تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ۲۱/ شماره ۷۹/ تابستان ۱۳۹۹/ص ۱۲۸-۱۱۱

معرفی و بررسی شاخص مجموع عملکرد تحویل آب در شبکهٔ آبیاری و زهکشی درودزن

محمدعلی شاهرخ‌نیا*

دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۸/۹/۱۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۳

چکیده

عملکرد تحویل آب در شبکهٔ آبیاری و زهکشی درودزن فارس همیشه مورد بحث و اختلاف کشاورزان، کارشناسان و مدیران بوده است. برای بررسی این موضوع، از اطلاعات تحویل آب در چهار سال ۱۳۷۲، ۱۳۸۰، ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ که قابل دسترس بود استفاده گردید. شاخص عملکرد کلی تحویل آب با توجه به شاخص‌های کفایت، راندمان، عدالت و اعتمادپذیری تحویل آب اندازه‌گیری و بررسی شد. یک شاخص ارزیابی عملکرد دیگر به نام شاخص مجموع عملکرد تحویل آب نیز برای اولین بار معرفی و استفاده شد. میانگین شاخص‌های ارزیابی مورد بررسی در شبکهٔ آبیاری درودزن نشان می‌دهد که شاخص کفایت تحویل آب با مقدار ۰/۷۹ در محدودهٔ ضعیف و نزدیک به مرز متوسط (۰/۸۰) قرار دارد که مؤید نظر کشاورزان نیز هست. شاخص راندمان تحویل آب با مقدار ۰/۸۵ در محدودهٔ خوب و در مرز متوسط قرار دارد. هر دو شاخص عدالت و اعتمادپذیری تحویل آب با مقادیر ۰/٤۳ و ۰/۳۰ در محدودهٔ ضعیف هستند. مقادیر دو شاخص عملکرد کلی تحویل آب و مجموع عملکرد تحویل آب به‌ترتیب با اختیار مقادیر ۰/۷۳ و ۰/۹۱ در محدودهٔ ضعیف قرار دارند. بنابراین می‌توان گفت که عملکرد کلی تحویل آب این شبکه به‌طور متوسط در چهار سال مورد بررسی در محدودهٔ ضعیف قرار می گیرد. در چهار کانال: اصلی، هامون، سمت چپ و اردیبهشت مقدار شاخص عملکرد کلی تحویل آب به‌ترتیب ۰/۷٤، ۰/۷۵، ۰/٦۷ و ۰/۷۳، و مقدار شاخص مجموع عملکرد تحویل آب به‌ترتیب ۰/۹۵، ۱/۰۱، ۰/٦۹ و ۰/۹۰ است که همگی در محدودهٔ ضعیف هستند.

واژه‌های کلیدی

اعتمادپذیری تحویل آب، راندمان تحویل آب، شاخص عملکرد آبیاری، عدالت تحویل آب، کفایت تحویل آب

مقدمه

با توجه به محدودیت منابع آب شیرین در کُرهٔ زمین، افزایش بهره‌وری مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی می‌تواند کمک زیادی به امنیت غذایی کند. آبیاری، به‌صورتی‌که هم نیاز آبی گیاه تأمین شود و هم آبی تلف نشود، موضوع اغلب تحقیقات گذشته در زمینهٔ آبیاری است. برای این‌که بتوان تشخیص داد آب تحویل داده شده به مزارع به‌اندازه و به‌موقع است یا در تحویل آب چه مشکلاتی وجود دارد، شاخص‌های ارزیابی مختلفی ارائه شده است. در شبکه‌های آبیاری و زهکشی که آب به‌صورت ثقلی منتقل می‌شود، از شاخص‌های متعددی بر اساس حجم آب، دبی، مدت زمان و دور آبیاری می‌توان استفاده کرد (Clemmens & Bos, 1990). این دو محقق عملکرد کلی شبکه‌های آبیاری و زهکشی را به دو بخش برنامه‌ریزی و عملکرد

* نگارندهٔ مسئول: Email: mashahrokh@yahoo.com

http://doi. 10.22092/idser.2020.128621.1414

شبکه تقسیم کرده‌اند. در ارزیابی هر شبکهٔ آبیاری و زهکشی لازم است دانسته شود که آن شبکه تا چه اندازه به هدف‌های خود دست یافته است (Mateos, 2008; Yercan *et al*., 2009). ارزیابی شبکه می‌تواند هدف‌های مختلفی داشته باشد. ارزیابی عملکرد به‌منظور بهتر شدن مدیریت سیستم (Small & Svendsen, 1990; Clemmens & Molden, 2007)، تعیین وضعیت کلی سیستم (Bhadra *et al*., 2010; Pereira *et al*., 2012)، تعیین عوامل مشکل‌ساز در شبکه (Shakir *et al*., 2010; Vos, 2005) و مقایسهٔ عملکرد شبکه‌ها در زمان و مکان (Molden *et al*., 2007; Zardari & Cordery, 2010) است که در تحقیقات قبلی مد نظر بوده است. خارو و همکاران (Kharrou *et al*., 2013) کفایت و عدالت توزیع آب را از مهم‌ترین هدف‌های مدیران آبیاری می‌دانند. مولدن و گیتس (Molden & Gates, 1990)، مولدن و همکاران (Molden *et al*., 1998) و باس (Bos, 1997) شاخص‌های مختلف ارزیابی عملکرد تحویل آب را در شبکه‌های آبیاری و زهکشی معرفی کرده‌اند. مولدن و گیتس (Molden & Gates, 1990) چهار شاخص اصلی کفایت، راندمان، عدالت و اعتمادپذیری را به‌عنوان هدف عملکردی تحویل آب برشمرده‌اند و رابطه‌هایی برای محاسبهٔ این شاخص‌ها ارائه داده‌اند. این شاخص‌ها به حدی مهم‌اند که از آن زمان تاکنون محققان زیادی (Unal *et al*., 2004; Vandersypen*et al*., 2006; Kazbekov *et al*., 2009; Korkmaz *et al*., 2009; Aly *et al*., 2013; Dejen *et al*., 2015; Nam *et al*., 2016) آنها را به‌کار برده‌اند. در استفاده از شاخص‌های مولدن و گیتس برای هر شبکهٔ آبیاری این امکان وجود دارد که بعضی از این شاخص‌ها در حد خوب و بعضی در حد ضعیف باشند. در چنین شرایطی قضاوت در خصوص عملکرد کلی شبکه سخت است و به‌همین دلیل اخیراً با ترکیب شاخص‌های چهار گانهٔ مولدن و گیتس یک شاخص کلی ارائه کرده‌اند (Shahrokhnia & Olyan-Ghiasi, 2019).

شبکهٔ آبیاری و زهکشی درودزن در استان فارس، از شبکه‌های بزرگ و مهم آبیاری و زهکشی کشور، از سال ۱۳۷۰ تا کنون مورد توجه محققان کشور بوده است. سنایی جهرمی (Sanaee-Jahromi, 1995) نشان داد که حدود ۲۰ درصد از آب شبکه به‌صورت غیر مطمئن تحویل می‌شده و بی‌عدالتی در توزیع آب وجود داشته است. تأثیر تغییرات بازشدگی دریچه‌ها و تغییرات زبری کانال بر دبی آبگیرها و شاخص‌های ارزیابی عملکرد شبکه از جمله مواردی است که انجام شد (Shahrokhnia & Javan, 2005; 2007; 2009). شاخص‌های ارزیابی عملکرد تحویل آب در بعضی از کانال‌های شبکه نیز اندازه‌گیری شده است (Shahrokhnia & Olyan-Ghiasi, 2018; Shafiee & Shahrokhnia, 2019). نتایج ارزیابی عملکرد تحویل آب نشان می‌دهد در بعضی از سال‌ها راندمان و در بعضی دیگر کفایت آب در حد قابل قبول بوده اما عدالت در توزیع آب و اعتمادپذیری در بیشتر موارد قابل قبول نبوده است. از شاخص عملکرد کلی تحویل آب در ارزیابی شبکهٔ آبیاری درودزن در دو سال مختلف (۱۳۹۴ و ۱۳۸۰) استفاده و نتیجه‌گیری شد که عملکرد کلی تحویل آب در این شبکه در این دو سال ضعیف بوده است (Shahrokhnia & Olyan-Ghiasi, 2019).

