

## ارزیابی عملکرد سامانه تحویل و توزیع آب کشاورزی از دیدگاه کفایت، راندمان و عدالت توزیع آب (مطالعه موردی: شبکه آبیاری رودشت اصفهان)

افسانه کاغذچی، سیدمهدی هاشمی شاهدانی\*، عباس روزبهانی و محمدابراهیم بنی حبیب<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۹)

### چکیده

هدف اصلی تحقیق حاضر شبیه‌سازی بهره‌برداری کانال اصلی آبیاری و ارزیابی نقطه‌ای، منطقه‌ای و کلی تحویل و توزیع آب با استفاده از شاخص‌های کفایت، راندمان و عدالت توزیع آب، و محاسبه شاخص کلی مطلوبیت تحویل و توزیع آب است. بدین منظور، مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS در کانال اصلی شبکه آبیاری رودشت ایجاد شد. نتایج کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل هیدرودینامیکی حاکی از رضایت‌بخش بودن کارکرد مدل داشت. سناریوهای مختلف بهره‌برداری شامل نرمال، کم‌آبی و نوسانی به‌منظور ارزیابی تحویل و توزیع آب در همه شرایط ممکن در نظر گرفته شد. در ارزیابی نقطه‌ای کفایت تحویل و توزیع آب در محدوده ۷ تا ۸۵ درصد متغیر بوده و میزان راندمان در همه سناریوها ۱۰۰ درصد محاسبه شد. مقادیر شاخص‌های کفایت، راندمان و عدالت در ارزیابی منطقه‌ای به‌ترتیب در محدوده‌های ۶ تا ۸۹، ۹۱ تا ۱۰۰ و ۱۳ تا ۴۶ درصد متغیر هستند. ارزیابی کلی نشان داد که مطلوب‌ترین وضعیت، مربوط به سناریو شدید افزایشی است که مقادیر شاخص‌های کفایت، عدالت و راندمان به‌ترتیب برابر ۸۲، ۲۳ و ۹۱ درصد هستند. محاسبه شاخص مطلوبیت تحویل و توزیع آب نشان از عملکرد ضعیف در همه سناریوهای بهره‌برداری داشت و تنها در سناریو نوسانی شدید افزایشی با میزان ۸۲ درصد، عملکرد کانال متوسط برآورد محاسبه شاخص مطلوبیت تحویل و توزیع آب در همه سناریوهای بهره‌برداری داشت و تنها در سناریوی نوسانی شدید افزایشی با میزان ۸۲ درصدی شاخص مطلوبیت تحویل و توزیع آب، عملکرد کانال متوسط برآورد شد. نتایج ارزیابی تحویل و توزیع آب نشان داد که تحویل و توزیع آب در کانال مورد مطالعه در ارزیابی‌های نقطه‌ای، منطقه‌ای و کلی مطلوب نبوده و نیازمند ارائه راهکارهایی به‌منظور بهبود عملکرد کانال است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی توزیع آب، شبیه‌سازی بهره‌برداری، کانال آبیاری، مدیریت بهره‌برداری

۱. گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران

\* مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mehdi.hashemy@ut.ac.ir

## مقدمه

کمبود آب یک مشکل شایع در بیشتر نقاط جهان محسوب می‌شود (۷). با توجه به اینکه ایران، در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده، مسئله بحران آب یکی از عمده‌ترین مسائل کشور است. لذا انجام اقداماتی در راستای ارتقای بهره‌وری آب، امری ضروری است. دستیابی به هدف مذکور با استفاده بهینه از آب موجود در بخش‌های مختلف به‌خصوص بخش کشاورزی فاریاب، به عنوان عمده‌ترین مصرف کننده آب، میسر می‌شود. شبکه‌های آبیاری و زهکشی به عنوان یکی از زیرساخت‌های مهم در کشاورزی فاریاب، وظیفه اصلی تحویل و توزیع آب را بر عهده دارند. بررسی‌های صورت گرفته در ارتباط با عملکرد مدیریت انتقال، توزیع و تحویل آب در شبکه‌های آبیاری مختلف کشور نشان می‌دهد که عملکرد اکثر شبکه‌های آبیاری و زهکشی چه از نظر فرایندی مثل راندمان تحویل و توزیع آب و چه از لحاظ خروجی، منظور تولید محصول، مطلوب نبوده است (۱). بنابراین، بهبود عملکرد شبکه‌های آبیاری یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است و اولین گام برای بهبود عملکرد شبکه‌ها، ارزیابی وضع موجود و در نهایت ارائه راهکار برای بهبود عملکرد است. نحوه ارزیابی شبکه‌های آبیاری به دو دسته مهم کمی و کیفی تقسیم‌بندی می‌شود. از جمله روش‌های کیفی می‌توان به روش تحلیل تشخیصی (Diagnosis Analysis) اشاره کرد که لازمه انجام آن شناسایی عوامل مؤثر، مشکلات و فرصت‌ها به‌طور کامل و جامع است (۶)، ولی کاربرد این روش در عمل، به لحاظ طولانی بودن فرایند مطالعات چندان موفقیت‌آمیز نبوده است. به‌منظور رفع مشکل گفته شده روش ارزیابی سریع (Rapid Appraisal) معرفی شده که اساس آن سازماندهی مطالعه ارزیابی و بهبود عملکرد طرح‌های آبیاری برای شناسایی مناسب‌ترین گزینه در بهبود عملکرد است (۳). روش مرجع (Reference Methodology) یکی دیگر از روش‌های کیفی ارزیابی عملکرد طرح‌های آبیاری است و بر این اصل مدیریت بنا شده است که ارزیابی عملکرد باید بر مبنای درک واضح از

