مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۹/ شماره ۱/ بهار ۱۳۸۷/ص ۳۰-۱۵

ارائهٔ شاخص‌های تفکیکی ارزیابی عملکرد برای عوامل سازه‌ای و بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری

فرزاد پاسیار و محمد جواد منعم*

* به ترتیب کارشناس ارشد؛ و دانشیار دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، نشانی: تهران، ص. پ. ۴۸۳۸-۱۴۱۵۵، تلفن: ۴۴۱۹۴۹۱۱-۴ (۰۲۱)، پیام‌نگار: monem_mj@modares.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۸۵/۴/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۱۱/۶

چکیده

محدودیت‌های ارزیابی تفکیکی عملکرد شبکه‌های آبیاری در تعیین میزان اثربخشی عوامل سازه‌ای و بهره‌برداری، از مشکلات مهم ارزیابی در شبکه‌ها و ارائهٔ گزینه‌های بهبود آن به شمار می‌آیند. تحقیقات در زمینهٔ ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری، عوامل سازه‌ای و بهره‌برداری را عمدتاً به‌صورت توام در نظر گرفته و در پاره‌ای موارد که سعی در ارائهٔ شاخص‌ها به‌صورت تفکیکی کرده‌اند، شاخص‌های ارائه‌شده قادر به تفکیک تاثیرات دو عامل سازه‌ای و بهره‌برداری، به نحو مطلوبی نیستند. در این تحقیق، شاخص‌های ارزیابی عملکرد از دیدگاه عملیاتی و توزیع آب به گونه‌ای تعریف شده‌اند که قادرند تاثیر مسائل فیزیکی را از مسائل بهره‌برداری جدا و سهم هر یک از این بخش‌ها را در عملکرد کل تعیین کنند. با توجه به اهداف عملیات بهره‌برداری در کانال‌های آبیاری و تاثیرات متقابل سازه‌ای و بهره‌برداری بر آن، شاخص‌های ارزیابی برحسب عمق جریان، دبی جریان برنامه‌ریزی‌شده یا مورد توافق، و تغییرات زمانی و مکانی آنها به تفکیک عوامل موثر سازه‌ای و بهره‌برداری تدوین شده‌اند. با توجه به اهمیت زمان‌بندی اجرای عملیات بهره‌برداری و میزان انعطاف‌پذیری شبکه در پاسخگویی به نیاز مشترکان، شاخص‌هایی برای این دو مقوله نیز تعریف شده‌اند. سپس یک برنامهٔ بهره‌برداری برای کانال E1R1 شبکهٔ دز، با استفاده از شاخص‌های ارائه‌شده با روش شبیه‌سازی با مدل ریاضی ICSS، ارزیابی شده‌است. پس از ارزیابی عملکرد کانال، توسط شاخص‌های تفکیک‌شدهٔ سازه‌ای و بهره‌برداری، راهکار بهبود نیز شبیه‌سازی‌شده نتایج آن، میزان اثربخشی گزینهٔ اصلاحی را در شاخص‌های تفکیکی نشان داده‌است. نتایج آزمون مورد نظر نشان داد که شاخص کمبود عمق کل کانال، سازه‌ای و بهره‌برداری به ترتیب ۷۸، ۹۰، و ۸٦ درصد بوده است. شاخص کفایت بهره‌برداری ۹۰ و کفایت سازه‌ای ۹٤ درصد بوده است که موجب شده شاخص کفایت کل کانال ۹٦ درصد به‌دست آید. با اجرای گزینهٔ اصلاحی شاخص‌های کمبود عمق بهره‌برداری، سازه‌ای، و کل به ترتیب حدود ۱۲، ٦، و ۱۸ درصد و شاخص‌های کفایت بهره‌برداری، سازه‌ای، و کل به ترتیب حدود ۹، ٤، و ۱۳ درصد بهبود می‌یابند. نتایج بیانگر آن است که شاخص‌های پیشنهادی می‌توانند ابزاری مناسب در ارزیابی تفکیکی عملکرد کانال‌های آبیاری و تعیین اولویت گزینه‌های بهبود فیزیکی و بهره‌برداری در شبکه باشند.

واژه‌های کلیدی

شاخص‌های ارزیابی، شاخص‌های بهره‌برداری، شاخص‌های سازه‌ای، کانال‌های آبیاری، مدل هیدرودینامیک

مقدمه

اهمیت آبیاری در تامین غذای جمعیت روز افزون کره زمین دائما در حال افزایش است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که اکثر شبکه‌های آبیاری و زهکشی عملکرد مطلوب ندارند و به اهداف تعیین‌شدهٔ خود دست نیافته‌اند (Mishra, 2001). در بعضی موارد، عملکرد نامطلوب این

گونه شبکه‌های آبیاری و زهکش‌ها موجبات نارضایتی آب‌بران و حتی تخریب اراضی کشاورزی را در اثر ماندابی یا شورشدن به‌همراه داشته است. لذا مراکز تحقیقاتی بر آن شده‌اند تا علل این ضعف‌ها را دریابند و راه‌حلی برای بهبود شرایط آنها پیشنهاد کنند (Ghaheri, 2004).

عملکرد شبکه‌های آبیاری به عوامل متعددی بستگی دارد. برای بهبود کارایی شبکه، تاثیر هر یک از عوامل باید به‌طور مجزا ارزیابی و نقاط ضعف و قوت و میزان اثرگذاری آنها بر عملکرد شناسایی شود و در جهت اصلاح مسائل موجود، گام‌های لازم برداشته شود. دو عامل، یکی شرایط سازه‌ای (مشخصات فیزیکی) و دیگری نحوهٔ بهره‌برداری، بیشترین تاثیر را در عملکرد شبکه دارند (Mishra, 2001). برای ارتقای عملکرد شبکه باید سهم هر یک از این بخش‌ها در عملکرد شبکه مشخص و با براورد اقتصادی در مورد اصلاح یک یا هر دو بخش، تصمیم‌گیری شود.

شاخص‌های ارزیابی عملکرد ارائه‌شده در گذشته، شبکه‌های آبیاری را از دو دیدگاه خروجی و عملیاتی ارزیابی کرده‌اند. شاخص‌های خروجی بیان‌کننده عملکرد کلی و درازمدت پروژه آبیاری در یک فصل زراعی یا دورهٔ طولانی‌تری هستند. این شاخص‌ها فقط ورودی‌ها و خروجی‌های شبکه را مد نظر قرار داده‌اند و بدون توجه به فرایندهای عملیاتی و اجزای داخلی آن به ارزیابی خروجی‌های شبکه مبادرت کرده‌اند (Sakthiadivel, 1999).

در دیدگاه عملیاتی، شبکه از نظر فرایندهای عملیات بهره‌برداری ارزیابی می‌شود. این شاخص‌ها به تحلیل عملیات انتقال و توزیع آب در طول کانال‌ها می‌پردازند. عمده‌ترین شاخص‌های عملیاتی که تاکنون مطرح و به طور گسترده استفاده شده‌اند در چهار گروه: راندمان[1]، کفایت[2]، عدالت[3]، و پایداری[4] طبقه‌بندی می‌شوند (Monem, 2002).

