

## بهبود عملکرد آبیاری سطحی با مدیریت زمان قطع جریان در مدل SIRMOD (مطالعه موردی: کشت و صنعت و دامپروری مغان)

یاسر حمدی احمدآباد<sup>۱</sup>، عبدالمجید لیاقت<sup>۲\*</sup>، تیمور سهرابی<sup>۳</sup>، علی رسول زاده<sup>۴</sup>، بیژن نظری<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی دکترا، گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۲. استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۳. استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۴. دانشیار، گروه مهندسی آب دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۵. استادیار، گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه قزوین

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۱۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۸/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۰/۲۸)

### چکیده

امروزه نرم افزارها و مدل های ریاضی زیادی با راه حل های متفاوت برای مطالعه و ارزیابی آبیاری سطحی وجود دارد. یکی از این نرم افزارها SIRMOD می باشد. در این تحقیق، شاخص های ارزیابی آبیاری سطحی توسط مدل SIRMOD مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در هر کدام از مزارع مورد مطالعه در شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان، بعد از انجام آزمایشات صحرائی، پارامترهایی نظیر دبی ورودی، زمان قطع جریان، پیشروی و پسروی جریان آب، مشخصات نفوذ، مشخصات شکل هندسی جویچه، طول زمین، شیب زمین و رطوبت خاک اندازه گیری و به مدل وارد گردید. بازده کاربرد آب در وضع موجود جهت مقایسه با برآوردهای مدل تعیین شد. برای بهبود بازده کاربرد آب در مزارع تحت مطالعه، گزینه های مختلف مدیریتی شامل قطع جریان با رسیدن آب به انتهای جویچه (سناریوی اول) و قطع جریان قبل از رسیدن آب به انتهای جویچه (سناریوی دوم) در مدل اعمال و مجدداً شبیه سازی انجام گردید. براساس نتایج، میانگین بازده کاربرد آب برای مزارع مورد مطالعه از ۳۵ درصد در وضع موجود به ۶۱ درصد در سناریوی اول و ۷۵ درصد در سناریوی دوم ارتقاء پیدا خواهد کرد. بنابراین سناریوی شبیه سازی زمان قطع، منجر به بهبود عملکرد آبیاری سطحی و آرایه بهترین زمان قطع جریان سبب افزایش بازده کاربرد آب در منطقه مورد مطالعه گردید.

**واژه های کلیدی:** جویچه، زمان قطع جریان، شاخص های ارزیابی، SIRMOD.

### مقدمه

جریان، طراحی مناسب و غیره، افزایش بازده آبیاری به میزان

قابل توجه امکان پذیر است (Abbasi, 2008).

در استرالیا بیش از ۷۰ درصد آب آبیاری با استفاده از

آبیاری سطحی برای آبیاری محصولات و مراتع استفاده می شود،

سیستم های آبیاری در صورت طراحی و مدیریت خوب می توانند

بازده ۹۰ درصدی داشته باشند، این در حالی است که بیشتر

سیستم های رایج، دارای عملکرد و بازده پایینی هستند

(Anthony, 1995). عملکرد آبیاری سطحی تابعی از طراحی

مزرعه، مشخصات نفوذ خاک و شیوه مدیریت آبیاری است. با

این حال، پیچیدگی تعامل این پارامترها بر روی یکدیگر سبب

ایجاد مشکل برای کشاورزان در شناسایی روش های بهینه

طراحی و یا مدیریتی با شیوه های رایج می باشد (Raine and

Walker, 1998).

با توجه به کمبود بارش و منابع آبی در کشور، لازم است از منابع آبی موجود و محدود، حداکثر استفاده صورت گیرد. با توجه به این که قسمت اعظم منابع آب در بخش کشاورزی مصرف می شود به علت عدم آگاهی لازم آبیاران و کشاورزان با اصول مدیریت آبیاری، مقدار زیادی آب که می تواند مورد استفاده مفید گیاه قرار گیرد و موجب افزایش تولید گردد، به شیوه های مختلف هدر می رود. با توجه به هزینه زیاد سامانه های آبیاری تحت فشار، بهبود و اصلاح روش های آبیاری سطحی امری ضروری و اجتناب ناپذیر است، با اصلاح سامانه های آبیاری سطحی به روش های مختلف سخت افزاری و نرم افزاری مانند انتخاب صحیح روش آبیاری، مدیریت در مدت زمان قطع

محققین یکی از راه های ارتقاء بازده و عملکرد آبیاری

جویچه ای را استفاده از مدل های مختلف (SIRMOD، SRRFR و

## مواد و روش‌ها

### آزمایشات صحرایی

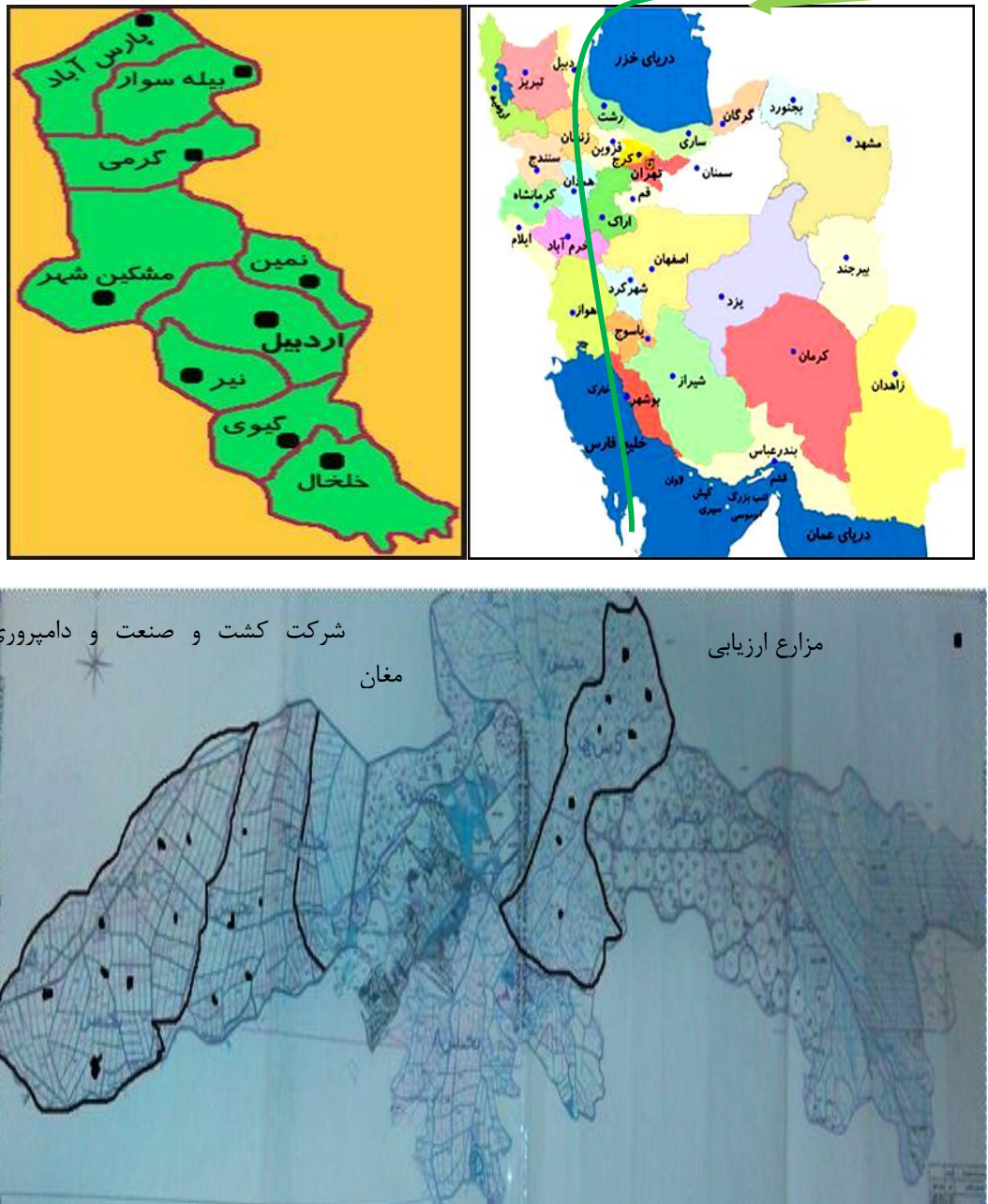
این پژوهش به منظور بررسی زمان قطع جریان قبل از رسیدن جریان به انتهای جویچه و با رسیدن جریان به انتهای جویچه روی بهبود وضع موجود در مزارع دارای سامانه آبیاری جویچه‌ای در کشت و صنعت و دامپروری مغان (سیستم رایج منطقه) در سال ۱۳۹۴ انجام شد. با توجه به این‌که کشت غالب منطقه در فصل داده برداری ذرت و چغندر قند بود، مزارع تحت کشت این دو محصول انتخاب شد. از بین بخش‌های زراعی تحت سیستم آبیاری جویچه‌ای، بخش‌های یک، دو و پنج به عنوان نماینده اراضی فاریاب مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. بعد از تعیین مزارع برای داده‌برداری، آزمایشات صحرایی شروع شد، این آزمایشات در مرحله میانی رشد گیاهان (آبیاری دوم و پنجم) انجام شد. برای تعیین بافت خاک اراضی مورد مطالعه، از روش هیدرومتری و مثلث بافت خاک استفاده شد. قبل از هر آبیاری به منظور تعیین رطوبت و خصوصیات فیزیکی خاک در سه نقطه از جویچه (ابتدا، وسط و انتها) و در سه عمق ۳۰-۶۰، ۳۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متری با استفاده از آگر، نمونه‌برداری صورت گرفت، جرم نمونه‌ها با ترازوی قابل حمل در محل تعیین شد، سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند و در داخل آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند، نمونه‌ها بعد از خارج کردن از آن مجدداً وزن شدند و با استفاده از روابط، درصد رطوبت وزنی و چگالی ظاهری هر کدام از نمونه‌ها به دست آمد. درصد حجمی رطوبت ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم به ترتیب در مکش ۰/۳۲ و ۱۵ بار، توسط دستگاه صفحات فشاری تعیین گردید. مشخصات مزارع مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است. پس از نصب فلوم ابتدایی (WCS نوع ۲) و تقسیم طول جویچه به فواصل ۱۰ متری و میخ‌کوبی این نقاط به منظور اندازه‌گیری زمان پیشروی، پس‌روی و نصب فلوم انتهایی، با استفاده از دوربین نیوو و شاخص، متوسط شیب طولی جویچه محاسبه شد و مقدار آن برای مزارع مورد مطالعه در محدوده ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۲۶ به دست آمد. سپس از زارعین خواسته شد تا براساس نحوه آبیاری خود، جریان آب را برای جویچه‌های مورد آزمایش باز کنند. در آزمایش‌های انجام شده سه جویچه در نظر گرفته شد. جویچه‌های کناری به عنوان جویچه‌های محافظ (به منظور حذف خطای اندازه‌گیری جریان جانبی از جویچه‌های کناری) عمل کرده و اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز در جویچه وسط انجام گرفت.

