پیشروی جبهه رطوبتی از منبع نقطه‌ای در سطوح شیب‌دار

بهروز مصطفی زاده، سید فرهاد موسوی و محمد حسین شریف بیان‌الحق*

چکیده

به منظور بررسی اثر شیب زمین، دبی قطره چکان، حجم آب آبیاری و بافت خاک روی جبهه رطوبتی و خیس شدگی سطحی خاک از یک منبع نقطه‌ای، مطالعات صحرایی برروی سه خاک با نفوذ پذیری متفاوت، سه دبی قطره چکان (۴، ۸ و ۱۲ لیتر برساعت)، چهار شیب سطحی زمین (صفر، ۲، ۵ و ۱۰ درصد) و پنج حجم آب آبیاری (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ لیتر) در سه تکرار انجام گردید. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش دبی قطره چکان سطح خیس شده افزایش می‌یابد. تغییرات سطح خیس شده با افزایش دبی قطره چکان در مزارع آزمایشی مسطح و مزارع آزمایشی شیب دار با بافت خاک سبک کاهش یافت. در مزارع آزمایشی شیب‌دار با بافت خاک سنگین، در شیبهای بالای ۵ درصد تغییرات سطح خیس شده با افزایش دبی افزایش یافت، ولی در شیبهای زیر ۵ درصد تا حدودی از روند صعودی افزایش سطح خیس شده با افزایش دبی کاسته شد. با توجه به این که با افزایش دبی، سطح خیس شده افزایش می‌یابد، در یک حجم مساوی آب آبیاری، در دبی‌های پایین، عمق جبهه خیس شده بیشتر بود، ولی در مجموع حجم خیس شده جبهه رطوبتی با افزایش دبی بیشتر گردید. حجم آب آبیاری تأثیر مستقیمی بر حجم جبهه رطوبتی نشان داد و با افزایش حجم آب آبیاری حجم جبهه خیس شده افزایش یافت. تأثیر حجم آب آبیاری بر حجم خیس شده خاک بیشتر از تأثیر دبی قطره چکان بر این حجم به دست آمد. به طور کلی در خاکهای با بافت سنگین نسبت به خاکهای با بافت سبک، سطح خیس شده افزایش یافت و جبهه رطوبتی از عمق کمتری برخوردار بود. با افزایش شیب زمین، سطح خیس شده و انحراف جبهه رطوبتی در جهت شیب افزایش یافت، که این افزایش تحت تأثیر نفوذپذیری خاک، دبی قطره چکان و حجم آب آبیاری قرار داشت.

واژه‌های کلیدی – *آبیاری قطره‌ای، جبهه رطوبتی، منبع نقطه‌ای*

مقدمه

آبیاری قطره‌ای یکی از روشهای آبیاری تحت فشار محسوب می‌شود. محاسن این روش باعث گردیده که در سالهای اخیر توجه چشمگیری به گسترش آن معطوف گردد. اصولاً به کارگیری و استفاده صحیح از هر سیستم آبیاری مستلزم شناخت کامل و تخمین مناسب تمامی‌خصوصیات و پارامترهای اولیه آن می‌باشد. نداشتن احاطه کامل روی خواص سیستم موجب بالارفتن میزان خطا و اشتباه در به کارگیری و پایین آمدن بازده سیستم و افزایش هزینه آن خواهد شد. شناخت الگوی خیس شدن پروفیل خاک توسط یک منبع نقطه ای، که اصطلاحاً به آن پیاز (یا جبهه) رطوبتی گفته می‌شود، سهم بسزائی در طراحی

* به ترتیب دانشیاران و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.3.2.0]

آبیاری قطره‌ای داشته و بر مقدار آب آبیاری مؤثر است. در واقع اولین گام برای تضمین عمل آبیاری، تعیین و اندازه‌گیری جبهه رطوبتی است.

شکل پیاز رطوبتی به عوامل مختلفی از قبیل بافت و لایه بندی خاک، همگنی خاک، شدت پخش آب، رطوبت اولیه خاک، شیب زمین و حجم آب مصرفی بستگی دارد (۷ و ۱۲). در محیطهای همگن و خاکهای بافت ریز، جبهه خیس شده به صورت افقی و عمودی و تقریباً با یک سرعت حرکت می‌کند. در خاکهای با بافت درشت و همگن، حرکت آب بیشتر در جهت عمودی است تا در جهت افقی، که می‌تواند منجر به فرونشت عمقی گردد. در طراحی سیستم آبیاری قطره‌ای، مطمئن‌ترین راه تعیین درصد سطح خاک خیس شده، بررسی ساده مزرعه‌ای است (۱، ۲ و ۵).

