصد
ترجیحات (در خصوص آبیاری قطره‌ای)	۲۲	۲۸/۲
عدم ترجیح	۵۶	۷۱/۸
باورهای هنجاری فردی (در خصوص آبیاری قطره‌ای)	۱۹	۲۴/۴
ناموافق	۵۹	۷۵/۶
انتظارات اجتماعی (در خصوص آبیاری قطره‌ای)	۳۴	۴۳/۶
انتظار رد	۴۴	۵۶/۴
گروه‌های مرجع (واکنش نسبت به آبیاری قطره‌ای)	۱۷	۲۱/۸
نمی‌پذیرند	۶۱	۷۸/۲

ب-۱) متغیرهای مرحله فرایندی: دانش - رغبت

در مرحله فرایندی مدل، دو متغیر دانش و رغبت پیش‌بینی شده‌اند. مراد از دانش، میزان آگاهی و اطلاعات فنی در خصوص نوآوری (آبیاری قطره‌ای) و منظور از رغبت، تمایل عمیق درونی فرد نسبت به نوآوری است. طبق بررسی صورت گرفته، چیزی حدود ۴۶/۳ درصد در

حد کم یا خیلی کم و ۲۱/۸ درصد نیز در حد متوسط دارای دانش فنی در خصوص آبیاری قطره‌ای هستند. در مورد رغبت نیز ۵۳/۸ درصد رغبت کم یا خیلی کم و ۱۷/۵ درصد هم در حد متوسط نسبت به آبیاری قطره‌ای رغبت دارند (شکل ۱).



شکل ۱- متغیرهای مرحله فرایندی: دانش و رغبت

ب-۲) متغیرهای مرحله فرایندی: ویژگی‌های نوآوری

ویژگی‌های نوآوری از مجموعه متغیرهای دیگری است که در مرحله فرایندی مدل مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این مجموعه شامل پنج متغیر فرعی است که اطلاعات

مربوطه به شرح جدول (۳) ارائه گردیده است. به جز متغیر پیچیدگی که هرچه کمتر باشد، شانس پذیرش نوآوری بیشتر می‌شود، چهار متغیر دیگر این مجموعه، به میزانی که بیشتر باشند، احتمال پذیرش نوآوری نیز افزایش می‌یابد.

جدول ۳- متغیرهای مرحله فرایندی: ویژگی‌های نوآوری

جمع	طیف نمرات					ویژگی‌های نوآوری
	۴/۲۱-۵	۳/۴۱-۴/۲۰	۲/۶۱-۳/۴۰	۱/۸۱-۲/۶۰	۱-۱/۸۰	
۷۸	۸	۲۰	۲۱	۲۳	۶	فایده نسبی
۱۰۰	۱۰/۳	۲۵/۶	۲۶/۹	۲۹/۵	۷/۷	درصد
۷۸	۸	۲۰	۲۱	۲۴	۵	مشاهده‌پذیری
۱۰۰	۱۰/۳	۲۵/۶	۲۶/۹	۳۰/۸	۶/۴	درصد
۷۸	۳	۱۵	۱۷	۲۸	۱۵	قابلیت اجرا
۱۰۰	۳/۸	۱۹/۲	۲۱/۸	۳۵/۹	۱۹/۲	درصد
۷۸	۸	۲۱	۲۰	۲۳	۶	سازگاری
۱۰۰	۱۰/۳	۲۶/۹	۲۵/۶	۲۹/۵	۷/۷	درصد
۷۸	۵	۲۵	۲۰	۲۶	۲	پیچیدگی
۱۰۰	۶/۴	۳۲/۱	۲۵/۶	۳۳/۳	۲/۶	درصد

ب-۱-۲- فایده نسبی

متغیر فایده نسبی، مترادف با آنچه که در ادبیات اقتصادی تحت عنوان "مزیت اقتصادی" از آن یاد می‌شود نیست. این متغیر مفهومی است ویژه که در بررسی حاضر در معنای ارزیابی‌ای که کشاورزان در ذهن خود از فناوری آبیاری قطره‌ای در قیاس با فناوری‌های موجود انجام می‌دهند، بکار رفته است. برای اندازه‌گیری این مفهوم، شاخص‌هایی مورد استفاده قرار گرفتند که جدول زیر توزیع و تحلیل توصیفی آن‌ها را ارائه کرده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، جدول فوق دربرگیرنده پنج متغیر محوری است که هر یک از زاویه‌ای خاص به کشاورز امکان ارزیابی نسبتاً جامعی از آبیاری قطره‌ای را فراهم می‌آورند. با توجه به اطلاعات ارزشمندی که در ذیل هر یک از پنج متغیر فوق وجود داشته و ظرفیتی که در حوزه برنامه‌ریزی توسعه فناوری آبیاری قطره‌ای می‌تواند داشته باشند، تلاش بر این شد تا طی بندهای (ب-۱-۲) الی (ب-۲-۵)، جزئیات بیشتری در خصوص شاخص‌هایی که ذیل هر یک از این متغیرها اندازه‌گیری شده‌اند، به شرح زیر مورد بحث قرار گیرد:

جدول ۴- فایده نسبی آبیاری قطره‌ای

درصد	جمع	درصد	خیلی زیاد	زیاد	درصد	متوسط	درصد	کم	خیلی کم	فایده نسبی آبیاری قطره‌ای		
											درصد	زیاد
۱۰۰	۷۸	۶	۵	۱۰	۸	۲۶	۲۰	۴۰	۳۱	۱۸	۱۴	تجهیزات
۱۰۰	۷۸	۱	۱	۱۷	۱۳	۲۳	۱۸	۴۵	۳۵	۱۴	۱۱	از نظر هزینه اجرایی
۱۰۰	۷۸	۲۶	۲۰	۴۹	۳۸	۱۵	۱۲	۱۰	۸	۰	۰	از نظر هزینه آب مصرفی
۱۰۰	۷۸	۱۹	۱۵	۴۲	۳۳	۳۵	۲۷	۴	۳	۰	۰	از نظر کنترل آفات و بیماری‌ها
۱۰۰	۷۸	۸	۶	۱۷	۱۳	۲۳	۱۸	۳۲	۲۵	۲۰	۱۶	از نظر عملکرد تولید
۱۰۰	۷۸	۸	۶	۳۵	۲۷	۲۴	۱۹	۲۰	۱۶	۱۳	۱۰	از نظر راندمان آبیاری
۱۰۰	۷۸	۲۹	۲۳	۴۰	۳۱	۲۴	۱۹	۵	۴	۱	۱	از نظر راحتی عملیات آبیاری
۱۰۰	۷۸	۳	۲	۱۵	۱۲	۳۸	۳۰	۳۶	۲۸	۸	۶	از نظر راحتی عملیات زراعی/ باغی
۱۰۰	۷۸	۱۰	۸	۲۸	۲۲	۲۲	۱۷	۳۳	۲۶	۶	۵	از نظر کاهش مصرف آب
۱۰۰	۷۸	۹	۷	۱۹	۱۵	۲۹	۲۳	۳۵	۲۷	۸	۶	پوسیدگی (در برابر آفتاب)
۱۰۰	۷۸	۵	۴	۳۶	۲۸	۲۶	۲۰	۲۷	۲۱	۶	۵	از نظر کیفیت جوندگان
۱۰۰	۷۸	۱	۱	۹	۷	۳۸	۳۰	۴۶	۳۶	۵	۴	تجهیزات قطره‌چکان‌ها
۱۰۰	۷۸	۴	۳	۱۲	۹	۳۳	۲۶	۴۵	۳۵	۶	۵	سوراخ یا شکسته شدن

کشاورزی، ایجاد می‌نمایند. کشاورزان اغلب در کف باغات خود اقدام به کشت یونجه یا محصولات مشابه می‌نمایند تا بخشی از درآمد خود را از این طریق تأمین کنند، اما وجود شبکه لوله‌های مربوط به سیستم آبیاری قطره‌ای همواره برایشان ایجاد مشکل می‌نماید؛ اما باین‌حال، در مواردی از قبیل؛ راحتی عملیات آبیاری، راندمان آبیاری و مدیریت آفات و بیماری‌ها، سامانه‌های آبیاری قطره‌ای از نظر کشاورزان، مفید یا بسیار مفید ارزیابی شده‌اند.

#### ب-۲-۲- مشاهده‌پذیری

یک فناوری در صورتی از شانس بالا برای جلب توجه مخاطبان برخوردار می‌شود که نتایج ملموس و قابل مشاهده‌ای برای مخاطبان داشته باشد.

چنانکه از توزیع داده‌های جدول برمی‌آید، ارزیابی کشاورز از فایده نسبی آبیاری قطره‌ای با توجه به هزینه‌هایی که برای خرید و طراحی و اجرای تجهیزات آبیاری قطره‌ای انجام می‌شوند، چندان خوب نیست و به نظر او در تحلیل سود و زیان اقتصادی، سیستم آبیاری قطره‌ای به‌صرفه نیست. بر اساس همین قیاس، کیفیت تجهیزات، وجود مشکلاتی چون پوسیدگی در برابر نور خورشید، سوراخ شدن توسط جوندگان، شکستن یا ترک خوردن لوله‌ها و گرفته شدن قطره‌چکان‌ها، مواردی هستند که از دید کشاورزان باعث کاهش فایده نسبی آبیاری قطره‌ای می‌شوند. فاکتور دیگری که از نظر اقتصادی سبب افت فایده نسبی سیستم آبیاری قطره‌ای مرسوم (سطحی) نزد کشاورزان می‌شود، مشکلاتی است که لوله‌ها برای به‌کارگیری ماشین‌آلات کشاورزی و سایر عملیات

#### جدول ۵- مشاهده‌پذیری نتایج آبیاری قطره‌ای

طیف پاسخ‌ها											
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	مشاهده‌پذیری نتایج آبیاری قطره‌ای
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	میزان مشاهده‌پذیری نتایج اجرای آبیاری قطره‌ای
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	

قابل بررسی است: یک فناوری ممکن است از نظر منطقی یا مشکلات فنی قابلیت اجرایی نداشته باشد که این، یک بعد از قضیه را در بر می‌گیرد. بعد دیگر مربوط به موانع ساختاری‌ای می‌شود که پیاده‌سازی فناوری را با مشکل یا تبعات ناخوشایند می‌نمایند و لذا قابلیت اجرایی آن را تحت تأثیر منفی قرار می‌دهند. در این بررسی، بعد دوم مسئله یعنی موانع ساختاری مورد توجه و بررسی قرار گرفته‌اند.

بررسی این متغیر در رابطه با آبیاری قطره‌ای نشان داد اغلب کشاورزان (حدود ۶۳ درصد) معتقدند که سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در حد متوسط یا بیشتر، برخوردار از نتایج ملموس و قابل مشاهده هستند.

#### ب-۲-۳- قابلیت اجرا

یک فناوری در صورتی شانس پذیرش دارد که قابلیت اجرایی داشته باشد. قابلیت اجرایی از دو بعد

جدول ۶- قابلیت اجرای آبیاری قطره‌ای

طیف پاسخ‌ها												
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	قابلیت اجرای آبیاری قطره‌ای
۱۰۰	۷۸	۶	۵	۱۴	۱۱	۳۶	۲۸	۲۶	۲۰	۱۸	۱۴	از نظر توان مالی کشاورز
۱۰۰	۷۸	۱	۱	۴۰	۳۱	۲۲	۱۷	۲۳	۱۸	۱۴	۱۱	از نظر دسترسی به تجهیزات
۱۰۰	۷۸	۱۰	۸	۳۷	۲۹	۱۹	۱۵	۲۷	۲۱	۶	۵	از نظر دسترسی به خدمات پشتیبانی
۱۰۰	۷۸	۱	۱	۹	۷	۱۲	۹	۳۷	۲۹	۴۱	۳۲	دیوارکشی
۱۰۰	۷۸	۳	۲	۱۴	۱۱	۱۴	۱۱	۵۴	۴۲	۱۵	۱۲	برق
۱۰۰	۷۸	۸	۶	۱۸	۱۴	۳۲	۲۵	۲۹	۲۳	۱۳	۱۰	از نظر مجوزهای قانونی موافقت اصولی
۱۰۰	۷۸	۱	۱	۶	۵	۲۲	۱۷	۴۱	۳۲	۲۹	۲۳	حفر چاه اختصاصی
۱۰۰	۷۸	۳	۲	۲۳	۱۸	۳۱	۲۴	۳۷	۲۹	۶	۵	تسهیلات
۱۰۰	۷۸	۵	۴	۹	۷	۱۳	۱۰	۴۴	۳۴	۲۹	۲۳	از نظر امنیتی: سرقت تجهیزات

پاسخگویان معتقدند مشکلاتی از قبیل سرقت

#### ب-۲-۴- سازگاری

طبق آنچه که پیش‌تر نیز ذکر گردید، یکی از فاکتورهای مؤثر بر پذیرش و توسعه یک فناوری جدید، سازگاری آن با اقتضائات محیطی است که در آن معرفی و ارائه می‌گردد.

تجهیزات، فقدان مجوز برای حفر چاه، سختی اخذ تسهیلات بانکی، فقدان مجوز برق، ممنوعیت دیوارکشی (به‌منظور حفاظت از تأسیسات و تجهیزات سیستم آبیاری قطره‌ای)، مواردی هستند که به‌طور جدی قابلیت اجرایی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای را کاهش داده‌اند. این در حالی است که ضعف مالی کشاورزان نیز موضوع را تشدید کرده و به‌عنوان مانعی برای اجرای این سامانه‌ها عمل کرده است.

جدول ۷- قابلیت سازگاری آبیاری قطره‌ای

طیف پاسخ‌ها												
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	قابلیت سازگاری آبیاری قطره‌ای
۱۰۰	۷۸	۱۳	۱۰	۴۲	۳۳	۲۹	۲۳	۱۲	۹	۴	۳	با شرایط و بحران کم‌آبی
۱۰۰	۷۸	۴	۳	۲۴	۱۹	۴۴	۳۴	۲۶	۲۰	۳	۲	با شرایط فرهنگی- اجتماعی
۱۰۰	۷۸	۵	۴	۱۰	۸	۲۶	۲۰	۳۶	۲۸	۲۳	۱۸	با نیاز کشاورزان
۱۰۰	۷۸	۱	۱	۴	۳	۳۲	۲۵	۴۷	۳۷	۱۵	۱۲	اراضی کوچک
۱۰۰	۷۸	۲۷	۲۱	۴۷	۳۷	۱۵	۱۲	۹	۷	۱	۱	با وسعت اراضی
۱۰۰	۷۸	۴	۳	۱۷	۱۳	۲۲	۱۷	۳۸	۳۰	۱۹	۱۵	با وضعیت مالکیت منابع
۱۰۰	۷۸	۲۷	۲۱	۴۰	۳۱	۲۲	۱۷	۹	۷	۳	۲	منابع آبی مشترک
۱۰۰	۷۸	۵	۴	۸	۶	۲۴	۱۹	۵۸	۴۵	۵	۴	منابع آبی اختصاصی
۱۰۰	۷۸	۵	۴	۸	۶	۲۴	۱۹	۵۸	۴۵	۵	۴	باغات مسن
۱۰۰	۷۸	۸	۶	۴۶	۳۶	۱۵	۱۲	۲۹	۲۳	۱	۱	باغات سنی باغات جوان

پاسخگویی به چالش کم‌آبی، همخوانی با ویژگی‌های فرهنگی-اجتماعی روستائیان، تناسب با اراضی بزرگ،

بررسی این متغیر از دیدگاه بهره‌برداران و کشاورزان نشان داد که آبیاری قطره‌ای از نظر قدرت

**ب-۲-۵- پیچیدگی**

پذیرش و گسترش یک فناوری به طور معنی داری متأثر از میزان پیچیدگی آن است. میزان پیچیدگی نیز همانند متغیر قابلیت اجرا، از دو منظر قابل بررسی است: از یک جهت، پیچیدگی اشاره به مکانیسم کاربری یک فناوری دارد و از جهتی دیگر، اشاره به مقدمات و تمهیداتی است که برای به کارگیری آن فناوری باید فراهم شوند. در جدول زیر، آیت‌هایی برای بررسی هر دو بعد فناوری آبیاری قطره‌ای بررسی شده‌اند.

تناسب با منابع آبی اختصاصی (چاه شخصی) و تناسب با باغات جوان، سازگاری متوسط به بالایی در منطقه مورد مطالعه دارد؛ اما در رابطه با اراضی کوچک‌مقیاس، منابع آبی اشتراکی و باغات سالخورده، کشاورزان عموماً معتقدند که سیستم آبیاری قطره‌ای مناسب نیست (عدم سازگاری). علاوه بر این، به جهت میزان سازگاری این فناوری با نیازهای حس شده کشاورزان، روشن شد که کشاورزان چندان نیازی در خود به این سیستم احساس نمی‌کنند.

**جدول ۸- میزان پیچیدگی آبیاری قطره‌ای**

طیف پاسخ‌ها												
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	
۱۰۰	۷۸	۳	۲۰	۲۶	۲۰	۲۹	۲۳	۴۰	۳۱	۳	۲	از نظر اجرا
۱۰۰	۷۸	۱	۲۳	۲۹	۲۳	۲۹	۲۳	۳۷	۲۹	۳	۲	از نظر به کارگیری
۱۰۰	۷۸	۱	۱۵	۱۹	۱۵	۲۹	۲۳	۴۷	۳۷	۳	۲	از نظر نگهداری و تعمیرات
۱۰۰	۷۸	۵	۳۵	۴۶	۳۶	۲۱	۱۷	۲۳	۱۸	۴	۳	از نظر بوروکراسی اداری
۱۰۰	۷۸	۱۷	۳۰	۳۸	۳۰	۲۴	۱۹	۱۹	۱۵	۱	۱	از نظر اخذ تسهیلات

**بخش دوم- روابط تحلیلی متغیرها**

**الف) محاسبه ضرایب  $\Gamma$**

به منظور بررسی روابط بین متغیرهای بکار رفته در مدل، ابتدا ضریب  $\Gamma$  پیرسون بین آن‌ها محاسبه گردید. بطوریکه ملاحظه می‌شود، روابط موجود بین تمام متغیرهای مدل با شدت خوب یا بالایی و در جهت مثبت مورد تأیید قرار گرفته‌اند. در مورد یکی از متغیرها (پیچیدگی) جهت رابطه منفی است به این معنی که با کاهش آن، میزان متغیر  $Y$  افزایش می‌یابد (جدول ۹).

بطوریکه مشاهده می‌شود، کشاورزان معتقدند که فناوری آبیاری قطره‌ای از نظر اجرایی، کاربری و تعمیر و نگهداری، پیچیدگی متوسط رو به پایینی دارد اما برعکس، از نظر بوروکراسی اداری و فرایند اخذ تسهیلات، پیچیدگی زیاد و خسته‌کننده‌ای دارد که باعث دلسردی بسیاری، از پیگیری و به کارگیری این فناوری می‌شود.

**جدول ۹- محاسبه ضریب  $\Gamma$  بین متغیرهای تحقیق**

X	تحصیل	گرایش به تغییر	ریسک	نیاز به نوآوری	هنجارهای اجتماعی	دانش پیرامون نوآوری	فایده نسبی	سازگاری	پیچیدگی	آزمون پذیری	قابلیت رویت
Y	آگاهی	آگاهی	آگاهی	آگاهی	آگاهی	رغبته	رغبته	رغبته	رغبته	رغبته	رغبته
R	۰/۸۳۶	۰/۶۲۵	۰/۷۳۲	۰/۷۴۲	۰/۷۰۵	۰/۷۶۶	۰/۸۰۸	۰/۷۶۹	-۰/۷۲۷	۰/۲۶۳	۰/۷۶۸
Sig.	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۱

**ب) روابط رگرسیونی**

تحقیق تحت تأثیر پنج متغیر مستقل تحت عناوین هنجارهای اجتماعی، نیاز به فناوری، ریسک‌پذیری، گرایش به تغییر و تحصیلات مورد بررسی قرار گرفته است. جدول (۱۰) روابط رگرسیونی این متغیرها با متغیر وابسته میزان دانش فرد در خصوص آبیاری قطره‌ای را ارائه کرده است. ملاحظه می‌شود که تغییرات متغیر دانش حدوداً به میزان ۷۸٪ توسط متغیرهای بکار رفته در مدل زیر تبیین می‌گردد.

به‌منظور بررسی وزن هریک از متغیرها در تبیین واریانس متغیرهای وابسته مدل، تحلیل رگرسیونی خطی چندگانه (بین ویژگی‌های شخصیتی و نظام اجتماعی با دانش و نیز بین ویژگی‌های فناوری و رغبت) و رگرسیون لجستیک (بین رغبت و تصمیم) محاسبه گردید. متغیر دانش یکی از متغیرهای وابسته در مدل راجرز است که در این

**جدول ۱۰- محاسبات رگرسیون چندگانه متغیر دانش**

P	T	Beta	SE	B	متغیرهای پیش‌بین
۰/۰۰۵	۲/۸۶۴	-	۰/۲۳۷	۰/۶۷۹	مقدار ثابت
۰/۰۰۹	۲/۶۹۵	۰/۲۰۶	۰/۰۶۵	۰/۱۷۵	هنجارهای اجتماعی
۰/۰۱۵	۲/۵۰۵	۰/۲۲۸	۰/۱۴۱	۰/۳۵۴	نیاز به فناوری
۰/۵۹۲	-۰/۵۳۹	۰/۰۵۲	۰/۱۵۳	۰/۰۸۲	ریسک‌پذیری
۰/۸۶۸	۰/۱۶۷	۰/۰۱۴	۰/۰۷۴	۰/۰۱۲	گرایش به تغییر
۰/۰۰۰	۵/۶۰۵	۰/۵۰۴	۰/۰۷۵	۰/۴۱۹	تحصیلات
ADJ.R <sup>2</sup> = ۰/۷۶۸		R <sup>2</sup> = ۰/۷۸۳		R= ۰/۸۸۵	

روابط رگرسیونی این متغیرها با متغیر وابسته میزان تمایل یا رغبت فرد نسبت به آبیاری قطره‌ای را ارائه کرده است. مشاهده می‌شود که حدود ۷۲٪ از تغییرات متغیر وابسته رغبت توسط این شش متغیر قابل تبیین هستند.

متغیر تمایل یا رغبت دیگر متغیر وابسته در مدل راجرز است که تحت تأثیر شش متغیر مستقل تحت عناوین دانش، قابلیت مقایسه، قابلیت اجرا، پیچیدگی، فایده نسبی و مشاهده‌پذیری مورد بررسی قرار گرفته است. جدول زیر

**جدول ۱۱- محاسبات رگرسیون چندگانه متغیر تمایل یا رغبت**

P	T	Beta	SE	B	متغیرهای پیش‌بین
۰/۹۱۷	-۰/۱۰۴	-	۰/۹۷۵	۱۰۱	مقدار ثابت
۰/۰۰۹	۲/۶۸۰	۰/۲۹۴	۰/۱۰۴	۰/۲۷۸	آگاهی و دانش
۰/۷۹۱	-۰/۲۶۶	-۰/۰۸۵	۰/۳۲۸	-۰/۰۸۷	قابلیت مقایسه
۰/۰۰۵	-۲/۸۸۲	-۰/۲۱۹	۰/۰۸۰	-۰/۲۳۲	قابلیت اجرا
۰/۷۷۰	۰/۲۹۳	۰/۰۴۴	۰/۱۷۸	۰/۰۵۲	پیچیدگی
۰/۰۱۸	۲/۴۲۶	۰/۵۷۲	۰/۲۴۳	۰/۵۸۸	فایده نسبی
۰/۳۳۹	۰/۹۶۲	۰/۲۴۹	۰/۲۶۹	۰/۲۵۸	مشاهده‌پذیری
ADJ.R <sup>2</sup> = ۰/۷۰۰		R <sup>2</sup> = ۰/۷۲۳		R= ۰/۸۵۰	

و دانش بانضمام مجموعه متغیرهای دیگری که مربوط به ویژگی‌های فناوری می‌باشند، میزان تمایل یا رغبت فرد نسبت به نوآوری را شکل می‌دهند و نهایتاً میزان تمایل و رغبت نیز شکل‌دهنده تصمیم نهایی فرد (پذیرش یا رد) در خصوص فناوری می‌گردد. جدول زیر رابطه رگرسیونی میزان تمایل یا رغبت و تصمیم نهایی فرد مبنی بر پذیرش یا رد آبیاری قطره‌ای را با استفاده از رگرسیون لجستیک ارائه کرده است.

نهایتاً، میزان پذیرش آبیاری قطره‌ای آخرین و مهم‌ترین متغیر تحقیق است که در حقیقت به‌عنوان برآیند نهایی سایر متغیرهای بررسی‌شده طبق مدل راجرز، است. پذیرش یا عدم پذیرش آبیاری قطره‌ای همان‌گونه که در مدل نیز مشاهده می‌شود، طبق فرآیند خاصی اتفاق می‌افتد، بنحویکه ابتدا مجموعه متغیرهایی از قبیل ویژگی‌های شخصیتی و متغیرهای نظام اجتماعی بکار می‌افتند تا آگاهی و دانشی در فرد نسبت به نوآوری شکل بگیرد. سپس آگاهی

جدول ۱۲- رگرسیون لجستیک ساده بین متغیرهای رغبت و پذیرش آبیاری قطره‌ای

متغیرهای پیش‌بین	B	SE	Wald	Df	Sig.	Exp(B)
مرحله ۱	۲/۳۴۹	۰/۵۰۱	۲۱/۹۸۱	۱	۰/۰۰۰	۱۰/۴۷۷
روش: enter	-۷/۲۹۷	۱/۵۳۸	۲۲/۵۰۸	۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱

در جدول فوق، ملاحظه می‌شود که مقدار ضریب رگرسیون لجستیک متغیر مستقل رغبت معادل ۲/۳۴۹ است که حاکی از آن است به ازای یک واحد افزایش در میزان رغبت، احتمالات متغیر وابسته پذیرش (odds) به نسبت  $e^{2.349}$  تغییر کند که با توجه به ستون آخر، این تغییر معادل ۱۰/۴۷۷ خواهد بود. به عبارت دیگر مقدار ضریب b متغیر مستقل رغبت حاکی است با یک واحد افزایش در رغبت، نسبت احتمالات متغیر پذیرش آبیاری قطره‌ای ۱۰/۴۷۷ برابر شود. مقدار ضریب ثابت هم نشان می‌دهد اگر مقدار متغیر مستقل صفر باشد (یعنی رغبتی وجود نداشته باشد) نسبت احتمالات متغیر وابسته (پذیرش آبیاری قطره‌ای)

معادل مقدار  $e^{-7.297}$  خواهد بود که با توجه به ستون آخر معادل ۰/۰۰۱ است. به عبارت دیگر مقدار ضریب ثابت حاکی است نسبت احتمالات پذیرش آبیاری قطره‌ای در صورتی که رغبت صفر باشد، معادل ۰/۰۰۱ است. سطح معناداری آزمون Wald هم رقم ۰/۰۰۰ را نشان می‌دهد که نتیجه می‌گیریم به احتمال ۰/۹۵ فرضیه صفر رد شده و مقدار ضریب رگرسیون متغیر مستقل با احتمال ۰/۹۵ به جمعیت تعمیم‌پذیر است. علاوه بر جدول رگرسیونی، محاسبات دیگری به شرح جدول (۱۳) نیز انجام گرفته که طی آن نتایج مربوط به آزمون‌های "کاکس-نل" و "نیجل کرک" ارائه گردیده است.

جدول ۱۳- خلاصه مدل

مرحله	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
۱	۵۱/۵۵۹ <sup>a</sup>	۰/۵۰۸	۰/۶۸۱

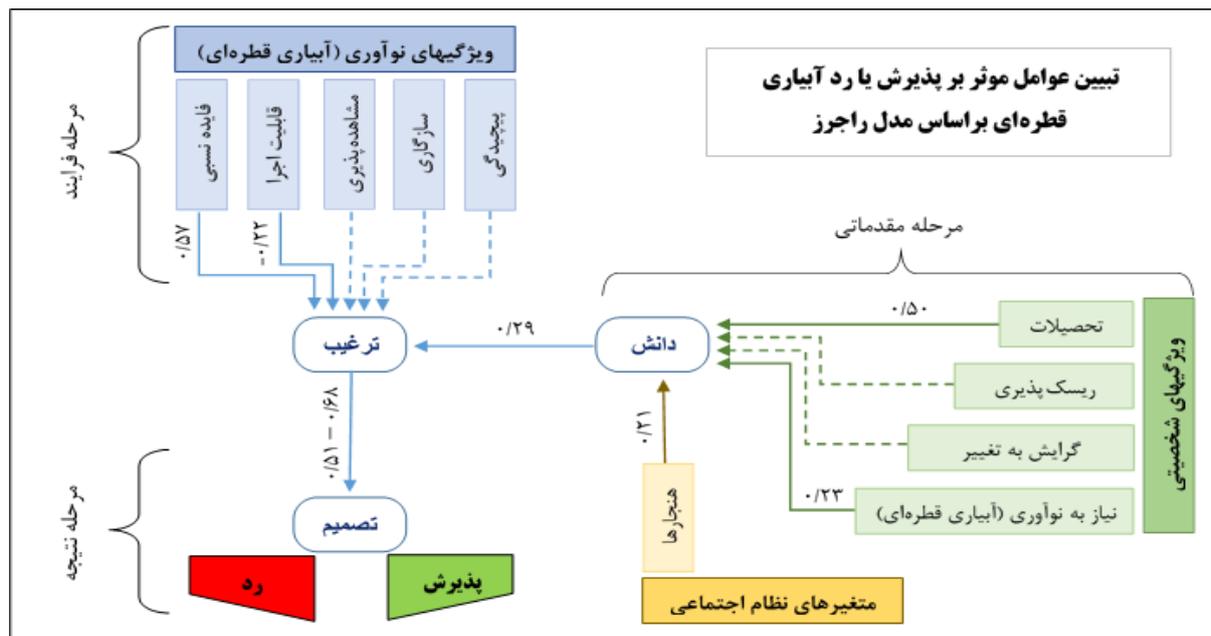
a. Estimation terminated at iteration number 6 because parameter estimates changed by less than .001.

طبق آماره کاکس-نل که با احتیاط بسیار بالاتری انجام گرفته، متغیر رغبت موفق به تبیین ۰/۵۰۸ از واریانس متغیر پذیرش آبیاری قطره‌ای است که این موضوع بر اساس آزمون نیجل کرک، معادل ۰/۶۸۱ است.

### ج) مدل تحلیلی

ذیلاً مدل تحلیلی متغیرهای تحقیق بر اساس تئوری راجرز ارائه شده است (شکل ۲). چنانکه ملاحظه می‌شود، تعداد هفت متغیر از مدل فوق به تأیید رسیده و پنج مورد نیز فاقد اثرات معنی‌داری بوده‌اند. روابط تأیید شده در مدل با فلش‌های پررنگ و روابط تأیید نشده با

فلش‌های مقطع نمایش داده شده‌اند. میزان دانش و آگاهی در خصوص آبیاری قطره‌ای با ضرایب رگرسیونی ۰/۵۰، ۰/۲۳، و ۰/۲۱، به ترتیب تحت تأثیر متغیرهای تحصیلات، احساس نیاز به آبیاری قطره‌ای و هنجارهای اجتماعی موجود پیرامون آبیاری قطره‌ای قرار دارد. همچنین متغیر تمایل و ترغیب به آبیاری قطره‌ای با ضرایب ۰/۲۹، ۰/۲۲- و ۰/۵۷، به ترتیب تحت تأثیر متغیرهای دانش و آگاهی، قابلیت اجرا و فایده نسبی قرار دارد. نهایتاً ترغیب به عنوان آخرین حلقه از متغیرهای اثرگذار مدل، با ضریبی معادل ۰/۵۱ تا ۰/۶۸، واریانس متغیر تصمیم‌گیری در خصوص پذیرش یا رد آبیاری قطره‌ای را تحت تأثیر قرار می‌دهد.



شکل ۲- مدل تحلیلی متغیرهای تحقیق بر اساس تئوری راجرز

اصلاح روش‌های مرسوم و تجهیز اراضی کشاورزی، خصوصاً باغات، به سامانه‌های نوین آبیاری، می‌توان تا حد قابل توجهی از فشار بر منابع آبی کاسته و موجبات پایداری نسبی در حوضه را فراهم آورد. طبق اطلاعات و آمار موجود، علی‌رغم دو دهه برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری در راستای توسعه سامانه‌های آبیاری نوین، میزان موفقیت بسیار ناچیز بوده و با چالش‌های عدیده‌ای مواجه است. بررسی حاضر با استفاده از مدل تحلیلی اورت راجرز و با هدف شناسایی و تحلیل چالش‌های توسعه آبیاری قطره‌ای در سطح باغات سیب شهرستان ارومیه به اجرا درآمد.

نتایج بررسی نشان می‌دهد که:

۱. بررسی "گرایش به تغییر" به‌عنوان یکی از متغیرهایی که قادر به تبیین بخشی از رفتار کشاورزان در مقابل آبیاری قطره‌ای است، نشان می‌دهد که ۴۳ درصد از باغداران نسبت به تغییر بی‌تفاوت و ۲۲ درصد در برابر تغییر مقاومت دارند و فقط ۳۵ درصد از ایشان در رابطه با بحث تغییر وجهه نظر مثبت داشته یا از آن استقبال می‌کنند.
۲. میزان "ریسک‌پذیری" افراد در نحوه مواجهه آن‌ها با آبیاری قطره‌ای مؤثر هستند. ارزیابی این متغیر نشان می‌دهد که ۵۵ درصد از کشاورزان در حد کم یا متوسط دارای شخصیت ریسک‌پذیر هستند.

در رابطه با منفی بودن رابطه بین قابلیت اجرای آبیاری قطره‌ای و میزان تمایل یا رغبت به آن، لازم به توضیح است که چون قابلیت اجرای یک فناوری در رابطه با روش‌های دیگر در دسترس ارزیابی و سپس مورد قضاوت و تصمیم‌گیری واقع می‌شود، لذا در این طرح نیز کشاورز قابلیت اجرای آبیاری قطره‌ای را در مقایسه با آبیاری سنتی (روش موجود در دسترس) مورد ارزیابی قرار داده و نتیجه‌گیری نموده که اجرای آبیاری قطره‌ای در قیاس با آبیاری سنتی مشکل‌تر است؛ بنابراین، چون آبیاری سنتی در مقایسه با آبیاری قطره‌ای قابل‌اجراتر است، لذا رابطه مثبتی بین قابلیت اجرای آبیاری قطره‌ای و میزان تمایل بدان احصاء نشده اما با این اوصاف، رابطه و نقش منفی معنی‌داری بین آن دو برقرار است.