(SURDEV) برای پیش‌بینی عملیات آبیاری جویچه‌ای و اعمال مدیریت مطرح کردند (Hornbuckle *et al*, 1998). نتایج پژوهش‌های مختلف حاکی از آن است که، بیش‌ترین حساسیت را مدل‌های آبیاری سطحی به دبی ورودی و زمان قطع جریان دارد (Gillies, 2008; Walker, 2005). کاهش تلفات آب آبیاری و در نتیجه تغییرات بازده آبیاری به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر پارامترهایی نظیر جریان ورودی و زمان قطع جریان قرار دارد (Thomas and Kincaid, 1989; Malano and Patto, 1992). به طوری که با قطع به موقع جریان آب ورودی به آبیاری سطحی از اتلاف آب جلوگیری شده و بازده آبیاری افزایش می‌یابد (Alazba and Fangmeier, 1995; Bali *et al*, 2001). علاوه بر زمان قطع جریان، برای بهبود عملکرد آبیاری سطحی روش‌هایی مانند استفاده از طول مناسب جویچه و به کاربردن جریان ورودی مناسب می‌تواند کارآمد باشد. اما یکی از محدودیت‌های اصلی در بهبود عملکرد آبیاری سطحی، ناتوانی در ارائه دستورالعمل‌های ویژه بدون آزمایشات میدانی است (Raine and Bakker, 1996).

نتایج ارزیابی مدل SIRMOLD نشان داد این مدل عملکرد خوبی در طراحی و مدیریت آبیاری سطحی دارد و از آن می‌توان برای برآورد عملکرد آبیاری سطحی در مراحل مختلف یک آبیاری استفاده کرد. این مدل قادر است مدیریت‌های مختلف آبیاری سطحی (آبیاری موجی، روش کاهش جریان و شیارهای انتها بسته) را نیز شبیه‌سازی کند. (Behbahani and Babazadeh, 1999).

به منظور بهینه‌سازی میزان جریان ورودی و زمان آبیاری در آبیاری جویچه‌ای با استفاده از مدل هیدرودینامیک کامل، نتایج قابل قبولی در زمینه برنامه‌ریزی آبیاری ارائه شده به طوری که با اعمال سناریوهای متفاوت و همچنین بهینه‌سازی پارامترهای ورودی بازده کاربرد آب از ۵۷ درصد به ۷۵ درصد افزایش یافته است. لذا با کاربرد مدل‌های آبیاری سطحی امکان مدیریت و برنامه‌ریزی بهتر در جهت ارتقای سیستم آبیاری سطحی فراهم می‌شود (Bikzadeh *et al*, 2013).

با توجه به بحران آب موجود در کشور و لزوم افزایش بازده‌های سیستم‌های آبیاری سطحی در جهت کاهش مصرف آب، این پژوهش با اعمال سناریو مدیریت زمان قطع جریان با رسیدن آب به انتهای جویچه و قبل از رسیدن آب به انتهای جویچه (در محدوده ۲۰ تا ۵۰ متر) با استفاده از مدل SIRMOLD در مزارع شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان انجام شد. سپس نتایج حاصل از مدیریت زمان قطع جریان شبیه‌سازی شده با نتایج وضع موجود در مزرعه، برای بهبود عملکرد آبیاری، مورد مقایسه قرار گرفت.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

هیدرودینامیک (HD) و موج سینماتیک (KW) برای حل معادلات سنت و نانت استفاده می‌کند (Mahdizadeh Khasraghi, et al, 2015). هدف اصلی SIRMOD ارزیابی شکل طراحی شده مزرعه (شیب و طول مزرعه) و شیوه‌های مدیریت (شدت جریان کاربردی و زمان قطع جریان) است. توانایی و دقت مدل SIRMOD در عملکرد آبیاری شیاری و کرتی توسط توسعه‌دهندگان مدل (Walker and Humphreys, 1983) اثبات شده است. این مدل قابلیت طراحی، شبیه سازی و ارزیابی رژیم‌های مختلف آبیاری در آبیاری اول و آبیاری‌های بعدی را

در هر آزمایش پس از گذشت ۲۴ تا ۴۸ ساعت از خاتمه آبیاری با حفر پروفیل برای تعیین عمق توسعه ریشه، ریشه از خاک خارج و پس از شستشو طول آن اندازه‌گیری شد، و در محاسبات عمق آب مورد نیاز گیاه مورد استفاده قرار گرفت.

#### تئوری مدل SIRMOD

مدل آبیاری SIRMOD (Walker, 1997) سیستم‌های آبیاری سطحی شامل کرتی، شیاری و نواری را در بر می‌گیرد، همچنین این مدل رژیم‌های آبیاری موجی و جریان برگشتی (Cutback) را شبیه‌سازی می‌کند. این مدل از روش‌های اینرسی صفر (ZI)،

آب، یکنواختی توزیع، بازده کاربرد و مورد نیاز، درصد تلفات عمقی و رواناب می‌باشد.

#### واسنجی مدل

جهت واسنجی مدل، داده‌های پیشروی و پسروی جبهه آب در جویچه‌ها برای هر یک از مزارع اندازه‌گیری شد و نتایج وارد مدل گردید. سایر پارامترهای مورد نیاز مدل (دبی ورودی، زمان قطع جریان، طول زمین، نوع آبیاری سطحی، شیب طولی زمین، مشخصات سطح مقطع جریان و مشخصات نفوذ) تعریف شد. در هر مزرعه، پارامترهای نفوذ (ضرایب  $a$  و  $k$ ) واسنجی شده تا بهترین انطباق بین منحنی‌های پیشروی و پسروی و دبی خروجی حاصل از پیش‌بینی مدل و اندازه‌گیری شده در مزرعه حاصل شود. سپس مدل واسنجی شده برای مرحله بعد (شبیه‌سازی) مورد استفاده قرار گرفت.

