تعیین معادله‌های تجربی برآورد ابعاد پیاز رطوبتی تحت آبیاری قطره‌ای در خاک‌های متوسط – شنی (مطالعه‌ی موردی دشت قائم آباد، کرمان)

شیما نصیری*[۱]، علی نشاط[۲] و محمد کهنوجی[۳]

تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۰/۲/۲

چکیده

بمنظور بررسی اثر بده‌ی قطره چکان و دیرپایی آبیاری به ازای حجم آب کاربردی مشخص بر ابعاد پیاز رطوبتی از یک منبع نقطه‌ای(قطره چکان)، مطالعات صحرایی در حومه‌ی شهر کرمان منطقه‌ی قائم آباد، در خاکی با بافت متوسط- شنی با سه بده‌ی قطره چکان ۴و۸و۲۴ لیتر بر ساعت و به ازای زمان‌های گوناگون آبیاری (۶ زمان متناسب با بده قطره چکان) انجام شد. لوله‌ها روی سطح خاک قرار گرفته و قطره چکان‌های مورد نظر روی آن‌ها نصب و جریان آب به ازای زمان‌های گوناگون آبیاری صورت گرفت. پس از گذشتن ۲۴ ساعت از پایان آبیاری و خروج آب ثقلی، با ایجاد یک برش به صورت عمودی زیر محل نصب قطره چکان، ابعاد پیاز رطوبتی اندازه گیری شد. نتایج نشان دادند که به ازای یک حجم ثابت آب، با افزایش بده‌ی قطره چکان، شعاع حجم خیس شده افزایش و عمق خیس شده‌ی پیاز رطوبتی کاهش می‌یابد. با افزایش دیرپایی آبیاری به ازای مقادیر گوناگون بده‌ی قطره چکان‌ها، ژرفا و شعاع خیس شده‌ی خاک افزایش یافتند؛ الگوی خیس شدگی خاک برای سه بده‌ی قطره چکان تقریباً مشابه بود. در یک زمان ثابت آبیاری ،گسترش پیاز رطوبتی در قطره چکان‌های با بده‌ی بالاتر بیش‌تر بود. پس از انجام محاسبات آماری در مورد مقادیر اندازه گیری شده، معادلات مربوط به پیشروی رطوبت در جهات افقی و عمودی ارایه شده که بر پایه‌ی روابط ارایه شده می‌توان با توجه به زمان آبیاری اندازه‌ی شعاع خیس شده روی سطح خاک را بدست آورد؛ افزون بر آن، فاصله‌ی قطره چکان‌ها را تخمین زد. همچنین، می‌توان دیرپایی آبیاری را برای رسیدن جبهه‌ی رطوبتی به ژرف‌ترین ریشه‌ی گیاه با در نظر گرفتن بده‌ی قطره چکان بدست آورد. از نتایج بدست آمده می‌توان در طراحی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای بهره جست.

واژه‌های کلیدی: جبهه‌ی رطوبتی، منبع نقطه‌ای، پیاز رطوبتی، آبیاری قطره ای.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان.
۲- استادیار آبیاری و زهکشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان.
۳- کارشناسی ارشد مرکز مدیریت آب و خاک سازمان جهاد کشاورزی کرمان.
*- نویسنده‌ی مسوول مقاله:sh_nasiri62@yahoo.com

مقدمه

با توجه به کمبود بارندگی در ایران، لازم است بیش‌ترین استفاده از منابع محدود آب صورت پذیرد، اما بنا به دلایل فراوان از جمله ناآگاهی کاربرها و کشاورزان با اصول صحیح مدیریت آبیاری، مقدار زیادی از آب که می‌تواند مورد استفاده مفید گیاه قرار گرفته و موجب افزایش تولید گردد، به هدر می‌رود. از جمله عامل‌های مهم در افزایش تولید در واحد سطح، استفاده‌ی صحیح از آب، بویژه برای مناطقی که منابع آبی محدود و یا با کیفیت پایین دارند، می‌باشد. در این راستا، به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک که مسأله‌ی کمبود آب و مصرف بهینه‌ی آن مشغله‌ی ذهنی دست اندرکاران امور آب و کشاورزی می‌باشد، استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری مانند آبیاری قطره‌ای، به عنوان یک راهکار توصیه می‌شود. استان کرمان با میانگین بارندگی سالانه حدود۱۴۰میلیمتر جزء مناطق خشک کشور بشمار می‌رود. به دلیل واقع شدن این استان در منطقه‌ی کویری، همواره خطر حرکت شن‌های روان در برخی از مناطق استان مزبور وجود دارد؛ بدین جهت تثبیت این اراضی و جلوگیری از حرکت شن‌های روان و بهره وری بهینه‌ی کشاورزی، کاربرد روش‌های آبیاری قطره‌ای در استان کرمان ضروری بنظر می‌رسد. برای طراحی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای لازم است الگوی خیس شدن نیمرخ خاک که در اصطلاح به آن پیاز رطوبتی گفته می‌شود، برای هر زمینی که قرار است با روش قطره‌ای آبیاری شود، از قبل مشخص گردد (علیزاده، ۱۳۸۴). حجم آب آبیاری بر شکل پیاز رطوبتی که از فراسنج‌های مهم و تأثیر گذار در انتخاب قطره چکان می‌باشد، مؤثراست. فاصله‌ی قطره چکان‌ها نیز بر اساس شکل الگوی رطوبتی انتخاب می‌شود. در حقیقت برداشت ما از قوانین حاکم بر حرکت آب خاک در اطراف یک منبع نقطه‌ای این است که شکل هندسی حجم خاک خیس شده در پایان هر آبیاری به نوع خاک، بده‌ی قطره چکان، حجم آب مصرفی و دیرپایی آبیاری بستگی دارد (عباس پلنگی، ۱۳۸۵). در خاک‌های شنی به دلیل پیشی گرفتن حرکت عمودی بر جریان افقی، آب و باریک بودن الگوهای رطوبتی، فاصله‌ی قطره چکان‌ها را نزدیک‌تر در نظر می‌گیرند. در حالی که در خاک‌های رسی به علت حرکت افقی آب و پهن‌تر بودن پیاز رطوبتی، فاصله‌ی قطره چکان‌ها را باید بیش‌تر منظور داشت (نجفی مود، ۱۳۸۴). طراحی درست شبکه‌ی آبیاری قطره‌ای نیاز به آگاهی بسنده از نحوه‌ی توزیع جریان آب در خاک به صورت افقی و عمودی دارد، این گونه داده‌ها در انتخاب بده‌ی قطره چکان مؤثر بوده و در برنامه ریزی آبیاری نقشی مهم دارند.

