

بررسی رفتار جریان غیرماندگار کانال‌های آبیاری در شرایط تغییرات نیاز و تعیین

دستورالعمل مناسب بهره‌برداری (مطالعه موردی کانال E1R1 شبکه دز)^۱

محمد جواد منعم، علیرضا عمادی و حسام قدوسی^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۸۳/۵/۱۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۴/۲/۳۱

چکیده

وجود جریان‌های غیرماندگار در کانال‌های آبیاری باعث پیچیدگی در تحویل و توزیع آب، کاهش عملکرد هیدرولیکی، ناهماهنگی در عرضه و تقاضا، و در مجموع ایجاد چالش‌های جدی در مدیریت شبکه می‌شود. اجرای برنامه‌های تحویل و توزیع آب یکی از عوامل ایجادکننده جریان‌های غیرماندگار در کانال‌های آبیاری است. در این حالت، نیاز آبیگرها ممکن است تغییر کند که تأمین آن مستلزم تغییر دبی ورودی به کانال از بالادست، باز و بسته شدن دریچه‌های آبیگر، و تغییرات تنظیم ارتفاع سازه‌های آب‌بند است. بنابراین، باید دستورالعمل بهره‌برداری با توجه به رفتار هیدرولیکی جریان به گونه‌ای تعیین شود که اثرهای منفی آن بر تحویل و توزیع آب به حداقل برسد. در این تحقیق، با تحلیل جریان‌های غیرماندگار ایجاد شده در کانال آبیاری در اثر تغییرات نیاز آبیگرها، دستورالعمل بهره‌برداری کانال E1R1 از شبکه دز، واقع در شمال خوزستان با استفاده از مدل هیدرودینامیکی ICSS ارائه شده است. بدین منظور، هشت گزینه افزایش و کاهش دبی کانال تا ۲۰ درصد با توجه به باز یا بسته بودن سایر آبیگرها در نظر گرفته شد. با استفاده از مدل ICSS هر یک از گزینه‌ها شبیه‌سازی و با بررسی رفتار جریان و تعیین میزان مازاد یا کمبود تحویل آب به آبیگرها در برنامه تحویل ۶ ساعته دستورالعمل بهره‌برداری مناسب سازه‌ها تعیین شد. بیشترین مقدار کاهش حجم مازاد و کمبود تحویل در اثر عملیات بهره‌برداری تعیین شده به ترتیب برابر با ۳۹۶۲ و ۷۱۶۳ مترمکعب به دست آمد. بنابراین با کاربرد دستورالعمل بهره‌برداری تعیین شده عملکرد کانال بهبود می‌یابد.

واژه‌های کلیدی

جریان‌های غیرماندگار، دستورالعمل بهره‌برداری، کانال‌های آبیاری

۱- برگرفته از سمینار دکتری گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- به ترتیب استادیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، آدرس: تهران، پل گیشا، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ص. پ. ۸۳۸-۱۴۱۵۵، تلفن: ۰۲۱-۴۴۱۹۶۵۲۲، پیام نگار: javadmonem@yahoo.com، دانشجویان دکتری گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت

مقدمه

است. به عنوان نمونه، شورمانز و همکاران (Schuurmans *et al.*, 199) با استفاده از مدل هیدرودینامیک MODIS در کانال شاهعبد... در اردن به ارائه دستورالعمل‌های کنترل در شرایط ذخیره‌سازی شبانه در کانال پرداختند. منعم و شورمانز (Monem & Schuurmans, 1992) با استفاده از مدل هیدرودینامیک MODIS عملکرد کانال اصلی کشتیا در بنگلادش را برای سه نوع برنامه تحویل آب ارزیابی کردند. کسب‌دوز و همکاران (Kasbdous *et al.*, 1998) نیز با استفاده از مدل هیدرودینامیکی ICSS در شبکه آبیاری قوری‌چای، مناسب‌ترین گزینه توزیع را از بین سه روش توزیع آب ارائه کردند. کوپر و همکاران (Kuper *et al.*, 1997) اثر قوانین مختلف بهره‌برداری را بر توزیع آب در شبکه آبیاری ایندوس پاکستان با استفاده از مدل هیدرودینامیک SIC بررسی کردند. آکوز و همکاران (Akouz *et al.*, 1997) به منظور تنظیم دبی پایین‌دست و بازشدگی دریچه‌ها در سیستم کنترل بالادست، روش کنترلی بر اساس پیش‌بینی زمان تأخیر انتقال آب در کانال‌های آبیاری ارائه دادند. مالاتر و بومه (Malaterre & Baume, 1997) راندمان سیستم‌های مختلف کنترل در کانال‌های آبیاری فرانسه را که از روش‌های مختلف بهره‌برداری مانند دستی، نیمه اتوماتیک، و اتوماتیک استفاده می‌کردند مورد بررسی قرار دادند. از این تحقیق مشخص شد که با استفاده از روش‌های پیشرفته‌تر بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری می‌توان راندمان شبکه را به میزان قابل توجهی بهبود بخشید. میشر و همکاران (Mishra *et al.*, 2001) با استفاده

سیستم‌های توزیع آب در بیشتر پروژه‌های آبیاری دنیا، از کانال‌ها و مجاری روباز تشکیل شده‌اند. سادگی ظاهری استفاده از مجاری روباز برای انتقال آب آبیاری موجب شده است که پیچیدگی واقعی فناوری آن نادیده گرفته شود. محدودیت منابع موجود برای احداث شبکه‌های جدید آبیاری در دنیا، پایین بودن عملکرد اغلب شبکه‌های آبیاری از حد انتظارات طرح، و صرف سرمایه‌های وسیع جهت ساخت و بهره‌برداری از آنها موجب توجه بیش از پیش به بهبود بهره‌برداری و افزایش بهره‌وری شبکه‌ها شده است. تنوع سازه‌های آبی، انواع سیستم‌های کنترل، و روش‌های مختلف بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری موجب پیچیدگی رفتار هیدرولیکی جریان در شبکه‌ها می‌شود به طوری که بدون استفاده از مدل‌های ریاضی، پیش‌بینی دقیق وضعیت جریان بسیار مشکل است [۱۳].

