

## شبیه‌سازی آبیاری موجی و مقایسه‌ی آن با جریان پیوسته

علی اصغر میرزایی<sup>۱\*</sup>، سید علی اشرف صدرالدینی<sup>۲</sup> و امیرحسین ناظمی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۰/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱/۱۸

### چکیده

یکی از روش‌های مدیریت آبیاری سطحی برای افزایش بازده، آبیاری موجی<sup>۲</sup> یا استفاده‌ی متناوب از آب در شیار است. هدف از این پژوهش، مقایسه‌ی شاخص‌های عملکرد در جریان موجی با روش جریان پیوسته و یافتن نسبت تناوب و بده ورودی مناسب و همچنین، مقایسه‌ی سرعت پیشروی جبهه‌ی رطوبتی در طول جویچه در آبیاری موجی نسبت به آبیاری پیوسته است. بدین منظور، جویچه‌هایی به طول ۷۰ متر و دو شدت جریان ۰/۵ و ۲ لیتر بر ثانیه و نسبت تناوب‌های گوناگون (۱:۳، ۱:۴، ۲:۳) در جریان موجی ایجاد شد. آزمایش‌های صحرایی شامل تعیین تیمارهای جریان موجی و پیوسته (دو بده و نسبت‌های تناوب متفاوت در موجی) اندازه‌گیری سرعت پیشروی و مقادیر جریان ورودی و خروجی و نیز برداشت نمونه‌های خاک پیش و پس از آبیاری در ایستگاه تحقیقاتی خلعت پوشان دانشگاه تبریز انجام شدند. سپس با استفاده از شبیه‌سازی سطحی SIRMOD شبیه‌سازی فراسنج‌های جریان و نفوذ آب در جویچه‌های آبیاری در دو جریان موجی و پیوسته انجام شد. برای مقایسه‌ی سرعت پیشروی آب در طول جویچه‌ها در آبیاری موجی نسبت به آبیاری پیوسته، شبیه‌سازی پیشروی جبهه رطوبتی در روند توسعه‌ی حجم مرطوب شده‌ی خاک از شبیه HYDRUS-2D استفاده شد. از نتایج شبیه‌سازی جریان‌ها مشخص شد که سرعت نفوذ نهایی در جریان موجی بسیار کم‌تر از جریان پیوسته بوده و سرعت پیشروی جبهه‌ی رطوبتی در تیمارهای موجی به علت کاهش نفوذ عمقی بیش‌تر از تیمارهای پیوسته با بده یکسان بوده است. در مجموع، در منطقه‌ی مورد مطالعه، تیمار S22 (بده‌ی ۰/۵ لیتر بر ثانیه و نسبت دوره‌ی ۱:۴) بهترین عملکرد را داشته و تیمار S13 (بده‌ی ۰/۵ لیتر بر ثانیه و نسبت تناوب ۲:۳) حتی از تیمارهای جریان پیوسته نیز ضعیف‌تر عمل کرده است.

واژه‌های کلیدی: جریان موجی، جریان پیوسته، SIRMOD، HYDRUS-2D

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز.

\*- نویسنده‌ی مسوول مقاله: a\_mirzaie62@yahoo.com

## مقدمه

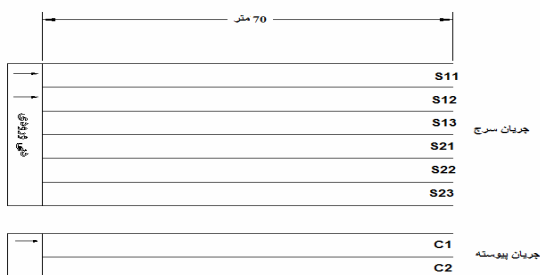
یکی از مشکلات اصلی آبیاری سطحی، نفوذ زیاد آب در خاک و نایکنواخت بودن نیمرخ رطوبتی در زیر سطح خاک است که موجب کاهش بازده می‌گردد (سهرابی و همکاران، ۱۳۷۵). به همین دلیل، متخصصین اقدام به استفاده از سامانه‌های تحت فشار نموده‌اند تا از این راه، بازده آبیاری را افزایش دهند، اما از آنجایی که اجرای اولیه‌ی این سامانه‌ها هزینه‌ی زیادی را می‌طلبد، پژوهشگران در پی آن بودند تا با اعمال مدیریت آبیاری سطحی، نفوذ عمقی و رواناب کمینه گردد و با این حال، آب مورد نیاز گیاه نیز تأمین گردد. از جمله‌ی این روش‌ها می‌توان به استفاده از آبیاری موجی یا کاربرد متناوب از آب در سامانه‌ی آبیاری شیاری اشاره نمود. جریان موجی برقراری متناوب جریان آب آبیاری در مسیر جویچه با ایجاد یک گروه دوره‌های قطع و وصل جریان با دوره‌های زمانی ثابت (یا متغیر) است (علیزاده، ۱۳۸۷). تجزیه و تحلیل حرکت آب در آبیاری موجی با توجه به پیچیده بودن رفتار آب در خاک، تغییرات نفوذپذیری نسبت به زمان و مکان و کاربرد انواع بده‌های جریان و زمان قطع و وصل بسیار دشوار است که می‌توان بر اساس شبیه سازی جریان با استفاده از شبیه‌های آبیاری سطحی انجام داد (صدرالدینی و همکاران، ۱۳۸۵). یکی از این شبیه‌ها، شبیه آبیاری سطحی SIRMOD (واکر، ۱۹۸۷) است که انواع روش‌های آبیاری سطحی را شامل شده و می‌تواند رژیم‌های قطع جریان<sup>۱</sup> و موجی را شبیه سازی کند. ورودی‌های اصلی شبیه SIRMOD شامل شدت جریان ورودی، مشخصات هندسی مقطع شیاری، طول و شیب شیاری، فراسنج‌های نفوذپذیری و مقاومت هیدرولیکی (ضریب زبری) می‌باشند. خروجی‌های شبیه نیز شامل زمان‌های پیشروی و پسروی، رواناب از انتهای شیاری، آب‌نگار رواناب خروجی، بازده کاربرد آب، یکنواختی توزیع آب و عمق نفوذ یافته در امتداد طولی شیاری می‌باشند (واکر و اسکوگر، ۱۹۸۷). بررسی‌های انجام شده در مورد آبیاری موجی نشان می‌دهند که جریان موجی باعث افزایش سرعت پیشروی (بیشاب، ۱۹۸۰) یکنواختی عمق آب نفوذ کرده (کمپی و همکاران، ۱۹۸۸) افزایش بازده