اهداف اصلی و جزئی سیستم آغاز شود و دستیابی به اهداف اصلی طرح (مانند بهبود رفاه کشاورزان) از طریق تأمین اهداف جزئی طرح (مانند کنترل آب) میسر شود (۵). روش چارچوبی (Framework Appraisal) نیز به‌عنوان روش دیگر ارزیابی کیفی ارائه شده که چارچوب نظری این روش، مقایسه عملکرد واقعی سیستم با یک سیستم به‌نسبت موفق مشابه و یا مقایسه عملکرد واقعی سیستم با آنچه که در ابتدا برنامه‌ریزی شده است. روش‌های کیفی اگر چه تئوری‌های ارزیابی را مطرح می‌کنند اما مهم‌ترین نارسایی آنها، عدم ارائه یک چارچوب کمی مشخص برای ارزیابی عملکرد در سطوح و دیدگاه‌های مختلف و عدم توجه کافی به اهداف از دیدگاه‌های متفاوت و انتخاب شاخص‌های مبتنی بر آنها است. تلاش‌های گسترده‌ای برای کمی کردن شاخص‌های ارزیابی عملکرد صورت گرفته است. هر پژوهشگر با توجه به هدفی خاص، شاخص‌های مختلف ارزیابی را ارائه کرده است. از جمله این تحقیقات می‌توان به ارائه شاخص‌های کمی توسط مولدن و گیتس در سال ۱۹۹۰ اشاره کرد. آنها در پی روشی برای تفکیک مسائل مدیریتی و سیستم فیزیکی انتقال و توزیع، شاخص‌ها را طبقه‌بندی کرده و تعاریف کمی کامل‌تری را برای شاخص‌های عدالت، کفایت، پایداری و راندمان تحویل در ارزیابی عملکرد بهره‌برداری کانال‌ها ارائه کردند. یکی دیگر از روش‌های کمی کردن شاخص‌های ارزیابی، استفاده از مدل‌های ریاضی شبیه‌سازی عملکرد، از قبیل مدل‌های هیدرودینامیکی SOBEK، DUFLOW، ICSS، HEC-RAS و ... است. در دو دهه اخیر کاربرد این روش در مدیریت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری روند رو به رشدی داشته است به‌طوری که منعم و شورمانز در سال ۱۹۹۲، برای شبیه‌سازی عملکرد کانال کشتیا در شبکه آبیاری گنگز کوپداک در بنگلادش با بررسی سه نوع برنامه تحویل آب تحت شرایط کنترل دستی و اتوماتیک، از مدل هیدرودینامیکی MODIS استفاده کردند. در هر یک از این سه روش چگونگی توزیع و تحویل آب به آبگیرها با استفاده از دو شاخص نرخ عملکرد تحویل و راندمان عملکرد، ارزیابی