بدون شناخت کامل از منشاء، میزان تغییرات، زمان تغییرات، فرکانس، و محل وقوع جریان‌های غیرماندگار نمی‌توان راه حلی مناسب جهت کنترل و مدیریت این نوع جریان‌ها در شبکه‌ها ارائه کرد. به عنوان نمونه، با درک صحیح از چگونگی حرکت موج مثبت یا منفی در کانال می‌توان زمان بهره‌برداری مناسب را ارائه داد تا تلفات بهره‌برداری به حداقل برسد. مدیریت و کنترل جریان‌های غیرماندگار ایجاد شده در شبکه‌های آبیاری به صورت ارائه دستورالعمل‌های تنظیم سازه‌ها متناسب با نوع، میزان، و منشاء جریان غیرماندگار ایجاد شده است. در این زمینه تاکنون تحقیقات مختلفی شده

غیرماندگار را در شبکه‌های آبیاری حل می‌کند و شرایط مرزی و سازه‌های مختلف به صورت زیر برنامه‌هایی با آن تلفیق می‌شوند [۱۲].

جریان غیرماندگار با حل معادلات غیرماندگار متغیر تدریجی مجاری روباز معروف به معادلات سنت ونانت شبیه سازی شده است که محققان مختلف از جمله استرلکوف (Strelkoff, 1965) استخراج و بحث کرده‌اند. این معادلات عبارتند از:

$$\left(\frac{A}{B}\right)\frac{\partial V}{\partial x} + V\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{V}{B}(A_x^y) - \frac{1}{B}(p-i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial x} + g(S_f - S_0) + \frac{V}{A}(p-i) = 0 \quad (2)$$

که در آن:

y عمق جریان، x فاصله در طول کانال، p جریان گسترده ورودی، A سطح مقطع جریان، g شتاب ثقل، S_0 شیب کف کانال، S_f شیب خط انرژی در رابطه مانینگ، i جریان گسترده خروجی، A_x^y تغییرات سطح مقطع جریان نسبت به x با فرض y ثابت، B عرض کانال در سطح فوقانی جریان، V سرعت جریان و t زمان است.

این معادلات با استفاده از روش تفاضل‌های محدود براساس سیستم چهار نقطه‌ای وزنی ارائه شده توسط آمین حل شده‌اند که دقت، همگرایی، پایداری، و صحت بالایی دارند [۲].

– معرفی کانال EIR1 شبکه آبیاری دز

کانال EIR1 ذوزنقه‌ای با پوشش بتنی است. حداکثر ظرفیت کانال ۲/۴۷ مترمکعب بر ثانیه است

از مدل MIKE 11 عملکرد کانال اصلی کانگسباتی پروژه آبیاری بنگال غربی هندوستان را ارزیابی کردند. کلمانز و والین (Clemmens & Wahlin) سیستم‌های کنترل از پایین دست ساده بهینه را با استفاده از خطی سازی معادلات سنت و نانت ارائه کردند. در این روش، تنظیم کلیه سازه‌های موجود در کانال با استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی به دست می‌آید. در برخی از تحقیقات مورد اشاره، دستورالعمل بهره‌برداری و تنظیم سازه‌ها بر اساس نتایج شبیه‌سازی به دست نیامده است و در برخی دیگر، دستورالعمل ارائه شده برای عملیات بهره‌برداری دستی و کنترل از بالادست مناسب نیست. در این تحقیق در نظر است با استفاده از مدل هیدرودینامیک ICSS دستورالعمل مناسب بهره‌برداری از کانال EIR1 شبکه آبیاری دز برای شرایط کنترل از بالادست و بهره‌برداری دستی در شرایطی تهیه شود که نیاز آبی آبگیرهای پایین دست افزایش یا کاهش می‌یابد.

مواد و روش‌ها

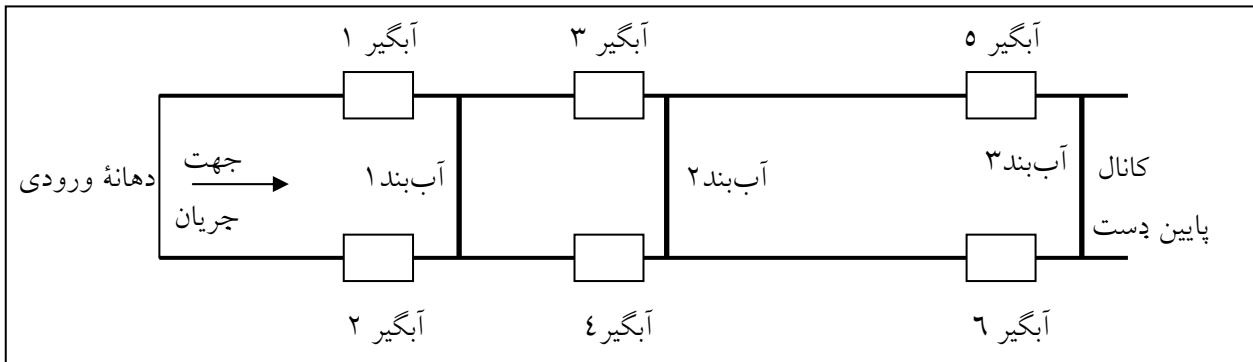
– معرفی مدل ICSS

مدل هیدرودینامیکی ICSS را در سال ۱۹۸۵ مانز تهیه کرد [۷]. این مدل قادر به شبیه‌سازی سیستم‌های انتقال و توزیع آب که دارای تغییرات زمانی جریان ورودی و خروجی هستند از لحاظ هیدرولیکی و هیدرولوژیکی است. این مدل همچنین قادر به شبیه‌سازی جریان‌های ماندگار و غیرماندگار در شبکه‌های آبیاری با انواع شکل مقطع کانال همراه با طیف قابل توجهی از سازه‌ها توأم با جریان‌های گسترده ورودی و خروجی است. این مدل یک هسته مرکزی دارد که معادلات جریان‌های

که از طریق هفت آبگیر ثقلی با دریچه‌های کشویی مستطیلی در مسیری به طول ۲۸۳۰/۵ متر آب کشاورزی اراضی پایین‌دست را تأمین می‌کند. شیب کانال در طول این مسیر متفاوت و حداقل ۰/۰۰۰۱۲ و حداکثر ۰/۰۰۱۲ است. عرض کف از ابتدای کانال تا فاصله ۱۰۰۳ متری معادل ۱/۵ متر و از این نقطه تا محل آخرین آبگیر در فاصله ۲۸۳۰/۵ متری معادل ۱ متر است. شیب جانبی کانال در تمامی طول مسیر (۱V:1.5H) طراحی شده است. متوسط ضریب زبری مانینگ در طول مسیر ۰/۰۱۷ گزارش شده است. این کانال دارای ۶ سازه آبگیر، ۳ سازه آب‌بند، ۲ حوضچه آرامش در پایین‌دست سازه‌های آب‌بند و یک سیفون است [۹]. تنظیم تراز سطح آب در کانال برای هر زوج آبگیر با یک سازه آب‌بند انجام می‌شود. جدول شماره ۱ مشخصات فیزیکی کانال و سازه‌های قابل تنظیم در کانال را نشان می‌دهد. در شکل شماره ۱ نیز نمای کلی کانال نشان داده شده است.

