

## برآورد پارامتریک جبهه پیشروی آب در آبیاری نواری خاک‌های سنگریزه‌ای با استفاده از رطوبت اولیه خاک<sup>۱</sup>

سینا بشارت، مهدی کوچک‌زاده و مهدی همایی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۸۴/۲/۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۸۴/۱۰/۱۰

### چکیده

آبیاری سطحی به دلیل سادگی و اینکه به دستگاه‌های ویژه‌ای نیاز ندارد، از رایج‌ترین روش‌های آبیاری به شمار می‌آید. سرعت پیشروی آب در سطح خاک، یکی از عوامل مهم در طراحی و مدیریت آبیاری سطحی است. سرعت پیشروی آب، خود از رطوبت اولیه خاک، شیب، بافت خاک، ساختمان خاک، و دبی ورودی و دمای آب تأثیر می‌پذیرد. رطوبت اولیه خاک موثرترین عامل بر فرآیند نفوذ است. تغییرات نفوذ نیز فرآیند پیشروی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مدل‌های ریاضی موجود پیش‌بینی پیشروی، مقدار نفوذ با استفاده از روابط تجربی محاسبه می‌شود که فقط تابعی از زمان نفوذ هستند. از این رو، اثر تغییرات رطوبت در نیمرخ خاک بر نفوذ نادیده گرفته می‌شود. هدف از این پژوهش، بررسی اثر رطوبت اولیه خاک بر فرآیند پیشروی در خاک‌های سنگریزه‌ای است. برای این منظور، ۸ نوار به طول ۶۰ متر و عرض ۱/۵ متر با شیب ۵٪ در ایجاد شد. در هر یک از نوارها، برای رطوبت‌های اولیه ۲ تا ۴۸ درصد، پیشروی اندازه‌گیری و ثبت شد. در رطوبت‌های اولیه کمتر از ۶ درصد، جبهه پیشروی آب در مدت زمان بین ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ ثانیه به انتهای نوار رسید. این زمان، برای رطوبت‌های اولیه بیشتر از ۲۰ درصد بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ ثانیه بود. ارتباط بین پارامترهای معادله پیشروی و رطوبت اولیه خاک به شکل معادلات مختلف به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که توابع به دست آمده می‌توانند به خوبی بر نتایج حاصل از آزمایش‌ها برازش یابند. با این حال، بین نتایج محاسباتی و داده‌های مشاهداتی گسستگی اندک وجود داشت که (کمتر از ۱۰ درصد) بود. نتایج همچنین نشان می‌دهد که تغییرات رطوبت اولیه، تأثیری قابل توجه بر سرعت پیشروی آب در نوار دارد و در نظر گرفتن تأثیر رطوبت اولیه خاک بر ضرایب معادله پیشروی، موجب پیش‌بینی دقیق‌تر آن می‌شود. در نتیجه، برآورد زمان نفوذ در نقاط مختلف در طول نوار با خطایی کمتر قابل محاسبه است.

### واژه‌های کلیدی

آبیاری سطحی، راندمان آبیاری، رطوبت اولیه خاک، منحنی پیشروی، نفوذ

۱- برگرفته از پایان نامه دانشجویی با عنوان «بررسی رطوبت اولیه خاک بر جبهه پیشروی آب در آبیاری سطحی خاک‌های انتیسول»

۲- به ترتیب مربی و عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه. نشانی: ارومیه، دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب، ص. پ. ۱۶۵-۵۷۱۵۳. تلفن: ۰۷-۲۷۷۹۵۵۲ (۰۴۴۱). دورنگار: ۰۷-۲۷۷۹۵۵۸ (۰۴۴۱). پیام‌نگار: s.besharat@urmia.ac.ir، استادیار گروه آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس و استادیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

## مقدمه

که در آن،  $i =$  عمق آب نفوذ یافته از آغاز آزمایش (بر حسب سانتی متر)؛  $t =$  زمان نفوذ از آغاز آزمایش (بر حسب دقیقه)؛ و  $a$  و  $c =$  ضرایبی تجربی هستند که به نوع خاک بستگی دارند.

فوک و بی‌شاپ (Fok & Bishop, 1995) پیشروی آب روی سطح نوار را به صورت مستقل از ویژگی‌های جریان، با تابع نمایی زیر برآورد کردند:

$$t = px^r \quad (2)$$

که در آن،  $x =$  فاصله جبهه پیشروی آب از ابتدای نوار در زمان  $t$ ؛ و  $p$  و  $r =$  ضرایب ثابت معادله هستند.

مدل ریاضی آبیاری سطحی، مجموعه‌ای از روابط ریاضی است که فرآیند آبیاری را توصیف می‌کند. این روابط که به معادلات سنت ونانت<sup>۱</sup> معروف‌اند، بر حسب اینکه با استفاده از چه پارامترهایی نوشته شوند و ترم نفوذ در آنها وارد یا به دلیل تأثیر ناچیزش از معادله مومتم حذف شده باشد، به شکل‌های مختلف نوشته می‌شوند. پژوهشگرانی متعدد با روش‌هایی گوناگون معادلات سنت ونانت را حل کرده‌اند. در این روش‌ها گرچه تأثیر ویژگی‌های جریان روی پیشروی لحاظ شده است، اما در تمامی آنها نفوذ با استفاده از روابط تجربی برآورد شده است که تأثیر تغییرات رطوبت را در نظر نمی‌گیرند.