بررسی‌هایی گسترده برای تخمین ابعاد پیاز رطوبتی در آبیاری قطره‌ای انجام شده است. اکرام نیا (۱۳۷۵)، در بررسی انواع قطره چکان، نشان داد که نفوذ پذیری در خاک‌های شنی به گونه‌ی عمده تابع نیروی ثقل است، حال آن که در خاک‌های رسی، عامل اصلی تعیین کننده‌ی شکل پیاز رطوبتی خاک، نیروی موئینگی است. این بدان معنی است که در خاک‌های شنی، پیاز رطوبتی به صورت عمودی و باریک، ولی در خاک‌های رسی به صورت نیمکره‌ی کوچک یا بزرگی است که مرکز آن در زیر قطره چکان قرار دارد. شریف نیا و همکاران (۱۳۸۸) اثر شیب زمین، بده‌ی قطره چکان و دیرپایی آبیاری را در مزرعه‌ای شامل چهار شیب صفر، ۱۵/۵ و ۲۵ درصد با سه بده‌ی قطره چکان ۲ ،۴ و ۸ لیتر بر ساعت و زمان‌های آبیاری ۱ ،۲ و ۴ ساعت در خاک متوسط رسی - لایی بررسی کرده و با توجه به تغییرات الگوی خیس شده مشاهده نمودند که در بیش‌تر موارد، بر پیاز رطوبتی به سمت پایین دست منحرف و کشیده‌تر شده است؛ ایشان با اندازه گیری ابعاد خیس شدگی و رطوبت خاک دو رابطه‌ی تجربی برای تخمین فاصله‌ی مناسب قطره چکان نسبت به گیاه ارایه کردند. مصطفی زاده و همکاران (۱۳۷۷)، اثر شیب زمین، بده‌ی قطره چکان، حجم آب آبیاری و بافت خاک را بر جبهه‌ی رطوبتی و خیس شدگی سطحی خاک از یک منبع نقطه‌ای مطالعه و به این نتایج دست یافتند: با افزایش بده‌ی قطره چکان سطح خیس شده افزایش می‌یابد؛ تغییرات سطح خیس شده با افزایش بده‌ی قطره چکان در مزارع آزمایشی مسطح و مزارع آزمایشی شیب دار با بافت خاک سبک کاهش می‌یابد. از آن‌جا که با افزایش بده، سطح خیس شده افزایش می‌یابد، در یک حجم مساوی آب آبیاری، در بده‌های پایین، عمق جبهه‌ی خیس شده بیش‌تر بود، ولی

در مجموع حجم خیس شده جبهه‌ی رطوبتی با افزایش بده بیش‌تر گردید. حجم آب آبیاری تأثیری مستقیم بر حجم جبهه‌ی رطوبتی داشته و با افزایش آن حجم جبهه‌ی خیس شده افزایش یافت. تأثیر حجم آب آبیاری بر حجم خیس شده‌ی خاک بیش‌تر تحت تأثیر بده‌ی قطره چکان بود. علی خان و همکاران (۱۹۹۶) توزیع آب را در نیمرخ خاک تحت یک منبع نقطه‌ای مورد مطالعه قرار داده و نتیجه گرفتند که عمق جبهه رطوبتی با افزایش بده‌ی قطره چکان و حجم آب آبیاری افزایش می‌یابد. در بده‌های پایین، جبهه‌ی رطوبتی ژرف‌تر بوده، ولی در بده‌های زیادتر، پیشروی افقی افزایش یافته و از عمق نفوذ کاسته می‌شود. رحیم زادگان (۱۹۷۷) مطالعات خود را در مورد حرکت آب در خاک تحت یک منبع نقطه ای انجام داده و به این نتیجه رسید که به هنگام شروع جریان آب، نیروی موئینگی الگوی خیس شدگی را تعیین می‌کند؛ با افزایش عمق خیس شدگی، تاثیر نیروی ثقل بیش‌تر می‌شود. جبهه‌ی رطوبتی با بده‌های کم، در جهت عمق و با بده‌های بیش‌تر، به صورت افقی حرکت می‌کند؛ در آغاز جریان، شدت پیشروی افقی نسبت به شدت پیشروی عمودی برای تمامی بده‌های اعمال شده بیش‌تر است، ولی به تدریج از شدت هر دو پیشروی همراه با زمان کاسته شده و به هنگام توقف آبدهی،حرکت جبهه رطوبتی متوقف نشده و سرعت پیشروی عمودی بیش‌تر از پیشروی افقی است. هاچوم (۱۹۷۳) تأثیر حجم مساوی آب آبیاری را بر جبهه رطوبتی ناشی از منبع نقطه‌ای مورد ارزیابی قرار داد و مشاهده نمود که افزایش شدت جریان، افزایش سطح خیس شده و کاهش عمق خیس شده خاک را در بر داشته و الگوی خیس شدگی دو بعدی برای یک منبع نقطه ای در هر زمان می‌تواند تقریباً به شکل نیم بیضی باشد. روت (۱۹۷۴) طی مطالعاتی در مورد توزیع رطوبت از یک منبع نقطه ای، مشاهده کرد که در خاک شنی برای حجم آب بکار رفته کم‌تر از۹۵ لیتر، جبهه‌ی خیس شده تقریبا کروی شکل است، ولی برای حجم بیش‌تر از ۹۵ لیتر، حرکت عمودی آب بیش‌تر از حرکت افقی خواهد بود. وی همچنین حجم کل خاک خیس شده را بیش‌تر تابع مقدار آب بکار رفته دانست تا زمان کاربرد آب. لی و رائو (۲۰۰۴) آزمایش‌های خود را در مورد دو خاک شنی و متوسط انجام داده و در طول آزمایش موقعیت جابه‌جایی جبهه‌ی رطوبتی را روی سطح خاک و در سطح عمودی در چندین زمان ثبت کردند. نامبردگان به این نتیجه رسیدند که الگوهای رطوبتی از راه شعاع رطوبتی(r) و عمق خیس شدگی (z) از یک منبع نقطه ای (قطره چکان) مشخص می‌شوند. ایشان روابطی را برای تعیین ابعاد خیس شده ارایه دادند که این معادلات می‌توانند در جهت تخمین دیرپایی آبیاری برای رسیدن به شعاع و عمق خیس شده‌ی مورد نظر با انتخاب بده و زمان مناسب برای خاک معین مؤثر باشند. توربون و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که برای بهبود بازده مصرف آب و موادمغذی در آبیاری قطره ای بایستی بین فاصله‌ی قطره چکان‌ها، شدت جریان، مشخصات رطوبتی خاک و دیرپایی آبیاری همخوانی مناسب وجود داشته باشد.تابت و زایانی (۲۰۰۸) تاثیر بده‌ی قطره چکان روی الگوهای رطوبتی و توزیع رطوبت در خاک متوسط- شنی را مورد مطالعه قرار دادند و روابطی را برای تعیین میزان پیشروی جبهه‌ی رطوبتی و حجم پیاز رطوبتی پس از آبیاری بدست آوردند. آن‌ها مشاهده کردند که اندازه‌ی پیشروی عمودی آب از قطره چکان‌های با بده‌ی کم‌تر در مقایسه با قطره چکان با بده زیاد، بیش‌تر است و همچنین در طول ۱۸۰ دقیقه از شروع آزمایش، افزایش شعاع رطوبتی با مقدار بده بیش‌تر ارتباط داشته، ولی پس از آن بر عکس شده و بیش‌ترین شعاع خیس شده ناشی از بده های کم‌تر بوده است. بنابراین، بده بیش‌تر، پیشروی افقی بزرگ‌تری را به دنبال دارد.هدف اصلی در این پژوهش، بررسی تأثیر عوامل مؤثر بر پیشروی جبهه‌ی رطوبتی از جمله بده‌ی قطره چکان و دیرپایی آبیاری به ازای حجم آب کاربردی مشخص بر روی سطح و عمق خیس شده خاک و در نهایت ارایه‌ی روابطی جهت تعیین ابعاد الگوی خیس شده خاک می باشد، تا بتوان با استفاده از این روابط مقادیر پیشروی افقی و عمودی جبهه‌ی رطوبتی را به ازای زمان‌های گوناگون آبیاری بدست آورد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در تیرماه سال ۱۳۸۹ در خاکی با بافت متوسط- شنی در منطقه‌ی قائم آباد در