(واکر و اسکوگر، ۱۹۸۷) و کاهش نفوذپذیری (گلدیج و همکاران، ۱۹۸۲) نسبت به جریان پیوسته می‌گردد. برخی از پژوهشگران نظیر پودمور و دوک (۱۹۸۲)، پودمور و همکاران (۱۹۸۳) و وینس و آیزنهاور (۱۹۸۹) زمان پیشروی کندتر یا مساوی را برای آبیاری موجی بدست آوردند. مک کلایمونت و همکاران (۱۹۹۶) نتایج پیشروی، رواناب و نفوذ برآورد شده در مورد اندازه گیری‌های مزرعه‌ای مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که حجم نفوذ را کم‌تر از مقدار اندازه گیری شده برآورد می‌کند. ایزدی و همکاران (۱۳۸۴) نیز پژوهش مشابهی را در تعداد قابل توجهی از جویچه‌ها در سه محل گوناگون انجام دادند. آن‌ها جریان متعادل را برای آبیاری موجی در طول مرحله‌ی پیشروی و مرحله‌ی پس از پیشروی در نظر گرفتند. نتیجه‌ی این پژوهش‌ها نشان داد که در دو روش آبیاری موجی و آبیاری با کاهش جریان، بازده کاربرد می‌تواند در حد قابل توجهی افزایش یابد. شبیه HYDRUS یکی از نرم‌افزارهای پیشرفته در ارتباط با حرکت یک بعدی آب، املاح و گرما در خاک است. این شبیه شامل حل عددی معادله ریچاردز است که به وسیله‌ی سیمونک و همکاران (۱۹۹۹)، بسط داده شده است. در این پژوهش شبیه سازی پیشروی حرکت آب در جویچه‌های آبیاری در جریان موجی و پیوسته با شبیه D HUDRUS2 انجام می‌شود. در مورد شبیه سازی پیشروی حرکت آب در خاک با شبیه HYDRUS2-D می‌توان به پژوهش‌های وانگ و همکاران (۱۹۹۷)، سیمونک و همکاران (۱۹۹۹)، ونترلا و همکاران (۲۰۰۰) و عباسی و همکاران (۲۰۰۳ abc) اشاره کرد. هدف از این پژوهش شبیه سازی آبیاری جریان موجی و مقایسه‌ی آن با جریان پیوسته و یافتن نسبت بده‌ی ورودی و تناوب مناسب برای منطقه‌ی مورد آزمایش و شبیه سازی و مقایسه‌ی سرعت پیشروی رطوبتی در جریان موجی و پیوسته است.

## مواد و روش‌ها

بمنظور شبیه سازی جریان موجی و مقایسه‌ی آن با جریان پیوسته، آزمایش‌های مزرعه‌ای در ایستگاه پژوهشی خلعت پوشان دانشگاه تبریز انجام گرفت. جهت شبیه

<sup>1</sup> - cut back



شکل ۱- نمایی از محل آزمایش و نحوه‌ی قرارگیری در دو جریان پیوسته و موجی.

سازی از شیارهایی به طول ۷۰ متر و ضریب زبری  $0.045$  و شیب ۳۵ درصد استفاده شد که در دو شیار جریان پیوسته و در دو شیار دیگر جریان موجی با بدهی ورودی  $0.5$  و  $2/0$  لیتر بر ثانیه برقرار شد. شیارهای تیمار موجی نیز به تیمارهایی با نسبت تناوب‌های گوناگون تقسیم شدند. شکل ۱ نمایی از محل آزمایش و تیمارهای بکار رفته را نشان می‌دهد. نسبت بده و تناوب‌های بکار رفته در تیمارهای جریان موجی در جدول ۱ و برای جریان پیوسته در جدول ۲ آمده اند. زمان تناوب مجموع زمان قطع و وصل جریان می‌باشد و نسبت تناوب، نسبت زمان وصل به زمان تناوب است. در این جا زمان تناوب ثابت و برابر  $100$  دقیقه است. مقادیر نسبت تناوب‌های بکار رفته شده و زمان‌های قطع و وصل در جدول ۳ آمده است.