دارد. برای توصیف نفوذ آب در خاک، معادله کلی نفوذ به شکل زیر است.

$$Z = kt^a + f_0t + C \quad Z = kt^a + f_0t + C$$

که در آن،  $Z$  عمق آب نفوذ کرده در خاک ( $m^3 \cdot m^{-1}$ )،  $t$  زمان نفوذ آب در هر نقطه ( $min$ )،  $f_0$  سرعت نفوذ نهایی آب در خاک ( $m^3 \cdot m^{-1} \cdot min^{-1}$ )،  $C$  جزء ترک‌خوردگی ( $m^3 \cdot m^{-1}$ )،  $a$  و  $k$  ضرایب معادله نفوذ می‌باشند (عباسی، ۱۳۹۲). مدل با استفاده از داده‌های پیشروی جریان و روش دونقطه‌ای، پارامترهای نفوذ را محاسبه می‌کند. داده‌های ورودی مورد نیاز مدل برای انجام شبیه‌سازی شامل طول شیار، شیب، پارامترهای نفوذ (یا داده‌های پیشروی)، عمق آب مورد نیاز گیاه، شدت جریان کاربردی، ضریب زبری مانینگ و مشخصات هندسی شیار می‌باشد. خروجی مدل شامل نمودارهای پیشروی و پسروی جریان، توزیع آب نفوذ یافته، هیدروگراف رواناب، بیلان حجمی

جدول ۱. مشخصات مزارع مورد مطالعه

مزرعه	گیاه	عرض جویچه (متر)	بافت خاک	چگالی ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	رطوبت ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	رطوبت نقطه پژمردگی (درصد حجمی)
A1	چغندر قند	۱	رس	۱/۲۶	۴۰/۰	۱۵/۸۰
A2	ذرت	۰/۷۵	لوم رسی	۱/۳۸	۳۲/۳۰	۱۴/۲۴
A3	ذرت	۰/۷۵	لوم رسی	۱/۴۶	۳۰/۸۰	۱۳/۲۰
A4	چغندر قند	۰/۷۵	رس	۱/۲۴	۴۰/۰۸	۱۳/۳۲
A5	چغندر	۱	رس	۱/۲۶	۳۸/۷۰	۱۴/۸۰
A6	چغندر قند	۱	رس	۱/۳۴	۴۱/۱۸	۱۲/۳۸
A7	ذرت	۰/۷۵	رس	۱/۳۴	۴۱/۸۰	۱۶/۱۸
A8	ذرت	۰/۷۵	لوم رسی	۱/۴۰	۳۴/۳۰	۱۴/۲۰
A9	ذرت	۰/۷۵	رس سیلتی	۱/۴۶	۳۶/۳۳	۱۵/۵۴
A10	ذرت	۰/۷۵	لوم	۱/۴۵	۳۵/۳۰	۱۱/۱۰
A11	ذرت	۰/۷۵	لوم رسی	۱/۳۹	۳۸/۸۰	۱۴/۶۰
A12	ذرت	۰/۷۵	رسی	۱/۳۶	۴۱/۸۶	۱۶/۷۰
A13	چغندر قند	۱	سیلت رسی	۱/۴۳	۳۷/۹۰	۱۴/۵۰
A14	چغندر قند	۱	رس لومی	۱/۴۵	۳۷/۱۳	۱۵/۵۰
A15	چغندر قند	۱	لوم سیلتی	۱/۴۲	۳۵/۵۰	۱۳/۲۰
A16	چغندر قند	۰/۷۵	رس لومی	۱/۴۰	۳۷/۶۶	۱۳/۲۰
A17	چغندر قند	۰/۷۵	لوم رسی	۱/۴۱	۳۸/۴۵	۱۴/۲۵
A18	چغندر قند	۱	لوم	۱/۳۸	۳۳/۶۶	۱۰/۳۴
A19	چغندر قند	۱	لوم رسی	۱/۴۶	۳۶/۶۰	۱۲/۱۵
A20	چغندر قند	۱	لوم	۱/۴۲	۳۴/۰	۱۰/۰
A21	ذرت	۰/۷۵	لوم	۱/۳۶	۳۳/۰	۱۲/۳۰

#### نتایج و بحث

قبل از رسیدن آب به انتهای جویچه (در اکثر مزارع در ۸۰ درصد طول جویچه) در جدول (۴) ارایه شده است. و در زیر نتایج به تفکیک ارایه می‌گردد.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل در وضع موجود آبیاری در جدول (۲)، نتایج شبیه‌سازی قطع جریان با رسیدن آب به انتهای جویچه در جدول (۳) و نتایج شبیه‌سازی قطع جریان

تلفات ناشی از رواناب و نفوذ عمقی

کمتر از یک لیتر در ثانیه بود ولی به علت اختلاف زیاد بین زمان پیشروی و قطع جریان درصد تلفات رواناب به ترتیب ۳۱ و ۳۶ درصد به دست آمد. با اتمام پیشروی جریان، به دلیل باز بودن انتهای جویچه، جریان ادامه داشته و به صورت تلفات رواناب از انتهای مزرعه خارج و وارد کانال زهکشی شده است. در اغلب جویچه‌ها درز و شکاف‌هایی در کف جویچه وجود داشت که مانع پیشروی سریع جریان شده است.

مقدار رواناب در وضع موجود آبیاری در محدوده ۳ تا ۴۷ درصد اندازه‌گیری شد، در اکثر مزارع، درصد تلفات رواناب کمتر از ۲۰ درصد بوده است، در مزارع A۳، A۱۱، A۱۷ و A۲۰ درصد رواناب در محدوده ۳۶ تا ۴۷ درصد قرار دارد که ناشی از دبی کاربرد زیاد و اختلاف زمانی زیاد بین زمان قطع جریان و پیشروی آب می‌باشد. در A۲۱ و A۱۸ جریان ورودی به مزرعه

جدول ۲. اطلاعات ورودی و خروجی مدل در وضع موجود

مزرعه	خروجی مدل				ورودی مدل				
	رواناب (درصد)	نفوذ عمقی (درصد)	یکنواختی توزیع (درصد)	بازده ذخیره آب (درصد)	بازده کاربرد (درصد)	دبی (لیتر در ثانیه)	زمان قطع جریان (دقیقه)	زمان پیشروی (دقیقه)	طول جویچه (متر)
A1	۲۱	۱۱	۸۶	۹۸	۶۸	۱/۹	۱۷۰	۱۴۳	۲۸۰
A2	۱۲	۳۹	۸۶	۱۰۰	۴۸	۰/۶۳	۱۵۰	۱۲۴	۲۳۰
A3	۳۶	۱۳	۹۵	۱۰۰	۵۱	۱/۲۵	۳۱۱	۱۵۵	۲۳۰
A4	۳	۷۰	۹۰	۱۰۰	۲۶	۱/۵۳	۴۴۵	۳۹۸	۲۶۰
A5	۱۴	۴۲	۹۱	۱۰۰	۴۴	۱/۶	۱۷۷	۱۱۶	۳۱۵
A6	۱۸	۵۸	۸۸	۱۰۰	۲۴	۱/۶	۴۱۶	۲۹۵	۲۸۰
A7	۱۸	۲۷	۹۳	۱۰۰	۵۵	۱/۴۵	۱۱۴	۵۳	۱۷۰
A8	۱۶	۵۹	۹۱	۱۰۰	۲۵	۱/۲۳	۱۸۰	۱۰۸	۱۷۰
A9	۵	۶۱	۸۱	۱۰۰	۳۴	۱/۶۳	۲۶۲	۲۳۲	۴۷۰
A10	۱۷	۵۵	۹۰	۱۰۰	۲۸	۱/۰۵	۴۶۵	۲۶۰	۱۷۰
A11	۴۷	۳۲	۹۹	۱۰۰	۲۱	۲/۰۳	۴۲۰	۴۵	۲۵۰
A12	۲۱	۴۹	۹۲	۱۰۰	۳۰	۱/۶۲	۳۳۰	۱۷۴	۲۱۰
A13	۱۹	۳۸	۹۰	۱۰۰	۴۳	۱/۸۷	۲۴۰	۱۸۴	۴۶۰
A14	۱۳	۶۸	۹۲	۱۰۰	۱۹	۱/۳۷	۴۶۲	۲۰۱	۲۹۰
A15	۱۷	۳۱	۹۱	۱۰۰	۵۲	۱/۳۹	۲۵۴	۱۶۲	۲۹۰
A16	۸	۶۳	۸۵	۱۰۰	۲۹	۱/۳۶	۲۵۵	۱۹۰	۲۵۰
A17	۴۶	۱۵	۹۷	۱۰۰	۳۹	۱/۰۵	۱۸۰	۷۰	۱۵۰
A18	۳۶	۴۳	۹۷	۱۰۰	۲۱	۰/۸۶	۳۳۴	۷۴	۱۶۰
A19	۱۱	۶۸	۸۸	۱۰۰	۲۱	۱/۲۲	۲۵۰	۱۶۴	۱۶۰
A20	۴۶	۲۸	۹۸	۱۰۰	۲۶	۱/۴۹	۲۱۲	۴۲	۲۹۰
A21	۳۱	۳۵	۹۳	۱۰۰	۳۴	۰/۵	۳۳۰	۱۴۵	۲۰۰