اکرام نیا در سال ۱۳۷۵، در بررسیهایی که در مورد انواع قطره چکانها انجام داد، نشان داد که نفوذپذیری در خاکهای شنی به طور عمده تابع نیروی ثقل است، حال آن که در خاکهای رسی، عامل اصلی تعیین کننده شکل پیاز رطوبتی خاک نیروی مویینگی است (۱). این بدان معنی است که در خاکهای شنی پیاز رطوبتی به صورت عمودی و باریک ولی در خاکهای رسی به صورت نیمکره کوچک یا بزرگی است که مرکز آن در زیر قطره چکان قرار دارد. علی خان و همکاران (۶) توزیع آب در نیمرخ خاک را تحت یک منبع نقطه‌ای مطالعه نمودند و نتیجه گرفتند که جبهه خیس شده با افزایش دبی قطره چکان و حجم آب آبیاری افزایش می‌یابد. در دبی‌های پایین، جبهه خیس شده از عمق بیشتری برخوردار بوده ولی در دبی‌های بیشتر، پیشروی افقی افزایش پیدا نموده، از عمق نفوذ کاسته می‌شود.

طبق تحقیقات رحیم زادگان (۱۵) روی حرکت آب در خاک تحت یک منبع نقطه‌ای نتیجه گرفته شد که به هنگام شروع جریان آب، نیروی مویینگی الگوی خیس شدگی را کنترل می‌کند و با افزایش عمق خیس شدگی، تأثیر نیروی ثقل بیشتر می‌شود. جبهه خیس شده با دبی‌های کم نسبتاً عمیق‌تر و با دبی‌های بیشتر، افقی حرکت می‌کند. در شروع جریان آب، شدت پیشروی افقی بیشتر از شدت پیشروی عمودی برای تمامی دبی‌های اعمال شده است، ولی به تدریج از شدت هر دو پیشروی همراه با زمان کاسته شده و به هنگام توقف آبدهی، حرکت جبهه رطوبتی متوقف نمی‌شود و سرعت پیشروی عمودی بیشتر از پیشروی افقی است. در مطالعه هاشوم (۱۱)، که تأثیر حجم مساوی آب آبیاری بر جبهه رطوبتی ناشی از منبع نقطه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت، مشاهده شد که افزایش شدت جریان، سطح خیس شده را افزایش داده و عمق خیس شده خاک را کاهش می‌دهد و الگوی خیس شدگی برای یک منبع قطره‌ای، در هر زمان می‌تواند تقریباً به شکل نیم بیضی باشد.

فلچر و ویلسون (۱۰) یک مدل کامپیوتری را برای توزیع رطوبت در زیر یک منبع نقطه‌ای، برای خاکهای مطبق شبیه سازی کردند. مطالعات آنها شامل توزیع رطوبت در زیر یک منبع نقطه‌ای در یک خاک شنی و مقایسه نتایج مدل کامپیوتری با اندازه‌گیریها بود. اندازه‌گیریهای مزرعه‌ای آنها نشان داد که شکل و اندازه جبهه رطوبتی بیشتر تابعی از حجم آب کاربردی است تا دبی کاربردی. همچنین موقعی که حجم آب آبیاری بیشتر از ۳۲ لیتر باشد، حرکت آب در ناحیه خیس شده در جهت افقی کم بوده و بیشتر به صورت جریان عمودی است. آنها نتیجه گرفتند که مدل قادر است ارقام اندازه گیری شده توزیع رطوبت را با دقت خوبی پیش بینی نماید. همچنین روت (۱۶) طی مطالعاتی برروی توزیع رطوبت از یک منبع نقطه‌ای مشاهده کرد که در خاک شنی برای حجم آب به کار رفته کمتر از ۹۵ لیتر، جبهه خیس شده تقریباً کروی شکل است، ولی برای حجم بیشتر از ۹۵ لیتر، حرکت عمودی آب بیشتر از حرکت افقی خواهد بود. او نتیجه گرفت که حجم کل خاک خیس شده بیشتر تابع مقدار آب به کار رفته است تا زمان کاربرد آب.

کل هو (۸ و ۹) با بررسی جریان غیر ماندگار از یک منبع نقطه‌ای در شرایط مزرعه و آزمایشگاه، به وابستگی مستقیم حجم خیس شده خاک و حجم آب مصرفی پی برد. وی الگوی خیس شدن خاک در شرایط منبع سطحی و زیر سطحی را مورد بررسی قرار داد. در شرایط منبع سطحی، در بافتهای سبک

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.3.2.0]

الگوی خیس شدن خاک دارای مقطع نیم بیضی و در بافتهای سنگین سهمی شکل (شبیه پیاز) می‌باشد. در شرایط منبع زیر سطحی، الگوی خیس شدن خاک دارای مقطع تقریباً دایره‌ای با مرکزیت منبع آب است.

کو و توکر (۱۳) اثر دبی‌های گوناگون بر توزیع رطوبت خاک را تحت آبیاری قطره‌ای در باغات مرکبات بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که در خاکهای با بافت ریز، حرکت جانبی آب نسبت به خاکهای با بافت درشت بیشتر است و همچنین حداکثر قطر افقی پخش آب با شدت ۳/۷۸ تا ۴/۵۳ لیتر بر ساعت از ۰/۶ تا ۱/۵ متر، بسته به بافت تغییر می‌کند. آنها نتیجه گرفتند که در مرکبات، خیس شدگی ۶۰ درصد خاک در منطقه ریشه، محصول رضایت بخشی می‌دهد.

