

کارگاه فنی آبیاری سطحی مکانیزه

۱۳ آذر ماه ۱۳۸۴

تعیین بهترین معادله پیشروی آب در آبیاری سطحی: با رویکرد فازی

سینا بشارت^۱، مهدی کوچک زاده^۲، امین کوره‌پزان دزفولی^۳

چکیده

یکی از عوامل مهم در طراحی و مدیریت آبیاری سطحی، جبهه پیشروی آب در سطح خاک می‌باشد که با تخمین درست پارامترهای مؤثر بر آن می‌توان راندمان آبیاری را به میزان قابل توجهی افزایش داد. سرعت جبهه پیشروی آب از عوامل مختلفی تأثیر می‌پذیرد که مهم‌ترین آن‌ها دبی ورودی و رطوبت اولیه خاک بوده که مقادیر آن‌ها باید قبل از شروع آبیاری دقیقاً اندازه‌گیری گردد. هدف از این پژوهش، ارائه معادله‌ای جهت نشان دادن ارتباط بین پارامترهای مؤثر بر پیشروی آب می‌باشد. برای این منظور در یک مزرعه آزمایشی با نوع خاک سنگریزه‌ای، ۸ نوار به طول ۵۰ و عرض ۱/۵ متر، با شیب طولی ۰/۵ درصد و بدون شیب عرضی ایجاد گردید. در هر یک از نوارهای مزبور، ابتدا رطوبت‌های اولیه مختلفی در خاک ایجاد گردید که مقدار آن بین ۲ تا ۴۸ درصد متغیر بود. سپس با ورود آب در نوارها تغییرات سرعت پیشروی آب سطحی برای رطوبت‌های مذکور ثبت گردید. این آزمایش‌ها با سه دبی ورودی مختلف ۰/۵، ۱ و ۲ لیتر بر ثانیه انجام گرفت. با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای، رابطه‌ای پیشنهاد گردید که علاوه بر پارامترهای در نظر گرفته شده در روابط معمول، از رطوبت اولیه خاک و دبی ورودی نیز به عنوان متغیرهای مؤثر در معادله پیشروی آب استفاده می‌نماید. ضرایب بهینه معادله پیشنهادی با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی محاسبه گردید. با توجه به محدودیت‌ها و کمبودهای موجود در انجام آزمایش‌ها، روابط به دست آمده به طور کامل ارائه‌کننده شرایط واقعی نمی‌باشند. لذا برای این که بتوان از این نتایج به نحو بهتری در مسایل عملی استفاده نمود، از تئوری مجموعه‌های فازی جهت در نظر گرفتن عدم

۱- عضو هیات علمی گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه

Email: s.besharat@urmia.ac.ir

آدرس پستی: ارومیه- دانشگاه ارومیه- دانشکده کشاورزی- گروه مهندسی آب

۲- عضو هیات علمی گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه تربیت مدرس

۳- کارشناس بخش برنامه ریزی آب وزارت نیرو

قطعیت‌های موجود استفاده گردید. بر اساس نتایج به دست آمده از این پژوهش می‌توان حرکت آب بر سطح خاک را دقیق‌تر و با خطای کمتری پیش‌بینی و سیستم آبیاری سطحی با بازدهی بیشتری طراحی نمود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری سطحی، بازده آبیاری، رطوبت اولیه خاک، منحنی پیشروی، نفوذ، منطق فازی

مقدمه

فرآیند آبیاری با ورود جریان آب به نوار آغاز و تا رسیدن پیشانی جریان به انتها، مرحله‌ای را 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 تاثیر رطوبت اولیه خاک (θ_i) و بر مقدار نفوذ از یک طرف و اثر سرعت نفوذ بر پیشروی از طرف دیگر، می‌توان نتیجه گرفت که θ_i بر جبهه پیشروی نیز تاثیر می‌گذارد. در اکثر مدل‌های موجود که بوسیله آنها پیشروی روی سطح خاک پیش‌بینی و شبیه‌سازی می‌شود، مقدار نفوذ با استفاده از توابعی تجربی همچون رابطه کوستیاکوف که مقدار نفوذ را تنها به صورت تابعی از زمان نفوذ بیان می‌کنند، بدست می‌آید.