هارت و همکاران (Hart et al., 1968) با اعمال روش‌های عددی بر معادله پیوستگی جریان، منحنی‌هایی بدون بعد برای برآورد پیشروی آب در نوار ارائه کرده‌اند:

فرآیند آبیاری با ورود جریان آب به نوار آغاز و تا رسیدن پیشانی جریان به انتها، مرحله‌ای تشکیل می‌دهد که به آن "مرحله پیشروی" گویند. سرعت پیشروی آب در آبیاری سطحی یکی از عوامل مهم در طراحی و مدیریت آبیاری به‌شمار می‌رود. با توجه به تأثیر رطوبت اولیه خاک ( $\theta_i$ ) بر سرعت نفوذ از یک سو، و اثر سرعت نفوذ بر پیشروی از سوی دیگر، می‌توان نتیجه گرفت که رطوبت اولیه خاک بر جبهه پیشروی نیز تأثیر می‌گذارد. هدف از این پژوهش، بررسی اثر رطوبت اولیه خاک بر سرعت پیشروی بود.

در اکثر مدل‌هایی که پیشروی روی سطح خاک را پیش‌بینی و شبیه‌سازی می‌کنند، فرآیند نفوذ با استفاده از توابعی تجربی همچون معادله کوستیاکوف به دست می‌آید که مقدار نفوذ را تنها به صورت تابعی از زمان نفوذ بیان می‌کند. از این‌رو، تأثیر تغییرات رطوبت خاک بر فرآیند نفوذ نادیده گرفته می‌شود. در نتیجه، مقدار نفوذ و به تبع آن زمان حاصل برای پیشروی، مقداری غیرواقعی برآورد می‌شود. برای رفع این مشکل و طراحی مطلوب لازم است رابطه‌ای بین رطوبت اولیه خاک و پیشروی برقرار گردد. رابطه تجربی کوستیاکوف را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$i = ct^a \quad (1)$$

رطوبت‌های متفاوت می‌شود. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر رطوبت اولیه خاک بر جبهه پیشروی آب و تعیین روابطی بین رطوبت اولیه خاک و سرعت پیشروی آب است تا بتوان با استفاده از این روابط، مدل‌های موجود را تصحیح کرد و مدیریت بهتری در آبیاری اعمال شود. در این پژوهش تأثیر رطوبت اولیه خاک بر جبهه پیشروی آب به طور دقیق شبیه‌سازی و ثبت شد. برای این منظور ۸ نوار آبیاری احداث و آزمایش‌ها به انجام رسید.

### مواد و روش‌ها

تعداد ۸ نوار و هر نوار به طول ۶۰ متر و عرض ۱/۵ متر در زمینی به ابعاد ۲۰×۶۰ متر و با شیب طولی یکنواخت ۰/۵ درصد و بدون شیب عرضی، ایجاد شد. مقدار سنگریزه خاک ۱۲ درصد در واحد حجم خاک اندازه‌گیری شد. فراوانی نسبی ذرات خاک به روش هیدرومتري به دست آمد که شامل ۵۸/۲ درصد شن، ۲۰ درصد سیلت، ۲۱/۸ درصد رس بود. مقدار سنگریزه خاک ۱۲ درصد در واحد حجم خاک اندازه‌گیری شد.

برای تعیین سرعت پیشروی، در طول نوار به فواصل ۵ متری میخ‌کوبی شد. برای نمونه‌برداری و تعیین رطوبت وزنی از مت‌نمونه برداری، ترازو و خشک‌کن استفاده شد. از آنجا که اجرای آزمایش و اندازه‌گیری‌ها در رطوبت از پیش تعیین شده به دلیل دشوار بودن پایش رطوبت خاک تا لحظه رسیدن به رطوبت مورد نظر، میسر نبود، سرعت پیشروی در رطوبت‌های مختلف موجود در خاک بعد از گذشت زمانی معین از آبیاری اندازه‌گیری شد. شکل شماره ۱ تناوب آبیاری‌ها در مزرعه و زمان آبیاری را نشان می‌دهد.