جدول شماره ۱- مشخصات کانال EIR1 از شبکه آبیاری دز

| بازه | کیلومتر | طول بازه (متر) | رقوم بالادست (متر) | رقوم پایین دست (متر) | شیب طولی | عرض کف (متر) | سازه بالا دست | سازه پایین دست |
|------|---------------|----------------|--------------------|----------------------|----------|--------------|--------------------|------------------|
| ۱ | ۰-۱ | ۱۰۰۰/۰ | ۱۵۰/۴۷ | ۱۵۰/۳۲ | ۰/۰۰۰۱۵ | ۱/۵ | ورودی با کنترل دبی | آبگیر روزنه‌ای ۱ |
| ۲ | ۱/۰۰۱-۱ | ۱/۰ | ۱۵۰/۳۲ | ۱۵۰/۳۲ | ۰/۰۰۰۱۰ | ۱/۵ | - | آبگیر روزنه‌ای ۲ |
| ۳ | ۱/۰۰۳-۱/۰۰۱ | ۲/۰ | ۱۵۰/۳۲ | ۱۵۰/۳۲ | ۰/۰۰۰۱۰ | ۱/۵ | - | سازه آب‌بند ۱ |
| ۴ | ۱/۰۰۷۵-۱/۰۰۳ | ۴/۵ | ۱۴۹/۸۲ | ۱۴۹/۸۱ | ۰/۰۰۰۲۱ | ۱ | - | ادامه کانال |
| ۵ | ۱/۲۷۷۵-۱/۰۰۷۵ | ۲۷۰/۰ | ۱۵۰/۳۲ | ۱۵۰/۰۳ | ۰/۰۰۱۱۷ | ۱ | - | آبگیر روزنه‌ای ۳ |
| ۶ | ۱/۲۷۸۵-۱/۲۷۷۵ | ۱/۰ | ۱۵۰/۰۳ | ۱۵۰/۰۲ | ۰/۰۰۱۰۰ | ۱ | - | آبگیر روزنه‌ای ۴ |
| ۷ | ۱/۲۸۰۵-۱/۲۷۸۵ | ۲/۰ | ۱۵۰/۰۲ | ۱۵۰/۰۰ | ۰/۰۰۱۰۰ | ۱ | - | سازه آب‌بند ۲ |
| ۸ | ۱/۲۸۳۵-۱/۲۸۰۵ | ۳/۵ | ۱۴۹/۵ | ۱۴۹/۴۹ | ۰/۰۰۰۲۸ | ۱ | - | ادامه کانال |
| ۹ | ۲/۰۱۳-۱/۲۸۳۵ | ۷۲۹/۵ | ۱۴۹/۷ | ۱۴۸/۹۰ | ۰/۰۰۱۰۹ | ۱ | - | ادامه کانال |
| ۱۰ | ۲/۸۲۷-۲/۰۱۳ | ۸۱۴/۰ | ۱۴۸/۵۷ | ۱۴۸/۴۷ | ۰/۰۰۰۱۲ | ۱ | - | آبگیر روزنه‌ای ۵ |
| ۱۱ | ۲/۸۲۷-۲/۸۲۷ | ۱/۰ | ۱۴۸/۴۷ | ۱۴۸/۴۷ | ۰/۰۰۲۰۰ | ۱ | - | آبگیر روزنه‌ای ۶ |
| ۱۲ | ۲/۸۳۰-۲/۸۲۸ | ۲/۰ | ۱۴۸/۴۷ | ۱۴۸/۴۷ | ۰/۰۰۰۵۰ | ۱ | - | سازه آب‌بند ۳ |



شکل شماره ۱- نمای کلی کانال EIR1 و سازه‌های وابسته

- تشریح گزینه‌های شبیه‌سازی

آبگیرهای ۵ و ۶ به میزان ۲۰ درصد بوده است. این تغییرات نیاز همزمان با آبیگری یا عدم آبیگری آبگیرهای ۱، ۲، ۳ و ۴ در نظر گرفته شده است که در مجموع ۸ گزینه مختلف را در بر می‌گیرد. دبی اولیه کانال در شرایط افزایش ۱ متر مکعب در ثانیه و در شرایط کاهش ۱/۵ متر مکعب در ثانیه بوده است. در جدول شماره ۲ مشخصات گزینه‌های شبیه‌سازی به صورت خلاصه آمده است.

به منظور بررسی رفتار جریان در شرایط تغییر نیاز و تعیین دستورالعمل مناسب بهره‌برداری، گزینه‌های مختلفی از تغییرات نیاز کانال پایین دست و آبگیرهای کانال EIR1 در نظر گرفته شد و با استفاده از مدل هیدرودینامیک ICSS شبیه‌سازی آنها انجام گردید. گزینه‌های بررسی شده به طور کلی شامل افزایش و کاهش نیاز کانال پایین دست و

جدول شماره ۲- مشخصات گزینه‌های شبیه‌سازی

| شرایط ثانویه نیاز (متر مکعب در ثانیه) | | | | | | | | شرایط اولیه نیاز (متر مکعب در ثانیه) | | | | | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|-----------------------|---------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|-----------------------|---------------|-------|
| آبگیر ۱ | آبگیر ۲ | آبگیر ۳ | آبگیر ۴ | آبگیر ۵ | آبگیر ۶ | کانال پایین دست | کانال اصلی | آبگیر ۱ | آبگیر ۲ | آبگیر ۳ | آبگیر ۴ | آبگیر ۵ | آبگیر ۶ | کانال پایین دست | کانال اصلی | گزینه |
| - | - | - | - | - | - | ۱/۲ | ۱/۲ | - | - | - | - | - | - | ۱ | ۱ | ۱ |
| - | - | - | - | - | - | ۱/۲ | ۱/۲ | - | - | - | - | - | - | ۱/۵ | ۱/۵ | ۲ |
| - | - | - | - | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۸ | ۱/۲ | - | - | - | - | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۸ | ۱ | ۳ |
| - | - | - | - | ۰/۰۵ | ۰/۰۵ | ۱/۱ | ۱/۲ | - | - | - | - | ۰/۲ | ۰/۲ | ۱/۱ | ۱/۵ | ۴ |
| - | - | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۶ | ۱/۲ | - | - | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۶ | ۱ | ۵ |
| - | - | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۰۵ | ۰/۰۵ | ۰/۷ | ۱/۲ | - | - | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۷ | ۱/۵ | ۶ |
| ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۱/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۴ | ۱ | ۷ |
| ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۰۵ | ۰/۰۵ | ۰/۷ | ۱/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۷ | ۱/۵ | ۸ |