راندمان تا سال‌های متمادی تنها شاخص ارزیابی عملکرد بود و سعی می‌شد که تمامی ویژگی‌های عملکرد را به نوعی به آن مرتبط کنند (Bos, 1974; Wolter, 1992). کمیتهٔ بین‌المللی آبیاری و زهکشی بر اساس تحقیقات "باس"، تعاریف استاندارد راندمان را ارائه داد (Anon, 1978). با توجه به گسترش دیدگاه‌ها در مورد ارزیابی عملکرد، به تدریج مشخص شد که راندمان به تنهایی نمی‌تواند منعکس‌کنندهٔ کامل وضعیت عملکرد پروژه‌های آبیاری باشد. کفایت، بیشتر به صورت نسبت آب توزیع‌شده به آب مورد نیاز بیان می‌شود و نشان‌دهندهٔ میزان آب تامین‌شدهٔ در مقابل آب واقعی مورد نیاز کشاورز است. با توجه به اهمیت تکافوی آب تحویلی به مصرف‌کننده، به‌خصوص در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند، محققان سعی در ارائهٔ شاخص‌های کمّی کفایت نموده‌اند. لواین (Levine, 1982)، لنتون (Lenton,1982)، شارما و همکاران (Sharma *et al.*, 1991)، و اونال و همکاران (Unal *et al.*, 2004) شاخص‌های کفایت را تعریف کردند. عدالت منعکس‌کنندهٔ یکنواختی مکانی توزیع آب متناسب با نیاز است که محققانی مانند لنتون (Lenton, 1982) و مولدن و گیتز (Molden & Gates, 1990) با شاخص‌های مختلفی بیان کرداند. پایداری نیز نشان‌دهندهٔ یکنواختی زمانی توزیع آب به آبگیرهاست که محققانی از جمله کلمنز و همکاران (Clemmens *et al.*, 1984)، پالمر و همکاران (Palmer *et al.*,1987)، و مولدن و گیتز (Molden & Gates, 1990) شاخص‌هایی برای بیان آن ارائه کردند.

در گذشته شاخص‌های ارائه‌شده بیشتر به صورت کلی

1- Efficiency 2- Adequacy 3- Equity 4- Stability

شبکه را مورد ارزیابی قرار داده‌اند و به مسئلهٔ تفکیک میزان تاثیر عوامل بهره‌برداری و سازه‌ای بر عملکرد کمتر توجه کرده‌اند. در تحقیقات مختلف مجموعه‌ای از شاخص‌ها از دیدگاه‌های متفاوت از جمله فنی و مدیریتی تعریف و دسته‌بندی شده‌اند (Ghaheri *et al*., 2005, Ghaheri, 2007)، اما اغلب شاخص‌های تعریف‌شده در هر یک از دیدگاه‌های فنی و مدیریتی خود نیز تابع عوامل فیزیکی و بهره‌برداری هستند و سهم هر یک از این عوامل در مقدار شاخص تعیین نشده است. بیان کلی راندمان، کفایت، عدالت، و پایداری بدون مشخص‌کردن نقش عوامل مؤثر بر هر یک، اعم از مسائل سازه‌ای یا بهره‌برداری، تعیین راهکارهای بهبود مناسب را با محدودیت مواجه می‌کند.

تحقیقات معدود که برای ارائهٔ شاخص‌های تفکیکی عملکرد چندان موفق نبوده‌اند. در شاخص‌های ارزیابی عملکرد که به صورت تفکیکی ارائه‌شده، ابهامات و اشکالاتی وجود دارد که استفادهٔ عملی از این شاخص‌ها را در ارزیابی تفکیکی شبکه میسر نمی‌کند. به‌طور مثال، به شاخص‌های ارائه‌شده توسط مانز (Manz, 1984)، شورمانز (Schuurmans, 1989) و مولدن و گیتز (Molden & Gates, 1990) می‌توان اشاره کرد. برای تفکیک اثر عوامل بهره‌برداری و سازه‌ای مانز (Manz, 1984) از پارامتر حداقل تلفات در شرایط بهره‌برداری ایده‌آل و مولدن و گیتز (Molden & Gates, 1990) از پارامتر دبی قابل تحویل در شرایط بهره‌برداری ایده‌آل استفاده کردند. در تعاریف ایشان شرایط بهره‌برداری ایده‌آل مبهم است و نمی‌توان آن را به راحتی تعیین کرد. شورمانز (Schuurmans, 1989) با بیان حدود دبی موثر تحویل سعی در تعریف شاخص‌های بهره‌برداری کرد که تعیین حدود دبی موثر تحویلی به آسانی مقدور نیست.

برای رفع برخی از این محدودیت‌ها و تفکیک میزان تاثیر شرایط سازه‌ای و بهره‌برداری بر عملکرد، در این تحقیق شاخص‌های ارزیابی عملکرد در چهار گروه عمق، دبی، زمان، و انعطاف‌پذیری به صورت تفکیکی تعریف شده‌اند. برای نشان دادن کارایی شاخص‌های ارائه‌شده، یک برنامهٔ بهره‌برداری روی کانال E1R1 شبکهٔ دز، با استفاده از مدل هیدرودینامیک ICSS مورد آزمون قرار گرفته است و برای ارتقای شرایط بهره‌برداری و سازه‌ای راهکارهای بهبود ارائه‌شده شبیه‌سازی و ارزیابی شده‌اند. بدین ترتیب میزان تاثیر راهکارهای بهبود عملکرد شبکه به‌صورت تفکیکی بر حسب شرایط سازه‌ای و بهره‌برداری محاسبه شده‌است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، شاخص‌های کاربردی با توجه به فرایندهای توزیع آب در شبکه، بررسی وظایف میراب‌ها، و عملکردهای مطلوب در کانال‌های آبیاری به صورت تفکیکی تعریف شده‌اند. در تعریف شاخص‌ها تلاش شده است که کلیهٔ موارد تاثیرگذار به صورت تفکیکی در نظر گرفته شوند. در این مقاله، شاخص‌های مربوط به عمق جریان، دبی تحویلی، زمان‌بندی تحویل، و انعطاف‌پذیری ارائه‌شده‌اند. برای هر یک از شاخص‌های تعریف‌شده، عوامل مربوط و نحوهٔ تفکیک شرایط سازه‌ای و بهره‌برداری توضیح داده شده است.

