بررسی تراوایی در شرایط تغییر شکل مقطع و شیب در آبیاری جویچه‌ای

پریوش رئیسیان فرد دشتکی[۱]، سید حسن طباطبائی*[۲]، علیرضا حسین پور[۳]، سونیا زبردست[۴]

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۲

چکیده

تراوایی یکی از فراسنجهای مؤثر در آبیاری سطحی است که لزوم اندازه‌گیری آن کاملا مشهود است. عوامل بیشماری از جمله شیب، بده، سطح مقطع و ضریب زبری مانینگ بر تراوایی مؤثر است. در این تحقیق از معادله‌ی کوستیاکف-لوئیز برای تراوایی، و از روش دو نقطه‌ای برای اندازه‌گیری سرعت تراوایی‌پذیری خاک استفاده شده است. این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد انجام گرفته و شامل سه تیمار و سه تکرار در قالب طرح بلوک کامل تصادفی انجام شده است. تغییرات شیب و شکل جویچه در تیمارها و اثر آنها بر توزیع رطوبت در عمق خاک، سرعت تراوایی و روند تراوایی تجمعی در خاک بررسی شده و با استفاده از آزمون LSD تجزیه آماری صورت گرفته است. نتایج نشان دادند که کمترین سرعت تراوایی (۰/۰۰۰۵۲ مترمکعب در دقیقه) و کمترین مقدار تراوایی تجمعی (۰/۰۵ مترمکعب در متر) در تیمارهای مربوط به تغییرشیب مشاهده - شده‌اند. تغییر شیب روی تراوایی‌پذیری، سرعت تراوایی و سرعت تراوایی پایه (f_o) اثرگذار بوده و در سطح آماری ۱ درصد دارای تفاوت آماری است. تغییر سطح مقطع جویچه تفاوت معنی‌داری بر روی سرعت تراوایی پایه ایجاد نکرده و بر روی ضریب (k) و توان (a) معادله کوستیاکف-لوئیز، تغییرات سطح مقطع و شیب تفاوت معنی‌داری ایجاد نشده است. با تغییر سطح مقطع توزیع رطوبت، یکنواختی بیشتری نسبت به تغییر شیب در برداشته است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، شکل مقطع، شیب جویچه، تراوایی.

[۱]- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد- شهرکرد، ایران
[۲]- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد- شهرکرد، ایران
[۳]- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد- شهرکرد، ایران
[۴]- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد- شهرکرد، ایران
*- نویسنده مسئول مقاله: Tabatabaei@agr.sku.ac.ir

مقدمه

تراوایی‌پذیری یکی از مشخصات فیزیکی خاک و از فراسنجهای آبی مؤثر بر آبیاری سطحی است. در واقع نوع سامانه آبیاری که برای یک منطقه برگزیده می‌شود بر اساس خصوصیات تراوایی آب به داخل خاک است. بنابراین، ارزیابی آن از کارهای ضروری است که بایستی صورت پذیرد (رحیم زادگان، ۱۳۷۲، علیزاده، ۱۳۷۴). سرعت تراوایی در ابتدای ورود آب به خاک زیاد بوده و با گذشت زمان کاهش یافته و بالاخره به کمیت ثابتی تنزل می‌کند. تراوایی‌پذیری نهایی خاک از مشخصات هر خاک بوده و مقدار سرعتی است که خاک‌ها در انتهای زمان آبیاری از خود نشان می‌دهند (ویلسون و اسلک، ۱۹۸۲). معادلات تراوایی مختلفی چون کوستیاکف، SCS، هورتون و کوستیاکف- لوئیز به منظور تعیین تراوایی آب به خاک به کار می‌روند. کلمنز (به نقل از رئوف و همکاران، ۱۳۹۰)، معادلات مختلفی را برای استفاده در آبیاری سطحی مورد مطالعه قرار داده است. وی پیشنهاد نموده که نتایج معادلات تجربی بهتر از معادلات فیزیکی با داده های صحرایی مطابقت می‌کند و استفاده از معادله‌ی کوستیاکف-لوئیز را توصیه نموده است.

کوستیاکف (۱۹۳۲) معادله‌ی تجربی را برای سرعت تراوایی آب در خاک به‌شکل زیر پیشنهاد نموده است:

$$Z = kt^a \qquad (۱)$$

که در آن Z تراوایی تجمعی (مترمکعب در متر)، t فرصت زمان تراوایی (دقیقه)، a و k فراسنجهای تجربی می‌باشند که برای خاکهای مختلف متفاوت بوده و از نظر فیزیکی مفهوم ندارند. یکی از معایب این معادله آن است که در زمان‌های طولانی سرعت تراوایی به سمت صفر میل می‌کند که با واقعیت مطابقت ندارد. معادله‌ی تراوایی کوستیاکف-لوئیز به‌شرح زیر برای رفع این مشکل پیشنهاد گردید:

$$Z = kt^a + f_0 t \qquad (۲)$$

که در این معادله Z : تراوایی تجمعی، t : فرصت تراوایی، a و k : فراسنجهای تجربی و f_0: سرعت تراوایی پایه خاک (متر در دقیقه) می‌باشند. این معادله بهتر از معادلات دیگر تراوایی، با وضعیت خاک هماهنگی داشته و عموما در طراحی سامانه‌های آبیاری از این معادله استفاده می‌گردد (الیوت و واکر، ۱۹۸۲).

روشهای مختلفی به منظور تعیین مقدارسرعت تراوایی‌پذیری نهایی خاک ارائه شده است. یکی از این روشها، استفاده از روش شیار مسدود[1] می‌باشد. در این روش از اطلاعات تراوایی‌سنج شیار مسدود شده در زمان چند ساعت استفاده شده و سرعت تراوایی ثابت را به عنوان f_0 (سرعت تراوایی پایه) در نظر می‌گیرند. روش دیگر تعیین سرعت تراوایی‌پذیری پایه، استفاده از اطلاعات و داده‌های پیشروی است. در این روش، با استفاده از معادلات بالانس حجمی و زمان پیشروی نسبت به تعیین تراوایی‌پذیری نهایی خاک اقدام می‌شود. روش دیگر تعیین تراوایی‌پذیری نهایی خاک، برآورد این مقدار با استفاده از جداول ارائه شده در این زمینه می‌باشد. روش دیگر، استفاده از اطلاعات ورودی- خروجی[2] می‌باشد که بایستی بده‌ی ورودی و خروجی در ابتدا و انتهای فارو اندازه گیری شود (الیوت و واکر، ۱۹۸۲، فتاح و آپدهایا، ۱۹۹۶، تئوری واکر و همکاران،۱۹۸۲).