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

i = عمق آب نفوذ یافته از شروع آزمایش (cm)، t = زمان نفوذ از شروع (min)، a, c = ضرایب تجربی که به نوع خاک بستگی دارند و با استفاده از بهترین خطی که از میان داده‌ها عبور می‌کند بدست می‌آیند. لذا، تاثیر تغییرات رطوبت در نیمرخ خاک بر فرآیند نفوذ نادیده گرفته می‌شود.

دبی ورودی آب نیز بر سرعت پیشروی اثر می‌گذارد. در بیشتر طرح‌های آبیاری دبی ورودی بر اساس میزان فرسایش پذیری خاک محاسبه می‌گردد. در صورتی که ممکن است به دلیل شرایط مدیریتی و محیطی نتوان دبی محاسبه شده از روابط متکی بر فرسایش را ایجاد نمود و یا ممکن است دبی در طول آزمایش متغیر باشد. بنابراین دبی ورودی به عنوان یک پارامتر متغیر در معادله گنجانده شده است. هدف از این پژوهش، بررسی کمی اثر رطوبت اولیه خاک و دبی ورودی بر سرعت پیشروی آب بود.

کارهایی که در این زمینه انجام گرفته محدود می‌باشد. که به چند مورد اشاره می‌شود.

هارت^۱ و همکاران (۱۹۶۸) با آنالیز عددی معادله زیر منحنی‌های بدون بعدی برای حل مساله پیشروی آب در نوار ارائه دادند.

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} + I = 0 \quad (2)$$

که در آن q شدت جریان در واحد عرض نوار، y عمق جریان و I سرعت نفوذ آب بداخل خاک، t زمان از ابتدای جریان آب در نوار و x فاصله پیشروی از ابتدای نوار می‌باشد. باسات^۲ (۱۹۷۶) توسط مدل‌های

1 Hart

2 Bassett

کامپیوتری معادلات سنت ونان را با در اختیار داشتن دبی در واحد عرض (q)، معادله نفوذ، شیب نوار و ضریب زبری حل و با استفاده از مدل‌های کامپیوتری پیشروی آب در نوار را پیش‌بینی کردند. ساکاس و استرلیکف^۳ (۱۹۷۴) معادلات سنت ونان را با روش خطوط مشخصه حل کردند. در این پژوهشها مولفه نفوذ با استفاده از مدل تجربی کوستیاکوف برآورد شد. مطالعات نشان داده که مدل تجربی کوستیاکوف برای تخمین میزان نفوذ در زمانهای کوتاه مناسب است. هنوک^۴ (۱۹۹۵) یک روش ساده برای پیش‌بینی منحنی پیشروی آبیاری سطحی با استفاده از پارامترهای نفوذ و مقدار جریان ورودی مورد استفاده قرار داد. در این روش پیش‌بینی‌های پیشروی با استفاده از روش پیشنهادی با مشاهدات مزرعه، مدل موج‌کینماتیکی و حل آنالیزی *Phillip* و *Farell* مقایسه شده است. در همه حالاتها، پیش‌بینی‌های روش بدست آمده موید مشاهدات مزرعه و همچنین مدل موج کینماتیک می‌باشد.

فوک و بیشاپ^۵ (۱۹۹۵) پیشروی آب روی سطح نوار را به صورت مستقل از ویژگیهای جریان، می‌توان با تابع نمایی زیر برآورد کردند:

$$t = px^r \quad (3)$$

که در آن x فاصله جبهه پیشروی آب از ابتدای نوار در زمان t و p و r نیز ضرایب ثابت معادله می‌باشند.

در این تحقیق بررسی تاثیر رطوبت اولیه و دبی ورودی آب در خاکهای سنگریزه‌ای بر جبهه پیشروی آب در ۸ نوار آبیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

تعداد ۸ نوار با عرض ۱/۵ متر و طول ۶۰ متر در زمینی به ابعاد ۶۰*۲۰ متر و با شیب طولی یکنواخت ۰/۵ درصد و بدون شیب عرضی، برای انجام آزمایشات و تکرارهای مناسب ایجاد شد. برخی ویژگیهای خاک سنگریزه‌ای مزرعه آزمایشی در جدول (۱) ارائه شده است. فراوانی نسبی ذرات خاک 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 انجام شد. برای نمونه برداری و تعیین رطوبت وزنی از مته نمونه برداری، ترازو و خشک‌کن استفاده شد. از آنجا که انجام آزمایش و اندازه‌گیریها در یک رطوبت از پیش معین شده بدلیل مشکل بودن پایش رطوبت خاک تا لحظه رسیدن به رطوبت مورد نظر میسر نبود، اندازه‌گیری سرعت پیشروی در رطوبتهای مختلف موجود در خاک بعد از گذشت زمانی معین از آبیاری صورت گرفت. شکل (۱) تناوب آبیاریها در مزرعه و زمان آبیاری را نشان می‌دهد.