### نتیجه‌گیری

دریاچه ارومیه، بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران، طی دو دهه اخیر با بحران آبی بسیار شدیدی مواجه شده است. بررسی‌ها حکایت از آن دارند که بخش کشاورزی به‌عنوان عمده‌ترین مصرف‌کننده آب، مواجهه با ناکارآمدی‌های بسیار در حوزه مدیریت منابع، به‌ویژه در بخش آب‌و خاک است. به‌زعم بسیاری از متخصصین، با

خصوص سیستم آبیاری قطره‌ای در حد متوسط، کم و یا خیلی کم است.

۹. از نظر اقتصادی، انسان موجودی است که همواره به دنبال به حداکثر رساندن منافع خود است. در تحقیق حاضر، بررسی این ویژگی در قالب مفهوم "فایده نسبی" انجام شده است. ۶۴/۱ درصد از کشاورزان مورد مطالعه معتقدند که فایده نسبی آبیاری قطره‌ای در حد متوسط، کم و یا خیلی کم است. بررسی تفصیلی‌تر این متغیر نشان می‌دهد که عوامل اصلی چنین ارزیابی‌ای از ناحیه کشاورزان، ناشی از موارد زیر بوده است:

- هزینه‌های بالای تجهیزات، طراحی و اجرای سیستم آبیاری قطره‌ای
- کیفیت پایین تجهیزات شامل: خشک شدن در برابر نور خورشید، سوراخ شدن توسط جوندگان، شکستن یا ترک خوردن لوله‌ها و گرفته شدن قطره‌چکان‌ها
- مزاحمت‌هایی که شبکه لوله‌ها در برابر به‌کارگیری ماشین‌آلات کشاورزی و سایر عملیات کشاورزی در سطح باغات ایجاد می‌نمایند.
- ۱۰. یک فناوری زمانی از احتمال بالاتری برای پذیرش برخوردار می‌شود که "قابلیت اجرا" داشته باشد. مطالعه این متغیر در خصوص آبیاری قطره‌ای روشن ساخت که ۷۶/۹ درصد از پاسخگویان معتقدند که آبیاری قطره‌ای در حد متوسط، کم و یا خیلی کم قابل اجراست. بررسی بیشتر موضوع نشان داد که موارد زیر سبب می‌شوند تا اجرای آبیاری قطره‌ای بسیار سخت گردد:

- سرقت تجهیزات
- فقدان مجوز برای حفر چاه
- سختی اخذ تسهیلات بانکی
- فقدان مجوز برق
- ممنوعیت دیوارکشی (به‌منظور حفاظت از تأسیسات و تجهیزات سیستم آبیاری قطره‌ای)
- ضعف مالی کشاورزان
- ۱۱. یک فناوری اگر با شرایط و محیط ناسازگار باشد، از احتمال کمتری برای پذیرش برخوردار خواهد بود. در

۳. نیاز همواره محرک مهمی است که افراد را به سمت امور مختلف سوق می‌دهد. در بررسی حاضر، "نیاز به فناوری آبیاری قطره‌ای" محاسبه و مشخص شد که حدود ۷۳ درصد از کشاورزان پاسخگو، در حد کم یا متوسط به آبیاری قطره‌ای احساس نیاز دارند.

۴. افراد در موقعیت‌های بی‌شماری اقدام به انتخاب می‌کنند. یکی از مؤلفه‌های مهمی که این انتخاب‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، "ترجیحات" هستند. بررسی انجام شده در این تحقیق نشان می‌دهد که حدود ۷۱/۸ درصد از کشاورزان مورد مطالعه، آبیاری قطره‌ای را به آبیاری سنتی ترجیح نمی‌دهند.

۵. بمانند ترجیحات، "باورها" هم از جمله مؤلفه‌هایی هستند که بر رفتار ما تأثیر می‌گذارند. طبق بررسی انجام شده، ۷۵/۶ درصد از کشاورزان مورد مطالعه، باورهای ناموافقی با آبیاری قطره‌ای دارند.

۶. ما به‌طور معمول رفتاری انجام می‌دهیم که دیگران از ما انتظار دارند. در خصوص آبیاری قطره‌ای به این موضوع پرداخته شد که "انتظارات دیگران" (یعنی کسانی که در پیرامون پاسخگویان هستند و در حقیقت محیط اجتماعی آن‌ها را شکل می‌دهند) تا چه اندازه در راستای پذیرش آبیاری قطره‌ای است. نتایج نشان داد که ۵۶/۴ درصد از افراد پیرامون پاسخگویان، انتظار پذیرش آبیاری قطره‌ای را ندارند.

۷. از بین کسانی که در پیرامون ما هستند، برخی که اصطلاحاً "گروه‌های مرجع" نامیده می‌شوند، دارای اهمیت بسیار بیشتری می‌باشند و نقش مهم‌تری در شکل‌گیری رفتار ما دارند. مطالعه این مفهوم در رابطه با نظر گروه‌های مرجع نشان داد که در ۷۸/۲ درصد از موارد مطالعه شده، گروه‌های مرجع، فناوری آبیاری قطره‌ای را نمی‌پذیرند.

۸. "دانش" کشاورزان پیرامون آبیاری قطره‌ای و کارکرد، مزایا و معایب آن دارند، تأثیر بسزایی در رفتار آن‌ها در قبال این سیستم دارد. بررسی این متغیر نشان می‌دهد که اطلاعات حدود ۶۷/۹ درصد از کشاورزان مورد مطالعه در

بررسی حاضر، ۶۲/۸ درصد از کشاورزان معتقدند که آبیاری قطره‌ای در حد متوسط، کم و یا خیلی کم با شرایط آن‌ها "سازگاری" دارد که علت امر در موارد زیر مشخص گردید:

- در اراضی کوچک مقیاس اقتصادی نیست.
- در منابع آبی اشتراکی مشکل ساز است.
- در باغات سالخورده کارایی ندارد (درختان سیراب نمی‌شوند).
- با نیازهای حس شده کشاورزان مطابقت ندارد (طبق اطلاعات بررسی شده، کشاورزان چندان نیازی به این سیستم احساس نمی‌کنند).

۱۲. میزان "پیچیدگی" یک فناوری جدید (چه مراحل اجرائی آن و چه کاربری آن)، رابطه مستقیمی با پذیرش و سرعت گسترش آن دارد. مطالعه میزان پیچیدگی آبیاری قطره‌ای نشان داد که ۶۱/۵ درصد از کشاورزان معتقدند که آبیاری قطره‌ای در حد متوسط، کم و یا خیلی کم، برخوردار از پیچیدگی است. دلایل چنین ابراز نظری ناشی از عوامل زیر است:

- از نظر بوروکراسی اداری (کاغذبازی، بخشنامه‌های متعدد و متباین و ...)
- فرایند اخذ تسهیلات
- ۱۳. آخرین متغیر مورد بررسی، در حقیقت برآیند تمام متغیرهای قبلی است که تحت عنوان "میزان رغبت" مشخص شده است. واری این متغیر روشن ساخت که ۷۱/۳ درصد از کشاورزان پاسخگو به میزان متوسط، کم یا خیلی کم نسبت به پذیرش آبیاری قطره‌ای رغبت دارند.

#### پیشنهادها

با عنایت به آنچه مطرح گردید و بر اساس نتایج حاصل از تحقیق که به‌طور مختصر در بالا جمع‌بندی گردید، پیشنهادهایی به شرح زیر ارائه می‌شود:

۱. به استناد نتایج مطرح شده طی بندهای اول و دوم جمع‌بندی، ارائه آموزش‌های مؤثر (با محوریت تبیین تغییرات، چگونگی مواجهه با تغییرات، نقش آن‌ها در زندگی شخصی و حرفه‌ای و غیره)، معرفی الگوهای موفق

در زمینه آبیاری قطره‌ای و همچنین تضمین حمایت‌های مؤثر دولتی از پروژه‌های آبیاری قطره‌ای با هدف کاهش ریسک، می‌تواند تا حدود زیادی در گرایش‌های کشاورزان و میزان ریسک‌پذیری ایشان در ارتباط با آبیاری قطره‌ای ایجاد تغییرات مثبت نماید.

۲. با توجه به نتایج مطرح شده طی بندهای سوم، چهارم و پنجم جمع‌بندی، به‌منظور ایجاد نیاز به آبیاری قطره‌ای، لازم است تا هم از بعد آموزشی اقدام به ارائه آموزه‌هایی تأثیرگذار پیرامون الزامات و بحران‌های زیست‌محیطی نمود و هم به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی کرد تا ضمن سخت‌تر شدن دسترسی به آب‌های رایگان سطحی و زیرزمینی، هزینه این دسترسی هم افزایش یابد. البته باید توجه داشت که میزان دسترسی به گزینه جایگزین، یعنی آبیاری قطره‌ای باید به همان اندازه، آسان‌تر شده و هزینه آن در مقایسه با روش‌های سنتی موجود، کمتر شود تا کشاورز در مقایسه آبیاری قطره‌ای با سایر روش‌ها، بیشتر به سمت آبیاری قطره‌ای تمایل یابد.

۳. با عنایت به نتایج مطرح شده طی بندهای ششم و هفتم جمع‌بندی، از آنجاکه گروه‌های مرجع، نقشی تعیین‌کننده در رفتار سایر کشاورزان دارند، لذا پیشنهاد می‌شود که این افراد با نفوذ، شناسایی و ضمن حمایت از ایشان جهت اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، از ایشان دعوت به همکاری در برگزاری و مدیریت دوره‌های انگیزشی شود.

۴. به استناد نتایج مطرح شده طی بند نهم جمع‌بندی و در ادامه پیشنهاد شماره ۲، مشخصاً پیشنهاد می‌شود تا تمهیداتی انجام دهیم که منجر به افزایش فایده نسبی آبیاری قطره‌ای در مقایسه با سایر روش‌های آبیاری مرسوم گردد. در این ارتباط، ضروری است تا از طریق نظارت‌های فنی و مهندسی بسیار دقیق و جدی، پروژه‌هایی به مورد اجرا گذارده شوند که نه به لحاظ طراحی و نه به لحاظ کیفیت تجهیزات، هیچ مشکلی نداشته باشند و کاملاً علمی و استاندارد باشند. ضمناً در خصوص ایجاد مزاحمت شبکه لوله‌های مربوط به آبیاری قطره‌ای، بسیار ضروری است که

در خصوص باغات سالخورده، پیشنهاد می‌شود که تجدیدنظری در خصوص تجویز آبیاری قطره‌ای به این قبیل باغات صورت پذیرد و بجای آن، سیستم دیگری که مشخصاً قادر به برطرف نمودن نیاز آبی درختان تنومند و قدیمی باشد، تعریف و تجویز گردد.

در حوزه منابع آبی مشترک، اجرای طرح‌های تجمیعی به‌عنوان یک راهکار، در حال حاضر با مشکلاتی جدی مواجه است که لازم است مورد بررسی و مطالعه قرار گیرند. ضمناً پیشنهاد می‌شود که یک‌بار دیگر و به‌طور دقیق‌تری، در خصوص استفاده از چاه‌های خصوصی یا منابع آبی مشترک و تبیین نقش آن‌ها در سطح مزرعه و حوضه، مطالعات تطبیقی دقیقی صورت پذیرد.

از طریق باز-طراحی این سامانه‌ها، نسبت به رفع مزاحمت آن‌ها و حفظ کارایی‌شان اقدام نمود.

۵. نهایتاً با توجه به نتایج مطرح‌شده طی بندهای ۵، یازدهم و دوازدهم جمع‌بندی، نظر به مشکلاتی که در خصوص قابلیت اجرایی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای وجود دارند، پیشنهاد می‌شود که در حوزه قوانین و بخشنامه‌های دولتی - در کلیه بخش‌های دولتی - تغییراتی ایجاد شوند که به‌طور هماهنگ و با حداقل گردش کار و کاغذبازی، نسبت به تسهیل شرایط اجرایی این سامانه‌ها عمل نمایند. ضمناً مجوزهایی از قبیل دیوارکشی و برق و تسهیلات باید شامل تمامی متقاضیانی گردد که درصدد اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای هستند. در این راستا، موانعی از قبیل سنددار بودن اراضی، مساحت اراضی یا مشکلات ناشی از قوانین ارضی و غیره باید برطرف شوند.

#### فهرست منابع

۱. آمارنامه‌های کشاورزی سال‌های ۱۳۸۱ لغایت ۱۳۹۹. وزارت جهاد کشاورزی. معاونت برنامه‌ریزی و بودجه. اداره کل آمار و اطلاعات.
۲. آقاپور م، یزدانی س و رفیعی ح، ۱۳۹۲. عوامل مؤثر بر پذیرش آبیاری تحت فشار در شهرستان‌های شوش، اندیمشک و دزفول. تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، دوره ۴۴، شماره ۴، صفحه‌های ۶۰۳ تا ۶۱۲.
۳. احمدی س ح و سپاسخواه ع، ۱۳۹۶. واکاوی پیامدهای گسترش آبیاری زیر فشار در ایران. مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دوره ۲، شماره ۲، صفحه‌های ۱۳۱ تا ۱۴۸.
۴. اسمی س، ۱۴۰۱. بازخوانی چالش‌های دریاچه ارومیه (۱): ۹۵ درصد از دریاچه ارومیه خشک شد/ پروژه احیا شکست خورد؟ خبرگزاری مهر. ۳۰ مرداد ۱۴۰۱ در: <https://www.mehrnews.com/news/5550734>
۵. امیر نژاد ح و رفیعی ح، ۱۳۸۸. بررسی عوامل مؤثر در پذیرش یکپارچه‌سازی اراضی شالی‌کاران در روستاهای منتخب استان مازندران. مجله علوم آب‌و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، دوره ۱۳، شماره ۴۸، صفحه‌های ۳۲۹ تا ۳۳۸.
۶. بخشوده م، ۱۳۸۷. بررسی عوامل مؤثر بر توسعه و پذیرش آبیاری بارانی (مطالعه موردی استان اصفهان). مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، دوره ۳۹، شماره ۱، صفحه‌های ۲۱ تا ۳۰.
۷. پایگاه خبری اقتصاد بازرگانی، ۱۳۹۸. بخش کشاورزی چند درصد از آب کشاورزی استفاده می‌کند؟، کد خبر: ۲۹۰۲ در: [www.eghtesadebazargani.ir](http://www.eghtesadebazargani.ir)
۸. پورکریمی ب، نیک‌نامی م و جورابلو م، ۱۳۹۳. نیازمندی‌های ترویجی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در استان تهران. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، دوره ۲۸، شماره ۲، صفحه‌های ۳۱۵ تا ۳۲۸.

۹. جهان‌نما ف، ۱۳۸۰. عوامل اجتماعی-اقتصادی مؤثر بر پذیرش سامانه‌های آبیاری تحت فشار (مطالعه موردی: استان تهران). مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه، دوره ۹، شماره ۳۶، صفحه‌های ۲۳۷ تا ۲۶۰.
۱۰. چکیده طرح آمارگیری باغداری (محصولات دائمی)، ۱۳۹۸، مرکز آمار ایران.
۱۱. چرمچیان لنگرودی م و جانباز ع، ۱۳۹۷. تحلیل رضایت باغداران از اعتبارات بانکی آبیاری تحت فشار در شهرستان قائم‌شهر. فصلنامه اقتصاد فضا و توسعه روستایی، دوره ۲، شماره ۲۴، صفحه‌های ۱۲۷ تا ۱۴۴.
۱۲. چوبچیان پ، کیامهر م و ملکی ع، ۱۳۹۶. بررسی چرایی عدم پذیرش فناوری آبیاری قطره‌ای توسط کشاورزان در شهرستان سلماس. نشریه علمی پژوهشی مدیریت نوآوری، دوره ۶، شماره ۳، صفحه‌های ۱۴۱ تا ۱۶۸.
۱۳. حاج میر رحیمی س د و یزدیان ی، ۱۳۸۶. بررسی عوامل مؤثر در میزان پذیرش نوآوری "آزمون خاک" توسط غله کاران. یافته‌های نوین کشاورزی، دوره ۲، شماره ۲، صفحه‌های ۲۰۰ تا ۲۱۴.
۱۴. حمیدی ک و یعقوبی ج، ۱۳۹۶. موانع اجرای روش‌های آبیاری تحت فشار از دیدگاه کشاورزان شهرستان زنجان. پنجمین کنفرانس ملی و اولین کنفرانس بین‌المللی کشاورزی ارگانیک و مرسوم، ۲۴ و ۲۵ مردادماه، اردبیل.
۱۵. زارع کهنه شهری ع، مولائی م و جوان‌بخت ع، ۱۳۹۴. بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش و به‌کارگیری سامانه‌های آبیاری تحت فشار از سوی کشاورزان مطالعه موردی شهر کهنه شهر. اولین کنگره علمی پژوهشی توسعه و ترویج علوم کشاورزی. منابع طبیعی و محیط‌زیست ایران، ۲۸-۲۹ شهریورماه، انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین، تهران.
۱۶. شاطری م و فیروز نیا م، ۱۳۹۹. حفر بی‌رویه چاه‌ها و بسترسازی ناپایداری فضا در دشت قاین. فصلنامه روستا و توسعه پایدار فضا، دوره اول، شماره ۲، پیاپی ۲، صفحه‌های ۶۱ تا ۸۰.
۱۷. شاهرودی ع ا و چیدری م، ۱۳۸۶. عوامل تأثیرگذار بر نگرش کشاورزان نسبت به مشارکت در تعاونی آب بران (مطالعه موردی استان خراسان رضوی). فصلنامه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، دوره ۱۱ شماره ۴۲، صفحه‌های ۲۹۹ تا ۳۱۲.
۱۸. شاهنوشی ن، فاطمی م، طاهرپور ح ر و علامه ع، ۱۳۹۸. ارزیابی تأثیر طرح‌های آبیاری تحت فشار بر افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی مطالعه موردی: استان خراسان رضوی. مجله اقتصاد کشاورزی، دوره ۱۳، شماره ۴، صفحه‌های ۱ تا ۱۸.
۱۹. شیبانی ب و کاظمی ر، ۱۳۹۲. عوامل مؤثر در مشارکت مردمی در استفاده از روش‌های نوین آبیاری جهت کاهش مصرف آب در راستای توسعه پایدار محیط‌زیست. مجموعه مقالات اولین همایش ملی چالش‌های منابع آب و کشاورزی، ۲۴ بهمن‌ماه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان - اصفهان.
۲۰. طلوعی ظ، دلاور م، مرید س و احمدزاده ح، ۱۳۹۴. تحلیل عدم قطعیت تأثیر سامانه‌های آبیاری تحت فشار بر جریان خروجی از حوضه دریاچه ارومیه (مطالعه موردی: حوضه زرینه‌رود). مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال ۱۱، شماره ۲، صفحه‌های ۱۳۵ تا ۱۴۵.
۲۱. عباسی ف، ناصری ا، سهراب ف، باغانی ج، عباسی ن و اکبری م، ۱۳۹۴. ارتقای بهره‌وری آب. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، تهران.
۲۲. عباسی ن و عباسی ف، ۱۳۹۹. سیمای منابع و مصارف آب ایران. انتشارات مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، تهران.

۲۳. قربانی ب و شهبازیان فرد ا، ۱۳۹۶. ارزیابی عملکرد هیدرولیکی قطره‌چکان‌های موجود در چند سامانه آبیاری قطره‌ای (مطالعه موردی: حاشیه زاینده‌رود در استان چهارمحال بختیاری). نشریه دانش آب‌و‌خاک، دوره ۲۷، شماره ۴، صفحه‌های ۱ تا ۱۱.
۲۴. لهستانی‌زاده ع و حبیبی آ، ۱۳۸۹. مطالعه عوامل مؤثر بر پذیرش و به‌کارگیری فناوری اطلاعات و ارتباطات: مطالعه موردی روستاهای استان فارس. مجله جهانی رسانه، دوره ۵، شماره ۱، صفحه‌های ۱ تا ۱۴.
۲۵. محبی ف، داداش پور ب و محبی راد ه، ۱۳۹۹. بررسی علل و پیامدهای تخریب زیست‌محیطی دریاچه ارومیه. فصلنامه ترویجی بوم‌شناسی منابع آبی، دوره ۳، شماره ۲، صفحه‌های ۴۹ تا ۶۱.
۲۶. محمدپور م، زینال‌زاده ک، رضوردی نژاد و حصارى ب، ۱۳۹۶. ارزیابی پاسخ‌های هیدرولوژیک حوضه آبریز به توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار (مطالعه موردی: حوضه آبریز اهر جای). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۴، جلد ۱۱، صفحه‌های ۶۲۶ تا ۶۳۵.
۲۷. محمد جانی ا و یزدانیان ن، ۱۳۹۳. تحلیل وضعیت بحران آب در کشور و الزامات مدیریت آن. فصلنامه روند، دوره ۲۱، شماره‌های ۶۵ و ۶۶، صفحه‌های ۱۱۷ تا ۱۴۴.
۲۸. مرزبان ح، صدرایی جواهری ا، زیبایی م، ناظم‌السادات س م ج و کریمی ل، ۱۳۹۸. بررسی وضعیت منابع و مصارف آب در ایران و راهکارهای بهبود وضعیت. مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۰، شماره ۴، پیاپی ۱۲۲، صفحه‌های ۱۶ تا ۳۲.
۲۹. موحدی ر، ایزدی ن و وحدت ادب ر، ۱۳۹۶. بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری آبیاری تحت فشار بین کشاورزان شهرستان اسدآباد. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، دوره ۳۱، شماره ۲، صفحه‌های ۲۸۸ تا ۳۰۰.
۳۰. ناصری ح، عسگری ف، خدایی ک و علیجانی ف، ۱۳۹۹. تأثیر آبیاری غرقابی و قطره‌ای هوشمند بر نوسانات تراز سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل فیزیکی. نشریه زمین‌شناسی ایران، دوره ۱۴، شماره ۵۳، صفحه‌های ۷۵ تا ۸۶.
۳۱. نجف لو پ، یعقوبی ج و نیکبخت ج، ۱۳۹۸. مدیریت بهره‌برداری سنتی از منابع آب در روستاهای ایران. نشریه آب و توسعه پایدار. دوره ۶، شماره ۲، صفحه‌های ۲۷ تا ۳۸.
۳۲. نوری م، همایی م و بنایان م، ۱۳۹۶. بررسی تغییرات تبخیر و تعرق مرجع طی سده‌ی بیست و یکم در برخی مناطق نیمه‌خشک ایران. تحقیقات آب‌و‌خاک ایران، دوره ۴۷، شماره ۲، صفحه‌های ۲۴۱ تا ۲۵۲.
۳۳. هادی بیگلوح، سرور ر و نوری ع، ۱۳۹۷. تبیین تحقق‌پذیری حکمروایی خوب شهری با تأکید بر هوشمند سازی مکان، مورد کاوی شهر تهران. مجله مدیریت شهری، شماره ۵۲، صفحه‌های ۱۸۹ تا ۲۰۴.
34. Alcon F, de Miguel MD and Burton M, 2011. Duration analysis of adoption of drip irrigation technology in southeastern Spain. *Technological Forecasting and Social Change* 78(6): 991-1001.
35. Ajzen I, 1985. From intentions to actions: A theory of planned behavior. Pp. 11-39. In: Kuhl J and Beckmann J (eds). *Action Control: From Cognition to Behavior*. New York: Springer-Verlag.
36. Anbari M, Bagheri R and Davodi H, 2013. Drip irrigation and social factors affecting agricultural water management in Lorestan Province. *Annals of Biological Research* 4(2): 13-21.
37. Bhuriya M, Choudhary S and Swarnakar VK 2015. Study of Adoption Behaviour of Drip Irrigation System on Chilli Crop in Barwani District of MP India. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)*, 8(12): 2319-2380.

38. Bicchieri C, 2016. Norms in the Wild: How to diagnose measure and change social norms. Oxford University Press. England.
39. Davis FD, 1986. Technology Acceptance Model for Empirically Testing New End-User Information Systems: Theory and Results, in MIT Sloan School of Management, Cambridge: MA.
40. Davis FD, Bagozzi RP and Warshaw PR, 1992. Extrinsic and intrinsic motivation to use computers in the workplace. *Journal of Applied Social Psychology*, 22: 1111–1132.
41. Fishbein M and Ajzen I, 1975. Belief, attitude, intention and behavior: An introduction to theory and research. MA: Addison-Wesley.
42. Friedlander L, Tal A and Lazarovitch N, 2013. Technical considerations affecting adoption of drip irrigation in sub-Saharan Africa. *Agricultural water management*, 126: 125-132.
43. Kareem OA and Kin TM, 2018. Attitudes toward Change: A Comparison between Senior Assistants and Teachers in Malaysian Secondary Schools. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 8(1): 249–265.
44. Kirnak H, Doghan E, Demir S and Yalcin S, 2004. Determination of hydraulic performance of trickle irrigation emitters used in irrigation systems in the Harran. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 28: 223-230.
45. Momvandi A, Omid Najafabadi M, Hosseini JF and Lashgarara F, 2018. The identification of factors affecting the use of pressurized irrigation systems by farmers in Iran. *Water*, 10(1532): 1-13.
46. Pandya P and Dwiwedi K, 2016. Constraints in Adoption of Drip Irrigation. *Advances in Life Sciences*, 5(6): 2411-2405.
47. Parmar SD, Thorat GN, Shakya HB and Patel VB, 2016. Inspiration sources for adopting a drip irrigation system by the farmers. *International Journal of Agricultural Engineering*, 9(2): 225-228.
48. Prajapati VV, Kaid SV, Prajapati RC and Thakkar KA, 2016. Adoption behavior of drip irrigation technology among the pomegranate growers of north Gujarat. *International Journal of Agriculture Sciences*, 8(22): 1447-1443.
49. Rogers EM and Shoemaker FF, 1971. Communication of innovations: A cross-cultural approach. Free Press.
50. Rohrmann B, 2005. Risk attitudes scales: concepts, questionnaires, utilizations. Project Report in: University of Melbourne, Australia.
51. Saleh Zolait AH, 2014. Innovation Acceptance Research: A Review of Theories, Contexts and Approaches. *Journal of Internet Banking and Commerce*, 19 (3): 1-18.
52. Schumpeter JA, 1934. The theory of economic development: An inquiry in to profits, capital credit, Interest and the business cycle. Harvard Business Press, Cambridge.
53. Shashidhara KK, Bheemappa A, Hirevenkanagoudar LV and Shashidhar KC, 2007. Benefits and constraints in adoption of drip irrigation among the plantation crop growers. *Karnataka J. Agric. Sci.*, 20(1): 84-82.
54. Sila I, 2015. The state of empirical research on the adoption and diffusion of business-to-business e-commerce. *International Journal of Electronic Business*. 12(3): 258-301
55. Taherdoost H, 2018. A review of technology acceptance and adoption models and theories. Pp. 960-967. Proceedings of the 11th international conference interdisciplinary in engineering. INTER-ENG 2017: 5-6 October, Tirgu-Mures, Romania.
56. Triandis HC, 1977. Interpersonal behavior. Brooks/Cole, Monterey, California.
57. Verma HL and Sharma SK, 2017. Factors Associated with Adoption of Drip Irrigation System by the Farmers in Bikaner District of Rajasthan. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, 18(1): 1-8.
58. Yadav K, Yadav JP and Kumari A, 2017. Constraints Encountered by the Farmers in Adoption of Drip Irrigation System in District Jaipur. *Journal of Krishi Vigyan*, 6(1): 32-36.

## تأثیر توأم دور آبیاری و ترکیب عناصر پرمصرف بر تغییرات اسانس و ترکیبات

### شیمیایی زنجبیل (*Zingiber officinale* R.)

غلامرضا پورشعبان کتشالی، غلامعلی اکبری<sup>۱</sup>، ایرج اله دادی و الیاس سلطانی

دانشجوی دکتری آگروتکنولوژی، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.

[Pourshaban.gh@ut.ac.ir](mailto:Pourshaban.gh@ut.ac.ir)

دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.

[gakbari@ut.ac.ir](mailto:gakbari@ut.ac.ir)

استاد، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.

[alahdadi@ut.ac.ir](mailto:alahdadi@ut.ac.ir)

دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.

[elias.soltani@ut.ac.ir](mailto:elias.soltani@ut.ac.ir)

دریافت: آذر ۱۴۰۱ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۱

#### چکیده

به منظور بررسی تغییرات اسانس و ترکیبات شیمیایی اسانس زنجبیل تحت تأثیر دوره‌های آبیاری و ترکیب عناصر پرمصرف NPK، آزمایشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی به صورت اسپلیت پلات با نه تیمار و در سه تکرار در منطقه پاکدشت در سال ۱۴۰۰ اجرا گردید. تیمارها شامل دور آبیاری در سه سطح:  $V1=4$ ،  $V2=6$ ،  $V3=8$  روز به‌عنوان عامل اصلی و عناصر پرمصرف NPK در سه ترکیب،  $F1=(300, 100, 200)$ ،  $F2=(350, 150, 250)$ ،  $F3=(250, 50, 150)$  کیلوگرم در هکتار به‌عنوان عامل فرعی بود. استخراج اسانس با استفاده از دستگاه کلونجر به روش تقطیر با آب بود و تجزیه ترکیبات اسانس توسط دستگاه کروماتوگراف گازی انجام گرفت و ۳۴ ترکیب شیمیایی شناسایی شد، اجزای اصلی اسانس برحسب درصد شامل (آلفا زینجیبرن= $23/65$ )، (جرانیال= $11/09$ )، (کامفن= $9/58$ )، (بتا سسکویفلاندرن= $8/43$ )، (بتا بیسابولن= $3/75$ ) و (آلفا کورکومن= $2/6$ ) بودند، که این شش ترکیب در مجموع  $59/1\%$  کل اسانس زنجبیل را شامل شدند و ۲۸ ترکیب دیگر فقط  $40/9\%$  کل اسانس را تشکیل دادند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل آبیاری و کودهای مورد مطالعه بر اسانس و ترکیبات اصلی اسانس زنجبیل در سطح  $1\%$  معنی‌دار بودند. بهترین تیمارها برای صفات اسانس و کامفن  $V1F3$ ، جرانیا  $V3F2$ ، آلفا زینجیبرن  $V1F2$  و برای سه صفت آلفا کورکومن، بتا بیسابولن و بتا سسکویفلاندرن  $V3F3$  بودند. با آبیاری بهینه و تامین عناصر غذایی پرمصرف برای گیاه، برخی از ترکیبات موجود در اسانس زنجبیل افزایش یافت ولی برای برخی دیگر از ترکیبات، این افزایش در تنش آبی و کمبود عناصر NPK به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: زینجیبرن، ریزوم، آنتی اکسیدان، گیاهان دارویی، گیاهان معطر

می‌تواند نقش اساسی در افزایش بهره‌وری زنجبیل داشته باشد (منگلی و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین گیاه زنجبیل در طول دوره رشد به مقدار زیادی آب نیاز دارد و نیاز به آبیاری مداوم در طول دوره رشد (۸ تا ۹ ماه) ضروری است (کومار و همکاران، ۲۰۱۸)؛ بنابراین، آبیاری مناسب یک روش مفید برای بهبود قابل توجه در بهره‌وری است (پاچکو و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر آبیاری برای افزایش عملکرد محصولات زراعی، استفاده از کود ضروری است و مقدار کافی کود برای افزایش عملکرد ریزوم باید شناخته شود تا از هدر رفتن جلوگیری گردد. با مطالعه‌ای روی دو رقم رازیانه سوروکساری و راسو در مصر نشان دادند که به ازای افزایش هر ۱۰ کیلوگرم در مقدار کود اوره مصرفی از سطح ۹۰ کیلوگرم در هکتار به بالا، درصد اسانس روغنی دانه ۷/۵٪ در مقایسه با شاهد کاهش یافت. در این تحقیق بالاترین عملکرد اسانس موقعی حاصل شد که رازیانه بعد از ۹۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک آبیاری شود. با افزایش فواصل آبیاری به ۱۲۵ میلی‌متر و کاهش آن به ۶۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک، درصد اسانس دانه و ماده مؤثره آن به‌طور معنی‌دار آفت پیدا کرد (العبد و همکاران، ۲۰۰۸).

سه عنصر اصلی نیتروژن، فسفر و پتاسیم نقش بسیار مهمی در رشد، عملکرد و کیفیت گیاه داشته و از مهم‌ترین عناصر مورد نیاز گیاه محسوب می‌شوند (ماتیوس، ۲۰۰۹). در رشد و تولید گیاهان دارویی مقدار و زمان کاربرد کود از اهمیت اساسی برخوردار است، چنانچه در طول دوره رشد وضعیت تغذیه‌ای گیاه و تعادل بین استفاده از عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در سطح مطلوب باشد، بر عملکرد و کیفیت تولید اثر مثبت خواهد داشت (لوساک و ریچتر، ۲۰۰۴)

زنجبیل در ترکیبات فعال مانند ترکیبات فنلی و ترپن‌ها فراوان است (پراساد و تیاگی، ۲۰۱۵). ترکیبات فنلی موجود در زنجبیل عمدتاً جینجرول‌ها<sup>۱</sup>، شوگاول‌ها<sup>۲</sup> و پارادول‌ها<sup>۳</sup> هستند. در زنجبیل تازه، جینجرول‌ها پلی فنل‌های اصلی هستند، مانند ۶-جینجرول، ۸-جینجرول و

گیاه زنجبیل (*ginger*) با نام علمی *Zingiber officinale* R. از خانواده *Zingiberaceae* یک گیاه ادویه‌ای و دارویی است که به دلیل ارزش‌های دارویی آن مورد توجه قرار دارد (چوکودی و همکاران، ۲۰۲۰). اطلاعات مربوط به منشأ و اهلی شدن این گیاه نشان می‌دهد که گونه‌های مختلف جنس زنجبیل بومی جنوب شرقی آسیا هستند و از آنجا به سراسر مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری جهان گسترش یافته‌اند (کیزا کایل و همکاران، ۲۰۱۱). این گیاه بومی کشور چین و هند بوده ولی امروزه در بنگلادش، تایوان، جامائیکا، نیجریه و دیگر نقاط جهان کشت می‌شود، هند بزرگ‌ترین تولیدکننده زنجبیل در جهان است، در ایران باستان نیز این گیاه با نام ژنگویر مورد استفاده قرار می‌گرفت، در قرن اول میلادی پزشک نامی یونانی اولین بار استفاده طبی از زنجبیل را ثبت کرد (ویتم، ۲۰۰۷).