انتهایی جویچه راندمان ذخیره ۱۰۰ درصد تأمین نشده است و کم آبیاری در حد ۲ درصد داشت و تلفات عمقی مربوط به قسمت ابتدایی جویچه بوده است.

بیشترین مقدار تلفات عمقی مربوط به مزارع A۶، A۴، A۸، A۱۰، A۹، A۱۴، A۱۶ و A۱۹ در محدوده ۵۰ تا ۷۰ درصد بوده است. به عنوان مثال در مزرعه A۴ همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود پیشروی جریان در جویچه ۲۶۰ متری حدود ۴۰۰ دقیقه به طول انجامیده است، یعنی پیشروی جریان در هر متر حدود ۱/۶ دقیقه طول کشیده است. این مزرعه که دلیل آن وجود درز و ترک‌های جویچه می‌تواند باشد.

درز و ترک‌های موجود در اکثر مزارع سبب بالا رفتن بیش از حد تلفات عمقی شده است. میزان تلفات عمقی در محدوده ۱۱ تا ۷۰ درصد قرار دارد، که بیشتر مزارع مورد مطالعه تلفات عمقی بیشتر از ۳۰ درصد داشتند، در همین راستا نتایج حاصل از پژوهش *Tabatabaei et al. (2006)* نشان داد که با وجود تلاش برای بدست آوردن بازده بالا در آبیاری جویچه‌ای، این پارامتر توسط تغییرات نفوذ چه به صورت زمانی و چه به صورت مکانی دچار محدودیت است. کمترین مقدار تلفات نفوذ عمقی در مزرعه A۱ با ۱۱ درصد مشاهده شد، پروفیل عمق آب نفوذ یافته مزرعه مذکور نشان داد در قسمت

است (جدول ۳)، با توجه به اینکه در مزارع ذکر شده مشکل درز و ترک در جویچه‌ها وجود نداشت پیشروی جریان سریع بوده است و چون با اتمام پیشروی جریان، قطع جریان در مدل صورت گرفت بازده ذخیره کمتر از ۱۰۰ درصد به دست آمد در نتیجه این عوامل، مقدار تلفات عمقی صفر به دست آمد به عبارتی کفایت ۱۰۰ درصد در هیچ کدام از این مزارع تأمین نشد.

در اولین راه حل پیشنهادی برای کاهش تلفات آبیاری، با رسیدن جریان آب به انتهای جویچه، جریان قطع شد. این عمل مقدار تلفات رواناب را تا حد زیادی کاهش داد به طوری که مقدار آن در محدوده ۱ تا ۲۸ درصدی قرار گرفت. همچنین میزان رواناب از میانگین ۲۲ درصد در وضع موجود به ۹ درصد در حالت قطع جریان با رسیدن آب به انتهای جویچه کاهش یافت. قطع جریان همچنین باعث کاهش مقدار تلفات عمقی به حد صفر در مزارع A۳، A۷، A۱۱، A۱۷، A۱۸ و A۲۰ شده

جدول ۳. اطلاعات ورودی و خرجی مدل در سناریوی قطع جریان با رسیدن آب به انتهای جویچه

مزرعه	ورودی مدل				خروجی مدل				
	طول جویچه (متر)	زمان پیشروی (دقیقه)	زمان قطع جریان (دقیقه)	دبی (لیتر در ثانیه)	بازده کاربرد (درصد)	بازده ذخیره آب (درصد)	یکنواختی توزیع (درصد)	نفوذ عمقی (درصد)	رواناب (درصد)
A۱	۲۸۰	۱۴۳	۱۴۳	۱/۹	۷۵	۹۸	۸۴	۱۷	۸
A۲	۲۳۰	۱۲۴	۱۲۴	۰/۶۳	۵۹	۱۰۰	۸۲	۳۶	۵
A۳	۲۳۰	۱۵۵	۱۵۵	۱/۲۵	۸۹	۸۵	۸۷	۰	۱۱
A۴	۲۶۰	۳۹۸	۳۹۸	۱/۵۳	۳۲	۱۰۰	۷۹	۶۶	۲
A۵	۳۱۵	۱۱۶	۱۱۶	۱/۶	۶۸	۹۹	۸۵	۲۶	۶
A۶	۲۸۰	۲۹۵	۲۹۵	۱/۶	۳۴	۱۰۰	۸۳	۵۸	۸
A۷	۱۷۰	۵۳	۵۳	۱/۴۵	۹۲	۷۵	۸۶	۰	۸
A۸	۱۷۰	۱۰۸	۱۰۸	۱/۲۳	۴۱	۱۰۰	۸۵	۵۲	۷
A۹	۴۷۰	۲۳۲	۲۳۲	۱/۶۳	۳۹	۱۰۰	۷۹	۵۹	۲
A۱۰	۱۷۰	۲۶۰	۲۶۰	۱/۰۵	۵۲	۱۰۰	۸۱	۴۳	۵
A۱۱	۲۵۰	۴۵	۴۵	۲/۰۳	۷۲	۳۶	۹۲	۰	۲۸
A۱۲	۲۱۰	۱۷۴	۱۷۴	۱/۶۲	۵۷	۱۰۰	۹۲	۳۸	۵
A۱۳	۴۶۰	۱۸۴	۱۸۴	۱/۸۷	۵۶	۱۰۰	۸۴	۳۰	۱۴
A۱۴	۲۹۰	۲۰۱	۲۰۱	۱/۳۷	۴۴	۱۰۰	۸۱	۵۰	۶
A۱۵	۲۹۰	۱۶۲	۱۶۲	۱/۳۹	۸۱	۹۷	۸۷	۹	۱۰
A۱۶	۲۵۰	۱۹۰	۱۹۰	۱/۳۶	۳۹	۱۰۰	۷۷	۶۰	۱
A۱۷	۱۵۰	۷۰	۷۰	۱/۰۵	۷۵	۷۴	۹۳	۰	۲۵
A۱۸	۱۶۰	۷۴	۷۴	۰/۸۶	۹۱	۹۲	۸۷	۰	۸
A۱۹	۱۶۰	۱۶۴	۱۶۴	۱/۲۲	۳۲	۱۰۰	۷۴	۶۶	۲
A۲۰	۲۹۰	۴۲	۴۲	۱/۴۹	۷۳	۵۵	۹۳	۰	۲۷
A۲۱	۲۰۰	۱۴۵	۱۴۵	۰/۵	۷۵	۹۸	۸۲	۲۰	۵

نمونه، در مزرعه A۱۱ زمان پیشروی ۴۵ دقیقه و زمان قطع جریان در وضع موجود ۴۲۰ دقیقه و دبی ورودی ۲/۰۳ لیتر در ثانیه بوده است. در سناریوی ذکر شده، در زمان ۴۵ دقیقه که پیشروی جریان به اتمام رسیده است جریان قطع شد، در نتیجه، مدت زمان ورود جریان آب به جویچه نسبت به حالت وضع موجود کمتر شده همین امر سبب کاهش تلفات رواناب در مزارع گردید.