شاخص‌های عمق

عملکرد مطلوب کانال‌های آبیاری در شرایطی حاصل

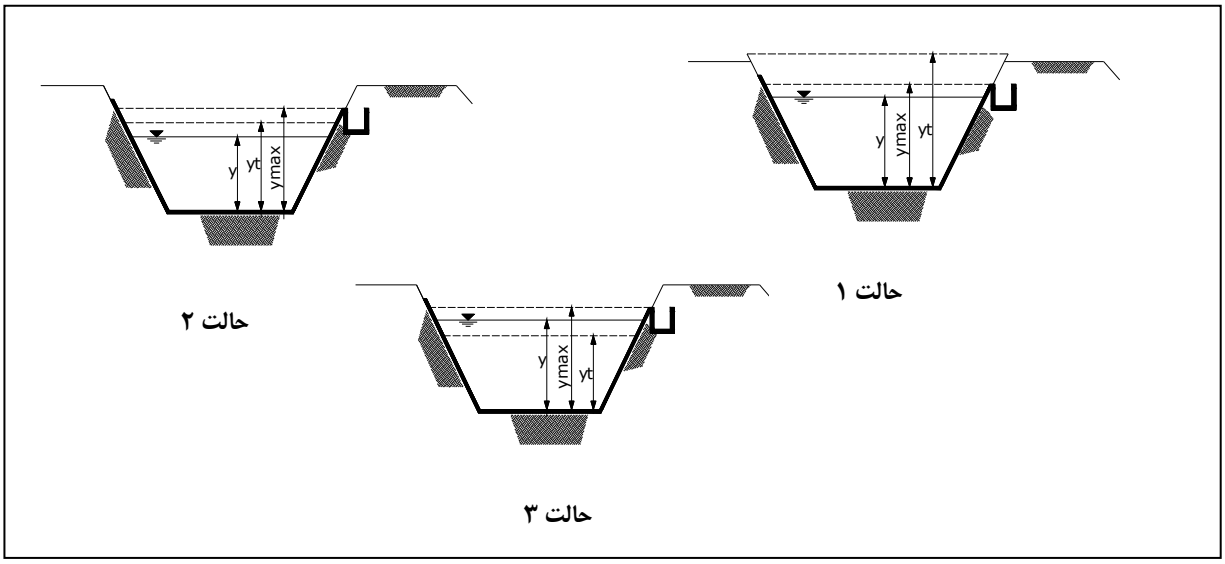
می‌شود که عمق آب در محل‌های مورد نظر برابر با عمق هدف تنظیم شود. از مهمترین وظایف شبکه و عملیات بهره‌برداری، تنظیم عمق جریان منطبق با عمق هدف است. یکی از عوامل ضعف عملکرد در کانال‌های آبیاری کمبود یا مازاد عمق آب در کانال نسبت به عمق هدف است. عوامل کمبود یا مازاد عمق در کانال‌ها شرایط سازه‌ای یا بهره‌برداری به صورت منفرد و یا ترکیبی هستند. برخی محدودیت‌های فیزیکی و سازه‌ای در کانال‌ها موجب ایجاد کمبود یا مازاد عمق می‌شوند. این محدودیت‌ها در شرایطی مانند کم‌بودن عمق واقعی کانال از عمق طراحی در اثر اجرا نشدن صحیح رقوم کف کانال یا شیب آن، اجرا نشدن صحیح ظرفیت سازه‌های تنظیم عمق، اجرا نشدن صحیح رقوم تاج سرریزهای اضطراری جانبی ایجاد می‌شوند. در چنین شرایطی با تجربه‌ترین ماموران بهره‌برداری نیز قادر به تنظیم مناسب ارتفاع آب در کانال‌ها نخواهند بود و ضعف عملکرد صرفاً ناشی از شرایط سازه‌ای است. اگر چنین محدودیت‌هایی وجود نداشته باشد ممکن است کمبود یا مازاد عمق در اثر تنظیم نبودن مناسب سازه‌ها ایجاد شود. در این شرایط، ضعف عملکرد متوجه چگونگی بهره‌برداری است. در اغلب شرایط محدودیت‌های سازه‌ای و بهره‌برداری به صورت توام موجب کمبود یا مازاد عمق می‌شوند که لازم است سهم هر یک از عوامل مشخص گردد.

عوامل استفاده‌شده در ارائهٔ شاخص‌های عمق عبارت‌اند از:

y_t= عمق هدف[1]، عمقی است که میراب با تنظیم سازه‌های تنظیم آب در کانال موظف است به آن دست یابد؛

y_{max}= حداکثر عمق آب قابل تنظیم در کانال که به دلیل شرایط فیزیکی و سازه‌ای موجود، دستیابی به عمقی بیشتر از آن امکان‌پذیر نیست؛ و

y= عمق واقعی آب در کانال که پس از تنظیم سازه‌ها ایجاد شده‌است.



شکل ۱- حالت‌های متفاوت عمق آب

1- Target Depth

شاخص‌های مربوط به عمق آب در کانال در شرایط مختلف متفاوت است. در حالت یک و دو (شکل ۱)، عمق واقعی آب (y) کمتر از عمق هدف (y_t) است. بنابراین نسبت به شرایط بهره‌برداری ایده‌آل، کمبود عمق وجود دارد. شاخص کمبود عمق کل (TDD) طبق رابطهٔ ۱ محاسبه می‌شود. در حالت یک، عمق هدف از حداکثر عمق قابل تنظیم بیشتر است. در این حالت شاخص کمبود عمق سازه‌ای (SDD) به‌صورت رابطهٔ ۲ و شاخص کمبود عمق بهره‌برداری (ODD) به صورت رابطهٔ ۳ قابل محاسبه خواهد بود. رابطهٔ ۲ محدودیت فیزیکی و رابطهٔ ۳ محدودیت بهره‌برداری در کمبود عمق را منعکس می‌کند.

$$TDD = \left(1 - \frac{y_t - y}{y_t}\right) \times 100 \qquad (۱)$$

$$SDD = \left(1 - \frac{y_t - y_{\max}}{y_t}\right) \times 100 \qquad (۲)$$

$$ODD = \left(1 - \frac{y_{\max} - y}{y_{\max}}\right) \times 100 \qquad (۳)$$

در حالت دو (شکل ۱)، عمق هدف کمتر از عمق حداکثر است و برای تنظیم عمق هدف از جنبهٔ سازهٔ کانال محدودیتی وجود ندارد. در این حالت شاخص کمبود عمق کل طبق رابطهٔ ۱ و شاخص کمبود عمق بهره‌برداری برابر با شاخص کمبود عمق کل است یعنی (ODD=TDD). از آنجا که هیچ‌گونه محدودیت سازه‌ای در دستیابی به عمق هدف وجود ندارد، شاخص کمبود عمق سازه‌ای (SDD) ۱۰۰ درصد است.

در حالت سوم (شکل ۱)، عمق واقعی آب (y) بیشتر از عمق هدف (y_t) است و مازاد عمق وجود دارد. در این حالت شاخص مازاد عمق کل (TDS) از رابطهٔ ۴ محاسبه می‌شود. چنانچه سازهٔ آب‌بند قابل بهره‌برداری باشد و بتواند عمق آب را در عمق هدف تنظیم کند مازاد عمق کل موجود ناشی از محدودیت سازه‌ای نخواهد بود و تماماً از عملکرد بهره‌برداری سرچشمه می‌گیرد. لذا شاخص مازاد عمق سازه‌ای (SDS) ۱۰۰ درصد و شاخص مازاد عمق بهره‌برداری (ODS) برابر با مازاد عمق کل خواهد بود (ODS=TDS). اما اگر سازهٔ آب‌بند قابل بهره‌برداری نباشد و امکان تنظیم عمق آب هم وجود نداشته باشد (مانند سازه‌های آب‌بند ثابت)، مازاد عمق کل موجود تماماً ناشی از محدودیت سازه‌ای است. لذا شاخص مازاد عمق بهره‌برداری ۱۰۰ درصد و شاخص مازاد عمق سازه‌ای برابر با شاخص مازاد عمق کل خواهد بود (SDS=TDS).

$$TDS = \left(1 - \frac{y - y_t}{y_t}\right) \times 100 \qquad (۴)$$

شاخص‌های دبی تحویلی

هدف از عملیات بهره‌برداری در کانال‌های درجه ۱ و ۲، تحویل دبی و حجم آب مورد نیاز به آبگیر واحد درجه ۳ یا کانال پایین‌دست است. مناسب‌ترین حالت ممکن در تحویل دبی، در یک شبکهٔ آبیاری و کانال‌های مربوط، تحویل آب کافی با حداقل تلفات و به صورت پایدار و عادلانه است. تنظیم عمق و ثابت نگه‌داشتن آن در عمق هدف، عمدتاً برای نیل به این مقصود است. اما همواره عواملی وجود دارند که دستیابی به این هدف را مشکل و گاهی ناممکن می‌سازند. شاخص‌های تعریف‌شده در این بخش، علاوه بر آنکه معیاری برای ارزیابی عملکرد کل دبی تحویلی در اختیار قرار می‌دهند، عوامل سازه‌ای و بهره‌برداری تاثیرگذار در این مقوله را از هم جدا می‌کنند و

سهم هریک را در عملکرد نشان می‌دهند. عوامل به‌کار رفته در شاخص‌های مربوط به دبی عبارت‌اند از:

Q_i= دبی توافق‌شده بین میراب و واحد درجه سه یا کانال پایین‌دست جهت تحویل در محدودهٔ زمانی مورد توافق؛

Q_D= دبی واقعی تحویل‌شده به آبگیر در محدودهٔ زمانی مورد توافق؛

Q_{dmax}= حداکثر دبی قابل تحویل، در عمق هدف قابل تنظیم توسط سازه، با بازشدگی آبگیر در عمق هدف؛

Q_{dmin}= حداقل دبی قابل تنظیم که جوابگوی نیاز آبگیر باشد؛ و

Q_{dmin}= در سازه‌های خاصی مانند آبگیرهای نیرپیک تعریف می‌شود. در اینگونه سازه‌ها به دلیل گسسته‌بودن فواصل تنظیم دبی، در برخی شرایط مجبور به تحویل دبی بیشتری به آبگیر هستند تا کفایت مربوط به آبگیر تامین شود. Q_{dmin}، کمترین دبی ممکن جهت تامین دبی درخواستی است.