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} + I = 0 \quad (3)$$

که در آن،  $q$  = شدت جریان در واحد عرض نوار؛  $y$  = عمق جریان؛  $I$  = سرعت نفوذ آب به خاک است؛  $t$  = زمان از ابتدای جریان آب در نوار؛ و  $x$  = فاصله پیشروی از ابتدای نوار است. باست (Bassett, 1976) با معلوم بودن دبی در واحد عرض ( $q$ )، ضرایب معادله نفوذ، شیب نوار، و ضریب زبری برای تعیین پیشروی به روش تفاضل‌های محدود، معادلات سنت و نانت را حل کرده است. ساکاس و استریلکف (Sakkas & Strelkoff, 1974) معادلات مذکور را با روش خطوط مشخص حل کرده‌اند. کاتاپودس و استریلکف (Katopodes & Strelkoff, 1977) معادلات مدل اینرسی صفر را برای شبیه‌سازی پیشروی جریان با استفاده از کمیتهای بدون بعد به صورت گراف‌هایی برای مقادیر مختلف ضرایب معادله نفوذ کوستیاکوف با فرض اینکه ضریب  $a$  بین ۰/۱ تا ۰/۹ است، ارائه کرده‌اند. تورباک (Turbac, 1984) مدل موج سینماتیک را برای شبیه‌سازی کلیه فازهای آبیاری نواری حل کرده است. هنوک (Henoque, 1995) از روشی ساده برای پیش‌بینی پیشروی با استفاده از پارامترهای نفوذ و میزان جریان ورودی استفاده کرد و نتایج حاصل را با پیش‌بینی‌های به دست آمده از حل مدل موج سینماتیک و حل تحلیلی فلیپ و فارل و مشاهدات مزرعه مقایسه نمود.

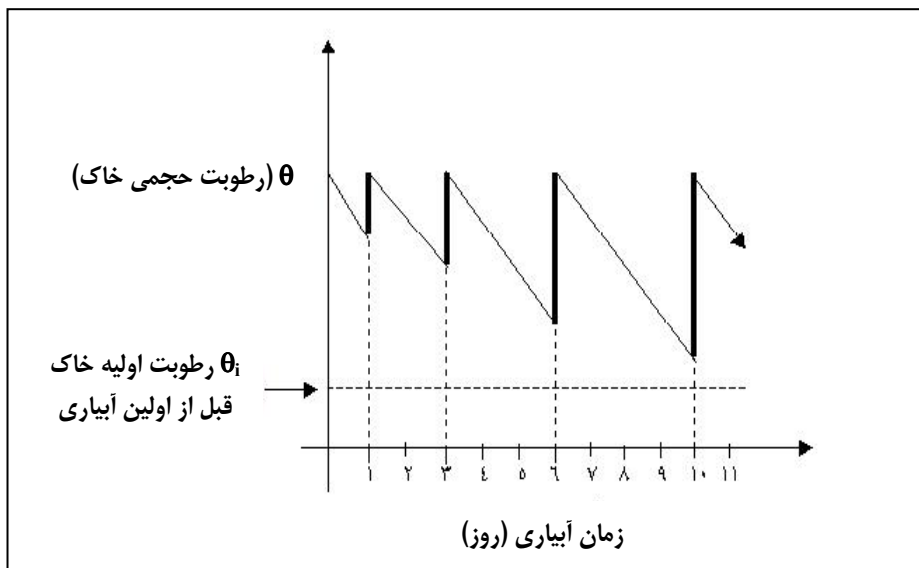
در کلیه مدل‌های یاد شده، نادیده گرفتن رطوبت اولیه خاک بر جبهه پیشروی آب باعث ایجاد مقداری خطا در تعیین سرعت پیشروی برای

در طول هر نوار، شش نمونه خاک از ابتدا، وسط، و انتهای نوار و در عمق‌های ۱۰-۱۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری تهیه شد. رطوبت هر نمونه نیز به طور جداگانه اندازه‌گیری شد. میانگین شش رطوبت یاد شده محاسبه و در تجزیه و تحلیل داده‌ها به عنوان رطوبت اولیه خاک مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش، عواملی مانند شیب و دبی ورودی که بر پیشروی تأثیر می‌گذارند، بر اساس استاندارد (USDA-SCS) مستخرج از کتاب والکر و اسکوگر بو (Walker & Skogerboe, 1987) طراحی و ثابت در نظر گرفته شد. تغییرات دمای آب در زمان آزمایش ناچیز فرض شد. در طول نوارها، که به فواصل ۵ متر میخ کوبی شده بود، زمان رسیدن جبهه پیشروی به هریک از میخ‌ها ثبت و سرعت جبهه پیشروی به دست آمد. به طور نمونه اطلاعات مربوط به ۱۰ آزمایش انجام شده در جدول شماره ۱ ارائه شده است. ستون اول، شماره نوارهای آزمایشی را نشان می‌دهد. در این آزمایش، شرایط هر ۸ نوار یکسان بود و اطلاعات به دست آمده در