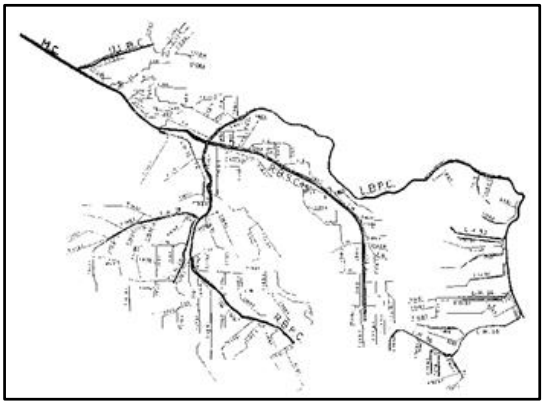
تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که ارزیابی عملکرد تحویل آب در شبکه‌های آبیاری موضوع مهمی است که باید به‌منظور بهبود عملکرد

شبکه‌های آبیاری به آن توجه شود. از مهم‌ترین مشکلات این منطقه، کمبود آب و نارضایتی کشاورزان از توزیع بی‌عدالت آب است. با توجه به اهمیت دشت مرودشت فارس در اقتصاد منطقه و مشکلات توزیع آب در شبکهٔ آبیاری و زهکشی درودزن در سال‌های گذشته، تحقیق بیشتر در خصوص عملکرد تحویل آب در شبکه ضروری است. هدف از پژوهش حاضر بررسی شاخص‌های ارزیابی تحویل آب از جمله شاخص عملکرد کلی تحویل آب در شبکهٔ آبیاری درودزن و معرفی شاخصی جدید به‌منظور ارزیابی این شبکه و سایر شبکه‌های مشابه است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شبکهٔ آبیاری و زهکشی درودزن در حدود ۵۰ کیلومتری شمال غربی شیراز واقع است. سد درودزن با حداکثر ظرفیت ۱ میلیارد مترمکعب و حجم تنظیمی حدود ۷۶۰ میلیون مترمکعب در سال، آب مورد نیاز حدود ۴۲۰۰۰ هکتار از زمین‌های رامجرد و ۳۴۰۰۰ هکتار از زمین‌های منطقهٔ کربال و کنار مرودشت را تأمین می کند. آب شرب قسمتی از شهر شیراز، تعدادی از روستاها و کارخانه‌های صنعتی نیز از این سد تأمین می‌شود. کانال اصلی شبکهٔ آبیاری و زهکشی درودزن (MC) از محل خروجی نیروگاه سد درودزن با دبی ۴۱ مترمکعب در ثانیه شروع می‌شود و پس از طی ۲۲/۲۲ کیلومتر به سازهٔ آب‌پخش می رسد. از این به بعد به سه کانال درجه ۱ با نام‌های سمت چپ (LBPC)، اردیبهشت (RBSC)، و هامون (RBPC) منشعب می‌گردد. مساحت زمین‌های زیرپوشش کانال‌ها در چهار منطقهٔ اصلی شبکهٔ آبیاری درودزن به‌ترتیب ۸۲۳۰، ۱۰۸۴۰، ۴۹۴۰ و ۱۸۷۶۰ هکتار است. در سال‌های گذشته، کانال سمت چپ و کانال هامون با توجه به ظرفیت کانال امتداد بیشتری پیدا کرده که ادامه این دو کانال به‌ترتیب با نام‌های کانال ادامه سمت چپ و کانال ادامه سمت راست نام‌گذاری شده‌اند. آبی که از سد درودزن به داخل رودخانهٔ کر رها می‌شود، آب مزارع منطقهٔ کربال را تأمین می‌کند. در منطقهٔ کربال روی رودخانهٔ کر چند بند قدیمی وجود دارد که به‌صورت بند انحرافی عمل می‌کنند و آب رودخانه را به کانال‌های اصلی مجاور این بندها (بند امیر، بند فبض‌آباد، بند تیلکان، بند موان، بند حسن‌آباد و بند جهان‌آباد) می‌رسانند. شکل ۱، کانال‌های آبیاری شبکهٔ درودزن را در محدودهٔ رامجرد نشان می‌دهد.



شکل ۱- کانال‌های آبیاری شبکهٔ درودزن

Fig. 1- Canals of Doroodzan irrigation network

شاخص‌های ارزیابی عملکرد تحویل آب

در تحقیقات پیشین چه در ایران و چه بیرون از کشور، از شاخص‌های مولدن و گیتس (Molden & Gates, 1990) برای ارزیابی شبکه‌های آبیاری مختلف استفاده شده است. این شاخص‌ها عبارت‌اند از کفایت تحویل آب، بازده تحویل آب، اعتمادپذیری، و عدالت تحویل آب. شاخص کفایت تحویل نشان می‌دهد که چه کسری از آب مورد نیاز از کانال مورد نظر دریافت شده است (رابطه ۱ و ۲). هرچه شاخص فوق به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد کفایت آبیاری بهتر است. مقادیر کمتر از ۱ نشان‌دهندهٔ آن است که آب کمتر از میزان مورد نیاز به مزرعه تحویل شده است.

$$P_A=1 \quad Q_D > Q_I \qquad (۱)$$

$$P_A = \frac{1}{T}\sum_T\left(\frac{1}{R}\sum_R\frac{Q_D}{Q_I}\right) \quad Q_D \le Q_I \qquad (۲)$$

که در آنها،

P_A= شاخص کفایت آبیاری؛ Q_D= مقدار واقعی آب داده شده به واحد زارعی؛ Q_I= مقدار آب مورد نیاز واحد زراعی؛ R= تعداد مناطق اندازه‌گیری شده؛ و T= تعداد دفعات اندازه‌گیری است.

با اندازه‌گیری شاخص بازدهی تحویل آب (P_F) از رابطه‌های ۳ و۴، می‌توان ارزیابی خوبی از لحاظ اتلاف آب در سیستم به‌دست آورد. این شاخص نشان‌دهندهٔ بازدهی کل سیستم نیست و فقط مربوط است به تحویل آب در کانال یا مزرعهٔ مورد مطالعه. این شاخص نیز هرچه به یک نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقادیر کوچک‌تر از ۱ نشان‌دهندهٔ اتلاف آب است. این شاخص ارزیابی خوبی از لحاظ اتلاف آب در سیستم نشان می‌دهد.

$$P_F=1 \quad Q_D < Q_I \qquad (۳)$$

$$P_F = \frac{1}{T}\sum_T\left(\frac{1}{R}\sum_R\frac{Q_I}{Q_D}\right) \quad Q_D \ge Q_I \qquad (۴)$$

عدالت توزیع یا تحویل آب (P_E) نیز یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی سیستم آبیاری است و آن را می‌توان با استفاده از رابطهٔ ۵ به‌دست آورد. هرچه مقدار شاخص عدالت توزیع آب به صفر نزدیک‌تر باشد، عدالت توزیع آب در منطقه بیشتر خواهد بود.

$$P_E = \frac{1}{T}\sum_T CV_R\left[\frac{Q_D}{Q_I}\right] \qquad (۵)$$

که در آن،

$CV_R(\frac{Q_D}{Q_I})$= ضریب مکانی تغییرات بده تحویلی به بده مورد نیاز میان آبگیرها در یک دورهٔ زمانی است.

شاخص اعتمادپذیری تحویل آب (P_D) سیستم بیانگر یکنواختی یا عدالت زمانی توزیع آب در سیستم است که از رابطهٔ ۶ برآورد می‌شود.

$$p_D = \frac{1}{R}\sum_R CV_T\left[\frac{Q_D}{Q_I}\right] \qquad (۶)$$

که در آن،

$\frac{1}{R}\sum_R$= متوسط مقادیر اندازه گیری شده در مکان‌های مختلف؛ و $CV_T(\frac{Q_D}{Q_I})$ = ضریب تغییرات زمانی بده تحویلی به بده مورد نیاز است که هرچه مقدار آن به صفر نزدیک‌تر باشد یکنواختی زمانی تحویل آب بیشتر است.

