دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی
۲ خرداد ماه ۱۳۸۷

# ارزیابی دو مدل ریاضی SIRMOD و SRFR برای بررسی عملکرد آبیاری پیوسته و موجی

بیژن مجدزاده[۱]، مهدی قبادی‌نیا[۲]، تیمور سهرابی[۳]، فریبرز عباسی[۴]

**چکیده:**

امنیت و پایداری تولید محصولات غذایی با کنترل رطوبت در منطقه گسترش ریشه گیاه ارتباط مستقیم دارد. توسعه منابع آب در مناطق خشک امکان پذیر نیست و افزایش تولید با بهبود مدیریت و به تبع آن افزایش بازده شبکه‌های آبیاری مقدور است. ابزار جدید مانند نرم‌افزارها انتخاب و طراحی ترکیب‌های مدیریتی را آسان می‌کنند. در این مطالعه دقت شبیه‌سازی نرم‌افزارهای NRSC-SURFACE (SIRMOD extension) و SRFR Version 4.06 با داده‌های برداشت شده در مزرعه دانشکده کشاورزی کرج آزمون شدند. تیمارها شامل دبی‌های متفاوت در جریان پیوسته و جریان موجی برای دو نوبت آبیاری در خاک سیلتی لومی بودند. مقایسه نتایج داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه-سازی شده نشان داد که در آبیاری با جریان پیوسته نرم‌افزار SRFR زمان پیشروی، میانگین عمق نفوذ و توزیع یکنواختی را بهتر محاسبه نمود و در آبیاری با جریان موجی نرم‌افزار SURFACE این مقادیر را بهتر محاسبه نمود.

**کلمات کلیدی:** آبیاری جویچه‌ای، آبیاری موجی، مدل ریاضی، توزیع یکنواختی، نسبت نفوذ.

---

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سابق گروه آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی کرج.
۲- دانشجوی دکتری رشته آبیاری زهکشی گروه آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی کرج.
۳- استاد گروه آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
۴- عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی (کرج).

**مقدمه**

آبیاری سطحی به پهنه وسیع از روش‌های آبیاری گفته می‌شود. ترکیب اصلی این روش آبیاری وارد کردن آب از نقطه‌ای مشخص در مزرعه و جریان آزاد آن بر روی سطح می‌باشد، تا آب لازم توزیع شده و در منطقه ریشه گیاه ذخیره شود. آبیاری جویچه‌ای بدلیل حداقل تسطیح لازم کم هزینه‌ترین روش آبیاری سطحی برای ایجاد و نگهداری می‌باشد. با وجود هزینه اولیه کم، اساساً نیروی کار بیشتری را برای اجرا می‌طلبد. مدیریت آبیاری سطحی برای بدست آوردن بازده و یکنواختی بالا بسیار سخت است. چون مشخصات اولیه مزرعه با توجه به زمان و مکان آبیاری نوع محصول تغییر می‌کند. از اینرو بررسی تغییرات میزان دبی ورودی و زمان قطع، که بر روی بازده و یکنواختی موثر است، بسیار اهمیت دارد. ارزیابی و طراحی آبیاری سطحی از زمان اولین چاپ کتاب راهنمای ملی مهندسی SCS آبیاری کاملاً تغییر کرده است. اکنون تحلیل این موارد با مدلهای هیدوردینامیک، اینرسی صفر و موج کینیماتیکی می‌باشد. نرم‌افزارها، محاسبات طولانی این مدلهای ریاضی را سریع و آسان انجام می‌دهند. SIRMOD نرم‌افزار نوشته شده در دانشگاه یوتا ایالات متحده و NRCS-SURFACE نوشته شده در سازمان حفاظت منابع طبیعی ایالات متحده می‌باشند که آبیاری جویچه را شبیه‌سازی می‌کنند. در این دو نرم‌افزار مهمترین بخش موازنه حجم در مرحله پیشروی است. با فرضیاتی ریاضی سطح مقطع جریان را محاسبه می‌کنند. سپس در محاسبه مرحله پیشروی و محیط خیس شده استفاده می‌شود. این مدل‌ها از روش‌هایی که واکر و اسکوبگر[1](۱۹۸۷) و کلمینز و همکاران[2](۱۹۹۸) برای شبیه سازی هیدرولیکی با محاسبات عددی تئوری هیدرودینامیک استفاده می‌کنند [Walker, 2003 و Nrcs surface software manual, 2004]. نرم افزار SRFR نوشته شده توسط دفتر تحقیقات کشاورزی آمریکا(USDA) می‌باشد، مدل ریاضی یک بعدی برای شبیه سازی آبیاری سطحی است که مشخصات جریان را فقط نسبت به مکان از ابتدای مزرعه یا زمان از لحظه شروع آبیاری متغییر فرض می‌کند و با دو مدل اینرسی صفر و موج کینیماتیکی با روش حل عددی محاسبات را انجام می‌دهد [SRFR help index 1999].