صرف نظر از تفاوت تعریف دبی‌ها، تعریف شاخص‌های کفایت و راندمان تحویل مشابه با تعریف مولدن و گیتس صورت گرفته است (Molden & Gates, 1990).

شاخص کفایت تحویل کل، سازه‌ای و بهره‌برداری با توجه به تعاریف عوامل مربوط، به صورت روابط ۵، ۶، و ۷ تعریف شده‌اند. R تعداد آبگیرها در امتداد کانال وT محدودهٔ زمانی تحویل آب است.

$$P_A = \frac{1}{T}\sum_T\left(\frac{1}{R}\sum_R P_A\right)\quad p_A = \frac{Q_D}{Q_i}\quad \text{for}\quad Q_D \le Q_i \qquad (۵)$$

$$p_A = 1\ \text{otherwise}$$

$$P_{AS} = \frac{1}{T}\sum_T\left(\frac{1}{R}\sum_R P_{AS}\right)\quad p_{AS} = \frac{Q_{d\max}}{Q_i}\quad \text{for}\quad Q_{d\max} \le Q_i \qquad (۶)$$

$$p_{AS} = 1\ \text{otherwise}$$

$$P_{AO} = \frac{1}{T}\sum_T\left(\frac{1}{R}\sum_R P_{AO}\right)\quad p_{AO} = \frac{Q_D}{Q_{d\max}}\quad \text{for}\quad Q_D \le Q_{d\max} \qquad (۷)$$

$$p_{AO} = 1\ \text{otherwise}$$

شاخص راندمان تحویل آب، نشان‌دهندهٔ مقدار آب اضافی تحویل‌داده شده به آبگیر است. اضافه دبی تحویلی به آبگیر در شبکه به عنوان تلفات محسوب و باعث کاهش راندمان شبکه می‌شود. کاهش راندمان کل همانند کفایت از دو مسئله نشئت می‌گیرد. قسمتی از تلفات کل به دلیل مسائل سازه‌ای و قسمت دیگر به مسائل بهره‌برداری مربوط می‌شود. جهت تفکیک و براورد میزان تاثیر هر یک از بخش‌ها، راندمان کل، سازه‌ای و بهره‌برداری طبق روابط ۸، ۹ و ۱۰ تعریف شده‌اند. در این تعریف‌ها، $\frac{1}{R}\sum_R$ نشانگر متوسط مکانی شاخص مربوط به آبگیرها و $\frac{1}{T}\sum_T$ نشانگر متوسط زمانی پارامتر مورد نظر در بازه‌های زمانی تحویل آب است.

$$P_F = \frac{1}{T}\sum_T\left(\frac{1}{R}\sum_R P_F\right) \quad p_F = \frac{Q_i}{Q_D} \quad \text{for} \quad Q_i \le Q_D \qquad (۸)$$
$$p_F = 1 \text{ otherwise}$$

$$P_{FS} = \frac{1}{T}\sum_T\left(\frac{1}{R}\sum_R P_{FS}\right) \quad p_{FS} = \frac{Q_i}{Q_{d\min}} \quad \text{for} \quad Q_i \le Q_{d\min} \qquad (۹)$$
$$p_{FS} = 1 \text{ otherwise}$$

$$P_{FO} = \frac{1}{T}\sum_T\left(\frac{1}{R}\sum_R P_{FO}\right) \quad p_{FO} = \frac{Q_{d\min}}{Q_D} \quad \text{for} \quad Q_{d\min} \le Q_D \qquad (۱۰)$$
$$p_{FO} = 1 \text{ otherwise}$$

شاخص پایداری و عدالت توزیع همانند شاخص‌هایی که مولدن و گیتز (Molden & Gates, 1990) تعریف کرده‌اند، به‌صورت ضریب تغییرات زمانی و مکانی کفایت تحویل آب محاسبه می‌شود. باید توجه کرد که با تغییراتی که در تعریف عوامل شاخص‌های کفایت ارائه‌شده، ماهیت شاخص‌ها و قابلیت تفکیک عملکرد سازه‌ای و بهره‌برداری آنها، در مقایسه با شاخص‌های مولدن و گیتز (Molden & Gates, 1990)، کاملاً متفاوت است که بالتبع شاخص‌های پایداری و عدالت نیز نسبت به شاخص‌های مولدن و گیتز (Molden & Gates, 1990) کاملاً متفاوت و متمایز هستند.

شاخص‌های زمان‌بندی تحویل

به طور معمول، در روش‌های تحویل گردشی و توافقی میراب وظیفه دارد دبی برنامه‌ریزی‌شده را طبق برنامه و در زمان مقرر به آبگیر تحویل دهد و در زمان برنامه‌ریزی‌شدهٔ مقرر آب را قطع کند تا آبگیرهای دیگر بتوانند آبگیری کنند. عدم تحویل و قطع به موقع آب تاثیرات منفی روی عملکرد شبکه می‌گذارد. باید توجه کرد که اصلی‌ترین عامل تاثیرگذار در زمان‌بندی تحویل، مسئلهٔ بهره‌برداری است و مسائل سازه‌ای تاثیر چندانی بر آنها ندارد، بنابراین کمبودهای موجود در شاخص‌های زمان تماماً ناشی از بهره‌برداری است. جهت بررسی عملکرد شبکه از نظر زمان‌بندی تحویل سه شاخص به‌صورت روابط ۱۱، ۱۲ و ۱۳ در این تحقیق ارائه‌شده است (Pasyar, 2005).

عوامل به کار برده شده در شاخص‌های مربوط به زمان عبارت‌اند از:

t_S= زمان واقعی شروع آبگیری؛ t_{Si}= زمان برنامه‌ریزی شده (یا توافق شده) برای شروع آبگیری؛ t_E= زمان واقعی اتمام آبگیری؛ و t_{Ei}= زمان برنامه‌ریزی‌شده (یا توافق‌شده) برای اتمام آبگیری.

$$DSI = \left[1 - \frac{|t_s - t_{si}|}{t_{Ei} - t_{si}}\right] \times 100 \qquad (۱۱)$$

DSI[1]= شاخص مطلوبیت زمان آغاز تحویل

1- Delivery Start Index

$$DEI = \left[1 - \frac{|t_E - t_{Ei}|}{t_{Ei} - t_{si}}\right] \times 100 \qquad (۱۲)$$

DEI[1]= شاخص مطلوبیت زمان اتمام تحویل

DDDI[2] = شاخص انحراف از مدت زمان برنامه‌ریزی شدهٔ تحویل

$$DDDI = \frac{t_E - t_s}{t_{Ei} - t_{si}} \times 100 \qquad (۱۳)$$

شاخص DSI، میزان انحراف زمان شروع آبگیری توسط میراب را از برنامهٔ توافق‌شده بین دریافت‌کننده و میراب نشان می‌دهد. شاخص DEI، نشان‌دهندهٔ میزان انحراف زمان آبگیری از زمان توافق‌شده برای اتمام است. و شاخص DDDI میزان انحراف مدت زمان تحویل آب را به آبگیر از مدت زمان برنامه‌ریزی‌شده برای تحویل آب نشان می‌دهد. مقدار مطلوب دو شاخص اول ۱۰۰ درصد است در حالی که شاخص سوم هرقدر به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهندهٔ انحراف کمتر نسبت به مدت برنامه‌ریزی‌شدهٔ تحویل آب است.