شاهرخنیا و علیان‌غیاثی (Shahrokhnia & Olyan-Ghiasi, 2019) با ترکیب شاخص‌های چهارگانهٔ مولدن و گیتس، شاخص کلی‌تری به‌نام

شاخص عملکرد کلی تحویل آب به‌صورت رابطهٔ ۷ ارائه داده‌اند.

$$OPI = \frac{P_A+P_F+(1-P_E)+(1-P_D)}{4} \quad (۷)$$

مقادیری که از محاسبهٔ شاخص‌های ارزیابی عملکرد شبکه به‌دست می‌آید با جدول ۱ مقایسه می‌شود و وضعیت عملکرد شبکه را می‌توان مقایسه و ارزیابی کرد.

جدول ۱- مقادیر توصیه شدهٔ شاخص‌های عملکرد شبکهٔ آبیاری

Table 1- Irrigation network performance standards (Shahrokhnia and Olyan-Ghiasi, 2019)

شاخص ارزیابی (Performance indicators)	کلاس‌های عملکرد (Performance classes)		
	ضعیف (Poor)	متوسط (Fair)	خوب (Good)
کفایت تحویل آب (P_A)	<0.80	0.80-0.89	0.9-1.0
بازده تحویل آب (P_F)	<0.70	0.70-0.84	0.85-1.0
عدالت توزیع آب (P_E)	>0.25	0.11-0.25	0.0-0.1
اعتمادپذیری توزیع آب (P_D)	>0.20	0.11-0.20	0.0-0.1
شاخص عملکرد کلی تحویل آب (OPI)	<0.76	0.76-0.88	0.89-1.0

رابطهٔ ۷ را که به‌منظور برآورد شاخص عملکرد کلی تحویل آب ارائه شده است می‌توان به شکل ساده‌تری نیز نوشت و شاخص دیگری به‌صورت رابطهٔ ۸ ارائه داد.

$$SPI= 4(OPI) - 2= P_A+P_F-P_E- P_D \quad (۸)$$

این شاخص را که برای اولین بار در این تحقیق معرفی می‌شود می‌توان "شاخص مجموع عملکرد تحویل آب" نام نهاد. در این‌صورت با توجه به استانداردهای ارائه شده در جدول ۱، مقادیر توصیه شده این شاخص را می‌توان به‌صورت جدول ۲ ارائه کرد. حداکثر مقدار این شاخص عدد ۲ است و آن زمانی است که شاخص‌های کفایت و راندمان تحویل آب بیشترین مقدار خود (عدد ۱) و شاخص‌های عدالت و اعتمادپذیری تحویل آب کمترین مقدار خود (عدد صفر) را داشته باشند. کمترین مقدار این شاخص نیز از نظر تئوری عدد ۲- است، وقتی که کفایت و راندمان کمترین مقدار خود (عدد صفر) و شاخص‌های عدالت و اعتمادپذیری تحویل آب بیشترین مقدار خود (عدد ۱) را داشته باشند، که البته در عمل این شرایط به‌وجود نخواهد آمد چون ناممکن خواهد بود مقادیر هر دو شاخص کفایت و راندمان برابر با صفر شود.

جدول ۲- مقادیر توصیه شدهٔ شاخص مجموع عملکرد تحویل آب

Table 2- Standards for summation of water delivery performance indicator

شاخص ارزیابی (Performance indicators)	کلاس‌های عملکرد (performance classes)		
	ضعیف (Poor)	متوسط (Fair)	خوب (Good)
شاخص مجموع عملکرد تحویل آب (SPI)	<1.04	1.04-1.55	1.56-2.0

در این پژوهش، شاخص عملکرد کلی تحویل آب (*OPI*) که شاهرخ‌نیا و علیان‌غیاثی (Shahrokhnia and Olyan-Ghiasi, 2019) آن را ارائه داده‌اند، و شاخص مجموع عملکرد تحویل آب (*SPI*) که در پژوهش حاضر معرفی شده است، به‌منظور ارزیابی عملکرد شبکهٔ آبیاری و زهکشی درودزن در چهارسال از یک بازهٔ ۲۲ ساله (۱۳۷۲ تا ۱۳۹۴) به‌کار گرفته شد. برای اندازه‌گیری این شاخص‌ها از داده‌های اندازه‌گیری شدهٔ قبلی استفاده شد. به‌منظور ارزیابی کل شبکهٔ آبیاری و زهکشی درودزن، از مقادیر شاخص‌های ارزیابی استفاده شد که شاهرخ‌نیا و علیان‌غیاثی در سال های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۵ (Shahrokhnia & Olyan-Ghiasi, 2019) محمدی (Mohammadi, 2014) و سنایی جهرمی (Sanaee-Jahromi, 1995) ارائه داده‌اند؛ میانگین این شاخص‌ها در سال‌های اندازه‌گیری، ملاک ارزیابی شبکه در بازه مورد نظر قرار گرفت. برای ارزیابی شبکهٔ آبیاری درودزن، از مقادیر توصیه شدهٔ این شاخص ها در جدول‌های ۱ و ۲ استفاده شد. شاخص عملکرد کلی تحویل آب نیز با استفاده از اطلاعات قبلی برای چند شبکهٔ آبیاری در سایر نقاط دنیا اندازه‌گیری و با شاخص به‌دست آمده برای شبکهٔ آبیاری درودزن مقایسه شد.

نتایج و بحث

جدول ۳ شاخص‌های عملکرد تحویل آب در کانال‌های اصلی شبکهٔ آبیاری درودزن در سال ۱۳۸۰ را نشان می دهد. برابر این جدول، شاخص کفایت تحویل آب (P_A) در کانال‌های اصلی درودزن یا در حد خوب و متوسط و به‌طور میانگین در کل شبکه خوب بوده است. اما شاخص راندمان تحویل آب (P_F) در حد متوسط و ضعیف و به‌طور کلی نیز ضعیف بوده است. به‌عبارت دیگر، آب تحویل شده در این سال خیلی بیشتر از حد مورد نیاز بوده که علاوه بر تأمین نیاز، اتلاف آب قابل توجهی نیز وجود داشته است. شاخص عدالت تحویل آب (P_E) در همهٔ کانال‌ها و در نتیجه در کل شبکه در محدودهٔ ضعیف قرار گرفته است. شاخص اعتمادپذیری نیز جز در کانال اردیبهشت، در سایر کانال‌ها در حد ضعیف و در نتیجه در کل شبکه در حد ضعیف بوده است. دو شاخص عملکرد کلی تحویل آب (*OPI*, *SPI*) جز در کانال اردیبهشت، در سایر کانال‌ها در محدودهٔ ضعیف است و بدین ترتیب کل شبکه از لحاظ عملکرد در سال ۱۳۸۰ در محدودهٔ ضعیف قرار می‌گیرد.

جدول ۳- شاخص‌های عملکرد تحویل آب شبکهٔ آبیاری درودزن در سال ۱۳۸۰

Table 3- Performance indicators in DIN (2001)

نام کانال (Canal name)	P_A	P_F	P_E	P_D	*OPI*	*SPI*
	(Shahrokhnia & Olyan-Ghiasi, 2019)					
اصلی (Main)	0.88 F	0.75 F	0.63 P	0.24 P	0.69 P	0.76 P
هامون (RBPC)	1.00 G	0.55P	0.52 P	0.30 P	0.68 P	0.73 P
سمت چپ (LBPC)	0.95 G	0.55 P	0.68 P	0.27 P	0.64 P	0.55 P
اردیبهشت (RBSC)	0.89 F	0.78 F	0.42 P	0.17 F	0.77 F	1.08 F
میانگین (Average)	0.93 G	0.66 P	0.56 P	0.25 P	0.70 P	0.78 P

P, F, G به‌ترتیب نشانهٔ خوب، متوسط و ضعیف هستند.