طول کانال تعیین کرد. سپس متناسب با نتایج به دست آمده در حالت اول عملیات مناسب تنظیم آب بندها و آبگیرها تعیین و این بار افزایش یا کاهش جریان ورودی به کانال همراه با عملیات تنظیم سازه‌ها شبیه‌سازی شد. بنابراین، هر یک از گزینه‌های ۳ تا ۸ در دو حالت فوق بررسی شده که در مجموع ۱۴ حالت شبیه‌سازی شده است. به منظور سهولت تشریح نتایج گزینه‌های مختلف و حالت‌های موردنظر، ۱۴ حالت به صورت جدول شماره ۳ کدگذاری شده‌اند.

گزینه‌های ۱ و ۲ صرفاً به منظور شبیه‌سازی جریان‌های غیرماندگار در حالت افزایش و کاهش نیاز کانال پایین دست در شرایطی در نظر گرفته شده است که آبگیرهای موجود در مسیر کانال بسته‌اند. در گزینه‌های ۳ تا ۸ برای تعیین دستورالعمل بهره‌برداری مناسب و زمانبندی اجرای عملیات در ابتدا افزایش یا کاهش جریان ورودی به کانال بدون آنکه هیچ‌گونه عملیات تنظیم سازه‌های آبگیر و آب بند اجرا شود در حالت تحویل ۶ ساعته آب شبیه‌سازی شد تا بتوان زمان حرکت امواج و احجام تلفات و کمبودها را بدون تأثیر تنظیم سازه‌ها در

جدول شماره ۳- کدگذاری حالت‌های مختلف

| کاهش دبی | | | | افزایش دبی | | | |
|----------|---------|---------|---------|------------|---------|---------|---------|
| گزینه ۸ | گزینه ۶ | گزینه ۴ | گزینه ۲ | گزینه ۷ | گزینه ۵ | گزینه ۳ | گزینه ۱ |
| O | N | O | N | O | N | O** | N* |
| ۱۴ | ۱۳ | ۱۰ | ۹ | ۶ | ۵ | ۲ | ۱ |

* بدون عملیات بهره‌برداری (Non Operation)،

** با عملیات بهره‌برداری (Operation) =

عوامل مهم در تهیه دستورالعمل بهره‌برداری تعیین دقیق زمان حرکت امواج از سراب کانال تا محل‌های بهره‌برداری یعنی آبگیرها است. بدین منظور، جهت تعیین زمان حرکت امواج مثبت و منفی ناشی از افزایش یا کاهش جریان به میزان ۲۰ درصد دو گزینه افزایش و کاهش نیاز کانال پایین دست (گزینه‌های ۱ و ۲) در نظر گرفته شده است. در جدول شماره ۴، زمان رسیدن امواج مثبت و منفی ایجاد شده در سراب کانال به هر یک از آب بندهای موجود در کانال ارائه شده است.

شاخص‌های ارزیابی عملکرد

به منظور تعیین عملکرد سیستم، از دو شاخص راندمان تحویل^۱ و کفایت تحویل^۲ استفاده شده است. راندمان تحویل، نسبت حجم آب مورد نیاز به حجم آب واقعی است و کفایت تحویل نسبت حجم آب واقعی به حجم آب مورد نیاز [۱۰]. مقدار ایده‌آل این شاخص‌ها برابر با ۱ است.

نتایج و بحث

جهت تهیه دستورالعمل مناسب بهره‌برداری باید نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی جریان با مدل هیدرودینامیک تحلیل شود. در این تحقیق، یکی از

جدول شماره ۴- زمان حرکت امواج مثبت و منفی ایجاد شده در کانال (ساعت)

| گزینه ۲ | گزینه ۱ | سازه آب‌بند |
|---------|---------|-------------|
| ۰/۸۷ | ۰/۸۲ | ۱ |
| ۱/۳۵ | ۱/۲۰ | ۲ |
| ۲/۷ | ۲/۵۰ | ۳ |

مراحل فوق به منظور کاهش مازاد یا کمبود دبی تحویلی به آبیگرهای مختلف جهت افزایش راندمان و کفایت تحویل آب به آبیگرهای مختلف در کلیه گزینه‌های بهره‌برداری از کانال اجرا شده‌اند. دستورالعمل بهره‌برداری از کانال EIR1 در گزینه‌های ۳ تا ۸ در جدول شماره ۵ ارائه شده است. به عنوان نمونه، مراحل شبیه‌سازی و تهیه دستورالعمل بهره‌برداری در گزینه ۵ به شرح زیر گزارش می‌شود:

شرایط اولیه در این گزینه ورود دبی ۱ متر مکعب در ثانیه در سراب کانال، بسته بودن آبیگرهای ۱ و ۲ و تحویل دبی ۰/۱ متر مکعب در ثانیه به آبیگرهای ۳، ۴، ۵ و ۶ است. جهت برقراری این شرایط، باید بازشدگی دریچه‌های آبیگر ۳، ۴، ۵ و ۶ به ترتیب برابر با ۰/۰۶۶، ۰/۲۳۳، ۰/۱۲۸ و ۰/۱۲۸ متر و ارتفاع سازه‌های آب‌بند ۲ و ۳ به ترتیب ۰/۱۵ و ۰/۱ متر باشد. سپس در نظر است نیاز آبیگرهای ۵ و ۶ از ۰/۱ متر مکعب در ثانیه به ۰/۲ متر مکعب در ثانیه افزایش داده شود. به منظور تأمین این تغییرات، باید دبی ورودی به کانال از ۱ متر مکعب در ثانیه به ۱/۲ متر مکعب در ثانیه افزایش داده شود. نمودار تغییرات دبی در محل آب‌بندها در طول زمان در اثر افزایش جریان در سراب کانال در حالتی که هیچگونه عکس‌العمل بهره‌برداری صورت نگرفته است در شکل شماره ۲ نشان داده شده است.