جدول ۱- نسبت بده و تناوب‌های بکار برده شده در تیمارهای جریان موجی.

		نسبت تناوب	تیمار
جریان موجی (S)	Q1(.5L/S)	۱:۲	S11
		۱:۴	S12
		۲:۳	S13
	Q2(2L/S)	۱:۲	S21
		۱:۴	S22
		۲:۳	S23

جدول ۲- نسبت بده و تیمارهای بکار برده شده در جریان پیوسته.

جریان پیوسته C	Q1(.5L/S)	C1
	Q2(2L/S)	C2

جدول ۳- مشخصات نسبت تناوب‌های بکار برده شده.

نسبت تناوب ۱۰۰ دقیقه			
نسبت تناوب	۱:۴	۱:۲	۲:۳
زمان وصل(دقیقه)	۲۵	۵۰	۶۶/۷
زمان قطع(دقیقه)	۷۵	۵۰	۳۳/۳

خاک، منحنی دانه‌بندی و منحنی مشخصه‌ی رطوبت خاک تعیین شدند. بدین منظور، آزمایش استوانه‌های مضاعف برای تعیین هدایت آبی اشباع خاک در محل اجرای آزمایش صحرائی، آزمایش چگالی سنجی برای

شبیه مورد استفاده برای الگو سازی شبیه آب‌پویایی<sup>۱</sup> کامل بوده است. ویژگی‌های خاک شامل چگالی‌های ظاهری و واقعی ذرات خاک و رطوبت اولیه‌ی خاک پیش از آزمایش‌های صحرائی اندازه‌گیری و هدایت آبی اشباع

تعیین بافت خاک و آزمایش‌های مورد نیاز برای تعیین چگالی ظاهری و واقعی خاک انجام گرفت. جدول ۴ برخی

از ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد آزمایش را نشان می‌دهد.

جدول ۴- برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک منطقه‌ی مورد آزمایش

بافت خاک	چگالی ظاهری (gr/cm <sup>3</sup> )	چگالی واقعی (gr/cm <sup>3</sup> )	درصد شن	درصد لای	درصد رس	هدایت آبی اشباع (cm/day)
متوسط شنی	۱/۶۲	۲/۶۱	۷۰	۱۸	۱۲	۲۳

$$Z = k t^a + f_0 t \quad [1]$$

Z: نفوذپذیری تجمعی طول شیار بر حسب (m<sup>3</sup>/m)

f<sub>0</sub>: سرعت نفوذ نهایی (m<sup>3</sup>/m/min)

t: فرصت نفوذ (min)

k و a ضرایب تجربی

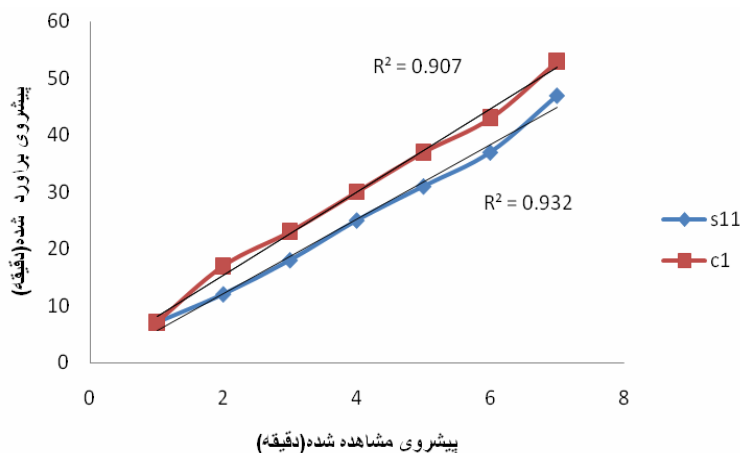
شبیه f<sub>0</sub> را از تعادل جریان ورودی- خروجی پس از آن که شدت جریان خروجی ثابت شد، محاسبه و مقادیر a و k را با استفاده از روش دونقطه ای تعیین می‌کند. فراسنج‌های نفوذ معادله‌ی نفوذ کاستیاکف- لوییس برای جریان پیوسته و موجی در جدول ۵ آمده است. شبیه SIRMOD با کاربرد روش آب‌پویایی کامل اجرا شد. عملکرد این شبیه در مرحله‌ی پیشروی برای دو تیمار موجی و پیوسته در شکل ۲ نشان داده شده است.

برای تعیین سرعت پیشروی در طول جویچه‌ها به فاصله‌ی هر ۱۰ متر از طول جویچه در همه‌ی تیمارها با میخ‌های چوبی علامت گذاری شد و زمان رسیدن جبهه‌ی آب به هر ایستگاه یادداشت و سطح مقطع جریان نیز با کاربرد دو شیارسنج که در دو نقطه نشتی نصب گردیده بودند، اندازه گیری شد. بدهی ورودی و خروجی با کاربرد ناو پارشال کوچک اندازه گیری شد. حجم آب نفوذ یافته در هر آبیاری با نمونه‌برداری، پیش و پس از آبیاری در چهار نقطه در طول جویچه‌ها و انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و توزین آن‌ها پیش و پس از خشک کردن در کوره تعیین گردید.