1 Sakkas and Strelkoff
2 Henoque
3 Fok and Bishop

آب مورد نیاز برای آبیاری نواری توسط لوله‌ای به قطر ۲ اینچ تامین گردید و یک شیر در انتهای لوله برای تنظیم دبی تعبیه شد. برای ورود یکنواخت آب به درون نوار و جلوگیری از فرسایش و شسته شدن سطح خاک به هنگام آبیاری، شیار در ابتدای هر نوار ایجاد و درون آن با لایه پلاستیکی عایق شد تا ابتدا آب وارد شیار شده و به صورت یکنواخت به سطح کل نوار سرریز و در جهت شیب طولی زمین پیشروی کند. در طول هر نوار ۶ نمونه از ابتدا، وسط و انتها و در عمقهای ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتیمتر تهیه شد و رطوبت هر نمونه بطور جداگانه اندازه‌گیری شد. میانگین ۶ رطوبت محاسبه و در تجزیه و تحلیل داده‌ها به عنوان رطوبت اولیه خاک مورد استفاده قرار گرفت. آزمایشات در دبیهای مختلف انجام گرفت.

در طول، نوارها به فواصل ۵ متری میخ کوبی شد و زمان رسیدن جبهه پیشروی به هر یک از میخها ثبت و سرعت جبهه پیشروی به دست آمد. اطلاعات مربوط به ۱۰ آزمایش انجام شده در جدول (۲) ارائه شده است. ستون اول دبی ورودی برای هر آزمایش را نشان می‌دهد. در ستون دوم، میانگین رطوبت هر آزمایش بر حسب درصد ارائه شده که تجزیه و تحلیل‌های انجام شده بر اساس این رطوبتهاست. ستونهای سوم تا سیزدهم، زمان رسیدن جبهه پیشروی آب به هر میخ چوبی را بر حسب ثانیه نشان می‌دهد. به علت ناهمواری و زهکشی نامناسب در بخش انتهایی زمین، از میخهای شماره ۱۱ و ۱۲ که در فاصله ۵۵ و ۶۰ متری از ابتدای نوار قرار داشته، صرف‌نظر شد. این آزمایشها طی ۲ ماه انجام شد. با استفاده از دوره‌های مختلف آبیاری در طی ۶۰ آزمایش اثر رطوبتهای ۲ تا ۴۸ درصد مورد مطالعه قرار گرفت. در هر آزمایش، بی‌درنگ پس از نمونه‌برداری رطوبت اولیه، آبیاری انجام گرفت.

بحث و نتیجه‌گیری

می‌بایست بین ضریب و توان معادله پیشروی ($x = pt^r$) یعنی r, p و رطوبت اولیه و دبی ورودی نوار روابطی برقرار نمود. با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده برای رطوبت، θ_i ، و دبی ورودی، Q ، و ثبت زمان رسیدن جبهه پیشروی، t_i ، به نقاط متساوی الفاصله میخ‌کوبی شده در طول نوار، x_i ، می‌توان در هر رطوبت و دبی معین، معادله بهترین خط قابل برازش بر داده‌های اندازه‌گیری شده، t_i و x_i ، را بصورت $t = f(p, r, x, \theta, Q)$ نوشت و به این ترتیب به ازای هر θ, x, Q ، مقدار سرعت پیشروی قابل محاسبه است. به طور نمونه شکل (۲) 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. شکل (۳) زمان رسیدن جبهه پیشروی آب به انتهای نوار در رطوبتهای اولیه مختلف را نشان می‌دهد. خاکهای سنگریزه‌ای مورد مطالعه، در رطوبتهای پایین از سرعت نفوذ بالایی برخوردار بودند. ملاحظه می‌گردد که با افزایش رطوبت خاک تا ۲۰ درصد، سرعت پیشروی آب نیز افزایش قابل‌توجهی دارد. در رطوبتهای بیشتر از ۲۰ درصد، اختلاف زمانهای رسیدن جبهه پیشروی به انتهای زمین کمتر می‌شود