هوور (۱۲) طبق تحقیقاتی که در مورد چگونگی توزیع رطوبت در اراضی شیب‌دار انجام داد متوجه شد که در دامنه‌های شیب‌دار در هنگام آبیاری، مولفه افقی جریان که به صورت سطحی یا زیر سطحی حادث می‌شود غالب بوده و مولفه عمودی با افزایش شیب کاهش می‌یابد. با کاهش شیب، مولفه عمودی جریان غالب می‌گردد.

مطالعات فوق و سایر مطالعات انجام شده در این زمینه (۳، ۷ و ۱۴) نشان دهنده اهمیت بررسی چگونگی توزیع رطوبت از منبع نقطه‌ای در سیستم آبیاری قطره‌ای است، تا بتوان این سیستم را با توجه به شرایط مزرعه‌ای به نحوی طراحی نمود که در حالی که کمبود رطوبت ناحیه ریشه گیاه تأمین می‌گردد حداقل اتلاف و حداکثر بازده آبیاری حاصل گردد.

به طور کلی هدف اصلی مطالعه حاضر بررسی تأثیر عوامل شیب زمین، بافت خاک، دبی قطره چکان و حجم آب بر جبهه رطوبتی خاک از یک منبع نقطه‌ای در سیستم آبیاری قطره‌ای است.

مواد و روشها

آزمایشها در چهار مزرعه زیر، که دارای خاکهایی با نفوذپذیری مختلف بودند، انجام گرفت:

مزرعه شماره ۱: مزرعه حکمی واقع در باغ ابریشم و در مجاورت کارخانه ایرانیت، در جنوب غربی اصفهان.

مزرعه شماره ۲: قطعه زمینی واقع در ناحیه مَرغ بالاتر از پل راه آهن، جنوب اصفهان.

مزرعه شماره ۳: اراضی متفرقه دانشگاه صنعتی اصفهان، شمال غربی اصفهان.

مزرعه شماره ۴: مزرعه خزانه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان، واقع در حومه شهرستان خمینی شهر، شمال غربی اصفهان.

خصوصیات فیزیکی خاک مزارع آزمایشی شامل بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک، رطوبت اولیه و سرعت نفوذ آب به خاک در جدول ۱ ارائه گردیده است.

به منظور بررسی اثرات بافت خاک برروی وضعیت جبهه رطوبتی از یک منبع نقطه‌ای، سه نوع خاک با نفوذپذیری متفاوت انتخاب شد.

شیبهای انتخابی برای طرح عبارت از صفر، ۲، ۵ و ۱۰ درصد بود. با توجه به این که شیب جزیی زمین در محلهای مختلف متفاوت است، در این طرح با استفاده از خط کش، متر و تراز، شیب زمین در محل تشکیل جبهه رطوبتی اندازه گیری شد.

به منظور بررسی اثرات دبی قطره چکانها برروی جبهه رطوبتی، سه دبی ۴، ۸ و ۱۲ لیتر برساعت انتخاب گردید. در این طرح از قطره چکانهای تنظیم شونده استفاده شد. دبی هر یک از قطره چکانها به روش حجمی تنظیم گردید.

یکی از فاکتورهای مؤثر بر وضعیت جبهه رطوبتی تشکیل شده از یک منبع نقطه ای، حجم آب مصرفی است. در این طرح ۵ حجم ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ لیتر مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این که دبی هر قطره چکان مشخص است، با استفاده از گذشت زمان از شروع آبیاری، حجم آب مصرف شده معین می‌گردد. طبیعی است که در قطره چکانهای با دبی بیشتر، حجم آب مورد نظر در زمان کمتری نسبت به قطره چکانهای با دبی کمتر توزیع می‌گردد.

وسایل عمده مورد نیاز جهت انجام آزمایشها عبارت بود از لوله پلی اتیلن ۱۶ میلیمتری، شیر فلکه، قطره چکان تنظیم

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.3.2.0]

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی مزارع آزمایشی

مزرعه آزمایشی	درصد سنگ‌ریزه	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتیمتر مکعب)	درصد رطوبت حجمی	متوسط سرعت نفوذ نهایی (سانتیمتر در ساعت)
مزرعه شماره ۱ (باغ ابریشم)	۲۸	۳۵/۵	۲۸	۳۶/۵	لوم-رسی	۱/۲۶	۸/۵	۲/۲۹
مزرعه شماره ۲ (مَرغ)	۳۲/۸	۴۰/۵	۲۷	۳۲/۵	لوم-رسی	۱/۳۴	۶/۷	۲/۴۱
مزرعه شماره ۳ (دانشگاه صنعتی)	۴۵/۲	۵۰	۲۳	۲۷	لوم-رسی-شنی	۱/۵۲	۵/۴	۲/۹۶
مزرعه شماره ۴ (خزانه)	۳۵/۷	۳۷	۴۹	۱۴	لوم-سیلتی	۱/۳۷	۷/۳	۴/۶۸

شونده، کرونومتر، استوانه مدرج، ترازو، متر و اتصالات شامل سه راه، رابط و بست انتهایی.