جدول ۴ شاخص‌های عملکرد تحویل آب شبکهٔ درودزن در سال ۱۳۹۳ را نشان می دهد. مشاهده می‌شود کفایت آبیاری فقط در کانال اصلی خوب و در دیگرکانال‌ها و در کل شبکه در حد ضعیف بوده است. خوب بودن کفایت آبیاری در کانال اصلی با واقعیات منطقه نیز تطابق دارد. این کانال در ابتدای شبکه است و آبگیرهای آن معمولا نه تنها مشکلی از لحاظ دریافت آب ندارند، بلکه بیش از نیاز نیز آب دریافت می‌کنند و به همین دلیل راندمان تحویل آب در کانال اصلی کمتر از سایر کانال‌ها شده است. میزان راندمان تحویل آب در بیشتر کانال‌های شبکه در حد خوب و دلیل آن کفایت نداشتن آب تحویلی است. در این سال نیز عدالت تحویل آب در همه کانال‌های شبکه در محدوده ضعیف قرار گرفته است. اما در این سال اعتمادپذیری تحویل آب در اکثر کانال‌های اصلی در حد متوسط و در کل شبکه در حد ضعیف و نزدیک به متوسط برآورد می‌شود. شاخص‌های عملکرد کلی تحویل آب در کانال‌های اصلی و هامون در حد متوسط و در کانال‌های دیگر در حد ضعیف و در کل شبکه نیز در حد ضعیف و نزدیک به متوسط قرار می‌گیرد. مقدار شاخص‌های عملکرد تحویل آب در شبکهٔ آبیاری درودزن در سال ۱۳۹۴ در جدول ۵ نمایش داده شده است. نتایج کلی به‌دست آمده در این سال شبیه به نتایج به‌دست آمده در سال ۱۳۹۳ ولی عملکرد کانال‌ها و شبکه ضعیف‌تر بوده است. بازدیدهای میدانی از منطقه و مصاحبه با میراب‌ها نشان می‌دهد که متاسفانه در شبکهٔ آبیاری درودزن از سازه‌های مناسب اندازه‌گیری آب استفاده نمی‌شود و میراب‌ها نیز در تنظیم دریچه‌ها با دقت عمل نمی‌کنند. به‌همین دلیل معمولا کانال‌های بالادستی که دسترسی بیشتری به آب دارند، آب بیشتری دریافت می کنند و در نتیجه آب کمتری به کانال‌های پایین‌دست می‌رسد. بنابراین، لازم است سازه‌های اندازه‌گیری آب در شبکه واسنجی یا به‌جای آنها از سازه‌های دقیق‌تر استفاده شود.

جدول ٤- شاخص‌های عملکرد تحویل آب شبکهٔ آبیاری درودزن در سال ۱۳۹۳

Table 4- Performance indicators in DIN (2014)

نام کانال (Canal name)	P_A	P_F	P_E	P_D	OPI	SPI
	(Mohammadi, 2014)					
اصلی (Main)	1.00 G	0.73 F	0.32 P	0.16 F	0.81 F	1.25 F
هامون (RBPC)	0.67 P	1.00 G	0.32 P	0.15 F	0.80 F	1.20 F
سمت چپ (LBPC)	0.63 P	1.00 G	0.58 P	0.32 P	0.68 P	0.73 P
اردیبهشت (RBSC)	0.26 P	1.00 G	0.27 P	0.19 F	0.70 P	0.80 P
میانگین(average)	0.64 P	0.93 G	0.37 P	0.21 P	0.75 P	1.00 P

P, F, G به‌ترتیب نشانهٔخوب، متوسط و ضعیف هستند.

جدول ٥- شاخص های عملکرد تحویل آب شبکهٔ آبیاری درودزن در سال ۱۳۹٤

Table 5- Performance indicators in DIN (2015)

نام کانال (Canal name)	P_A	P_F	P_E	P_D	OPI	SPI
	(Shahrokhnia & Olyan-Ghiasi, 2019)					
اصلی (Main)	0.84 F	0.88 G	0.60 P	0.28 P	0.71 P	0.84 P
هامون (RBPC)	0.66 P	0.98 G	0.40 P	0.15 F	0.77 F	1.09 F
سمت چپ (LBPC)	0.55 P	1.00 G	0.47 P	0.29 P	0.70 P	0.79 P
اردیبهشت (RBSC)	0.46 P	1.00 G	0.42 P	0.22 P	0.71 P	0.82 P
میانگین(average)	0.63 P	0.97 G	0.47 P	0.24 P	0.72 P	0.89 P

P, F, G به‌ترتیب نشانه خوب، متوسط و ضعیف هستند.

جدول ۶ مقدار شاخص‌های عملکرد تحویل آب شبکه درودزن را در سال ۱۳۷۲ بر پایهٔ گزارش سنایی جهرمی (Sanaee-Jahromi, 1995) نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که در آن سال کفایت تحویل آب خوب، راندمان تحویل آب متوسط و عدالت و اعتمادپذیری تحویل آب ضعیف بوده است. بدین ترتیب عملکرد کلی شبکه نیز در محدودهٔ ضعیف قرار می‌گیرد. جدول ۷ مقادیر میانگین شاخص‌های ارزیابی تحویل آب را در کل شبکهٔ درودزن در چهار سال مورد بررسی در بازهٔ ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۴ نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که به‌طور کلی در شبکهٔ آبیاری درودزن شاخص کفایت تحویل آب برابر با ۰/۷۹ یعنی در ردهٔ ضعیف ولی نزدیک به مرز عملکرد متوسط است. بنابراین می‌توان گفت که در این دوره مقدار آب تحویل داده شده کمتر از مقدار آب مورد نیاز بوده است اما با اندکی افزایش در میزان آب تحویلی، کفایت تحویل آب در محدودهٔ متوسط قرار می‌گیرد. در همین دوره، میانگین راندمان تحویل آب ۰/۸۵، مرز بین رده خوب و متوسط است و می توان آن را قابل قبول دانست. باید در نظر داشت که راندمان و کفایت تحویل آب اغلب با هم رابطهٔ معکوس دارند و زمانی‌که یکی کم می‌شود، دیگری افزایش می‌یابد. عدالت تحویل آب و اعتمادپذیری تحویل آب به‌ترتیب ۰/۴۳ و ۰/۳۰ است که هر دو در ردهٔ ضعیف قرار می‌گیرند که نشانی است از اینکه در شبکه، عدالت مکانی و اعتمادپذیری (عدالت زمانی) در تحویل آب وجود نداشته است. شاخص عملکرد کلی تحویل آب مقدار ۰/۷۳ را نشان می‌دهد که از ۰/۷۶ کمتر ولی به آن نسبتا نزدیک است. بنابراین، عملکرد کلی شبکه درودزن را می‌توان ضعیف ارزیابی کرد که با تمهیدات مختلف مدیریتی می‌تواند در محدودهٔ متوسط قرار گیرد. شاخص مجموع عملکرد تحویل آب نیز در محدودهٔ ضعیف قرار دارد که با ارتقای عملکرد شبکه می‌تواند در محدودهٔ متوسط واقع شود.