لذا در نظر است که در تحقیق حاضر، با استفاده از شاخص های ارزیابی عملکرد، تحویل و توزیع آب در محل آبیگرها (نقطه ای)، مناطق بالادست، میان دست و پایین دست کانال (منطقه ای) و در کل کانال (کلی)، مورد بررسی قرار گیرد. مضاف بر این، در پژوهش پیش رو، شاخصی تحت عنوان "مطلوبیت تحویل و توزیع آب" معرفی می شود که با بهره گیری از نظرات کارشناسی، تحویل و توزیع آب را در کانال آبیاری به صورت جامع در شرایط مختلف، ارزیابی می کند. لذا اهداف اصلی تحقیق عبارتند از: شبیه سازی بهره برداری کانال آبیاری با استفاده از مدل HEC-RAS، ارزیابی نقطه ای، منطقه ای و کلی تحویل و توزیع آب با استفاده از شاخص های ارزیابی عملکرد بهره برداری کفایت، راندمان و عدالت توزیع آب، و در نهایت محاسبه شاخص کلی مطلوبیت تحویل و توزیع آب مبتنی بر نظرات کارشناسی برای بررسی کارایی روش پیشنهادی. در نظر است که کانال اصلی چپ شاخه شمالی شبکه آبیاری رودشت واقع در استان اصفهان، با استفاده از مدل هیدرودینامیکی شبیه سازی شده و ارزیابی تحویل و توزیع آب در آن انجام شود. ویژگی منحصر به فرد کانال مورد مطالعه انتخاب سناریوهای مختلف بهره برداری، شامل سناریوی نرمال، کم آبی، دبی ورودی با نوسانات ملایم و شدید است.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

در پایاب سد زاینده رود، شش شبکه آبیاری موجود است که رودشت آخرین دشتی است که از رودخانه زاینده رود آبیگیری می کند. این شبکه به دو بخش رودشت شمالی و جنوبی تقسیم شده است و حدود ۴۵۰۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی را تحت پوشش قرار می دهد. بر اساس اطلاعات جمع آوری شده از دفتر بهره برداری شبکه رودشت، در سال های اخیر به دلیل کم آبی های پدید آمده در حوضه و کاهش دبی انتقال یافته به محل بند رودشت، و همچنین به دلیل عرضه کم آب و نیاز

شده و مناسب ترین روش تحویل آب متناسب با سیستم کنترل مربوطه توصیه شد (۱۰). میثرا و همکاران در سال ۲۰۰۱، برای شبیه سازی عملکرد کانال اصلی کانگ سباتی در کشور هندوستان از مدل MIKE-II استفاده کردند. ارزیابی تحویل و توزیع آب در این کانال با به کارگیری شاخص نسبت عملکرد، صورت پذیرفت. نتایج حاکی از این بود که توزیع آب در پایین دست کانال با مشکل مواجه است (۸). شاهرخ نیا و جوان در سال ۲۰۰۵، کانال اردیبهشت در شبکه درودزن، واقع در استان فارس را با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS شبیه سازی کرده و عملکرد آن را با استفاده از شاخص های کفایت، عدالت و راندمان مورد ارزیابی قرار دادند (۱۲). لطیف و طریق در سال ۲۰۱۰، عملکرد بهره برداری از کانال Upper Swat در پاکستان را به کمک مدل هیدرودینامیکی SIC شبیه سازی کردند. عملکرد بهره برداری با استفاده از شاخص های کفایت، راندمان عملکرد و نرخ عملکرد تحویل مورد ارزیابی قرار گرفت (۱۳). دجن در سال ۲۰۱۵، با هدف بهبود عملکرد هیدرولیکی به واسطه بهره برداری مؤثر، جریان در کانال اصلی شبکه ماتاهارا در کشور ایتوپی با استفاده از مدل DUFLOW شبیه سازی کرده و با به کارگیری شاخص های کفایت، راندمان، عدالت و پایداری، روش های بهبود عملکرد را مورد ارزیابی قرار داد (۴). افراسیابی کیا و همکاران در سال ۲۰۱۷، از مدل هیدرودینامیکی SOBEK برای شبیه سازی کانال اصلی شبکه آبیاری درودزن استفاده کرده و با ۳ شاخص کفایت، عدالت و توزیع مازاد آب، تحویل و توزیع آب را در این کانال مورد ارزیابی قرار دادند (۲). اگر چه در پژوهش های گفته شده فرایندهای ارزیابی عملکرد کانال های آبیاری با رویکرد مبتنی بر شاخص های ارزیابی، به صورت موفقیت آمیز اجرا شده اما در هیچ یک از آنها، ارزیابی تحویل و توزیع آب به صورت نقطه ای، منطقه ای و کلی، با در نظر گرفتن نظرات متخصصین امر بهره برداری، مشاهده نشده است. این نوع از ارزیابی می تواند دیدگاه واقع بینانه تری را در اختیار مدیر شبکه قرار دهد و امکان بررسی عملکرد تیم های مختلف بهره برداری را نیز میسر سازد.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی آبگیرهای واقع در کانال اصلی رودشت