آزمایشها به شرح زیر انجام گرفت: آب برای آبیاری در یک منبع ۱۲۰ لیتری ذخیره می‌شد که دارای یک شیر فلکه در قسمت تحتانی بود. شبکه ای با سه انشعاب موازی و مساوی (با توجه به سه تکرار آزمایش)، به فواصل ۲ متر از لوله پلی اتیلن ۱۶ میلیمتری تشکیل شد و به منبع وصل گردید. برروی هر انشعاب، ۵ قطره چکان (با توجه به ۵ حجم مختلف آب آبیاری)، به فواصل حدود ۲ متر از یکدیگر نصب گردید تا تأثیری برروی هم نداشته باشند.

با توجه به تأثیر بافت و رطوبت اولیه خاک بر نتایج به دست آمده، نمونه‌هایی از خاک محل آزمایش برای اندازه‌گیریهای آزمایشگاهی برداشته شد. به علت موجود نبودن شیر آب جهت ثابت نگهداشتن فشار آب، از قانون ظرف ماریوت استفاده شد و با گذشت زمان، منبع اصلی با استفاده از ظرفهای ۲۰ لیتری مجدداً پر گردید. در هنگام شروع آزمایش شیر منبع تا انتها باز می‌شد و تنظیم دبی قطره چکان به روش حجمی و به وسیله پیچ تنظیم صورت می‌گرفت. با وجود تنظیم دبی قطره چکانها در ابتدای آزمایش، در طی آزمایش نیز این دبی به دفعات اندازه‌گیری می‌شد تا از دقت آن اطمینان حاصل شود (بدون هدر رفت آب). مدت آبیاری با توجه به دبی قطره چکان (۴، ۸ و ۱۲ لیتر برساعت) و حجم مورد نظر تعیین و پس از اتمام زمان آبیاری، قطره چکان مربوطه مسدود می‌گردید.

پس از شروع آزمایش در زمانهای مختلف، جبهه رطوبتی سطحی در دو جهت عمود بر هم و در نقاط مختلف شبکه از پیش تعیین شده اندازه گیری و شکل کلی سطح خیس شده تعیین گردید. بیست و چهار ساعت پس از انجام آزمایش، وقتی که جبهه رطوبتی به طور کامل در خاک پیشروی نموده بود، وضعیت پیشروی جبهه رطوبتی سطحی اندازه‌گیری شد و با نتایج به دست آمده در حین آزمایش در روز قبل مقایسه گردید. سپس با حفر ترانشه، وضعیت جبهه رطوبتی در اعماق مختلف بررسی گردید. حفر ترانشه تا انتهای پیاز رطوبتی ادامه می‌یافت. سطح مقطع و عمق ترانشه بسته به بافت خاک و حجم

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.3.2.0]

جدول ۲- اثر متقابل شیب زمین و دبی قطره چکانها برسطح خیس شده در حجم آب آبیاری ۲۰ لیتر در مزرعه آزمایشی ۱

دبی قطره چکان (لیتر بر ساعت)	شیب زمین (درصد)			
	۰	۲	۵	۱۰
	سطح خیس شده (متر مربع)			
۴	۰/۲۶۹	۰/۲۷۳	۰/۲۸۰	۰/۲۷۹
۸	۰/۳۳۳	۰/۳۴۲	۰/۳۶۳	۰/۳۸۶
۱۲	۰/۳۵۹	۰/۳۶۸	۰/۳۹۴	۰/۴۲۵

جدول ۳- اثر متقابل شیب زمین و دبی قطره چکانها بر سطح خیس شده در حجم آب آبیاری ۴۰ لیتر در مزرعه آزمایشی ۱

دبی قطره چکان (لیتر بر ساعت)	شیب زمین (درصد)			
	۰	۲	۵	۱۰
	سطح خیس شده (متر مربع)			
۴	۰/۳۸۶	۰/۳۸۷	۰/۴۲۲	۰/۴۷۳
۸	۰/۴۸۵	۰/۴۸۳	۰/۵۱۲	۰/۵۷۹
۱۲	۰/۵۱۴	۰/۵۳۵	۰/۵۷۷	۰/۷۰۰