ادویه زنجبیل یک چاشنی رایج برای غذاها و نوشیدنی‌های مختلف است که ریزوم تازه و خشک گیاه زنجبیل به‌طور گسترده‌ای در صنایع دارویی، غذایی، نوشیدنی و تولید شیرینی مصرف می‌شود (جابوروو همکاران، ۲۰۲۱). زنجبیل یکی از محبوب‌ترین و با ارزش‌ترین ادویه‌جات است که در جوامع بشری جهان اثرات مفید آن به خوبی شناخته شده است (احمد هیس و همکاران، ۲۰۲۱) که به‌صورت تازه و خشک مصرف می‌شود، هم در طب سنتی و هم در طب گیاهی برای درمان دستگاه گوارش، استفراغ، سردرد و حالت تهوع بسیار مفید است (عبدالدايم و همکاران، ۲۰۱۹). در سال‌های اخیر مشخص شده است که زنجبیل دارای فعالیت‌های بیولوژیکی مانند فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی، ضد میکروبی و ضد سرطانی است (زنگ و همکاران، ۲۰۱۶). یکی از مهم‌ترین اقدامات مدیریتی برای افزایش بهره‌وری گیاه زنجبیل، مدیریت آبیاری است، استفاده دقیق از آبیاری

<sup>۱</sup>- Paradol

<sup>۲</sup>- gingerol

<sup>۳</sup>- shogaol

عناصر پرمصرف NPK، با توجه به نیمه خشک بودن منطقه پاکدشت و کمبود آب و مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژنه در کشاورزی و نیز با در نظر گرفتن موقعیت جغرافیایی منطقه از نظر امکان توسعه کشت گیاه زنجبیل مورد بررسی قرار گرفت، این آزمایش تلاش دارد به تولید گیاهان دارویی در کشور کمک نماید. شاید این امر، زمینه ساز پژوهش‌های بعدی در علم داروسازی و دیگر علوم مرتبط با آن، به‌منظور استفاده بهینه از اسانس این گیاه و ترکیبات آن و جایگزین نمودن آن‌ها با داروهای شیمیایی شود.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه پژوهشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران واقع در پاکدشت (۲۵ کیلومتری جنوب شرقی تهران در عرض جغرافیایی ۳۳ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی، با ارتفاع ۱۱۸۰ متری از سطح دریا) در اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۰ اجرا شد. این آزمایش در قالب بلوک‌های کامل تصادفی به‌صورت اسپلینت پلات با نه تیمار و در سه تکرار اجرا شد. برای انجام این پژوهش ۲۷ کرت آزمایشی در مزرعه ایجاد شد. عوامل آزمایش عبارت بودند از فاکتور اصلی شامل دور آبیاری در سه سطح: (۴ روز: V1، ۶ روز: V2، ۸ روز: V3)، فاکتور فرعی تیمارهای کودی NPK در سه ترکیب، (K:۲۰۰، P:۱۰۰، F1=(N:۳۰۰، K:۲۵۰، P:۱۵۰)، F2=(N:۳۵۰، K:۱۵۰، P:۵۰)، F3=(N:۲۵۰، P:۵۰) کیلوگرم در هکتار انتخاب شد، قبل از اجرای آزمایش برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای طرح، از پنج نقطه زمین مورد نظر در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر نمونه مرکب تهیه و به آزمایشگاه خاک‌شناسی انتقال یافت و نتایج طبق (جدول ۱) بدست آمد.

۱۰- جینجرو. با عملیات حرارتی یا نگهداری طولانی‌مدت، جینجروها را می‌توان به شوگاول‌های مربوطه تبدیل کرد. پس از هیدروژناسیون، شوگاول‌ها را می‌توان به پارادو تبدیل کرد (استونر، ۲۰۱۳). همچنین بسیاری از ترکیبات فنلی دیگر در زنجبیل وجود دارد، مانند کورستین، زینجرون، جینجرون-A و ۶-دهیدروژنگردیون (جی و همکاران، ۲۰۱۷).

علاوه بر این‌ها، پلی ساکاریدها، لیپیدها، اسیدهای آلی و الیاف خام نیز در زنجبیل وجود دارند (پراساد و تیگی، ۲۰۱۵). چندین ترکیب ترپن در زنجبیل وجود دارد، مانند بیزابولن، کورکومن، زینجیبرن، فارنسن و سسکی‌فلاندرن که از ترکیبات اصلی اسانس‌های زنجبیل محسوب می‌شوند (یه و همکاران، ۲۰۱۴). در آزمایشی روی بابونه آلمانی در شهر تبریز نشان داده شد که دور آبیاری بابونه را می‌توان از ۶ به ۱۲ روز بدون تأثیر منفی معنی‌دار بر روی درصد اسانس گل افزایش داد. همچنین در این تحقیق اثر تقسیم‌بندی کود و مصرف آن در مراحل مختلف رشد بر مقدار اسانس تأثیری نداشت (میرشکاری و همکاران، ۲۰۲۰). شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس و تغییر درصد آن‌ها در شرایط مختلف محیطی برای کنترل کیفی کشت و تولید گیاه زنجبیل ضروری است. در سال‌های اخیر استفاده از گیاه زنجبیل به دلیل اثبات اثرات مفید آن، نداشتن اثرات جانبی و همچنین سازگار بودن با سلامتی، روزه‌روز در حال افزایش است، با توجه به اینکه کشور ایران از جمله واردکنندگان گیاه زنجبیل است، به‌منظور جلوگیری از خروج ارز، با تولید و صادرات این گیاه و فراورده‌های آن می‌توان ارز آوری مناسبی را برای کشور ایجاد نمود، به غیر از چند کشور تولیدکننده زنجبیل، در دنیا مطالعات کمی در مورد کشت گیاه زنجبیل وجود دارد، در ایران نیز مطالعاتی در مورد خواص و تأثیرات پزشکی این گیاه بر روی انسان و دام انجام شده است ولی در خصوص کشت این گیاه در مزرعه مطالعات کمی انجام شده است، از این رو بررسی تغییرات اسانس و ترکیبات شیمیایی اسانس زنجبیل تحت تأثیر دوره‌های آبیاری و

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Texture	Sand %	Silt %	Clay %	K(ava) mg/kg	P(ava) mg/kg	Total N mg/kg	OM %	TNV %	pH	Ec dS/m	نوع آزمایش
بافت	ماسه	لای	رس	پتاسیم قابل دسترس	فسفر قابل دسترس	ازت کل	ماده آلی	آهک	اسیدیته	هدایت الکتریکی	
لوم	۴۲	۴۱	۱۷	۱۰۲۷	۱۷/۲۱	۴۱۰۰	۴/۲۸	۱۴/۹۷	۷/۱۹	۳/۱۳	خاکشناسی

براساس تیمارهای پژوهش قبل از کاشت تمام فسفر و پتاس و یک سوم نیتروژن به عنوان کود پایه به خاک افزوده شد و مابقی نیتروژن در دو مرحله سه برگه شدن و هشت برگه شدن گیاه بصورت سرک داده شد.

ریزوم مورد استفاده از رقم (*Z. officinale R.*) بود، آبیاری به صورت قطره‌ای با نوار تیپ انجام شد. آبیاری تا مرحله شش برگگی در فواصل هر چهار روز، قبل از غروب آفتاب انجام شد. هر دور آبیاری با فشار حدود یک اتمسفر و در مدت سه ساعت با نوار تیپ ۱۰ سانتی انجام شد و از مرحله شش برگگی به بعد تیمارهای آبیاری (چهار، شش، هشت) روز تا پایان دوره رشد (ابتدای آبان‌ماه) اعمال گردید. اندازه‌گیری مقدار حجم آبیاری با کنتور انجام شده و در هر مرتبه ۱/۵ مترمکعب آبیاری انجام شده است که برای هر متر مربع حدود ۲۴ لیتر آب مصرف شد. تعداد دفعات و مقدار حجم آبیاری تیمارهای مختلف دورهای آبیاری طبق (جدول ۲) انجام شد. در طول مراحل داشت، سله شکنی و مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد.

به منظور تهیه بستر کاشت، قبل از کاشت عملیات خاک‌ورزی در زمین مورد نظر انجام شد. در هر کرت اصلی سه کرت فرعی و در داخل هر کرت فرعی چهار ردیف کاشت (فاصله ردیف از یکدیگر ۳۰ سانتی‌متر) به طول ۱/۸ متر ایجاد شد. بعد از آماده شدن کرت‌ها و برش دادن زنجبیل‌ها، قطعات را در یک محل خشک برای چند روز کنار می‌گذاریم تا آن‌ها را آماده‌ی کاشت کنیم. با این کار یک لایه‌ی محافظتی پینه مانند روی سطح برش تشکیل می‌شود که خطر عفونت و آلودگی را کاهش می‌دهد. سپس با قارچ‌کش کاربندازم دو در هزار اقدام به ضدعفونی ریزوم‌ها می‌کنیم و پس از آن ریزوم‌ها را برای کشت به مزرعه اصلی انتقال می‌دهیم، زنجبیل به فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر در هر ردیف بصورت دستی کاشته شد. وزن هر ریزوم حدود ۴۰ گرم در نظر گرفته شد. فاصله هر کرت فرعی با کرت فرعی مجاور ۵۰ سانتی‌متر و فواصل بین تکرارها یک متر رعایت گردید (آرا و همکاران، ۲۰۱۹).

جدول ۲- اثر تیمارهای دور آبیاری بر تعداد و حجم آبیاری در مزرعه زنجبیل (*Zingiber officinale*)

شهر	دوره‌های آبیاری (روز)	تعداد دفعات آبیاری (مرتبه)	آبیاری کل مزرعه در یک دوره کشت (مترمکعب)
	۴	۴۵	۶۷/۵
پاکدشت	۶	۳۵	۵۲/۵
	۸	۳۰	۴۵

### روش استخراج اسانس

جوش آمدن آب داخل بالن‌ها، عمل اسانس‌گیری به مدت سه ساعت ادامه یافت، مایع روغنی به دست آمده توسط مواد جاذب رطوبت (سولفات سدیم) خشک شد.

استخراج اسانس در این تحقیق، با روش تقطیر با آب با استفاده از دستگاه کلونجر بود. برای این منظور مقدار ۳۰ گرم از پودر هر کدام از نمونه‌ها توزین شده، داخل بالن‌های ۱۰۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد و سپس مقدار ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به محتویات بالن‌ها اضافه شد. پس از به

### شناسایی ترکیبات تشکیل دهنده اسانس

۰/۲۵ میکرون) انجام شده است. برنامه ریزی حرارتی ستون عبارتند از افزایش درجه حرارت از ۶۰ تا ۲۲۰ °C با سرعت افزایش سه درجه سلسیوس در دقیقه و سپس افزایش به ۲۶۰ °C با سرعت ۲۰ °C درجه بر دقیقه و در نهایت پنج دقیقه در این دما نگه داشته شده است. درجه حرارت محفظه تزریق ۲۶۰ °C و دمای ترانسفرلایین ۲۸۰ °C تنظیم شده است. گاز حامل هلیوم بوده که با سرعت ۳۰/۶ سانتی متر بر ثانیه در طول ستون حرکت می کند. زمان اسکن برابر یک ثانیه، انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت و اسکن ناحیه جرمی از ۳۰ تا ۳۴۰ بوده است.

تجزیه ترکیبات اسانس توسط دستگاه های GC و GC/MS انجام گرفت و ۳۴ ترکیب شیمیایی پس از انجام GC/MS نمونه شاهد (جدول ۲) شناسایی شد. بعد از استخراج عصاره های متانولی و اتانولی گیاه زنجبیل، ترکیبات موجود در آن ها را با استفاده از دستگاه های GC-MS و GC مورد اندازه گیری کیفی و کمی قرار داده شد. صفات مورد مطالعه در این آزمایش درصد اسانس و شش ترکیب مهم تشکیل دهنده اسانس شامل کامفن، جرانیا، آلفا کورکومن، آلفا زینجیرن، بتا بیسابولن، بتا سسکوئیفلاندرن بودند. به منظور انجام محاسبه های آماری از نرم افزار آماری SAS, Excel (نسخه ۹/۱) استفاده شد. مقایسه میانگین ها با استفاده از روش LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. همچنین اثرهای متقابل با استفاده از روش برش دهی اثر متقابل LSMEANS توسط دستور PDIF انجام گردید (سلطانی، ۱۳۹۲).

### نتایج و بحث

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثر متقابل بین دوره های آبیاری و عناصر پرمصرف NPK بر اسانس و شش ترکیب اصلی اسانس گیاه زنجبیل (کامفن، جرانیا، آلفا کورکومن، آلفا زینجیرن، بتا بیسابولن، بتا سسکوئیفلاندرن) در سطح یک درصد معنی دار شد. (توضیح: جدول (۴) مشخص کننده وضعیت

پس از آماده سازی اسانس ها، از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) برای جداسازی و تعیین درصد هر یک از اجزای اسانس استفاده شد. سپس اسانس ها توسط دستگاه کوپل شده کروماتوگرافی گازی با طیف سنج جرمی (GC/MS) مورد شناسایی کیفی قرار گرفتند. شناسایی ترکیبات با استفاده از پارامترهای مختلف از قبیل زمان و شاخص بازداری (RI) مطالعه طیف های جرمی و مقایسه این طیف ها با ترکیب های استاندارد و اطلاعات موجود در کتابخانه رایانه دستگاه GC/MS صورت گرفت (شیباموتو، ۱۹۸۷). درصد نسبی هر کدام از ترکیبات تشکیل دهنده اسانس با توجه به سطح زیر منحنی آن در کروماتوگرام GC به دست آمد.

### مشخصات دستگاه آنالیز GC

آنالیز کمی اسانس به کمک دستگاه کروماتوگراف گازی با مدل Agilent 7890A ساخت کشور آمریکا، مجهز به آشکارساز FID و داده پرداز با نرم افزار Chem 32 مورد استفاده قرار گرفت. ستون نیمه قطبی DB-5 (به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی متر و ضخامت لایه فاز ساکن برابر ۰/۲۵ میکرون) به کار گرفته شد. دمای محفظه تزریق و همچنین دمای آشکارساز روی ۲۸۰ °C تنظیم شد. برنامه ریزی حرارتی ستون شامل افزایش دما از ۶۰ تا ۲۲۰ °C با سرعت افزایش سه درجه سلسیوس بر دقیقه بوده و سپس افزایش به ۲۶۰ °C با سرعت ۲۰ °C بر دقیقه و در نهایت ۱۰ دقیقه در این دما نگه داشته شد. گاز حامل به کار رفته نیتروژن با سرعت جریان ۰/۷ میلی لیتر بر دقیقه بود.

### مشخصات دستگاه GC/MS

برای آنالیز کیفی اسانس های تهیه شده از ریزوم زنجبیل از دستگاه کروماتوگراف گازی Agilent 7890A متصل به طیف سنج جرمی Agilent 5975C از نوع چهار قطبی (ساخت آمریکا)، مجهز به ستون DB-5 (طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی متر و ضخامت لایه فاز ساکن برابر

معنی داری صفات است و از این رو از ذکر معنی دار بودن یا نبودن صفات در متن خودداری شده است.

نتیجه تجزیه ترکیبات اسانس توسط دستگاه کروماتوگراف گازی شناسایی ۳۴ ترکیب شیمیایی طبق (جدول ۳) شد، شش ترکیب اصلی اسانس برحسب درصد شامل (آلفا زینجیبرن=۲۳/۶۵)، (جرانیال=۱۱/۰۹)، (کامفن=۹/۵۸)، (بتا سسکویفلاندرن=۸/۴۳)، (بتا بیسابولن=۳/۷۵) و (آلفا کورکومن=۲/۶) بود که این شش ترکیب مجموعاً ۵۹/۱ درصد کل اسانس زنجبیل را شامل شدند و ۲۸ ترکیب دیگر فقط ۴۰/۹ درصد کل اسانس را تشکیل می دادند.

همان طور که در (جدول ۵) مشاهده می شود بالاترین بازده اسانس نسبت به وزن تر گیاه مربوط به تیمارهای V2F3، V2F2، V1F1، V1F3 به ترتیب با درصدهای ۰/۲۴، ۰/۲۱، ۰/۲۰۵ و ۰/۱۹۵ بود و کمترین مربوط به تیمارهای V3F3 و V3F1، V1F2 شد که اثر متقابل دور آبیاری هر چهار روز با عناصر پرمصرف (F1=(N:۳۰۰, P:۱۰۰, K:۲۰۰) و (F2=(N:۳۵۰, P:۱۵۰, K:۲۵۰) هر شش روز با عناصر پرمصرف (F3=(N:۲۵۰, P:۵۰, K:۱۵۰) و (F2=(N:۳۵۰, P:۱۵۰, K:۲۵۰) و (F3=(N:۲۵۰, P:۵۰, K:۱۵۰) در هکتار برای صفت اسانس زنجبیل بهترین نتیجه را به دنبال داشت. در آزمایشی مشابه مشخص شد که محلول پاشی ترکیبات کودی سوندفلورا به عنوان منبع NPK و آت آمینو به عنوان منبع اسیدهای آمینه باعث افزایش میزان اسانس و ترکیبات اسانس گیاه مرزه شد (الگوهری و همکاران، ۲۰۱۵).

تیمارهای V1F1 و V1F3 در ترکیب کامفن، با ۹/۲۱ درصد و ۸/۲۴ درصد بیشترین مقدار را به خود

اختصاص دادند و تیمارهای V2F2 و V3F3 با درصد ۱/۳۹ و ۰/۹۵ کمترین مقدار ترکیب اسانس را داشتند. در تیمارهای دور آبیاری چهار روزه با افزایش دوز ترکیب NPK مقدار ترکیب کامفن کاهش پیدا نمود ولی در تیمارهای آبیاری هشت روزه با افزایش مقدار دوز ترکیب NPK صفت کامفن با افزایش روبرو شد. به نظر می رسد به دلیل کمبود آب، جذب کود موجود در خاک نیز توسط گیاه با مشکل روبرو می شود و این ماده مؤثره جهت حفظ بقاء گیاه از اکسیداسیون در سلولها جلوگیری می کند در آزمایشهایی مشابه نشان داده شد که کمبود آب متابولیت های ثانویه از جمله اسانس ها را در گیاهان مختلف تحت تأثیر قرار می دهد (قاسمی پیروپوی و همکاران، ۲۰۱۵).

با توجه به (جدول ۵) در صفت جرانیا تیمارهای V2F2 و V3F2 با ۱۴/۰۳ و ۱۳/۱۳ درصد اسانس بیشترین مقدار را ثبت نمود و تیمارهای V3F3 و V1F2 با مقدار ۸/۴۲ و ۷/۴۲ درصد اسانس کمترین مقدار را به خود اختصاص داد. دور آبیاری هشت و شش روزه با کود (F2=(N:۳۵۰, P:۱۵۰, K:۲۵۰) بیشترین درصد اسانس را برای صفت جرانیا نشان داد ولی همین تیمار کودی با دور آبیاری چهار روز یکبار کمترین درصد را نشان داد بدلیل اینکه رژیم آبیاری نیز تأثیر معنی داری روی درصد و عملکرد اسانس گیاهان دارویی دارد. در یک آزمایش مشابه روی بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) بیشترین و کمترین اسانس گل (به ترتیب برابر با ۰/۷۵ و ۰/۶۳٪) به تیمارهایی که آبیاری آنها در حد ۸۵٪ و ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه ای انجام شده بود، تعلق داشت (پیرزاد و همکاران، ۲۰۰۶).

جدول ۳- نام و درصد ترکیب‌های تشکیل دهنده اسانس گیاه زنجبیل

ردیف	نام ترکیب	شاخص بازداری	زمان بازداری (دقیقه)	درصد
۱	$\alpha$ -pinene	۹۳۸	۸/۶	۲/۳۳
۲	camphene	۹۵۷	۹/۲۳	۹/۵۸
۳	$\beta$ -pinene	۹۸۲	۱۰/۱۸	۰/۳۶
۴	myrcene	۹۸۸	۱۰/۳۹	۱/۱۷
۵	$\alpha$ -Terpinene	۱۰۱۰	۱۱/۱۷	۰/۴۱
۶	p-cymene	۱۰۳۵	۱۲/۰۹	۱/۷۸
۷	limonene	۱۰۳۸	۱۲/۲۲	۸/۱۳
۸	cineole-1.8	۱۰۳۹	۱۲/۲۷	۳/۱۶
۹	linalool	۱۱۰۰	۱۴/۸۸	۰/۵۳
۱۰	camphor	۱۱۴۴	۱۷/۱۷	۰/۳۲
۱۱	borneol	۱۱۶۴	۱۸/۲۹	۱/۹۴
۱۲	$\alpha$ -Terpineol	۱۱۸۰	۱۹/۲۱	۰/۸۲
۱۳	citronellol	۱۲۲۹	۲۰/۴۱	۰/۴۴
۱۴	neral	۱۲۴۴	۲۱/۰۵	۳/۸۳
۱۵	geraniol	۱۲۵۴	۲۱/۴۸	۰/۹۷
۱۶	geranial	۱۲۷۴	۲۲/۴۱	۱۱/۰۹
۱۷	bornylacetate	۱۲۸۸	۲۳/۰۵	۰/۳۷
۱۸	geranyl acetate	۱۳۶۳	۲۶/۸۵	۱/۱۶
۱۹	$\beta$ -elemene	۱۳۷۳	۲۷/۴۶	۰/۵۳
۲۰	E- $\beta$ -farnesene	۱۴۵۲	۲۹/۹	۰/۳۰
۲۱	$\alpha$ -curcumene	۱۴۸۳	۳۱/۱۷	۲/۶۰
۲۲	germacrene D	۱۴۸۶	۳۱/۲۹	۱/۱۸
۲۳	$\alpha$ -zingiberene	۱۴۹۹	۳۱/۸۵	۲۳/۶۵
۲۴	trans-muuro-4-(14)diene	۱۵۰۳	۳۲/۰۵	۵/۲۱
۲۵	$\beta$ -bisabolene	۱۵۰۸	۳۲/۲۷	۳/۷۵
۲۶	$\beta$ -sesquiphellandrene	۱۵۲۳	۳۲/۹۴	۸/۴۳
۲۷	germacrene B+elemol	۱۵۴۴	۳۳/۸۸	۱/۰۷
۲۸	E-nerolidol	۱۵۵۱	۳۴/۲۱	۰/۴۲
۲۹	trans-sesquisabinene hydrate	۱۵۷۷	۳۵/۴۳	۰/۷۰
۳۰	epi-zingibrene-7	۱۶۱۶	۳۶/۳۳	۱/۰۵
۳۱	l-epi-cubenol	۱۶۳۳	۳۶/۹۶	۰/۶۳
۳۲	Agarospinol	۱۶۳۸	۳۷/۱۲	۰/۵۳
۳۳	$\beta$ -eudesmol	۱۶۶۲	۳۸	۰/۴۶
۳۴	epi- $\alpha$ -bisabolol	۱۶۸۸	۳۸/۹۸	۰/۹۳

جدول ۴- تجزیه واریانس ساده برخی از صفات مورد آزمون

درجه آزادی d.f	اسانس	کامفن	جرانیال	آلفا کورکومن	آلفا زینجیبرین	بتا بیسابولن	بتا سسکویفیلاندین	میانگین مربعات (M.S)
۲	۱۷/۳۶	۰/۰۰۵	۱/۶۵	۰/۰۰۵	۰/۳۳	۰/۰۰۵	۰/۰۱۸	۲
۲	۳۸/۵۸*	۷۲/۴۲**	۱۱/۰۳**	۱۰/۷۴**	۴/۵۵ <sup>NS</sup>	۱/۸۸**	۶/۶۴**	۲
۴	۱۸/۳۶	۰/۱۶	۱/۰۷	۰/۴۸	۴/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۶	۴
۲	۹/۳۳ <sup>NS</sup>	۹/۰۱**	۹/۹۲**	۰/۵۵*	۱/۹۸ <sup>NS</sup>	۰/۱۱ <sup>NS</sup>	۰/۴۱ <sup>NS</sup>	۲
۴	۶۰/۲**	۱۲/۸۵**	۱۵/۴۵**	۲/۳۶**	۳۷/۱۳**	۱/۵۷**	۷/۰۲**	۴
۱۲	۶/۸۶	۰/۷۱	۰/۸۸	۰/۱۰	۵/۱۷	۰/۰۸	۰/۳۸	۱۲
۲۶	-	-	-	-	-	-	-	۲۶
-	۱۴/۵۰	۱۸/۵۴	۹/۱۱	۸/۸۶	۸/۵۳	۶/۲۷	۶/۱۶	-

جدول ۵- مقایسه میانگین تیمارهای مورد آزمون از لحاظ صفات مورد مطالعه

تیمار T	میانگین						
	اسانس %	کامفن %	جرانیال %	آلفا کورکومن %	آلفا زینجیبرن %	بتا بیسابولن %	بتا سسکویفلاندرن %
اثر متقابل آبیاری × کود (V×F)							
V1F1	۰/۲۱ <sup>ab</sup>	۸/۲۴ <sup>a</sup>	۹/۸۸ <sup>bc</sup>	۲/۷۸ <sup>ef</sup>	۲۵/۰۵ <sup>cd</sup>	۳/۹۵ <sup>ef</sup>	۸/۷۹ <sup>de</sup>
V1F2	۰/۱۳ <sup>e</sup>	۵/۸۷ <sup>b</sup>	۷/۴۲ <sup>d</sup>	۲/۷۳ <sup>ef</sup>	۳۰/۲۳ <sup>a</sup>	۴/۷۸ <sup>bc</sup>	۱۰/۵۴ <sup>bc</sup>
V1F3	۰/۲۴ <sup>a</sup>	۹/۲۱ <sup>a</sup>	۱۰/۰۲ <sup>bc</sup>	۲/۲۲ <sup>f</sup>	۲۳/۰۳ <sup>d</sup>	۳/۵۵ <sup>f</sup>	۷/۸۷ <sup>e</sup>
V2F1	۰/۱۸ <sup>bcd</sup>	۶/۲۸ <sup>b</sup>	۱۰/۴۶ <sup>b</sup>	۳/۲۴ <sup>de</sup>	۲۷/۶۸ <sup>abc</sup>	۴/۵۰ <sup>cd</sup>	۹/۸۸ <sup>c</sup>
V2F2	۰/۲۰ <sup>ab</sup>	۱/۳۹ <sup>de</sup>	۱۳/۱۳ <sup>a</sup>	۴/۳۳ <sup>bc</sup>	۲۶/۱۱ <sup>bcd</sup>	۴/۵۶ <sup>cd</sup>	۹/۹۸ <sup>c</sup>
V2F3	۰/۱۹ <sup>abc</sup>	۲/۶۴ <sup>cd</sup>	۱۰/۱۴ <sup>b</sup>	۳/۷۸ <sup>cd</sup>	۲۸/۶۱ <sup>ab</sup>	۴/۸۶ <sup>bc</sup>	۱۰/۷۱ <sup>bc</sup>
V3F1	۰/۱۴ <sup>cde</sup>	۲/۴۷ <sup>d</sup>	۹/۵۷ <sup>bc</sup>	۴/۶۴ <sup>b</sup>	۲۸/۹۱ <sup>ab</sup>	۵/۱۹ <sup>b</sup>	۱۱/۲۵ <sup>ab</sup>
V3F2	۰/۱۸ <sup>bc</sup>	۳/۹ <sup>c</sup>	۱۴/۰۳ <sup>a</sup>	۳/۶۵ <sup>cd</sup>	۲۲/۸۶ <sup>d</sup>	۴/۱۱ <sup>de</sup>	۸/۹ <sup>d</sup>
V3F3	۰/۱۴ <sup>de</sup>	۰/۹۵ <sup>e</sup>	۸/۴۲ <sup>cd</sup>	۵/۸۹ <sup>a</sup>	۲۷/۵۷ <sup>abc</sup>	۵/۷ <sup>a</sup>	۱۲/۱۲ <sup>a</sup>

اعدادی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک باشند فاقد تفاوت معنی‌دار براساس آزمون LSD است

تجمع اسانس شده و در برخی دیگر هیچ تأثیری بر مقدار آن ندارد. این نتایج متفاوت به این علت است که در گیاهان دارویی تولید، درصد اسانس و اجزای تشکیل‌دهنده آن علاوه بر نوع تنش، به شدت تنش، گونه گیاهی، مرحله نمو، شرایط اقلیمی و جغرافیایی بستگی دارد (قاسمی پیروپی و همکاران، ۲۰۱۷).

با توجه به نتایج آزمایش صفت بتا سسکویفلاندرن در تیمارهای V3F1 و V3F3 با مقدار ۱۲/۱۲ و ۱۱/۲۵ درصد بیشترین مقدار را بین تیمارهای مختلف از خود نشان دادند و کمترین مقدار مربوط به تیمارهای V1F1 و V1F3 با مقدار ۸/۷۹ و ۷/۸۷ درصد بود. در دور آبیاری چهار روزه با افزایش مقدار دوز ترکیب کودی درصد این صفت با افزایش همراه بود ولی در دور آبیاری هشت روزه با افزایش مقدار دوز ترکیب کودی صفت بتا سسکویفلاندرن با افت همراه شد، می‌تواند به این دلیل باشد که کمبود آب مورد نیاز گیاه باعث عدم جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاه می‌شود و عدم جذب برخی عناصر باعث بالا رفتن سطح آن عنصر در خاک شده که نتیجه عکس (مضر) را برای گیاه خواهد داشت. در خاک‌های آهکی و قلیایی مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، فسفر قابل جذب برای گیاه ممکن است تحت تأثیر کربنات کلسیم و تبدیل به فسفات کلسیم، به شکل غیرقابل

یافته‌ها حکایت از آن دارد که تیمار V3F3، در ترکیبات آلفا کورکومن، بتا بیسابولن به ترتیب با عدد ۵/۸۹ و ۵/۷ بالاترین درصد اسانس را به خود اختصاص داد، امکان دارد که کاهش مقدار آب آبیاری و افزایش فاصله دوره‌های آبیاری از چهار روزه به هشت روز برای گیاه ایجاد تنش خشکی نموده باشد و به عبارت دیگر کمبود آب درصد اسانس گیاهان دارویی و معطر را افزایش دهد زیرا سبب می‌شود که متابولیت‌های بیشتری در گیاه تولید شده و این مواد از اکسیداسیون در سلول‌ها جلوگیری می‌کنند (پرادان و همکاران، ۲۰۱۷).

بررسی اسانس و ترکیب آلفا زینجیبرن در منطقه پاکدشت نشان داد که این ترکیب بالاترین درصد اجزای تشکیل‌دهنده اسانس زنجبیل را در این منطقه داشت. در آزمایشی مشابه دو ترکیب آلفا زینجیبرن و بتا سسکوی فلاندرن را به عنوان اجزای اصلی هر کدام از عصاره‌ها معرفی کردند (بهارگاو و همکاران، ۲۰۱۲). تیمارهای V2F1، V2F3، V3F1، V1F2 در ترکیب آلفا زینجیبرن بیشترین مقدار اسانس را به خود اختصاص دادند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در هر سه دوره آبیاری و در هر سه ترکیب کودی نتایج متفاوتی در خصوص این صفت مشاهده می‌شود با این حال، برخی گزارش‌ها حاکی از آن است که در برخی گونه‌های گیاهی، آبیاری بهینه موجب بالا رفتن

تنش‌های خشکی، رطوبت و استرس ناشی از کمبود مواد غذایی در خاک اشاره کرد. نتایج این آزمایش نشان داد، برخی ترکیبات موجود در اسانس زنجبیل با تأمین آب کافی و عناصر غذایی پرمصرف برای گیاه و برخی از ترکیبات با ایجاد تنش آبی و کمبود عناصر NPK دچار افزایش می‌گردند، این پدیده می‌تواند به دلیل مسیر مشترک تشکیل این ترکیب‌ها در گیاهان وابسته باشد که اختلاف دوره‌های آبیاری و ترکیب عناصر NPK باعث تغییراتی در ترکیب اسانس‌ها می‌شود. تغییر در ترکیبات اسانس می‌تواند به دلیل اثر دوره‌های آبیاری بر فعالیت آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز مونوترپن‌ها باشد. به عبارتی می‌توان گفت کمبود عناصر غذایی و کاهش حجم آبیاری تأثیر بر تجمع مونوترپن‌ها در گیاه زنجبیل دارد. امید است در صنایع داروسازی یا صنایع غذایی در صورت نیاز بیشتر به هر یک از ترکیبات اسانس زنجبیل، با انجام پژوهش‌های بیشتر بتوان با کنترل میزان آبیاری و مواد غذایی موجود در خاک، در افزایش ترکیب مورد نظر تأثیرگذار شد.

#### تشکر و قدردانی

در پایان لازم است از شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری به دلیل تخفیف خدمات آزمایشگاهی این پژوهش و تمام افرادی که در انجام این آزمایش با ما همکاری داشتند، بویژه مدیر محترم گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات و اساتید محترم دانشکدگان ابوریحان دانشگاه تهران صمیمانه تقدیر و تشکر می‌نمایم.

جذب برای گیاه تبدیل شود (سعیدی و همکاران، ۲۰۱۴) یا عنصر نیتروژن که در توسعه و تقسیم سلول‌های جدید حاوی اسانس و بیوسنتز اسانس و مواد مؤثره گیاهان دارویی نقش مهمی ایفاء می‌کند، ولی مصرف نیتروژن در سطوح بالا منجر به کاهش قابل توجه اسانس می‌شود (امیدبگی و همکاران، ۲۰۰۳).

#### نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی مواد مؤثره موجود در زنجبیل یکی از عوامل بسیار مهم در استفاده از این گیاه دارویی است، به همین جهت در بررسی تأثیر تیمارهای آب و کود بر روی این گیاه مشخص شد که اثر متقابل دوره‌های آبیاری و ترکیب عناصر پرمصرف NPK در این آزمایش بر اسانس و ترکیبات شیمیایی اسانس زنجبیل معنی‌دار شد. شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس و تغییر درصد آن‌ها در شرایط مختلف آبیاری و تغذیه‌ای برای کنترل کیفی کشت و تولید گیاه زنجبیل ضروری است. در زنجبیل ترکیبات فعال ترپن‌ها فراوان است؛ مانند کامفن، جرانیا، آلفا کورکومن، آلفا زینجیبرن، بتا بیسابولن، بتا سسکویفلاندرن که از ترکیبات اصلی اسانس‌های زنجبیل محسوب می‌شوند و همانطور که در این آزمایش مشخص شد آلفا زینجیبرن ترکیب اصلی اسانس گیاه زنجبیل قرار گرفت. درصد اسانس و ترکیبات موجود در آن به عوامل مختلفی وابسته بود که از آن جمله می‌توان به نحوه آبیاری، عناصر غذایی موجود در خاک و مقدار کودهایی که به خاک افزوده می‌شود، جنس خاک، استرس‌های محیطی مختلف از قبیل

#### فهرست منابع

1. Abdel-Daim, M.M., El-Tawil, O.S., Bungau, S.G. and Atanasov, AG. 2019. Applications of Antioxidants in Metabolic Disorders and Degenerative Diseases: Mechanistic Approach. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 4179676:1-3.
2. Ahmed, H.I.S., Badr, A., El-Shazly, H.H., Watson, L., Fouad, A.S. and Ellmouni, F.Y. 2021. Molecular Phylogeny of *Trifolium L.* Section *Trifolium* with Reference to Chromosome Number and Subsections Delimitation. *Journal of Plants*. 10(10)1985: 1-14.
3. Ara, R., Ratna, M., Sarker, R., Ahmed, M.M. and Rahman, M.M. 2019. Effect of rhizome cut on the yield of ginger. *International Journal of Applied Research*. 5(11): 242-246.