در سناریوی دوم قبل از رسیدن آب به انتهای جویچه، جریان قطع شد (طوری که پایاب آب ورودی پس از قطع شدن جریان به انتهای جویچه برسد)، بنابراین مقدار تلفات رواناب به دست آمده در این حالت در مقایسه با وضع موجود و قطع

به طور کلی در مزارع مورد مطالعه، قطع جریان با رسیدن آب به انتهای جویچه مقدار تلفات عمقی را نسبت به وضع موجود کاهش داد اما در مزارع A۱، A۲، A۴، A۸، A۹، A۱۲، A۱۳، A۱۶ و A۱۹ به دلیل درز و ترک قسمت ابتدایی جویچه، این کاهش زیاد چشم‌گیر نبوده و کمتر از ۱۰ درصد بوده است. میانگین تلفات نفوذ عمقی از ۴۳ درصد در شرایط وضع موجود به ۳۰ درصد در شرایط قطع جریان کاهش یافته است (شکل ۳). قطع جریان با رسیدن آب به انتهای جویچه در تمام موارد سبب کاهش تلفات رواناب نسبت به وضع موجود شد. این کاهش در مزارع A۳، A۱۱، A۱۷، A۱۸، A۲۰ و A۲۱ در حدود ۲۰ درصد نسبت به وضع موجود بوده است به عنوان

کاهش یافته است. تلفات نفوذ عمقی در بعضی از مزارع که در وضع موجود زیاد بوده است، با اعمال زمان‌های قطع جریان کاهش چندانی نداشته است دلیل این موضوع احتمالاً به‌خاطر وجود درز و ترک‌های کف جویچه‌ها بوده است. این درز و ترک‌ها مدت زمان پیشروی آب را افزایش داده و باعث می‌شود تا اعمال زمان‌های قطع ذکر شده تأثیر چندانی در کاهش تلفات عمقی این مزارع (دارای تلفات عمقی بالا) نداشته باشد. در رابطه با کاهش تلفات رواناب و نفوذ عمقی با اعمال زمان‌های قطع جریان در پژوهش حاضر، نتایج Alazba and Fangmeier (2001); Bali et al, (1995) هم‌راستا با نتایج بدست آمده بوده است.

#### شاخص‌های ارزیابی

پروفیل عمق آب نفوذ یافته در حالت وضع موجود، قطع جریان زمان رسیدن آب به انتهای جویچه و قطع جریان قبل از رسیدن آب به انتهای جویچه به عنوان نمونه در چند مزرعه در شکل (۲) ارائه شده است. بازده ذخیره آب آبیاری در وضع موجود، به دلیل مدت زمان بالای آبیاری و ناآگاهی کشاورزان، به جز در مزرعه A۱ (کم‌آبیاری در حد ۲ درصد در انتهای جویچه) در بقیه مزارع ۱۰۰ درصد بوده است (شکل ۲)، به عبارتی کفایت آبیاری ۱۰۰ درصد تأمین شده است (جدول ۲). با قطع جریان به محض رسیدن آب به انتهای جویچه، در بسیاری از مزارع بازده ذخیره آب در حد ۱۰۰ باقی ماند و میانگین آنها ۹۱ درصد به-دست آمد (جدول ۳ و شکل ۳). کمترین مقدار بازده ذخیره آب در مزرعه A۱۱ بوده است، با توجه به طول ۲۵۰ متری جویچه و دبی ۲/۰۳ لیتر در ثانیه، پیشروی جریان بسیار سریع بوده و در حدود ۴۵ دقیقه طول کشیده است که همین امر سبب کم بودن این شاخص گردید، به طوری که مقدار آب مورد نیاز آبیاری در حدود ۶۰ میلی‌متر بوده است ولی در قطع جریان با رسیدن آب به انتهای جویچه عمق آب نفوذ کرده در حدود ۲۰ میلی‌متر بوده که سبب اعمال کم آبیاری در طول جویچه در حدود ۶۵ درصد گردید (شکل ۲ و جدول ۳).

بازده ذخیره آب در مزارع A۷، A۱۷ و A۲۰ کمتر از ۸۰ درصد تخمین زده شد که دلیل این موضوع پیشروی سریع جریان بوده است، چرا که با اتمام پیشروی، جریان قطع می‌شود و فرصت کافی برای نفوذ آب فراهم نمی‌گردد. همین موضوع سبب گردید درصد تلفات عمقی در مزارع ذکر شده به صفر برسد (جدول ۳)، با توجه به شکل (۲) در مزارع ذکر شده عمق آب در سناریوی قطع جریان با رسیدن آب به انتهای جویچه در طول مسیر کمتر از عمق مورد نیاز آبیاری بوده است.

جریان با رسیدن آب به انتهای جویچه بسیار ناچیز بوده است، به طوری که در اکثر مزارع، درصد این تلفات در حد ۱ تا ۵ درصد به دست آمد (جدول ۴). میانگین تلفات رواناب در حالت قطع جریان قبل از رسیدن آب به انتهای جویچه در مقایسه با وضع موجود، کاهش ۲۱ درصدی و در مقایسه با قطع جریان با رسیدن آب به انتهای جویچه، کاهش ۸ درصدی داشته است.

تلفات عمقی در سناریوی دوم در مزارع A۲، A۴، A۶، A۸، A۹، A۱۰، A۱۲، A۱۴، A۱۶ و A۱۹ نسب به وضع موجود کاهش چندانی نشان نداد. در این مزارع، در قسمت‌های ابتدایی و میانی جویچه درز و ترک‌های عمیقی وجود داشت که قسمت اعظم آب ورودی در این درز و ترک‌ها به صورت تلفات عمقی ازدست رفته و از پیشروی جریان جلوگیری کرده است، به عنوان مثال، در مزرعه A۹ در ابتدای جویچه عمق آب نفوذ کرده ۶۰ سانتی‌متر بیشتر از عمق آب مورد نیاز بوده در حالی که در قسمت انتهایی جویچه این عدد ۲۰ سانتی متر بوده است (شکل ۲). با توجه به اینکه در قسمت‌های انتهایی جویچه‌های این مزارع، درز و ترک وجود نداشت با رسیدن جریان به این قسمت‌ها و قطع جریان، پیشروی سریع صورت گرفته و پایاب آب ورودی به انتهای جویچه رسیده است. با توجه به جدول (۴) در این مزارع مدت زمان پیشروی آب بسیار طولانی بوده است که دلیل آن، درز و ترک‌هایی ذکر شده در قسمت ابتدا و میانی جویچه بوده است. زمان پیشروی زیاد (به دلیل درز و ترک) و کسر قطع جریان و دبی زیاد سبب شد تلفات نفوذ عمقی در این مزارع نسبت به وضع موجود و سناریوی قطع جریان با رسیدن آب به انتهای جویچه کاهش چندانی نشان ندهد. به عنوان مثال در مزرعه A۴، زمان پیشروی در ۲۶۰ متر طول جویچه با دبی ۱/۵۳ لیتر در ثانیه ۳۹۸ دقیقه بوده است. مدل کسر قطع جریان را در این مزرعه ۰/۷۶ به دست داد به عبارتی مدت زمان جریان ورود آب به جویچه با لحاظ کردن کسر قطع جریان ۳۰۲ دقیقه بوده است که با توجه به طول جویچه، مدت زمان زیادی است. در این مزرعه با توجه به مشاهدات و آزمایشات میدانی از ابتدا تا ۱۵۰ متری جویچه درز و ترک‌های عمیقی مشاهده گردید با رسیدن جریان به این قسمت‌ها، تا اشباع کامل درز و ترک پیشروی جریان متوقف شد که در بعضی از ایستگاه‌ها (۱۰ متر یک ایستگاه) این واقعه در حدود ۲۵ دقیقه طول کشید. با اشباع کامل ترک‌ها، پیشروی جریان مجدداً شروع شد. میانگین تلفات نفوذ عمقی در این سناریو در مقایسه با وضع موجود کاهش چشمگیری پیدا کرده است و از ۴۳ درصد به ۲۴ درصد رسیده است (شکل ۳). تلفات ناشی از رواناب و نفوذ عمقی در دو سناریوی قطع جریان اعمال شده نسبت به وضع موجود

جدول ۴. اطلاعات ورودی و خروجی مدل در سناریوی قطع جریان قبل از رسیدن آب به انتهای جویچه