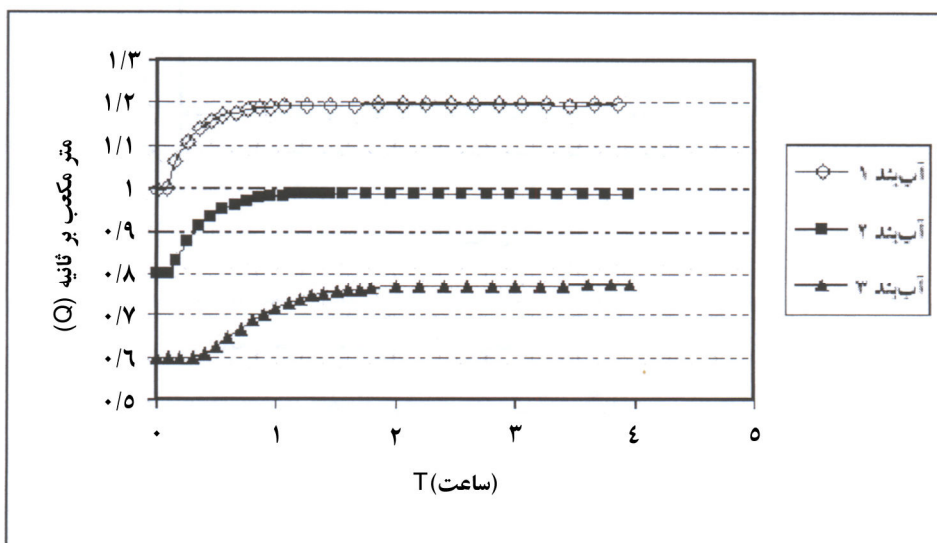
با توجه به نتایج ارائه شده در جدول فوق مشخص می‌شود که سرعت حرکت امواج مثبت ایجاد شده در کانال بیشتر از امواج منفی است. به همین دلیل در هنگام کاهش نیاز کانال پایین دست، آبیگرهای موجود در کانال EIR1 مدت زمان بیشتری نسبت به حالت افزایشی تحت تأثیر امواج ایجاد شده قرار می‌گیرند که این باعث افزایش کمبود در این حالت است.

به منظور تهیه دستورالعمل مناسب بهره‌برداری در هر یک از گزینه‌های ۳ تا ۸ مراحل زیر صورت گرفته است:

- ایجاد شرایط اولیه آبیگری آبیگرهای مختلف در کانال با تنظیم ارتفاع سازه‌های آب‌بند و بازشدگی دریچه‌ها.
- افزایش یا کاهش دبی ورودی در سراب کانال به منظور تأمین تغییرات نیاز آبیگرهای ۵ و ۶ به میزان ۲۰ درصد.
- تعیین زمان حرکت امواج تولید شده در سراب کانال تا محل سازه‌ها و تعیین دبی و عمق در محل آنها بدون هرگونه تغییری در تنظیم سازه‌های موجود.
- افزایش یا کاهش دبی ورودی در سراب کانال و تنظیم سازه‌های آب‌بند و دریچه‌های آبیگر بر اساس زمان تعیین شده در مرحله قبل جهت تحویل دبی مورد نیاز.

جدول شماره ۵- دستور العمل تنظیم سازه‌ها در گزینه‌های شبیه‌سازی شده

| ارتفاع آب‌بند ۱ (متر) | بازشدگی دریچه آبگیر ۱ (متر) | ارتفاع آب‌بند ۲ (متر) | بازشدگی دریچه آبگیر ۲ (متر) | ارتفاع آب‌بند ۳ (متر) | بازشدگی دریچه آبگیر ۳ (متر) | ارتفاع آب‌بند ۴ (متر) | بازشدگی دریچه آبگیر ۴ (متر) | ارتفاع آب‌بند ۵ (متر) | بازشدگی دریچه آبگیر ۵ (متر) | ارتفاع آب‌بند ۶ (متر) | بازشدگی دریچه آبگیر ۶ (متر) | ارتفاع آب‌بند ۷ (متر) | بازشدگی دریچه آبگیر ۷ (متر) | ارتفاع آب‌بند ۸ (متر) | بازشدگی دریچه آبگیر ۸ (متر) | زمان (ساعت) | گزینه |
|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------|---------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۰ | گزینه ۳ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۲ | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۰ | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۲/۲۵ | گزینه ۴ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۰ | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۱ | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۲/۲ | گزینه ۵ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۰ | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۱/۵ | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۲/۲۱ | گزینه ۶ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۰ | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۰/۷۵ | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۱/۲ | گزینه ۷ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۲ | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۰ | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۰/۸۵ | گزینه ۸ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۱/۱۵ | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۲/۳ | |



شکل شماره ۲- نمودار تغییرات دبی نسبت به زمان در سازه‌های تنظیم ۲،۱ و ۳ در گزینه ۷

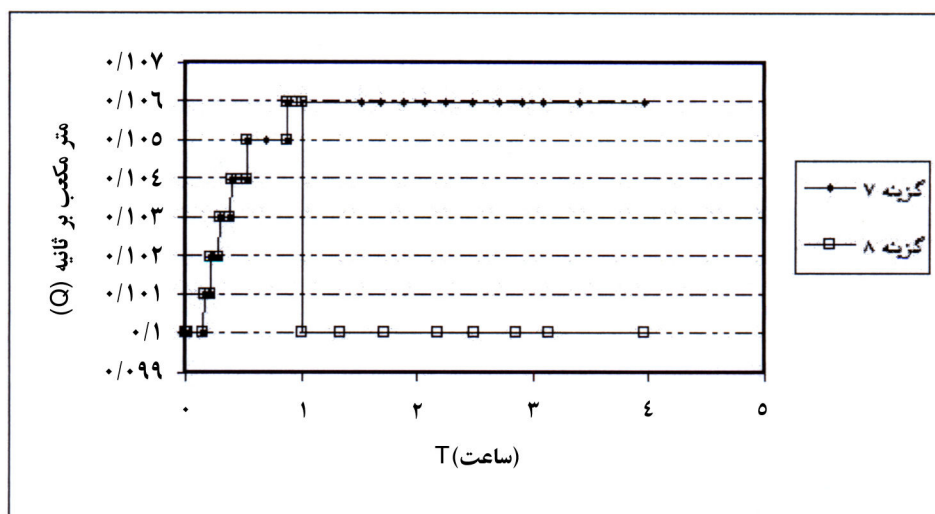
متر کاهش یافته است و بازشدگی در پیچه آبیگرهای ۳ و ۴ هر یک به ترتیب به میزان ۰/۰۰۳ و ۰/۰۱۶ متر کاهش داده شده است (جدول شماره ۵). بدین ترتیب دبی تحویلی به آبیگرهای ۳ و ۴ با اجرای این عملیات به مقدار مورد نیاز اولیه (۰/۱ متر مکعب در ثانیه) تثبیت شده است (شکل‌های شماره ۳ و ۴).