شبیه‌های شبیه‌سازی شده‌ی آبیاری سطحی با استفاده از معادله‌ی تراوایی خاصی که از اطلاعات مزرعه‌ای به‌دست می‌آید، قابل حل است. کلمنز (به نقل از رئوف و همکاران، ۱۳۹۰) متذکر شد که معادلات تجربی تراوایی، نسبت به معادلاتی که دارای پایه‌ی فیزیکی و انگاره‌ای هستند، از دقت بالاتری برخوردار بوده، و با اطلاعات مزرعه‌ای هماهنگی بیشتری دارند. در کل وی استفاده از معادله‌ی کوستیاکف-لوئیز را برای مقاصد آبیاری پیشنهاد نمود. رسول‌زاده و سپاسخواه (۲۰۰۳) اظهار نمودند که تغییرات مکانی سرعت تراوایی، مدیریت آبیاری جویچه‌ای را پیچیده‌تر می‌کند، زیرا خصوصیات تراوایی آب به داخل خاک ممکن است در مقادیر متفاوت سرعت جریان آب به داخل جویچه، شکل هندسی مقطع و حجم جریان ورودی تغییر نماید. هولزافل و همکاران (۲۰۰۴) به ارزیابی چهار روش مختلف برای تعیین ثابتهای معادله‌ی کوستیاکف برای دو اندازه‌ی مختلف جویچه (جویچه باریک به عرض ۴۰ سانتی‌متر و جویچه به عرض

[1]- Blocked furrow
[2]- Inflow-outflow method

۶۰ سانتی‌متر) پرداختند. روشهای مختلف برای تعیین ویژگیهای تراوایی در این مطالعه، شامل روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (۱۹۸۲)، تراوایی‌سنج جویچه (روش ورودی و خروجی)، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۹۹۳) و پیشروی بنامی و افن (۱۹۸۴) بوده است. نتایج نشان دادند، که مقدار توان معادله‌ی کوستیاکف به نوع روش تعیین ویژگی‌های تراوایی، و اندازه‌ی جویچه ندارد. منحنی تراوایی تجمعی برای جویچه‌های باریک در هر چهار روش تقریبا مشابه و مستقل از نوع روش به کار رفته بوده است. در حالی که منحنی تراوایی تجمعی برای جویچه‌های عریض بستگی به نوع روش داشته است. با استفاده از ثابتهای معادله‌ی کوستیاکف بدست آمده در هر چهار روش و با به کارگیری شبیه موج سینماتیک، مرحله‌ی پیشروی در جویچه‌ها تخمین زده شده است. نتایج نشان داده‌اند که برای جویچه‌های عریض، روش دو نقطه ای الیوت و واکر (۱۹۸۲) و برای جویچه‌های باریک، روش پیشروی بهترین عملکرد را داشته است. خاطری و اسمیت (۲۰۰۵) به ارزیابی شش روش تراوایی‌پذیری برای تعیین فراسنجهای تراوایی در آبیاری جویچه‌ای پرداختند. روشهای مذکور شامل روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (۱۹۸۲)، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۹۹۳)، با استفاده از شبیه رایانه‌ای INFILT برای همه‌ی داده‌های صحرایی، بیشترین دقت را داشت. همچنین، به صورت کلی روشهای دو نقطه‌ای الیوت و واکر (۱۹۸۲) و تابع خطی تراوایی نیز عملکرد خوبی داشتند. در این مطالعه، از روش دونقطه‌ای الیوت واکر (۱۹۸۲) استفاده شده است. رئوف و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که نتایج آزمایشهای تراوایی در حالت اشباع و غیر اشباع نشان می‌دهد که سرعت تراوایی نهایی (تراوایی پس از رسیدن به حالت ماندگار) در اراضی شیب‌دار، کمتر از اراضی افقی است و با افزایش شیب، مقدار سرعت تراوایی و تراوایی تجمعی کاهش می‌یابند. شوانکل و همکاران (۲۰۰۰)، تغییرات تصادفی شکل هندسی جویچه، سومین عامل مؤثر بر میانگین عمق تراوایی و یکنواختی توزیع می‌باشد، که این مطلب نتیجه‌ی تأثیر مشترک بده، تراوایی و شکل هندسی می‌باشد. هولزاپفل وهمکاران (۲۰۰۴)، در تحقیقات خود نشان‌دادند، تراوایی آب در جویچه، تحت تأثیر عواملی چون شکل جویچه، اندازه جویچه و سطح تماس آب با خاک در جویچه (محیط خیس شده) قرار می‌گیرد. آن‌ها بیان کردند، جویچه‌هایی که محیط خیس شده‌ی بزرگتری دارند، ظرفیت بیشتری را نیز برای تراوایی آب دارا می‌باشند. همچنین، زمان پیشروی در جویچه‌ی باریک، کمتر از زمان پیشروی در جویچه‌ی پهن است. ناصری و همکاران (۲۰۰۴)، با ایجاد همبستگی ساده و جزئی بین تراوایی تجمعی و متغیرهای مستقل تراوایی دریافتند که، اثر سطح مقطع جریان و محیط خیس شده، بر تراوایی تجمعی معنی‌دار بوده است. یانتس و ایزنهر (۲۰۰۷)، گزارش کردند که در آبیاری جویچه‌ای (شامل جویچه‌های یک در میان، انتها بسته و انتها باز) بافت خاک، شیب جویچه، شرایط سطح خاک (نرمی و زبری، رطوبت و خشکی خاک)، میزان تراوایی‌پذیری و سرعت پیشروی آب در جویچه، بر یکنواختی توزیع آب و کود تاثیر دارد. چان‌یانگ و همکاران (۲۰۱۳)، در تحقیقات خود در مناطق کوهستانی شمال شرق آسیا گزارش دادند که، شیب، نقش قابل توجهی در توزیع رطوبت بازی می‌کند و نیز لواندا و همکاران (۲۰۱۳) پستی و بلندی را عامل اصلی مهارکردن و القای تغییرات، در فراسنجهای فیزیکی، شیمیایی و کانی شناسی در نظر گرفتند.

هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر شکل و شیب جویچه بر روی میزان تراوایی می‌باشد و تعیین اینکه کدامیک از این فراسنجها تأثیر بیشتری بر میزان تراوایی، سرعت تراوایی، یکنواختی توزیع رطوبت و ضرایب معادله‌ی کوستیاکف-لوئیز دارند، و در نهایت معرفی بهترین شرایط برای افزایش میزان تراوایی وکارکرد سامانه‌ی آبیاری جویچه‌ای می‌باشد.

مواد و روش ها

این تحقیق در تابستان ۱۳۹۱، در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد با طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه‌ی شرقی، عرض ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه‌ی شمالی و ارتفاع از سطح دریای ۲۰۷۰ متر واقع در بخش مرکزی زاگرس، انجام شده است. آزمایشها در شرایط مکانی مناسب، با شیب و بافت خاک یکنواخت و نزدیک به منبع آب انجام شده است. منبع آب مورد استفاده چاه بوده که در نزدیکی مزرعه‌ی مورد مطالعه قرار داشته است.

مشخصات آب مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ و خصوصیات خاک در جدول ۲ آورده شده است.

تیمارهای تحقیق عبارتند از: ۱- مقطع جویچه ثابت-شیب ثابت (شاهد)، ۲- مقطع جویچه ثابت-شیب مقعر، ۳- مقطع جویچه متغیر-شیب ثابت. که هر کدام از تیمارها در ۳ تکرار و با استفاده از طرح آزمایشی بلوک کامل تصادفی انجام شده است. تحلیل آماری در نرم افزار SAS تحت آزمون LSD صورت گرفته است.

مزرعه‌ی موردنظر، ابتدا به‌وسیله‌ی تراکتور شخم، و سپس دیسک زده شده و بعد از آن جویچه‌هایی به طول ۱۰۰ متر و فاصله‌ی ۷۰ سانتیمتر (فاصله بین جویچه‌ها) به‌وسیله‌ی نهرکن ایجاد شده است. به کمک عملیات بندکشی و دوربین نقشه برداری، شیب زمین، یکنواخت سازی شده است. شیب متوسط زمین ۳ درصد بوده که در کل جویچه‌های با شکل ثابت و مقطع متغیر اجرا شده است. اجرای شیب در قسمت شیب مقعر بدلیل زیادبودن حجم خاکبرداری و خاکریزی توسط لودر انجام، و سپس دیسک و شخم زده شده است (در قسمت شیب مقعر جویچه به ۴ قسمت تقسیم شد و شیبهای یک چهارم اول ۴/۵ درصد، یک چهارم دوم ۳/۷۵ درصد، یک چهارم سوم ۲/۲۵ درصد و یک چهارم نهایی، ۱/۵ درصد بوده است که این شیبها به گونه‌ای انتخاب شده‌اند، که در نهایت متوسط شیبهای انتخابی، برابر ۳ (همان شیب متوسط زمین) بدست آمده است). نمایی از تیمار شیب مقعر بر سطح زمین، در شکل ۱ نشان داده شده است.

اجرای تیمار سطح مقطع متغیر به صورت دستی انجام شده، به صورتی که جویچه به سه قسمت تقسیم شده و سطح مقطع به‌وسیله‌ی عملیات خاکریزی، به سطح مقطع مورد نظر تغییر داده شده است (یک سوم اول عرض مقطع ۷۰ سانتی‌متر، یک سوم دوم عرض مقطع ۶۰ سانتی‌متر و یک سوم نهایی ۵۰ سانتی‌متر است). نمایی از تیمار سطح مقطع متغیر بر سطح زمین در شکل ۲ آورده شده است. در همه تیمارها، پس از اجرای شکل و شیب موردنظر، برای ثابت ماندن شکل و شیب جویچه‌ها قبل از آزمایشات تراوایی، عملیات آبیاری انجام گرفته است.

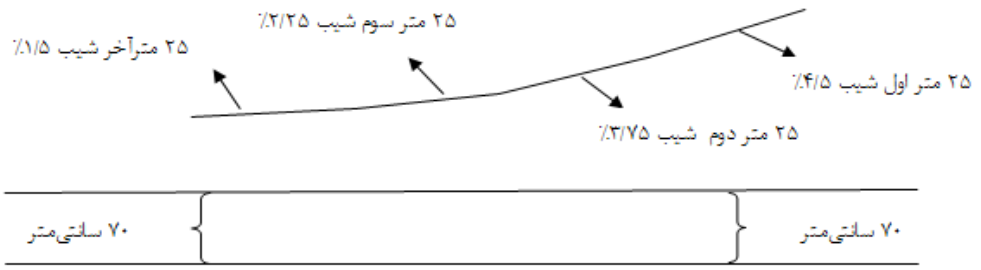
در کنار هر کدام از جویچه‌ها یک جویچه‌ی محافظ (بافر) برای جلوگیری از تأثیر تیمارها بر یکدیگر احداث، و بده در آزمایش تراوایی ۰/۹ لیتر بر ثانیه انتخاب شده است. این بده بر اساس روش سعی و خطا و همچنین مهارکردن، با نرم افزار WinSRFR31 و شبیه‌سازی با شرایط مزرعه توسط این نرم افزار انتخاب شده و آزمایش تراوایی به روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (۱۹۸۲) انجام شده است.

جدول ۱- خصوصیات آب آبیاری (طاهری‌سودجانی، ۱۳۹۱).