4. Bhargava, S., Dhabhai, K., Batra, A., Sharma, A. and Malhotra, B. 2012. *Zingiber officinale*: Chemical and phytochemical screening and evaluation of its antimicrobial activities. J. Chem. Pharm. 4: 360 -364.
5. Chukwudi, UP., Agbo, CU., Echezona, BC., Eze, EI., Kutu, F.R. and Mavengahama, S. 2020. Variability in morphological, yield and nutritional attributes of ginger (*Zingiber officinale*) germplasm in Nigeria. Res. Crop. 21: 634-42.
6. El-Gohary, A.E., El-Gendy, A.G., Hendawy, S.F., El-Sherbeny, S.E., Hussein, M.S. and Geneva, M. 2015. Herbage yield, essential oil content and composition of summer savory (*Satureja hortensis* L.) as affected by sowing date and foliar nutrition. Genetics and Plant Physiology. 5(2): 170-178.
7. El-Abd, S.O., El-Saied, H.M. and Mahmoud, M.H. 2008. Response of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) on urea application rate under water deficit conditions in Cairo, Egyptian Journal of Horticulture, 54(3): 255-263.
8. Ghasemi Pirbalouti, A. and Craker, L.E. 2015. Diversity in chemical compositions of essential oil of myrtle leaves from various natural habitats in south and southwest Iran. Journal of Forestry Research. 26(4):971-981.
9. Ghassemi Pirbalouti, A., Malekpoor, F., Salimi, A., Golparvar, A. and Hamedi, B. 2017. Effects of foliar of the application chitosan and reduced irrigation on essential oil yield, total phenol content and antioxidant activity of extracts from green and purple basil. Acta Scientiarum. Polonorum Hortorum Cultus. 16(6):177-186.
10. Jabborova, D., Choudhary, R., Karunakaran, R., Ercisli, S., Ahlawat, J., Sulaymanov, K. and Jabbarov, Z. 2021. The Chemical Element Composition of Turmeric Grown in Soil-Climatic Conditions of Tashkent Region, Uzbekistan. Journal of Plants. 10(10)1426:1-11.
11. Ji, K., Fang, L., Zhao, H., Li, Q., Shi, Y., Xu, C., Wang, Y., Du, L., Wang, J. and Liu, Q. 2017. Ginger oleoresin alleviated gamma-ray irradiation-induced reactive oxygen species via the Nrf2 protective response in human mesenchymal stem cells. Oxid. Med. Cell. Longev, 1480294.
12. Kizhakkayil, J. and Sasikumar, B. 2011. Diversity, characterization and utilization of ginger: A review. Plant Genetic Resources, Cambridge. 9(3): 464-477.
13. Kumar, M., Dubey, S., Dwivedi, P.K., Yadav, A.K. and Kumar, M. 2018. Influence of Different Mulch Materials on Vegetative Growth and Yield of Ginger (*Zingiber officinale* R.) under Drip Irrigation System. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, Tamilnadu. 2: 2546-2551.
14. Losak, T. and Richter, R. 2004. Split nitrogen doses and their efficiency in poppy (*Papaver somniferum* L.) nutrition. Lant, Soil and Environment. 50(11): 484-488.
15. Maathuis FJ. 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. Current opinion in plant biology. 12: 250-258.
16. Meneghelli, CM., Krause, M.R., Schmidt, J., Colombo, J.N. and Vieira, G.H.S. 2020. Performance of ginger crop under different irrigation depths. Biosci Journal. 36(3):783-791.
17. Mirshekari, B., Javanshir, A. and Aliari, H. 2009. Effects of irrigation intervals, nitrogen rate and splitting on essence yield of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) grown in semiarid area. Journal of Horticulture, Environment and Biotechnology. 50(4): 285-289.
18. Omidbaigi, R., Hassani, A. and Sefidkon, F. 2003. Essential oil content and composition of sweet basil (*Ocimum basilicum*) at different irrigation regimes. Journal of Essential Oil Bearing Plants. 6(1): 104-108.
19. Pacheco, A., Lopes, A.S., Oliveira, G.Q., France, A. and Silva, L.E. 2016. Different methods of irrigation management and nitrogen fertilization doses in the components of productivity and efficiency in the use of water. Agrarian Magazine Dourados. 33: 263-273.
20. Pirzad, A., Alyari, H., Shakiba, M.R. Zehtab-Salmasi, S. and Mohammadi, A. 2006. Essential oil content and composition of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) at different irrigation regimes. Journal of Agronomy. 5(3): 451-455.
21. Pradhan, J., Sahoo, S. K., Lalotra, S. and Sarma, R.S. 2017. Positive impact of abiotic stress on medicinal and aromatic plants. International Journal of Plant Sciences. 12 (2):309-313.

22. Prasad, S., Tyagi, A.K. 2015. Ginger and its constituents: role in prevention and treatment of gastrointestinal cancer. *Gastroent. Res. Pract.*, 142979.
23. Saidi, S.M., Khajeh Hosseini, M., Rizwani Moghadam, P. and Shahandeh, H. 2014. The relationship between soil phosphorus solubility and nitrogen absorption and its effect on the phosphorus harvest index of Syahdane. *Iranian Crop Science*. 46(25): 1-36.
24. Shibamoto, T., Sandra, P. and Bicchi, C. 1987. Retention indices in essential oil analysis, in capillary gas chromatography in essential oil analysis. *Huething Verlag, New York*. 74 - 259.
25. Soltani, A., 2012. The use of SAS software in statistical analysis. *Mashhad University Jihad*. 6:1-184
26. Stoner, G.D. 2013. Ginger: Is it ready for prime time? *Cancer Prev.* 6:257–262.
27. Whitem, B. 2007. Ginger, a review. *American Family Physicians*. 75: 1689-1691.
28. Yeh, H., Chuang, C., Chen, H., Wan, C., Chen, T. and Lin, L. 2014. Bioactive components analysis of two various gingers (*Zingiber officinale* R.) and antioxidant effect of ginger extracts. *LWT-Food Sci. Technol.* 55:329–334.
29. Zhang, M., Viennois, E., Prasad, M., Zhang, Y., Wang, L., Zhang, Z., Han, M.K., Xiao, B., Xu, C., Srinivasan, S. and et al. 2016. Edible ginger-derived nanoparticles: A novel therapeutic approach for the prevention and treatment of inflammatory bowel disease and colitis-associated cancer. *Biomaterials*. 101:321–340.



## بررسی کارایی سنجش از دور طیفی در برآورد رطوبت سطحی خاک و مقایسه آن با داده‌های حرارتی به منظور مدیریت آبیاری مزارع نیشکر

جمال محمدی معله‌زاده، سعید حمزه<sup>۱</sup> و عبدعلی ناصری

رئیس اداره سنجش از دور و GIS، مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر، اهواز، ایران.

Jamalmohammadi611@gmail.com

دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران.

saeid.hamzeh@ut.ac.ir

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

abdalinaseri@scu.ac.ir

دریافت: آبان ۱۴۰۱ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۱

### چکیده

رطوبت خاک یکی از پارامترهای مهم در مدیریت منابع آب، خاک و گیاه می‌باشد. تحقیق حاضر به منظور بررسی کارایی داده‌های سنجش از دور حرارتی و نوری به منظور تخمین رطوبت خاک و برنامه‌ریزی آبیاری در مزارع نیشکر خوزستان صورت گرفت. بدین منظور میزان رطوبت خاک برای ۹ گذر ماهواره‌های لندست ۸ و سنتینل ۲ با استفاده از روش‌های دوزنقه حرارتی و نوری از فروردین تا مهرماه ۱۳۹۹ در کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر محاسبه گردید. برای صحت‌سنجی نتایج از داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت سطحی خاک ۳۳۷ نقطه کنترل زمینی واقع در ۱۸ مزرعه زیر کشت نیشکر که توسط دستگاه رطوبت‌سنج TDR350 همزمان با گذر ماهواره‌ها اندازه‌گیری شده بود استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که مدل TOTRAM با میزان ضریب تبیین ۰/۸۲ و میزان خطای RMSE و NRMSE برابر با ۴/۴۵٪ و ۱۲/۹٪، و مدل OPTRAM با میزان ضریب تبیین ۰/۹۳ و میزان خطای RMSE و NRMSE برابر با ۳/۱۴٪ و ۱۲/۱٪ قادر به تخمین مناسب رطوبت سطحی خاک در اراضی نیشکر می‌باشند. همچنین، بررسی کارایی نقشه‌های بدست آمده از رطوبت خاک برای برنامه‌ریزی آبیاری مزارع نیشکر نشان می‌دهد، که می‌توان از این داده‌ها برای برنامه‌ریزی آبیاری با میانگین خطای متوسط NRMSE برابر با ۱۶٪ و ۹٪ به نسبت داده‌های زمینی زمان آبیاری به ترتیب برای مدل‌های TOTRAM و OPTRAM استفاده نمود. در این خصوص داده‌های مدل OPTRAM به دلیل قدرت تفکیک مکانی بهتر داده‌های نوری نسبت به داده‌های حرارتی و از طرفی تأثیر پذیری کمتر نسبت به عوامل محیطی مانند دما و رطوبت نسبی هوا و همچنین اثر پیکسل‌های مجاور، از کارایی بالاتری برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی آبیاری، مدل دوزنقه حرارتی، مدل دوزنقه نوری

حرارتی میزان گسیل گرما از سطح زمین با طول موج‌های ۳/۵ تا ۱۴ میکرومتر اندازه‌گیری می‌شود (کاران، ۱۹۸۵) تخمین رطوبت خاک با این روش، نیاز به برآورد دمای سطحی خاک و شاخص گیاهی دارد. (ونگ و همکاران، ۲۰۱۱) پوشش گیاهی و دمای سطح زمین (LST)، وابستگی پیچیده‌ای بر روی رطوبت خاک دارند کارلسون و همکاران (۱۹۹۴) و گیلیس و همکاران (۱۹۹۷) نشان داده‌اند از ترکیب این دو شاخص می‌توان برای برآورد رطوبت خاک با دقت قابل قبول استفاده کرد. تغییرات رطوبت خاک، تأثیراتی فراوان بر ویژگی‌های حرارتی خاک دارد؛ به‌عبارت‌دیگر، تغییرات روزانه دما، همبستگی بالایی با مقدار رطوبت خاک دارد. در این میان استفاده ترکیبی از داده‌های دمای سطح زمین (LST) و شاخص‌های گیاهی از قبیل NDVI<sup>۲</sup> بسیار مورد توجه واقع شده و در تحقیقات متعددی استفاده گردیده است (رحیمزاده و همکاران، ۲۰۱۲). ونگ و همکاران در سال ۲۰۰۷ رابطه NDVI با رطوبت خاک در مناطق نیمه‌خشک را بسیار معتبرتر از مناطق مرطوب ارزیابی کرده و میزان تأخیر زمانی در تأثیر رطوبت خاک بر NDVI را در مناطق مرطوب بیشتر از مناطق نیمه‌خشک بیان نمودند. تعدادی از محققین نیز استفاده ترکیبی از اطلاعات ماهواره‌ای دمای سطح زمین (LST) و شاخص‌های گیاهی را در تخمین رطوبت خاک پیشنهاد نمودند و اذعان داشتند که ترکیب این داده‌ها می‌تواند اطلاعات بهتری از تنش‌های گیاهی و شرایط رطوبتی سطح زمین فراهم آورد. در مناطق خشک انتظار می‌رود که رابطه منفی بین NDVI و LST به دلیل افزایش دمای سطح زمین برای مناطق با NDVI پایین تغییر کند این منتهی به یک فضای مثلثی می‌شود که برای استخراج وضعیت رطوبت خاک مورد بررسی قرار گرفته است (متالیک و همکاران، ۲۰۰۹). (انگمن، ۱۹۹۵) در سال ۲۰۱۷ یک مدل جدید برای برآورد رطوبت خاک با استفاده از سنجش از دور مرئی گردید که بر اساس رابطه فیزیکی خطی بین رطوبت خاک و بازتابی تبدیل شده مادون قرمز کوتاه

تخمین رطوبت خاک برای ارزیابی مواردی مانند تبخیر و تعرق، نفوذ، رواناب و برای مدل‌سازی روابط خاک و پوشش گیاهی و جو مهم است. در زمینه کشاورزی، اندازه‌گیری رطوبت خاک در مدیریت منابع آب نقش دارد (الکساندراتوس و همکاران، ۲۰۱۲). اگرچه اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از اندازه‌گیری‌های محلی صورت می‌گیرد، اما در سطح وسیع نیاز به نظارت طولانی‌مدت و هزینه زیاد دارد. سال‌های گذشته، الگوریتم‌های مختلفی برای برآورد رطوبت خاک با استفاده از مشاهدات سنجش‌ازدور نوری و رادار ارائه شده است (بغدای و همکاران، ۲۰۱۶). مدل ذوزنقه‌ای یا مثلثی یکی از مدل‌های به کاررفته در سنجش‌ازدور جهت برآورد رطوبت خاک است. مدل ذوزنقه حرارتی-مرئی براساس تفسیر توزیع پیکسل در فضای 'LST-VI'، جایی که دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی یک شاخص رشد گیاهی است استفاده می‌شود. یکی از دلایل موفقیت این مدل متکی بودن به داده‌های سنجش‌ازدور حرارتی و مرئی و عدم نیاز به اطلاعات جوی و داده‌های جانبی است. تکنیک‌های سنجش از دور برای برآورد رطوبت خاک شامل روش‌های نوری، مادون قرمز حرارتی و ماکروویو فعال و غیر فعال هستند که هر کدام نقاط ضعف و قوت خود را دارند. در روش‌های نوری ارتباط بازتاب از سطح خاک با مقدار رطوبت خاک بررسی می‌شود که در این میان تأثیر سایر عوامل بر بازتاب خاک باعث ایجاد خطا در مقادیر رطوبت برآورد شده می‌گردد. در داده‌های حرارتی ارتباط بین میزان تغییرات دمای سطح و رطوبت خاک استفاده می‌شود و در داده‌های رادار از خاصیت کاهش بازپراکنش امواج رادار در قطبش‌های مختلف در اثر افزایش رطوبت خاک بهره گرفته می‌شود (رنجبر و همکاران، ۲۰۲۱؛ انگمن ۱۹۹۵). طبق نتایج تحقیقات قبلی از ترکیب این ویژگی‌ها و داده‌های ماهواره‌ای مختلف می‌توان جهت برآورد رطوبت خاک با دقت قابل قبولی استفاده کرد (کارلسون، ۱۹۹۴). در روش

محدودیت دوم مدل دوزنقه‌ای قدیمی را حل می‌کند (بابائیان و همکاران ۲۰۱۸).

برآورد رطوبت سطحی خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های سنجش از دور در اراضی کشاورزی شهرستان شوشتر نشان داد، بر اساس نتایج تحقیق رطوبت سطحی خاک با شاخص‌های NDVI، SAVI، NDMI، NDTI و SMSWIR رابطه مستقیم و با شاخص LST رابطه معکوس داشته است. همچنین، شاخص LST برآورد بهتری از رطوبت خاک داشته که نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه این عامل بر مقادیر رطوبت سطحی خاک است (عبیات و همکاران، ۲۰۲۲).

با توجه به مرور منابع مشخص شد که مدل دوزنقه حرارتی TOTRAM<sup>۱</sup> و مدل دوزنقه معکوس طیفی OPTRAM<sup>۲</sup> از توانایی خوبی در برآورد رطوبت خاک برخوردار است، اما تاکنون تحقیقی جهت مقایسه نتایج حاصل از اجرا همزمان این دو مدل برای اراضی نیشکر و از آن مهم‌تر کارایی نتایج این روش‌ها برای برنامه‌ریزی آبیاری صورت نگرفته است؛ بنابراین هدف این مطالعه مدل‌سازی رطوبت خاک با استفاده از مدل TOTRAM و OPTRAM مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل ۲ و بررسی توانایی این مدل‌ها در پایش به هنگام میزان رطوبت خاک و بررسی تنش آبی مزارع به‌منظور برنامه‌ریزی آبیاری اراضی کشت و صنعت‌های نیشکر است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر در ناحیه عرض شمالی از  $31^{\circ} 5' 28''$  تا  $19/17''$   $48^{\circ} 58'$  و طول شرقی از  $51/53''$  تا  $48 20' 49/07''$  واقع شده است (شکل ۱). این کشت و صنعت یکی از کشت و صنعت‌های هفت‌گانه شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی است؛ که سالانه حدود ۹۵۰۰ هکتار آن تحت

(STR) است که بر اساس توزیع پیکسل در داخل فضای دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (STR – VI) بیان می‌شود (صادقی و همکاران، ۲۰۱۷). در روش نوری این روش‌ها با استفاده از باندهای نوری (طول‌موج‌های بین ۰/۳۵ تا ۲/۵ میکرومتر) که در آن تابش منعکس شده از خورشید به سطح زمین، به‌عنوان بازتاب شناخته می‌شود، اندازه‌گیری می‌شود (بن دور و همکاران ۲۰۰۹). معمولاً رطوبت خاک با استفاده از بازتاب و تجزیه و تحلیل‌های تجربی برآورد (ونگ و کیو، ۲۰۰۴). مدل دوزنقه روشی گسترده برای سنجش‌ازدور رطوبت خاک بر اساس حرارت دمای سطح زمین (LST) و داده‌های نوری است. علیرغم موفقیت آشکار آن، از دو محدودیت ذاتی رنج می‌برد. نخست این که نیاز به داده‌های هم‌زمان نوری و حرارتی دارد که این مدل را برای ماهواره‌هایی که داده‌های حرارتی را ارائه نمی‌دهند، غیرقابل استفاده می‌کند. دمای سطح زمین نه تنها تحت تأثیر رطوبت خاک، بلکه شرایط محیطی (مانند سرعت باد، دمای هوا و رطوبت هوا) است. از این رو، مدل دوزنقه نیاز به وقت و محاسبات برای کالیبراسیون در هر تاریخ مشاهداتی دارد.

برای غلبه بر این دو محدودیت، صادقی و همکاران (۲۰۱۷) مدل فیزیکی دوزنقه نوری را برای اولین بار به‌منظور برآورد رطوبت خاک ارائه دادند. مدل دوزنقه نوری که از تفاضل شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) و طول‌موج کوتاه مادون‌قرمز (SWIR) به‌دست می‌آید، برای محاسبه رطوبت خاک استفاده می‌شود. مدل دوزنقه نوری نیازی به باند حرارتی ندارد، از این رو، برای ماهواره‌هایی که تنها باندهای نوری ارائه می‌دهند نیز قابل استفاده است. با توجه به جایگزینی دمای سطح زمین؛ یعنی جایگزینی LST به بازتاب SWIR، این پارامتر به‌طور معنی‌داری با شرایط اتمسفر محیطی تغییر نمی‌کند. به این ترتیب مدل دوزنقه نوری می‌تواند به‌طور جهانی برای مکانی مشخص پارامتر بندی شود، این مسئله

استفاده از روش حجمی عمل می‌کند، اطلاعاتی مانند بافت خاک از نقطه نمونه‌برداری، جرم مخصوص خاک و رطوبت وزنی به دست می‌آید. سپس این اطلاعات با رطوبت وزنی صحت سنجی می‌شوند تا دقت و صحت اندازه‌گیری رطوبت خاک تأیید شود.

در این روش، ابتدا با استفاده از دستگاه TDR نقاط نمونه‌برداری شده از خاک، سیگنال‌های الکترومغناطیسی را ارسال می‌کند. سپس با توجه به تغییرات سرعت انتشار این سیگنال‌ها در خاک، می‌توان به رطوبت خاک پی برد. با اندازه‌گیری جرم مخصوص خاک و رطوبت وزنی به دست آمده، می‌توان اطمینان حاصل کرد که اندازه‌گیری رطوبت خاک به درستی انجام شده است. در نتیجه، با استفاده از دستگاه TDR و روش حجمی، امکان اندازه‌گیری دقیق رطوبت خاک فراهم می‌شود که با رطوبت وزنی صحت سنجی می‌شود شکل (۲).

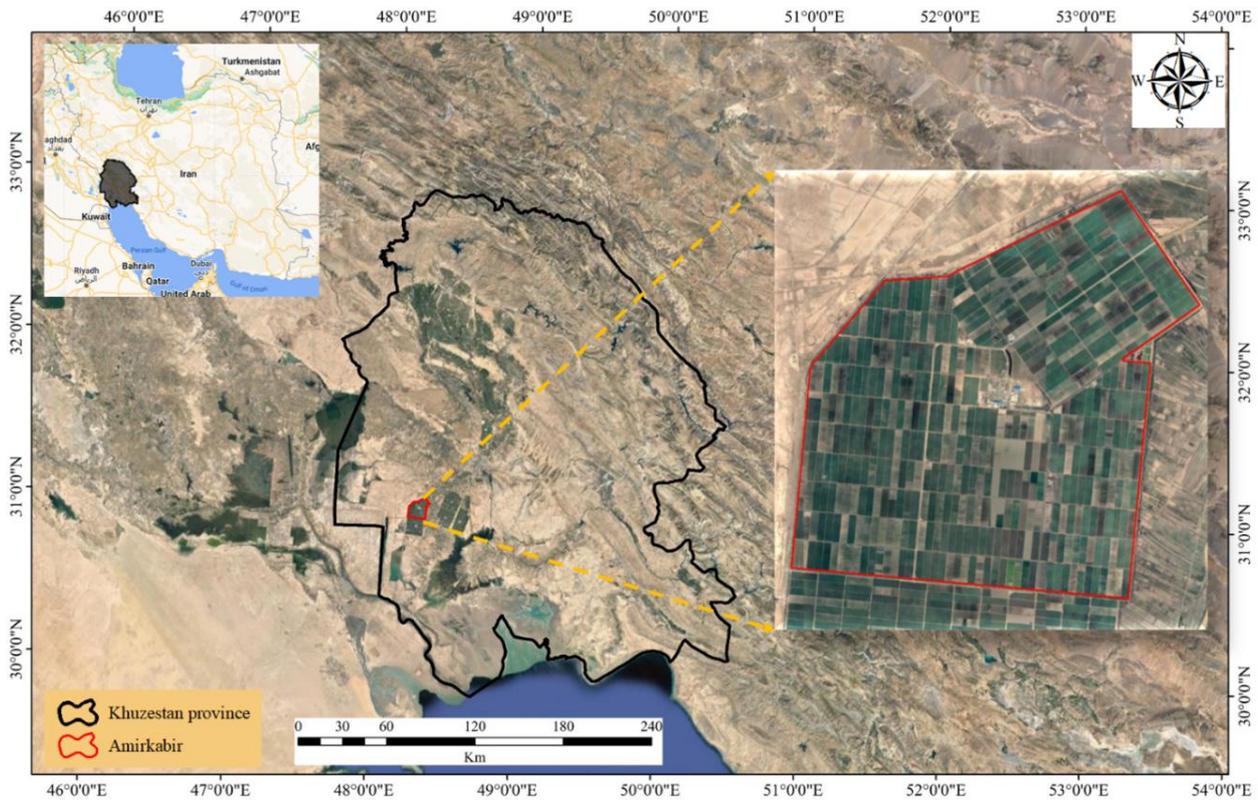
در مجموع تعداد ۲۳۰ نمونه رطوبت سطحی برداشت شد که برای ماهواره سنتینل ۲ برابر ۱۳۸ نمونه و برای ماهواره لندست ۸ برابر ۹۲ نمونه است. همچنین ۸۰ درصد این نمونه‌ها به منظور مدل‌سازی رطوبت خاک و ۲۰ درصد باقی‌مانده برای صحت سنجی نتایج مستخرج از داده‌های ماهواره‌ای استفاده گردید (شکل ۳).

داشت نیشکر اختصاص یافته و ۲۰۰۰ هکتار آن در حال آیش و کشت جدید است. اساس طراحی مزارع نیشکر به صورت ۲۵ هکتاری با طول مزرعه ۱۰۰۰ متر و فاصله فاروها ۱/۸۳ متر است.

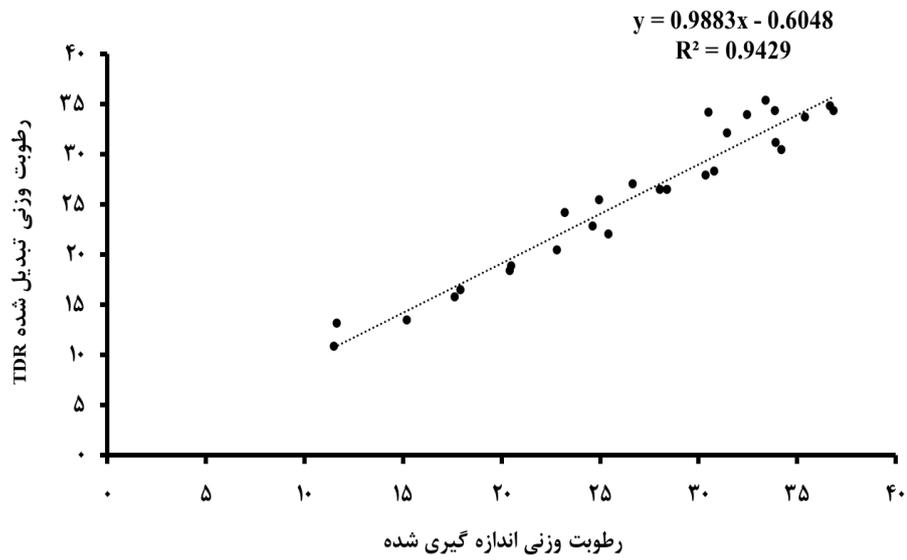
#### داده‌های مورد استفاده

##### داده‌های زمینی

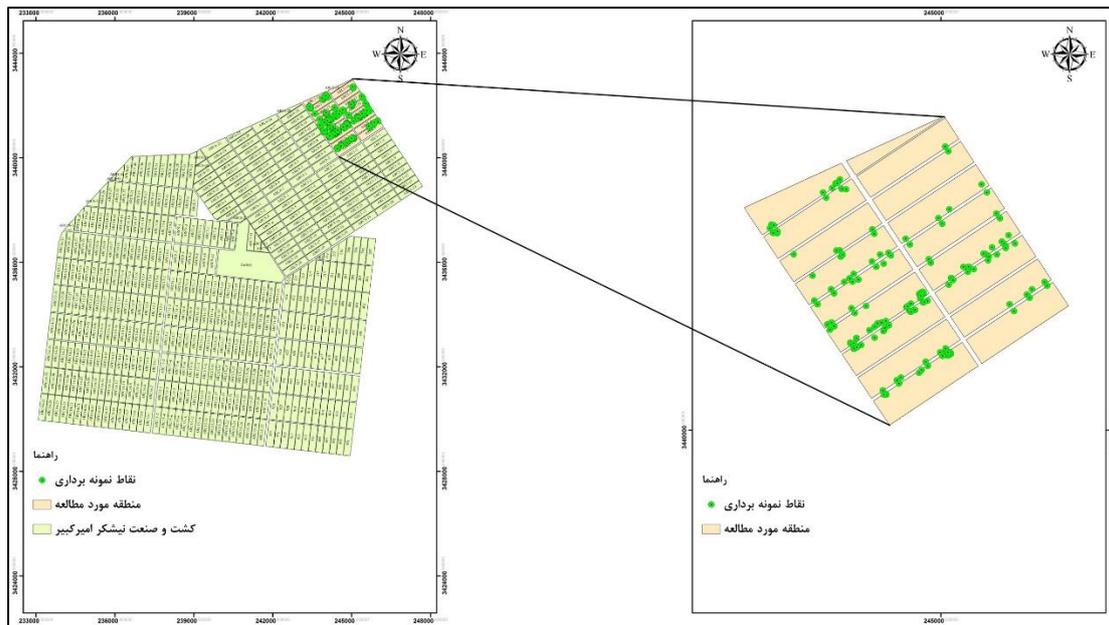
داده‌برداری میدانی برای انجام این پژوهش در خط آبیاری ARC2 انجام شد و پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل رطوبت خاک، بافت خاک و همچنین اطلاعات آبیاری مزارع شامل زمان شروع و پایان آبیاری، مدت زمان آبیاری، عمق آب زیرزمینی یادداشت‌برداری شد. با توجه به اینکه ماهواره لندست ۸ و سنتینل ۲ با منبع نور خورشید است، تصاویر دمایی و رطوبت ناشی از محاسبات با آن مربوط به اعماق سطحی خاک است؛ بنابراین برای برآورد رطوبت خاک، نمونه‌برداری لازم در عمق پنج سانتی‌متر هم‌زمان با گذر ماهواره لندست ۸ یا سنتینل ۲، دو تا سه بار در ماه (نیمه اول و دوم هرماه، با توجه به روند رشد نیشکر) با استفاده از دستگاه قابل‌حمل TDR350 در فصل داشت نیشکر از فروردین تا مهرماه ۱۳۹۹ اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه دستگاه TDR<sup>۱</sup> برای اندازه‌گیری رطوبت خاک با



شکل ۱- موقعیت کشت و صنعت امیرکبیر در جنوب خوزستان



شکل ۲- صحت سنجی رطوبت خاک اندازه‌گیری شده با دستگاه TDR



شکل ۳- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

#### داده‌های ماهواره‌ای

جهت انجام این تحقیق از تعداد نه تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به شماره گذر و ردیف‌های ۱۶۶ و ۳۸ طی بازه زمانی فروردین تا مهرماه سال ۱۳۹۹ استفاده گردید. ماهواره لندست ۸ در ۱۱ باند مختلف در محدوده طیفی ۰/۴۳۳ تا ۱۲/۵ میکرومتر با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر برای باندهای محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک و میانی و ۱۰۰ متر برای محدوده مادون قرمز حرارتی و با دوره بازگشت زمانی ۱۶ روزه داده‌برداری را انجام می‌دهد. همه تصاویر در سطح پردازش یک (LC08\_L1TP) و از طریق سایت زمین‌شناسی آمریکا (<https://earthexplorer.usgs.gov>) دانلود شد. بعد از دانلود تصاویر اقدام به انجام پیش‌پردازش‌های مورد نیاز با نرم‌افزار ENVI 5.3.1 شامل انجام تصحیحات رادیومتریکی، اتمسفری و سپس استخراج منطقه مورد مطالعه گردید.

ماهواره سنتینل-۲ آدر سال ۲۰۱۵ و سنتینل-۲بی در سال ۲۰۱۷ راه‌اندازی شد. این ماهواره، ماهواره مدار قطبی است و مأموریت آن اخذ تصاویر با وضوح بالا برای پایش پدیده‌هایی همانند آب، خاک و پوشش گیاهی است. این ماهواره از ۱۳ باند طیفی در محدوده‌های مرئی،

مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه برخوردار است. سنتینل-۲ در موقعیت مکانی مطالعه شده با تفکیک زمانی ۵ روز و قدرت تفکیک مکانی از ۱۰ تا ۶۰ متر با سیستم تصویر ۳۹ شمالی و بر مبنای WGS-84 می‌باشند، بعد از دانلود تصاویر از سایت زمین‌شناسی آمریکا (<https://scihub.copernicus.eu>) و انجام پیش‌پردازش‌های مورد نیاز برای سال ۱۳۹۹ از فروردین تا مهرماه در نه گذر ماهواره استخراج شد.

#### پیش‌پردازش و آماده‌سازی داده‌ها

تصاویر ماهواره لندست ۸ در تحقیق دارای تصحیحات هندسی است. سپس برای به دست آوردن اطلاعات دقیق‌تر، تصحیحات رادیومتریک و تصحیحات اتمسفری با استفاده از الگوریتم FLAASH انجام می‌شوند. الگوریتم FLAASH با بررسی مدل‌های انتقال تابشی، اثراتی را که از اتمسفر و زمین بر روی امواج الکترومغناطیسی منتشر شده دارند، شبیه‌سازی می‌کند. در نتیجه، تصاویر به‌دقت بیشتری تصحیح می‌شوند و اطلاعات بیشتری درباره محیط مورد نظر به دست می‌آید.

در مرحله بعد، با استفاده از نسبت گیری طیفی، شاخص گیاهی NDVI استخراج می‌شود. این شاخص،

به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های گیاهی، نشان‌دهنده میزان فعالیت گیاهی در منطقه مورد نظر است. همچنین، برای محاسبه دمای سطح زمین، از الگوریتم تک پنجره‌ای (Mono Window) استفاده می‌شود. در این روش، با استفاده از پارامترهایی مانند دمای درخشندگی، میانگین دمای اتمسفر، ضریب عبور اتمسفری و گسیلمندی، دمای سطح زمین به دست می‌آید. این روش، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به‌دقت بالاتری نسبت به روش‌های سنتی، دمای سطح زمین را محاسبه می‌کند. (روننگاری و همکاران، ۲۰۱۸).

به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های گیاهی، نشان‌دهنده میزان فعالیت گیاهی در منطقه مورد نظر است.

همچنین، برای محاسبه دمای سطح زمین، از الگوریتم تک پنجره‌ای (Mono Window) استفاده می‌شود. در این روش، با استفاده از پارامترهایی مانند دمای درخشندگی، میانگین دمای اتمسفر، ضریب عبور اتمسفری و گسیلمندی، دمای سطح زمین به دست می‌آید. این روش، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به‌دقت بالاتری نسبت به روش‌های سنتی، دمای سطح زمین را محاسبه می‌کند. (روننگاری و همکاران، ۲۰۱۸).

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \quad (1)$$

$$LST = \frac{BT}{(1 + w(\frac{BT}{\rho})Lne)} \quad (2)$$

$$e = 0.004P_v + 0.986 \quad (3)$$

$$P_v = \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (4)$$

$BT^1$ : دمای درخشندگی است و مقدار  $W$  نیز، طول موج باند ۱۰ و یا ۱۱ است که در این پژوهش از باند ۱۰ استفاده شد و مقدار آن در لندست ۸ برابر ۱۱/۵ میکرومتر است. مقدار  $\rho$  برابر با میلی کلونین  $10^{-2} \times 1/438$  است.  $NDVI_{max}$  و  $NDVI_{min}$  به ترتیب بیشترین و کمترین

در ابتدا مقدار رادیان تصویر با استفاده از رابطه (۵) بدست آمد:

$$\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L - O_i \quad (5)$$

در این رابطه  $ML$  فاکتور تغییر مقیاس<sup>۲</sup> برای هر باند،  $Q_{cal}$  باند ۱۰ لندست،  $AL$  فاکتور تغییر مقیاس و  $O_i$  ضریب تصحیح برای باند ۱۰ است. مقادیر این پارامترها برای باند ۱۰ لندست در جدول ذکر شده است.