بمنظور بسط رابطه‌ای بین رطوبت اولیه خاک، دبی و پیشروی آب در نوار، ابتدا روابطی بین پارامترهای مذکور بصورت (t, x, θ, Q) پیشنهاد گردید. سپس نتایج محاسبه شده از رابطه‌های پیشنهادی اجها^۱ (۱۹۹۷) با مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه مقایسه شد. بهترین ضرایب برای روابط با مینیمم کردن خطای محاسباتی به کمک رابطه (۳) برای معادلات بدست آمد.

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Y_a - Y_b}{Y_a} \right| \times 100 \quad (۴)$$

که در آن :

E = خطای محاسباتی (درصد)، N = تعداد داده‌ها، Y_a = مقدار مشاهداتی، Y_b = مقدار محاسباتی. در این تحقیق رابطه زیر مورد بررسی قرار گرفت و از روابط دیگر به سبب خطای بالای محاسباتی صرف‌نظر شد.

$$t = f(x, \theta, Q) \quad \longrightarrow \quad t = p \cdot x^r \cdot \theta^s \cdot Q^w \quad (۵)$$

برای حل رابطه (۵) به این صورت عمل می‌کنیم که ضریب و توانهای p, r, s, w در حل رابطه خطا وارد می‌شود و با بهینه سازی خطی و تغییر ضرایب، خطا مینیمم می‌شود تا در خطای مینیمم بهترین ضریب و توانها بدست آید.

$$T_b = px_i^r \theta_j^s Q_k^w \rightarrow T_b = 1 \times 40^1 \times 4.6^1 \times 0.000333^1 = 0.061272$$

$$E_i = \left| \frac{T_a - T_b}{T_a} \right| \times 100 = \left| \frac{2340 - 0.061272}{2340} \right| \times 100 = 99.99\% \quad \text{درصد خطای یک نقطه با ضرایب اولیه}$$

مجموع خطای تمام نقاط بر تعداد داده‌ها تقسیم شد تا خطای کل بدست آمد. در بهینه سازی خطی، مینیمم کردن خطا هدف بود. زمانی که کمترین خطا به شکل زیر بدست آمد، بهترین ضرایب رابطه مورد نظر استخراج شد.

$$E = \frac{100}{40} \left| \frac{(2340 - 1210.655)}{2340} + \frac{(810 - 833.8141)}{810} + \dots + \frac{(410 - 395.4376)}{410} \right| = 13\%$$

برای مثال نحوه حل معادله (۵) و بدست آمدن خطای مینیمم نشان داده شد. در شکل شماره (۴) داده‌های مشاهداتی و محاسباتی نسبت به هم مقایسه شده است. داده‌های مشاهداتی و محاسباتی از همبستگی بالایی برخوردار هستند.

رابطه بین زمان، فاصله پیشروی، رطوبت اولیه و دبی (t, x, θ, Q):

با مشاهده داده‌ها و نمودارها به این نتیجه می‌توان رسید که با گذشت زمان از ابتدای آبیاری تاثیر رطوبت اولیه بر پیشروی محسوس‌تر بوده و نیز به علت اهمیت زمان رسیدن جبهه پیشروی آب به قسمتهای انتهایی نوار به خصوص به انتهای زمین، تجزیه و تحلیل و حل معادلات بر اساس داده‌های انتهایی نوار صورت گرفت. رابطه به شکل زیر بدست آمد.

$$t = 0.35 \times x^{1.37} \times \theta^{-0.54} \times Q^{-0.49} \quad (۶)$$

$$E = 6.67\% \quad \text{خطا}$$

که در این رابطه:

t : زمان پیشروی (s)، x : فاصله از ابتدای نوار (m)، θ : رطوبت وزنی خاک (%)، Q : دبی ورودی آب ($m^3/s/m$)

با محاسبه رطوبت اولیه و مشخص بودن دبی ورودی و فاصله از ابتدای نوار، زمان پیشروی تا نقطه مورد نظر از معادله (۵) بدست می‌آید. در رابطه (۵) با وارد کردن معادله مانینگ به جای دبی ورودی می‌توان پارامترهای شیب، ضریب زبری و عمق آب را وارد معادله کرد.