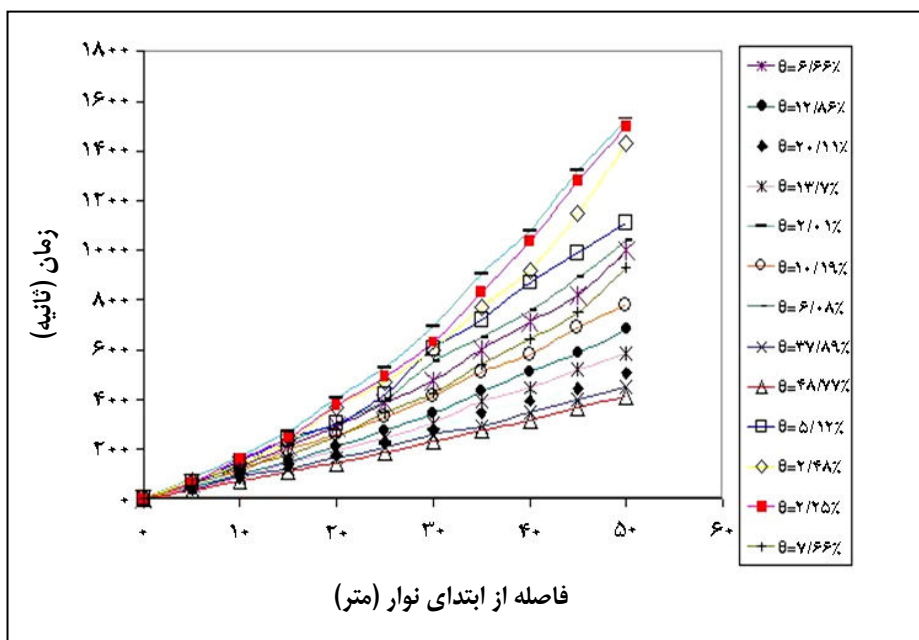
یک نوار یا در نوارهای مختلف نسبت به هم قابل مقایسه است. در ستون دوم، مدت زمان سپری شده از آبیاری پیشین درج شده است. به عبارت دیگر در این مدت زمان، آبی وارد نوار نشده است و بر این اساس رطوبت‌های مختلف به دست آمده است. ستون‌های بعدی، زمان رسیدن جبهه پیشروی آب به هر میخ را بر حسب ثانیه نشان می‌دهد. در ستون آخر، میانگین رطوبت هر آزمایش بر حسب درصد ارائه شده که تجزیه و تحلیل‌ها بر اساس این رطوبت‌هاست. مدت این آزمایش‌ها دو ماه بود. با استفاده از دوره‌های مختلف آبیاری طی ۶۰ آزمایش، اثر رطوبت‌های ۲ تا ۴۸ درصد مطالعه شد (شکل شماره ۲). در هر آزمایش، بی‌درنگ پس از نمونه‌برداری رطوبت اولیه، آبیاری با دبی ثابت انجام گرفت. برای تعیین دبی، پس از بررسی بافت خاک و شیب نوار و با استفاده از روش طراحی دبی غیر فرسایشی (USDA-SCS)، دبی برابر ۱ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شد.

جدول شماره ۱- اطلاعات مربوط به زمان رسیدن جبهه پیشروی (ثانیه) در رطوبت اولیه اندازه‌گیری شده

رطوبت میانگین	فاصله از ابتدای نوار (متر)										شماره نوار	
	۵۰	۴۵	۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵		دور آبیاری (روز)
۵/۴	۱۱۰۰	۹۸۰	۸۵۰	۷۰۰	۶۱۰	۴۳۵	۳۳۰	۲۵۰	۱۶۰	۶۵	۳	۷
۶/۲	۱۰۴۰	۸۹۰	۷۵۰	۶۴۰	۵۴۰	۳۹۰	۲۹۰	۲۲۰	۱۳۵	۶۵	۲	۶
۳/۶	۱۳۲۰	۱۱۰۲	۹۲۰	۷۸۵	۵۹۵	۴۵۰	۳۰۵	۲۰۵	۱۰۷	۴۵	۵	۵
۶/۷	۱۰۰۰	۸۲۰	۷۱۰	۶۰۰	۴۷۴	۳۸۵	۲۹۰	۲۱۰	۱۳۰	۶۵	۳	۴
۵/۶	۱۳۴۰	۱۱۲۰	۹۰۰	۷۷۵	۶۰۰	۴۴۰	۳۰۵	۲۴۰	۱۶۰	۶۵	۵	۶
۱۲/۹	۶۸۳	۵۸۵	۵۱۲	۴۳۰	۳۴۳	۲۷۵	۲۱۰	۱۵۰	۹۵	۴۵	۱	۴
۸/۶	۸۹۰	۷۶۰	۶۶۰	۵۵۵	۴۴۰	۳۵۵	۲۷۸	۱۹۵	۱۱۰	۴۷	۲	۵
۵/۶	۱۰۹۰	۹۵۰	۸۳۰	۶۹۵	۵۹۰	۴۲۵	۳۲۵	۲۶۵	۱۵۵	۶۵	۴	۷
۱۴/۴	۵۶۰	۴۸۰	۴۱۳	۳۶۲	۳۰۰	۲۳۵	۱۹۳	۱۴۰	۸۰	۳۷	۱	۷
۴/۹	۱۱۴۵	۹۸۰	۸۱۰	۶۷۰	۵۴۵	۴۲۵	۳۳۰	۲۶۵	۱۴۵	۶۰	۷	۲