آب آبیاری متفاوت بود. ولی مجموعاً بررسی در اعماق ۰، ۵ و ۱۰ سانتیمتر و پس از آن در فواصل ۱۰ سانتیمتری تا انتهای جبهه رطوبتی انجام می‌گرفت و نتایج پس از اندازه‌گیری یادداشت می‌شد(۴). در برخی از آزمایشها قبل از شروع آزمایش ترانشه حفر می‌گردید و پس از آن قطره چکان در فاصله حدود ۵ سانتیمتری ترانشه مستقر و آزمایش شروع می‌گردید. در این شرایط، وضعیت پیشروی جبهه رطوبتی با زمان کاملاً نمایان بود و با توجه به گذشت زمان پیشروی جبهه رطوبتی در حجمهای مختلف آبیاری علامت گذاری می‌شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج مندرج در جدول ۱، مزرعه شماره ۱ با ۳۶/۵ درصد رس و ۲۸ درصد سنگ ریزه و مزرعه شماره ۳ با ۵۰ درصد شن و ۴۵/۲ درصد سنگ ریزه به ترتیب دارای سنگین‌ترین و سبک‌ترین بافت خاک در بین مزارع آزمایشی انتخاب شده می‌باشند. قبل از انجام آبیاری، متوسط درصد رطوبت حجمی خاک برای عمق صفر تا ۲۰ سانتیمتری برای هر یک از مزارع آزمایشی اندازه گیری گردید، که نتایج در جدول ۱ ارائه گردیده و مشاهده می‌شود که اختلاف رطوبت اولیه خاک برای مزارع آزمایشی جزیی است.

جداول ۲ و ۳ نمونه ای از نتایج حاصل از بررسیهای انجام شده در ارتباط با تأثیر متقابل دبی قطره چکان و شیب زمین برروی سطح خیس شده را نشان می‌دهند. همان گونه که در این دو جدول دیده می‌شود، با افزایش دبی، متوسط سطح خیس شده افزایش می‌یابد، به نحوی که در شیبهای مختلف کمترین سطح خیس شده مربوط به دبی ۴ لیتر برساعت و بیشترین سطح مربوط به دبی ۱۲ لیتر برساعت می‌باشد.

علاوه بر تأثیر دبی قطره چکان، شیب زمین نیز برروی سطح خیس شده تأثیر قابل توجهی دارد. وضعیت جبهه رطوبتی در زمینهای شیب‌دار در مقایسه با زمینهای مسطح متفاوت است. در زمینهای مسطح نیروی مویینگی عامل گسترش افقی جبهه رطوبتی می‌باشد، در حالی که در زمینهای شیب‌دار علاوه بر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.3.2.0]

جدول ۴- اثر متقابل شیب زمین و حجم آب آبیاری بر سطح خیس شده در دبی ۴ لیتر برساعت برای مزرعه آزمایشی ۱

حجم آب آبیاری (لیتر)	شیب زمین (درصد)			
	۰	۲	۵	۱۰
	سطح خیس شده (متر مربع)			
۱۰	۰/۱۶۷	۰/۱۶۸	۰/۱۷۳	۰/۱۷۲
۲۰	۰/۲۶۹	۰/۲۷۳	۰/۲۸۰	۰/۲۷۹
۳۰	۰/۳۳۳	۰/۳۴۶	۰/۳۶۷	۰/۳۹۴
۴۰	۰/۳۸۶	۰/۳۸۷	۰/۴۲۲	۰/۴۷۳
۵۰	۰/۴۰۵	۰/۴۲۳	۰/۴۴۶	۰/۵۱۲

جدول ۵- اثر متقابل شیب زمین و حجم آب آبیاری بر سطح خیس شده در دبی ۸ لیتر برساعت برای مزرعه آزمایشی ۱

حجم آب آبیاری (لیتر)	شیب زمین (درصد)			
	۰	۲	۵	۱۰
	سطح خیس شده (متر مربع)			
۱۰	۰/۲۳۲	۰/۲۴۰	۰/۲۴۶	۰/۲۵۳
۲۰	۰/۳۳۳	۰/۳۴۳	۰/۳۶۳	۰/۳۸۶
۳۰	۰/۴۰۹	۰/۴۲۳	۰/۴۴۵	۰/۴۵۹
۴۰	۰/۴۶۸	۰/۴۸۳	۰/۵۱۲	۰/۵۷۹
۵۰	۰/۵۰۴	۰/۵۳۵	۰/۵۷۰	۰/۶۷۹

نیروی مویینگی نیروی ثقل نیز مؤثر است. نیروی ثقل باعث انحراف سطح خیس شده در جهت شیب شده و از طرف دیگر چون یک نیروی مضاعف در گسترش افقی جبهه رطوبتی محسوب می‌شود، باعث افزایش سطح خیس شده نیز خواهد شد. تأثیر نیروی ثقل بر شکل سطح خیس شده، متناسب با شیب زمین بوده و با افزایش شیب افزایش می‌یابد. همان گونه که در جداول ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش شیب زمین سطح خیس شده در راستای شیب زمین نیز افزایش یافته است. قابل ذکر است که نتایجی مشابه با جداول ۲ و ۳ برای سایر مزارع آزمایشی و تیمارهای مورد مطالعه به دست آمده است (۴).

با توجه به موارد فوق الذکر می‌توان نتیجه گرفت که به طور کلی در شیبهای مختلف، افزایش دبی باعث افزایش سطح خیس شده می‌شود. در زمینهای مسطح برای دبی بیشتر از ۸ لیتر بر ساعت مشاهده می‌شود که با افزایش دبی سطح خیس شده افزایش قابل ملاحظه‌ای نداشته است. پس توصیه می‌گردد که در طرحهای آبیاری قطره‌ای از قطره چکانهای با دبی بیشتر از ۸ لیتر بر ساعت استفاده نشود.