$$Q = \frac{1}{n} \times Y \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (۷)$$

Q : دبی ورودی ($m^3/s/m$)، Y : ارتفاع آب در نوار (m)، R : شعاع هیدرولیکی (m)، S : شیب زمین (m/m)، n : ضریب زبری مانینگ ($s/m^{\frac{1}{3}}$)، به علت عریض بودن نوار $Y = R$ می‌باشد. پس رابطه (۵) را به شکل زیر نیز می‌توان مورد استفاده قرار داد.

$$t = 0.35 \times x^{1.37} \times \theta^{-0.54} \times \left(\frac{1}{n} \times Y^{\frac{5}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \right)^{-0.49} \quad (۸)$$

با استفاده از معادلات ارائه شده با اندازه گیری پارامترهای ثابت هر نوار مانند n, S و پارامترهای متغیر برای هر آبیاری مانند Y, θ می‌توان زمان رسیدن جبهه پیشروی آب به هر نقطه از نوار را با خطای حدود ۱۰ درصد تخمین زد و با رسم منحنی پیشروی و منحنی نفوذ بهترین زمان قطع جریان را محاسبه نمود. رویکرد فازی: روش دیگری که می‌توان برای یافتن معادله پیشروی از آن استفاده نمود، رگرسیون فازی می‌باشد که از کاربردهای مهم تئوری مجموعه‌های فازی به شمار می‌آید. به طور کلی از این تئوری برای شرایطی استفاده می‌شود که میزان عدم قطعیت و عدم صراحت در یک رخداد، بالا باشد. یکی از شرایطی که باعث افزایش عدم قطعیت می‌شود کم بودن تعداد داده‌های مشاهده‌ای است. همچنین هنگامی که شناخت کافی در مورد پارامترهای مؤثر بر یک پدیده نداریم در مدل‌سازی رفتار آن خطای زیادی وارد می‌گردد. حال برای یافتن معادله پیشروی آب به خوبی می‌توان از رگرسیون فازی استفاده نمود، چراکه اولاً تعداد آزمایش‌های انجام شده کم می‌باشد و ثانیاً به عوامل مختلف نظیر ناهمگن بودن خاک، نادقیق بودن میزان

رطوبت خاک، نوسان در دبی ورودی به کرت‌ها، متغیر بودن ضریب مانینگ و ... باعث ایجاد عدم قطعیت می‌گردند.

محققین زیادی روش‌های مختلفی جهت حل مسایل رگرسیون فازی ارائه نموده‌اند که همه آن‌ها را می‌توان به سه دسته زیر تقسیم‌بندی نمود:

- مدل‌های رگرسیون امکانی فازی
- مدل‌های رگرسیون کمترین مربعات فازی
- مدل‌های رگرسیون مبتنی بر تحلیل بازه‌ای

مدل‌های رگرسیون امکانی، بهترین معادله رگرسیون را با مینیمم کردن میزان فازی بودن به دست می‌آورند در حالی که مدل‌های رگرسیون مجموع مربعات، با مینیمم کردن مجموع مربعات خطاها یعنی اختلاف بین خروجی‌های مشاهداتی و محاسباتی این کار را انجام می‌دهند. در نهایت مدل‌های رگرسیون مبتنی بر تحلیل بازه‌ای، ضرایب و داده‌های معادله رگرسیون را به صورت اعداد بازه‌ای در نظر می‌گیرند. برای یافتن معادله پیشروی، مدل‌های رگرسیون امکانی فازی مدل‌های مناسبی می‌باشند که از آن جمله می‌توان به مدل ارائه شده توسط تاناکا و همکاران (۱۹۸۲) اشاره نمود. این مدل‌های رگرسیون امکانی بهترین معادله رگرسیون را با مینیمم کردن میزان فازی بودن به دست می‌آورند. این کار را با مینیمم کردن مجموع کل پهنای توابع عضویت ضرایب فازی معادله رگرسیون انجام می‌دهند. بنابراین برای دستیابی به بهترین برازش باید یک مدل بهینه‌سازی تهیه گردد. در صورتی که از توابع عضویت مثلثی متقارن برای نمایش اعداد فازی این مدل‌ها استفاده شود، رگرسیون خطی فازی را می‌توان در قالب یک مسأله برنامه‌ریزی خطی فرموله و حل نمود. برای یافتن معادله پیشروی آب، معادله رگرسیون خطی باضرایب فازی و ورودی و خروجی مشاهده‌ای غیرفازی که شکل کلی آن به صورت معادله زیر در نظر گرفته می‌شود مناسب می‌باشد.