شکل شماره ۱- آبیاری با دوره‌های متفاوت به منظور دستیابی به رطوبت‌های مختلف



شکل شماره ۲- منحنی‌های جبهه پیشروی در نوار برای رطوبت‌های اولیه مختلف

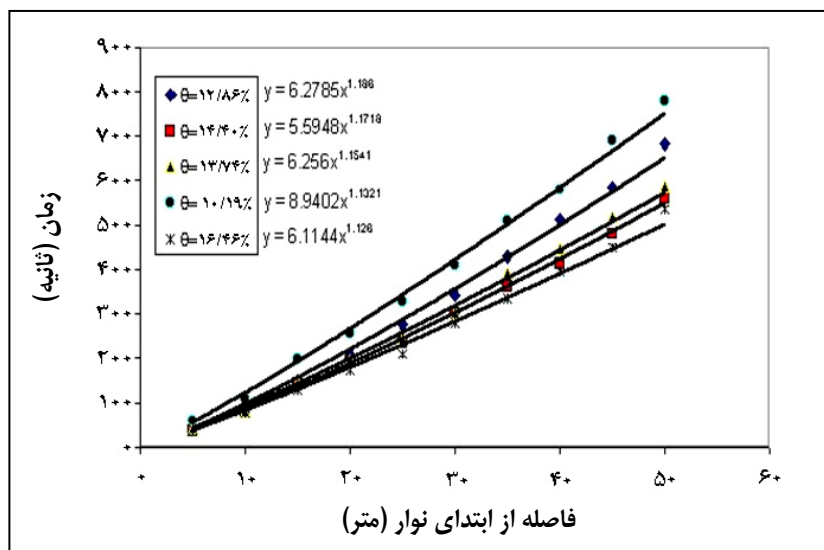
## نتایج و بحث

ضرایب منحنی پیشروی برای تمام آزمایش‌ها به دست آمد (شکل‌های شماره ۳ و ۴). به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، نتایج به دست آمده بر اساس فراوانی، رطوبت‌های مشاهده شده به ۱۲ گروه رطوبتی به شرح زیر تقسیم شد:

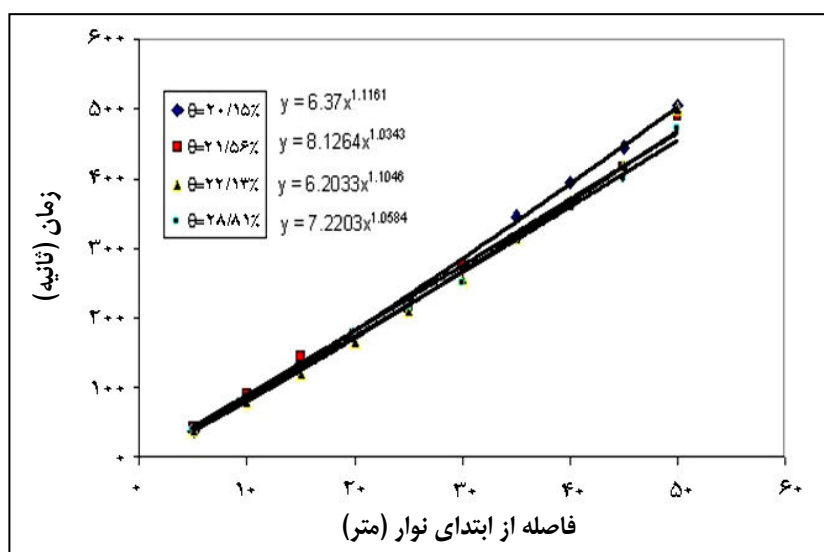
پیشروی آب در نوارها برای رطوبت‌های اولیه مختلف در جدول شماره ۱ ارائه شده است. با استفاده از این داده‌ها، منحنی پیشروی برای رطوبت‌های مختلف رسم و با برازش بهترین خط،

ارائه شده است. محور X در این شکل‌ها، فاصله از ابتدای نوار را بر حسب متر نشان می‌دهد که تا ۵۰ متری از ابتدای نوار مورد استفاده قرار گرفت. محور Y مربوط به زمان بر حسب ثانیه است که زمان رسیدن جبهه پیشروی آب از ابتدای نوار تا فاصله مورد نظر از شروع آزمایش را نشان می‌دهد.

رطوبت دو تا ده درصد به فاصله یک درصد به هشت گروه رطوبتی و از رطوبت ده تا پنجاه درصد نیز با فاصله ده درصد به چهار گروه رطوبتی تقسیم شد. بازه‌های رطوبتی در نظر گرفته شده بر پایه فراوانی رطوبت‌های مشاهده شده قرار داشت. نمودارهای هر قسمت ابتدا جداگانه رسم و تجزیه و تحلیل شد. به طور نمونه، شکل‌های شماره ۳ و ۴



شکل شماره ۳- منحنی‌های پیشروی و معادلات برازش شده برای رطوبت‌های اولیه ۱۰ تا ۲۰ درصد



شکل شماره ۴- منحنی‌های پیشروی و معادلات برازش شده برای رطوبت‌های اولیه ۲۰ تا ۳۰ درصد