با رسیدن آثار کامل افزایش دبی به آب‌بند ۳، پس از گذشت ۲/۲ ساعت از افزایش دبی در سراب کانال، دبی آبیگرهای ۵ و ۶ نسبت به حالت اولیه افزایش می‌یابد ولی این افزایش به مقدار مورد نیاز ۰/۲ متر مکعب در ثانیه نیست. بلکه دبی این آبیگرها از ۰/۱ متر مکعب در ثانیه به ۰/۱۰۸ متر مکعب در ثانیه می‌رسد. برای تأمین آب مورد نیاز آبیگرهای ۵ و ۶، باید با تنظیم آبیگرها دبی مورد نیاز (۰/۲ متر مکعب در ثانیه) تحویل شود. برای این منظور پس

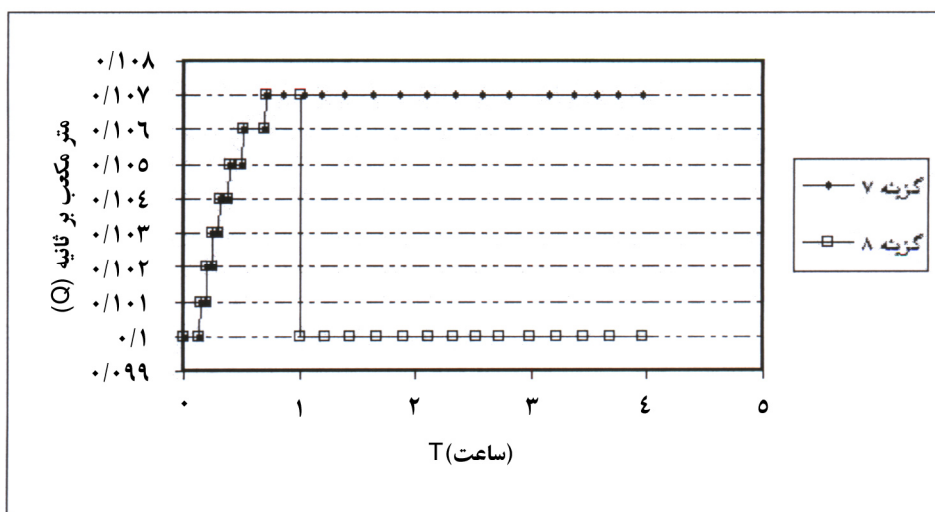
مدت زمانی که لازم است تا اثر افزایش دبی به طور کامل از سراب کانال به آب‌بند ۲ برسد، یک ساعت است. با رسیدن آثار افزایش دبی به آب‌بند ۲، دبی آبیگرهای ۳ و ۴ به تدریج از ۰/۱ متر مکعب در ثانیه تجاوز کرده و نهایتاً برای هر یک به ترتیب به ۰/۱۰۶ متر مکعب در ثانیه و ۰/۱۰۷ متر مکعب در ثانیه رسیده است. کل‌های شماره ۳ و ۴ به ترتیب تغییرات دبی ورودی به آبیگرهای ۳ و ۴ را در اثر افزایش دبی کانال نشان می‌دهند.

با توجه به هدف گزینه ۵ که فقط افزایش دبی آبیگرهای ۵ و ۶ هر یک به میزان ۰/۱ متر مکعب در ثانیه، است، افزایش مشاهده شده در دبی تحویلی به آبیگرهای ۳ و ۴ ناخواسته است و باید کنترل شود. به منظور کنترل دبی تحویلی به آبیگرهای ۳ و ۴ پس از گذشت یک ساعت از افزایش دبی در سراب کانال میزان ارتفاع آب‌بند ۲، به اندازه ۰/۱۵

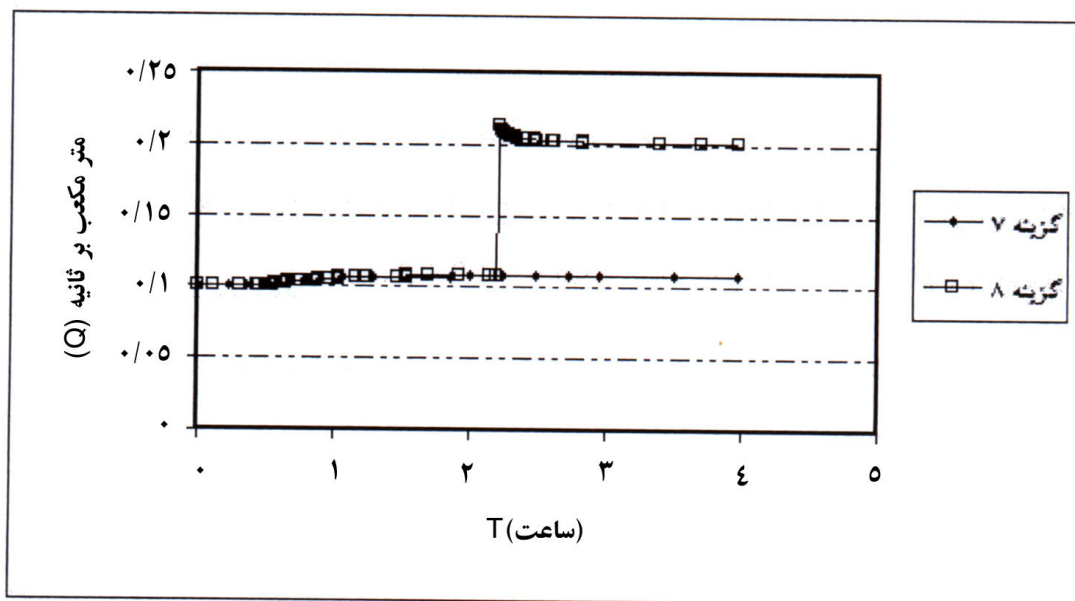
از اجرای عملیات بهره‌برداری در آب‌بند ۲ و کانال به آبیگرهای مورد نظر (آبیگرهای ۵ و ۶) هدایت شده و دبی هر یک به میزان ۰/۱ متر مکعب در ثانیه افزایش یافته است. نمودار تغییرات دبی دریاچه‌های ۵ و ۶ به میزان ۰/۱۵۲ متر افزایش داده شده است. بدین ترتیب دبی افزایش یافته در سراب