پس از بدست آوردن رادیانس باید دمای روشنایی<sup>۳</sup> محاسبه شود. دمای روشنایی از رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$BT = \frac{K_2}{\ln[k_1/L\lambda + 1]} \quad (6)$$

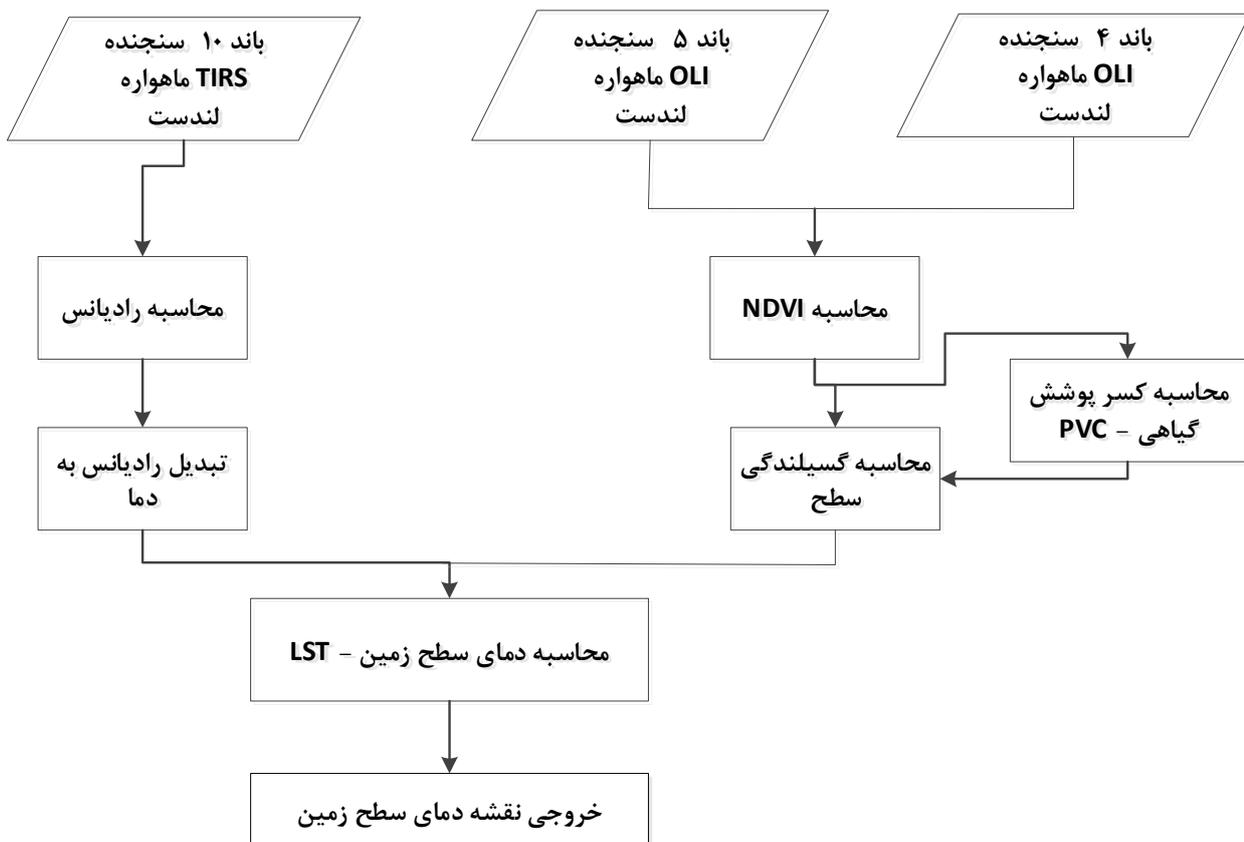
که در این رابطه  $k_1$  و  $k_2$  ضرایبی تبدیل هستند که در فایل متادیتا (METADATA\_FILE) موجود در فایل ماهواره لندست ۸ یا ۹، برای هر باند مقدار مشخص دارد، برای بدست آوردن دما برحسب سلسیوس باید مقادیر بدست آمده منهای صفر مطلق شوند. در جدول (۱) مقادیر این ضرایب برای باند ۱۰ قابل مشاهده است.

جدول ۱- مقادیر ضرایب مورد استفاده برای محاسبه رادیانس و درجه روشنایی برای باند ۱۰

ضریب	
$K_1$	۷۷۷/۸۹
$K_2$	۱۳۲۱/۰۸
$M_L$	۰/۰۰۰۳۴۲
$A_L$	۰/۱
$O_i$	۰/۲۹

پیکسل‌های با ارزش  $NDVI$  بزرگ‌تر از ۰/۵ بیشترین تراکم پوشش گیاهی را نشان می‌دهند که مقدار ثابت گسیلمندی آن‌ها ۰/۹۹ تخمین زده می‌شود. اگر  $NDVI$  بین ۰/۲ و ۰/۵ باشد پیکسل ترکیبی از پدیده‌های مختلف است و از رابطه (۴) قابل محاسبه است (ونگ و همکاران، ۲۰۰۴).

شاخص  $NDVI$  از رابطه (۱) به دست می‌آید،  $NDVI_{max}$  و  $NDVI_{min}$  به ترتیب بیشترین و کمترین  $NDVI$  مشاهده شده است. در این روش از طبقه‌بندی  $NDVI$  استفاده می‌شود، پیکسل مربوط به خاک خشک با میزان گسیلمندی حرارتی ۰/۹۷ برای لندست است.



شکل ۴- روند مراحل محاسبه دمای سطح زمین (LST)

که برای ماهواره لندست ۸ باند مادون قرمز نزدیک (NIR) و باند قرمز (Red) به ترتیب باندهای ۵ و ۴ می‌باشند.

$$W = \frac{\theta - \theta_d}{\theta_w - \theta_d} = \frac{LST_d - LST}{LST_d - LST_w} \quad (7)$$

$W$ : مقدار رطوبت خاک نرمال شده،  $\theta_d$ : حداقل مقدار رطوبت خاک خشک در شرایط محلی،  $\theta_w$ : حداکثر مقدار رطوبت خاک مرطوب در شرایط محلی،  $LST_d$  و  $LST_w$  به ترتیب مربوط به خاک خشک و مرطوب می‌باشند.

$$LST_d = i_d + s_d NDVI \quad (8)$$

$$LST_w = i_w + s_w NDVI \quad (9)$$

$i_d$  و  $s_d$  به ترتیب مربوط به بیشترین دمای سطح زمین و کمترین تراکم پوشش گیاهی،  $i_w$  و  $s_w$  به ترتیب مربوط به کمترین دمای سطح زمین و بیشترین تراکم پوشش گیاهی است که با استفاده از یک معادله خطی (رابطه ۱۰) رطوبت

#### مدل ذوزنقه نوری - حرارتی (TOTRAM<sup>۱</sup>)

این مدل بر اساس توزیع پیکسل در فضای دو بعدی دمای سطح زمین و پوشش گیاهی است. مدل ذوزنقه جدید OPTRAM بر اساس ایده جایگزینی LST در مدل TOTRAM با یک معیار برای رطوبت خاک در حوزه نوری استوار است. بر اساس مدل انتقال تابش دو شار کوبلکا و مانک (۱۹۳۱) و صادقی و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل فیزیکی توسعه دادند که یک رابطه خطی بین محتوای رطوبت سطح و بازتاب تبدیل شده SWIR را نشان می‌دهد.

برای برآورد رطوبت خاک با استفاده از یک معادله خطی در فضای دمای سطح زمین ( $LST^2$ ) و شاخص پوشش گیاهی نرمال شده ( $NDVI^3$ ) با استفاده از معادلات ذیل برازش داده می‌شود.

3- Normalized difference vegetation index

1- Thermal-Optical TRAapezoid Model  
2- Land surface temperature

$$STR = \frac{(1-R_{SWIR})^2}{2R_{SWIR}} \quad (15)$$

که  $STR$ ،  $STR_w$ ،  $STR_d$  خشک  $\theta \sim 0 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ، جایی که  $\theta = \theta_s \text{ cm}^3$  و مرطوب  $\theta = \theta_s \text{ cm}^3$ ، جایی که  $\theta_s$  رطوبت اشباع است) و  $R$  بازتاب سطحی برای دامنه الکترومغناطیسی SWIR باند ۱۳ ماهواره سنتینل-۲ است. با فرض روابط خطی تجربی بین  $STR_d$  و  $STR_w$  با شاخص تفاضلی پوشش گیاهی، لبه‌های خشک و مرطوب دوزنقه نوری به شرح زیر تعریف می‌شوند. برای تعیین لبه‌های تر و خشک با استفاده از نرم‌افزار Matlab انجام شد، در این مرحله هر پیکسل به‌عنوان لبه خشک یا تر شناخته می‌شود بر اساس اینکه آیا مقدار NDVI و دوزنقه نوری آن بیشتر یا کمتر از آستانه‌های تعیین‌شده در رطوبت خاک است.

استفاده از نرم‌افزار Matlab می‌تواند در اجرای مراحل فوق کمک کند. با استفاده از توابع و ابزارهای موجود در Matlab، می‌توان مقادیر NDVI و دوزنقه نوری محاسبه شود و سپس با تعیین آستانه‌ها و اعمال آن‌ها بر روی تصویر، نقشه لبه‌های خشک و تر تولید می‌شود. (شکل ۵ ب).

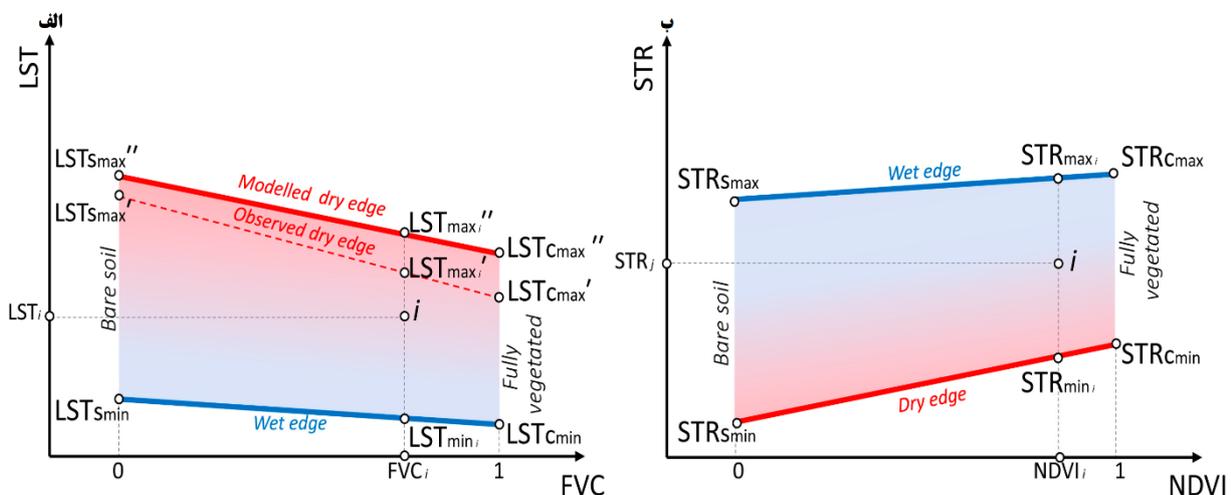
خاک را می‌توان برای هر پیکسل در فضای LST-NDVI برآورد کرد.

$$W = \frac{i_d + s_d NDVI - LST}{i_d - i_w + (s_d - s_w) NDVI} \quad (10)$$

### مدل دوزنقه جدید نوری (OPTRAM)

مدل دوزنقه‌ی نوری بر مبنای ایده جایگزینی LST در دوزنقه قدیمی با  $STR^2$  در مدل جدید دوزنقه نوری بر پایه اندازه‌گیری رطوبت خاک در حوزه نوری استوار است. صادقی و همکاران (۲۰۱۵) بر اساس مدل انتقال تابشی دوقطبی، یک مدل فیزیکی را ایجاد کرد که رابطه خطی بین رطوبت سطح و بازتاب تبدیل یافته  $STR^2$  را نشان می‌دهد. این مدل بر اساس توزیع پیکسلی در محدوده STR-NDVI است که STR نشان‌دهنده بازتاب تبدیل‌شده SWIR (طول موج مادون قرمز کوتاه) است و NDVI شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی است و بنابراین جایگزین LST در مدل دوزنقه‌ی معمولی می‌شود. با توجه به رابطه خطی بین درجه اشباع خاک  $W$  (صفر برای خشک و یک برای خاک اشباع‌شده) و  $STR$  (صادقی و همکاران، ۲۰۱۵) رابطه ۱۴ و ۱۵ را داریم:

$$W = \frac{\theta - \theta_d}{\theta_w - \theta_d} = \frac{STR - STR_d}{STR_w - STR_d} \quad (14)$$



شکل ۵- مدل دوزنقه نوری - حرارتی (الف) و مدل نوری جدید (ب)

(NRMSE) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) انجام شد؛ که در آن‌ها  $P_i$  مقادیر پیش‌بینی شده،  $O_i$  مقادیر مشاهده شده،  $n$  تعداد نمونه‌های به کار رفته،  $\bar{O}_i$  مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده است.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (12)$$

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\bar{O}}} \quad (13)$$

### طبقه‌بندی رطوبت و آبیاری مزارع نیشکر

معیار طبقه‌بندی مزارع نیشکر در این روش، ترکیبی از رطوبت خاک اندازه‌گیری شده و زمان سپری از آبیاری مزارع انجام شد. این طبقه‌بندی‌ها به پنج دسته به ترتیب، در حال آبیاری، رطوبت بالا (مزارعی که بین یک تا حدود سه روز قبل آبیاری شدند)، رطوبت متوسط (مزارعی که بین چهار تا هفت روز قبل آبیاری شدند)، زمان آبیاری (مزارعی که بر حسب رطوبت ۱۵ درصد وزنی زمان آبیاری آن است) و شروع تنش رطوبتی (مزارعی که زمان آبیاری آن گذشته و دچار تنش می‌شود) انجام شد. هدف از این طبقه‌بندی سهولت در تفسیر تصاویر، مدیریت آبیاری مزرعه و توزیع یکنواختی آبیاری در سطح مزرعه است (جدول ۲).

جدول ۲- طبقه‌بندی رطوبت خاک و زمان آبیاری مزارع نیشکر

وضعیت مزرعه	درصد رطوبت وزنی خاک	طبقه‌بندی
مزارعی که زمان آبیاری آن گذشته و دچار تنش می‌شود.	۱۳-۰	شروع تنش
مزارعی که بر حسب رطوبت ۱۵ درصد وزنی زمان آبیاری است.	۲۲-۱۳	بررسی جهت شروع آبیاری (بستگی به بافت خاک)
مزارعی که بین چهار تا هفت روز قبل آبیاری شدند.	۳۵-۲۲	رطوبت متوسط
مزارعی که بین یک تا حدود سه روز قبل آبیاری شدند.	۴۵-۳۵	رطوبت بالا
مزرعه در حال آبیاری	۱۰۰-۴۵	در حال آبیاری (اشیاع)

با استفاده از نرم‌افزار متلب، معادلات بهترین خط‌های برازش شده بالا و پایین ( $LST_w$  و  $LST_d$ ،  $STR_d$  و  $STR_w$ ) برای هر یک از تاریخ‌های نمونه‌برداری شده میدانی، مشخص شد. توزیع پیکسلی فضای  $LST$  و  $NDVI$  برای مدل  $TOTRAM$  با توجه به پژوهش

$$STR_d = i_d + s_d NDVI \quad (16)$$

$$STR_w = i_w + s_w NDVI \quad (17)$$

که  $i_d$  و  $s_d$  جداکننده و شیب لبه خشک و  $i_w$  و  $s_w$  جداکننده و شیب لبه مرطوب هستند. بر اساس معادله (۱۶) و (۱۷) رطوبت خاک در یک پیکسل تصویر ماهواره‌ای داده شده می‌تواند با استفاده از مقدار  $STR$  و شاخص  $NDVI$  آن محاسبه شود:

$$W = \frac{i_d + s_d NDVI - STR}{i_d - i_w + (s_d - s_w) NDVI} \quad (18)$$

که در آن درجه اشباع ( $W$ )، می‌تواند در تخلخل خاک ضرب و به صورت حجمی ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) بیان شود (که فرض می‌شود  $\theta$  برابر با  $\theta_s$  است). فضای  $STR-NDVI$  برخلاف مدل دوزنقه قدیمی تقریباً در زمان پایدار و ثابت است زیرا بازتاب سطح تنها وابسته به خواص سطح است نه پارامترهای جوی و محیطی؛ بنابراین پارامترهای عمومی (جهانی) معادله (۱۸) برای هر مشاهدات ماهواره‌ای و در هر مکان امکان‌پذیر است (باباییان و همکاران، ۲۰۱۸).

### صحت سنجی مدل

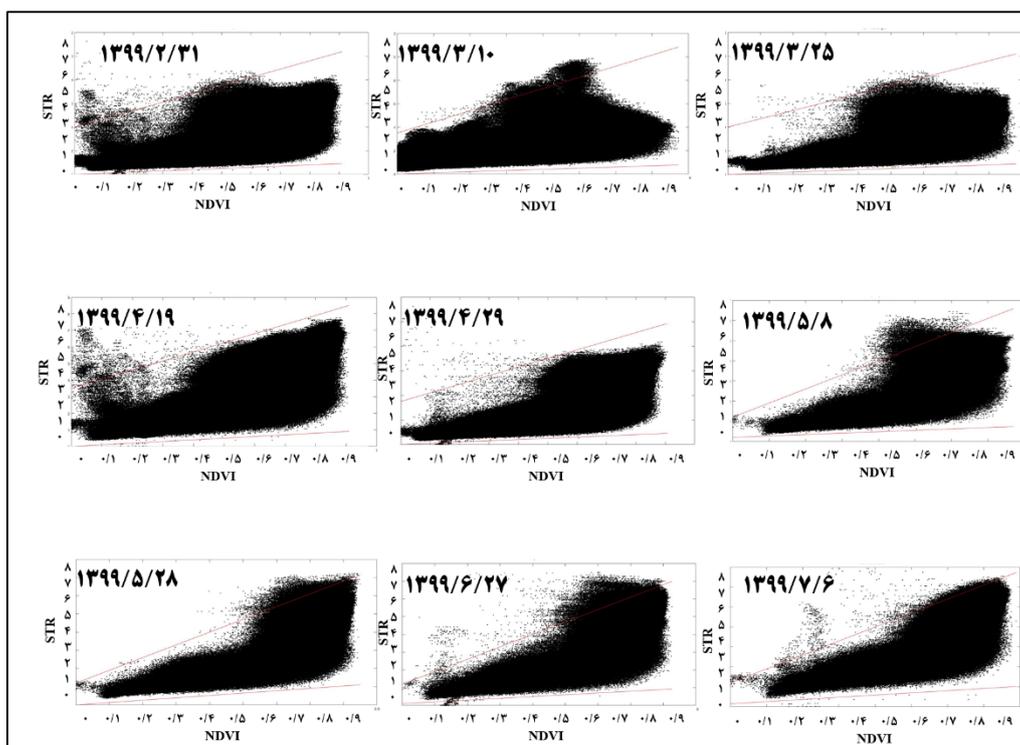
برای صحت‌سنجی مدل‌ها با شرایط واقعی مزرعه و انتخاب مدل بهینه در طول دوره رشد نیشکر و پایش بهنگام رطوبت سطحی خاک در مزارع نیشکر، با استفاده از پارامترهای آماری جذر میانگین مربعات خطا نرمال شده

### نتایج و بحث

برای انجام محاسبات مدل  $TOTRAM^1$  و  $OPTRAM^2$  که بر اساس توزیع پیکسل در فضای  $LST-NDVI$  و  $STR-NDVI$  است، ابتدا برای هر تصویر مقادیر  $NDVI$  در برابر  $LST$  و  $STR$  پلات گردید و سپس

پلات در جدول (۳) ارائه شده است. این میزان میانگین خطا برای کل زمان‌های داده‌برداری در طول دوره رشد است. همچنین با توجه به اینکه بافت خاک منطقه بسیار سنگین است و همچنین محدوده‌های رطوبت مورد نظر برای برنامه‌ریزی آبیاری و طبقه‌بندی نقشه‌ها جهت مدیریت آبیاری این مقدار جوابگویی نیازهای کاربردی است همچنین ذکر این نکته ضروری است که همه مدل‌های سنجش از دوری دارای خطای نسبی در همین حد است.

(محمدی معله‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱) موجود است و همچنین STR و NDVI برای مدل OPTRAM در دوره داشت نیشکر در شکل (۶) آمده است. رابطه NDVI و STR در مدل OPTRAM مستقیم است و با افزایش شاخص NDVI پارامتر STR افزایش می‌یابد. خط بالا و پایین ابر نقاط مدل نوری به ترتیب،  $STR_w$ ،  $STR_d$ ،  $STR_d$  است. همچنین نتایج معادلات مدل‌های TOTRAM و OPTRAM با فرض در نظر گرفتن همه داده‌ها در یک



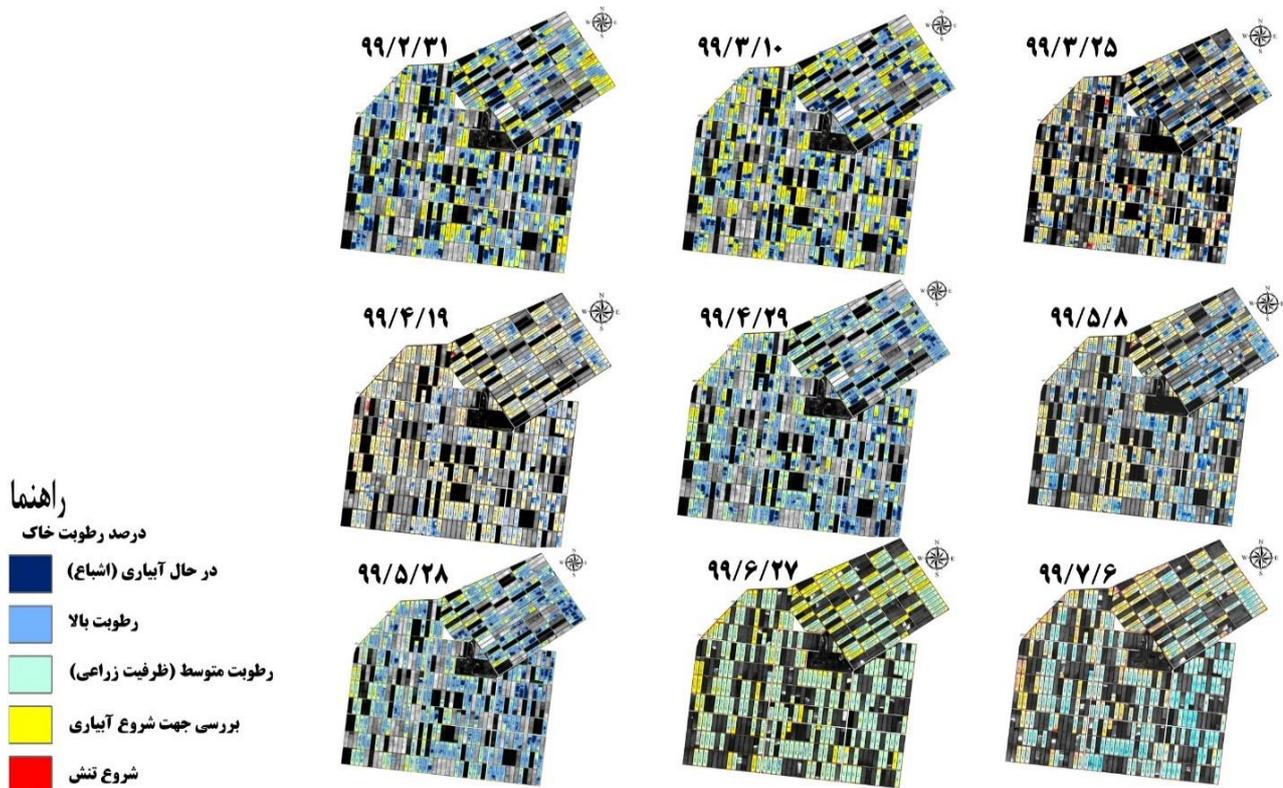
شکل ۶- نمونه‌ای از تعیین پارامترهای  $STR_w$  و  $STR_d$  در مدل OPTRAM

جدول ۳- نتایج معادلات لبه تر و خشک مدل TOTRAM و OPTRAM مربوط به کل داده‌ها

شاخص	لبه تر ( $LST_w / STR_w$ )	لبه خشک ( $LST_d / STR_d$ )	$R^2$	RMSE (درصد)	NRMSE (درصد)
TOTRAM	$-3.1458 NDVI + 308.54$	$-11.044 NDVI + 320.95$	۰/۷۷	۴/۴۵	۱۲/۹
OPTRAM	$7.0313 NDVI + 1.6639$	$3.2034 NDVI + 0.0629$	۰/۸۰	۴/۰۸	۱۲/۱

آموزش (۸۰ درصد نمونه‌ها) و داده‌های آزمون (۲۰ درصد نمونه‌ها)، تصویر مدل‌های TOTRAM و OPTRAM. رطوبت خاک اندازه‌گیری شده میدانی ارزیابی گردید که نتایج آن برای تاریخ‌های مختلف در جدول (۴) ارائه شده است.

پس از محاسبه مقادیر  $LST_w$  و  $LST_d$  برای مدل TOTRAM و  $STR_w$  و  $STR_d$  برای مدل OPTRAM در تاریخ‌های موجود، درصد رطوبت خاک منطقه مورد مطالعه برآورد شد. سپس مقدار همبستگی، میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطا نرمال شده بین داده‌های



شکل ۷- برآورد درصد رطوبت خاک کشت و صنعت امیرکبیر با مدل OPTRAM

جدول ۴- نتایج معادلات لبه تر و خشک مدل TOTRAM و OPTRAM

OPTRAM			تاریخ	TOTRAM			تاریخ	ردیف
RMSE %	R <sup>2</sup>	NRMSE %		RMSE %	R <sup>2</sup>	NRMSE %		
۴/۲۶	۰/۸۷	۱۲/۴۲	۱۳۹۹/۲/۳۱	۲/۲۱	۰/۴۰	۵/۴۸	۱۳۹۹/۰۲/۲۳	۱
۴/۲۹	۰/۸۱	۱۶/۳۹	۱۳۹۹/۳/۱۰	۳/۲۳	۰/۹۸	۱۱/۱۴	۱۳۹۹/۰۳/۰۸	۲
۳/۴۸	۰/۹۳	۱۰/۲۶	۱۳۹۹/۳/۲۵	۵/۷۴	۰/۸۰	۱۶/۸۹	۱۳۹۹/۰۳/۲۴	۳
۲/۹۹	۰/۹۵	۱۰/۹۱	۱۳۹۹/۴/۱۹	۴/۶۰	۰/۹۸	۱۰/۳۱	۱۳۹۹/۰۴/۹	۴
۳/۱۲	۰/۹۳	۱۰/۳۲	۱۳۹۹/۴/۲۹	۳/۲۲	۰/۹۶	۱۲/۵۳	۱۳۹۹/۰۴/۲۵	۵
۳/۰۵	۰/۹۹	۸/۳۵	۱۳۹۹/۵/۸	۳/۶۲	۰/۹۸	۱۱/۳۶	۱۳۹۹/۰۵/۱۰	۶
۴/۲۵	۰/۹۶	۹/۶۸	۱۳۹۹/۵/۲۸	۴/۵۳	۰/۹۱	۹/۸۷	۱۳۹۹/۰۵/۲۶	۷
۴/۶۳	۰/۸۵	۱۳/۱۹	۱۳۹۹/۶/۲۷	۲/۷۶	۰/۹۶	۸/۰۱	۱۳۹۹/۰۶/۲۰	۸
۴/۱۹	۰/۹۷	۱۳/۷۳	۱۳۹۹/۷/۶	۲/۷۷	۰/۷۶	۷/۹۴	۱۳۹۹/۰۷/۰۵	۹

در مدل‌های OPTRAM و TOTRAM که برای برآورد رطوبت خاک استفاده می‌شوند، تفاوت‌هایی نسبت به یکدیگر وجود دارد. با توجه به تفاوت‌های موجود بین مدل‌های OPTRAM و TOTRAM در برآورد رطوبت خاک، این دو مدل می‌توانند به‌عنوان ابزارهای کاربردی در پیش‌بینی رطوبت خاک در منطقه مورد مطالعه استفاده شوند.

تحلیل داده‌های به دست آمده نشان می‌دهد که مدل OPTRAM و TOTRAM قادر به پیش‌بینی رطوبت خاک منطقه مورد مطالعه با دقت بالایی هستند. در مدل TOTRAM، ضریب تبیین مقداری بین ۰/۴ تا ۰/۹۸ دارد که به معنای توانایی مدل در برآورد رطوبت خاک است. همچنین در مدل OPTRAM، ضریب تبیین بین ۰/۸۱ تا ۰/۹۹ قرار دارد که نشان می‌دهد این مدل توانایی بیشتری در پیش‌بینی رطوبت خاک دارد.

مورد مطالعه با در نظر گرفتن شرایط محیطی و زمانی مختلف مورد استفاده قرار گیرند.

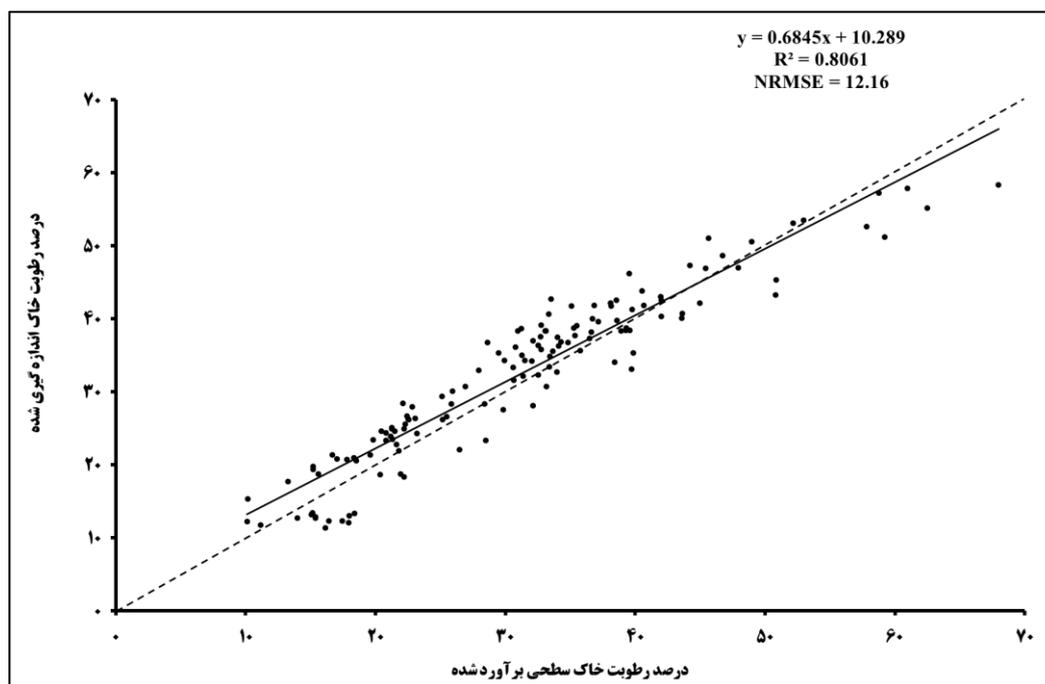
در تحقیقی که (صادقی و همکاران، ۲۰۱۷) انجام دادند دو محدودیت اصلی مدل TOTRAM (استفاده از باندهای حرارتی، وابسته بودن به عوامل محیطی) را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل OPTRAM می‌تواند این محدودیت‌ها را پشت سر بگذارد. با بررسی‌های انجام‌شده در این تحقیق، این محدودیت‌ها برای گیاه نیشکر در برخی از ماه‌ها (نیمه دوم خرداد و تیرماه) است. از طرف دیگر در مناطقی مانند خوزستان که دمای هوا و رطوبت نسبی بالا است و همچنین به علت اثر دمای پیکسل‌های مجاور بر روی پیکسل هدف تا حدی نتایج داده‌های حرارتی مخصوصاً در داده‌های لندست که پیکسل سایز آن‌ها ۱۰۰ متر است با خطای بیشتری به نسبت داده‌های نوری ماهواره سنتینل که پیکسل سایز آن ۱۰ متر است مواجه خواهد بود. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که مدل OPTRAM برای گیاه نیشکر و خوزستان بهتر و دقیق‌تر از مدل TOTRAM رطوبت خاک را برآورد کند (محمدی معله‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱).

بررسی نتایج به‌دست‌آمده از این دو مدل می‌تواند اطلاعات مفیدی را درباره تغییرات رطوبت خاک در شرایط محیطی و زمانی مختلف در منطقه مورد مطالعه فراهم کند.

استفاده از مدل‌های TOTRAM و OPTRAM برای پیش‌بینی رطوبت خاک می‌تواند به دلیل داشتن روابط خطی تجربی بین مقادیر  $STR_d$  و  $STR_w$  یا  $LST_d$  و  $LST_w$  با شاخص تفاضلی پوشش گیاهی (NDVI)، لبه‌های خشک و مرطوب مدل OPTRAM و TOTRAM، به‌عنوان ابزاری کارآمد و دقیق در مطالعات رطوبت خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تفاوت‌های موجود در مدل‌های TOTRAM و OPTRAM می‌تواند ناشی از تفاوت در قدرت تفکیک زمانی و مکانی برای نیشکر محدودیت‌هایی دارند، علاوه بر این، لندست به‌صورت ۱۶ روز و داده‌های سنتینل ۲ به‌صورت پنج روز جمع‌آوری می‌شوند. همچنین، در لندست هر پیکسل حرارتی معادل ۱۰۰ متر و در سنتینل هر پیکسل معادل ۱۰ متر است.

بنابراین، با توجه به نتایج و تحلیل‌های به‌دست‌آمده، مدل OPTRAM می‌تواند به‌عنوان ابزاری کاربردی و مؤثر در پیش‌بینی رطوبت خاک در منطقه



شکل ۸- نتایج رطوبت سطحی برآوردی با استفاده از مدل OPTRAM

ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم)، تنها ۶۰٪ مجاز به تخلیه بوده که این میزان تخلیه در اثر جذب نیشکر به علاوه میزان آب خارج شده در اثر خروج ثقلی (میزان زه آب در هر آبیاری)، بایستی مجدداً به خاک اضافه شود جدول (۵).