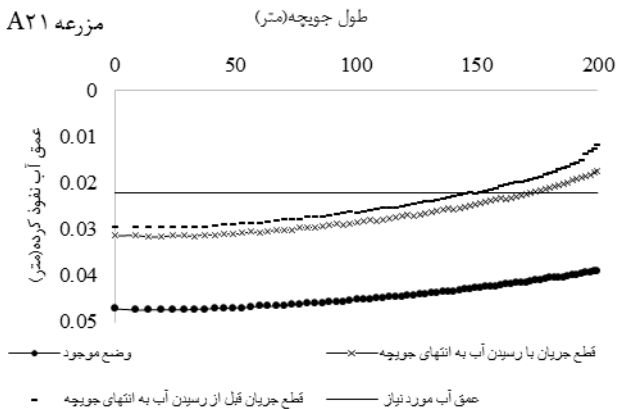
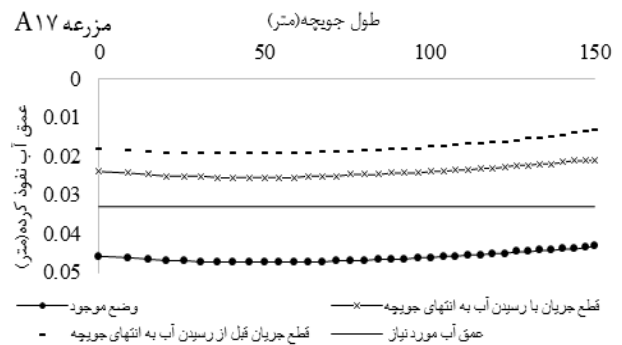
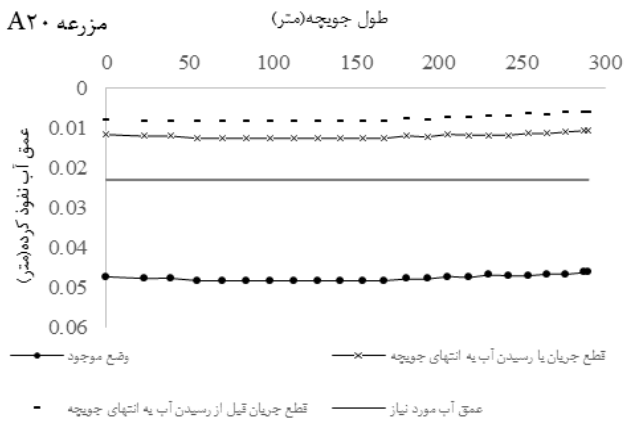
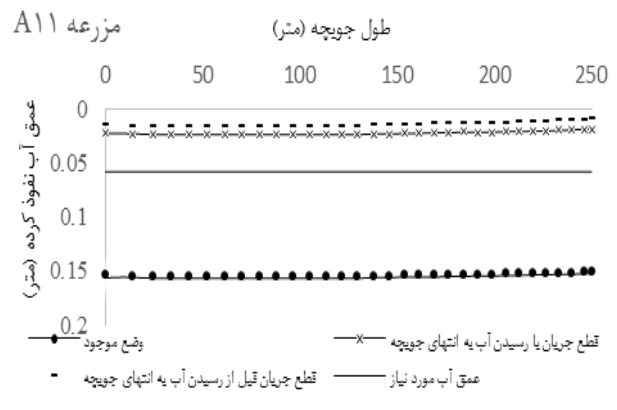
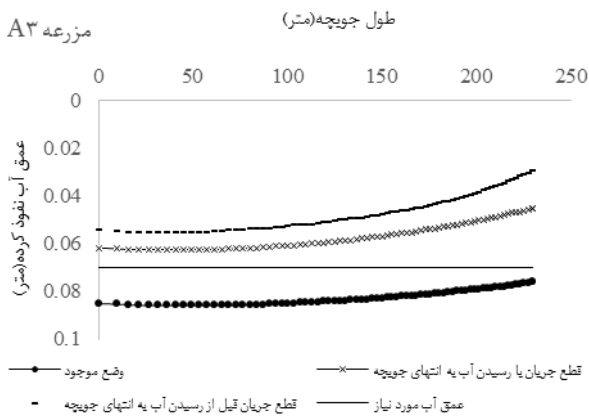
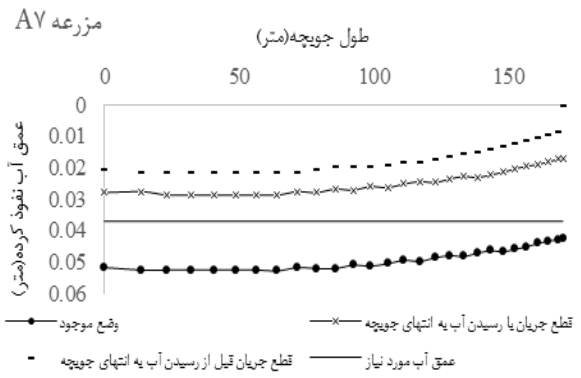
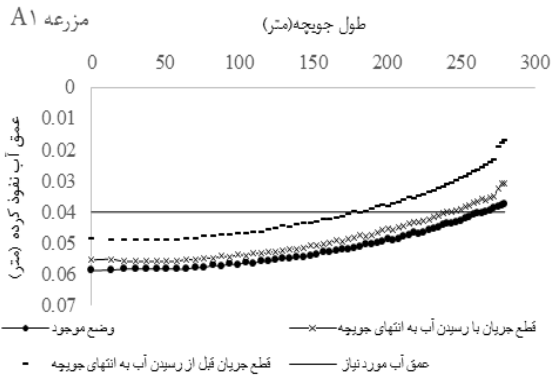
مزرعه	طول جویچه (متر)	زمان پیشروی (دقیقه)	ورودی مدل		خروجی مدل				
			کسر قطع جریان $(T_a/T_{cut})^*$	دبی (لیتر در ثانیه)	بازده کاربرد (درصد)	بازده ذخیره آب	یکنواختی توزیع (درصد)	نفوذ عمقی (درصد)	رواناب (درصد)
A1	280	143	0/70	1/9	90	92	77	9	1
A2	230	124	0/78	0/63	67	99	78	33	0
A3	230	155	0/37	1/25	99	70	80	0	1
A4	260	398	0/76	1/53	38	100	75	62	0
A5	315	116	0/42	1/6	95	89	75	5	0
A6	280	295	0/78	1/6	42	100	78	58	0
A7	170	53	0/31	1/45	100	53	77	0	0
A8	170	108	0/60	1/23	60	98	75	40	0
A9	470	232	0/78	1/63	44	100	77	56	0
A10	170	260	0/64	1/05	67	95	70	33	0
A11	250	45	0/05	2/03	97	21	85	0	3
A12	210	174	0/72	1/62	70	96	75	30	0
A13	460	184	0/42	1/87	93	90	76	7	0
A14	290	201	0/66	1/37	70	95	70	30	0
A15	290	162	0/45	1/39	99	84	75	1	0
A16	250	190	0/72	1/36	40	100	76	60	0
A17	150	70	0/22	1/05	95	54	87	0	5
A18	160	74	0/15	0/86	98	69	78	0	2
A19	160	164	0/70	1/22	35	99	75	65	0
A20	290	42	0/39	1/49	94	33	86	0	6
A21	200	145	0/56	0/5	84	95	78	16	0

\*مدت زمان آبیاری شبیه‌سازی مدل در سناریوی دوم به مدت زمان آبیاری در وضع موجود

قطع جریان قبل از رسیدن آب به انتهای جویچه سبب گردید میانگین بازده ذخیره آب از ۱۰۰ (وضع موجود) و ۹۱ درصد (قطع جریان با رسیدن آب به انتها) به ۸۳ درصد کاهش پیدا کند. با توجه به جدول (۴) در این سناریو، بازده ذخیره آب در مزارع A2, A4, A6, A8, A9, A16 و A19 در حد ۱۰۰ درصد تأمین شد، که درز و ترک‌های کف جویچه دلیل این موضوع بوده است. درصد این شاخص در بقیه مزارع کمتر از ۱۰۰ شده است که دلیل آن پیشروی جریان بوده است البته در برخی از همین مزارع مقدار بازده ذخیره بالای ۸۰ درصد بوده است به عنوان مثال در مزرعه A21، درز و ترک‌های کف جویچه سبب زیاد شدن عمق نفوذ در ابتدا و میان جویچه و اعمال کم آبیاری در انتهای جویچه گردیده است که سبب بالا رفتن بازده ذخیره آب شده است (شکل ۲ و جدول ۴). کمترین بازده ذخیره آب مربوط به مزرعه A11 است که برابر با ۲۱ درصد برآورد شده است. به عبارتی آبیاری ناقص در حدود ۸۰ درصد رخ داده است، با توجه به شکل (۲) در این مزرعه از عمق آب مورد نیاز ۶۰ میلی‌متر، در سناریوی ذکر