یافتن ترکیب‌های مدیریتی مناسب آبیاری جویچه‌ای در دبی ثابت با شبیه‌سازی مدل‌های ریاضی روشی مرسوم و شناخته شده است [ملک پور، ۱۳۷۳ و Carcia-Navarro et al., 2004]. آبیاری موجی طبق تعریف بیشاپ[3](۱۹۸۱) عبارت است از کاربرد متناوب آب در جویچه یا نوار که بوسیله یک سری پالسهای وصل و قطع با زمان‌های متغییر یا ثابت ایجاد شود. این روش اولین بار توسط استرینگهام و کلر در سال ۱۹۷۹ مطرح گردید [Walker and Skogerboe, 1987]. این مدیریت روش آبیاری، بسیار پیچیده است. به همین منظور تلاش شده تا با مدلهای ریاضی هیدرودینامک [Haie, 1984]، اینرسی صفر [Wallender and Rayej, 1985 و قویدل ۱۳۷۶]، موج کینیماتیکی [Walker and Humpherys, 1983] آنرا شبیه‌سازی کنند.

---

1- Walker and Skogerboe 1987
2- Clemmens et al
3- Bishop et al

هدف این تحقیق بررسی دقت شبیه‌سازی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی آبیاری سطحی (جویچه‌ای) می‌باشد. بدین منظور از دو نرم‌افزار NRSC-SURFACE (Sirmod extension) و SRFR(1999) استفاده گردید. نرم‌افزار NRSC-SURFACE نسخه آسان شده نرم افزار SIRMOD می‌باشد که ویرایش نهایی آن بخشی از محاسبات نرم‌افزارSIRMOD را نیز انجام می‌دهد. هر دو نرم‌افزار از اینترنت به صورت رایگان قابل برداشت می‌باشند. جهت اجرای این نرم‌افزارها از داده‌های واقعی برداشت شده از مزرعه استفاده گردید.

## مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مزرعه‌ای برای جمع آوری داده‌های مورد نظر در دو مرحله و در مزرعه دانشکده کشاورزی (طول جغرافیایی ″۱۶′۴۸°۳۵ و عرض جغرافیایی ″۱۴′۵۷°۵۰) در شهرستان کرج و در شرایط بدون کشت انجام گردید. مرحله اول در خرداد ماه ۱۳۸۳ برای آبیاری موجی و مرحله دوم در تابستان ۱۳۸۵ برای آبیاری با دبی ثابت بود. مشخصات عمومی آزمایش‌های انجام شده در جدول (۱) آورده شده است. در تیمار آبیاری موجی زمان موج ۴۵ دقیقه، زمان کار موج ۳۰ دقیقه و زمان استراحت ۱۵ دقیقه بود و در تیمار آبیاری با دبی ثابت زمان قطع جریان در آبیاری اول ۹۰ دقیقه و در آبیاری دوم ۷۰ دقیقه بود. در هر دو نوع دبی جریان، هدف بررسی مرحله حساس پیشروی بود. ضریب زبری مانینگ برای آبیاری اول ۰/۰۴ و برای آبیاری دوم یا شرایط بستر مرطوب در آبیاری با جریان موجی ۰/۰۳ فرض گردید.