نظر به اینکه رطوبت خاک در هنگام آبیاری در وضعیت طبیعی از ۱۳-۱۸ درصد وزنی (با توجه به نوع بافت و ساختمان خاک) نباید کمتر شود، با توجه به حد مجاز رطوبتی خاک از ظرفیت نگهداری خاک (تفاوت حد

جدول ۵- درصد رطوبت وزنی خاک برای شروع آبیاری

بافت خاک	درصد رطوبت وزنی خاک
لوم	۱۳-۱۱
لوم رسی	۱۶-۱۵
رس سیلتی	۱۷-۱۶
رسی	۱۹-۱۸

نشان می‌دهد این مزرعه زمان آبیاری آن فرا نرسیده است که باعث ایجاد خطا و عدم قطعیت زمان آبیاری مزرعه در این مرحله رشد نیشکر که معمولاً خرداد و تیرماه است می‌شود. شکل (۹ - ب) مدل OPTRAM این محدودیت‌ها را پشت سر گذاشته و زمان آبیاری مزرعه ARC12-20 را به خوبی برآورد نمود. همچنین در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود زمان آبیاری مزرعه ARC2-8 در تاریخ ۲۵ خردادماه است، این مدل با دقت بالایی زمان آبیاری مزرعه را برآورد کرده است.

در تحقیق برآورد رطوبت خاک با استفاده از مدل جدید دوزنقه‌ای نوری برای حوضه سیمینه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸، به این نتیجه رسیدند که مدل OPTRAM با همبستگی ۰/۷۰۹ بهتر و دقیق تر از مدل TOTRAM توانسته است رطوبت خاک را برآورد نماید و دلیل دقت بالای دقت بالای OPTRAM، تأثیرپذیری کمتر از عوامل محیطی و پارامترهای جهانی بوده است که قابلیت اجرایی و کاربردی در مناطق دارای محدودیت مکانی را دارد (یوسف زاده و همکاران، ۲۰۱۹).

همچنین در تحقیق ارزیابی رطوبت خاک در مزارع ذرت دیمی و آبی با استفاده از سنتینل ۲ و مدل OPTRAM نشان داد، این مدل در تخمین رطوبت سطحی خاک نسبت به رطوبت خاک اندازه‌گیری شده از دقت بالایی برخوردار است همچنین در فصل رشد محصول از این مدل می‌توان تنش‌های گیاهی و زمان آبیاری را مدیریت کرد (آمبروزون همکاران، ۲۰۲۰).

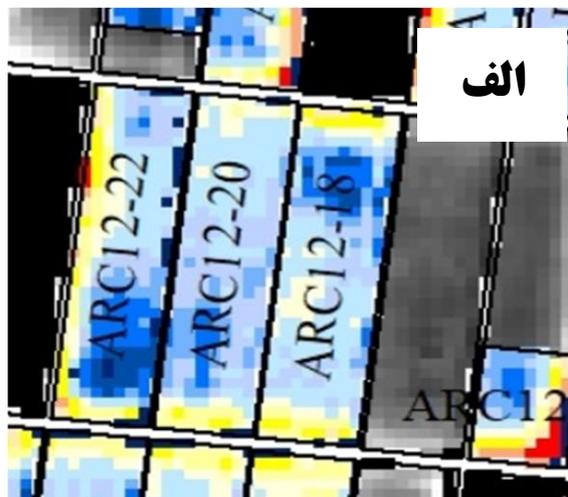
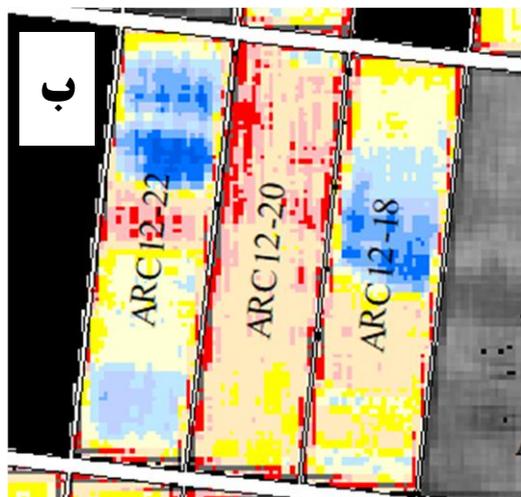
نتایج حاصل از بررسی کارایی نقشه‌های بدست آمده رطوبت خاک جهت برنامه‌ریزی آبیاری مزارع نیشکر نشان می‌دهد که می‌توان از این داده‌ها جهت برنامه‌ریزی آبیاری با میانگین خطای متوسط NRMSE برابر با ۱۶ و ۹ درصد به نسبت داده‌های زمینی زمان آبیاری به ترتیب برای مدل‌های TOTRAM و OPTRAM استفاده نمود. در این خصوص داده‌های مدل OPTRAM به دلیل قدرت تفکیک مکانی بهتر داده‌های نوری نسبت به داده‌های حرارتی و از طرفی تأثیرپذیری کمتر نسبت به عوامل محیطی از قبیل دما و رطوبت نسبی هوا و همچنین اثر پیکسل‌های مجاور، از کارایی بالاتری برخوردار هستند.

به‌عنوان مثال، در برنامه‌ریزی آبیاری مزارع نیشکر با استفاده از مدل TOTRAM، شکل (۹-الف) سه مزرعه به نام‌های ARC12-18، ARC12-20 و ARC12-22، در کشت و صنعت امیرکبیر به صورت تصادفی انتخاب شد. تاریخ آبیاری این مزارع در شرایط واقعی به ترتیب ۱۷، ۱۹ و ۱۷ تیرماه در حال انجام بود.

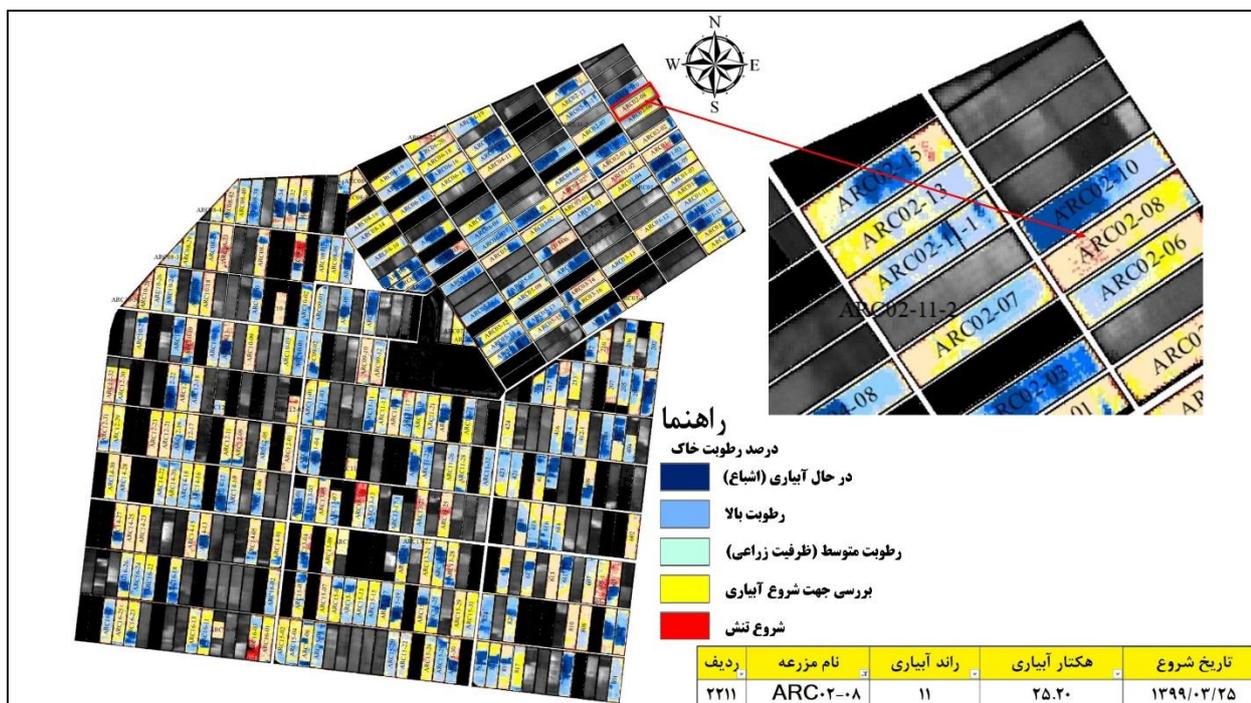
با مقایسه نقشه رطوبت خاک مدل TOTRAM که در تاریخ ۱۸ تیرماه تصویربرداری شده بود مقایسه گردید. مشاهده می‌شود مزارع شماره ARC12-18 و ARC12-22 یک روز قبل از تصویربرداری ماهواره لندست ۸ در حال آبیاری است و مزرعه ARC12-20 زمان آبیاری آن یک روز بعد از تصویربرداری لندست ۸ است. مشاهده می‌شود اثر آبیاری دو مزرعه مجاور بر روی دمای گیاه مزرعه ARC12-20 تأثیر گذاشته است و از نظر مدل

آب خاک و پایش خشکسالی گردد. همچنین نتایج نشان داد مدل OPTRAM می‌تواند نتایج مفیدی را در اختیار کشاورز بدهد که باعث افزایش بهره‌وری آب در زمین‌های زراعی تحت شرایط خاص سامانه‌های کشاورزی موزامبیک است (ماننز و همکاران، ۲۰۱۹).

در پژوهش پایش خشکسالی کشاورزی بر اساس رطوبت خاک برگرفته از مدل دوزنقه نوری در موزامبیک نشان داد، مدل OPTRAM نسبت به رطوبت خاک اندازه‌گیری شده  $R^2 \geq 0.79$  و  $RMSE \leq 0.30 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  بدست آمد. این مدل موفق به تهیه نقشه‌های شاخص کمبود



شکل ۹- مقایسه زمان آبیاری مزارع در مدل TOTRAM (الف) با مدل OPTRAM (ب)



شکل ۱۰- صحت سنجی مدل OPTRAM با زمان آبیاری مزرعه در ۲۵ خردادماه ۱۳۹۹

ضریب تبیین ۰/۸۲ و میزان خطای RMSE و NRMSE برابر با ۴/۴۵ درصد و ۱۲/۹ درصد و مدل OPTRAM با میزان ضریب تبیین ۰/۹۳ و میزان خطای RMSE

نتیجه‌گیری  
نتایج بدست آمده از برآورد رطوبت خاک سطحی در عمق پنج سانتی‌متر نشان داد، مدل TOTRAM با میزان

پوشش گیاهی باشد، باندهای حرارتی جواب بهتری نسبت باندهای نوری خواهند داشت؛ اما در خصوص برآورد رطوبت خاک کمی مسئله متفاوت خواهد بود؛ زیرا که بین زمان آبیاری و یا به عبارتی میزان دقیق رطوبت خاک و تغییرات رطوبتی برگ مخصوصاً در گیاهی مانند نیشکر یک تأخیر زمانی بین ۲۴ تا ۴۸ ساعت وجود دارد که این می‌تواند کمی نتایج باندهای حرارتی را تحت تأثیر قرار بدهد. از طرف دیگر در مناطقی مانند خوزستان که دمای هوا و رطوبت نسبی بالا است و همچنین به علت اثر دمای پیکسل‌های مجاور بر روی پیکسل هدف تا حدی نتایج داده‌های حرارتی مخصوصاً در داده‌های لندست که پیکسل سایز آن‌ها ۱۰۰ متر است با خطای بیشتری به نسبت داده‌های نوری ماهواره سنتینل که پیکسل سایز آن ۱۰ متر است مواجه خواهد بود.

NRMSE برابر ۳/۱۴ درصد و ۱۲/۱ قادر به تخمین رطوبت سطحی خاک در اراضی نیشکر می‌باشند. همچنین نتایج حاصل از بررسی کارایی نقشه‌های بدست آمده رطوبت خاک جهت برنامه‌ریزی آبیاری مزارع نیشکر نشان می‌دهد که می‌توان از این داده‌ها جهت برنامه‌ریزی آبیاری با میانگین خطای متوسط NRMSE برابر با ۱۶ و ۹ درصد به نسبت داده‌های زمینی زمان آبیاری به ترتیب برای مدل‌های TOTRAM و OPTRAM استفاده نمود. در این خصوص داده‌های مدل OPTRAM به دلیل قدرت تفکیک مکانی بهتر داده‌های نوری نسبت به داده‌های حرارتی و از طرفی تأثیرپذیری کمتر نسبت به عوامل محیطی از قبیل دما و رطوبت نسبی هوا و همچنین اثر پیکسل‌های مجاور، از کارایی بالاتری برخوردار هستند. همچنین در خصوص پاسخ طیفی حرارتی، در صورتی که هدف بررسی تنش

#### فهرست منابع

۱. عبیات م، عبیات م و عبیات م ۲۰۲۲. برآورد رطوبت سطحی خاک در اراضی کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: شهرستان شوشتر)، تحقیقات آب‌و خاک ایران.
۲. شاه مرادی ص، غفاریان مالگیری ح و امینی م ۲۰۲۱. استخراج شاخص رطوبت سطحی خاک (TVDI) با استفاده از نمودار پراکندگی دما/ پوشش گیاهی و تصاویر مودیس، سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۲(۱)، ۳۸-۶۲.
۳. محمدی معله‌زاده؛ جمال، حمزه؛ سعید، ناصری؛ عبدعلی، (۱۴۰۱) برآورد رطوبت سطحی خاک و بررسی برنامه‌ریزی آبیاری اراضی نیشکر با استفاده از مدل ذوزنقه حرارتی، <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.338383.669214>. مجله تحقیقات آب‌و خاک ایران، ۵۳ (۱۰).
4. Alexandratos, N.; Bruinsma, J. World Agriculture towards 2030/2050: The 2012 Revision; ESA Working Paper No. 12-13; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2012.
5. AMBROSONE, Mariapaola, et al. retrieving soil moisture in rainfed and irrigated fields using Sentinel-2 observations and a modified OPTRAM approach. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2020, 89: 102113.
6. Babaeian, E., Sadeghi, M., Franz, T.E., Jones, S., Tuller, M., 2018. Mapping soil moisture with the OPTical TRAPEZOID Model (OPTRAM) based on long term MODIS observations. Remote Sens. Environ. 211, 425-440. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.29>.
7. Ben-Dor, E., Chabrillat, S., Dematté, J.A.M., Taylor, G.R., Hill, J., Whiting, M.L., et al. (2009). Using imaging spectroscopy to study soil properties. Remote Sensing of Environment, 113(Supplement 1), S38-S55.
8. Baghdadi, N.; Choker, M.; Zribi, M.; El-hajj, M.; Paloscia, S.; Verhoest, N.; Lievens, H.; Baup, F.; Mattia, F. A new empirical model for radar scattering from bare soil surfaces. Remote Sens. 2016, 8, 920.

9. Carlson, T. N., Gillies, R. R., & Perry, E. M. (1994). A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover. *Remote sensing reviews*, 9(1-2), 161-173.
10. Carlson, T. (2007). An overview of the "triangle method" for estimating surface evapotranspiration and soil moisture from satellite imagery. *Sensors*, 7(8), 1612-1629.
11. Engman, E. T., & Chauhan, N. (1995). Status of microwave soil moisture measurements with remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 51(1), 189-198.
12. Gillies, R. R., Kustas, W. P., & Humes, K. S. (1997). A verification of the 'triangle' method for obtaining surface soil water content and energy fluxes from remote measurements of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and surface e. *international journal of remote sensing*, 18(15), 3145-3166.
13. Kubelka, P., & Munk, F. (1931). Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche. *Zeitschrift für Technische Physik*, 12(11), 593-601.
14. MANANZE, Sosdito; PÔÇAS, Isabel; CUNHA, Mário. Agricultural drought monitoring based on soil moisture derived from the optical trapezoid model in Mozambique. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2019, 13.2: 024519.
15. Rahimzadeh-Bajgirani, P., Omasa, K., & Shimizu, Y. (2012). Comparative evaluation of the Vegetation Dryness Index (VDI), the Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) and the improved TVDI (iTVDI) for water stress detection in semi-arid regions of Iran. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 68, 1-12.
16. Rongali, G., Keshari, A. K., Gosain, A. K., & Khosa, R. (2018). A mono-window algorithm for land surface temperature estimation from Landsat 8 thermal infrared sensor data: a case study of the Beas River Basin, India. *Pertanika J Sci Technol*, 26(2), 829-840.
17. Sadeghi, M., Babaeian, E., Tuller, M., & Jones, S. B. (2017). The optical trapezoid model: A novel approach to remote sensing of soil moisture applied to Sentinel-2 and Landsat-8 observations. *Remote sensing of environment*, 198, 52-68.
18. Sadeghi, A.M., Jones, S.B., Philpot, W.D., 2015. A linear physically – based model for remote sensing of soil moisture using short wave infrared bands. *Remote Sens. Environ.* 164, 66–76. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.04.007>.
19. S. Ranjbar, M. Akhoondzadeh, B. Brisco, M. Amani and M. Hosseini, "Soil moisture change monitoring from c and 1-band sar interferometric phase observations", *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 14, pp. 7179-7197, 2021.
20. Wang, W., Huang, D., Wang, X. G., Liu, Y. R., & Zhou, F. (2011). Estimation of soil moisture using trapezoidal relationship between remotely sensed land surface temperature and vegetation index. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1699-1712.
21. Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote sensing of Environment*, 89(4), 467-483.



## اثر سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب برنج

راضیه بیانی، مجتبی خوش‌روش<sup>۱</sup>، عبدالمجید لیاقت و مسعود پورغلام آمیجی

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

Missbayani1377@gmail.com

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

Khoshravesh\_m24@yahoo.com

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

Aliaghat@ut.ac.ir

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

Mpourgholam6@ut.ac.ir

دریافت: دی ۱۴۰۱ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۲

### چکیده

با توجه به خشک‌سالی، امنیت آبی و غذایی کشور با چالش‌هایی سخت روبه‌رو است و احیای آن نیازمند برنامه‌ریزی دقیق اجرایی و استفاده از دانش علمی و فناوری‌های روز مانند سامانه‌های نوین آبیاری به‌عنوان ابزاری کارا برای مصرف بهینه آب می‌باشد. بر همین اساس، این پژوهش با هدف بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب برنج رقم هوندا در دو سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در مزرعه شالیزاری واقع در کیاسر در استان مازندران در بهار و تابستان سال ۱۴۰۱ انجام شد. این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده نواری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار در سه تکرار در ۱۸ کرت به ابعاد دو در سه متر انجام شد. تیمارها شامل آبیاری قطره‌ای نواری سطحی با فاصله نوار ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک و با همان فواصل نوار. نتایج نشان داد که طول خوشه، تعداد پنجه، ارتفاع بوته و طول ریشه در تیمارهای آبیاری نواری سطحی به ترتیب ۱/۲ سانتی‌متر (۶/۸٪)، ۸/۱۹ (۴۹/۸٪)، ۶/۹ سانتی‌متر (۸/۲٪) و ۱ سانتی‌متر (۶/۹٪) نسبت به تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی افزایش معنی‌دار داشت. عملکرد دانه، شاخص برداشت، بهره‌وری فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی در تیمارهای آبیاری نواری سطحی به ترتیب ۱۶۶۴ کیلوگرم در هکتار (۴۰/۸٪)، ۴/۷ (۱۴/۱٪)، ۰/۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب (۳۸/۵٪) و ۲۴۲۳۶۳ ریال بر مترمکعب (۳۸/۴٪) نسبت به تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی افزایش معنی‌دار داشت. حداکثر عملکرد دانه و شاخص برداشت برابر ۵۸۳۴ کیلوگرم در هکتار و ۴۰٪ در فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر مشاهده شد. حداکثر بهره‌وری فیزیکی برابر ۰/۹۳ کیلوگرم بر مترمکعب در فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، بهره‌وری فیزیکی ۲۲٪ افزایش یافت. سپس با فاصله گرفتن بیشتر از نوار، مقدار بهره‌وری فیزیکی کاهش یافت. حداکثر بهره‌وری اقتصادی نیز برابر ۸۳۶۹۵۱ ریال بر مترمکعب در فاصله نوار سطحی ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: ارتقای بهره‌وری آب، روش‌های نوین آبیاری، برنج رقم هوندا

کشت برنج آن حدود ۴۴ میلیون هکتار باشد (آمار فائو، ۲۰۲۲). به‌طور قابل‌توجهی، ۹۰ درصد از تولید برنج جهان در آسیا کشت می‌شود. در سال ۲۰۱۸، حدود ۶۷ درصد از کل تولید برنج جهان از چین، هند، اندونزی و بنگلادش بود (آمار فائو، ۲۰۲۰). از این رو لازم است که خط‌مشی‌ها با توجه به تولید و مصرف برنج به‌وسیله جایگزینی و تکمیل روش‌های کشاورزی سنتی با روش‌های نوین کاشت تغییر یابند (موسسه تحقیقات بین‌المللی برنج، ۲۰۰۵). نزدیک به ۷۵ درصد برنج آبیاری غرقاب دائم تولید می‌شود و ۳۴ تا ۴۳ درصد از آب آبیاری جهان را مصرف می‌کند (ماراسنی و همکاران، ۲۰۱۸). میانگین کل مصرف آب در آبیاری دائم غرقابی بسته به نوع خاک، روش کشت و شیوه‌های مدیریت آب می‌تواند بسیار متفاوت باشد و از ۶۷۵۰ تا ۴۴۵۰۰ مترمکعب در هکتار متغیر است (مکلین و همکاران، ۲۰۱۳). به همین دلیل، استفاده از روش‌های آبیاری برای صرفه‌جویی در مصرف آب مهم است. در بین سامانه‌های آبیاری، روش آبیاری میکرو می‌تواند آب را با دقت تأمین کند و به‌طور بالقوه کارآمدترین سامانه برای رشد محصولات زراعی است (هی و همکاران، ۲۰۱۳). در کشور ایران سطح زیر کشت برنج مطابق آمارنامه محصولات کشاورزی (۱۴۰۰)، بالغ بر ۸۵۴۷۸۴ هکتار بود که مازندران به تنهایی ۳۱/۵ درصد از آن را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین مقدار تولید شلتوک برنج در کشور برابر با ۴۵۶۰۶۹۳ تن و سهم مازندران بیش از ۳۳/۷ درصد است.

شمسعلی و همکاران (۱۳۹۷) امکان‌سنجی کشت برنج را به روش تأمین رطوبت نزدیک به اشباع خاک به کمک سامانه آبیاری زیرسطحی سفالی بررسی و حجم آب مصرفی و عملکرد گیاه را نسبت به روش غرقابی مقایسه کردند. عملکرد برنج در آبیاری غرقابی ۴۶۳۴ کیلوگرم بر هکتار و در آبیاری زیرسطحی سفالی ۴۱۲۳ کیلوگرم بر هکتار است. رضانی و دهقانی (۱۴۰۰) به کاربرد آبیاری قطره‌ای نواری در خشکه‌کاری برنج

با افزایش جمعیت و توسعه شهری و نیز افزایش تولیدات کشاورزی، گسترش آبیاری و تخریب منابع آب موجود، نیاز به منابع آب بیشتر و مدیریت بهینه آن افزایش یافته است. تأمین انواع نیازهای زیست‌محیطی و اکوسیستم، شهری، کشاورزی، برقایی و تفریحی با توجه به کیفیت آب در کنار محدودیت منابع آب بر پیچیدگی‌های مسئله افزوده است (لادی و همکاران، ۲۰۲۱؛ رادیکا و همکاران، ۲۰۲۲). حال این چالش‌ها بدون توجه به یافته‌های تحقیقاتی جدید و استفاده از فناوری‌های نوظهور امکان‌پذیر نبوده و نمی‌توان بدون استفاده و دخیل کردن فناوری‌های جدید در صنعت آب، بر مشکلات و بحران آب در تمام بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت چیره شد و منابع آب محدود را برای دستیابی به امنیت غذایی پایدار به‌درستی مدیریت کرد. در این راستا کشت آبی به توجه بیشتری نیاز دارد، زیرا میزان تولید بیشتر در واحد سطح با کشت آبی به دست می‌آید اما منابع آب جدید برای چنین توسعه‌ای محدود است. به دلیل محدودیت منابع آب، تأکید بسیار زیادی بر استفاده مؤثرتر از فناوری‌های جدید آب در بخش‌های مختلف است تا با کمترین فشار وارده، هرکدام از این بخش‌ها به بالاترین بهره‌وری دست یابند (پورغلام آمیجی و همکاران، ۲۰۲۱؛ فرومندی و همکاران، ۲۰۲۳). نظر به اهمیت موضوع، استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی با توجه به مزایای بسیاری که دارد، در چند سال اخیر پیشرفت‌های خوبی نداشته است. لازم است امکان استفاده از این روش‌ها برای محصولات مهم کشاورزی بررسی تا نقشه راه و افق آینده مشخص شود.

برنج یکی از مهم‌ترین غلات بعد از گندم و غذای عمده بیش از نصف مردم دنیا است و همچنین بر مبنای جدیدترین آمار، در سال زراعی ۲۰۲۰ حدود ۱۶۴/۱۹ میلیون هکتار سطح زیر کشت برنج در سراسر جهان وجود داشت. تخمین زده می‌شود که هند بزرگ‌ترین تولیدکننده برنج در جهان و اراضی تحت

خاک خشک با بذرکاری ۱۳۵ کیلوگرم در هکتار و فاصله خطوط بذر ۰/۱۹ متر و در بافت‌های مختلف خاک در اسپانیا انجام دادند. در شرایط آبیاری غرقابی مداوم و شرایط بذر خشک در مزارع مجاور، عملکرد ۶۴۸۶ کیلوگرم در هکتار و در شرایط آبیاری قطره‌ای سطحی ۵۵۶۵ کیلوگرم در هکتار را گزارش کردند. ساموی-پاسکوال و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که استفاده از روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای برنج با عمق نصب ۶۰ سانتی‌متر میزان بهره‌وری آب را تا ۱/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش داده و همچنین به میزان ۴۲ درصد ذخیره آب نسبت به روش‌های آبیاری غرقابی صورت گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان درآمد خالص در حالتی که عمق نصب برابر ۶۰ سانتی‌متر بود، ۷۵-۴۱ درصد افزایش پیدا کرد. بوشکت کولاک (۲۰۲۱) نیز روش‌های آبیاری سنتی (غرقابی) و آبیاری قطره‌ای در آبیاری برنج را با هم مقایسه کرد. نتایج نشان داد که میزان بهره‌وری آب تا ۵۰ درصد نسبت به روش‌های سنتی افزایش پیدا کرد.

در پژوهشی دیگر، سومان (۲۰۲۱) آبیاری قطره‌ای را بر روی گیاه برنج در هندوستان بررسی کرد. نتایج نشان داد که مقدار بهره‌وری آب برای کاشت برنج در حالت آبیاری غرقابی به مقدار ۰/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب است؛ اما پس از استفاده از روش آبیاری قطره‌ای، مقدار بهره‌وری آب از ۰/۱۵ به ۰/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب بهبود پیدا کرد و مقدار عملکرد برنج نیز بین ۲۸-۱۳ درصد بین گونه‌های مختلف برنج افزایش داشت. باجپای و کشنوال (۲۰۲۱) مطالعاتی بر روی تأثیر آبیاری قطره‌ای بر روی برنج و گندم انجام دادند. نتایج نشان داد که مقدار محصول گندم در روش قطره‌ای نسبت به کشاورزی سنتی ۴/۹ درصد افزایش پیدا کرد و همچنین مقدار مصرف آب نیز در این روش تا ۳۶/۲۴ درصد کاهش یافت. برای گیاه برنج نیز مقدار عملکرد تا ۵/۳۹ درصد افزایش پیدا کرده و مصرف آب نیز ۴۴/۵ درصد کاهش یافت.

پرداختند. نتایج نشان داد که کارایی مصرف آب آبیاری در تیمار غرقاب کمترین بوده و عملکرد در تیمار با رژیم ۱۲۰ درصد تبخیر ۱۸ درصد کاهش نسبت به غرقاب داشته است. دهقانیان (۱۳۹۴) بیان کرد که مصرف آب آبیاری برنج در آبیاری قطره‌ای ۶۴ درصد نسبت به آبیاری غرقابی کاهش داشته و همچنین موجب افزایش دو برابری شاخص کارایی مصرف آب آبیاری نسبت به آبیاری غرقابی شد. قلی‌نژاد بهنمیری و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی اثرات آبیاری موضعی نواری بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در اراضی شالیزاری شهرستان ساری پرداختند. این آزمایش شامل چهار سطح آبیاری غرقابی، آبیاری موضعی با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر، آبیاری موضعی با فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متری و آبیاری موضعی با فاصله نوار ۱۰۰ سانتی‌متر بر روی دو رقم برنج امیر و فجر بود. نتایج نشان داد که تیمار آبیاری موضعی با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر، بیشترین مقادیر شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (CPD<sup>۱</sup>) و سودمندی اقتصادی آب (NBPD<sup>۲</sup>) در دو رقم ذکرشده را داشته است. با اعمال این تیمار آبیاری، افزایش ۳۶ و ۶۳ درصدی NBPD به ترتیب در ارقام امیر و فجر حاصل شد.

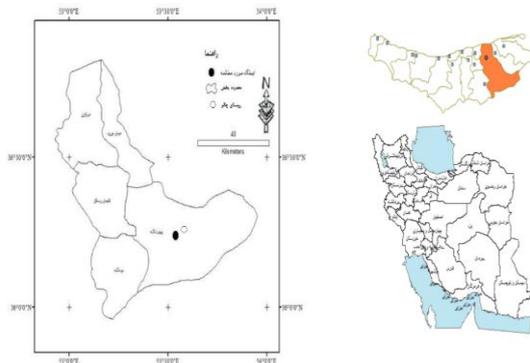
بومن و همکاران (۲۰۰۶) از آبیاری قطره‌ای سطحی (DI) برای کاشت برنج استفاده کردند و عملکرد ۵۷۸۵ کیلوگرم در هکتار را با استفاده از مصرف ۱۱۲۱۵ مترمکعب در هکتار آب به دست آورد که نشان‌دهنده بهره‌وری آب ۰/۵۲ کیلوگرم در مترمکعب آب آبیاری است. این عملکردها کمتر از مقداری است که با آبیاری غرقابی دائم (CFI<sup>۳</sup>) در همان منطقه (حدود ۸۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد اما بهره‌وری آب در آبیاری قطره‌ای سطحی دو برابر بهره‌وری آب در آبیاری غرقابی دائم بود. آربات و همکاران (۲۰۱۸) کاشت برنج را با آبیاری قطره‌ای سطحی با استفاده از خطوط نوار در عمق ۰/۱۵ متری و با فاصله ۰/۶۶ متری و در شرایط

1- Crop Pre Drop  
2- Net Benefit Pre Drop  
3- Continues Flood Irrigation

### ویژگی‌های آب و خاک

آب استفاده شده از رودخانه هم‌جوار زمین کشاورزی تأمین و ضمن نمونه‌برداری، ویژگی‌های آن اندازه‌گیری شد. نتیجه اندازه‌گیری نمونه آب منطقه در جدول (۱) نشان داده شده است.

برای تعیین ویژگی‌های خاک، یک نمونه در عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری و یک نمونه در عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری برداشت شد که نتایج هر دو نمونه در جدول (۲) ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه هواشناسی کیاسر

جدول ۱- ویژگی‌های آب استفاده شده

واحد	مقدار	پارامتر
ppm	21.18	سولفات
ppm	2.01	منیزیم
ppm	1.52	پتاسیم
ppm	9.42	سدیم
ppm	2.47	کلسیم
meq/l	2.8	بی‌کربنات
meq/L	0	کربنات
meq/L	4.9	کلراید
-	7.15	pH
dS/m	0.575	هدایت الکتریکی

با توجه به کمبود منابع آب در نقاط مختلف جهان و ایران، روش قطره‌ای سطحی<sup>۱</sup> و زیرسطحی<sup>۲</sup> برای کمک به استقرار و رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد توجه زیادی قرار گرفته است. آبیاری‌های نوین قطره‌ای سطحی و زیرسطحی یک مدیریت آگاهانه برای افزایش بهره‌وری آب است که در این مدیریت مقدار آب مصرفی کمتر از آب مورد استفاده در آبیاری غرقابی است. به دلیل مصرف زیاد آب از گلخراپی تا مرحله نشاء و برداشت محصول در شالیزار، گیاه راهبردی برنج برای آزمایش در این پژوهش استفاده شد. هدف از این پژوهش، بررسی و مقایسه میزان عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری برنج با استفاده از روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در فواصل مختلف خطوط آبیاری بود.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در بهار و تابستان ۱۴۰۱ در ۱۸ کیلومتری ایستگاه هواشناسی کیاسر در اراضی شالیزاری شخصی انجام شد. ایستگاه هواشناسی کیاسر در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی در ارتفاع ۱۲۹۴/۳ متر از سطح دریاهای آزاد واقع شده است. میانگین بارندگی در این ایستگاه ۴۸۰/۳ میلی‌متر و متوسط سالانه دمای هوا ۱۳/۱ درجه سلسیوس با انحراف معیار ۱/۸۴ درجه سلسیوس است. شایان ذکر است که با توجه به ارتفاع از سطح دریا و کوهستانی بودن موقعیت منطقه مطالعه‌شده، تاریخ کاشت برنج به علت سردی هوا نسبت به شالیزارهای جلگه و دشت با تأخیر انجام شد و در کل منطقه این چنین است. موقعیت منطقه مطالعه شده در شکل (۱) نشان داده شده است.