با افزایش شیب زمین، سطح خیس شده افزایش می‌یابد و از عمق جبهه رطوبتی کاسته می‌شود. با توجه به این امر توصیه می‌گردد که در شیبهای بالاتر از ۵ درصد از قطره چکان با دبی بیشتر از ۴ لیتر برساعت استفاده نگردد. زیرا اولاً سطح خیس شده با انحراف زیاد در جهت شیب از دسترس گیاه خارج می‌شود. ثانیاً، با سطحی شدن جبهه رطوبتی آب کافی در اختیار

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.3.2.0]

ریشه گیاه قرار نمی‌گیرد.

تأثیر متقابل حجم آب آبیاری و شیب زمین برروی متوسط سطح خیس شده برای مزرعه آزمایشی ۱ در جداول ۴ و ۵ نشان داده شده است.نتایج مشابهی برای سایر مزارع آزمایشی و تیمارهای مورد مطالعه به دست آمد (۴). همان طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش حجم آب آبیاری در همه شیبها متوسط سطح خیس شده افزایش یافته است. این افزایش بسته به بافت خاک و دبی قطره چکانها متفاوت است. به طور کلی، در ابتدای آبیاری قسمت عمده آب در سطح خاک توزیع شده و نفوذ عمقی ناچیز است. با توجه به محدودیت اعمال شده بر سطح خیس شده از جانب دبی قطره چکان، بافت خاک و شیب زمین، در ادامه آبیاری پیشروی مؤلفه افقی جبهه رطوبتی در سطح خاک کاهش می‌یابد و بر نفوذ عمقی جبهه رطوبتی افزوده می‌شود. پس می‌توان چنین استنباط نمود که در حجمهای پایین، بیشتر آب در سطح خاک توزیع شده و صرف توسعه سطح خیس شده می‌شود، ولی در حجمهای بالا بیشتر آب صرف گسترش مؤلفه عمودی جبهه رطوبتی می‌گردد.

تأثیر متقابل حجم آب آبیاری و شیب زمین روی‌حجم خیس شده، درصد حجم خیس شده و انحراف جبهه رطوبتی برای مزرعه آزمایشی ۱ در جداول ۶ تا ۸ نشان داده شده است. در جداول ۶ و ۷ به ترتیب حجم خیس شده و درصد حجم خیس شده در بالا دست و پایین دست قطره چکان با هم مقایسه شده است. در جدول ۸ انحراف جبهه رطوبتی در جهت شیب در شیبهای مختلف و برای زمانهای مختلف آبیاری با هم مقایسه شده، که در واقع زمان آبیاری معرف حجم آب آبیاری در آزمایشها می‌باشد. نتایج مشابهی با جداول ۶ تا ۸، برای سایر مزارع و تیمارهای مورد مطالعه به دست آمده است (۴). همان طور که در جدول ۷ نشان داده شده، در شیب صفر درصد، حجم خیس شده در بالا دست و پایین دست قطره چکان در حد متعادل بوده و تقریباً با یکدیگر مساویند. با افزایش شیب زمین به تدریج تعادل به هم خورده و جبهه خیس شده در جهت شیب منحرف شده و حجم خیس شده در پایین دست قطره‌چکان بیشتر از حجم در بالادست آن می‌شود (جدول ۶). در شیب ۲ درصد، یک اختلاف ناچیز بین دو حجم در بالادست و پایین دست مشاهده می‌شود. با افزایش شیب این اختلاف افزایش می‌یابد به نحوی که در شیب ۱۰ درصد اختلاف چشمگیری بین دو حجم مشاهده می‌شود. پس می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش شیب اختلاف دو حجم خیس شده در بالادست و پایین دست قطره چکان افزایش می‌یابد.

در جدول ۸ مشاهده می‌شود که با افزایش شیب، انحراف جبهه رطوبتی در جهت شیب افزایش یافته است. همان طور که ملاحظه می‌گردد وقتی شیب زمین از صفر به ۲ درصد افزایش پیدا می‌کند، انحراف جبهه رطوبتی در جهت شیب، نسبت به افزایش شیب از ۲ به ۵ درصد و یا ۵ به ۱۰ درصد افزایش کمتری نشان می‌دهد. پس می‌توان چنین استنباط نمود که با افزایش شیب، تغییرات انحراف جبهه رطوبتی در جهت شیب با شدت بیشتری افزایش پیدا می‌کند.