را به صورت  $x = pt^r$  نوشت. به این ترتیب، به ازای هر  $\theta$  می‌توان مقداری معین به  $p$  و  $r$  نسبت داد. به منظور بسط رابطه بین رطوبت اولیه خاک و پیشروی آب در نوار، ابتدا روابطی بین پارامترهای مذکور به صورت  $(t, x, \theta)$  و  $(p, r, \theta)$  پیشنهاد شد. سپس، نتایج محاسبه شده از این روابط با مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه مقایسه گردید. بهترین ضرایب برای روابط با به حداقل رساندن میانگین خطای محاسباتی به کمک رابطه ارائه شده را اوجها و سوبایان (Ojha & Subbaian, 1997) برای معادلات به دست آوردند:

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Y_a - Y_b}{Y_a} \right| \times 100 \quad (4)$$

که در آن:  $E$ : خطای محاسباتی (درصد)؛  $N$  = تعداد داده‌ها؛  $Y_a$  = مقدار مشاهداتی؛ و  $Y_b$  = مقدار محاسباتی است.

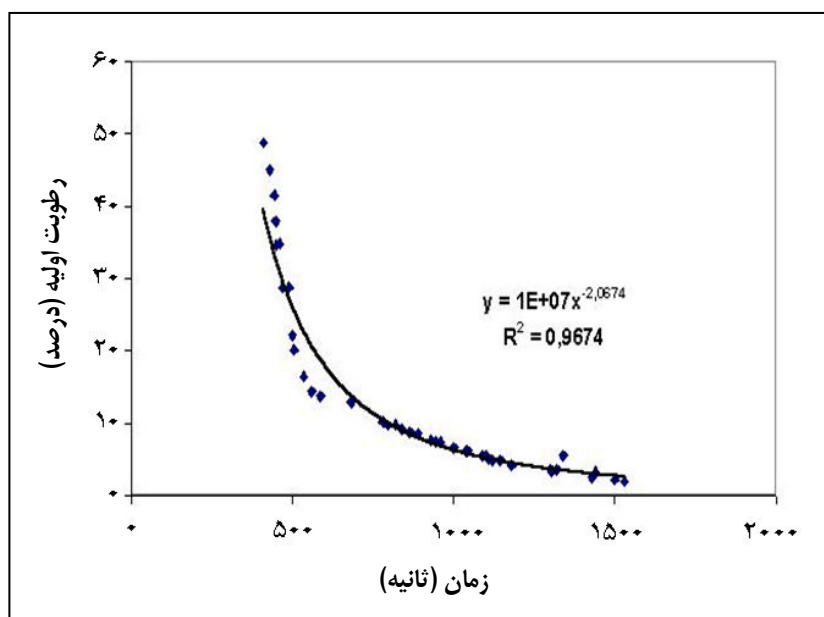
در این پژوهش، روابطی با شکل عمومی زیر بررسی شد. در شکل شماره ۶ داده‌های مشاهداتی و محاسباتی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. برای تمام معادلات، این مقایسه صورت گرفت.

$$t = f(x, \theta) \rightarrow t = ax^b \theta^c, t = ax^b (\ln \theta)^c \quad (5)$$

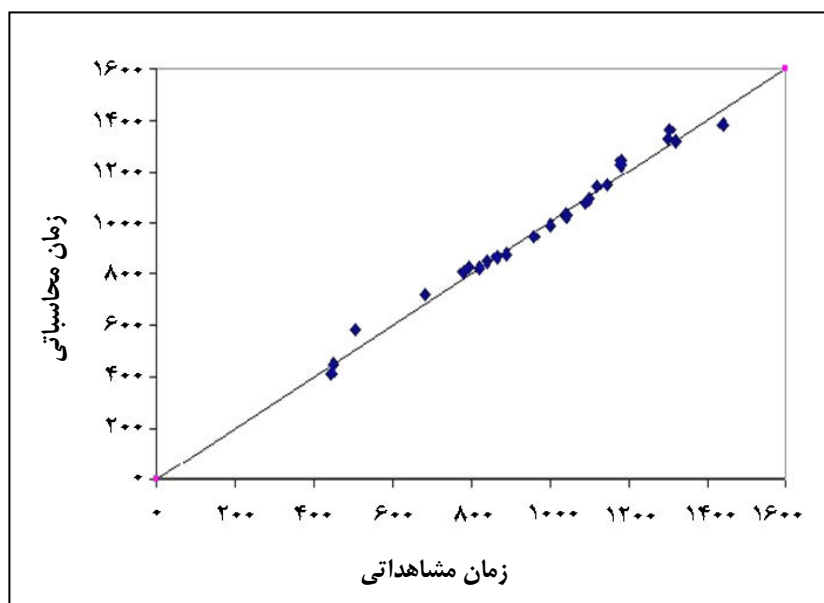
$$\theta = f(p, r) \rightarrow \theta = ap^c + br^d, \theta = ap^c \times br^d \quad (6)$$