1- Drip Irrigation (DI)  
2- Subsurface Drip Irrigation (SDI)

جدول ۲- ویژگی‌های خاک محل آزمایش

واحد	مقدار		پارامتر
	۲۰-۳۰ سانتی‌متر	۰-۲۰ سانتی‌متر	
%	24	28	رس
%	58	52	سیلت
%	18	20	شن
-	Silt Loam	Silty Clay Loam	بافت خاک
%	17.1	16.8	کربن آلی
%	0.19	0.18	نیتروژن کل
mg/kg	21	25	فسفر قابل جذب
mg/kg	479.376	492.18	پتاسیم قابل جذب
-	3.62	2.89	نسبت جذب سدیم
%	4.3	5.6	آهک
%	60	68	رطوبت اشباع
dS/m	0.7	0.5	هدایت الکتریکی
-	7.01	7.1	pH

### نیاز آبی

روش آبیاری مورد استفاده، قطره‌ای بوده و میزان آب مصرفی و دور آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه انجام شد. دبی خروجی‌ها مشخص بوده و با توجه به نوع سامانه آبیاری قطره‌ای و کیفیت آب محل مورد نظر (شاخص اشباع لانژلیر)، به آبتیابی نیازی نبوده است. ابتدای دوره کشت، آبیاری غرقابی برای تثبیت گیاه در خاک صورت گرفت. با توجه به درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی ( $MAD^1$ ) برابر ۰/۷، دور آبیاری و در نظر گرفتن راندمان ۹۰ درصد، نیاز آبیاری مشخص و تعداد و حجم آبیاری اعمال شده یادداشت و در بخش بعدی گزارش شد. مقادیر آبیاری در هر تیمار توسط کنتور حجمی اعمال شد که محاسبات آن به صورت زیر است (علیزاده، ۱۳۸۹):

$$Td = ETc \times [0.15 + 0.85 Pd] \quad (1)$$

$$d_n = Td \times F \quad (2)$$

$$d_g = \frac{d_n}{E} \quad (3)$$

$$V = dg \times A \quad (4)$$

که در آن:  $ETc$  تبخیر- تعرق گیاه برنج و بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی مجاور و تبخیر از طشت

(میلی‌متر در روز)،  $Td$  حداکثر تعرق روزانه گیاه (میلی‌متر در روز)،  $Pd$  سطح سایه‌انداز (برحسب درصد)،  $F$  دور آبیاری (روز)،  $d_n$  عمق خالص آبی در هر دور آبیاری (میلی‌متر)،  $d_g$  عمق ناخالص آبی در هر دور آبیاری (با توجه به راندمان ۹۰ درصد آبیاری قطره‌ای برحسب میلی‌متر)،  $V$  حجم آب داده‌شده به تیمار (مترمکعب) و  $A$  مساحت کرت (برحسب مترمربع) هستند. با توجه به ثابت‌بودن عمق کارگذاری نوارهای آبیاری زیرسطحی، تنها تفاوت در فاصله بین لوله‌هاست که این توزیع رطوبت، خود را در نتایج (عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب) نشان داد. در این پژوهش از نوار تیپ چهار لیتر در ساعت با فاصله روزانه ۲۰ سانتی‌متری برای آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی استفاده شد. مصرف آب در تیمارهای آبیاری قطره‌ای سطحی با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر ( $SL_{25}$ ) و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متری از خاک و با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر ( $DL_{25}$ )، برابر با ۷۶۷۹/۲ مترمکعب در هکتار، در تیمارهای آبیاری قطره‌ای سطحی با فاصله لوله ۵۰ سانتی‌متر ( $SL_{50}$ ) و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متری از خاک و با فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر ( $DL_{50}$ ) برابر با ۵۵۱۹/۳ مترمکعب در هکتار و نهایتاً در تیمارهای آبیاری قطره‌ای سطحی با فاصله لوله ۷۵ سانتی‌متر ( $SL_{75}$ ) و

آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متری از خاک و با فاصله نوار ۷۵ سانتی‌متر ( $D_{L75}$ ) برابر با ۴۶۰۷/۴ مترمکعب در هکتار بود.

#### اعمال تیمارها

این پژوهش به صورت کرت‌های خردشده نواری (استریپ پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار در سه تکرار در قطعه زمینی به مساحت حدودی ۱۵۰ مترمربع در ۱۸ کرت به ابعاد دو در سه متر انجام شد. سه تیمار مربوط به آبیاری قطره‌ای سطحی است و سه تیمار بعدی مربوط به آبیاری قطره‌ای زیرسطحی است که نوارهای آبیاری در فواصل مختلف به کار گرفته شدند. در ابتدا عملیات آماده‌سازی بستر، مانند شخم، تسطیح خاک، افزودن کودهای پایه (با توجه به نتایج آنالیز خاک و مقدار  $N: P: K^1$  با نسبت ۱۵:۱۰:۱۰ گرم در هر مترمربع) و مرکزکشی کرت‌ها انجام شد. برنج از رقم هوندا بوده که در منطقه عملکرد زیادی دارد. فاصله کشت همانند روش سنتی ۲۰-۱۵ سانتی‌متر و به صورت ردیفی روی خط بود.

در اراضی شالیزاری لایه‌ای از خاک در عمق کم‌وبیش ۳۰ سانتی‌متر وجود دارد که به دلیل شخم برای عملیات کشاورزی و گلخراپی در کشت برنج ایجاد می‌شود که به آن سخت لایه<sup>۲</sup> شخمی می‌گویند و صعود آب به لایه‌های بالاتر و همچنین نفوذ آب به لایه‌های پایین‌تر را کم و محدود می‌کند (استافورد و هندریک، ۱۹۸۸؛ رپر و همکاران، ۱۹۹۰). در این پژوهش نیز ابتدا آزمایش مورد نظر انجام و وجود این سخت‌لایه اثبات شد. برای آسانی عملیات شخم و آماده‌سازی زمین عمق کارگزاری لوله‌ها در تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی حداکثر ۳۰ سانتی‌متر و بالای سخت‌لایه شخمی در نظر گرفته شد. کشت برنج به صورت مستقیم در زمین انجام شده و بعد از آبیاری سنگین اولیه و پایداری شرایط اولیه، اعمال تیمار یک ماه بعد از تاریخ بذرپاشی شروع

شد. در این یک ماه که کرت‌ها غرقاب بودند، مقدار آبیاری و در کل حجم آب آنتارتاب داده‌شده به هر کرت به صورت روزانه با استفاده از کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. مدیریت کود و مبارزه با علف‌هرز و آفات و بیماری‌ها مطابق با عرف زارع انجام شد. مراحل انجام پژوهش در طول دوره کاشت تا برداشت در جدول (۳) ارائه شد.

با توجه به نتیجه مثبت و قابل‌توجه آزمایش فلی‌نژاد بهنمیری و همکاران (۱۳۹۹)، فاصله بین نوارهای سطحی از کار ایشان الگوبرداری و به همان صورت برای آبیاری زیرسطحی اعمال شد. به طور خلاصه تیمارها عبارت‌اند از: آبیاری قطره‌ای سطحی با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر ( $S_{L25}$ )، آبیاری قطره‌ای سطحی با فاصله لوله ۵۰ سانتی‌متر ( $S_{L50}$ )، آبیاری قطره‌ای سطحی با فاصله لوله ۷۵ سانتی‌متر ( $S_{L75}$ )، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متری از خاک و با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر ( $D_{L25}$ )، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متری از خاک و با فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر ( $D_{L50}$ )، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متری از خاک و با فاصله نوار ۷۵ سانتی‌متر ( $D_{L75}$ ).

#### اندازه‌گیری پارامترها و استفاده از شاخص‌ها

در طول انجام پژوهش، مصرف آب هرکدام از تیمارها با استفاده از کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. همچنین بعد از اتمام طول دوره رشد برنج، در هرکدام از تیمارها اقدام به اندازه‌گیری پارامترهای طول ریشه (روش مونولیت)، ارتفاع بوته، تعداد پنجه، طول خوشه، درصد پرشدگی دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت و محاسبه بهره‌وری آب و بهره‌وری اقتصادی شد. به این صورت که در زمان رسیدن فیزیولوژیکی در هر کرت پنج نمونه به صورت تصادفی انتخاب شد و پارامترهای ارتفاع بوته و طول خوشه با استفاده از متر اندازه‌گیری گردید و سپس تعداد پنجه شمرده شد. بعد از آن تعداد دانه‌های پر و پوک هر خوشه شمرده و با استفاده از آن درصد پرشدگی دانه به دست آمد. بعد از رسیدن کامل، هر کرت به صورت جداگانه برداشت شد و بعد از خشک شدن در مقابل

آفتاب، جداسازی دانه‌ها از ساقه به صورت دستی انجام شد.

جدول ۳- زمان بندی مراحل انجام پژوهش (حداصل بهار تا تابستان ۱۴۰۱)

آماده سازی زمین	کارگذاری لوله	بذرپاشی	سم حشره	کود دهی	سم (آفت کرم)	وجین	شروع اعمال تیمار	تاریخ برداشت
۱۰ تا ۲۵ خرداد	۲۶ خرداد	۲۸ خرداد	۲۹ خرداد	۹ تیر	۱۰ تیر	۱۶ تیر	۳۱ تیر	۲۷ شهریور

$$H_i = \frac{Y}{Y_b} \times 100 \quad (7)$$

که در آن:  $H_i$  شاخص برداشت بر حسب درصد و  $Y$ ،  $Y_b$  به ترتیب عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک است.

محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 و رسم نمودارها نیز توسط Microsoft Excel انجام شد. همچنین ابتدا تجزیه واریانس ساده برای صفات اندازه-گیری شده صورت گرفت و سپس میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون مقایسه‌ای میانگین دانکن در سطح پنج و یک درصد مقایسه شد.

#### نتایج و بحث

##### خصوصیات دانه برنج

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر خصوصیات دانه برنج در جدول (۴) ارائه شده است. با توجه به جدول (۴)، اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. اثر متقابل نوع آبیاری و فاصله نوار نیز در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد.

بر اساس عملکردها و میزان مصرف آب در تیمارهای مختلف، مقدار بهره‌وری فیزیکی آب محاسبه شد. بر اساس این دیدگاه، بهره‌وری بیشتر آب کشاورزی به معنای تولید محصول بیشتر به ازای واحد حجم آب یا تولید ثابت با مصرف کم تر آب است. بدین منظور از رابطه زیر استفاده شد (کیچنه و همکاران، ۲۰۰۳):

$$CWP = \frac{Y}{I} \quad (5)$$

که در آن:  $CWP$ ، بهره‌وری فیزیکی آب ( $kg/m^3$ )،  $Y$  عملکرد ( $kg$ ) و  $I$  حجم آب آبیاری ( $m^3$ ) است. همچنین بهره‌وری اقتصادی که در این دیدگاه، بهره‌وری بیشتر آب کشاورزی به معنای کسب سود ناخالص (درآمد) بیشتر به ازای واحد حجم آب است، طبق رابطه زیر محاسبه شد:

$$EWP = \frac{P_v}{I} \quad (6)$$

که در آن:  $EWP$ ، بهره‌وری اقتصادی آب ( $Rials/m^3$ )،  $P_v$  ارزش اقتصادی محصول تولیدی ( $Rials$ ) و  $I$  حجم آب آبیاری ( $m^3$ ) است. شاخص برداشت با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شد:

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر نوع آبیاری و فاصله نوار بر خصوصیات دانه برنج

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد کل دانه	تعداد دانه پر	درصد پر شدگی دانه
نوع آبیاری	۱	۲۹۴/۴**	۸۶۹/۵**	۲۲۰/۹**
فاصله نوار	۲	۳۹۳/۷**	۱۱۵۱/۲**	۳۱۲/۱**
بلوک	۲	۰/۸۸ <sup>ns</sup>	۰/۵۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۷ <sup>ns</sup>
نوع آبیاری × فاصله نوار	۲	۵/۳۹**	۳۹/۶**	۱۰/۵۲**
خطا	۱۰	۰/۵۹	۰/۵۲	۰/۰۳

\*\* و <sup>ns</sup> به ترتیب معنی داری در سطح احتمال یک درصد و عدم وجود اختلاف معنی دار

تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج در تیمارهای آبیاری نوازی سطحی به ترتیب ۸/۰۹ (۷/۹۵)

مقایسه میانگین اثرات نوع آبیاری و فاصله نوار بر خصوصیات دانه برنج در جدول (۵) ارائه شده است.

سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، مقادیر تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج به ترتیب ۱۴/۲۳، ۲۹/۵۹ و ۱۶/۹۴ درصد کاهش یافت (جدول ۵). نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های قلی‌نژاد بهنمیری و همکاران (۱۳۹۹) و یوسفیان و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد. آن‌ها نشان دادند که کاهش مقدار عمق آب آبیاری باعث کاهش عملکرد بیولوژیک و دانه شده است. در پژوهش حاضر نیز با افزایش فاصله نوار و به دنبال آن کاهش مقدار آب آبیاری کاربردی، تعداد دانه در هر دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی کاهش داشت. در پژوهش‌های پیشین که در بالا بیان شد، چنین نتیجه‌ای گزارش کردند.

درصد)، ۱۳/۹ (۱۸/۳۸ درصد) و ۷/۰۱ (۹/۴۷ درصد) نسبت به تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی افزایش داشت.

تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج در هر خوشه بین تمامی فاصله‌های نوار (۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر) دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بود. بیشترین تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج در هر خوشه به ترتیب برابر ۱۱۳/۶۸، ۹۶/۶ و ۸۳/۹۱ درصد در فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، مقادیر تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج به ترتیب ۶/۵۳، ۱۳/۰۱ و ۵/۹۷ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش فاصله نوار از ۲۵

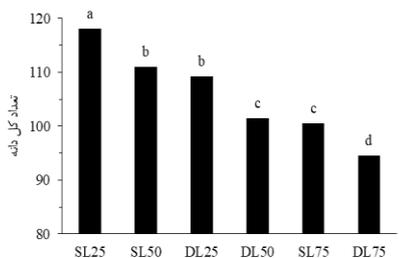
جدول ۵- مقایسه میانگین اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر خصوصیات دانه برنج

تیمار	تعداد کل دانه	تعداد دانه پر	درصد پر شدگی دانه
نواری سطحی	۱۰۹/۸ a	۸۹/۵ a	۸۱ a
نوع آبیاری قطره‌ای زیرسطحی	۱۰۱/۸ b	۷۵/۶ b	۷۴ b
۲۵ سانتی‌متر	۱۱۳/۷ a	۹۶/۶ a	۸۳/۹ a
فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر	۱۰۶/۳ b	۸۴ b	۷۸/۹ b
۷۵ سانتی‌متر	۹۷/۵ c	۶۸ c	۶۹/۷ c

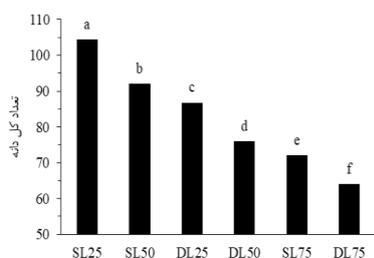
میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیست

در تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، بیشترین تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج در فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر مشاهده شد. در این تیمار با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، مقادیر تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج به ترتیب ۷/۱۱، ۱۲/۴۴ و ۵/۷۲ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، مقادیر تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج به ترتیب ۱۳/۴۹، ۲۶/۲۶ و ۱۴/۷۶ درصد کاهش یافت.

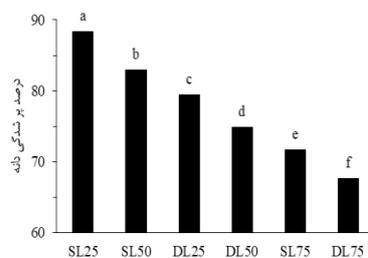
حداکثر مقدار تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج در هر خوشه به ترتیب برابر ۱۱۸/۱، ۱۰۴/۴ و ۸۸/۴ درصد در تیمار آبیاری نواری سطحی با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر حاصل شد (شکل‌های ۲ تا ۴). در تیمار آبیاری نواری سطحی با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، مقادیر تعداد کل دانه (شکل ۲)، دانه پر (شکل ۳) و درصد پر شدگی دانه برنج (شکل ۴) به ترتیب ۶/۰۱، ۱۱/۸۱ و ۶/۱۷ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، مقادیر تعداد کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج به ترتیب ۱۴/۹۲، ۳۱ و ۱۸/۹ درصد کاهش یافت.



شکل ۲- میانگین تعداد کل دانه برنج در تیمارهای مختلف



شکل ۳- میانگین تعداد دانه برنج در تیمارهای مختلف



شکل ۴- میانگین درصد پرشدگی دانه برنج در تیمارهای مختلف

درصد معنی دار شد؛ اثر متقابل نوع آبیاری و فاصله نوار بر طول خوشه در سطح احتمال پنج درصد و بر تعداد پنجه و ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد ولی بر طول ریشه اثر معنی دار نداشت.

### خصوصیات بوته برنج

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر خصوصیات بوته برنج در جدول (۶) ارائه شده است. اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر طول خوشه، تعداد پنجه، ارتفاع بوته و طول ریشه در سطح احتمال یک

جدول ۶- تجزیه واریانس تأثیر نوع آبیاری و فاصله نوار بر خصوصیات گیاه برنج

منابع تغییر	درجه آزادی	طول خوشه	تعداد پنجه	ارتفاع بوته	طول ریشه
نوع آبیاری	۲	۶/۵**	۳۰/۱۶**	۲۱۷/۵**	۵**
فاصله نوار	۱	۹/۳۴**	۷۱/۶**	۱۵۳/۲**	۱/۷**
بلوک	۲	۰/۱۷ <sup>ns</sup>	۰/۱۱ <sup>ns</sup>	۰/۳۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۱ <sup>ns</sup>
نوع آبیاری × فاصله نوار	۲	۰/۳۲*	۲۳/۵**	۶**	۰/۰۰۴ <sup>ns</sup>
خطا	۱۰	۰/۰۵	۰/۲۵	۰/۴۴	۰/۰۲

\*\*، \* و <sup>ns</sup> به ترتیب معنی داری در سطح احتمال یک درصد، معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی دار

پنجه، ارتفاع بوته و طول ریشه در تیمارهای آبیاری نواری سطحی به ترتیب ۱/۲ سانتی متر (۶/۸۸ درصد)، ۸/۱۹ (۴۹/۸۱ درصد)، ۶/۹۶ سانتی متر (۸/۲۲ درصد) و ۱/۰۵ سانتی متر (۶/۹۸ درصد) نسبت به تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی افزایش معنی دار داشت (جدول ۷).

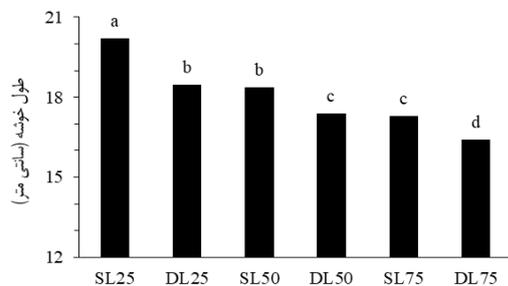
مقایسه میانگین اثرات نوع آبیاری و فاصله نوار بر خصوصیات برنج در جدول (۷) ارائه شده است. مقادیر طول خوشه، تعداد پنجه، ارتفاع بوته و طول ریشه در تیمار آبیاری نواری سطحی به شکل معنی دار بیشتر از تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بودند. طول خوشه، تعداد

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر خصوصیات گیاه برنج

تیمار	طول خوشه (سانتی متر)	تعداد پنجه	ارتفاع بوته (سانتی متر)	طول ریشه (سانتی متر)
نوع آبیاری نواری سطحی	۱۸/۶a	۲۴/۶a	۹۱/۶a	۱۶/۱a
قطره‌ای زیرسطحی	۱۷/۴b	۱۶/۴b	۸۴/۶b	۱۵b
فاصله نوار ۲۵ سانتی متر	۱۹/۳a	۲۴/۴a	۸۳/۴c	۱۵c
۵۰ سانتی متر	۱۷/۹b	۱۹/۳b	۹۳/۵a	۱۵/۶۳
۷۵ سانتی متر	۱۶/۸c	۱۷/۹c	۸۷/۴b	۱۶/۱a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد دارای تفاوت معنی دار نیست

بیشترین طول ریشه برابر ۱۶/۰۵ سانتی‌متر در فاصله نوار ۷۵ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار در هر دو سامانه آبیاری، طول ریشه به تدریج افزایش یافت؛ به طوری که با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، طول ریشه ۴/۲ درصد افزایش یافت. همچنین با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، طول ریشه هفت درصد افزایش یافت (جدول ۷). حداکثر مقدار طول خوشه و تعداد پنجه به ترتیب برابر ۲۰/۲ سانتی‌متر و ۳۰/۸ در تیمار آبیاری نواری سطحی با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر حاصل شد (شکل‌های ۵ و ۶). در این تیمار با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، مقادیر طول خوشه و تعداد پنجه به ترتیب ۹/۰۶ و ۲۶/۸۵ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، مقادیر طول خوشه و تعداد پنجه به ترتیب ۱۴/۳۵ و ۳۳/۲۱ درصد کاهش یافت. در تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیشترین طول خوشه و تعداد پنجه برابر ۱۸/۴۷ سانتی‌متر و ۱۸/۰۷ در فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر مشاهده شد (شکل‌های ۵ و ۶). در این تیمار با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، مقادیر طول خوشه و تعداد پنجه به ترتیب ۵/۸۴ و ۱۱/۲ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، مقادیر طول خوشه و تعداد پنجه به ترتیب ۱۰/۷۳ و ۱۶/۲۷ درصد کاهش یافت.

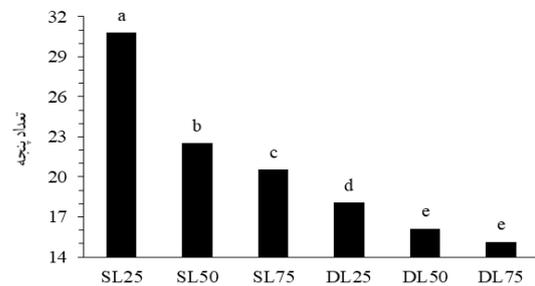


شکل ۵- میانگین طول خوشه برنج در تیمارهای مختلف

۷۵ سانتی‌متر، ارتفاع بوته ۲/۴۴ درصد افزایش یافت (شکل ۷).

در تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیز بیشترین ارتفاع بوته برابر ۹۰/۵ سانتی‌متر در فاصله نوار ۵۰ سانتی-

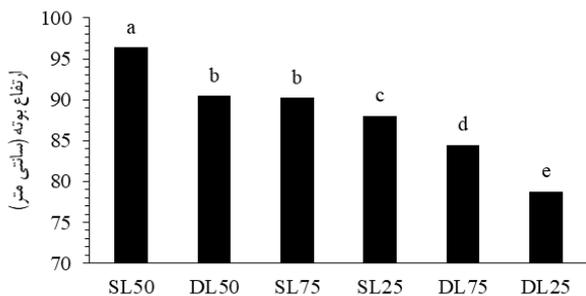
مقادیر طول خوشه، تعداد پنجه، ارتفاع بوته و طول ریشه بین تمامی فاصله‌های نوار ۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر دارای اختلاف معنی‌دار بودند. حداکثر طول خوشه و تعداد پنجه برابر ۱۹/۳۳ سانتی‌متر و ۲۴/۴۳ در فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر مشاهده شد. در هر دو حالت آبیاری قطره‌ای نواری سطحی و زیرسطحی با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، مقادیر طول خوشه و تعداد پنجه به ترتیب ۷/۵ و ۲۰/۸۷ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، مقادیر طول خوشه و تعداد پنجه به ترتیب ۱۲/۸۳ و ۲۶/۹۳ درصد کاهش یافت (جدول ۷). حداکثر ارتفاع بوته برابر ۹۳/۴۵ سانتی‌متر در فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی-متر به ۵۰ سانتی‌متر، ارتفاع بوته افزایش یافت. سپس با فاصله بیشتر نوار، مقدار ارتفاع بوته کاهش یافت (جدول ۷). نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های قلی‌نژاد بهنمیری و همکاران (۱۳۹۹) و یوسفیان و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد. آن‌ها نشان دادند که کاهش مقدار عمق آب آبیاری باعث افزایش ارتفاع بوته شده است. رحیمی پول و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه تأثیر آبیاری قطره‌ای و غرقابی بر عملکرد و بهره‌وری آب در دو روش کشت برنج در مازندران به چنین نتایجی دست یافتند.



شکل ۶- میانگین تعداد پنجه بوته برنج در تیمارهای مختلف

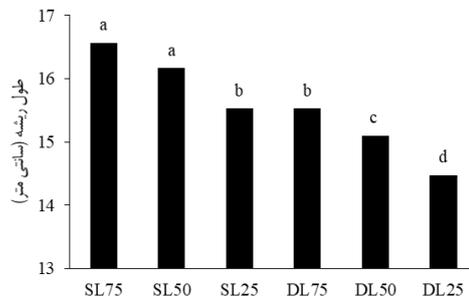
در تیمار آبیاری نواری سطحی، بیشترین ارتفاع بوته برابر ۹۶/۴ سانتی‌متر در فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، ارتفاع بوته ۹/۴۸ درصد و از ۲۵ سانتی‌متر به

۷۵ سانتی‌متر، ارتفاع بوته ۶/۶۹ درصد افزایش یافت (شکل ۸). در تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیز بیشترین طول ریشه برابر ۱۵/۵۳ سانتی‌متر در فاصله نوار ۷۵ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، طول ریشه ۴/۳۵ درصد و از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، طول ریشه ۷/۳۲ درصد افزایش یافت (شکل ۸).



شکل ۷- میانگین ارتفاع بوته برنج در تیمارهای مختلف

متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، ارتفاع بوته ۱۴/۸۶ درصد و از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، ارتفاع بوته ۷/۲۴ درصد افزایش یافت (شکل ۷). در تیمار آبیاری نواری سطحی، بیشترین طول ریشه برابر ۱۶/۵۷ سانتی‌متر در فاصله نوار ۷۵ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، طول ریشه ۴/۱۲ درصد و از ۲۵ سانتی‌متر به



شکل ۸- میانگین طول ریشه بوته برنج در تیمارهای مختلف

در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد؛ اثر متقابل نوع آبیاری و فاصله نوار بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد و بر شاخص برداشت، بهره‌وری فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

### عملکرد و بهره‌وری آب برنج

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر عملکرد و بهره‌وری آب برنج در جدول (۸) ارائه شده است. اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر عملکرد دانه، شاخص برداشت، بهره‌وری فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی

جدول ۸- تجزیه واریانس تأثیر نوع آبیاری و فاصله نوار بر عملکرد و بهره‌وری برنج

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	شاخص برداشت	بهره‌وری فیزیکی	بهره‌وری اقتصادی
نوع آبیاری	۲	۱۲۴۵/۹**	۱۰۱/۷**	۰/۳۲۶**	۲/۶۴ × ۱۰ <sup>-۱۱</sup> **
فاصله نوار	۱	۶۶۵/۴**	۱۱۳/۳**	۰/۰۴۵**	۳/۶۴ × ۱۰ <sup>-۱۰</sup> **
بلوک	۲	۰/۳۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۹۲۲۳ <sup>ns</sup>
نوع آبیاری × فاصله نوار	۲	۱/۰۰*	۶/۳۴**	۰/۰۰۷**	۵/۷۶ × ۱۰ <sup>-۹</sup> **
خطا	۱۰	۰/۴۵	۰/۰۳	۰/۰۰۰۱	۵۷۵۵۲۹

\*\*، \* و <sup>ns</sup> به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

اقتصادی در تیمارهای آبیاری نواری سطحی به ترتیب ۱۶۶۳/۹۳ کیلوگرم در هکتار (۴۰/۸ درصد)، ۴/۷۶ درصد (۱۴/۱۳ درصد)، ۰/۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب (۳۸/۵۷ درصد) و ۲۴۲۳۶۳/۶۷ ریال بر مترمکعب (۳۸/۴۲ درصد) نسبت به تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی افزایش معنی‌دار داشت (جدول ۹).

مقایسه میانگین اثرات نوع آبیاری و فاصله نوار بر عملکرد و بهره‌وری برنج در جدول (۹) ارائه شده است. مقادیر عملکرد دانه، شاخص برداشت، بهره‌وری فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی در آبیاری نواری سطحی بیشتر از تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی شد و این افزایش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. عملکرد دانه، شاخص برداشت، بهره‌وری فیزیکی و بهره‌وری

مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، مقادیر عملکرد دانه و شاخص برداشت به ترتیب ۱۲/۰۲ و ۸/۹۴ درصد و از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، مقادیر عملکرد دانه و شاخص برداشت به ترتیب ۳۵/۴۹ و ۲۱/۵۵ درصد کاهش یافت (جدول ۹).

مقادیر عملکرد دانه و شاخص برداشت بین تمامی فاصله‌های نوار ۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بود. حداکثر عملکرد دانه و شاخص برداشت برابر ۵۸۳۴/۳۸ کیلوگرم در هکتار و ۴۰/۱۳ درصد در فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر عملکرد و بهره‌وری برنج

بهره‌وری اقتصادی (ریال بر مترمکعب)	بهره‌وری فیزیکی (کیلوگرم بر مترمکعب)	شاخص برداشت (درصد)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	تیمار	نوع آبیاری
۸۷۳۱۶۲/۹ a	۰/۹۷ a	۲۸/۴ a	۵۷۴۲/۲ a	نواری سطحی	نوع آبیاری
۶۳۰۷۹۹/۲ b	۰/۷۰ b	۳۳/۷ b	۴۰۷۸/۳ b	قطره‌ای زیرسطحی	
۶۸۳۷۸۹/۳ c	۰/۷۶ c	۴۰/۱ a	۵۸۳۴/۴ a	۲۵ سانتی‌متر	فاصله نوار
۸۳۶۹۵۱/۱ a	۰/۹۳ a	۳۶/۵ b	۵۱۳۲/۶ b	۵۰ سانتی‌متر	
۷۳۵۲۰۲/۷ b	۰/۸۱ b	۳۱/۵ c	۳۷۶۳/۸ c	۷۵ سانتی‌متر	

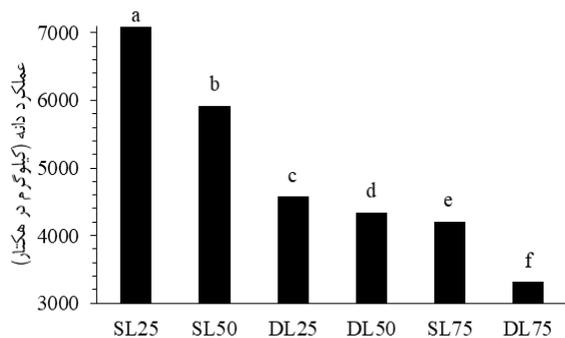
میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیست

حداکثر مقدار عملکرد دانه و شاخص برداشت به ترتیب برابر ۷۰۹۵/۸ کیلوگرم در هکتار و ۴۳/۲۸ درصد در تیمار آبیاری نواری سطحی با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر حاصل شد (شکل‌های ۹ و ۱۰). در این تیمار با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، مقادیر عملکرد دانه (شکل ۹) و شاخص برداشت (شکل ۱۰) به ترتیب ۱۶/۵۶ و ۹/۱۷ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، مقادیر عملکرد دانه و شاخص برداشت به ترتیب ۴۰/۶۷ و ۲۴/۴۶ درصد کاهش یافت. در تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیشترین مقدار عملکرد دانه و شاخص برداشت برابر ۴۵۷۲/۹ کیلوگرم در هکتار و ۳۶/۹۸ درصد در فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر مشاهده شد و از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، مقادیر عملکرد دانه و شاخص برداشت به ترتیب ۵ و ۸/۶۸ درصد کاهش یافت و از ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، مقادیر عملکرد دانه و شاخص برداشت به ترتیب ۲۷/۴۵ و ۱۸/۱۴ درصد کاهش یافت.

نتایج عملکرد دانه با حرکت از فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر دارای روند کاهشی بود اما این برای ارتفاع بوته تکرار نشد؛ زیرا با کاهش آب کاربردی و وقوع تنش آبی، رشد رویشی اتفاق افتاده اما رشد زایشی حاصل نشد. در هر دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و

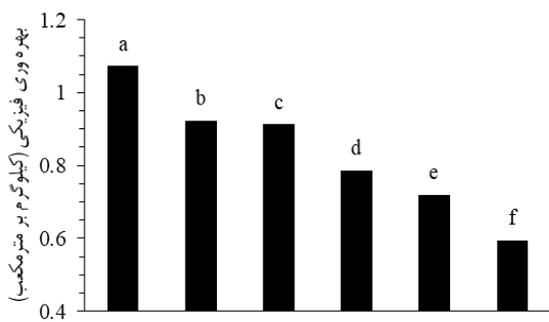
حداکثر بهره‌وری فیزیکی برابر ۰/۹۳ کیلوگرم بر مترمکعب در فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، بهره‌وری فیزیکی ۲۲/۳۶ درصد افزایش یافت سپس با فاصله گرفتن بیشتر از نوار، مقدار بهره‌وری فیزیکی کاهش یافت (جدول ۹). حداکثر بهره‌وری اقتصادی برابر ۸۳۶۹۵۱/۱۴ ریال بر مترمکعب در فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد. لازم به ذکر است که بهره‌وری اقتصادی بدون در نظر گرفتن هزینه قیمت لوله‌ها و کارگزاری لوله‌ها بوده است. با افزایش فاصله نوار، بهره‌وری اقتصادی به تدریج افزایش یافت به طوری که با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، بهره‌وری اقتصادی ۲۲/۳۹ درصد افزایش یافت سپس با فاصله گرفتن بیشتر از نوار، مقدار بهره‌وری اقتصادی کاهش یافت (جدول ۹). قلی‌نژاد بهنمیری و همکاران (۱۳۹۹) با بررسی اثرات آبیاری موضعی نواری بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب برنج (رقم‌های امیر و فجر) در تیمارهای آبیاری غرقابی، آبیاری موضعی با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر، آبیاری موضعی با فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متری و آبیاری موضعی با فاصله نوار ۱۰۰ سانتی‌متر نشان دادند که تیمار آبیاری موضعی با فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر، بیشترین مقادیر شاخص بهره‌وری فیزیکی آب و سودمندی اقتصادی آب را داشت.

بر عملکرد، آب مصرفی و اجزای عملکرد برنج (رقم بینام) به چنین نتایجی دست یافتند.



شکل ۹- میانگین عملکرد دانه برنج در تیمارهای مختلف

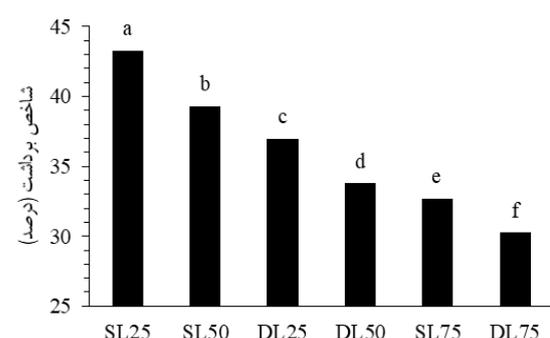
بر اساس شکل (۱۱) در تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیز بیشترین بهره‌وری فیزیکی برابر ۰/۷۹ کیلوگرم بر مترمکعب در فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، بهره‌وری فیزیکی ۳۱/۶۶ درصد و ۷۵ سانتی‌متر نسبت به فاصله نوار ۲۵ سانتی‌متر ۲۰ درصد افزایش یافت.