شبیه SIRMOD از معادله‌ی نفوذ کاستیاکف- لوییس برای برآورد حجم آب نفوذ یافته در آبیاری شیاری به صورت معادله‌ی [۱] استفاده می‌کند.

جدول ۵- فراسنج‌های معادله‌ی کاستیاکف- لوییس.

	a (بدون بعد)	K (m <sup>3</sup> /m/min)	f <sub>0</sub>
موجی جریان	۰/۰۰۴۳۷	۰/۴۱۳	۰/۰۰۴۱
پیوسته جریان	۰/۰۰۴۳۹	۰/۳۶۶	۰/۰۰۰۲۱



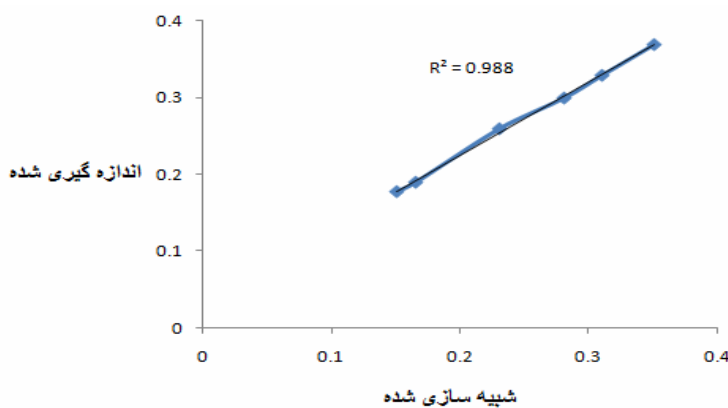
شکل ۲- مقایسه‌ی پیشروی مشاهده شده و برآورده شده در دو تیمار پیوسته و موجی.

### شرایط اولیه و انتهایی داده شده به شبیه

#### HYDRUS Z - D

شرایط اولیه‌ی توزیع رطوبت در خاک عبارت بودند از مقدار رطوبت موجود در خاک پیش از آبیاری که برای عمق‌های گوناگون تعیین و به شبیه معرفی گردید. حجم ثابت آب ورودی شیارها به عنوان شرط مرزی جریان به محدوده‌ی شبیه تعریف شد. در این محدوده فرض بر این است که از جوانب جریانی صورت نمی‌گیرد و مرز انتهایی مرز زهکش آزاد است. شبیه را برای مقادیر رطوبت در طول جویچه واسنجی کرده و مقدار رطوبت را شبیه‌سازی کردیم. شکل ۳ نمونه‌ای از این نتایج واسنجی را نشان می‌دهد که نشان از توانایی بالای شبیه - HYDRUS Z - D در شبیه‌سازی توزیع رطوبت در خاک دارد.

مقدار نسبتا بالای  $R^2$  نشان دهنده‌ی یک همبستگی خوب بین مقادیر برآورده شده و مشاهده‌ای هر دو تیمار است. همان گونه که مشاهده می‌شود، زمان پیشروی در آبیاری موجی خیلی بیش‌تر از آبیاری پیوسته برآورد شده است و زمان پیشروی کم‌تری را از مقادیر مشاهده شده نشان می‌دهد. در مقطعی معین از جویچه‌ی مشخصات آبی جریان در مدت آزمایش استخراج شدند. این مشخصه‌ها به عنوان داده‌های ورودی شبیه‌هایدروس برای شبیه‌سازی پیشروی حرکت آب در جویچه‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. پس از انجام آزمایش‌های صحرائی و آزمایشگاهی و بدست آوردن داده‌های ورودی شبیه‌ها ابتدا شبیه‌سازی جریان آب در جویچه با کاربرد شبیه SIRMOD انجام گرفت.



شکل ۳- مقایسه‌ی مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده با مقادیر شبیه‌سازی شده (درصدحجمی) در طول جویچه.

## نتایج و بحث

تیمارهای جریان موجی با بده و نسبت های تناوب بکار رفته و جریان پیوسته انجام شد. شاخص های عملکرد حاصل از شبیه سازی برای تیمارها در جدول ۶ آمده است.

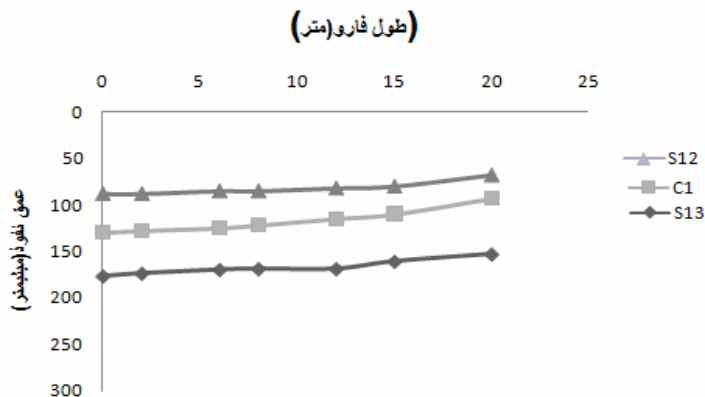
در این پژوهش با توجه به فراسنج های ورودی و مشخصات آن ها، شبیه سازی جریان برای هرکدام از

جدول ۶- شاخص های عملکرد دو جریان پیوسته و موجی.