شاخص‌های انعطاف‌پذیری

انعطاف‌پذیری، به صورت توانایی توزیع آب در پوشش دادن به هرگونه تغییر مجاز در برنامهٔ از پیش تعیین‌شده، تعریف می‌شود. در این تحقیق، شاخص انعطاف‌پذیری در توزیع آب از دو دیدگاه تعریف شده است، یکی زمان تحویل آب به صورت رابطهٔ ۱۴ و دیگری دبی تحویلی به صورت روابط ۱۵، ۱۶، و ۱۷ (Pasyar, 2005). عوامل به کار رفته در شاخص‌های انعطاف‌پذیری عبارت‌اند از:

Q_p= دبی برنامه‌ریزی‌شدهٔ اولیه برای تحویل؛ Q_R= دبی درخواستی واحد درجه سه؛ t_p= زمان برنامه‌ریزی‌شدهٔ اولیه برای تحویل؛ t_R= زمان درخواستی واحد درجه سه؛ و t_s= زمان واقعی تحویل آب

انعطاف‌پذیری در زمان تحویل[3]

این شاخص نشان‌دهندهٔ میزان انعطاف‌پذیری در جابه‌جایی زمان آغاز آبگیری است. جابه‌جایی زمانی آغاز آبگیری به درخواست دریافت‌کننده و توافق میراب صورت می‌گیرد. این درخواست باید در محدودهٔ مجاز جابه‌جایی زمان آبگیری قرار داشته باشد. همانطور که قبلا نیز توضیح داده شد، زمان‌بندی توزیع آب به مسائل سازه‌ای ارتباطی ندارد و تماماً از مسائل بهره‌برداری ناشی می‌شود. مشابه این روابط را می‌توان برای زمان خاتمه و مدت زمان تحویل نیز به همین ترتیب تعریف کرد.

$$DPF = \frac{1}{T}\sum_T \frac{1}{R}\sum_R \left(\frac{|t_p - t_s|}{|t_p - t_R|} \times 100\right) \qquad (۱۴)$$

انعطاف‌پذیری کل در دبی تحویلی[4]

این شاخص نشان‌دهندهٔ کل انعطاف‌پذیری کانال (۱۶) در برابر تغییرات میزان درخواست آب از طرف دریافت‌کنندهٔ آب است.

$$DDF = \frac{1}{T}\sum_T \frac{1}{R}\sum_R \left(\frac{|Q_p - Q_D|}{|Q_p - Q_R|} \times 100\right) \qquad (۱۵)$$

شاخص انعطاف‌پذیری مربوط به دبی تحویلی، از دو عامل بهره‌برداری و سازه‌ای سیستم اثر می‌پذیرد. بدین ترتیب شاخص را می‌توان به دوجنبهٔ سازه‌ای (SDDF) و بهره‌برداری (ODDF) به صورت روابط ۱۶ و ۱۷ تفکیک کرد.

1- Delivery Duration Deviation Index
2- Delivery Duration Deviation Index
3- Delivery Period flexibility
4- Delivery Discharge Flexibility

$$SDDF = \frac{1}{T}\sum_{T}\frac{1}{R}\sum_{R}\left(\frac{\left|Q_p - Q_{d\max}\right|}{\left|Q_p - Q_R\right|}\times 100\right) \quad \text{for} \quad \left|Q_p - Q_{d\max}\right| < \left|Q_p - Q_R\right| \qquad (۱۶)$$

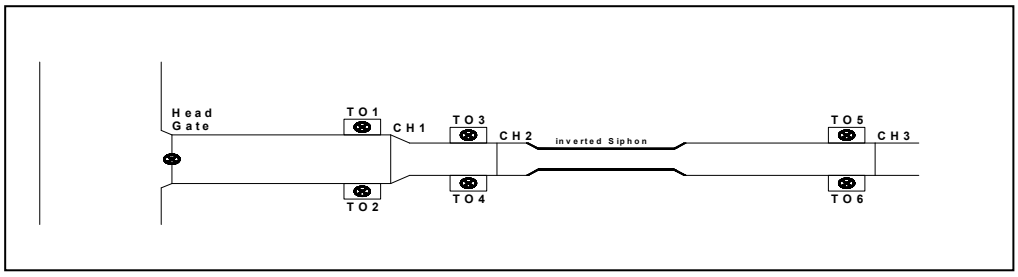
$$SDDF = 1 \quad \text{otherwise}$$

$$ODDF = \frac{1}{T}\sum_{T}\frac{1}{R}\sum_{R}\left(\frac{\left|Q_p - Q_D\right|}{\left|Q_p - Q_{d\max}\right|}\times 100\right) \quad \text{for} \quad \left|Q_p - Q_R\right| < \left|Q_p - Q_{d\max}\right| \qquad (۱۷)$$

$$ODDF = 1 \quad \text{otherwise}$$

معرفی کانال E1R1

شکل ۲، نمای کلی بخشی از کانال E1R1 از شبکهٔ آبیاری دز را به طول تقریبی ۲۷۰۰ متر نمایش می‌دهد. این کانال به‌وسیلهٔ مدل هیدرودینامیک ICSS[1] و به‌منظور ارزیابی برنامه‌های مختلف بهره‌برداری مدل شده است. مدل ICSS مدل هیدرودینامیک شبیه‌سازی جریان در کانال‌های آبیاری است که ضمن محاسبات جریان ماندگار و غیرماندگار امکان شبیه‌سازی انواع سازه‌ها و عملیات بهره‌برداری آنها را فراهم می‌کند (Monem & Manz,1994) . به منظور نمایش قابلیت شاخص‌های پیشنهادی، آبگیر پنج (TO6) به‌صورت دریچهٔ مستطیلی به عرض ۴۰ سانتی‌متر و آب‌بند سه (CH3) به‌صورت تیرک‌های آب‌بند[2] با ارتفاع تیرک‌های ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است.