**جدول ۱- مشخصات عمومی تیمارهای آزمایش شده**

| تیمارها | عرض جویچه (m) | طول جویچه (m) | دبی ($L/s$) | بافت خاک | Pwp (%) | FC (%) | شیب ($m/m$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| آبیاری موجی | ۰/۷۵ | ۲۰۰ | ۰/۶ | شنی‌لومی‌رسی | ۸/۳ | ۲۱/۶ | ۰/۰۱ |
| آبیاری با دبی ثابت (۱) | ۰/۶۵ | ۱۲۰ | ۱ | سیلتی‌لومی | ۹ | ۲۰/۴ | ۰/۰۰۸۶ |
| آبیاری با دبی ثابت (۲) | ۰/۶۵ | ۱۲۰ | ۱/۳ | سیلتی‌لومی | ۹ | ۲۰/۴ | ۰/۰۰۹۴ |

سطح مقطع جریان در ابتدا جویچه‌ها برداشت گردید. از میانگین داده‌ها برداشت شده با استفاده از روابط ریاضی سطح مقطع ذوزنقه‌ای متقارن به روش ذوزنقه‌ای واکر – اسکوگربو (۱۹۸۷) پارامترهای لازم محاسبه شد. پارامترهای نفوذ برای آبیاری با دبی ثابت به روش دو نقطه‌ای الیوت- واکر (۱۹۸۲) و برای آبیاری با جریان موجی در موج اول از همان روش دونقطه‌ای [Walker and Skogerboe 1987] و برای شرایطی موج دوم که جریان بر روی بستری که خیس است حرکت می‌کند با استفاده از نرم‌افزار INFILT با روش بهینه سازی [McClymont & Smith 1996] محاسبه گردید. خلاصه پارامترهای

نفوذ برآورد شده برای تیمارها در جدول (۲) آورده شده است. در مدت کوتاه مرحله پیشروی سرعت نفوذ به مقدار پایه نمی‌رسد. بنابراین مقدار $f_o$ یا سرعت نفوذ پایه اندازه‌گیری نشد. در شبیه‌سازی جریان موجی برای موج دوم به بعد بدلیل آنکه جریان آب بر روی بخشی که قبلاً خیس شده است حرکت می‌کند نیازمند دو معادله نفوذ (a2-k2) برای محاسبه نفوذ بر روی خاک خشک و خاک مرطوب می‌باشیم. در آبیاری اول موجی محاسبات ضریب a2 در نرم‌افزار به سمت عدد یک همگرا شد.

**جدول ۲- پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف محاسبه شده از داده‌های مزرعه**

| | تیمارها | a1 | a2 | k1 | k2 | عمق جریان | عرض سطح | عرض میانه | WP($m^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| آبیاری اول | آبیاری موجی | ۰/۳۶۶ | ۱ | ۰/۰۰۴۱ | ۰/۰۰۰۲۷ | ۰/۰۴ | ۰/۱۸۳ | ۰/۱۴۲ | ۲۳/۰۶ |
| | آبیاری با دبی ثابت | ۰/۳۱۱ | --- | ۰/۰۰۴۹۵ | --- | ۰/۰۳۴ | ۰/۱۶۴ | ۰/۱۲۳ | ۲۳/۳۶ |
| | آبیاری با دبی ثابت | ۰/۴۴۷ | --- | ۰/۰۰۴۹۰ | --- | ۰/۰۳۲ | ۰/۲۱۶ | ۰/۱۷۴ | ۲۶/۲۵ |
| آبیاری دوم | آبیاری موجی | ۰/۳۱۵ | ۰/۳۶۷ | ۰/۰۰۲۴ | ۰/۰۰۰۷۷ | ۰/۰۶ | ۰/۲۰۸ | ۰/۱۳۲ | ۲۴/۳۱ |
| | آبیاری با دبی ثابت | ۰/۴۰۲ | --- | ۰/۰۰۱۹۸ | --- | ۰/۰۲۵ | ۰/۱۶۸ | ۰/۱۳۱ | ۱۸/۴۶ |
| | آبیاری با دبی ثابت | ۰/۳۸۹ | --- | ۰/۰۰۲۹۰ | --- | ۰/۰۲۲ | ۰/۲۱۴ | ۰/۱۷۱ | ۲۱/۷۰ |

- واحد k : $m^2/min^a/m$ و سایر اعداد دارایی بعد متر می‌باشند.