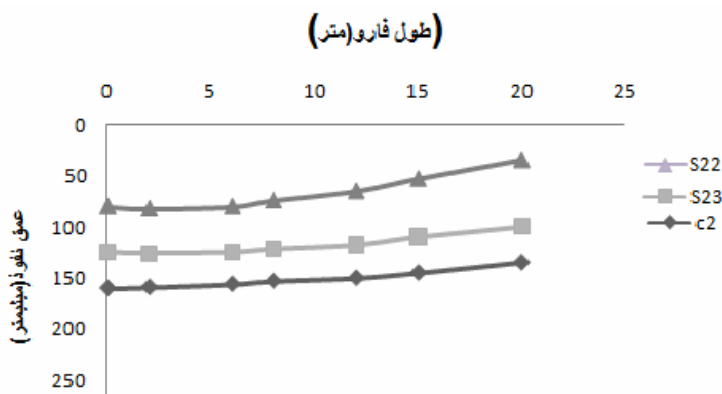
تیمار	بازدهی کاربرد ( $Ea$ /%)	ذخیره	بازدهی $Ei$ (%)	توزیع یکنواختی $DU$ (%)	رواناب پایاب $TWR$ (mm)
S11	۷۳/۳		۹۷/۹	۹۶	۳۲/۴
S12	۴۲/۱		۹۴/۴	۹۴/۶	۲۶/۷
S13	۲۹/۳		۲۸/۲	۹۰/۱	۵۵/۱
S21	۳۵/۷		۸۸/۷	۹۸/۳	۴۲/۳۲
S22	۷۵/۲		۹۹	۹۷	۱۶/۷۵
S23	۳۳/۴		۸۳/۴	۹۴/۹	۳۷/۷
C1	۵۴		۳۱/۲	۹۰/۱	۴۱/۱
C2	۳۰/۶۵		۳۵/۶	۹۲/۲۳	۶۰/۶۷

(S11) است. در جریان موجی برای یک نسبت تناوب ثابت بازده کاربرد برای بده کم تر بیش تر است. توزیع یکنواختی برای نسبت تناوب ثابت با کاهش بده کاستی پذیرفته و برای بده های یکسان با افزایش تناوب کاهش می یابد. در بیش ترین مقدار بده و کم ترین نسبت تناوب بیش ترین بازدهی کاربرد دیده می شود. رواناب پایاب به گونه ای چشمگیر در تیمارهای پیوسته بالاست. شکل های ۴ و ۵ نفوذ عمقی را در تیمارها با بده یکسان برای جریان موجی و پیوسته نشان می دهند.

همان گونه که در جدول دیده می شود، درصد توزیع یکنواختی برای همه تیمارها بالاست. بازدهی کاربرد در تیمار با بده زیاد و نسبت تناوب کم بالاتر از تیمارهای دیگر است. عملکرد تیمار S11 (نسبت تناوب ۱:۲) از تیمار جریان پیوسته نیز ضعیف تر بود که بیانگر این موضوع است که هر جریان موجی باعث بهبود عملکرد نمی شود و خود جریان موجی نیز باید مدیریت شود تا نسبت بده و تناوب مطلوب مشخص گردد. همان گونه که از جدول مشخص است برای یک نسبت بده ثابت بازده کاربرد و توزیع یکنواختی در تیمار پیوسته کم تر (به غیر از تیمار



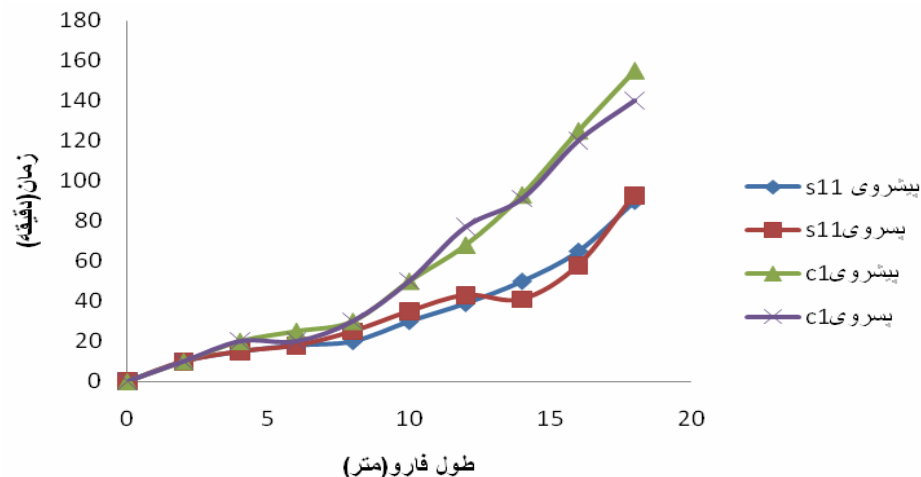
شکل ۴- نفوذ عمقی برای دو جریان موجی و پیوسته با بدهی ۵/۰ لیتر بر ثانیه پس از نخستین آبیاری.