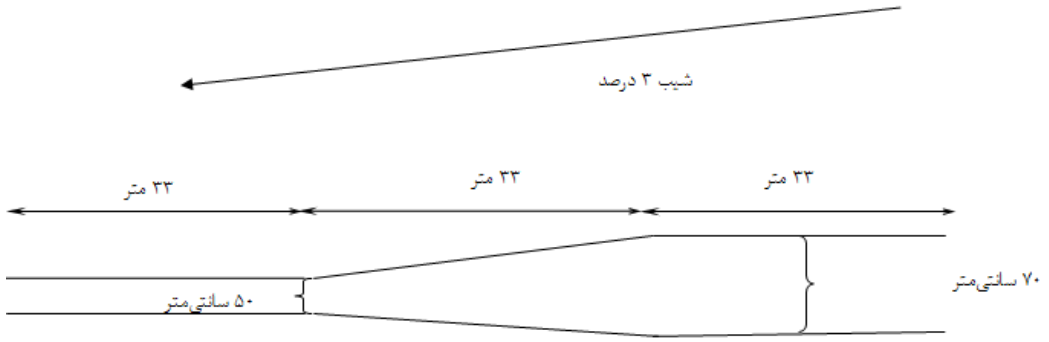
PH	EC (ds/m)	TDS (mg/L)	TSS (mg/L)	SAR $(mmol/lit)^{0.5}$	$N\text{-}NO_3^-$ (mg/L)
۷/۵۴	۰/۳	۳۸	۰	۰/۱۳	۲/۶۱

جدول ۲- خصوصیات خاک آزمایش.

PH	EC (ds/m)	بافت خاک	درصد رس	درصد شن	جرم ویژه‌ی ظاهری (gr/cm^3)	جرم ویژه‌ی حقیقی (gr/cm^3)	درصد لای	$N\text{-}NO_3^-$ (mg/L)
۷/۱	۰/۱۹	لای متوسط	۲۱/۵	۲۸/۲	۱/۱۵	۲/۶۱	۵۰/۳	۴/۵۵



شکل ۱- نمایی از مقطع طولی و عرضی جویچه‌های شیب مقعر.



شکل ۲- نمایی از مقطع طولی و عرضی جویچه های با سطح متغیر.

نتایج و بحث

تخمین تراوایی در شرایط معمولی (شیب و شکل مقطع ثابت)

در شکل ۳، قسمت الف، میانگین سرعت تراوایی و در قسمت ب، میانگین تراوایی در همه‌ی تیمارها نشان داده شده‌است. در این اشکال می‌توان روند سرعت و مقدار تراوایی را در تیمارها با هم مقایسه کرد. همه تیمارها در سه تکرار انجام شده‌اند و هر کدام از نمودارهای یک تیمار با میانگین‌گیری از هر سه تکرار بدست آمده است. همانگونه که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، در تیمار مقطع ثابت-شیب ثابت، ابتدا سرعت تراوایی زیاد است و پس از ۵ دقیقه یکنواخت می‌شود و در زمان حدود ۲۰ دقیقه به مقدار ثابتی می‌رسد. سرعت تراوایی پس از ثابت شدن بطور متوسط، در هر سه تکرار به میزان ۰/۰۰۰۷۸ مترمکعب در دقیقه می‌باشد. این تیمار نشان می‌دهد که سرعت تراوایی، پس از مدت زمان کوتاهی به میزان ثابتی رسیده است. این عمل باعث افزایش یکنواختی بیشتر تراوایی آب به داخل خاک می‌شود.

تخمین تراوایی در شرایط تغییر شکل مقطع

در این تیمار برای بدست‌آوردن سطح مقطع دو روش پیشنهاد شده است:

۱- در نظر گرفتن سطح مقطع ابتدای جویچه طبق روش الیوت و واکر (۱۹۸۲)

۲- میانگین‌گیری از سه مقطع اجرایی در جویچه

با توجه به شکل ۳، این تیمار در هر دو روش روند مشابهی از لحاظ سرعت تراوایی را نشان داده است. در هر دو روش، سرعت در ابتدا بسیار زیاد، و نمودار آن با شیب بیشتری نسبت به سطح مقطع و شیب ثابت کاهش یافته است. بطور مشابه، با تیمار شاهد (مقطع ثابت-شیب ثابت) در زمان ۵ دقیقه سرعت یکنواخت، و نیز در زمان ۲۰ دقیقه یکنواختی بیشتر شده است و در هر دو روش به‌دست آوردن سطح مقطع، مقدار زمان ثابت شدن برابر است. سرعت تراوایی پس از ثابت شدن بطور متوسط در هر سه تکرار در روش اول به میزان ۰/۰۰۰۶۶۹ مترمکعب در دقیقه و در روش دوم ۰/۰۰۰۶۷ مترمکعب در دقیقه می‌باشد. این اعداد نشان می‌دهند که میزان سرعت تراوایی در مقطع متغیر، میزان کمتری نسبت به تیمار مقطع ثابت-شیب ثابت داشته و در نتیجه، افزایش میزان تراوایی نسبت به این جویچه‌ها را دربر خواهد داشت. این نتایج بدست آمده با نتایج اسچوانکل و همکاران (۲۰۰۰)، که تغییرات تصادفی شکل هندسی جویچه را سومین عامل مؤثر در میزان تراوایی‌پذیری دانسته، نتایج رسول‌زاده و سپاسخواه (۲۰۰۳) ، یانتس و ایزنهر (۲۰۰۷)، و نتایج بخشی (۱۳۹۰)، که بالاترین بازده را به تیمار سطح متغیر (کاهش سطح مقطع) اختصاص داده‌اند، و نیز با نتایج جول و مسینگ (۲۰۰۰)، کاسانوا و همکاران (۲۰۰۰)، و رئوف و همکاران (۱۳۹۰) انطباق دارد.

در معادله‌ها، مقدار سرعت تراوایی پایه (f_0)، در دو روش یکسان به‌دست آمده و روش تعیین سطح مقطع تأثیری بر مقدار آن نداشته، در حالیکه در مقدار k و a تأثیرگذار بوده است و به‌طور کلی، در دو روش بکار برده شده، مقدار a (a=۰/۳۸۶) در روش اول و مقدار k (k=۰/۰۰۴۹۷) در روش دوم بیشتر بدست آمده است.