جدول ٦- شاخص های عملکرد تحویل آب شبکهٔ آبیاری درودزن در سال ۱۳۷۲

Table 6- Performance indicators in DIN (1993)

نام کانال	P_A	P_F	P_E	P_D	OPI	SPI
	(Sanaee-Jahromi, 1995)					
کل شبکهٔ درودزن	0.96 G	0.83 F	0.33 P	0.51 P	0.74 P	0.95 P

P, F, G به‌ترتیب نشانهٔ خوب، متوسط و ضعیف هستند

جدول ۷- میانگین شاخص های عملکرد تحویل آب شبکهٔ آبیاری درودزن از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۹٤

Table 7-Average water delivery performance indicators in DIN (1993-2015)

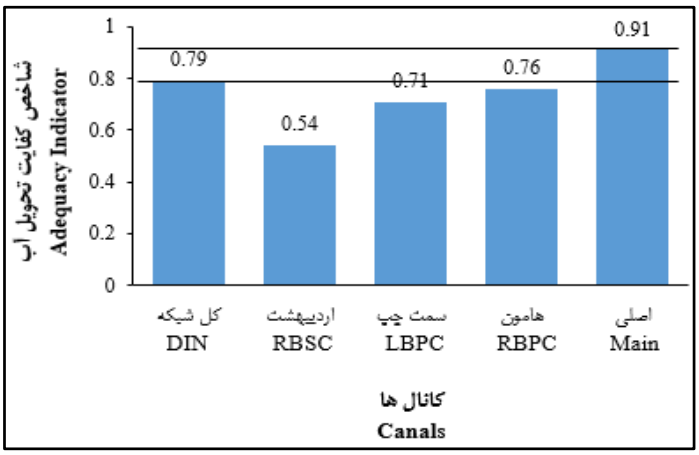
نام کانال	P_A	P_F	P_E	P_D	OPI	SPI
کل شبکه درودزن	0.79 P	0.85 G	0.43 P	0.30 P	0.73 P	0.91 P

P, F, G به‌ترتیب نشانهٔ خوب، متوسط و ضعیف هستند.

شکل‌های ۲ تا ۷ میانگین شاخص‌های ارزیابی تحویل آب را در کانال‌های شبکهٔ درودزن و مقایسهٔ آن را با میزان شاخص‌ها برای کل شبکه نشان می‌دهد. دو خط افقی نمایش داده شده در شکل‌ها حدود مرزی شاخص را بر اساس جداول ۱ و ۲ نشان می دهد. با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار شاخص کفایت تحویل آب (۰/۹۱) مربوط به کانال اصلی است که به‌علت قرار گرفتن در

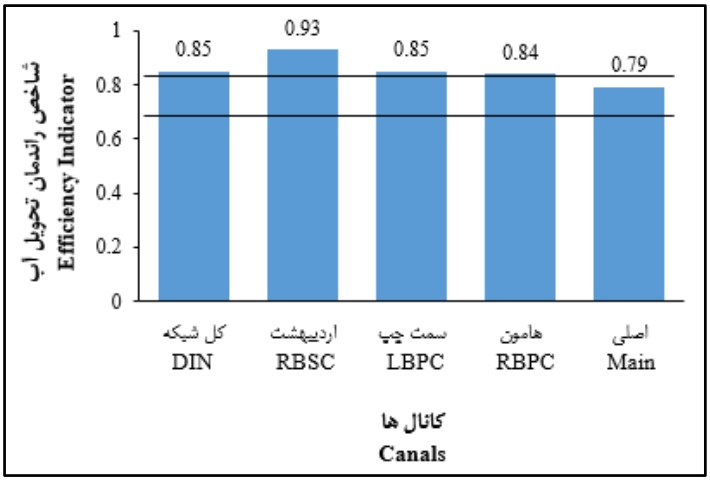
ابتدا یا در بالادست شبکه، آب کافی دریافت کرده است. پس از آن، کانال‌های هامون و سمت چپ و در انتها کانال اردیبهشت در محدودهٔ ضعیف قرار گرفته اند. کانال اردیبهشت حدوداً نصف آب مورد نیاز را دریافت کرده است. شاخص کفایت آب کانال هامون (۰/۷۸) نزدیک به مقدار این شاخص در کل شبکهٔ درودزن (۰/۷۹) است.

شکل ۳ نشان می‌دهد که میزان شاخص راندمان تحویل آب در شبکهٔ آبیاری درودزن و کانال‌های وابسته در محدودهٔ متوسط و خوب قرار دارد. تحویل آب کمتر از حد مورد نیاز باعث کاهش اتلاف آب و در نتیجه افزایش راندمان می‌شود. کمترین میزان راندمان تحویل آب مربوط به کانال اصلی (۰/۷۹) و بیشترین آن مربوط به کانال اردیبهشت (۰/۹۳) است.



شکل ۲- میانگین شاخص کفایت تحویل آب در شبکهٔ درودزن و کانال‌های آن در بازهٔ زمانی ۱۳۷۲-۱۳۹٤ و خطوط محدودهٔ شاخص‌ها

Fig. 2- Average of adequacy indicator (P_A) during 1993-2015 and the performance standard lines

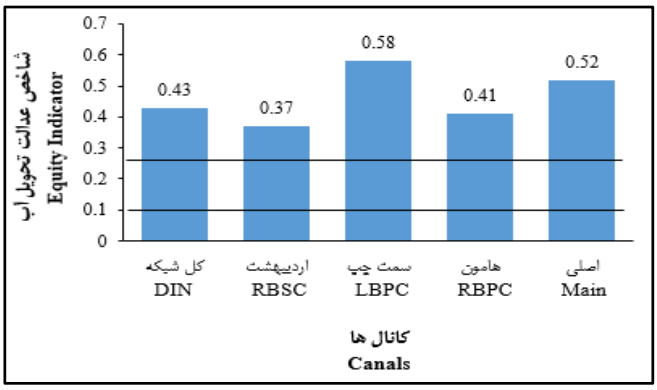


شکل ۳- میانگین شاخص راندمان تحویل آب در شبکهٔ درودزن و کانال‌های آن در بازهٔ زمانی ۱۳۷۲-۱۳۹٤ و خطوط محدودهٔ شاخص‌ها

Fig. 3- Average of efficiency indicator (P_E) during 1993-2015 and the performance standard lines

شکل ۴ نشان می‌دهد که در کل شبکهٔ آبیاری درودزن و کانال‌های وابسته، شاخص عدالت تحویل آب بیشتر از۰/۲۵ است و از این رو عدالت تحویل آب ضعیف ارزیابی می‌شود. بیشترین بی‌عدالتی

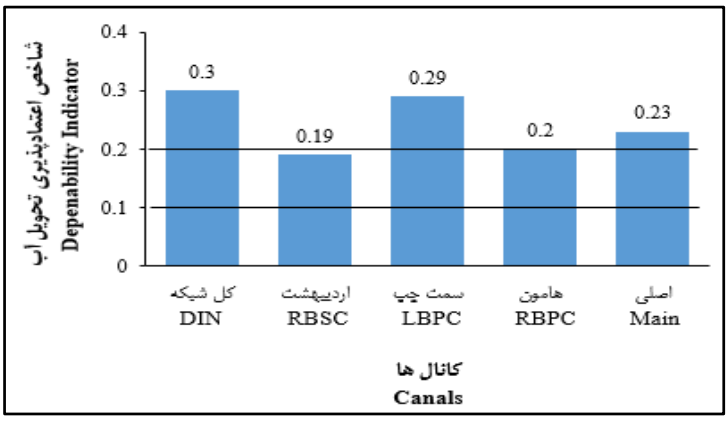
تحویل آب در کانال سمت چپ با مقدار ۰/۵۸ و بیشترین عدالت در کانال اردیبهشت با مقدار ۰/۳۷ دیده می‌شود. لازم است توضیح داده شود که کانال اردیبهشت تنها کانالی است که آب در آن به‌صورت حجمی تحویل داده شده است و این موضوع می‌تواند یکی از دلایل بالاتر بودن عدالت تحویل آب باشد. در کانال اصلی که از لحاظ میزان آب دریافتی کمبودی نداشته، عدالت تحویل آب خیلی کم (۰/۵۲) بوده است.