شکل ۲- نمای کلی کانال E1R1

برنامهٔ تحویل آب و بهره‌برداری از کانال

در این مقاله، یک برنامهٔ تحویل آب تشریح می‌شود که با استفاده از شاخص‌های ارائه‌شده مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این برنامه نیاز پایین‌دست کانال ۰/۵ مترمکعب در ثانیه است و کلیهٔ آبگیرها در ابتدا بسته‌اند. دبی درخواستی آبگیر پنج در دو مرحله به‌صورت افزایشی و کاهشی تغییر می‌کند. ابتدا، رأس ساعت ۳ نیاز آب از دبی صفر به دبی ۰/۱ مترمکعب در ثانیه افزایش می‌یابد

1- Irrigation Conveyance System Simulation
2- Stop Log

و متعاقباً در ساعت ۶ دبی مورد نیاز به ۰/۳ مترمکعب در ثانیه می‌رسد. سپس، نیاز آبی در ساعت ۱۲ به ۰/۱ مترمکعب در ثانیه کاهش می‌یابد و در ساعت ۱۵ به صفر می‌رسد. در این مدت زمان، دبی درخواستی Q_R و توافق‌شده جهت تحویل Q_i و زمان‌های مربوطه یعنی زمان درخواستی t_R و توافق‌شده t_{si} برابر است که مقادیر آنها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- برنامه درخواستی و توافق‌شده آبگیر پنج

۱۵-۱۸	۱۲-۱۵	۶-۱۲	۳-۶	۰-۳	زمان درخواستی و توافق شده تحویل t_R و t_{Si} (ساعت)
۰	۰/۱	۰/۳	۰/۱	۰	دبی درخواستی و توافق شده تحویل Q_R و Q_i (مترمکعب در ثانیه)

به منظور نمایش قابلیت شاخص‌های انعطاف‌پذیری و آزمون محدودیت‌های سازه‌ای و بهره‌برداری به‌صورت تفکیکی در آن میزان دبی برنامه‌ریزی‌شده اولیه Q_p و زمان برنامه‌ریزی‌شده اولیه جهت تحویل t_p متفاوت از دبی درخواستی و توافق‌شده و زمان‌های مربوطه در نظر گرفته شده‌است. مقادیر Q_p و t_p در جدول ۲ ارائه‌شده است. این امر ممکن است به دلیل براورد اولیه نادرست زمان حرکت موج افزایشی و کاهشی جریان از سراب کانال تا محل آبگیر و خطا در براورد اولیهٔ دبی صورت گیرد.

جدول ۲- دبی و زمان برنامه‌ریزی‌شدهٔ اولیه آبگیر پنج

۱۵-۱۸	۱۲-۱۵	۸-۱۲	۵-۸	۰-۵	زمان برنامه‌ریزی شدهٔ اولیه
۰	۰/۰۵	۰/۲	۰/۰۵	۰	دبی درخواستی و توافق‌شده تحویل Q_R و Q_i (متر مکعب در ثانیه)

قابل ذکر است که عمق هدف در محل آبگیر ۳ برابر ۰/۷ متر است که برای این منظور ارتفاع آب‌بند باید در ۲۷ سانتی‌متر تنظیم شود. همچنین مدت زمان درخواست جریان ۰/۱ و ۰/۳ مترمکعب در ثانیه به ترتیب ۱۲ و ۶ ساعت است.

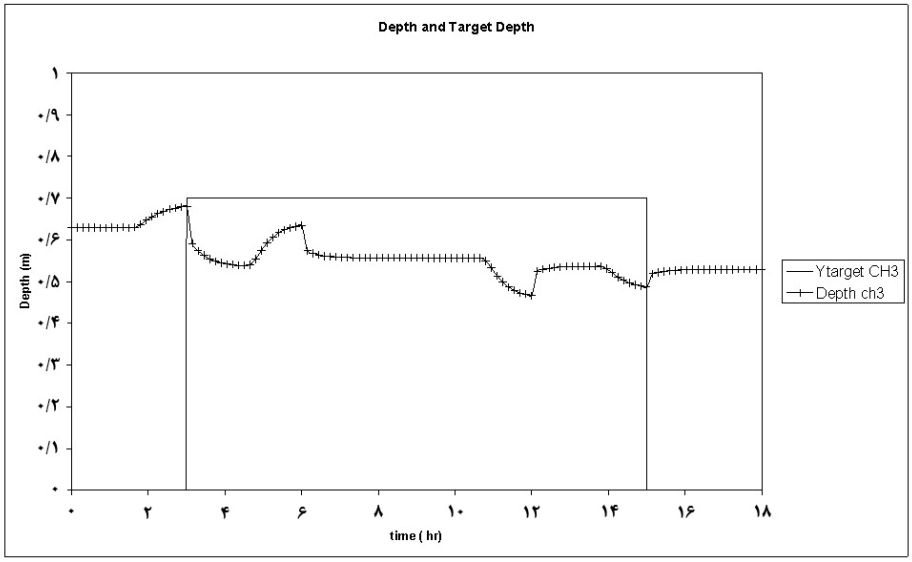
نتایج و بحث

مقدار شاخص‌های کمبود عمق کل، سازه‌ای، و بهره‌برداری به ترتیب ۷۸/۲۸، ۹۰/۸۶، و ۸۶/۱۶ درصد محاسبه شده‌است. همانطور که مشخص می‌شود، کمبودهای مربوط به عمق آب در تنظیم‌کنندهٔ سه، به صورت توأم از مسائل بهره‌برداری و محدودیت‌های سازه‌ای تاثیر پذیرفته‌است. محدودیت سازه‌ای موجود در این برنامهٔ بهره‌برداری به ارتفاع تیرک‌های آب‌بند مربوط می‌شود. تیرک‌های آب‌بند با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر، اجازهٔ تنظیم سازه را در ارتفاع ۲۷ سانتی‌متر نداده و امکان رساندن عمق آب را به ۰/۷ متر فراهم نکرده است. با شرایط موجود و با دبی ۰/۵ مترمکعب بر ثانیه که از روی سازهٔ آب‌بند خواهد گذشت، عمق آب حداکثر به ۰/۶۴ متر رسیده است. از طرفی، میراب نیز به دلیل خطای بهره‌برداری که در تنظیم آب‌بند مرتکب شده است ارتفاع سازه را در ۱۰ سانتی‌متر تنظیم کرده و به همین دلیل

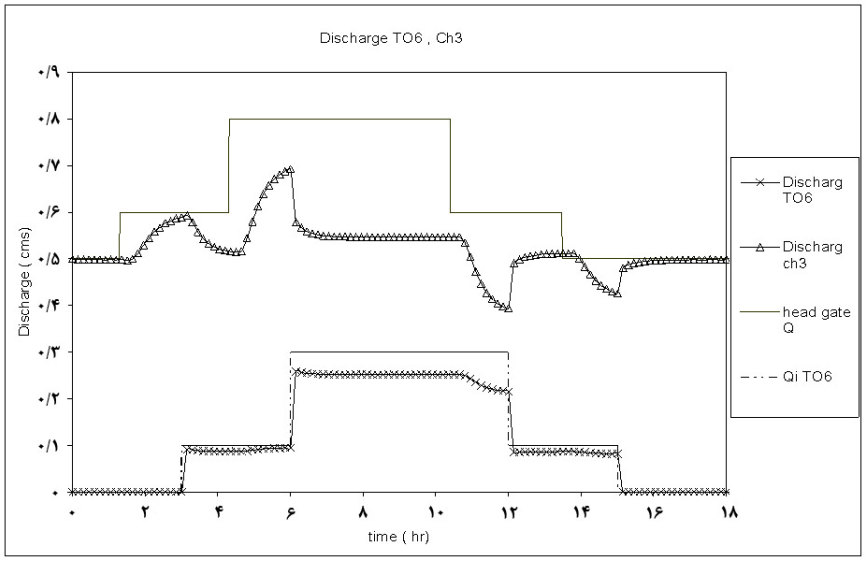
عمق آب، همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، کمتر از عمق هدف و حتی ماکزیمم عمق قابل تنظیم توسط سازه است. مقادیر محاسبه‌شده، نشان‌دهندهٔ ۹/۱۴ درصد کمبود عمق سازه‌ای و ۱۳/۸۴ درصد کمبود عمق بهره‌برداری است که مجموعاً باعث ایجاد کمبود عمق ۲۱/۷۲ درصد در کانال شده است. مقدار شاخص‌های مربوط به عمق در جدول ۳ آمده است. در این برنامه هیچگونه مازاد عمقی وجود ندارد و تمامی شاخص‌های مربوط به مازاد عمق ۱۰۰ درصد هستند.