حومه‌ی شهر کرمان بین ۵۷ درجه و۰۷ دقیقه‌ی طول شرقی و ۳۰درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی، با ارتفاع حدود ۱۷۵۴متراز سطح دریا اجرا گردید.سه قطره چکان با بده‌ی ۴ و ۸ و ۲۴ لیتر بر ساعت، از نوع جبران کننده فشار انتخاب و پیش از انجام آزمایش واسنجی شدند. پس از تسطیح زمین و خرد کردن کلوخه‌ها برای جلوگیری از نا یکنواختی پخش قطره چکان‌ها و از بین بردن اثر شیب، زمین به شش قطعه به ابعاد۵×۵تقسیم و لوله ها روی سطح خاک مستقر شدند.برای انجام هر مرحله از آزمایش ،سه ردیف لوله پلی اتیلنی به فواصل ۲ متری از یکدیگر، جهت بررسی و مشاهده جبهه رطوبتی و عدم تداخل پیاز رطوبتی و راحتی کار حفاری، قرار گرفته و روی هر انشعاب۳ قطره چکان با بده یکسان به فواصل۲ متر از هم (جهت جلوگیری از تاثیر قطره چکان‌ها بر هم)نصب شدند. با وجود تنظیم و کالیبره کردن بده‌ی قطره چکان‌ها در ابتدای آزمایش، در طول آزمایش نیز این بده بارها اندازه گیری شد تا از دقت آن و هدر نرفتن آب اطمینان حاصل شود. از آن‌جا که دیرپایی آبیاری بستگی دارد به اینکه چه دیرپایی پس از شروع آبیاری جبهه رطوبتی به عمق ریشه گیاه یا مضربی از آن می‌رسد، انتخاب زمان‌های کارکرد هر قطره چکان بر همین اساس و با توجه به بده‌های خروجی انجام و شش زمان متناسب با بده‌ی خروجی برای هر قطره چکان انتخاب و برقراری جریان صورت گرفت. دیرپایی آبیاری انتخابی برای مقادیر گوناگون بده قطره چکان در جدول ۱ آورده شده است.

جدول۱- دیرپایی آبیاری انتخابی برای مقادیر گوناگون بده‌ی قطره چکان‌ها.

q (lit/hr)	t_1(hr)	t_2(hr)	t_3(hr)	t_4(hr)	t_5(hr)	t_6(hr)
۴	۴	۸	۱۲	۱۶	۲۰	۲۴
۸	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲
۲۴	۱/۵	۳	۴/۵	۶	۷/۵	۹

پس از پایان دیرپایی آبیاری در هر مرحله از انجام آزمایش، برای هر سری از قطره چکان‌ها جریان قطع گردید. بدیهی است که پس از قطع جریان و پایان دیرپایی آبیاری، نفوذ و توزیع دوباره‌ی آب در خاک ادامه می‌یابد، لذا پس از گذشتن ۲۴ ساعت از زمان قطع جریان و خروج آب ثقلی و رسیدن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی، با ایجاد یک برش به صورت عمودی در زیر قطره چکان تا انتهای پیاز رطوبتی، الگوی خیس شدگی مشاهده و عمق و بیش‌ترین پیشروی افقی پیاز رطوبتی به ازای زمان‌های گوناگون آبیاری تا جایی که مرزبین حجم خیس شده خاک و خاک خشک به خوبی مشخص بود،اندازه گیری شد. با توجه به اینکه عامل گسترش رطوبت در جهت افقی و روی سطح خاک در زمین‌های مسطح نیروی موئینگی است، پیشروی رطوبت در جهت افقی روی سطح خاک نیزاز محل نصب قطره چکان ثبت شد.

نتایج

نتایج اندازه گیری درصد ذرات و برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده اند. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود وضعیت خاک تا عمق ۱۲۰سانتیمتری بررسی و مشاهده شد که در عمق ۰ تا ۶۰ و ۹۰تا ۱۲۰ سانتی متری، بافت خاک متوسط شنی و در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتی متری بافت خاک متوسط می‌باشد. سایر فراسنج‌ها در جدول مذکور آورده شده اند. جدول ۳ تجزیه‌ی کیفی آب آبیاری منطقه‌ی مورد نظر را نشان می‌دهد. بر پایه‌ی این جدول هدایت الکتریکی برابر با ۱/۱۶دسی زیمنس بر متر می‌باشد. سایر فراسنج‌های مورد نیاز از جمله مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها در این جدول بیان شده اند.

جدول۲- برخی ازویژگی‌های فیزیکی خاک مورد آزمایش.

عمق نمونه برداری (cm)	شن (٪)	رس (٪)	لای (٪)	بافت خاک	نسبت جذبی سدیم (SAR)	pH	EC (ds/m)
۰-۳۰	۶۵/۶	۸/۶۰	۲۵/۸۰	متوسط-شنی	۸/۰۷	۸/۰۹	۱/۹۲
۳۰-۶۰	۵۴/۰۰	۱۷/۴۰	۲۸/۶۰	متوسط-شنی	۸/۷۶	۷/۸۸	۵/۳۰
۶۰-۹۰	۵۰/۰۰	۱۱/۰۰	۳۹/۰۰	متوسط	۱۲/۸۵	۷/۷۰	۱۰/۷۳
۹۰-۱۲۰	۷۱/۰۰	۵/۰۰	۲۴/۰۰	متوسط شنی	۱۰/۶۷	۷/۶۶	۸/۱۵

جدول۳-نتایج آزمایش کیفی آب آبیاری کاربردی.