در تمام تیمارهای مورد آزمایش خط سیر جبهه پیشروی و پسروی برای هر ده متر از طول جویچه برداشت گردید و از این داده‌ها فرصت نفوذ و با استفاده از اعداد جدول (۲) عمق آب نفوذ کرده برای نقاط مختلف طول جویچه محاسبه گردید. توزیع یکنواختی به صورت متوسط عمق آب نفوذ در چارک پایین تقسیم بر متوسط عمق آب نفوذ کرده در طول جویچه تعریف می‌شود. اندازه‌گیری ضریب یکنواختی با نمونه‌برداری از خاک برای تعیین افزایش رطوبت و استفاده از ضریب کریستینانسن در آبیاری جویچه‌ای کاری دشوار است و محدود به آزمایشات خاص می‌باشد. معمولاً با بدست آوردن رابطه نفوذ، عمق آب نفوذ کرده را برای هر نقطه در طول محاسبه می‌کنند و از این داده‌ها ضریب یکنواختی را بدست می‌آورند. با توجه به داده‌های جداول (۱) و (۲) محاسبات توزیع یکنواختی و میانگین عمق نفوذ محاسبه گردید. بازده آبیاری یا نسبت نفوذ برابر حجم آب نفوذ کرده در طول جویچه تقسیم بر کل حجم آب ورودی به جویچه می‌باشد و به همین ترتیب نسبت روانآب برابر حجم رواناب تقسیم بر کل حجم آب ورودی به جویچه می‌باشد.

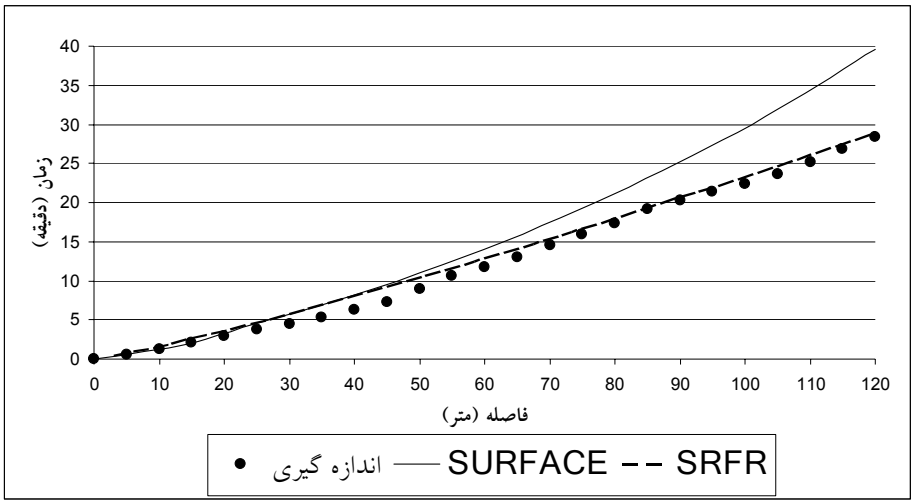
شبیه‌سازی آبیاری‌های انجام شده با توجه به داده‌های ارائه شده در جداول (۱) و (۲) انجام شد. ابعاد شکل هندسی جویچه در هر دو نرم‌افزار وارد و محاسبات مربوط به سطح مقطع جریان در هر دو نرم‌افزار مشابه و به روش ذوزنقه متقارن می‌باشد. پارامترهای نفوذ محاسبه شده در جدول (۲) در نرم‌افزارها

وارد گردید و از جدول SCS ارائه شده در آنها استفاده نشد. دبی و زمان قطع جریان مشابه با داده‌برداری انتخاب گردید.