تخمین تراوایی در شرایط تغییر شیب

در هر سه تکرار مربوط به تیمار شیب مقعر، نتایج مشابه به‌دست آمده، و مشابه حالت‌های قبلی در زمان ۵

دقیقه سرعت یکنواخت، و در زمان ۲۰ دقیقه یکنواختی بیشتر شده است. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، در این تیمار میزان تراوایی نسبت به بقیه تیمارها کمتر بدست آمده است. این نتایج حاصل از تأثیر بسیار زیاد تغییر شیب بر روی میزان تراوایی می‌باشد. در این تیمار متوسط سرعت تراوایی در هر سه تکرار ۰/۰۰۰۵۲ مترمکعب در دقیقه بدست آمده و مقدار آن از بقیه تیمارها کمتر است. این تفاوت به‌دلیل اختلاف در نحوه‌ی آرایش ذرات ایجاد شده است و با نتایج بخشی (۱۳۹۰)، که مقدار تراوایی متوسط در تیمار شیب مقعر را گزارش کرده است، انطباق دارد.

مقایسه اثر شیب و شکل مقطع

آزمایشها نشان دادند که، با تغییر شکل و شیب، میزان تراوایی و سرعت تراوایی به صورت چشمگیری تغییر کرده است و در عمل نشان داده شده که در جویچه‌های با شیب مقعر میزان تراوایی جانبی بیشتر از سایر تیمارها بوده است و این بدلیل کم بودن میزان سرعت تراوایی نسبت به سایر تیمارها می‌باشد. شکل ۳ نشان داد که روند تغییرات سرعت تراوایی در همه تیمارها یکسان، و تغییرات، تنها بر روی میزان سرعت تراوایی پس از یکنواختی آن بوده است و سرعت شروع تراوایی در هر سه تیمار یکسان، و با گذشت زمان میزان تغییرات قابل مشاهده است. این نتایج با نتایج رسول‌زاده و سپاسخواه (۲۰۰۳)، و یانتس و ایزنهر (۲۰۰۷)، که بیان‌کردند که با تغییر شیب و سطح مقطع و تغییر جریان ورودی، سرعت جریان آب و تغییر تراوایی‌پذیری متفاوت است، انطباق دارد.

در جدول ۳، معادله‌های مقدار و سرعت تراوایی در همه تیمارها ارائه شده است. در جدول ۴، مقدار ضرایب معادله‌ها به ترتیب آورده شده که امکان مقایسه را برای ما راحت‌تر کرده است. در شکل ۴، مقدار ضرایب معادله‌ی کوستیاکف-لوئیز به تفکیک در نمودارها نشان داده شده است.

کمترین مقدار سرعت تراوایی پایه (۰/۰۰۰۳۵۵ متر در دقیقه)، مربوط به تیمار مقطع ثابت-شیب مقعر و بیشترین مقدار (۰/۰۰۰۵۱۲ متر در دقیقه) آن مربوط به تیمار مقطع متغیر-شیب ثابت (در هردو روش) می‌باشد که با نتایج تحقیقات یانتس و ایزنهر (۲۰۰۷) که بیان‌کردند، تغییر سطح مقطع باعث یکنواختی تراوایی در خاک می‌شود و مقدار سرعت تراوایی پایه تنها میزان تراوایی‌پذیری را نشان می‌دهد، تطابق دارد. بیشترین مقدار a مربوط به تیمار مقطع ثابت-شیب ثابت و کمترین آن مربوط به تیمار مقطع متغیر-شیب ثابت (در هردو روش) می‌باشد. بیشترین میزان k مربوط به تیمار مقطع متغیر-شیب ثابت (در هردو روش) می‌باشد و کمترین مقدار مربوط به تیمار مقطع ثابت-شیب مقعر می‌باشد و این نتایج در شکل ۴ مشهود است.

جدول ۳- معادله‌های مقدار و سرعت تراوایی در تیمارهای مختلف.

تیمار	میانگین معادله نفوذ	میانگین معادله سرعت نفوذ
مقطع ثابت-شیب ثابت	$Z=۰/۰۰۳۲۶t^{۰/۵۴۹}+۰/۰۰۰۴۸۵t$	$I=۰/۰۰۱۵t^{-۰/۳۸۵}+۰/۰۰۰۴۸۵$
مقطع ثابت-شیب مقعر	$Z=۰/۰۰۳۶۲t^{۰/۴۴۳}+۰/۰۰۰۳۵۵t$	$I=۰/۰۰۱۴۲t^{-۰/۴۴۲}+۰/۰۰۰۳۵۵$
مقطع متغیر - شیب ثابت (روش ۱)	$Z=۰/۰۰۴۹۶t^{۰/۳۸۶}+۰/۰۰۰۵۱۲t$	$I=۰/۰۰۱۵t^{-۰/۲۸}+۰/۰۰۰۵۱۲$
مقطع متغیر - شیب ثابت (روش ۲)	$Z=۰/۰۰۴۹۷t^{۰/۳۸۵}+۰/۰۰۰۵۱۲t$	$I=۰/۰۰۱۸t^{-۰/۲۸}+۰/۰۰۰۵۱۲$

جدول ۴- مقادیر سرعت تراوایی پایه، ضریب و توان معادله‌ی تراوایی در تیمارهای مختلف.

تیمار	ضریب معادله نفوذ (k)	توان معادله نفوذ (a)	سرعت نفوذ پایه (f_0)
مقطع ثابت-شیب ثابت	۰/۰۰۳۲۶	۰/۵۴۹	۰/۰۰۰۴۸۵
مقطع ثابت-شیب مقعر	۰/۰۰۳۲۶	۰/۴۳۳	۰/۰۰۰۳۵۵
مقطع متغیر- شیب ثابت (روش ۱)	۰/۰۰۴۹۶	۰/۳۸۶	۰/۰۰۰۵۱۲
مقطع متغیر- شیب ثابت (روش ۲)	۰/۰۰۴۹۷	۰/۳۸۵	۰/۰۰۰۵۱۲

جدول ۵- جدول تجزیه‌ی وردایی مقادیرسرعت تراوایی پایه (f_0) در تیمارهای طرح.