شکل شماره ۳- نمودار تغییرات دبی نسبت به زمان در آبیگر ۳ در گزینه‌های ۷ و ۸



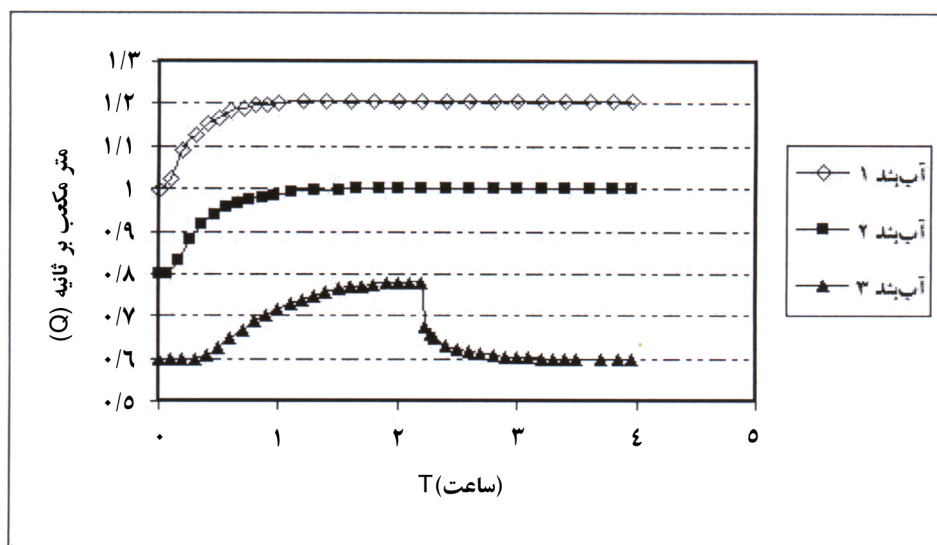
شکل شماره ۴- نمودار تغییرات دبی نسبت به زمان در آبیگر ۴ در گزینه‌های ۷ و ۸



شکل شماره ۵- نمودار تغییرات دبی نسبت به زمان در آبیگرهای ۵ و ۶ در گزینه‌های ۷ و ۸

جدول شماره ۶ ارائه شده است. مقادیر راندمان و کفایت‌های تحویل نشان می‌دهد که هر چه تعداد آبیگرهایی که همزمان آبیگری می‌کنند بیشتر باشد عملکرد تحویل آب آبیگرهای ۵ و ۶ پایین‌تر است. حداکثر بهبود راندمان و کفایت تحویل آب به میزان ۵ درصد و مربوط به گزینه‌های ۷ و ۸ است. حجم تلفات و کمبود آب تحویلی برای کل کانال نشان می‌دهد که با اجرای عملیات بهره‌برداری تعیین شده میزان تلفات و کمبود آب کاهش یافته است. حداکثر کاهش تلفات آب به میزان ۳۹۶۲ مترمکعب برای گزینه ۵ و حداکثر کاهش کمبود آب به میزان ۷۱۶۳ مترمکعب برای گزینه ۶ بوده است.

نمودار تغییرات دبی در محل آب‌بندها در طول زمان در حالتی که عملیات بهره‌برداری به دست آمده اجرا شده است نیز در شکل شماره ۶ نشان داده شده است. با مقایسه شکل‌های شماره ۲ و ۶ مشاهده می‌شود که ۲۰ درصد افزایش دبی در سراب کانال در گزینه ۷ عمدتاً به کانال پایین دست منتقل شده است در حالی که در گزینه ۸ با اجرای عملیات بهره‌برداری مناسب افزایش دبی به آبیگرهای مورد نظر (۵ و ۶) هدایت شده و دبی کانال پایین دست به ۰/۶ متر مکعب در ثانیه اولیه رسیده است. مقادیر راندمان و کفایت تحویل آب به آبیگرهای ۵ و ۶ و حجم تلفات یا کمبود بهره‌برداری در کل کانال برای گزینه‌های ۳ تا ۱۴ در



شکل شماره ۶- نمودار تغییرات دبی نسبت به زمان در سازه‌های تنظیم ۲، ۱ و ۳ در گزینه ۸

نتیجه‌گیری

اجرای عملیات بهره‌برداری تعیین شده حجم کمبود آب کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار کاهش به میزان ۷۱۶۳ متر مکعب مربوط به گزینه ۶ (حالات ۹ و ۱۰) است.

بررسی انجام شده برای نشان دادن چگونگی به دست آوردن عملیات بهره‌برداری و تاثیر اجرای عملیات بهره‌برداری تعیین شده در کاهش حجم تلفات و کمبودها بوده است. بنابراین، برای سادگی کار از قسمتی از یک کانال با تعدادی آبگیر محدود در شبیه‌سازی استفاده شده است. حال اگر کل کانال و آبگیرها در نظر گرفته شود، کاهش حجم تلفات و کمبودها بیشتر می‌شود و بهبود راندمان ملموس‌تر است.