دقت در جدول ۲ و شکل ۴ این مسئله را آشکار می‌کند که کفایت آبگیری به طور کامل تامین نشده است. کاهش کفایت تحویل بر اثر دو عامل است: بهره‌برداری نامناسب و محدودیت سازه‌ای، کمبود عمق به وجود آمده در اثر محدودیت سازه‌ای، باعث کاهش کفایت سازه‌ای آبگیر به ۹۴/۲۹ درصد شده است. از طرف دیگر، تنظیم‌نبودن درست آب‌بند به شکلی درست موجب ایجاد کفایت تحویل به ۹۰/۱۹ درصد شده است. بدین ترتیب کفایت کل تحویل آب به آبگیر پنج به ۸۵/۰۶ درصد رسیده است. دبی تحویلی به آبگیر نسبت به دبی توافقی مازاد نبوده است، لذا همان‌گونه که در جدول ۲ آمده است، راندمان تحویل آب به آبگیر ۱۰۰ درصد است و تلفاتی نداشته است.

با توجه به اینکه در این برنامه فقط یک آبگیر آبگیری می‌کند، شاخص عدالت تحویل مصداقی ندارد. شاخص پایداری کل که در جدول ۲ محاسبه شده، ۰/۰۵۵ است. شاخص‌های پایداری سازه‌ای و بهره‌برداری به ترتیب برابر ۰/۰۲۱ و ۰/۰۴۸ است. این مقادیر به صفر نزدیک هستند که نشان می‌دهند تغییرات دبی تحویلی در طول زمان کم و پایداری تحویل دبی به آبگیر شش، در هر دو بخش سازه‌ای و بهره‌برداری مناسب است، اگرچه شاخص پایداری سازه‌ای قدری بهتر از شاخص پایداری بهره‌برداری است.



شکل ۳- نمودار تغییرات عمق روی تنظیم‌کنندهٔ ۳



شکل ٤- نمودار تغییرات دبی تحویلی به آبگیر پنج و دبی عبوری از تنظیم‌کننده

جدول ۳- شاخص‌های عملکرد برنامهٔ تحویل آب آبگیر پنج (درصد)

شاخص			شرایط موجود	شرایط بهبود یافته	میزان بهبود
کمبود عمق (درصد)	کل	TDD	۷۸/۲۸	۹۶/۲۳	۱۷/۹۵
	سازه‌ای	SDD	۹۰/۸۶	۹۷/۲۹	۶/۴۳
	بهره‌برداری	ODD	۸۶/۱۶	۹۸/۳۹	۱۲/۲۳
کفایت (درصد)	کل	PA	۸۵/۰۶	۹۷/۶۸	۱۲/۶۲
	سازه‌ای	PAS	۹۴/۲۹	۹۸/۶۱	۴/۳۲
	بهره‌برداری	PAO	۹۰/۱۹	۹۸/۸۲	۸/۶۳
راندمان (درصد)	کل	PF	۱۰۰	۱۰۰	۰
	سازه‌ای	PFS	۱۰۰	۱۰۰	۰
	بهره‌برداری	PFO	۱۰۰	۱۰۰	۰
انعطاف‌پذیری (درصد)	کل	DDF	۶۱/۳۸	۹۳/۹۶	۳۲/۵۸
	سازه‌ای	SDDF	۸۵/۴۹	۹۶/۴۹	۱۱
	بهره‌برداری	ODDF	۷۱/۱۴	۹۶/۷۷	۲۵/۶۶
پایداری	کل	PD	۰/۰۵۵	۰/۰۳۲	۰/۰۲۳
	سازه‌ای	PDS	۰/۰۲۱	۰/۰۲۰	۰/۰۰۱
	بهره‌برداری	PDO	۰/۰۴۸	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴

شاخص مطلوبیت زمان آغاز و اتمام آبگیری، هم در مرحلهٔ اول و هم در مرحلهٔ دوم ۱۰۰ درصد به‌دست آمده است که نشان از تحویل و قطع به موقع آب دارند. همچنین، هیچ‌گونه انحرافی از مدت زمان برنامه‌ریزی‌شده، به‌منظور تحویل آب برای آبگیری مرحلهٔ اول و دوم محاسبه نشده است. بنابراین، میراب در زمان ارائهٔ خدمات مدیریت خوبی از خود نشان داده است.

میراب در مورد زمان درخواستی تحویل آب ۱۰۰ درصد انعطاف از خود نشان داده و آب را در همان زمان درخواستی از طرف آبگیر تحویل داده است. در مورد دبی مورد درخواست از طرف آبگیر، انعطاف‌پذیری کل به ۶۱/۳۸ درصد رسیده‌است. انعطاف‌پذیری دبی سازه‌ای در مورد آبگیر مذکور ۸۵/۴۹ درصد است که میراب با اجرای عملیات بهره‌برداری توانسته است ۷۱/۱۴ درصد انعطاف‌پذیری دبی بهره‌برداری را فراهم کند.

راهکارهای پیشنهادی برای بهبود عملکرد

با توجه به محدودیت‌های سازه‌ای و بهره‌برداری موجود، راهکارهای پیشنهادی برای بهبود عملکرد به صورت اصلاحات سازه‌ای و بهره‌برداری توصیه شد. در اصلاحات سازه‌ای با استفاده از تیرک‌های آب‌بند پنج سانتی‌متری به جای تیرک‌های ۱۰ سانتی‌متری، امکان تنظیم دقیق‌تر عمق آب در مراحل مختلف به وجود می‌آید. در اصلاحات بهره‌برداری خطای تنظیم سازهٔ آب‌بند اصلاح و با توجه به ارتفاع جدید تیرک‌های آب‌بند، ارتفاع تنظیم‌کننده در ۲۵ سانتی‌متر تنظیم شود.

اصلاحات سازه‌ای پیشنهادی در قالب اصلاح مدل ریاضی کانال E1R1 اعمال شد، اصلاحات پیشنهادی بهره‌برداری شبیه‌سازی و شاخص‌های ارزیابی محاسبه شد که در جدول ۳ ارائه‌شده‌اند. با این اصلاحات در سازه آب‌بند و نحوهٔ بهره‌برداری، شاخص کمبود عمق در تنظیم‌کنندهٔ سه با ۱۷/۹۵ درصد بهبود به ۹۶/۲۳ درصد افزایش یافته‌است. شاخص سازه‌ای کمبود عمق از ۹۰/۸۶ درصد به ۹۷/۲۹ درصد و شاخص بهره‌برداری از ۸۶/۱۶ درصد به ۹۸/۳۹ درصد افزایش یافته است. شکل ۳ نشان می‌دهد که عمق هیچ‌گاه از عمق هدف بیشتر نشده اما دبی عبوری قدری افزایش داشته است.

شاخص کفایت توزیع کل ۱۲/۶۲ درصد بهبود یافته‌است. میزان بهبود بخش سازه‌ای ۴/۳۲ درصد بوده و کفایت بهره‌برداری ۸/۶۳ درصد افزایش یافته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در مورد شاخص کفایت توزیع برنامهٔ مورد ارزیابی، پتانسیل اصلاحی بخش بهره‌برداری بیش از بخش سازه‌ای است. بدین ترتیب می‌توان اولویت اصلاح را به بخش بهره‌برداری داد.