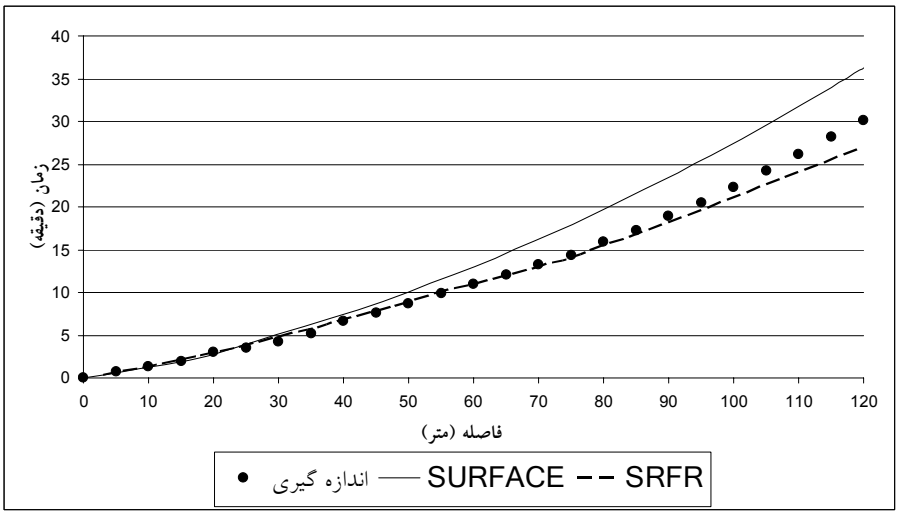
## نتایج و بحث

### آبیاری با دبی ثابت

بعد از شبیه‌سازی آبیاری‌های انجام شده با نرم‌افزار نتایج خروجی با مقادیر اندازه‌گیری شده و در مزرعه مقایسه شد. شکل‌های (۱) و (۲) خط سیر جبهه پیشروی را برای آبیاری اول نشان می‌دهد. همان گونه که از این اشکال بر می‌آید. نرم‌افزار SRFR شبیه‌سازی مرحله پیشروی را بهتر از SURFACE انجام داده است. همچنین جدول (۳) نتایج ارزیابی این دو نوبت آبیاری را برای تیمارهای آبیاری با دبی ثابت نشان می‌دهد.




**شکل ۱- مقایسه نتایج شبیه سازی و مقادیر اندازه‌گیری شده مرحله پیشروی در آبیاری اول با دبی ثابت (۱)**




**شکل ۲- مقایسه نتایج شبیه سازی و مقادیر اندازه‌گیری شده مرحله پیشروی در آبیاری اول با دبی ثابت (۱)**

همانگونه که از اعداد جدول (۳) مشاهده می‌شود، هر دو نرم‌افزار در شبیه‌سازی جریان با دبی ثابت دارای خطای محاسباتی هستند. این خطا برای نرم‌افزار SURFCE حداکثر ۰/۱۶ ٪ می‌باشد. نرم‌افزار SRFR مقدار خطا را محاسبه نمی‌کند اما حداکثر خطای آن در موازنه حجم ۱/۴ ٪ با داده‌های موجود در این تحقیق بود. نرم‌افزار SRFR در مجموع شبیه‌سازی آبیاری اول را بهتر از نرم‌افزار SURFCE انجام می‌دهد. ولی مقدار خطا در آبیاری دوم افزایش پیدا می‌کند از طرفی داده‌های دبی ورودی در مزرعه مقدار ثابت و دقیقی نبودند و ارزیابی داده‌های مزرعه با توجه به هیدروگراف دبی ورودی و روانآب انجام شده که در نرم‌افزارها هیدروگراف ورودی به صورت خطی و ثابت فرض می‌شود. این مطلب از عوامل خطا در ارزیابی آبیاری بود.