شده ۱۴ میلی‌متر در طول جویچه تأمین شده است. پیشروی سریع جریان باعث می‌شود اختلاف بین مدت زمان تماس آب با خاک، در انتهای جویچه نسبت به ابتدای جویچه کمتر باشد و یکنواختی توزیع افزایش یابد، با توجه به جدول (۲) افزایش مدت زمان پیشروی، باعث کاهش یکنواختی توزیع خواهد شد. لذا در شرایط قطع جریان، کاهش مدت زمان آبیاری باعث خواهد شد تا آب مدت زمان کمتری در قسمت‌های انتهایی جویچه در مقایسه با ابتدای جویچه در تماس با خاک باشد. بنابراین آب نفوذ یافته در انتها کمتر از ابتدای جویچه خواهد شد (شکل ۲)، این امر سبب کاهش یکنواختی توزیع شده و در حالت قطع جریان قبل از رسیدن آب به انتها، کاهش بیشتری در مقایسه با حالت قطع جریان زمان رسیدن آب به انتهای جویچه خواهد داشت (شکل ۲ و جدول‌های ۲ و ۳). میانگین این شاخص برای وضع موجود، قطع جریان زمان رسیدن آب به انتهای جویچه و قطع جریان قبل از رسیدن آب به انتهای جویچه به ترتیب روند نزولی داشته است (شکل ۳).

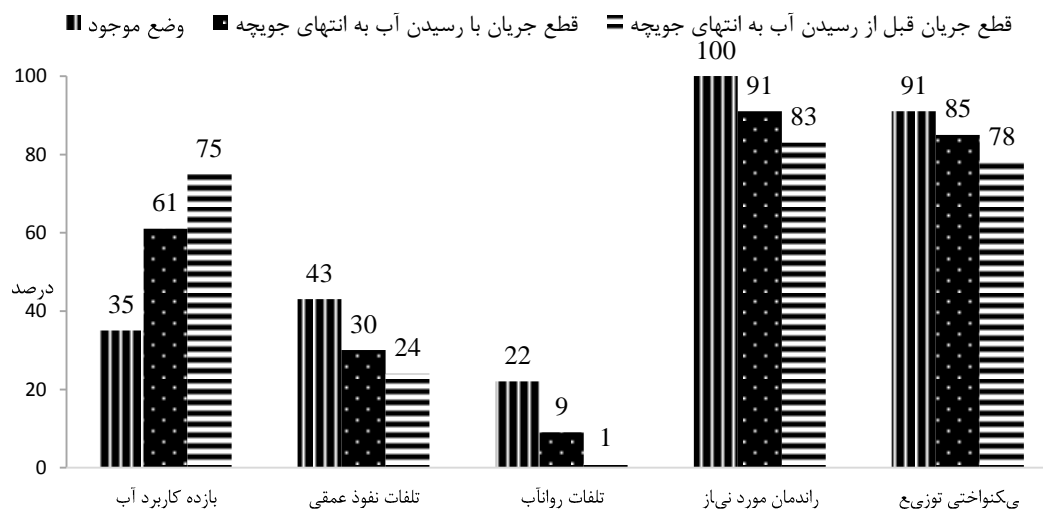




شکل ۲. پروفیل عمق نفوذ آب در برخی از مزارع مورد مطالعه در حالت‌های مختلف

A16 و A19 در حدود ۴۰ درصد بوده است که بازده ذخیره آب (کفایت آبیاری) در حد ۱۰۰ درصد تأمین شده است (جدول ۴). میانگین بازده کاربرد آب از ۳۶ درصد برای وضع موجود به حدود دو برابر (۷۵ درصد) در شرایط قطع جریان قبل از رسیدن آب به انتهای جویچه، افزایش پیدا کرده است. پلایان و متیوس (۲۰۰۴) تغییر در بازده کاربرد آب آبیاری را با اعمال تغییر در مدیریت آبیاری در منطقه باردناس اسپانیا ارزیابی کردند، نتایج نشان داد که با کاهش زمان آبیاری، بازده کاربرد آب آبیاری از مقدار معمول خود یعنی ۴۴ درصد به مقدار ۷۰ درصد افزایش یافت. مدیریت زمان قطع جریان و به دنبال آن کم آبیاری اعمال شده (حتی در حد ۱۰ درصد) در بالا رفتن بازده کاربرد آب بسیار اثر گذار است، برای مثال در مزرعه A21، در وضع موجود با بازده ذخیره آب ۱۰۰ درصد و عدم مدیریت کشاورز در زمان قطع جریان، بازده کاربرد ۳۴ درصد به دست آمده است. قطع جریان با رسیدن آب به انتهای جویچه سبب شد، بازده ذخیره آب ۹۸ درصد و بازده کاربرد آب ۷۵ درصد به دست آید (جدول ۳). از طرفی قطع جریان قبل از رسیدن آب به انتهای جویچه، بازده ذخیره آب را به ۹۵ درصد و بازده کاربرد آب را به ۸۴ درصد تغییر داد (جدول ۴ و شکل ۳). همان طور که مشاهده می شود در اکثر مزارع، کاهش مدت زمان آبیاری باعث اعمال کم آبیاری شده است (جدول ۴ و شکل ۲). در اکثر موارد این کم آبیاری، در حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد سبب افزایش چشم گیری در بازده کاربرد آب شده است که هم سو با نتایج Sepaskhah and Ghahraman (2004) بوده است.

بازده کاربرد آب برای وضع موجود در محدوده ۱۹ تا ۶۸ درصد اندازه گیری شد. این شاخص برای اغلب مزارع، در محدوده ۲۰ تا ۴۰ درصد قرار داشت (جدول ۲). میانگین بازده کاربرد برای وضع موجود ۳۵ درصد به دست آمد که با نتایج به دست آمده از مطالعات Hamdi et al (2016); Smith et al (2005); Rain and Bakker (1996a); Kanooni (2007) هم خوانی داشت. عدم آگاهی کشاورزان در مدیریت زمان قطع آبیاری از دلایل مهم کم بودن بازده کاربرد آب است. از طرفی وجود درز و ترک در طول جویچه ها به دلیل بسترسازی نامناسب، سبب شده است تا تلفات نفوذ عمقی نسبت به رواناب بیشتر باشد و بازده کاربرد، بیشتر تحت تأثیر تلفات نفوذ عمقی قرار بگیرد. براساس جدول (۳) قطع جریان با رسیدن آب به انتهای جویچه، بازده کاربرد آب را بهبود بخشیده و در محدوده ۳۰ تا ۹۰ درصد قرار داد. بیشترین مقدار بازده کاربرد آب (در حدود ۹۰ درصد)، در مزارع A3، A7، A18 بوده است که در آنها بازده ذخیره آب کمتر از ۱۰۰ درصد (تلفات عمقی در حد صفر) و تلفات رواناب کمتر از ۱۰ درصد بوده است. در مزارعی که بازده ذخیره آب ۱۰۰ و تلفات نفوذ عمقی بالا بوده است، بازده کاربرد آب در حدود ۴۰ درصد به دست آمده است. در شرایط قطع جریان قبل از رسیدن آب به انتهای جویچه، با توجه به کاهش تلفات آبیاری مخصوصاً تلفات نفوذ عمقی (شکل های ۲ و ۳)، بازده کاربرد آب نسبت به وضع موجود و قطع جریان با رسیدن آب به انتهای جویچه، افزایش پیدا کرده است و به حدود ۳۵ تا ۱۰۰ درصد رسیده است. بیشتر مزارع در این حالت از قطع جریان، بازده بالای ۹۰ درصد داشته اند. کمترین مقدار بازده کاربرد آب مربوط به مزارع A4، A6، A9،