تأثیر متقابل دبی قطره‌چکان و شیب زمین برروی انحراف جبههٔ رطوبتی برای مزرعه آزمایشی ۱ در جدول ۹ نشان داده شده است. در این جدول حجم خیس شده در بالادست و پایین دست قطره چکان، به عنوان معرف انحراف جبهه رطوبتی در جهت شیب، با هم مقایسه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود با افزایش شیب زمین و دبی قطره چکان انحراف جبهه رطوبتی در جهت شیب افزایش می‌یابد. زیرا با توجه به این که جذب آب توسط خاک محدود است، وقتی دبی خروجی از قطره چکان کم است، تمامی بخش اعظم آب داده شده به خاک به صورت عمودی نفوذ می‌کند. ولی با افزایش دبی در زمینهای مسطح، آب رها شده باعث افزایش سطح خیس شده می‌گردد. هر چه دبی قطره چکان افزایش یابد، اختلاف آب رها شده در سطح خاک و آب قابل جذب توسط خاک افزایش یافته، آب بیشتری در سطح خاک باقی مانده و به طرف سراشیبی میل به حرکت خواهد داشت. بنابراین شکل سطح خیس شده در راستای شیب زمین بیشتر می‌گردد. پس می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش شیب و دبی قطره چکان، انحراف جبهه رطوبتی در جهت شیب و اختلاف حجم خیس شده در پایین دست قطره چکان و بالادست آن افزایش می‌یابد. همان طور که در جدول ۹ مشاهده

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.3.2.0]

جدول ۶- مقایسه حجم خیس شده در بالادست و پایین دست قطره چکان در حجمها و شیبهای مختلف و دبی ۴ لیتر برساعت برای مزرعه آزمایشی ۱

حجم آب آبیاری (لیتر)	شیب زمین (درصد)							
	۰		۲		۵		۱۰	
	حجم خیس شده (سانتیمتر مکعب)							
	بالادست	پایین‌دست	بالادست	پایین‌دست	بالادست	پایین‌دست	بالادست	پایین‌دست
۱۰	۲۱	۲۲	۲۰	۲۲	۲۰	۲۳	۱۷	۲۵
۲۰	۴۳	۴۳	۴۰	۴۱	۳۸	۴۶	۳۳	۴۸
۳۰	۶۵	۶۵	۶۵	۶۸	۶۵	۷۴	۵۵	۸۷
۴۰	۹۳	۹۳	۸۸	۹۳	۸۹	۱۰۱	۷۱	۱۳۲
۵۰	۱۱۵	۱۱۵	۱۱۱	۱۲۳	۱۰۶	۱۳۵	۸۱	۱۷۰

جدول ۷- مقایسه درصد حجم خیس شده در بالادست و پایین دست قطره چکان در حجمها و شیبهای مختلف و دبی ۴ لیتر برساعت برای مزرعه آزمایشی ۱

حجم آب آبیاری (لیتر)	شیب زمین (درصد)							
	۰		۲		۵		۱۰	
	درصد حجم خیس شده							
	بالادست	پایین‌دست	بالادست	پایین‌دست	بالادست	پایین‌دست	بالادست	پایین‌دست
۱۰	۴۸/۸	۵۱/۲	۴۸/۸	۵۱/۲	۴۶/۵	۵۳/۵	۴۰/۵	۵۹/۵
۲۰	۵۰	۵۰	۴۹/۴	۵۰/۶	۴۵/۲	۵۴/۸	۴۰/۷	۵۹/۳
۳۰	۴۹/۲	۵۰/۸	۴۸/۹	۵۱/۱	۴۶/۸	۵۳/۲	۳۸/۷	۶۱/۳
۴۰	۲۹/۳	۵۰/۷	۴۸/۶	۵۱/۴	۴۶/۹	۵۳/۱	۳۴/۹	۶۵/۱
۵۰	۴۸/۹	۵۱/۱	۴۸	۵۲	۴۳/۹	۵۶/۱	۳۲/۳	۶۷/۷

می‌شود، در تمام تیمارها کمترین انحراف جبهه رطوبتی مربوط به شیب صفر و دبی ۴ لیتر برساعت بوده و بیشترین انحراف به شیب ۱۰ درصد و دبی ۱۲ لیتر بر ساعت تعلق دارد. نتایج مشابهی برای سایر مزارع آزمایشی به دست آمده است (۴). با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان پیشنهادهایی به شرح زیر ارائه نمود:

- در خاکهایی که بافت آنها سبک است، بهتر است از قطره چکان با دبی ۸ لیتر بر ساعت استفاده شود.
- در زمینهایی که شیب آنها بالای ۵ درصد است، مخصوصاً در خاکهای با بافت سنگین، بهتر است از قطره چکان ۴ لیتر بر ساعت استفاده گردد.
- حجم آب آبیاری بسته به وضعیت گیاه و گسترش ریشه آن انتخاب شود.
- در هنگام اجرای سیستم آبیاری قطره‌ای در زمینهای شیب‌دار، بهتر است محل استقرار قطره چکانها بین ۱۰ تا ۸۰ سانتیمتر بالاتر از درختان قرار گیرد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.3.2.0]

جدول ۸- اثر متقابل شیب زمین و زمان آبیاری بر انحراف جبهه رطوبتی در جهت شیب، در دبی ۴ لیتر بر ساعت برای مزرعه آزمایشی ۱