طبقه‌ی آب آبیاری	TDS (mg/lit)	SAR	آنیون‌ها (mg/lit)			کاتیون‌ها (mg/lit)			PH	EC (ds/cm)
			B^-	Cl^-	SO_4^{-2}	HCO_3^-	Na^+	Mg^{++}	Ca^{++}	
C^3-S^1	۷۴۲/۵	۵/۱۸	۰/۶۸	۱۵۹/۵۴	۱۴۵/۶۵	۲۱۰/۴۵	۱۶۴/۷	۳۷/۰۹	۱۴/۵۵	۷/۷۰	۱/۱۶

در این پژوهش پیشروی افقی جبهه‌ی رطوبتی روی سطح خاک با (R_f) پیشروی عمودی جبهه رطوبتی زیر منبع نقطه ای با(Z_f) و پیشروی افقی جبهه رطوبتی زیر منبع نقطه‌ای با (R_s) نشان داده شده است که به بررسی روابط و معادله‌های بدست آمده پرداخته می‌شود:

الف)پیشروی افقی جبهه رطوبتی روی سطح خاک

برای تعیین معادله‌ی پیشروی افقی پیاز رطوبتی روی سطح خاک، مقادیر اندازه گیری شده‌ی شعاع پیاز رطوبتی به عنوان تابعی از زمان آبیاری ترسیم و معادله‌ی منحنی برازش یافته بر آن به شکل کلی زیر آورده شده است:

$$R_f=ae^{bt} \quad (1)$$

در رابطه‌ی بالا:

a,b: ضرایب معادله

R_f: پیشروی افقی جبهه‌ی رطوبتی روی سطح خاک (cm)

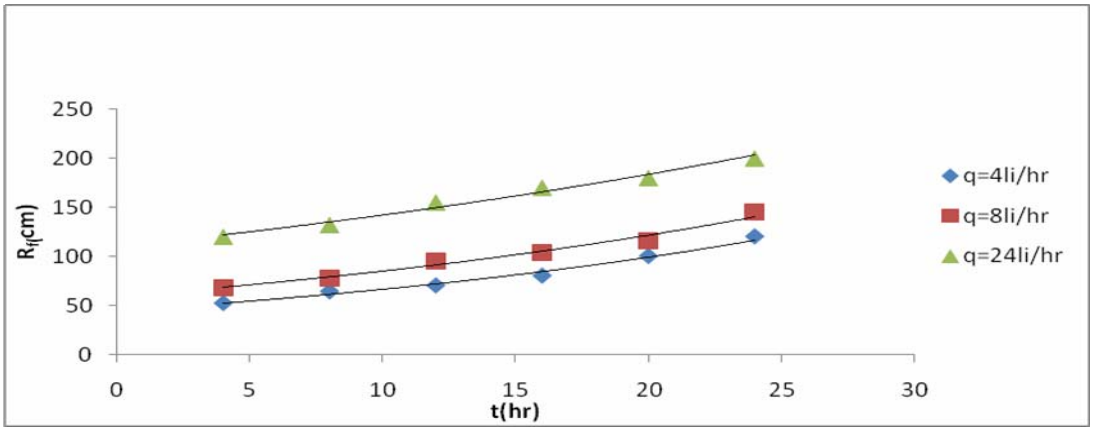
t: دیرپایی آبیاری (hr)

مقادیر فراسنج‌های a وb به همراه ضرایب همبستگی معادلات در جدول ۴ برای بده‌های گوناگون نشان داده شده اند.

جدول ۴-فراسنج‌های رابطه‌ی تغییرات پیشروی افقی پیاز رطوبتی با زمان در سطح خاک.

q (lit/h)	a	b	r
۴	۴۸/۴۲	۰/۰۳۸	۰/۹۹۷
۸	۵۶/۸۷	۰/۰۷۱	۰/۹۹۵
۲۴	۱۱۰/۴	۰/۰۶۷	۰/۹۹۶

روابط ارایه شده دراین جدول با ضریب همبستگی بالایی اندازه‌ی پیشروی افقی پیاز رطوبتی را روی سطح خاک برآورد می‌کنند؛ در نتیجه، می‌توان بر اساس این روابط به ازای زمان‌های گوناگون آبیاری پیشروی افقی روی سطح خاک را با توجه به بده‌ی قطره چکان‌ها تعیین نمود و در نهایت با توجه به مشخص بودن سطحی که هر قطره چکان با بده‌ی مشخص مرطوب می‌کند فاصله‌ی بین قطره چکان‌ها را تخمین زد.



شکل۱-مقایسه‌ی تغییرات پیشروی افقی به عنوان تابعی از زمان به ازای مقادیر گوناگون بده روی سطح خاک.

همانگونه که شکل ۱ نشان می‌دهد اندازه‌ی تغییرات شعاع خیس شده با افزایش دیرپایی آبیاری افزایش می یابد که این روند به ازای سه بده مورد بررسی مشهود است. تابت و زایانی (۲۰۰۸) در ارایه‌ی معادلات پیشروی افقی روی سطح خاک به نتایج مشابهی رسیدند. روابط ارایه شده به وسیله‌ی آن‌ها با ضریب همبستگی بالا، حدود ۰/۹۹۸ دلالت بر دقت بالای روابط در تعیین میزان پیشروی افقی پیاز رطوبتی دارد.

ب)پیشروی عمودی جبهه‌ی رطوبتی زیر قطره چکان

برای تعیین معادله‌ی پیشروی عمودی جبهه رطوبتی زیر منبع نقطه ای (قطره چکان)،مقادیر اندازه گیری شده عمق خیس شده زیر سطح خاک به عنوان تابعی از زمان آبیاری ترسیم و معادله‌ی منحنی برازش یافته بر آن به شکل کلی زیر بدست آمد:

$$Z_f=kt^u \qquad (۲)$$

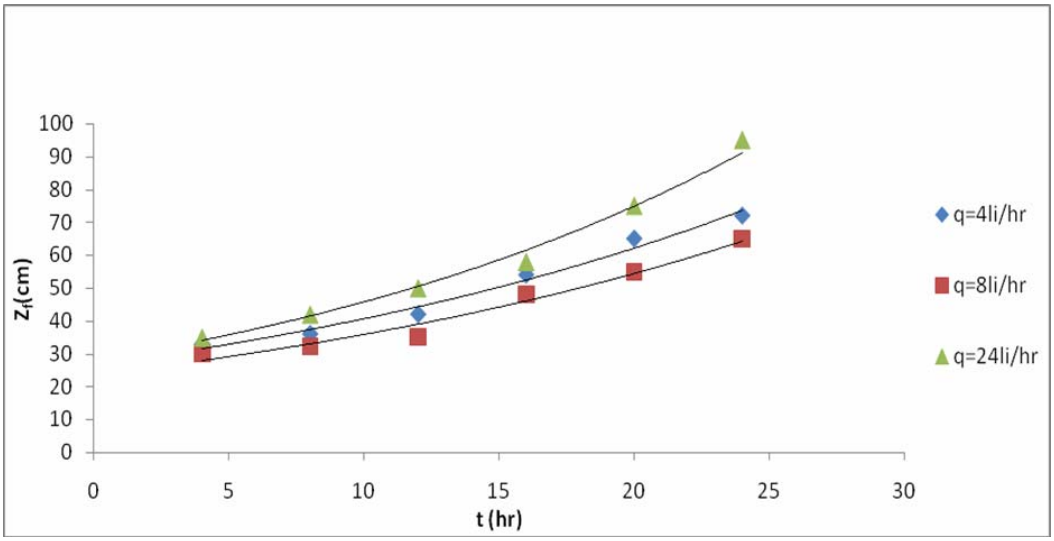
در رابطه‌ی بالا:

k,u:ضرایب معادله،

Z_f: پیشروی عمودی جبهه‌ی رطوبتی زیر قطره چکان (cm)،

t: دیرپایی آبیاری (hr)

مقادیر فراسنج‌های k،u،به همراه ضرایب همبستگی معادلات در جدول ۵ آورده شده است. روابط ارایه شده در جدول با ضریب همبستگی بالایی اندازه‌ی پیشروی عمودی جبهه‌ی رطوبتی زیر قطره چکان را برآورد می‌کنند؛ در نتیجه بر پایه‌ی روابط ارایه شده به ازای زمان‌های گوناگون آبیاری می‌توان اندازه‌ی ژرفای خیس شده‌ی جبهه‌ی رطوبتی را به ازای مقادیر گوناگون بده مورد آزمایش بدست آورد. همچنین، با توجه به ژرفای ریشه‌ی گیاه مورد نظر، دیرپایی آبیاری را که لازم است تا آب به پیرامون ریشه‌ی گیاه برسد، تعیین نمود.



شکل۲- مقایسه‌ی تغییرات پیشروی عمودی به عنوان تابعی از زمان به ازای مقادیر گوناگون بده زیر قطره چکان‌ها.

همان گونه که شکل ۲ نشان می‌دهد، اندازه‌ی تغییرات ژرفای خیس شده با افزایش دیرپایی آبیاری افزایش می یابد که این روند به ازای سه بده‌ی آزمایشی مشهود است. تابت و زایانی (۲۰۰۸) در ارایه‌ی معادلات پیشروی عمودی زیر قطره چکان به نتایج مشابهی رسیدند. روابط ارایه شده به وسیله‌ی آن‌ها با ضریب همبستگی بالایی حدود ۰/۹۹۸ ، دلالت بر دقت زیاد روابط در تعیین میزان پیشروی عمودی پیاز رطوبتی دارد.

جدول ۵-فراسنج‌های رابطه‌ی تغییرات عمق پیاز رطوبتی با زمان در زیر قطره چکان‌ها.

q (lit/h)	k	u	r
۴	۱۵/۶۰	۰/۴۵۴	۰/۹۴۲
۸	۱۹/۳۷	۰/۴۳۶	۰/۹۱۵
۲۴	۲۵/۲۸	۰/۵۲۷	۰/۹۴۶

ج)حداکثر پیشروی افقی پیاز رطوبتی

برای تعیین معادله‌ی پیشروی افقی جبهه‌ی رطوبتی زیر منبع نقطه‌ای (قطره چکان)، مقادیر اندازه گیری شده میزان پیشروی افقی زیر سطح خاک از محل نصب قطره چکان و در راستای عمودی با فواصل ۱۰ سانتی متری برداشت، به عنوان تابعی از زمان آبیاری ترسیم و معادله‌ی منحنی برازش یافته بر آن به شکل کلی زیر بدست آمد:

$$R_s=\lambda t^{\gamma} \qquad (۳)$$

در رابطه‌ی بالا:

λ, γ : ضرایب معادله

R_s: بیش‌ترین پیشروی افقی پیاز رطوبتی زیر قطره چکان (cm)

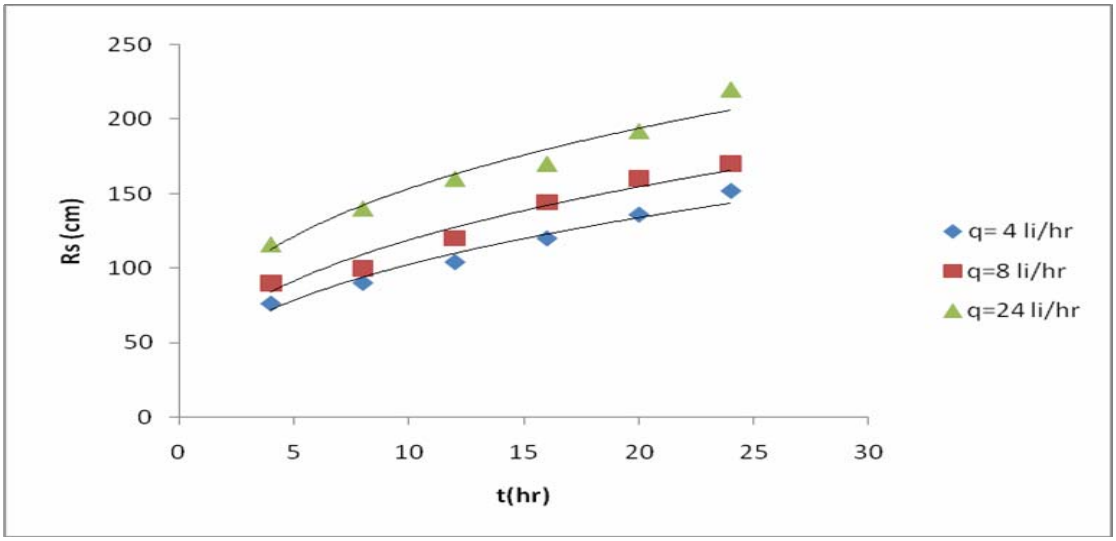
t: دیرپایی آبیاری (hr)

مقادیر γوλ به همراه ضرایب همبستگی معادلات در جدول ۶ آورده شده اند.

جدول ۶-فراسنج‌های رابطه‌ی تغییرات بیش‌ترین پیشروی افقی پیاز رطوبتی با زمان در زیر قطره چکان‌ها.