شکل ۳. شاخص های به دست آمده از ارزیابی وضع موجود و زمان های قطع جریان اعمال شده

## نتیجه‌گیری

آب آبیاری در اکثر مزارع کمتر از ۱۰۰ درصد به‌دست آمد، به عبارتی آبیاری ناقص در این حالت بیشتر اتفاق افتاده است به طوری که بازده کاربرد آب ۷۵ درصدی به دست داد. بنابراین قطع جریان قبل از رسیدن آب به انتهای جویچه، اگر چه باعث اعمال کم آبیاری‌های جزئی شد (به جز چند مورد)، بازده کاربرد آب را تا حد زیادی بهبود بخشید و نسبت به حالت قطع جریان با رسیدن آب به انتهای جویچه، بازده کاربرد بهتری به‌دست داد. با کمبود منابع آب، استفاده از روش قطع جریان قبل از رسیدن آب به انتهای جویچه و به دنبال آن کم آبیاری‌های جزئی (در حد ۱۰ درصد) در بالا رفتن بازده کاربرد آب نسبت به وضع موجود می‌تواند بسیار مؤثر واقع شود. چنانچه منابع آب کافی در دسترس باشد و کم آبیاری لازم نباشد روش قطع جریان با رسیدن آب به انتهای جویچه در بهبود بازده کاربرد آب نقش بزرگی ایفا می‌نماید.

## سپاسگزاری

این مقاله بخشی از نتایج طرح چرخه بهبود بهره‌وری آب است که بدین‌وسیله از دفتر بهبود بهره‌وری آب و اقتصاد، معاونت آب و آبفا و وزارت نیرو که هزینه‌های اجرایی این طرح را عهده‌دار هستند تقدیر و تشکر می‌گردد.

## REFERENCES

- Abbasi, F. (2012) Principles of Flow in Surface Irrigation (1th ed.) Iran: Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. (In Farsi).
- Abbasi, F. (2008). Methods of improving surface irrigation systems. In: the Second Seminar Methods of improving surface irrigation systems, 22 May, Iran.
- Alazba, A. A. and D. D. Fangmeier. 1995. Hydrograph shape and border irrigation efficiency. *J. Irrig. and Drain. Eng., ASCE*. 121(6): 452-457.
- Anthony, D. 1995. On-farm water productivity, current and potential: options, outcomes, costs. *Irrigation Australia*. 10:20-23.
- Bali, K. M., Grismer, M. E. and I. C. Tod. 2001. Rducecd runoff irrigation of alfalfa in Imperial Valley, California. *J. Irrig. And Drain. Eng., ASCE*. 127(3):123-130.
- Behbehani, M.R. and Babazadeh, H. 2005. Field Evaluation of Surface Irrigation Model (SIRMOD). *J Sci & Technol. Agri. & Nature. Resour.* 12(2):1-10. (In Farsi).
- Beyzadeh, E., Ziaei, A.N., Davari., K. and H. Ansari. 2014. Optimization Of Inflow Rate And Cutoff Timeusing The Full Hydrodynamic Model. *Journal of Irrigation and Drainage*. 2(8): 377-385. (In Farsi).
- Gillies, M. H. 2008. Managing the effect of infiltration variability on the performance of surface irrigation. Ph.D. thesis. Faculty of Engineering and Surveying. University of Southern Queensland. Australia.
- Hamdi Ahmadabad, Y., Liaghat, A., Sohrabi, T., Rasoulzadeh, A and B. Nazari. 2016. Performance Evaluation of Furrow Systems in Corn Farms to Improve Irrigation Efficiency under Farmer Managemnet (Case Study: Moghan Agro-Industry and Husbandry). *Journal of Water and Irrigation Management*. (In Farsi).
- Hornbuckle, J. W., Christen, E. W. and R. D. Faulkner. 1998. Improving the Efficiency and Performance of Furrow Irrigation Using Simulation Modeling in South-Eastern Australia. CSIRO Land and Water, PMB No. 3, Griffith, New South Wales, Australia, 2680.
- Kanooni, A. (2007). Evaluation of furrow irrigation efficiency under different management in moghan region. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Vol.8, No.2, Summer 2007, P: 17-32. (In Farsi).
- Mahdzadeh Khasraghi, M., Gholami Sefidkouhi, M.A., Valipour, M., 2015. Simulation of open and closed-end border irrigation systems using SIRMOD. *Arch. Agron. Soil Sci.* 61 (7), 929-941.
- Malano, H. M. and M. Patto. 1992. Automation of border irrigation in southeast Australia. *Irrigation*

بالا بودن مدت زمان آبیاری، بستر سازی نامناسب و عدم آگاهی کشاورزان در زمان قطع جریان، سبب شد تلفات آبیاری مخصوصاً تلفات نفوذ عمقی در مزارع بالا باشد. به دلیل زیاد بودن مدت آبیاری، بازده ذخیره آب در تمام مزارع مورد مطالعه ۱۰۰ درصد تأمین شده است. در نتیجه، میانگین بازده کاربرد آب ۳۵ درصد به دست آمد. که لزوم بهبود آن را در اولویت قرار می‌دهد.

کاهش زمان آبیاری در سناریوی قطع جریان با رسیدن آب به انتهای جویچه، باعث کاهش تلفات عمقی و رواناب انتهایی گردید، البته در مزارعی که درصد تلفات عمقی بالای ۵۰ درصد بوده است، قطع جریان کاهش چندانی در تلفات عمقی ایجاد نکرده است، مجموع تلفات در این حالت نسبت به وضع موجود کاهش ۲۶ درصدی داشته است. در این سناریو با کاهش تلفات آبیاری، بازده کاربرد آب از ۳۵ درصد در وضع موجود به ۶۱ درصد افزایش یافت. همچنین بازده ذخیره آب در اکثر مزارع در حد ۱۰۰ درصد تأمین شد. در حالت قطع جریان قبل از رسیدن آب به انتهای جویچه، مجموع تلفات عمقی و رواناب از ۶۵ درصد به ۲۵ درصد و در بسیاری از مزارع، میزان رواناب به حد صفر درصد رسید. در این شرایط نیز بازده ذخیره

- and drainage system. 6: 9-23.
- Playan, E. and L. Mateos. 2004. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural water management*. 80(1): 100-116.
- Raine, S. R. and D. M. Bakker. 1996. Increased furrow irrigation efficiency through better design and management of canefields. *Aust. Soc. Sugar Cane Technologists*, 30 April-3rd May, Mackay, p119-124.
- Raine, S. R. and D. M. Bakker. 1996a. Increased furrow irrigation efficiency through better design and management of cane fields. *proc.Aust Soc. Sugar cane tech.*18:119-124.
- Raine, S. R. and W. R. Walker. 1998. A decision support tool for the design, management and evaluation of surface irrigation systems. In *Irrigation Association of Australia National Conference*.
- Roldán-Cañas, J., Chipana, R., Moreno-Pérez, M. and G. Chipana. 2015. Description and Evaluation of Zigzag Furrow Irrigation in the Inter-Andean Valleys of Bolivia. *J Irrig Drain Eng.* 141(11): 04015019 1-10.
- Sepaskhah, A. R. and B. Ghahraman. 2004. The effects of irrigation efficiency and uniformity coefficient on relative yield and profit for deficit irrigation. *Biosystem Engineering*. 87(4): 495-507.
- Smith, R. J., Raine, S. R. and J. Minkevich. 2005. Irrigation application efficiency and deep drainage potential under surface irrigated cotton. *Agricultural Water Management*. 71(2):117-130.
- Tabatabaei, S.H., Fardad, H., Neyshabory, M.R. and A. Liaghat. 2006. Simulation Model for Seasonal Variation of Kostiakov-Louise Infiltration Equation in Two Different Managements in Cracking Soil. *J Sci & Technol. Agri. & Nature. Resour.* 10(1): 55-69. (In Farsi).
- Thomas, J. T., and D. C. Kincaid. 1989. Border cablegation system design. *Trans. of the ASAE*. 32(4): 1185-1192.
- Walker, W. R. 2005. Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 131:129-136.
- Walker, W. R. 1997. SIRMOD II. Irrigation simulation software. Utah State University, Logan.
- Walker, W. R. and A. S. Humphreys. 1983. Kinematic-wave furrow irrigation model. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Division*. 109:377-392.