بر این اساس، منحنی مربوط به هر رطوبت رسم شد. برای به دست آوردن ضریب ( $p$ ) و توان ( $r$ ) در معادله (۲)، رابطه‌ای با رسم بهترین خط از بین نقاط به دست آمد. این روابط در شکل‌های یاد شده در برابر رطوبت نظیر محاسبه و ثبت گردید. به طورمثال، در رطوبت اولیه ۵/۵۸ درصد، جبهه پیشروی آب در ۱۰۹۰ ثانیه به انتهای نوار رسیده است. در صورتی که این زمان در رطوبت اولیه ۴۸/۷۷ درصد تا ۴۱۰ ثانیه کاهش یافته است (شکل شماره ۵). شکل شماره ۵ زمان رسیدن جبهه پیشروی آب را به انتهای نوار در رطوبت‌های اولیه مختلف نشان می‌دهد. خاک‌های سنگریزه‌ای مورد مطالعه، در رطوبت‌های پایین سرعت نفوذ بالایی داشت. مشاهده شود که با افزایش رطوبت خاک تا ۲۰ درصد، سرعت پیشروی آب نیز افزایش قابل توجهی دارد. در رطوبت‌های بیشتر از ۲۰ درصد، اختلاف زمان‌های رسیدن جبهه پیشروی به انتهای زمین کمتر می‌شود. با توجه به نمودارهایی که برای پیشروی در رطوبت‌های مختلف به دست آمد (شکل‌های شماره ۳ و ۴) بین ضریب و توان معادله ۲ یعنی  $p$  و  $r$  و رطوبت اولیه نوار روابطی به روش زیر برقرار شد:

با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده برای رطوبت،  $\theta_i$ ، در فواصل زمانی مختلف آبیاری و ثبت زمان رسیدن جبهه پیشروی،  $t_i$ ، به نقاط متساوی‌فاصله میخ‌کوبی شده در طول نوار،  $x_i$ ، می‌توان در هر رطوبت معین، معادله بهترین خط قابل برازش بر داده‌های اندازه‌گیری شده،  $x_i$  و  $t_i$ ،



شکل شماره ۵- تأثیر رطوبت اولیه بر زمان جبهه پیشروی برای انتهای نوار



شکل شماره ۶- همبستگی مقادیر زمان مشاهداتی در مزرعه و زمان محاسباتی برای رابطه شماره ۷

نقاط انتهایی نسبت به نقاط ابتدایی نوار در رطوبت‌های مختلف بیشتر است (جدول شماره ۱). به دلیل اهمیت زمان رسیدن جبهه پیشروی آب به قسمت‌های انتهایی نوار، به خصوص به انتهای

روابط زمان، فاصله پیشروی، و رطوبت اولیه  $(t, x, \theta)$

با مشاهده داده‌ها و نمودارها به این نتیجه می‌توان رسید که اختلاف زمان پیشروی آب در



به‌عنوان مثال برای حل رابطه شماره ۷، نخست ضرایب  $a$ ،  $b$  و  $c$  در حل رابطه خطا وارد شدند و پس از آن با بهینه‌سازی خطی و تغییر ضرایب، خطا به حداقل رسید تا در این خطا بهترین ضرایب به دست آید. در رابطه شماره ۷ به ازای ضرایب، عدد اولیه‌ای وارد می‌شود که در این معادله برابر با یک در نظر گرفته شد. با عدد اولیه دلخواه برای ضرایب و رطوبت اولیه اندازه‌گیری شده  $5/4$  درصد که در جدول شماره ۲ ثبت شده است، مقدار زمان محاسباتی ( $T_b$ ) ۲۷ ثانیه به دست آمد. خطای بین زمان محاسبه شده ( $T_b$ ) و اندازه‌گیری شده در مزرعه ( $T_a$ ) با استفاده از رابطه شماره ۴ به دست آمد. مقدار زمان اندازه‌گیری شده در مزرعه در جدول شماره ۲ ثبت شده است که برای ردیف اول ۷۰۰ ثانیه بود. مجموع خطای تمام نقاط بر تعداد داده‌ها تقسیم شد تا خطای کل به دست آید. با به دست آمدن کمترین خطا، بهترین ضرایب رابطه مورد نظر استخراج شد.

$$T_b = ax_i^b \theta_i^c \rightarrow T_b = 1 \times 5^1 \times 5.4^1 = 27$$

$$E_i = \left| \frac{T_a - T_b}{T_a} \right| \times 100 = \left| \frac{700 - 27}{700} \right| \times 100 = 96\%$$

درصد خطای یک نقطه با ضرایب اولیه دلخواه مجموع خطای تمام نقاط بر تعداد داده‌ها تقسیم می‌شود تا خطای کل به دست آید. زمانی که کمترین خطا به دست آید، بهترین ضرایب رابطه مورد نظر استخراج شده است. در جدول شماره ۲ نحوه حل معادله شماره ۷ و به دست آمدن خطای

زمین، تجزیه و تحلیل و حل معادلات به ۳ حالت ارائه می‌شود. در حالت اول، تمام داده‌ها برای ارائه معادله استفاده شد. در حالت دوم، از اطلاعات مربوط به فاصله ۳۵ متر و بیشتر و در حالت سوم از داده‌های انتهای نوار استفاده شد. به دلیل خطای کمتر حالت‌های دوم و سوم می‌توان از این روابط برای اندازه‌گیری‌های انتهایی نوار استفاده کرد.