زمان آبیاری (دقیقه)	شیب زمین (درصد)			
	۰	۲	۵	۱۰
	انحراف جبهه رطوبتی در جهت شیب (سانتیمتر)			
۰	۰	۰	۰	۰
۶۰	۱۷	۱۶	۱۹	۲۰
۹۰	۲۱	۲۱	۲۳	۲۵
۱۵۰	۲۸	۲۹	۳۴	۳۷
۳۰۰	۳۵	۳۶	۴۱	۴۶
۴۵۰	۴۰	۴۲	۴۷	۵۶
۶۰۰	۴۳	۴۴	۵۱	۶۰
۷۵۰	۴۴	۴۶	۵۳	۶۵

جدول ۹- مقایسه حجم خیس شده در بالادست و پایین دست قطره چکان در دبی‌ها و شیبهای مختلف برای حجم آب آبیاری ۲۰ لیتر برای مزرعه آزمایشی ۱

دبی قطره چکان (لیتر بر ساعت)	شیب زمین (درصد)							
	۰		۲		۵		۱۰	
	حجم خیس شده (سانتیمتر مکعب)							
	بالادست	پایین‌دست	بالادست	پایین‌دست	بالادست	پایین‌دست	بالادست	پایین‌دست
۴	۴۳	۴۳	۴۳	۴۴	۳۸	۴۶	۳۳	۴۸
۸	۵۱	۵۲	۴۹	۵۳	۴۲	۶۳	۳۴	۷۴
۱۲	۵۲	۵۴	۵۲	۵۶	۴۳	۶۷	۳۱	۷۸

- در مجموع، استفاده از قطره چکان با دبی بیشتر از ۸ لیتر برساعت توصیه نمی‌شود زیرا علاوه بر این که باعث بالا رفتن قطر لوله‌ها و افزایش هزینه اولیه سیستم می‌گردد، مزیت خاصی از لحاظ افزایش سطح خیس شده نسبت به قطره چکان با دبی ۸ لیتر بر ساعت ایجاد نمی‌کند.

سپاسگزاری

در شروع این تحقیق از نظرات ارزشمند شادروان دکتر رحمان رحیم زادگان کسب فیض نموده‌ایم که بدین وسیله برای روح آن مرحوم رحمت و آمرزش طلب می‌نماییم.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.3.2.0]

منابع مورد استفاده

۱- اکرام نیا، ف. ۱۳۷۵. ارزیابی انواع قطره چکانها و ارائه قطره چکان بهینه از لحاظ اقتصادی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، ۱۵۱ صفحه.

۲- حقیقتی، ب. ۱۳۷۵. اثر پارامترهای آبیاری برروی درصد سطح خیس شده در آبیاری قطره‌ای. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۱۸ صفحه.

۳- سلامت منش، غ. ۱۳۷۵. بررسی و ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری قطره‌ای در سطح استان سمنان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، ۱۱۱ صفحه.

۴- شریف بیان الحق، م. ح. ۱۳۷۶. توزیع رطوبت در پروفیل خاک از منبع نقطه‌ای در سطوح شیب‌دار. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۴۹ صفحه.

۵- ضیاء تبار احمدی، م. ۱۳۷۱. آبیاری قطره‌ای (ترجمه). انتشارات دانشگاه مازندران، ۳۹۹ صفحه.

6- Alikhan, A., M. Yitayev and W. Warrick. 1996. Field evaluation of water and solute distribution from a point source. ASCE, J. Irrig. and Drain. Eng. 122(4): 221-227.

7- Clothier, B., D. Scotter and E. Harper. 1985. Three-dimensional infiltration and trickle irrigation. Trans. ASAE, 28(2):497-501.

8- Coelho, E.F. 1996. Flow and uptake patterns affecting soil water sensor placement for drip irrigation management. Trans. ASAE, 39(6):2007-2016.

9- Coelho, E.F. 1996. Soil water dynamics under drip irrigation transient flow and uptake models. Trans. ASAE, 39(6): 2017-2025.

10- Fletcher, C. and T.V. Wilson. 1983. Computer model for moisture distribution in stratified soils under a trickle source. Trans. ASAE, 26(6): 1704-1709.

11- Hachum, A.Y. 1973. Water movement in soil from a trickle source. M.Sc. Thesis, Utah State Univ., Logan, Utah, USA.

12- Hoover, J. 1985. Evaluation of flow pathway in a sloping soil cross section. Trans. ASAE, 28(5): 1471-1475.

13- Koo, R.C.J. and D.P.H. Tucker. 1975. Soil moisture distribution in citrus groves under trikle irrigation. Citrus Industry, 56(5): 12-13, 16-17.

14- Mostaghimi, S., J.K. Mitchel and W.D. Lembke. 1981. Effect of discharge rate on distribution of moisture in heavy soils irrigated from a trickle source. Trans. ASAE, 24:2081-2089.

15- Rahimzadegan, R. 1977. Water movement in field soil from a point source. M.Sc. Thesis, Utah State Univ., Logan, Utah, USA.

16- Roth, R.L. 1974. Soil moisture distribution and wetting front pattern from a point source. Proc. Second International Drip Irrigation Congress. pp. 246-251.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1377.2.3.2.0]