شکل ۵- نفوذ عمقی برای دو جریان موجی و پیوسته با بده ۲ لیتر بر ثانیه پس از نخستین آبیاری.

زمانی موجود میان حرکت موج‌ها و در نتیجه وجود رطوبت از موج‌های قبل، نفوذ عمقی کاهش می‌یابد. در منطقه‌ی مورد آزمایش بیش‌ترین کاهش نفوذ عمقی را تیمار S13 (بدهی زیاد با نسبت تناوب زیاد) داشت و تیمار S22 نیز در کاهش نفوذ عمقی عملکرد خوبی داشته است. شکل ۶ نمونه‌ای از منحنی‌های پیشروی و پسروی شبیه‌سازی شده را برای جریان‌های موجی و پیوسته در دو تیمار با بده‌های یکسان را پس از نخستین آبیاری نشان می‌دهد.

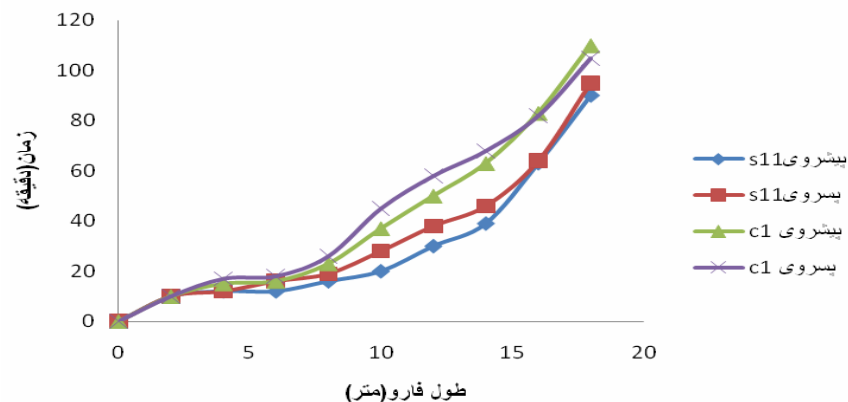
در کل، نفوذ عمقی در جریان موجی بسیار کم‌تر از جریان پیوسته است. در ابتدا سرعت نفوذ زیاد است، اما با پیشروی آب به سمت پایین سرعت نفوذ کاهش می‌یابد. نفوذ آب در ابتدای شیار به علت فرصت نفوذ زیادتر در مقایسه با انتهای شیار بیش‌تر است. از آن‌جا که با مرطوب شدن خاک از تراوایی آن‌ها کاسته می‌شود، پیشروی آب در طول شیار با مرطوب شدن خاک افزایش می‌یابد. نخستین خیز آبیاری موجی به علت خشکی خاک نفوذ عمقی بالاست، ولی با گذشت زمان کاهش می‌یابد. در موج‌های دوم به بعد، در روش موجی به علت اختلاف



شکل ۶- منحنی های پیشروی و پسروی برای جریان های موجی و پیوسته در آبیاری اولیه.

بسیار کمتر از جریان پیوسته است. شکل ۷ این منحنی ها را در آبیاری های بعدی نشان می دهد.

مقایسه‌ی این دو منحنی نشان می دهد که پیشروی برای جریان موجی در آغاز آبیاری سریع تر است. بنابراین، استفاده از آب برای کامل کردن پیشروی با جریان موجی