شکل ٤- میانگین شاخص عدالت تحویل آب در شبکهٔ درودزن و کانال‌های آن در بازهٔ زمانی ۱۳۷۲-۱۳۹٤ و خطوط محدودهٔ شاخص‌ها

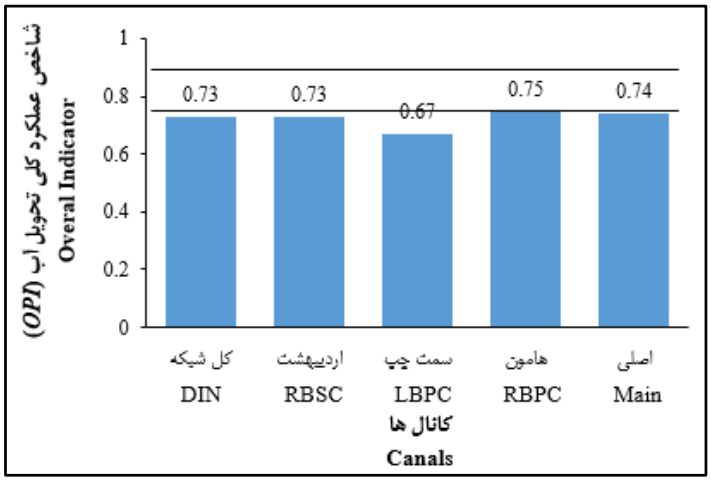
Fig. 4. Average of equity indicator (P_E) during 1993-2015 and the performance standard lines

با توجه به شکل ۵، شاخص اعتمادپذیری تحویل آب در کانال اردیبهشت کمترین مقدار (۰/۱۹) و در کانال سمت چپ بیشترین مقدار (۰/۲۹) است. اعتمادپذیری کانال هامون در مرز بین متوسط و ضعیف (۰/۲۰) قرار می گیرد. اعتمادپذیری کانال اصلی نیز در محدودهٔ ضعیف (۰/۲۳) واقع می شود. با توجه به شکل ۶، مشاهده می‌شود که عملکرد کلی شبکهٔ درودزن و کانال‌های وابسته به آن در محدودهٔ ضعیف (۰/۶۷-۰/۷۵) قرار دارد ولی به‌جز کانال سمت چپ، فاصلهٔ دیگر کانال ها از مرز بین محدودهٔ ضعیف و متوسط (۰/۷۶) زیاد نیست. یعنی ممکن است با کمی افزایش عملکرد شبکه بتوان آن را در محدودهٔ عملکرد متوسط قرار داد. تغییرات شاخص مجموع عملکرد تحویل آب (SPI) نیز مشابه تغییرات شاخص عملکرد کلی تحویل آب (OPI) است (شکل ۷).



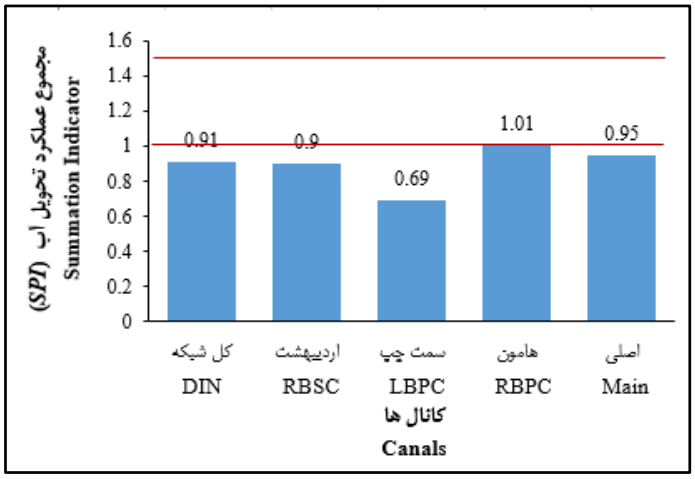
شکل ۵- میانگین شاخص اعتمادپذیری تحویل آب در شبکهٔ درودزن و کانال‌های آن در بازهٔ زمانی ۱۳۷۲-۱۳۹٤ و خطوط محدودهٔ شاخص‌ها

Fig. 5- Average of dependability indicator (P_D) during 1993-2015 and the performance standard lines



شکل ٦- میانگین شاخص عملکرد کلی تحویل آب در شبکهٔ درودزن و کانال‌های آن در بازهٔ زمانی ۱۳۷۲-۱۳۹٤ و خطوط محدودهٔ شاخص‌ها

Fig. 6- Average of overall indicator (OPI) during 1993-2015 and the performance standard lines



شکل ۷- میانگین شاخص مجموع عملکرد تحویل آب در شبکهٔ درودزن و کانال‌های آن در بازهٔ زمانی ۱۳۷۲-۱۳۹٤ و خطوط محدودهٔ شاخص‌ها

Fig. 7- Average of summation indicator (SPI) during 1993-2015 and the performance standard lines

نتایج ارزیابی سایر شبکه‌های آبیاری در سطح دنیا

جدول ۸ مقادیر شاخص‌های ارزیابی عملکرد تحویل آب را در چند شبکهٔ آبیاری در سایر نقاط دنیا نشان می‌دهد که اطلاعات آن قبلا منتشر شده است. مقایسهٔ شاخص عملکرد کلی تحویل آب (OPI) در شبکهٔ آبیاری درودزن (۰/۷۳) با سایر شبکه‌ها نشان می‌دهد که عملکرد شبکهٔ آبیاری درودزن از عملکرد شبکهٔ دلتای نیل در مصر (Aly *et al.*, 2013)، گیمجای در کره جنوبی (Nam *et al.*, 2016) و متاهارا در اتیوپی (Dejen *et al.*, 2015) ضعیف‌تر و از شبکهٔ گدیز (Korkmaz *et al.*, 2009) و منمن در ترکیه (Unal *et al.*, 2004) و چهار شبکهٔ دیگر در قرقیزستان (Kazbekov *et al.*, 2009) بهتر است. از میان شبکه‌های نام برده شده در جدول ۸، بیشترین عملکرد کلی تحویل آب (۰/۹۲) متعلق به شبکهٔ متاهارا و کمترین آن (۰/۴۷) مربوط به شبکهٔ منمن ترکیه در سال ۱۹۹۹ است. مقادیر شاخص مجموع عملکرد تحویل آب (SPI) نیز اگرچه با مقادیر شاخص عملکرد کلی شبکه (OPI) متفاوت است، اما نتیجهٔ مقایسه بین

شبکه‌ها را تغییر نمی‌دهد و از این شاخص هم می‌توان برای ارزیابی شبکه‌ها بهره گرفت. مشاهده می‌شود که به‌علت وجود تفاوت‌های زیاد در مقادیر شاخص‌های کفایت، راندمان، عدالت و اعتمادپذیری در شبکه‌های نام برده شده در جدول ۸، انتخاب شبکه با عملکرد ضعیف‌تر یا قوی‌تر بدون استفاده از شاخص‌های ارزیابی عملکرد کلی (OPI, SPI) بسیار دشوار است. اما با محاسبهٔ این دو شاخص عملکرد کلی می‌توان به راحتی و بدون مقایسهٔ چهار شاخص قبلی (P_A,P_E,P_F,P_D) شبکه‌ها را با هم مقایسه کرد. اگرچه هر دو شاخص عملکرد کلی تحویل آب و مجموع عملکرد تحویل آب نتایج یکسانی را از لحاظ قرار گرفتن شبکه در محدوده‌های ضعیف، متوسط و خوب نشان می‌دهند، ولی شاخص مجموع عملکرد تحویل آب به‌دلیل دارا بودن دامنهٔ تغییرات بیشتر، تفاوت بین دو شبکه مختلف یا تفاوت یک شبکه با مقادیر استاندارد موجود در جدول را بهتر نشان می‌دهد. مثلا در ردیف ۱۰ و ۱۱، مقدار شاخص عملکرد کلی تحویل آب برای هر دو شبکه پس از گرد کردن عدد، ۰/۴۹ به‌دست می‌آید، ولی مقدار شاخص مجموع عملکرد تحویل آب برای این دو شبکه ۰/۰۵- و ۰/۰۳- به‌دست آمده که دارای تفاوت بیشتری است و کار مقایسه و تصمیم‌گیری را آسان‌تر می‌کند.