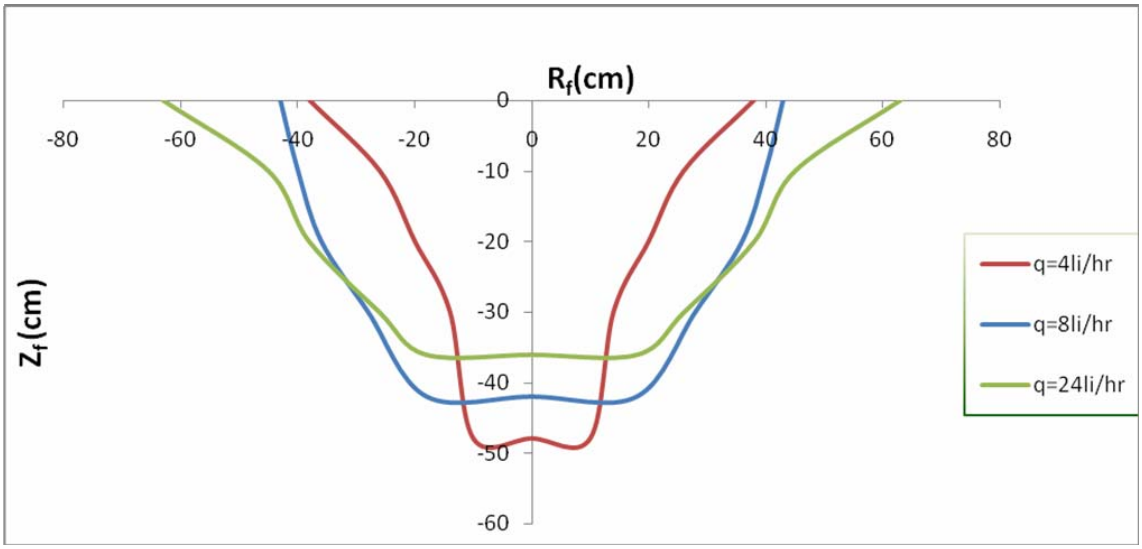
q (lit/h)	λ	γ	r
۴	۴۲/۲۶	۰/۳۸۴	۰/۹۸۱
۸	۶۴/۵۶	۰/۳۷۸	۰/۹۷۲
۲۴	۹۸/۲۳	۰/۳۳۶	۰/۹۸۲

بر اساس روابط ارایه شده به ازای زمان‌های گوناگون آبیاری می‌توان اندازه‌ی بیش‌ترین پیشروی افقی جبهه‌ی رطوبتی را زیر قطره چکان به ازای مقادیر گوناگون بده مورد آزمایش بدست آورد و شکل و حجم پیاز رطوبتی پس از آبیاری را به ازای هر اندازه بده با توجه به بافت خاک مورد نظر و عمق خیس شده‌ی خاک تعیین نمود.



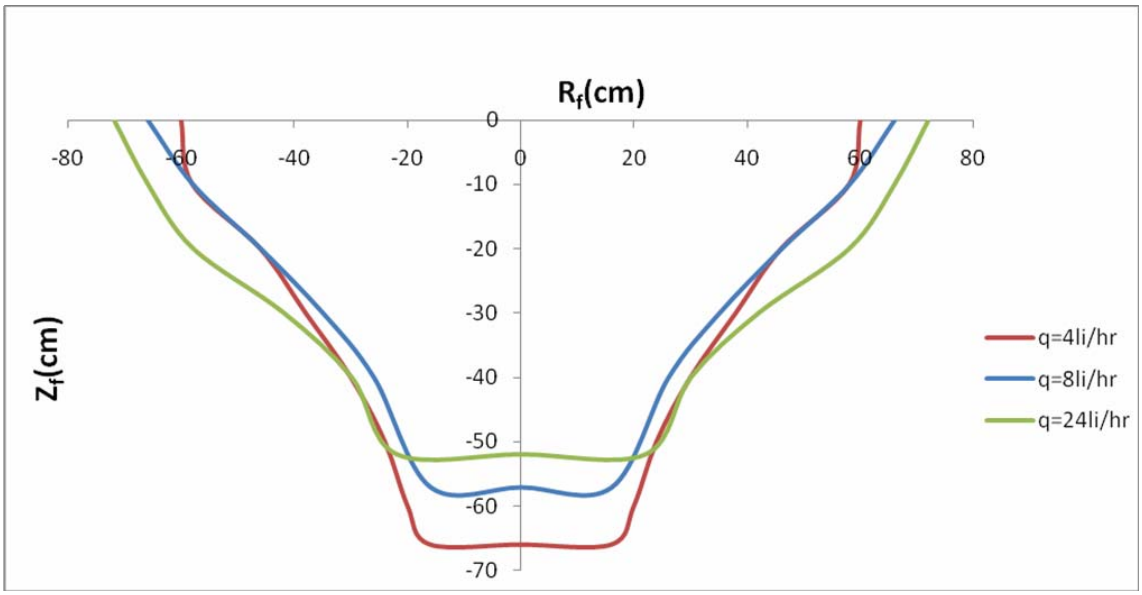
شکل۳- مقایسه‌ی تغییرات پیشروی افقی به عنوان تابعی از زمان به ازای مقادیر گوناگون بده زیر قطره چکان‌ها.

همان گونه که شکل ۳ نشان می‌دهد، اندازه‌ی تغییرات پیشروی افقی زیر قطره چکان با افزایش دیرپایی زمان آبیاری صعودی می باشد که این روند به ازای سه مقدار بده آزمایشی مشهود است؛ مقدار بده بالاتر پیشروی افقی بیشتری را به همراه دارد.