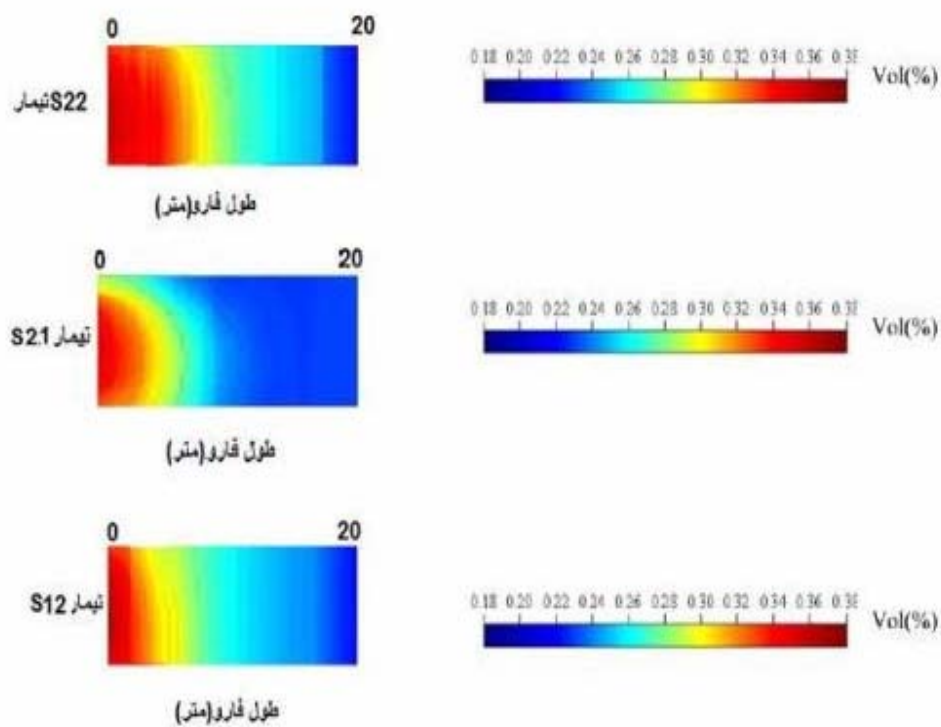


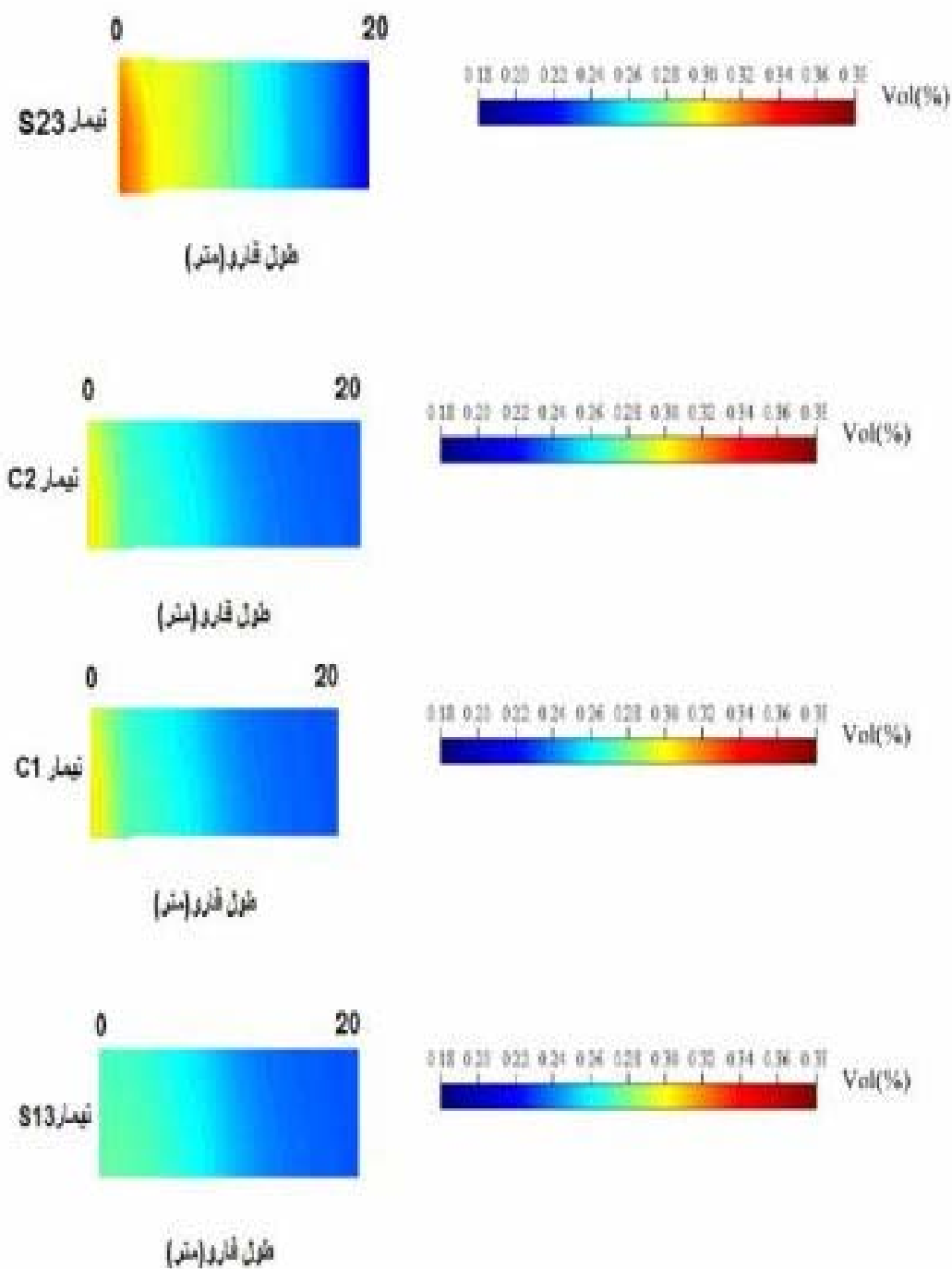
شکل ۷- منحنی های پیشروی و پسروی برای جریان های موجی و پیوسته در آبیاری های بعدی.

شبیه سازی پیشروی جبهه‌ی رطوبتی پس از نخستین آبیاری در تیمارهای آبیاری در جریان موجی با بده و نسبت تناوب متفاوت و جریان پیوسته را با استفاده از شبیه HYDRUS2-D نشان می دهد.

گفتنی است در این تیمار زمان پیشروی از لحاظ عملی یکسانند و اختلاف خیلی کمتری را نسبت به جریان پیوسته دارند. این مطلب ثابت می کند که روش موجی بیش تر برای آبیاری های اولیه مفید بوده و ممکن است در آبیاری های بعدی اثر موجی معنی دار نباشد. شکل های ۸







شکل ۸- شبیه سازی پیشروی جبهه‌ی رطوبتی در طول جویچه در تیمارهای موجی و پیوسته در آبیاری اولیه.