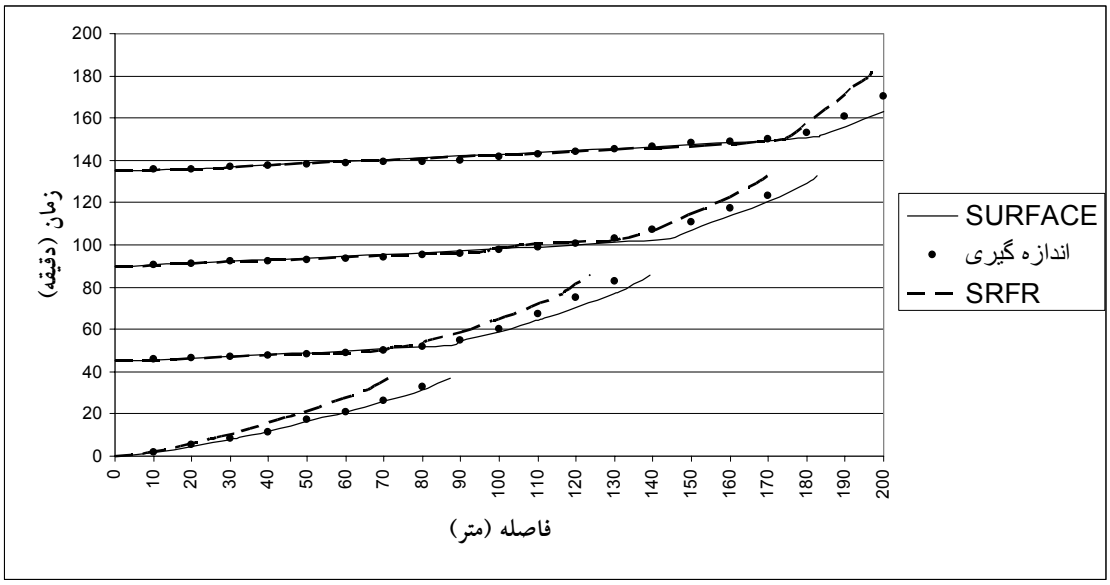
**جدول ۳- نتایج ارزیابی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده تیمارهای آبیاری با دبی ثابت**

| | نوع داده | اندازه‌گیری | | SURFCE | | SRFR | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | تیمار آبیاری | (۱) | (۲) | (۱) | (۲) | (۱) | (۲) |
| آبیاری اول | زمان پیشروی (دقیقه) | ۲۸/۴ | ۳۰ | ۳۹/۶ | ۳۶/۳ | ۲۸/۹ | ۲۶/۹ |
| | میانگین عمق نفوذ (متر) | ۰/۰۱۹۵ | ۰/۰۳۳۷ | ۰/۰۴۸۵ | ۰/۰۵۴۱ | ۰/۰۲۰۲ | ۰/۰۳۶۹ |
| | توزیع یکنواختی (٪) | ۹۷/۰۴ | ۹۵/۱۷ | ۹۳/۰۶ | ۹۶/۰۱ | ۹۸/۲۹ | ۹۷/۹ |
| | درصد رواناب(٪) | ۳۲/۴ | ۱۹/۶ | ۲۸/۴۵ | ۳۹/۰۶ | ۲۹/۴۵ | ۴۱/۳۸ |
| | نسبت آب نفوذ کرده (٪) | ۶۷/۶ | ۸۰/۴ | ۷۱/۵۵ | ۶۰/۹۴ | ۷۰/۵۵ | ۵۸/۶۲ |
| آبیاری دوم | زمان پیشروی (دقیقه) | ۱۴/۲ | ۱۳/۳ | ۱۶/۵ | ۱۷/۳ | ۱۸/۵ | ۱۷/۱۱ |
| | میانگین عمق نفوذ (متر) | ۰/۰۱۰۸ | ۰/۰۱۵۱ | ۰/۰۱۶۹ | ۰/۰۲۳۵ | ۰/۰۱۱۱ | ۰/۰۱۵۵ |
| | توزیع یکنواختی (٪) | ۹۸/۹۶ | ۹۹/۱۸ | ۹۹/۵۱ | ۹۹/۴۷ | ۹۷/۳ | ۹۷/۱۶ |
| | درصد رواناب(٪) | ۴۸/۲ | ۳۸/۲ | ۶۸/۵۳ | ۶۶/۴۹ | ۲۱/۲ | ۲۲/۶۸ |
| | نسبت آب نفوذ کرده (٪) | ۵۱/۸ | ۶۱/۸ | ۳۱/۴۷ | ۳۳/۵۱ | ۷۸/۸ | ۷۷/۳۲ |