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	معنی‌داری
بلوک	۲	۵/۲۸*۱۰$^{-۹}$	۲/۶۴*۱۰$^{-۹}$	۰/۱۱۷۹^{ns}
تیمار	۳	۵/۰۷*۱۰$^{-۸}$	۱/۶۹*۱۰$^{-۸}$	۰/۰۰۱۶**
خطا	۶	۵/۰۸*۱۰$^{-۹}$	۸/۴۶*۱۰$^{-۱۰}$	
کل	۱۱	۶/۱۱*۱۰$^{-۸}$		

** معنی دار بودن اثر تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۶- جدول تجزیه‌ی وردایی **مقادیر توان معادله‌ی تراوایی (a) در تیمارهای طرح.**

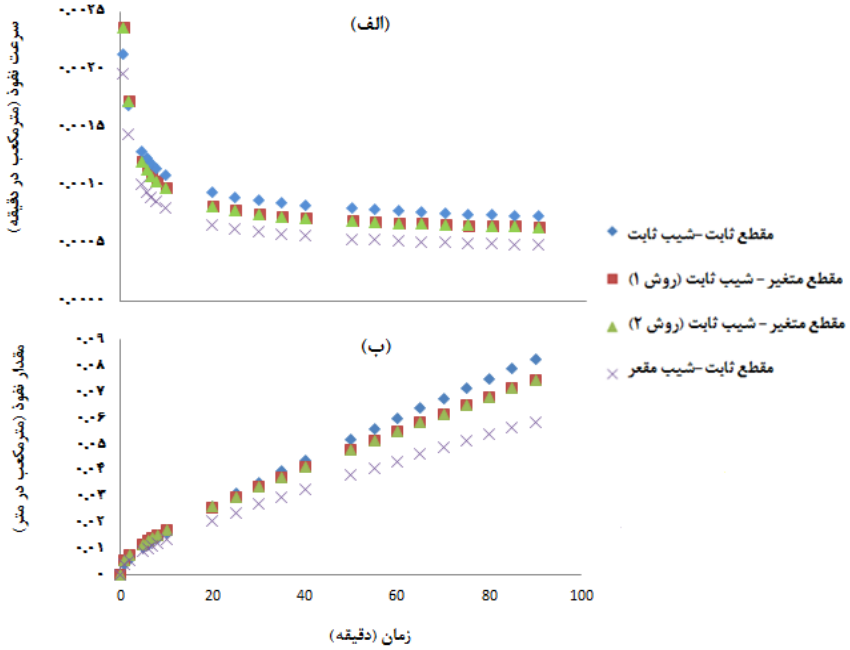
منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	معنی‌داری
بلوک	۲	۰/۱۱	۰/۰۵۵	۰/۰۶۲۵^{ns}
تیمار	۳	۰/۰۲۹	۰/۰۰۹۷۸	۰/۵۳۲۷^{ns}
خطا	۶	۰/۰۷۲	۰/۰۱۲	
کل	۱۱	۰/۲۱		

** معنی دار بودن اثر تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

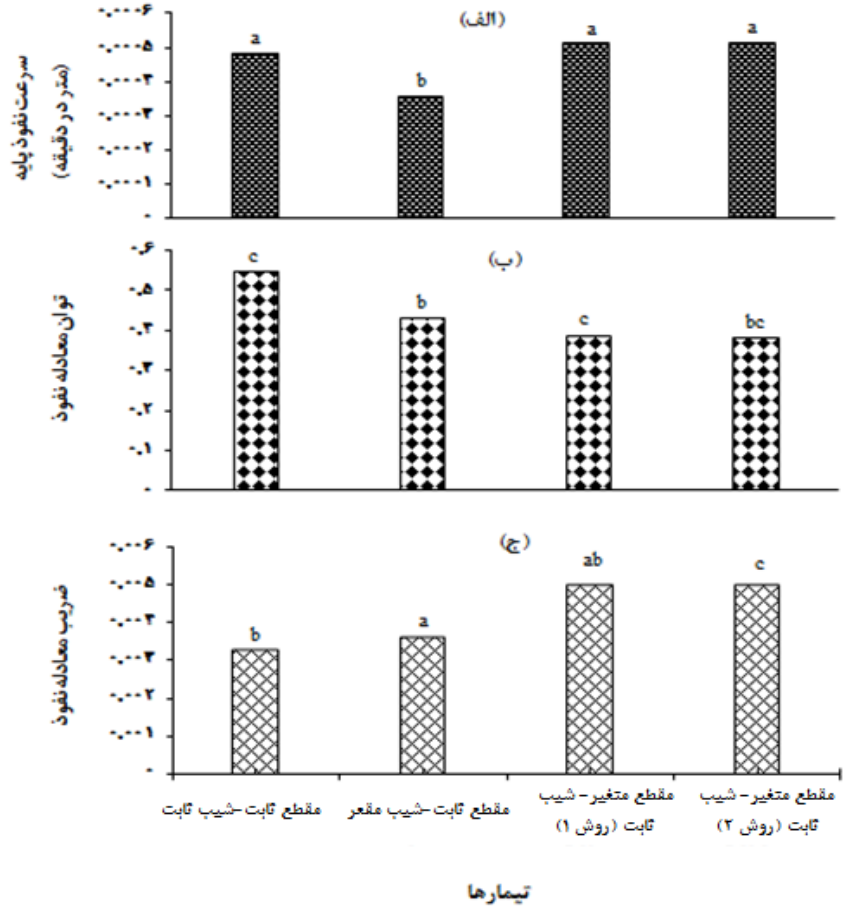
جدول ۷- جدول تجزیه‌ی وردایی مقادیر ضریب معادله‌ی تراوایی (k) در تیمارهای طرح.