شکل ۱۱- میانگین بهره‌وری فیزیکی در تیمارهای مختلف

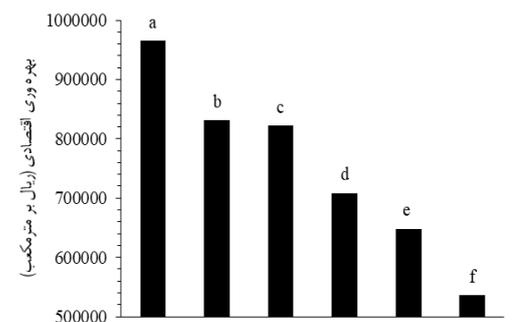
بهره‌وری اقتصادی ۸/۵۲ درصد کاهش یافت (شکل ۱۲). ایلاهی و همکاران (۲۰۲۰) به مقایسه عملکرد خربزه تحت دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی پرداختند. برای آبیاری قطره‌ای سطحی، آب روی سطح آبیاری شد، درحالی‌که برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، قطره‌چکان‌ها در عمق ۵ سانتی‌متری از خاک دفن شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که اثر تیمارها بر قطر برگ تفاوت معنی‌داری داشت اما برای طول برگ و قطر میوه تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. بر اساس

زیرسطحی این روند مشابه بوده است. فیروزپور بندپی و همکاران (۱۴۰۱) نیز در بررسی تأثیر روش‌های کم‌آبیاری



شکل ۱۰- میانگین شاخص برداشت در تیمارهای مختلف

در تیمار آبیاری نواری سطحی، بیشترین بهره‌وری فیزیکی برابر ۱/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب در فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، بهره‌وری فیزیکی ۱۶/۳ درصد و از ۵۰ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، بهره‌وری فیزیکی ۱۴/۹۵ درصد کاهش یافت (شکل ۱۱).



شکل ۱۲- میانگین بهره‌وری اقتصادی در تیمارهای مختلف

در تیمار آبیاری نواری سطحی، با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، بهره‌وری اقتصادی ۱۶/۱۳ درصد و از ۵۰ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر، بهره‌وری اقتصادی ۱۴/۸۲ درصد کاهش یافت (شکل ۱۲). در تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، بیشترین بهره‌وری اقتصادی برابر ۷۰۸۴۲۲/۳۵ ریال بر مترمکعب در فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد. با افزایش فاصله نوار از ۲۵ سانتی‌متر به ۵۰ سانتی‌متر، بهره‌وری اقتصادی ۳۲/۱۸ درصد افزایش ولی از ۵۰ سانتی‌متر به ۷۵ سانتی‌متر،

### نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی اثر سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب برنج در کیاسر انجام شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع آبیاری و فاصله نوار بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. مقادیر کل دانه، دانه پر و درصد پر شدگی دانه برنج در تیمار آبیاری نواری سطحی بیشتر از تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی شد و این افزایش در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. استفاده از سامانه آبیاری تحت فشار می‌تواند فقط در مناطق شالیزاری استفاده کرد که ضمن کاهش آب مصرفی باعث افزایش عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی می‌شود. همچنین آبیاری قطره‌ای زیر سطحی با روشی که انجام شد، در مقایسه با آبیاری قطره‌ای سطحی موفق نبوده و با این شرایط قابل توصیه نیست. با توجه به این‌که در این مطالعه هزینه ثابت و متغیر سامانه آبیاری تحت فشار در بهره‌وری اقتصادی در نظر گرفته نشده بود، پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی، هزینه ثابت و متغیر توسعه سامانه آبیاری تحت فشار در اراضی شالیزاری در نظر گرفته شود. همچنین مقایسه بین آبیاری تحت فشار سطحی و زیرسطحی با آبیاری غرقاب تناوبی رایج پیشنهاد می‌شود.

### تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است. بدین وسیله از مسئولین محترم آزمایشگاه‌های آب، خاک و زهکشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، به دلیل تأمین امکانات لازم برای انجام این پژوهش تقدیر و تشکر می‌شود.

نتایج مشاهده شد که آبیاری قطره‌ای سطحی، نتیجه بهتری نسبت به آبیاری قطره‌ای زیرسطحی داشت.

همچنین سینگ و همکاران (۲۰۲۲) اثر روش آبیاری قطره‌ای سطحی نسبت به آبیاری غرقابی بر روی عملکرد پنبه را در کشور هندوستان مورد مقایسه قرار دادند. با توجه به هدررفت کمتر آب در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، میزان مصرف آب در این روش کمتر بوده و همچنین مقدار محصول پنبه در این روش تا ۲۶/۶ درصد افزایش پیدا کرد و به مقدار ۳۴۵۵ کیلوگرم در هر هکتار رسید. آیدن‌ساک و همکاران (۲۰۲۱) روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی را بر روی گیاه سویا مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج، حداکثر مقدار محصول تولیدی برای روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب ۵/۶۱ و ۶/۳۳ تن در هر هکتار به دست آمد. طبق نتایج به دست آمده، مقدار آب مصرفی در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به میزان ۹۰ میلی‌متر کمتر بود، درحالی‌که هیچ‌گونه کاهش در تولید محصول در این روش مشاهده نشد. همچنین بوشکت کولاک و همکاران (۲۰۲۱) چندین روش آبیاری بر روی گیاه کینوا را در منطقه مدیترانه شرقی ترکیه مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه، میزان عملکرد و بهره‌وری آب در طی دو سال اندازه‌گیری شد. روش‌های آبیاری شامل آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بودند. نتایج نشان داد که به دلیل تبخیر سطحی کمتر آب در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، گیاه کینوا در این روش مقدار آب کمتری نسبت به روش آبیاری قطره‌ای سطحی استفاده کرده و در نهایت میزان بهره‌وری آب در روش آبیاری زیرسطحی بیشتر شد، اما تفاوت معنی‌داری از نظر میزان عملکرد بذر کینوا مشاهده نشد.

فهرست منابع

۱. آمارنامه کشاورزی. (۱۴۰۰). آمارنامه کشاورزی (سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸) جلد اول: محصولات زراعی. چاپ اول، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، ۹۷ ص.
۲. دهقانیان، ا. (۱۳۹۴). آبیاری قطره‌ای نواری در زراعت برنج. نشریه فنی. شورای انتشارات مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، ۳، ۸-۱.
۳. رحیمی پول، م.، اکبری نودهی، د.، اسدی، ر.، باقری، ع. و شیردل شهمیری، ف. (۱۴۰۰). تأثیر آبیاری قطره‌ای و غرقابی بر عملکرد و بهره‌وری آب در دو روش کشت برنج در مازندران. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۵(۴)، ۳۹۱-۴۰۴.
۴. رضانی، ا. و دهقانی، م. (۱۴۰۰). کاربرد آبیاری قطره‌ای نواری در خشکه‌کاری برنج (مطالعه موردی: لنجان اصفهان). پژوهش آب ایران، ۱۵(۲)، ۱۱۹-۱۲۷.
۵. شمسعلی، ل.، بیابانی، ع.، قربانی واقعی، ح. و طلایی، ف. (۱۳۹۷). بررسی اثر تاریخ کاشت و سامانه آبیاری بر برخی ویژگی‌های زراعی برنج در گنبدکاووس. مدیریت آب و آبیاری ۱۱(۸)، ۲۷-۳۸.
۶. عزیززاده، ا. (۱۳۸۹). آبیاری قطره‌ای (اصول و عملیات). انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ دوم، ۴۹۴ صفحه.
۷. فیروزپور بندپی، ر.، شاهنظری، ع.، اکبرزاده، ع. و یوسفیان، م. (۱۴۰۱). بررسی تأثیر روش‌های کم‌آبیاری بر عملکرد، آب مصرفی و اجزای عملکرد برنج (رقم بینام). مدیریت آب و آبیاری، ۱۲(۳)، ۴۶۷-۴۸۱.
۸. قلی‌نژاد بهنمیری، ق.، غلامی سفیدکوهی، م. ع. و موسوی، س. ی. (۱۳۹۹). اثرات آبیاری موضعی نواری بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در اراضی شالی‌زاری شهرستان ساری. تحقیقات آب‌و خاک ایران، ۵۱(۱۲)، ۳۱۲۷-۳۱۳۴.
۹. یوسفیان، م.، عزیززاده، ب.، سودایی مشایی، ص.، محمدی نشلی، ی. (۱۳۹۳). بررسی اثرات سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد، خواص کمی و کیفی دانه دو رقم برنج (طارم و شیرودی). پژوهش‌های کاربردی زراعی، ۲۷(۱۰۴)، ۶۹-۷۵.
10. Arbat, G., Parals, S., Duran-Ros, M., Pujol, J., Puig-Bargués, J., & Ramírez de Cartagena, F. (2018). Dinámica del agua en el suelo, productividad del agua y economía en riego por inundación y goteo en arroz. In *XXXVI Congreso Nacional de Riegos, AERYD: Valladolid, Spain* (Vol. 19, pp. 1-10).
11. Aydinsakir, K., Dinc, N., Buyuktas, D., Kocaturk, M., Ozkan, C. F., & Karaca, C. (2021). Water productivity of soybeans under regulated surface and subsurface drip irrigation conditions. *Irrigation Science*, 39(6), 773-787.
12. Bajpai, A., & Kaushal, A. (2021). Drip Irrigation in Rice and Wheat Cropping System under Conservation Agriculture: Water Scarcity Solution. *Biological Forum – An International Journal*, 13(3b), 89-93.
13. Bouman, B. A. M., Yang, X., Wang, H., Wang, Z., Zhao, J., & Chen, B. (2006). Performance of aerobic rice varieties under irrigated conditions in North China. *Field Crops Research*, 97(1), 53-65.
14. Bozkurt Çolak, Y. (2021). Comparison of aerobic rice cultivation using drip systems with conventional flooding. *The Journal of Agricultural Science*, 159(7-8), 544-556.
15. Bozkurt Çolak, Y. (2021). Comparison of aerobic rice cultivation using drip systems with conventional flooding. *The Journal of Agricultural Science*, 159(7-8), 544-556.
16. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *FAOSTAT–Food and Agriculture Data*. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (accessed on 5 May 2020).

17. Foroumandi, E., Nourani, V., Huang, J. J., & Moradkhani, H. (2023). Drought monitoring by downscaling GRACE-derived terrestrial water storage anomalies: A deep learning approach. *Journal of Hydrology*, 616, 128838.
18. He, H., Ma, F., Yang, R., Chen, L., Jia, B., Cui, J., & Li, L. (2013). Rice performance and water use efficiency under plastic mulching with drip irrigation. *PLoS One*, 8(12), e83103.
19. Ilahi, W. F. F., Ya, N. N. C., Razali, M. F. A., & Hassan, N. H. A. (2020). Impacts of fertigation via surface and subsurface drip irrigation on growth rate of rockmelon. *Advances in Agricultural and Food Research Journal*, 1(2), 1-8.
20. IRRI (International Rice Research Institute). (2005). *Changes in rice farming in selected areas of Asia*. Los Banos, Philippines.
21. Kijne, J. W., Tuong, T. P., Bennett, J., Bouman, B., & Oweis, T. (2003). Ensuring food security via improvement in crop water productivity. *Challenge Program on water and Food Background Paper*, 1, 20-26.
22. Ladi, T., Mahmoudpour, A. & Sharifi, A. (2021). Assessing impacts of the water poverty index components on the human development index in Iran. *Habitat International*, 113, 102375.
23. Maclean, J., Hardy, B., & Hettel, G. (2013). *Rice Almanac: Source book for one of the most important economic activities on earth*. IRRI.
24. Maraseni, T. N., Deo, R. C., Qu, J., Gentle, P., & Neupane, P. R. (2018). An international comparison of rice consumption behaviours and greenhouse gas emissions from rice production. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2288-2300.
25. Parthasarathi, T., Vanitha, K., Mohandass, S. & Vered, E. (2018). Evaluation of Drip Irrigation System for Water Productivity and Yield of Rice. *Agronomy Journal*, 110(6), 2378-2389.
26. Pourgholam-Amiji, M., Liaghat, A., Ghameshlou, A. N. & Khoshravesh, M. (2021). The evaluation of DRAINMOD-S and AquaCrop models for simulating the salt concentration in soil profiles in areas with a saline and shallow water table. *Journal of Hydrology*, 598, 126259.
27. Radhika, V., Srinivasan, K., Ramya, R. & Sharmila, B. B. (2022). IoT-Based Water Quality and Quantity Monitoring System for Domestic Usage. In *Immersive Technology in Smart Cities* (pp. 205-227). Springer, Cham.
28. Raper, R. L., Asmussen, L. E., & Powell, J. B. (1990). Sensing hard pan depth with ground-penetrating radar. *Transactions of the ASAE*, 33(1), 41-0046.
29. Samoy-Pascual, K., Lampayan, R. M., Remocal, A. T., Orge, R. F., Tokida, T., & Mizoguchi, M. (2022). Optimizing the lateral dripline spacing of drip-irrigated aerobic rice to increase water productivity and profitability under the water-limited condition. *Field Crops Research*, 287, 108669.
30. Singh, K., Singh, P., Singh, M., Mishra, S. K., Iqbal, R. R., Al-Ashkar, I., ... & El Sabagh, A. (2022). Sub-surface drip fertigation improves seed cotton yield and monetary returns. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1-18.
31. Soman, P. (2021). Drip Irrigation and Fertigation Technology for Rice Production Leading to Higher Water Productivity. *International Journal of Water Resources and Arid Environments*, 10(2), 70-77, 2021.
32. Stafford, J. V., & Hendrick, J. G. (1988). Dynamic sensing of soil pans. *Transactions of the ASAE*, 31(1), 9-0013.
33. Unkovich, M., Baldock, J., & Forbes, M. (2010). Variability in harvest index of grain crops and potential significance for carbon accounting: examples from Australian agriculture. *Advances in agronomy*, 105, 173-219.

## Effect of Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems on Yield, Yield Components, and Water Productivity of Rice

**R. Bayani, M. Khoshravesh<sup>1</sup>, A. Liaghat, and M. Pourgholam-Amiji**

MSc. student, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

[Missbayani1377@gmail.com](mailto:Missbayani1377@gmail.com)

Associate Prof., Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. [Khoshravesh\\_m24@yahoo.com](mailto:Khoshravesh_m24@yahoo.com)

Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. [Aliaghat@ut.ac.ir](mailto:Aliaghat@ut.ac.ir)

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

Received: January 2023 and Accepted: June 2023

### Abstract

Due to the drought, water and food security in the country is facing serious challenges, and a precise and science-based implementation plan is needed. The use of new technologies, such as modern irrigation systems, is essential as an effective tool for optimal water use. Therefore, this study was conducted to investigate the yield, yield components, and water efficiency of rice variety "Honda" in two surface and subsurface drip irrigation systems in a paddy field located in Kiasar, Mazandaran Province, Iran, during the spring and summer of 2022. The experimental design was strip plots using a randomized complete block design with 6 treatments and 3 replications in 18 plots measuring 2 by 3 m. The treatments included surface drip irrigation with strip distances of 25, 50, and 75 cm, and subsurface drip irrigation at a depth of 30 cm with the same strip distances. The results showed that cluster length, number of grains, plant height, and root length were significantly increased in surface drip irrigation treatments compared to subsurface treatments, with an increase of 1.2 cm (6.8%), 8.19 (49.8%), 6.9 cm (8.2%), and 1 centimeters (6.9%), respectively. The grain yield, harvest index, physical efficiency, and economic efficiency in the surface drip irrigation treatments showed significant increases of 1664 kg/ha (40.8%), 4.7% (14.1%), 0.27 kg/m<sup>3</sup> (38.5%), and 242,363 Rials/m<sup>3</sup> (38.4%), respectively, compared to subsurface drip irrigation treatments. The maximum grain yield and harvest index were observed at distances of 25 cm, equal to 5834 kg/ha and 40%, respectively. The maximum physical efficiency was observed at a distance of 50 cm, equal to 0.93 kg/m<sup>3</sup>. With an increase in distance between the strips from 25 to 50 cm, the physical efficiency increased by 22%. However, further increase in the distance led to a decrease in physical efficiency. The maximum economic efficiency was observed for surface drip irrigation at a distance of 50 cm, equal to 836,951 Rials/m<sup>3</sup>.

**Keywords:** Improving water productivity, Modern irrigation methods, Rice variety Honda

---

<sup>1</sup> - Corresponding author: [khoshravesh\\_m24@yahoo.com](mailto:khoshravesh_m24@yahoo.com)

## Evaluation of Optical Remote Sensing Efficiency in Estimating Soil Surface Moisture and Comparing It with Thermal Data for Irrigation Management of Sugarcane

**J. Mohammadi-Moalezadeh, S. Hamzeh<sup>1</sup>, and A. Naseri**

Head of Remote Sensing and GIS, Sugarcane Development Research and Education Institute, Ahvaz, Iran.

[Jamalmohammadi611@gmail.com](mailto:Jamalmohammadi611@gmail.com)

Associate Professor, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran.

[saeid.hamzeh@ut.ac.ir](mailto:saeid.hamzeh@ut.ac.ir)

Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran

University, Ahvaz, Iran. [abdalinaseri@scu.ac.ir](mailto:abdalinaseri@scu.ac.ir)

Received: October 2022 and Accepted: February 2023

### Abstract

Soil moisture is one of the most important parameters in water, soil and plant resources management. Therefore, the present study was conducted to evaluate the efficiency of thermal and optical remote sensing data in order to estimate soil moisture and irrigation planning in sugarcane fields of Khuzestan Province, Iran. For this purpose, soil moisture content for 9 passes of Landsat 8 and Sentinel 2 satellites was calculated using thermal and optical trapezoidal methods from April to October 2020 in Amirkabir Sugarcane Agro-industry fields. To validate the results, the measured soil moisture content data of 337 ground control points located in 18 sugarcane-growing fields measured by TDR350 dehumidifier were used simultaneously with the passage of the satellites. The results showed that TOTRAM model with a determination coefficient of 0.82 and error rate of RMSE and NRMSE as 4.45% and 12.9%, and OPTRAM model with an explanation coefficient of 0.93 and RMSE and NRMSE error of 3.14% and 12.1% were able to properly estimate soil surface moisture in sugarcane fields. Also, the results of evaluation of soil moisture maps for irrigation planning of sugarcane fields showed that these data could be used for irrigation planning with average NRMSE error of 16% and 9% in relation to ground irrigation time data for TOTRAM and OPTRAM models, respectively. In this regard, OPTRAM model data were more efficient compared to thermal data, due to better spatial resolution of optical data and less effect by environmental factors such as temperature and relative humidity of air and also the effect of adjacent pixels.

**Keywords:** Irrigation planning, Thermal Trapezoidal Model, Optical Trapezoidal Model

---

<sup>1</sup> - Corresponding authors: [saeid.hamzeh@ut.ac.ir](mailto:saeid.hamzeh@ut.ac.ir)

## Combined Effects of Irrigation Interval and Composition of Macronutrients on Changes in Essential Oil and Chemical Compounds of Ginger (*Zingiber officinale* R.)

**G.Pourshaban- Kateshali, GH. Akbari<sup>1</sup>, I.Alahdadi, and E. Soltani**

Ph.D. Candidate in Agrotechnology, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran. [Pourshaban.gh@ut.ac.ir](mailto:Pourshaban.gh@ut.ac.ir)

Associate Prof., Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran. [gakbari@ut.ac.ir](mailto:gakbari@ut.ac.ir)

Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran. [alahdadi@ut.ac.ir](mailto:alahdadi@ut.ac.ir)

Associate Prof., Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran. [elias.soltani@ut.ac.ir](mailto:elias.soltani@ut.ac.ir)

Received: December 2022 and Accepted: February 2023

### Abstract

To evaluate the changes in essential oil and chemical compounds of ginger plant under the influence of irrigation interval and NPK macronutrients, an experiment was carried out using randomized complete blocks in the form of a split plot with 9 treatments and 3 replications in Pakdasht Region, in 2021. Treatments included irrigation intervals at three levels: V1=4, V2=6, and V3=8 days, as the main factor, and NPK at three levels, F1= (N: 300, P: 100, K: 200), F2= (350, 150, 250), F3 : (250, 50, 150) (kg.ha<sup>-1</sup>) as the sub-factor. Extraction of essential oil in this research was done by distillation with water using a Cloninger machine, and the analysis of essential oil compounds was done by gas chromatograph, and 34 chemical compounds were identified. The main components of essential oil in terms of percentage included ( $\alpha$ -zingiberene=23.65), (geranial=11.09), (camphene=9.58), ( $\beta$ -sesquiphellandrene =8.43), ( $\beta$ -bisabolene=3.75) and ( $\alpha$ -curcumene=2.6). These 6 compounds included 59.1% of the total ginger essential oil, and the other 28 compounds made up only 40.9% of the total essential oil. The results of analysis of variance showed that the interaction effect of irrigation and studied fertilizers on essential oil and main compounds of ginger essential oil were significant at the 1% probability level. The best treatments for essential oil and camphene traits were V1F3, geranial V3F2,  $\alpha$ -zingiberene V1F2, and for three traits of  $\alpha$ -curcumene,  $\beta$ -bisabolene, and  $\beta$ -sesquiphellandrene was V3F3. Some of the compounds in ginger essential oil were increased by optimal irrigation and supply of essential nutrients for the plant, but some compounds increased under water stress and insufficiency of NPK.

**Keywords:** Zingiberene, Rhizome, Antioxidants, Medicinal plants, Aromatic plants

---

<sup>1</sup> - Corresponding author: [gakbari@ut.ac.ir](mailto:gakbari@ut.ac.ir)

# Evaluation and Assessment of Drip Irrigation Acceptance and Development Challenges in Urmia Apple Orchards Using Rogers' Diffusion of Innovation Model

**B. Hoseinpour, A. Jabbari<sup>1</sup>, and H. Alipour**

Assistant Prof., Economic, Social and Extension Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Urmia, Iran.

**b.hoseinpour@areeo.ac.ir**

Assistant Prof., Soil and Water Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran.

**a.jabbari@areeo.ac.ir**

Associate Prof., Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

**halipour2001@yahoo.com**

Received: November 2022 and Accepted: February 2023

## Abstract

The current study aimed to identify and analyze the factors influencing acceptance or rejection of irrigation system in apple orchards of Urmia city, as the center of apple production in West Azerbaijan Province, by applying survey research method and Rogers' Diffusion of Innovations Model. Based on the results, 57% of the respondents believed that implementation of drip irrigation using a common source of water (well) had many problems, 63% of them also considered the system unsuitable for old orchards. About 64% of the respondents believed that, in current situation, the relative profitability of the system was in the range of medium to low. 77% believed that drip irrigation systems did not have high performance due to various reasons. According to 81.5% of the respondent's opinion, applicability of these systems is complex compared to traditional methods, because of design, performance, employment, and administrative bureaucracy, obtaining facilities, repair and maintenance. According to the Cox-Nell and Nagelkerke statistics, the variables included in the model are able to explain, respectively, 0.50 and 0.68 of the variance of the drip irrigation acceptance variable. According to the obtained results, the most important recommendations applicable in the region, are using successful models and reference groups to provide practical trainings on irrigation systems, increasing the relative benefit and reducing the risk of investing in drip irrigation, reviewing the process of designing, implementing, the workflow and the quality of equipment in drip irrigation systems, solving problems related to issuing the necessary permits for orchards that do not have ownership documents and, finally, avoiding the use of drip irrigation in old traditional orchards.

**Keywords:** Drip Irrigation system, Survey research method, Cox-Nell statistics, Nagelkerke statistics.

---

<sup>1</sup> - Corresponding author: a.jabbari@areeo.ac.ir

## Effect of Salinity Stress and Planting Method on Morphological and Physiological Characteristics of Licorice in Greenhouse

**H. Hamidian, H. Sodeizadeh<sup>1</sup>, R. Yazdani Biouki, M. A. Hakimzadeh Ardakani, M. Soltani Gerdeframarzi, and S. Khajeh Hosseini**

M.Sc., Soil Chemistry and Fertility, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran. [hhani6074@gmail.com](mailto:hhani6074@gmail.com)

Associate Prof., Department of Arid Land Management and Desert Control, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran. [hsodaie@yazd.ac.ir](mailto:hsodaie@yazd.ac.ir)

Assistant Prof., National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran. R. [yazdani@areeo.ac.ir](mailto:yazdani@areeo.ac.ir)

Associate Prof., Department of Arid Land Management and Desert Control, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran. [hakim@yazd.ac.ir](mailto:hakim@yazd.ac.ir)

M.Sc., Research Division of Forest and Rangeland, Yazd Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, AREEO, Yazd, Iran. [m\\_soltani50@yahoo.com](mailto:m_soltani50@yahoo.com)

Ph.D., Department of Agriculture, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran. [sarehkhajajhosseini@gmail.com](mailto:sarehkhajajhosseini@gmail.com)

Received: October 2022 and Accepted: February 2023

### Abstract

This study aimed to determine the response of licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) to different methods of planting and different levels of water salinity. The experiment was conducted as factorial based on a completely randomized design with 3 replications, during 2019-2020 in Salinity Research Center, Yazd, Iran. Treatments included five levels of water salinity (0.9 [control], 3, 6, 9 and 12 dS/m), and two planting methods (transplanting and direct seeding). Morphological traits such as plant height, number of lateral branches, leaf area, total dry weight, and physiological traits such as total chlorophyll and carotenoids, and sodium and potassium contents were measured. The results showed that the highest plant height (62 cm) was in the control (0.9 dS/m) and transplanting method, maximum number of lateral branches (70 per plant) and largest leaf area (1032 cm<sup>2</sup>) were obtained in the control treatment, maximum total dry weight (2.68 g/plant) was in control and transplanting method, and the maximum carotenoids content (5.5 mg/gFW) was in the control and transplanting. In the control and direct seeding treatment, maximum total chlorophyll content (51.21 mg/g FW) and the highest amount of potassium (14.8 mg/kg DW) were observed. The maximum sodium content (15.2 mg/kg DW) was obtained in 12 dS/m and transplanting treatment. In general, with increasing salinity level to 12 dS/m, plant height in both planting methods decreased. Also, with increase in water salinity, the number of lateral branches and leaf area decreased by 84% and 88.5%, respectively. Total chlorophyll, carotenoids, and potassium also decreased significantly, but the amount of sodium ion increased. Transplanting was less affected by salinity in most parameters, except the total chlorophyll and sodium. Higher salinity stress had negative effect on different licorice plant parameters including plant height, number of lateral branches, leaf area, as well as the amount of total chlorophyll and carotenoids. In general, transplanting was more productive than direct seeding. The findings of this study show that, in situations with scarcity in fresh water, seedlings should be watered with fresh water, and saline water should be used for irrigation after transplanting.

**Keywords:** Saline water, Transplanting, Sodium toxicity, Halophyte

---

<sup>1</sup> - Corresponding author: [hsodaie@yazd.ac.ir](mailto:hsodaie@yazd.ac.ir)

# Effects of Pressure Changes and Type of Emitter on the Performance of Drip Irrigation Systems in Pistachio Orchards of Yazd Province

**H. Parvizi<sup>1</sup>, A. Parnian, H. Hatami, and M. H. Rahimian**

Assistant Prof., National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran. [Hosseinparvizi@gmail.com](mailto:Hosseinparvizi@gmail.com)

Assistant Prof., National Salinity Research Center, (AREEO) Yazd, Iran. [Amir.parnian86@gmail.com](mailto:Amir.parnian86@gmail.com)

Assistant Prof., National Salinity Research Center, (AREEO) Yazd, Iran. [Hadishatami066@gmail.com](mailto:Hadishatami066@gmail.com)

Assistant Prof., National Salinity Research Center, (AREEO) Yazd, Iran. [Mhrahimian@gmail.com](mailto:Mhrahimian@gmail.com)

Received: December 2022 and Accepted: February 2023

## Abstract

The effects of pressure changes and type of emitter on the performance of pistachio orchard's drip irrigation systems were studied in 21 orchards, under irrigation by saline water. Based on the results, water distribution uniformity in different parts of the orchards (EU) and the average flow of emitters ranged from 71% to 95% and 5.5 to 28.8 l hr<sup>-1</sup>, respectively. Furthermore, the lowest and highest operating pressure of the emitter were 0.1 and 1.8 bar in different pistachio orchards, respectively. The highest (21%) and lowest (3%) values of coefficient of variation (CV) were obtained from the evaluation of orchards number 13 and 4, respectively. Moreover, the minimum (0.6 %) and maximum (26.2 %) deviation values of the measured average flow from the nominal flow were also observed in orchards No. 3 and 18, respectively. The values of CV in orchards No. 3, 4, 10, 11, 12, 19, and 20 were lower than 10% and were excellent.

Orchards No. 2, 13, 14, and 15 with values of about 20% showed good and very good CV, and all of the remaining orchards had very good values of CVs between 10% and 20 %. The results showed that the emitters had a low CV and high EU in the orchards with proper supply and distribution of operation pressure (0.5 to 4 bar) without considering their types and brands. However, the two 8 liters per hour emitters including the Eurodrip and Europlast (King model) for soils with low infiltration rate, and the 26.2 liters/hour Eurodrip emitter for supplying high flow rates with an operating pressure of 0.5 to 1 bar can be recommended. Results indicated that, in most orchards, it is vital to modify the irrigation planning (time and frequency). It seems that if the operating pressure is supplied and distributed properly, emitter clogging and, consequently, EU would not be much affected by water salinity.

**Keywords:** Emitter flow rate, Emitter clogging, Water distribution uniformity, Water salinity

---

<sup>1</sup> - Corresponding authors: [Hosseinparvizi@gmail.com](mailto:Hosseinparvizi@gmail.com)

## **Use of Water Uptake Functions for Maize Yield Simulation under the Conditions of Interaction of Soil Salinity Stress and Growth Stages**

**R. Saeidi<sup>1</sup> and A.M. Liaghat**

Ph.D. Irrigation and Drainage Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. [saeidi@org.ikiu.ac.ir](mailto:saeidi@org.ikiu.ac.ir)  
Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. [aliaghat@ut.ac.ir](mailto:aliaghat@ut.ac.ir)

Received: January 2023 and Accepted: February 2023

### **Abstract**

This research aimed to simulate the yield of maize *cv. S. C 704* under conditions of separate application of salinity stress at different growth stages in mini-lysimeter, in Qazvin area, Iran. The experiment was performed as factorial and in a completely randomized design. Soil salinity treatments, as the main factor, included four levels of 1.7(S<sub>1</sub>), 3(S<sub>2</sub>), 5(S<sub>3</sub>) and 7(S<sub>4</sub>) dS.m<sup>-1</sup>. The sub-factors included different growth stages as follows: one-stage at 6-leaves (C<sub>1</sub>), flowering (C<sub>2</sub>), and milk stage (C<sub>3</sub>); and two-stages of C<sub>1</sub>C<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>C<sub>3</sub> and C<sub>2</sub>C<sub>3</sub>. By combining saline water (from a salt marsh) with a well fresh water (0.5 dS.m<sup>-1</sup>), saline water was prepared according to the treatments. Irrigation was done in a way that the salinity of input and output water from the mini-lysimeters was equal. The control treatment was irrigated with fresh water. By combining the water uptake reduction functions, the derived models were presented and evaluated for simulating yield reduction coefficient ( $\alpha$ ). The stress application data in one and two-growth stages were used for models calibration and validation, respectively. Applying the highest salinity level led to decrease in dry matter yield from 157.2 g. plant<sup>-1</sup> (in S<sub>1</sub> treatment) to 115.9, 53.2, 77.7, 86.1, 97 and 46.5 g. plant<sup>-1</sup> in the C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>1</sub>C<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>C<sub>3</sub> and C<sub>2</sub>C<sub>3</sub> treatments, respectively. The results showed that crop sensitivity was different in one-stage and two-stage stress application. Salinity stress at flowering (C<sub>2</sub>) and milk stage (C<sub>3</sub>) had a more negative effect relative to C<sub>1</sub>C<sub>2</sub> and C<sub>1</sub>C<sub>3</sub>. In this research, Van Genuchten's additive model and Dirksen-Maas-Hoffman's multipliable model could be recommended as the optimal models for crop yield simulation. Also, application of two-stage salinity stress (up to level of 7 dS.m<sup>-1</sup>) in C<sub>1</sub>C<sub>2</sub> and C<sub>1</sub>C<sub>3</sub>, had higher yield relative to application of one-stage stress in C<sub>2</sub> and C<sub>3</sub> growth stages.

**Keywords:** Sensitivity to salinity, Van Genuchten's model, Dirksen-Maas-Hoffman's model, Stress coefficient

---

<sup>1</sup> - Corresponding author: [saeidi@org.ikiu.ac.ir](mailto:saeidi@org.ikiu.ac.ir)

**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. 1*  
**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](http://www.swri.ir)  
Journal Website: <http://www.wra.arei.ir>



# Journal of Water Research in Agriculture

wra.areeo.ir



Volume 37/ No 1/ 2023

ISSN: 2228-7140

## Contents

Subject

Page

**Use of Water Uptake Functions for Maize Yield Simulation under the Conditions of Interaction of Soil Salinity Stress and Growth Stages.....1**

*R. Saeidi and A.M. Liaghat*

**Effects of Pressure Changes and Type of Emitter on the Performance of Drip Irrigation Systems in Pistachio Orchards of Yazd Province.....2**

*H. Parvizi, A. Parnian, H. Hatami, and M. H. Rahimian*

**Effect of Salinity Stress and Planting Method on Morphological and Physiological Characteristics of Licorice in Greenhouse .....3**

*H. Hamidian, H. Sodeizadeh, R. Yazdani Biouki, M. A. Hakimzadeh Ardakani, M. Soltani Gerdeframarzi, and S. Khajeh Hosseini*

**Evaluation and Assessment of Drip Irrigation Acceptance and Development Challenges in Urmia Apple Orchards Using Rogers' Diffusion of Innovation Model.....4**

*B. Hoseinpour, A. Jabbari, and H. Alipour*

**Combined Effects of Irrigation Interval and Composition of Macronutrients on Changes in Essential Oil and Chemical Compounds of Ginger (*Zingiber officinale* R.) .....5**

*G.Pourshaban- Kateshali, GH. Akbari, I.Alahdadi, and E. Soltani*

**Evaluation of Optical Remote Sensing Efficiency in Estimating Soil Surface Moisture and Comparing It with Thermal Data for Irrigation Management of Sugarcane .....6**

*J. Mohammadi-Moalezadeh, S. Hamzeh, and A. Naseri*

**Effect of Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems on Yield, Yield Components, and Water Productivity of Rice.....7**

*R. Bayani, M. Khoshravesh, A. Liaghat, and M. Pourgholam-Amiji*