جدول ۸- شاخص‌های ارزیابی عملکرد تحویل آب در سایر شبکه‌های آبیاری دنیا

Table 8- Water delivery performance indicators in other irrigation networks worldwide

ردیف	نام شبکه و سال	مرجع	P_A	P_E	P_F	P_D	OPI	SPI
۱	Metahara/2012	Dejen*et al*. (2015)	0.87 F	0.21 F	0.98 G	0.20 F	0.86 F	1.44 F
۲	Metahara/2013	Dejen*et al*. (2015)	0.96 G	0.14 F	0.94 G	0.10 G	0.92 G	1.66 G
۳	Gimjae	Nam *et al*. (2016)	0.83 F	0.23 F	0.87 G	0.27 P	0.80 F	1.20 F
۴	Gediz	Korkmaz*et al*. (2009)	0.60 P	0.51 P	0.77 F	0.54 P	0.58 P	0.32 P
۵	Niger	Vandersypen *et al*. (2006)	0.91 G	0.14 F	0.59 P	0.18 F	0.80 F	1.18 F
۶	Nile Delta	Aly *et al*. (2013)	0.66 P	0.26 P	1.00 G	0.18 F	0.81 F	1.22 F
۷	Menemen/1999	Unal *et al*. (2004)	0.53 P	0.67 P	0.83 F	0.81 P	0.47 P	-0.12 P
۸	Menemen/2000	Unal *et al*. (2004)	0.57 P	0.74 P	0.84 F	0.73 P	0.49 P	-0.06 P
۹	Japalak	Kazbekov *et al*. (2009)	0.93 G	1.00 P	0.97 G	0.74 P	0.54 P	0.16 P
۱۰	Jani-Arik	Kazbekov *et al*. (2009)	0.98 G	1.00 P	0.76 F	0.79 P	0.49 P	-0.05 P
۱۱	Isan	Kazbekov *et al*. (2009)	1.00 G	1.00 P	0.74 F	0.77 P	0.49 P	-0.03 P
۱۲	Murza-Aji	Kazbekov *et al*. (2009)	1.00 G	0.12 F	0.45 P	0.71 P	0.66 P	0.62 P
۱۳	Minneriya	Molden and Gates (1990)	0.79 P	0.64 P	0.82 F	0.59 P	0.60 P	0.38 P
۱۴	Kaudulla	Molden and Gates (1990)	0.85 F	0.76 P	0.70 F	0.55 P	0.56 P	0.24 P
۱۵	Abyuha	Molden and Gates (1990)	1.00 G	0.26 P	0.54 P	0.11 F	0.79 F	1.17 F

P, F, G به‌ترتیب نشانهٔ خوب، متوسط و ضعیف هستند.

نتیجه‌گیری

به‌منظور ارتقای عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانستن وضعیت فعلی این شبکه‌ها ضروری است. برای اطلاع از وضعیت فعلی عملکرد هر شبکه و مقایسهٔ آن با عملکرد سایر شبکه‌ها، باید شاخص‌های مناسبی معرفی و مقدار آن شاخص‌ها محاسبه یا اندازه‌گیری شود. به‌منظور بررسی وضعیت تحویل آب در شبکه‌های آبیاری در سال ۱۹۹۰، چهار شاخص کفایت، راندمان، عدالت و اعتمادپذیری تحویل آب به‌عنوان شاخص‌های اصلی

معرفی و تا کنون در بسیاری از شبکه‌های آبیاری دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که در هر شبکهٔ آبیاری ممکن است بعضی از این شاخص‌ها در محدودهٔ خوب و بعضی دیگر در محدودهٔ ضعیف قرار گیرند. در چنین شرایطی، قضاوت در مورد اینکه عملکرد کلی شبکه خوب است یا ضعیف، کاری است دشوار و بنابراین استفاده از شاخصی کلی‌تر که هر چهار شاخص قبلی را نیز در برگیرد، می‌تواند قضاوت در خصوص عملکرد شبکه و مقایسهٔ آن با سایر شبکه‌ها را آسان کند. نتایج استفاده از شاخص عملکرد کلی تحویل آب (که قبلا ارائه شده) و شاخص مجموع عملکرد تحویل آب (که در این تحقیق معرفی و برای ارزیابی شبکهٔ آبیاری درودزن و چند شبکهٔ دیگر به‌کار گرفته شده است) نشان از کارایی این دو شاخص دارد. ارزیابی شبکهٔ آبیاری درودزن نشان می‌دهد این شبکه و کانال های اصلی آن از نظر تحویل آب و با اندازه‌گیری دو شاخص عملکرد کلی تحویل آب و شاخص مجموع عملکرد تحویل آب، در محدودهٔ ضعیف واقع می شود. اما با توجه به تفاوت کم مقدار این شاخص‌ها با مقدار مرزی بین محدوده ضعیف و متوسط، می‌توان امیدوار بود که با افزایش مقدار کمی به عملکرد شبکه با بهبود وضعیت مدیریتی شبکه، عملکرد این شبکه در محدودهٔ متوسط قرار گیرد. بازدیدهای میدانی و مصاحبه با میراب‌ها و کشاورزان نشان داده است که در شبکهٔ آبیاری درودزن از سازه‌های دقیق برای اندازه‌گیری و تحویل آب در شبکه استفاده نمی‌شود و میراب‌ها نیز آموزش کافی در این زمینه ندیده‌اند. علاوه بر این، میزان قابل توجهی از آب در کانال‌های شبکه به‌صورت نشت از دسترس خارج می‌شود و در نتیجه آب تحویلی به کانال‌های پایین‌دست را کاهش می‌دهد. بنابراین لازم است علاوه بر واسنجی یا تعویض سازه‌های تحویل آب موجود، به آموزش میراب‌ها نیز توجه جدی شود و نیز با ترمیم شبکه و با استفاده از پوشش‌های مناسب، میزان نشت آب در کانال‌ها کاهش داده شود. شاخص‌های عملکرد کلی تحویل آب و مجموع عملکرد تحویل آب هر یک دارای مزیتی است. شاخص مجموع عملکرد تحویل آب ساده‌تر است و دامنهٔ تغییرات بیشتری دارد. بنابراین برای مقایسه شبکه‌هایی که عملکردشان نزدیک به هم است مناسب‌تر است. شاخص عملکرد کلی تحویل آب بین صفر و ۱ قرار می‌گیرد و از لحاظ تشابه دامنه با سایر شاخص ها (کفایت، راندمان) می‌تواند مزیت داشته باشد.

مراجع

Aly, A.M., Kitamura, Y., & Shimizu, K. (2013). Assessment of irrigation practices at the tertiary canal level in an improved system- a case study of Wasat area, the Nile Delta. *Paddy and Water Environment, 11*, 445-454.

Bhadra, A., Bandyopadhyay, A., Singh, R., & Raghuwanshi, S. R. (2010). An alternative rotational delivery schedule for improved performance of reservoir-based canal irrigation system. *Water Resources Management, 24*, 3679-3700.

Bos, M. G. (1997). Performance indicators for irrigation and drainage. *Irrigation and Drainage Systems, 11*, 119-137.

Clemmens, A. J., & Bos, M. G. (1990). Statistical methods for irrigation system water delivery performance evaluation. *Irrigation and Drainage Systems, 4*, 345-365.

Clemmens, A. J., & Molden, D. J. (2007). Water uses and productivity of irrigation systems, *Irrigation Science, 25*, 247-261.

Dejen, Z. A., Schultz, B., & Hayde, L. (2015). Water delivery performance at Metahara large-scale irrigation scheme, Ethiopia. *Irrigation and Drainage, 64*, 470-490.

Kazbekov, J., Abdullaev, I., Manthrithilake, H., Qureshi, A., & Jumaboev, K. (2009). Evaluating planning and delivery performance of water user associations (WUAs) in Osh province, Kyrgyzstan. *Agricultural Water Management, 96*, 1259-1267.

Kharrou, M. H., Page, M. L., Chehbouni, A., Simonneaux, V., Er-Riki, S., Jarlan, L., Ouzine, L., Khabba, S., & Chehbouni, G. (2013). Assessment of equity and adequacy of water delivery in irrigation systems using remote sensing-based indicators in semi-arid region, Morocco. *Water Resources Management, 27*, 4697-4714.

Korkmaz, N., Avic, M., Unal, H. B., Asik, S., & Gunduz, M. (2009). Evaluation of the water delivery performance of the Menemen Left Bank irrigation system using variables measured on-site. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 135*, 633-642.

Mateos L. (2008). Identifying a new paradigm for assessing irrigation system performance. *Irrigation Science, 27*, 25-34.