## آبیاری با دبی موجی

شکل (۳) خط سیر جبهه پیشروی را در آبیاری موجی برای آبیاری اول نشان می‌دهند. داده برداری آبیاری موجی بعد از پایان مرحله پیشروی قطع می‌گردد از این رو محاسبه نسبت نفوذ (بازده آبیاری) و نسبت روانآب بدلیل نبود روانآب و از طرفی توزیع یکنواختی نیز به توجه به عمق کم نفوذ در انتهای جویچه ممکن نمی‌باشد. بنابراین صرفاً به زمان پیشروی بسنده می‌شود. باید توجه داشت که در آبیاری موجی عموماً بعد از پایان مرحله پیشروی آبیاری با دبی پیوسته انجام می‌شود که نتایج شبیه‌سازی آن

مشابه بخش قبل است. نرم‌افزار SURFCE این شبیه‌سازی را با دقت خوبی انجام می‌دهد. اما نرم‌افزار SRFR در محاسبات آبیاری موجی بی دقت است و اکثراً نتایج آن همگرا نمی‌شود.




**شکل ۳- مقایسه نتایج شبیه سازی و مقادیر اندازه‌گیری شده مرحله پیشروی در آبیاری اول با جریان موجی**

مقایسه مکان پیشروی جبهه آب در هر موج بین داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در جدول (۴) آورده شده است. این اعداد نماینده اختلاف فرصت نفوذ در نقاط مختلف برای اختصار از آوردن داده‌های پیشروی و پسروی خوداری گردید. همان گونه که از جدول (۴) برمی‌آید، نتایج شبیه‌سازی هر دو نرم‌افزار برای آبیاری اول دقیق‌تر از آبیاری دوم است. نرم‌افزار SURFCE جبهه پیشروی را کمی تندتر و نرم‌افزار SRFR کندتر از مقادیر واقعی آن شبیه‌سازی می‌کنند.

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از داده‌های برداشت شده در مزرعه قدرت شبیه‌سازی دو نرم افزار SURFCE و SRFR در شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای با دبی ثابت و جریان موجی بررسی گردید. در تیمار آبیاری با دبی ثابت نرم‌افزار SRFR زمان پیشروی، میانگین عمق نفوذ و توزیع یکنواختی را بهتر از نرم‌افزار SURFCE محاسبه می‌کند و نتایج برای آبیاری با جریان موجی برعکس می‌باشد و نرم‌افزار SURFCE برای شبیه‌سازی مناسب‌تر از نرم‌افزار SRFR می‌باشد. با توجه به این مطلب که همگرا شدن محاسبات نرم‌افزار SRFR در آبیاری جویچه‌ای با افزایش گام زمانی محاسباتی امکان پذیر است و در عین حال این نرم‌افزار از دو معادله نفوذ برای شبیه‌سازی جریان موجی استفاده نمی‌کند.

با توجه به آسان بودن استفاده از این گونه نرم‌افزارها و قدرت آنها برای انتخاب ترکیبهای مدیریت آب در مزرعه استفاده از آنها پیشنهاد می‌گردد. همچنین ازآنجا که عامل شیب در انتخاب پارامترهای مدیریت آب

بسیار اهمیت دارد، توصیه می‌شود دقت شبیه‌ساز این نرم‌افزارها در شیب‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد.