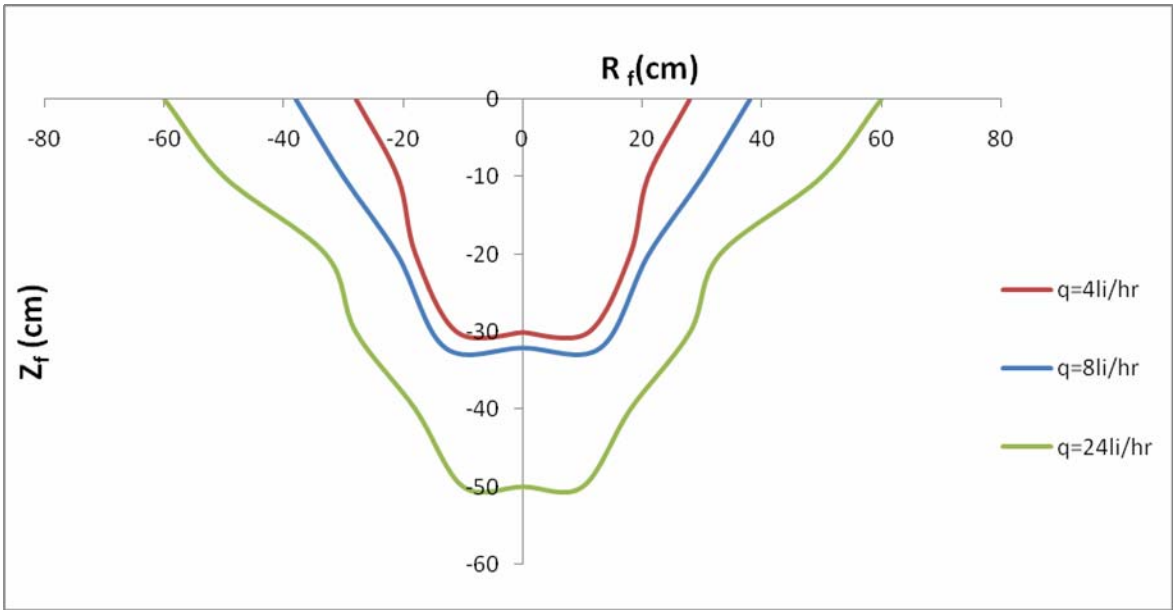
شکل۴-مقایسه‌ی تغییرات نیمرخ الگوی رطوبتی به ازای مقادیر گوناگون بده (حجم آب کاربردی ۴۸ لیتر).

بر اساس شکل ۴ به ازای حجم آب کاربردی ۴۸ لیتر، بیش‌ترین اندازه‌ی پیشروی افقی روی سطح خاک که حدود۱۲۶ سانتیمتراست مربوط به قطره چکانی با بده‌ی ۲۴ لیتر بر ساعت است؛ بیش‌ترین اندازه‌ی پیشروی عمودی زیر قطره چکان که حدود ۴۸ سانتیمتر است، مربوطه به قطره چکانی با بده‌ی ۴ لیتر بر ساعت می‌باشد.

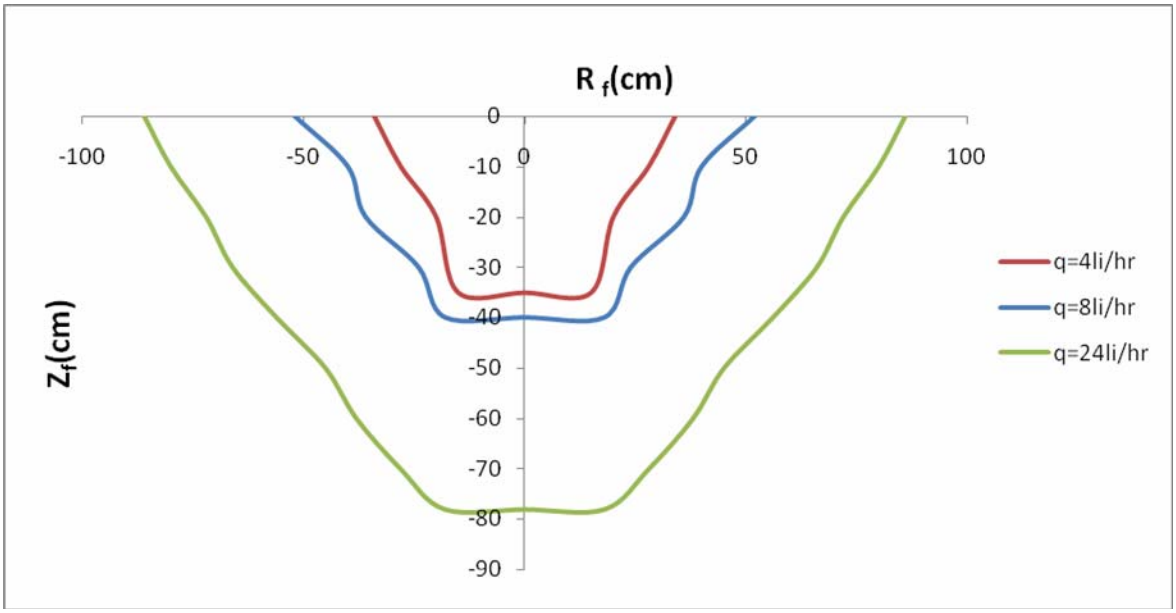


شکل۵-مقایسه‌ی تغییرات نیمرخ الگوی رطوبتی به ازای مقادیر گوناگون بده (حجم آب کاربردی ۹۶ لیتر).

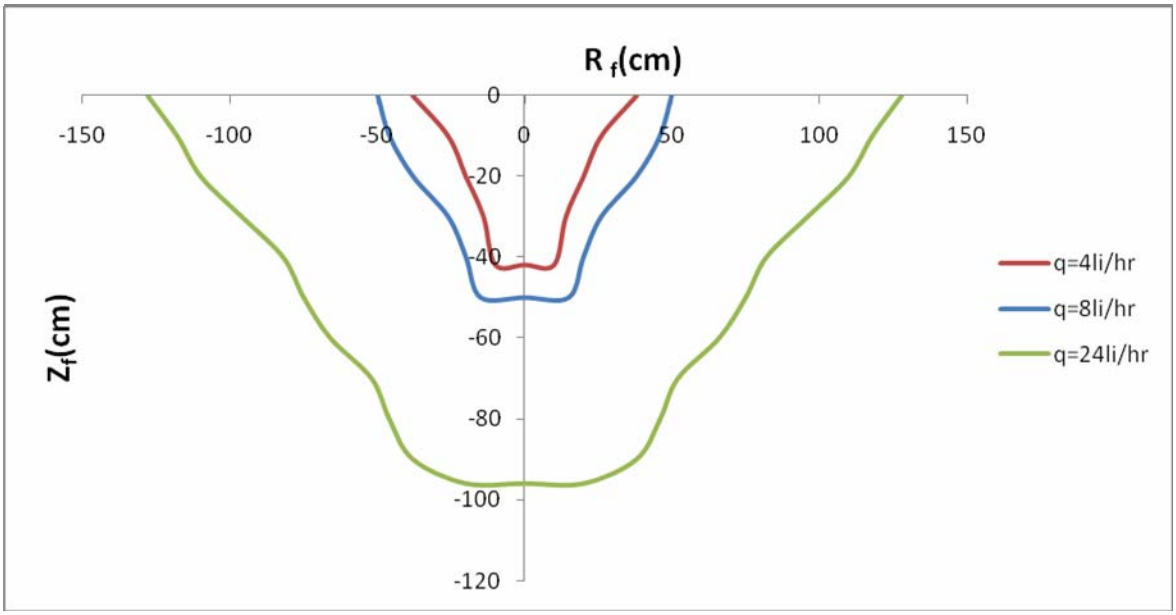
همین طور، در شکل ۵ به ازای حجم آب کاربردی ۹۶ لیتر، بیش‌ترین اندازه‌ی پیشروی افقی روی سطح خاک که حدود ۱۴۴ سانتیمتر است، مربوط به قطره چکانی با بده‌ی ۲۴ لیتر بر ساعت می‌باشد و بیش‌ترین اندازه‌ی پیشروی عمودی زیر قطره چکان که حدود ۶۶ سانتیمتر است مربوطه به قطره چکانی با بده‌ی ۴ لیتر بر ساعت می‌باشد. علی خان و همکاران(۱۹۹۶)، رحیم زادگان (۱۹۷۷) و هاچوم(۱۹۷۳) به نتایج مشابهی در این زمینه رسیدند.