$$\tilde{Y} = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 x_1 + \tilde{A}_2 x_2 + \dots + \tilde{A}_n x_n$$

به طوری که ضرایب این معادله یعنی $\tilde{A}_0, \tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n$ اعداد فازی و متغیرهای ورودی مشاهده‌ای یعنی x_1, x_2, \dots, x_n اعداد معمولی می‌باشند. در این حالت با توجه به این‌که متغیرهای ورودی مستقل x ، θ و Q و متغیر وابسته \tilde{T} می‌باشد معادله فوق را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\tilde{T} = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 x + \tilde{A}_2 \theta + \tilde{A}_3 Q$$

حال هدف پیدا کردن پارامترهای ضرایب فازی این معادله می‌باشد. برای مطالعه بیشتر می‌توان به کورده‌پزان دزفولی (۱۳۸۴) مراجعه نمود.

آزمایش‌ها بر روی نوارهای آبیاری انجام شد و نتایج نیز بر آن اساس بود. پیشنهاد می‌شود این روابط در روشهای دیگر آبیاری تست و مقایسه شود تا تاثیر پارامتر رطوبت در هر روش مشخص شود.

تغییر در روش بهره برداری یک سیستم توزیع آب، وضعیت عملکرد آن را به طور قابل ملاحظه ای تحت تأثیر قرار می دهد. بنابراین یکی از طرق عمده بازسازی شبکه های آبیاری و افزایش بهره وری آنها، تعیین روش بهینه عملی برای آبیاری است. برای نیل به این هدف بایست تحقیقات وسیعی در مورد نحوه آبیاری، نفوذ، پیشروی، رطوبت خاک انجام گیرد تا با ارائه روابط ساده و دقیق انجام آبیاری مزارع بر اساس برنامه منظم از نظر میزان آب، زمان و دور تعیین شود.

منابع

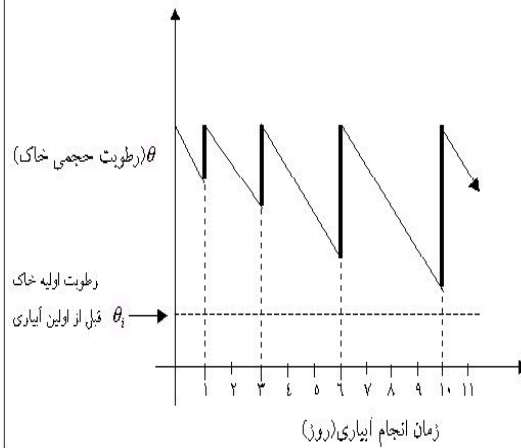
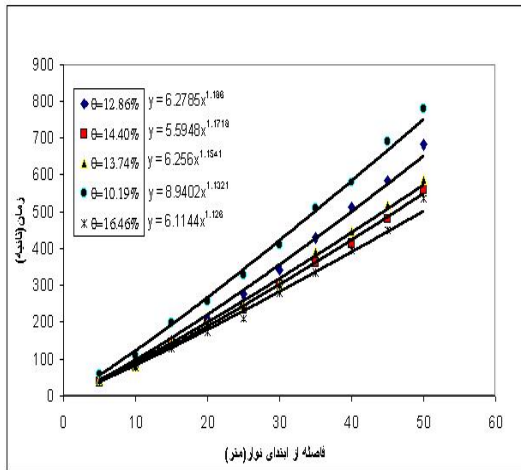
۱. کوره پزان دزفولی، امین، (۱۳۸۴)، اصول تئوری مجموعه های فازی و کاربردهای آن در مدل سازی مسایل مهندسی آب، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی امیرکبیر
2. Tanaka, H., S.Uejima, and K. Asai (1982). Linear regression analysis with fuzzy model, IEEE Transactions on Systems Man. Cybern., vol. SMC-12, No. 6, pp. 903-907
3. Bassett, D. L. (1976). Simulating overland flow in border Irrigation. Trans. ASAE. 19(4): 666-671.
4. Fok, Y. S. and Bishop, A. (1995). Analysis of water advance in surface irrigation. ASCE. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 91(3): 99-116.
5. Henoque, R. (1995). Prediction of surface irrigation advance using soil intake properties. Journal of Irrigation Science, 16: 159-167.
6. Ojha, C. S. P., and Subbaian, D. (1997). "Analysis of flow through lateral slot." J.Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, 123(5), 402-405

جدول ۱: ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش.