**جدول ۴- نتایج داده‌های جبهه پیشروی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده تیمارهای آبیاری با جریان موجی**

| | | اندازه‌گیری | | SURFCE | | SRFR | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | نوع داده | زمان پیشروی | فاصله پیشروی | زمان پیشروی | فاصله پیشروی | زمان پیشروی | فاصله پیشروی |
| آبیاری اول | موج اول | ۳۳ | ۸۰ | ۳۷ | ۸۷/۲۲ | ۳۷ | ۷۱/۵۲ |
| | موج دوم | ۸۳ | ۱۳۰ | ۸۶ | ۱۳۹/۰۷ | ۸۶ | ۱۲۳/۷۷ |
| | موج سوم | ۱۲۳ | ۱۷۰ | ۱۳۳ | ۱۸۲/۵۸ | ۱۳۳ | ۱۷۰ |
| | موج چهارم | ۱۷۰ | ۲۰۰ | ۱۶۲/۹ | ۲۰۰ | ۱۹۶/۸ | ۲۰۰ |
| آبیاری دوم | موج اول | ۳۵/۵ | ۱۴۰ | ۴۶ | ۱۶۷/۳۸ | ۴۹ | ۱۶۴ |
| | موج دوم | ۷۱ | ۲۰۰ | ۶۷/۸ | ۲۰۰ | ۶۹/۷ | ۲۰۰ |

## منابع


۱. قبادی‌نیا، م. (۱۳۸۳). «آبیاری موجی با تغییر دبی» «پایان نامه کارشناسی ارشد». گروه آبیاری و آبادانی. دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

۲. قویدل، م.ع. (۱۳۷۶). «مدل ریاضی آبیاری موجی در شیار و ارزیابی مزرعه‌ای عملکرد آن» پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه آبیاری و آبادانی. دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

۳. مجدزاده، ب. (۱۳۸۶). «بررسی عملکرد آبیاری جویچه‌ای تحت تغییرات سطح مقطع جریان» پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه آبیاری و آبادانی. دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

۴. ملک‌پور، الف. (۱۳۷۳). «مدل ریاضی حرکت آب در فارو» پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه آبیاری و آبادانی. دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

5. Bishop, A., Walker, W. R., Allen, N. L., and Pool, G. J., (1981). "Farrow advance rate under surge flow systems" J. Irrig. Drain. Eng., 107(3), 257-264.
6. Clemmens, A. J., Walker, W. R., Fangmeier, D. D., and Hardy, L. A. (1998). "Design of Surface Systems." Chapter 14 in: Design and Operation of Farm Irrigation Systems. ASAE Monograph Number 3 (2nd Edition), R. L. Elliott, Ed. St. Joseph, Michigan
7. Garcia-Navarro, P., Sanchez, A., Clavero, N. and Playan, E. (2004) "Simulation model for level furrows. II: description, validation, and Application" J. Irrig. Drain. Eng., 130(2), 113-121.

8. INFILT software version 5 (1995-1999). “Help menu” National center for engineering in Agriculture University of southern Queensland. Australia. http://www.ncea.org.au/irrigation
9. McClymont D. J. and Smith R. J. 1996. Infiltration parameters from optimisation on furrow irrigation advance data. J. Irrigation Science: 15-22
10. Nrcs surface irrigation simulation, evaluation and design software user manual (2004). NRCS National Engineering Handbook Part 623 irrigation.
11. SRFR software version 4.06 (1999) “Help index” USDA. Agricultural research service, water conservation laboratory, http://www.uswcl.ars.ag.gpv/
12. Walker, W. R. (1989). Guideline for desiging and evaluatin surface irrigation systems. FAO. Corporate doucument repository, http://www.fao.org/docrep/T0231E/t0231e00.HTM
13. Walker, W. R. (2003). SIRMOD III Surface Irrigation Simulation Evaluation and Design; Guide and Technical Documentation.” Utah State University.
14. Walker, W. R., and Skogerboe, G. V. (1987). “Surface Irrigation: "Theory and Practice".” Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jeresy. 386 pp.
15. WINSRFR 1.0 User Manual-DRAFT 2006 U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Arid-Land Agricultural Research Center, 21881 N. Cardon Lane, Maricopa, AZ 85239. http://www.uswcl.ars.ag.gov/