نتایج مهم به دست آمده در این تحقیق را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

- با استفاده از مدل‌های هیدرودینامیک می‌توان دستورالعمل بهره‌برداری مناسبی را جهت کانال‌های آبیاری تعیین کرد. با اجرای عملیات بهره‌برداری تعیین شده، شاخص‌های راندمان و کفایت تحویل آب به آبگیرها بهبود می‌یابد.
- با اجرای عملیات بهره‌برداری تعیین شده، حجم تلفات آب در گزینه‌های افزایش دبی کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار کاهش به میزان ۳۹۶۲ متر مکعب مربوط به گزینه ۵ (حالات ۷ و ۸) است. همچنین در گزینه‌های کاهش دبی با

جدول شماره ۶- مقادیر شاخص‌های تحویل در آبیگرهای ۵ و ۶ و احجام تلفات و کمبودهای بهره‌برداری

| گزینه | حالت | راندمان تحویل در آبیگرهای ۵ و ۶ | کفایت تحویل در آبیگرهای ۵ و ۶ | حجم تلفات بهره‌برداری در کل کانال (متر مکعب) | حجم کمبود بهره‌برداری در کل کانال (متر مکعب) |
|-------|------|---------------------------------|-------------------------------|--|--|
| ۳ | ۳ | ۰/۹۳ | ۱ | ۴۱۳۸ | - |
| | ۴ | ۰/۹۵ | ۱ | ۸۲۷ | - |
| ۵ | ۷ | ۰/۹۲ | ۱ | ۴۸۹۵ | - |
| | ۸ | ۰/۹۴ | ۱ | ۹۳۳ | - |
| ۷ | ۱۱ | ۰/۹۰ | ۱ | ۳۸۶۱ | - |
| | ۱۲ | ۰/۹۵ | ۱ | ۶۱۳ | - |
| ۴ | ۵ | ۱ | ۰/۹۱ | - | ۷۳۸۶ |
| | ۶ | ۱ | ۰/۹۴ | - | ۱۵۴۰ |
| ۶ | ۹ | ۱ | ۰/۸۸ | - | ۸۸۹۰ |
| | ۱۰ | ۱ | ۰/۹۱ | - | ۱۷۲۷ |
| ۸ | ۱۳ | ۱ | ۰/۸۵ | - | ۶۵۱۰ |
| | ۱۴ | ۱ | ۰/۹۰ | - | ۱۱۸۳ |

مراجع

- 1- Akouz, K., Benhammou, A. and Malaterre, P. O. Predictive control of an irrigation channel. International workshop on regulation of irrigation canals. 22-24, April. 1997. Marrakech, 209-214.
- 2- Amein, M. 1968. An implicit method for numerical flood routing. J. of Water Res. Res. 4, 719-726.
- 3- Clemmens, A. J. and Wahlin, B. T. 2004. Simple optimal downstream feedback canal controllers: Theory. J. of irrig. and drain. Engi. 130, 26-34.
- 4- Kasbdooz, Sh., Monem, M. J. and Koochekzadeh, S. Using ICSS-POM Hydrodynamic Model to Determine the Optimal Water Distribution Option in Quri-Chay Irrigation Network. Proceeding of 9th Seminar of Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. 21 Nov. 1999. 13-21. (In Farsi)

- 5- Kuper, M., Litrico, X. and Habib, Z. Analyzing the impact of alternative operational rules on water distribution. International workshop on regulation of irrigation canals. 22-24 April, 1997. Marrakech. 171-181.
- 6- Malaterre, P. O. and Baume, J. P. Water saving in irrigation canals and rivers. International workshop on regulation of irrigation canals. 22-24 April. 1997. Marrakech. 100-119.
- 7- Manz, D. H. 1985. System analysis of irrigation conveyance system. ph. D. Thesis Civil Engineering. University of Alberta. Edmonton. Alberta. Canada.
- 8- Mishra, A., Anand, A., Singh, R. and Raghuwanshi, N. S. 2001. Hydraulic modeling of Kangsabati main canal for performance assessment. J. of Irrig. and Drain. Eng. 127, 27-34.
- 9- Mohseni Movahhed, A. and Monem M. J. 1992. Optimization of irrigation canals performance using SA method. Journal of Basic Sciences. Islamic Azad University. 44, 3565-3575.
- 10- Molden, D. J. and Gates, T. K. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation water delivery systems. J. of Irrig. and Drain. Eng. 116, 804-822.
- 11- Monem, M. J. and Schuurmans, W. Performance of canal delivery strategies and control system. International seminar on the application of mathematical modelling for the improvement of irrigation canal operation. 26-29 Oct. 1992. Montpellier. France. 307-315. (In Farsi)
- 12- Monem, M. J. Introduction of a Simulation model on irrigation networks and optimization of their performance. Proceeding of 8th Seminar of Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. 22-23 Oct. 1996. P 13-21. (In Farsi)
- 13- Monem, M. J. Evaluation of ICSS-POM mathematical model in of irrigation canals in practical situations. Proceeding of Second Iranian Hydraulic Conference. 16-18 Nov. 1999. 119-124. (In Farsi)
- 14- Monem, M. Evaluation of mathematical model (ICSS-POM) in real condition of irrigation canals. Proceeding of Second Iranian Hydraulic Conference. 16-18 Nov. 1999. 119-124. (In Farsi)

- 14- Schuurmans, W., Brouwer, R. and Wonink, P. 1992. Identification of control system for canal with night storage. J. of Irrig. and Drain. Eng. 118, 360-369.
- 15- Strelkoff, T. 1969. One dimensional equation of open channel flow. J. of Hydraulics Div. 7, 861-876.

**Investigation of Unsteady Flow in Irrigation Canals as a Response to Demand Variation in order to Provide Proper Operation Instructions
(Case Study: E1R1 Canal of Dez Irrigation Network)**

M. J. Monem, A. Emadi and H. Ghodoosi

Unsteady flow in irrigation canals causes complexity in water delivery, hydraulic performance reduction, miss matching of supply and demand which are a serious challenge in irrigation canal management. One of the sources of unsteady flow in irrigation canals is implementation of delivery schedules. In this situation when the requirements of turnouts are changed, it is necessary to adjust upstream inflow, gate opening and control structures. Operation instructions should be determined according to the hydraulic behavior, hence its adverse affects on water delivery are minimized. In this research, the ICSS hydrodynamic model was used to analyze unsteady flow due to demand variation in E1R1 canal of Dez irrigation network, and appropriate operation instruction was determined accordingly. For this purpose eight scenarios of increase and decrease of canal discharge to 20% due to opening or closure of turnouts were taken in to account and simulated using ICSS model. Based on the behavior of unsteady flow in irrigation canal and detemination of extra and deficite values of 6 hours water delivery to turnouts, operation instructions and proper tuning for control structures and turnouts were determined. The maximum water saved and maximum shortage decreaese due to proper operation instruction were about 3962 and 7163 cubic meter respectively. Therefore, with implementation of proper operation instruction, the performance of canal was improved.

Key words: Irrigation Canals, Operation Instruction, Unsteady Flows