با اصلاحات بهره‌برداری و سازه‌ای در برنامهٔ مذکور، شاخص پایداری از ۰/۰۵۵ به ۰/۰۳۲ کاهش یافته است. کاهش مقدار شاخص‌های پایداری نشان‌دهندهٔ بهبود وضعیت پایداری تحویل در کانال است. این روند بهبود عمدتاً ناشی از بهبود در شاخص پایداری بهره‌برداری است.

با بهبود شرایط سازه‌ای آبگیرها و تنظیم‌کننده‌ها، وضعیت شاخص‌های انعطاف‌پذیری دبی نیز بهبود یافته و انعطاف‌پذیری کل شبکه از ۷۱/۱۴ به ۹۳/۹۶ درصد، انعطاف‌پذیری سازه‌ای از ۸۵/۴۹ به ۹۶/۴۹ درصد و انعطاف‌پذیری بهره‌برداری از ۸۵/۴۹ به ۹۶/۷۷ درصد افزایش یافته است.

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده در مورد برنامهٔ بهره‌برداری تست شده، نشان از قابلیت بالای شاخص‌های تعریف‌شده در تفکیک و کمّی‌کردن تاثیرات سازه‌ای و بهره‌برداری دارد. شاخص‌های عمق، زمان، و انعطاف‌پذیری برای نخستین بار و به منظور ارزیابی عملکرد برنامهٔ بهره‌برداری کانال در کل و به‌صورت تفکیکی استفاده شده است. شاخص‌های کفایت و راندمان که در این تحقیق تعریف شده‌اند محدودیت شاخص‌های ارائه‌شدهٔ قبل را ندارند و به طور عملی می‌توانند در ارزیابی عملکرد کانال‌ها به کار بروند. پیشنهاد می‌شود شاخص‌های تعریف‌شده در ارزیابی عملکرد کانال‌های آبیاری بیشتری به کار برده شوند و از کاربردی‌بودن شاخص‌ها در تحلیل عملکرد کانال‌ها و بهبود وضعیت آنها در شرایط واقعی استفاده شود.

مراجع

Anon. 1978. Standards for the calculation of irrigation efficiencies. ICID Bulletin. 27(1): 91-101.

Bos, M. G. and Nugteren, J. 1974 (4th Edition 1990). On Irrigation Efficiencies. Publication 19. ILRI. Wageningen. The Netherlands.

Clemmens, A. J. and Dedrick, A. R. 1984. Irrigation water delivery performance. Am. Soc. Civil Eng. 110, 1-13.

Ghaheri, A., 2004. Performance evaluation of irrigation and drainage networks, recent trends and future perspectives. Proceedings of the 4th Technical Workshop on Performance Evaluation of Irrigation and Drainage Systems. Iranian National Committee of Irrigation and Drainage. No. 18. Tehran. Iran. (in Farsi)

Ghaheri, A., 2007. Expansion and development of PAIS and changing it to a computer program for management application. Research Report. Office of Research and Scientific Supports. Iran Water Resources Management Company. (in Farsi)

Ghaheri, A., Monem, M. J., Gharavi, H., Borhan, N., Zolfaghari, A., Ehsani, M. and Porzand, A. 2005. Determination of performance evaluation framework for irrigation networks. Research Report. Office of Research and Scientific Supports. Iran Water Resources Management Company. (in Farsi)

Lenton, R. 1982. Management tools for improving irrigation performance. Ford foundation. New Delhi. Presented at Special Course on Water Management in Irrigation Systems.

Levine, G. 1982. Relative water supply: An explanatory variable. Technical note 1. The determinants of developing country irrigation problems project. Cornell and Rutgers University. Ithaca. N.Y.

Manz, D. H. 1984. Performance evaluation of distributary canal in Southern Alberta. Report for Research Management Division, Albert Environment. March.

Mishra, A., Anand, A., Singh, R. and Raghuwanshi, N. S. 2001. Hydraulic modeling of Kangsabati main canal for performance assessment. J. Irrig. Drain. Eng. 127(1): 27-34.

Molden, D. J. and Gates, T. K. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation water delivery systems. J. Irrig. Drain. Eng. 116(6): 804-822.

Monem, M. J., 2002. Performance evaluation and improvement of irrigation networks, using mathematical model and field investigation, and develoing a mathematical model for their optimal operation. National Research Project.

Monem, M. J., and Manz, D. M., 1994. Application of simulation techniques for improving the performance of irrigation conveyance systems. Iranian J. Water Resou. Eng. 2(1): 1-22.

Palmer, J. D., Dedrick, A. R. and Clemmens, A. J. 1987. Impacts of nonuniform deliveries on surface irrigation systems. ASAE Paper No. 87, 2638.

Pasyar, F., 2005. Definition and quantification of physical and operational performance indicators for irrigation canals using hydrodynamic models. M.Sc. Thesis. Department of Hydraulic Structures. Faculty of Agriculture. University of Tarbiat Modares. (in Farsi)

Sakthivadivel, R., Charlotte D. F. and Molden, J. D. 1999. Indicators of land and water productivity in irrigated agriculture. International Water Management Institute. Sri Lanka.

Schuurmans, W. 1989. Impact of Unsteady Flow on Irrigation Water Distribution. In: Rydzewski, J. R. and Ward, C. F. (Eds.). Irrigation: Theory and Practice. Pentech Press. London.

Sharma, D. N., Oad, R. and Sampath, R. K. 1991. Performance measure for irrigation water delivery Systems. International Commission on Irrigation and Drainage. Bulletin. 40, 21-37.

Unal, H. B., ASik, S., Avci, M., Yasar, S. and Akkuzu, E. 2004. Performance of water delivery system at tertiary canal level: a case study of the Menement Left Bank irrigation system, Gediz Basin, Turkey. Agriculture Water Management. 65, 155-171.

Wolters, W. and Kranjac Barisavljevic, G. 1992. Patterns and trends in field-application efficiency. NewDelhi. ICID Bulletin. 40(2):11-26.

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.9/No.1/Spring 2008/P: 15-30*

Performance Evaluation Indicators for Structural and Operational Characteristics of Irrigation Networks

F. Pasyar and M. J. Monem*

* Corresponding Author: Associate Professor, Tarbiat Modares University, P. O. Box: 14155-4838, Tehran, Iran. E-mail: monem_mj@modares.ac.ir

An important problem in performance evaluations of irrigation systems is the difficulty of the determining share of structural and operational elements and determining improvement solutions. In most studies, the combined impact of structural and operational elements on the performance of irrigation systems is assessed. Some researchers try to separate the effects of structural and operational elements, but ambiguity in the proposed indicators affects the accuracy of the separation. In this research, separate indicators for the performance evaluation of irrigation systems are defined. By considering the objectives of water distribution and the interaction of operational and structural elements on the performance of the system, indicators for depth of water and delivered flow are defined. Two other sets of indicators are defined to accommodate the importance of operation timing and flexibility of irrigation systems in meeting water user requirements. To test the applicability of the indicators, an operational scenario was assessed for the E1R1 canal of the Dez irrigation network. To evaluate this scenario and its appropriate improvement options, the canal was simulated using an ICSS hydrodynamic model. The results for this scenario show that the total, structural and operation depth deficit indicators are 78%, 90%, and 86%, respectively. The total, structural, and operational adequacy indicators are 96%, 94%, and 90%, respectively. The improvement option improved the operational, structural and overall depth deficit indices by 12%, 7% and 18%, respectively. In addition, operational, structural and overall adequacy indices for the improvement option improved by 9%, 4% and 13%, respectively. The results show the capability of the proposed indicators in determining the share of structural and operational elements on the performance of an irrigation system which can be easily used to prioritize improvement options.

Key Words: Hydrodynamic Models, Irrigation Canals, Operational Indicators, Performance Indicators, Structural Indicators