منابع تغییرات	درجه‌آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	معنی‌داری
بلوک	۲	۲/۷۴*۱۰$^{-۷}$	۱/۳۷*۱۰$^{-۷}$	۰/۸۸۱۳^{ns}
تیمار	۳	۵/۸۸*۱۰$^{-۶}$	۱/۹۶*۱۰$^{-۶}$	۰/۲۳۹^{ns}
خطا	۶	۰/۰۰۰۰۶۱۵	۰/۰۰۰۰۱۰۶	
کل	۱۱	۰/۰۰۰۱۲۵۱		

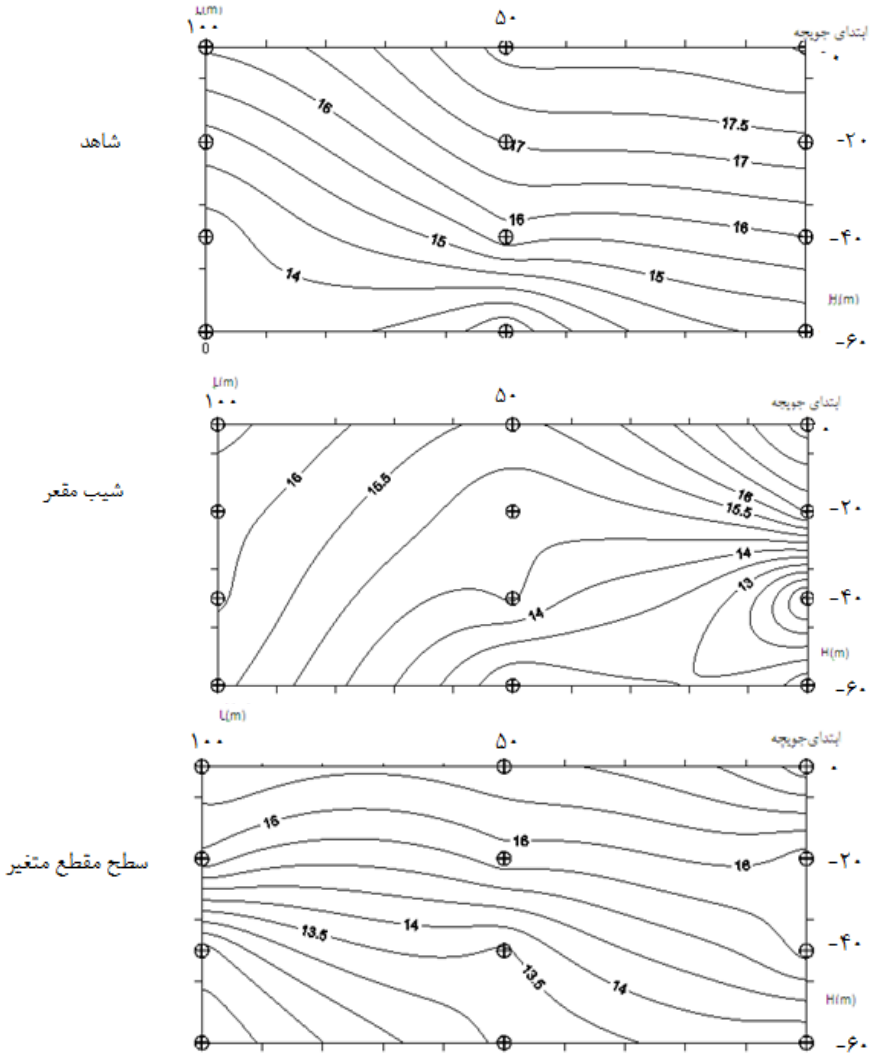
** معنی دار بودن اثر تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد



شکل ۳- میانگین الف) سرعت تراوایی، ب) مقدار تراوایی در تیمارهای مختلف.



شکل ۴- مقادیر الف) سرعت تراوایی پایه (f_0) ب) توان (a) و ج) ضریب (k) معادله‌ی کوستیاکف-لوئیز در تیمارهای مختلف.



شکل ۵- توزیع رطوبتی در تیمارهای مختلف.

وضعیت رطوبتی در تیمارها

بررسی وضعیت رطوبت، و یکنواختی توزیع رطوبتی نشان‌دهنده‌ی نتیجه‌ی اعمال تیمارها می‌باشد. وضعیت رطوبتی در هرکدام از تیمارها به کمک نرم افزار Surfer ترسیم شده و در شکل ۵ نشان داده شده است. یکنواخت‌ترین توزیع رطوبتی، مربوط به تیمار مقطع متغیر-شیب ثابت می‌باشد و پس از آن در تیمار مقطع ثابت-شیب ثابت، و در تیمار شیب مقعر می‌باشد و با نتایج حاصل از میزان تراوایی و سرعت تراوایی منطبق است. زیرا یکنواختی سرعت تراوایی بر روی میزان تراوایی تأثیرگذار است و با افزایش یکنواختی سرعت تراوایی، توزیع رطوبتی یکنواخت‌تر خواهد شد. در تیمار مقطع متغیر، افزایش یکنواختی وجود داشته که با نتایج چان‌یانگ و همکاران (۲۰۱۳)، منطبق است. به‌طوریکه شکل ۵ نشان می‌دهد، زمانیکه شیب تغییر کند، در تغییرات رطوبت خاک تأثیر-گذار است و روند جبهه‌ی رطوبتی در مقایسه با تغییرات سطح مقطع متفاوت است. نتایج تحلیل آماری در جداول ۵ تا ۷ آورده شده است. جداول ۵ تا ۷ نشان می‌دهند که، تنها مقادیر سرعت تراوایی پایه در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌دار دارند، اما ضرایب a و k دارای تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد نبوده‌اند. مقادیر ضرایب مختلف در تیمار مقطع متغیر که از دو روش بدست آمده دارای تفاوت آماری نبوده‌اند.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق به شرح زیر است:

- کمترین سرعت تراوایی (۰/۰۰۰۵۲ مترمکعب در دقیقه) در تیمارهای مربوط به تغییرشیب مشاهده شده است. بیشترین مقدار تراوایی تجمعی به‌دلیل بالابودن میزان یکنواختی توزیع رطوبت، در تیمار مقطع ثابت- شیب ثابت مشاهده شده است.
- تغییرات شیب به‌دلیل تأثیرگذاری بر مقدار رواناب، خروجی جویچه و سرعت آب، بر روی مقادیر سرعت تراوایی پایه تأثیر زیادی داشته و میزان تغییرات آن معنی‌دار بوده است.
- در تیمار مقطع ثابت-شیب مقعر، مقدار رواناب خروجی از جویچه، نسبت به دیگر تیمارها بیشتر بوده و در نتیجه میزان تراوایی نسبت به دیگر تیمارها کمتر بدست آمده است.
- در مقادیر ضریب و توان معادله‌ی کوستیاکف-لوئیز، با تغییر شکل و شیب جویچه تفاوت معنی‌داری ایجاد نشده است. ولی مقدار سرعت تراوایی پایه با تغییر شیب جویچه، به طور معنی‌دار تغییر کرده است.
- تیمار مقطع جویچه متغیر-شیب ثابت، میزان رطوبت بیشتری در خاک نگهداری می‌کند و بقیه شرایط آن (میزان تراوایی، سرعت تراوایی و یکنواختی توزیع رطوبت) تقریبا مشابه با تیمار شاهد می‌باشد. در این تیمار، به‌دلیل نگهداری میزان رطوبت بالا در اعماق خاک، در نتیجه میزان آب بیشتری می‌تواند در اختیار گیاه قرار گیرد. بنابراین، تیمار مناسبی است و استفاده از این تیمار برای گیاهان با ریشه عمیق توصیه می‌شود.
- تیمار شیب مقعر، دارای تراوایی جانبی بیشتری نسبت به سایر تیمارها بوده و برای گیاهانی که ریشه‌های کم‌عمق و عریض دارند، توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی

از مسؤلین فضای سبز دانشگاه شهرکرد به‌دلیل قرار دادن فضای مناسب برای این تحقیق سپاسگزاری می‌شود.

منابع

۱. بخشی، و. ۱۳۹۰. تاثیر شیب طولی و سطح مقطع متغیر جویچه بر راندمان کاربرد و یکنواختی توزیع آب در سامانه آبیاری جویچه‌ای. پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه شهرکرد.

۲. رحیم‌زادگان، ر. ۱۳۷۲. طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی. جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳. رئوف، م.، س.ع.ا. صدرالدینی، ا. ناظمی و ص. معروفی. ۱۳۹۰. بررسی تاثیر شیب روی میزان تراوایی و برخی از مشخصه‌های فیزیکی خاک. مجله دانش آب و خاک. ۱(۲۱): ۵۷-۶۸.

۴. طاهری‌سودجانی، ه. ۱۳۹۱. بررسی تاثیر پساب شهرکرد و ذرات میکروزئولیت بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیای خاک دانشگاه شهرکرد. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهرکرد.

۵. علیزاده، ا. ۱۳۷۴. اصول طراحی سامانه‌های آبیاری دانشگاه امام رضا. آستان قدس رضوی.

6. Benami, A., and A. Ofen. 1984. Irrigation Engineering: Sprinkler. trickle, surface irrigation. princples, design and agricultural practices. Irrigation Engineering Scientific Publication. IIIC Bet Dagan. Israel.
7. Casanova, M., I. Messing, and A. Joel. 2000. Influence of aspect and slope gradient on hydraulic conductivity measured by tension infiltrometer. Hydrol. Proces .14:155–164.
8. Chanyang, S., J. Yong, and C. Minha. 2013. Temporal stability and variability of field scale soil moisture on mountainous hillslopes Northeast Asia. Geoderma Elsevier. 207-208:234-243.
9. Elliott, R.L., and W.R. Walker. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. Transaction ASAE.25:396-400.
10. Fattah, H., and Upadhyaya. 1996. Effects of soil crust and soil compaction on infiltration in a yolo loam soil. Am. Soc. Agric. Eng. 39:79-84.
11. Holzapfel, E.A., J. Jara, C. Zuniga, M.A. Marino, J. Paredes, and M. Billib. 2004. Infiltration parameters for furrow irrigation. Agr. Water. Manage. 68:19-32.
12. Joel, A., and I. Messing. 2000. Application of two methods to determine hydraulic conductivity with disc permeameters

on sloping land. Eur. J. Soil Sci. 51:93–98.

13. Khatri, K.L., and R.J. Smith. 2005. Evaluation of methods for determining infiltration parameters from irrigation advance data. Irrigation and Drainage. 54:467–482.
14. Lolanda, P., D.L. Paola, R. Gaetano, S. Fabio, C. Francesco, and B. Claudia. 2013. Control of climate and local topography on dynamic evolution of badland from southern Italy (Calabria). CATENA Elsevier. 109:83-95.
15. Nasseri, A., M.R. Neyshabori, A. FakheriFard, M. Moghadam, and A.H. Nazemi. 2004. Field measured furrow infiltration functions. Turkish Journal Agriculture. 28:93-99.
16. Rasoulzadeh, A., and A.R. Sepaskhah . 2003. Scaled infiltration equations for furrow irrigation. Bio system Engineering. 86:375-383.
17. Schwankl, L.J., N.S Raghuwanshi, and W.W. Wallender. 2000 .Furrow irrigation performance under spatially varying conditions. J. Irrig. Drain. E-ASCE. 126:355-361.
18. Shepard, J.S., W.W. Wallender, and J.W. Hopmans. 1993. One method for estimating furrow infiltration. Transaction ASAE. 36:395-404.
19. Walker, W., and G. skogerboe. 1982. Surface irrigation. Theory and practice. Prentice Hall, Engle Wood Cliffs. New Jersey.386p.
20. Wilson, B.N., D.C. Slack, and R.A. Young. 1982. A comparison of three infiltration models. Am. Soc. Agric. Eng. 25:349-356.
21. Yonts, C.D., and E. Eisenhauer. 2007. Management Recommendation for Blocked end Furrow Irrigation. Published by University of Nebraska, USA.