شکل۶-مقایسه‌ی تغییرات نیمرخ الگوی رطوبتی در قطره چکان‌های گوناگون (دیرپایی کارکرد ۴ ساعت).



شکل۷-مقایسه‌ی تغییرات نیمرخ الگوی رطوبتی در قطره چکان‌های گوناگون (دیرپایی کارکرد ۸ ساعت).



شکل۸-مقایسه‌ی تغییرات نیمرخ الگوی رطوبتی در قطره چکان های گوناگون (دیرپایی کارکرد ۱۲ساعت).

بر اساس شکل‌های ۶، ۷ و ۸ که تغییرات جبهه‌ی رطوبتی را در ساعات گوناگون کارکرد قطره چکان (۴و ۸ و۱۲ساعت) نشان می‌دهد، الگوی خیس شدگی خاک برای سه بده‌ی قطره چکان تقریباً مشابه بوده و گسترش پیاز رطوبتی در قطره چکان‌های با بده‌های بالاتر،بیش‌تر است. مصطفی زاده و همکاران (۱۳۷۶) نیز در این زمینه به نتایج مشابهی رسیده‌اند.

بحث و نتیجه گیری

با توجه به مطالب گفته شده، می‌توان نتیجه گیری کرد که به ازای یک حجم ثابت آب آبیاری، با افزایش بده‌ی قطره چکان، شعاع خیس شده‌ی روی سطح خاک افزایش می‌یابد، در حالی که اندازه‌ی عمق خیس شده پیاز رطوبتی کاهش پیدا می کند. گر چه در مجموع، حجم خیس شده‌ی پیاز رطوبتی با افزایش بده بیش‌تر می‌شود. همچنین، با افزایش حجم آب کاربردی اندازه‌ی پیشروی افقی و عمودی جبهه رطوبتی در هر سه بده کاربردی افزایش می‌یابد. حجم آب کاربردی تأثیر مستقیمی بر حجم پیازرطوبتی دارد، به گونه‌ای که با افزایش حجم آب حجم پیاز رطوبتی افزایش می‌یابد. افزایش دیرپایی زمان آبیاری به ازای مقادیر گوناگون بده‌ی قطره چکان‌ها باعث افزایش پیشروی جبهه‌ی رطوبتی در جهات افقی و عمودی می‌گردد. تفاوت پیشروی در جهات افقی و عمودی با قطره چکان‌های ۴ و ۸ لیتر بر ساعت ناچیز است، در صورتی که با قطره چکان‌های ۲۴ لیتر بر ساعت این تفاوت بیش‌تر بوده است. جالب توجه آن که این روند با افزایش دیرپایی کارکرد قطره چکان همچنان ادامه داشته و برقرار بوده است. با توجه به این‌که معادلات ارایه شده دارای ضریب همبستگی بالایی هستند، می‌توان با استفاده از آن‌ها اندازه‌ی پیشروی افقی رطوبت روی سطح خاک را با توجه به طول دیرپایی آبیاری و فاصله‌ی قطره چکان‌ها تخمین زد. همچنین، با توجه به اندازه‌ی پیشروی عمودی جبهه‌ی رطوبتی زیر قطره چکان می‌توان دیرپایی آبیاری را برای رسیدن جبهه‌ی رطوبتی به عمق ریشه‌ی گیاه مورد نظر با توجه به بده‌ی قطره چکان بدست آورد. از نتایج بدست آمده می‌توان در طراحی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای بهره گرفت ،به این صورت که برای محصولاتی با فاصله‌ی کشت زیاد و ریشه های سطحی مقدار بده قطره چکان‌ها را بیش‌تر و برای محصولات با فاصله کشت نزدیک به هم و ریشه‌هایی ژرف بده‌ی قطره چکان‌ها را کم‌تر در نظر گرفت.

منابع

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

۲- شریف نیا، ر.، ف. میرزایی و ع. لیاقت. ۱۳۸۸. عوامل موثر برشکل خیس شدگی خاک در آبیاری قطره ای و اصلاح موقعیت قطره چکانها در اراضی شیبدار، مجله پژوهش آب ایران. ۵: ۹-۱۶.

۳- عباس پلنگی، ج. و ع. آخوندعلی. ۱۳۸۶.یک مدل نیمه تجربی به منظور تخمین ابعاد جبهه رطوبتی در آبیاری قطره ای تحت منبع نقطه‌ای. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲(۴۴): ۸۵-۹۵.

۴- علیزاده، ا.۱۳۸۴ . اصول و عملیات آبیاری قطره ای. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع) مشهد.

۵- مصطفی زاده، ب. س. ف. موسوی؛ م. ح. شریف بیان الحق. ۱۳۷۷. پیشروی جبهه رطوبتی از منبع نقطه ای در سطوح شیب دار .نشریه کشاورزی و منابع طبیعی. ۳(۲):۲۲ ۱۳-۲۲.

۶- نجفی مود، م. ۱۳۸۴. طراحی سیستم های آبیاری تحت فشار (ترجمه). مؤسسه چاپ دانشگاه فردوسی مشهد.

۷- .نصیری، ش. ۱۳۸۹. تعیین معادلات تجربی جهت برآورد ابعاد جبهه رطوبتی تحت آبیاری قطره ای در خاکهای متوسط-شنی.پایان نامه کارشناسی ارشد.دانشگاه آزاد واحد کرمان.

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

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

10- Li, J., J. Zang., and M. Rao. 2004. Wetting patterns and nitrogen distributions as affected by fertigation strategies from a surface point source. Agric.Water Manage. 67: 89-104.

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

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

13- Thabet, M., Kh. Zayani. 2008. Wetting Patterns under trickle source in a loamy sand soil of south Tunisia. Am. Euras. J. Agric. Environ. Sci. 3: 38-42.

14- Thorburn, P. J., F. J. Cook., K. L. Bristow. 2003. Soil-dependent wetting from trikle emitters: implications for systemdesign and management .Irrig. Sci .22: 121-127.