شیار که پیشروی صورت گرفته است، ذرات سطحی خاک به هم چسبیده و یک لایه‌ی آب بند در کف شیار ایجاد می‌شود؛ بدین ترتیب، در زمان وصل نفوذ عمقی کاهش

بر اساس مقیاس اسپکترن، پیشروی جبهه‌ی رطوبتی در جریان موجی با بدهی یکسان بیش‌تر از جریان پیوسته است. هنگام جریان موجی در زمان قطع آب در بخشی از

- 5- Abbasi, F., F. J. Adamsen, D. J. Hunsaker, J. Feyen, P. Shouse and M. Th. van Genuchten. 2003a. Effects of flow depth on water flow and solute transport in furrow irrigation: Field data analysis ASCE J. Irrig. Drain. Engin. 129: 237-246.
- 7- Abbasi, F., D. Jacques, J. Simunek, J. Feyen, and M. Th. van Genuchten. 2003b. Inverse estimation of the soil hydraulic and solute transport parameters from transient field experiments: heterogeneous soil. Trans. ASAE 46: 1097-1111.
- 8- Abbasi, F., J. Simunek, J. Feyen, M. Th. van Genuchten, and P. J. Shouse. 2003c. Simultaneous inverse estimation of the soil hydraulic and solute transport parameters from transient field experiments: homogeneous soil. Trans. ASAE. 46: 1085-1095.
- 9- Anonymous. 1998. Shrinking water supplies prompt a surge in new irrigation incentives. Texas A & M university. M2 communication. 41:345.367.
- 10- Bishop, A. A. 1980. Surge flow, the most efficient irrigation system. Crop Soil Mag. 18: 13-16.
- 11- Coolidge, P. S., W. R. Walker, and A. A. Bishop. 1982. Advance rate and runoff surge flow furrow irrigation. J. Irrig. Drain. Division .ASCE, 108 (IR1): 35-42.
- 12- Kemper, W. D., T. J. Trout, A. S. Humpherys, and M. S. Bullock, M. S. 1988. Mechanisms by which surge irrigation reduces furrow infiltration rates in a silty loam soil. Trans. ASAE 31: 821-829.
- 13- McClymont, D. J., S. R. Rain, and R. J. Smith. 1996. The prediction of furrow irrigation performance using the surface irrigation model (SIRMOD). Irrigation Australia. Annual Conference of Irrigation Association of Australian, Adelaide .
- 14- Podmore, T. H., and H. R. Duke. 1982. Field evaluation of surge irrigation. ASAE Paper No. 82-2102, ASAE, St. Joseph, MI. 15p

یافته و آب با سرعت بیش‌تری پیش می‌رود. در بین تیمارها تیمار S22 بیش‌ترین پیشروی را داشته و S13 تقریباً مشابه جریان پیوسته پیشروی کرده است.

### نتیجه‌گیری

برای مقایسه‌ی جریان موجی با جریان پیوسته شبیه سازی جریان موجی و پیوسته با استفاده از شبیه آبیاری سطحی SIRMOD انجام شد و از نتایج شبیه سازی‌ها مشخص گردید که جریان موجی باعث کاهش توامان نفوذ عمقی و رواناب پایاب، کاهش اختلاف زمان نفوذ ابتدا و انتهای جویچه و افزایش یکنواختی نفوذ می‌شود. پیشروی جبهه‌ی رطوبتی خاک با استفاده از شبیه -HYDRUS2 D شبیه سازی شد. مشخص گردید زمان پیشروی در طول شیار تیمارهای جریان موجی کوتاه‌تر از جریان پیوسته بوده است. در منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی تیمار S22 (بده زیاد و نسبت تناوب کم) در مجموع بهترین عملکرد و تیمار S11 (بده کم و نسبت تناوب زیاد) ضعیف‌ترین عملکرد (حتی ضعیف تر از جریان پیوسته) را داشته است. بدین ترتیب روشن است که افزایش بازده در آبیاری موجی در گرو ترکیب بهینه‌ی بده، تناوب و زمان قطع جریان می‌باشد.

### منابع

- ۱- ایزدی، م.، م. کوچک زاده، م. و. سامانی و م. شهبایی. فر. ۱۳۸۴. بررسی اثر تغییر پارامترهای موج بر روی یکنواختی و راندمان آبیاری موجی. علوم خاک و آب ۱۹(۲): ۲۷۹-۲۷۱.
- ۲- سهرابی، ت. ن. حیدری، ع. توکلی و س. نیری. ۱۳۷۵. آبیاری موجی. انتشارات کمیته ملی آبیاری وزهکشی. چاپ اول.
- ۳- صدرالدینی، س. ع. ا. م. ج. منعم و ا. ح. ناظمی. ۱۳۸۵. بهینه سازی آبیاری موجی با روش جستجوی ممنوع. علوم کشاورزی ایران. ۳۷(۱): ۱۱۷-۱۲۹.
- ۴- علیزاده، ا. ۱۳۸۵. طراحی سیستم‌های آبیاری. جلد اول: طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