Mohammadi, R. (2014). Evaluation of Doroodzan irrigation network (Unpublished M. Sc. Thesis) Islamic Azad University, Firuzabad Branch, Firuzabad, Iran. (in Persian)

Molden, D. J., & Gates, T. K. (1990). Performance measures for evaluation of irrigation- water-delivery system. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 116*(6), 804-823.

Molden, D. J., Sakthivadivel, R., Perry, C. J, de Fraiture, C., & Kloezen, W. H. (1998). Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems. *Reserch Report*. No 20, IWMI Colombo, Sri Lanka.

Molden, D. J., Burton, M., & Bos, M. G. (2007). Performance assessment, irrigation service delivery and poverty reduction: benefits of improved system management. *Irrigation and Drainage, 56*, 307-320.

Nam, W. H., Hong, E. M., & Choi, J. Y. (2016). Assessment of water delivery efficiency in irrigation canals using performance indicators. *Irrigation Science, 34*, 129-143.

Pereira, L. S., Cordery, I., & Iacovides, I. (2012). Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural Water Management, 108*, 39-51.

Sanaee-Jahromi, S. (1995). Water delivery and distribution management in Doroodzan irrigation and drainage network (M. Sc. Thesis) Shiraz University, Shiraz, Iran. (in Persian)

Shafiee, B., & Shahrokhnia, M. A. (2019). Evaluation of water delivery performance indicators at the end of left bank canal in Doroodzan irrigation system. *Iranian Journal of Water Resources Management, 11*, 4, 73-86. (in Persian)

Shahrokhnia, M. A., & Javan, M. (2005). Performance assessment of Doroodzan irrigation network by steady state hydraulic modeling. *Irrigation and Drainage Systems, 19*, 189-206.

Shahrokhnia, M. A., & Javan, M. (2007). Influence of roughness changes on offtaking discharge in irrigation canals. *Water Resources Management, 21*, 635-647.

Shahrokhnia, M. A., & Javan, M. (2009). Influence of cross-regulator settings on the offtake discharge in a modern irrigation network. *Irrigation Science, 27*, 165-173.

Shahrokhnia, M. A., Javan, M., & Shahrokhnia, M. H. (2009). Influence of lateral canal water depth on offtake and cross-regulator discharge. *Irrigation and Drainage, 58*, 561-568.

Shahrokhnia, M. A., & Olyan-Ghiasi, A. (2018). Evaluation of water delivery performance in the Doroodzan irrigation network under two different water requirement. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research, 19* (70), 127-142. (in Persian)

Shahrokhnia, M. A., & Olyan-Ghiasi, A. (2019). Determination of overall water delivery performance based on adequacy, efficiency, equity and dependability in the Doroodzan irrigation network. *Irrigation and Drainage, 68*, 637-645.

Shakir, A. S., Khan, N. M., & Qureshi, M. M. (2010). Canal water management: case study of upper Chenab canal in Pakistan. *Irrigation and Drainage, 59*, 76-91.

Small, L. E., & Svendsen, M. (1990). A framework for assessing irrigation performance. *Irrigation and Drainage Systems, 4*, 283-312.

Unal, H. B., Asik, S., Avci, M., Yasar, S., & Akkuzu, E. (2004). Performance of water delivery system at tertiary canal level: a case study of the Menemen Left Bank Irrigation System, Gediz Basin, Turkey. *Agric Wat Manage 65*, 155-171.

Vandersypen K, Bengaly K, Keita ACT, Sidibe S, Raes D, Jamin JY. (2006. Irrigation performance at tertiary level in the rice schemes of the Office du Niger (Mali): adequate water delivery through over supply. *Agricultural Water Management, 83*, 144-152.

Vos, J. (2005). Understanding water delivery performance in a large-scale irrigation system in Peru. *Irrigation and Drainage, 54*, 67-78.

Yercan, M., Atis, E., & Salali, H. E. (2009). Assessing irrigation performance in the Gediz river basin of Turkey: water user associations versus cooperatives. *Irrigation Science, 27*, 263-270.

Zardari, N., & Cordery, I. (2010). Estimating the effectiveness of a rotational irrigation delivery system: a case study from Pakistan. *Irrigation and Drainage, 59*, 277-290.

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.21/No.79/ Summer 2020/ P: 111-128

Introduction and Evaluation of the Summation Water Delivery Performance Indicator in Doroodzan Irrigation and Drainage Network

M. A. Shahrokhnia*

* Corresponding Author: Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
Received: 7 December 2019, Accepted: 22 April 2020

Extended Abstract

Introduction

Many of irrigation and drainage systems in the world have poor performance or efficiency. Evaluation of irrigation and drainage systems may help managers to find managerial and technical problems. Some researchers have developed evaluation indicators for quantifying the irrigation systems characteristics. Molden and Gates (1990) extended four water delivery performance indicators based on the adequacy, efficiency, equity and dependability of water delivery. These water delivery performance indicators have been widely used over the world until now. A problem with these indicators was the final judgment about the overall performance of the system when some of these indicators show good and the others show the poor performance of the system. Shahrokhnia and Olyan-Ghiasi (2019) found a solution for this problem extending an overall water delivery performance including the four previous indicators. Water delivery performance in Doroodzan Irrigation Network has been controversy between farmers and managers. In this study the overall water delivery performance indicators were measured based on the previously extended indicators in Doroodzan Irrigation Network and discussed.

Methodology

For evaluation of water delivery performance in Doroodzan Irrigation Network, the water delivery information in four years during 1993 to 2015 were used. The overall water delivery performance indicators which calculating based on adequacy, efficiency, equity and dependability of water delivery, were measured and evaluated. A new water delivery performance indicator named “summation water delivery performance indicator” was also extended in the present study and used for the evaluation of water delivery in Doroodzan

Irrigation Network. The two overall indicators, overall water delivery performance indicator and summation water delivery performance indicator were used and compared for evaluation of some of the other irrigation and drainage schemes over the world.

Results and Discussion

The average of the four years measured indicators (during 1993 to 2015) for Doroodzan irrigation and drainage network showed that the adequacy of water delivery was about 0.79 which was categorized as poor, also was near the border value 0.80. The efficiency of water delivery was equal to 0.85 which is exactly the border value between fair and good category. The equity and dependability of water delivery were equal to 0.43 and 0.30, respectively, both stood on the poor class of performance. Therefore, the overall water delivery performance indicator and summation water delivery performance were equal to 0.73 and 0.91 which stay on the poor class of performance. It can be concluded that the overall performance of water delivery in Doroodzan irrigation network had been poor during past 22 years period of study. The overall water delivery performance indicator in related four main canals MC, RBPC, LBPC and RBSC were about 0.74, 0.75, 0.67 and 0.73, respectively. The summation water delivery performances of thosefour main canals were 0.95, 1.01, 0.69 and 0.90, respectively. The amount of overall and summation water delivery performance indicators in the main canals of the system showed that the main canals MC, RBPC, LBPC and RBSC also stay on the poor class of performance for the studied time period.

Conclusions

The four major water delivery performance indicators adequacy, efficiency, equity and dependability have been successfully used for the evaluation of irrigation and drainage networks, worldwide. However, they are some separate indicators and shall be used together for the better evaluation of the systems and related judgments. The recently developed indicator (overall water delivery performance indicator) and the new indicator developed in the present study (summation water delivery performance indicator) which are based on combination of adequacy, efficiency, equity and dependability, were used for overall evaluation of Doroodzan irrigation network and some others over the world. Doroodzan irrigation network and the four related main canals stood on poor category of performance over past 22 years period of study. The variation range of summation water delivery performance indicator is zero to 2 which is wider than the variation range of overall water delivery performance indicator (zero to 1). Therefore, the summation water delivery performance indicator can be better than the overall water delivery performance indicator to compare the irrigation systems that have little

performance differences. The summation water delivery performance indicator is simpler than the overall water delivery performance indicator in shape and calculation.

Keywords: Adequacy of Water Delivery, Dependability of Water Delivery, Efficiency of Water Delivery, Equity of Water Delivery, Irrigation Performance Indicator