ویژگیهای خاک عمق خاک (cm)	pH	هدایت الکتریکی DC/meter	کربن آلی (درصد)	آهک (درصد)	بافت خاک (درصد)	مواد آلی (درصد)	اشباع (درصد)
cm(۰-۳۰)	۷/۸۸	۱/۳۸	۱/۳۴	۱۲/۱۳۹	شن ۵۸/۲ رسی ۲۱/۸ سیلت ۲۰	۱/۷۸	۴۸/۴۳
cm(۳۰-۶۰)	۸	۱/۱۴	۱/۲۰۱	۱۲/۷۸۹		۱/۳۳	۴۶/۸۹

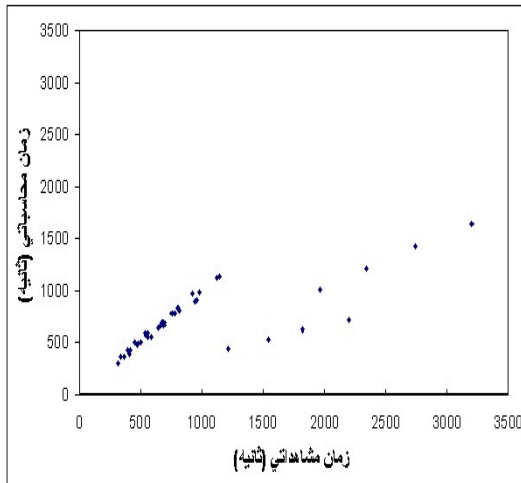
جدول ۲: اطلاعات مربوط به زمان رسیدن جبهه پیشروی (ثانیه) به فاصله مشخص از ابتدای نوار در رطوبت اولیه اندازه گیری شده.

دبی ورودی (متر مکعب بر ثانیه در واحد عرض)	رطوبت میانگین (درصد)	فاصله از ابتدای نوار (متر)										
		۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰
0.000333	4.60	0	180	385	695	990	1275	1600	1965	2340	2740	3200
0.000667	4.90	0	60	145	265	330	425	545	670	810	980	1145
0.000667	4.93	0	62	126	224	313	400	505	678	798	920	1120
0.001333	4.90	0	50	100	165	235	285	380	480	560	690	812
0.000667	16.45	0	40	78	130	173	210	280	335	396	450	535
0.000667	22.13	0	38	80	120	165	210	255	315	368	418	500
0.000333	7.80	0	90	210	360	530	710	950	1215	1540	1820	2200
0.000667	7.35	0	58	128	205	285	375	460	585	690	780	960
0.000667	7.46	0	55	120	180	265	350	430	559	667	755	945
0.001333	7.40	0	45	95	140	205	260	335	410	475	560	645

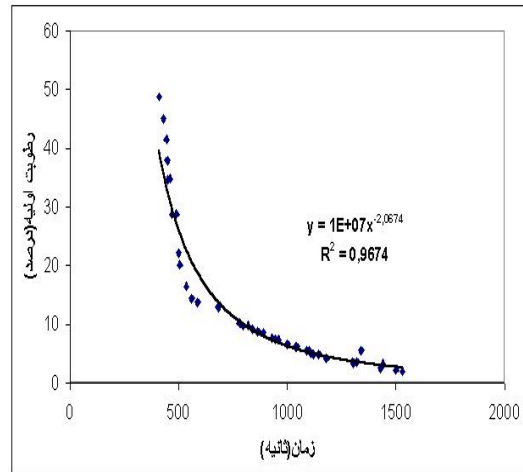


شکل ۲: منحنی‌های جبهه پیشروی درنوار برای رطوبت اولیه و دبی مختلف

شکل ۱: انجام آبیاری با دوره‌های متفاوت به منظور دستیابی به رطوبتهای مختلف



شکل ۴: همبستگی مقادیر زمان مشاهداتی در محاسباتی برای رابطه ۵



شکل ۳: تاثیر رطوبت اولیه بر زمان جبهه پیشروی مزرعه و زمان برای انتهای نوار