- تمام داده‌ها

$$t = 18.75x^{1.182} \theta^{-0.403}, E = 6.67 \quad (7)$$

- داده‌های ۳۵ متر و بیشتر

$$t = 17.9x^{1.221} \theta^{-0.43}, E = 3.327 \quad (8)$$

- داده‌های انتهای نوار

$$t = 2.521x^{1.758} \theta^{-0.478}, E = 2.68 \quad (9)$$

- روابط بین ضریب و توان معادله پیشروی و رطوبت اولیه

برای به دست آوردن روابط، از دو سری داده استفاده شد. حالت اول بر اساس تمام داده‌ها است و در حالت دوم به دلیل خطای اندازه‌گیری در ابتدا و انتهای نوار و برای کم کردن خطای محاسباتی، رطوبت‌های ۴ تا ۳۰ درصد مورد استفاده قرار گرفت:

- تمام داده‌ها

$$\theta = 807.128 \frac{r^{-9}}{p^{1.45}}, E = 7.321 \quad (10)$$

- رطوبت‌های ۴ تا ۳۰ درصد

$$\theta = 25.2p^{-1.37} \times 25.2r^{-8.68}, E = 5.186 \quad (11)$$



کشت صورت گرفته است. بهتر است تأثیر رطوبت اولیه خاک بر جبهه پیشروی آب در کشت‌های مختلف نیز مشخص شود تا تأثیر گیاه بر روابط نیز لحاظ گردد. این تأثیر می‌تواند به صورت ضریب  $n$  مانینگ وارد روابط شود. همچنین در این پژوهش، دبی بر اساس شیب زمین و فرسایش‌پذیری خاک تعیین شد. پیشنهاد می‌شود دبی ورودی را تنها بر این اساس محاسبه نشود، بلکه حرکت منظم آب در کل عرض زمین اهمیت دارد که این موضوع در دبی کم میسر نیست.

### مراجع

- 1- Bassett, D. L. 1976. Simulating overland flow in border Irrigation. Trans. of the ASAE. 19(4): 666-671.
- 2- Fok, Y. S. and Bishop, A. 1995. Analysis of water advance in surface irrigation. J. of Irrig. and Drain. Eng. 91(3): 99-116.
- 3- Hart, W. E., and Bassett, D. L. and Strelkoff, T. 1968. Surface irrigation hydraulics-kinematics. J. of Irrig. and Drain. Eng. 94 (IR4): 419-440.
- 4- Henoque, R. 1995. Prediction of surface irrigation advance using soil intake properties. J. of Irrig. Sci. 16, 159-167.
- 5- Katopodes, N. D. and Strelkoff, T. 1977. Border irrigation hydraulics with zero inertia. J. of Irrig. and Drain. Eng. 103(3): 309-324.
- 6- Ojha, C. S. P. and Subbaian, D. 1997. Analysis of flow through lateral slot. J. Irrig. and Drain. Eng. 123(5): 402-405.
- 7- Sakkas, J. G. and Strelkoff, T. 1974. Hydrodynamics of surface irrigation - Advance phase. J. of Irrig. and Drain. Eng. 100(1): 31-48.
- 8- Turbac, A. S. 1984. Analytical solution for surface irrigation. Ph.D. Dissertation. Colorado State University. Fort Collins. Colorado.
- 9- Walker, W. R. and Skogerboe, G. V. 1987. Surface irrigation theory and practice, U. S. A. Prentce Hall.

## **Parametric Estimate of Advance Trajectory in Border Irrigation by Initial Soil Moisture**

**S. Besharat, M. Kouchakzadeh and M. Homae**

Due to simplicity and independence at special equipments, surface irrigation is one of the most common methods in the world and Iran. Water advance rate in soil surface is one of the important parameters in design and management of surface irrigation. The velocity of advance rate is affected by initial soil moisture, grade, soil composition, soil structure, and inflow and water temperature. Initial moisture is the most effective factor in infiltration process. Also, water infiltration changes in soil affects on water advancing on soil surface. Existing numerical models that simulate water advancing on soil surface use empirical equations in which infiltration is function of time. Thus, impact of moisture changes in soil section on physical characteristics like infiltration is not seemed. Purpose of this study was to survey the impact of initial moisture on water advancing process on entisols surface. Thus, 8 borders with 60m length and 1.5m width and 0.5% slope were established. In each border, water advancing velocity changed in surface 2-48% initial moisture was recorded. In initial moisture less than 6% advance rate reached end of the borders in less than 1000 to 1500 seconds, while, this time in moistures more than 20% was 400 to 500 seconds. Using the results, various equations between advancing parameters and soil initial moisture were obtained. Variance between estimates and observed data was less than 10%. The results showed that initial moisture changes had an effective impact on advance rate velocity. Considering this effect on equation coefficients resulted in more actual prediction. Therefore, estimation of infiltration time in various locations along the borders with less error and designing a system with more effectiveness and less leakage is possible.

**Key words:** Advance Curve (Trajectory), Infiltration, Moisture Content, Surface Irrigation