شماره آبگیر	دریچه آبگیر	نوع آبگیر	دبی مورد تقاضا (لیتر بر ثانیه)	شماره آبگیر	دریچه آبگیر	نوع آبگیر	دبی مورد تقاضا (لیتر بر ثانیه)
۱	P0R	L2	۵۵	۱۴	CL7	XX2	۳۳
۲	P0L	L2	۲۱	۱۵	PL7	XX2	۱۲
۳	CL1	XX2	۱۵	۱۶	CL8	L2	۱۲
۴	CL2	XX2	۷۹	۱۷	PL8	XX2	۱۲
۵	PL2	XX2	۷۳	۱۸	CL9	L2	۵۸
۶	CL3	XX2	۲۱	۱۹	PL9	XX2	۵۸
۷	PL3	XX2	۴۹	۲۰	CL10	L2	۵۸
۸	CL4	XX2	۵۵	۲۱	CL11	L2	۱۷۵
۹	PL4	XX2	۱۰۰	۲۲	PL11	XX2	۶۰
۱۰	CL5	XX2	۲۱	۲۳	CL12	XX2	۶۰
۱۱	PL5	XX2	۲۱	۲۴	CL13	L2	۱۷۵
۱۲	CL6	L2	۲۴	۲۵	PL13	XX2	۶۱
۱۳	PL6	XX2	۳۳	۲۶	CL14	XX2	۱۱۲

این کانال به منظور آبگیری برای کانال‌های فرعی درجه دو نصب شده‌اند که مشخصات هیدرولیکی آن در جدول ۱ ارائه شده است.

#### سناریوهای بهره‌برداری

با توجه به شرایط ویژه کانال اصلی رودشت، به سبب نوسانات مداوم دبی ورودی در سراب کانال، بر خلاف رویه معمول سایر شبکه‌های آبیاری کشور، روزانه طیف مختلفی از دبی‌ها وارد کانال می‌شود. از این رو سناریوهای مختلف بهره‌برداری، بر اساس محدوده دبی ورودی و الگوی تغییرات دبی ورودی، در این پژوهش در نظر گرفته شد تا فرایند ارزیابی بهره‌برداری به صورت دقیقی صورت گیرد. سناریوهای گفته شده بر پایه دبی‌های اندازه‌گیری شده توسط اپراتورهای بهره‌برداری کانال مورد مطالعه در دوره ۵۳ روزه بهره‌برداری سال آبی ۱۳۹۵-۱۳۹۴، هستند. بر این اساس ۱۲ سناریوی بهره‌برداری مختلف در نظر گرفته شد که سناریوها به همراه محدوده تغییرات دبی ورودی در هر یک از آنها در جدول ۲ آمده است.

شدید به مصرف، تصمیم بر آن بوده است که کل آبدهی رودخانه به شبکه رودشت وارد و توزیع شود. این بدان معنی است که کلیه نوسانات آبدهی رودخانه به شبکه وارد و اختلال در کارکرد دریچه‌ها را موجب شده است. گفتنی است در شبکه گفته شده حدود ۳۰۰ عدد دریچه نصب شده است که این دریچه‌ها بر پایه مقدار معینی از دبی ورودی به شبکه باز می‌شوند. بنابراین چنانچه در دبی ورودی به شبکه تغییرات و نوسانی ایجاد شود بایستی کلیه دریچه‌ها در شبکه در زمان معین مطابق دبی جدید تغییر کند که هیچ دستورالعملی برای رسیدن به این هدف وجود نداشته و کشاورزان از توزیع ناعادلانه و نابسامان آب و توزیع نابسامان آب رنج می‌برند.

در تحقیق حاضر کانال اصلی شاخه چپ رودشت شمالی به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. کانال گفته شده دارای ۱۴ سازه تنظیم از نوع سرریزهای نوک اردکی، شیب کف ۰/۰۰۳، ضریب زبری مانینگ در حدود ۰/۰۱۷، شیب جانبی ۱/۵ و محدوده عمق در حدود ۲/۵-۴/۵ متر است. تعداد ۲۶ آبگیر روی

جدول ۲. تغییرات دبی ورودی در سناریوهای بهره‌برداری

سناریوی بهره‌برداری	محدوده تغییرات دبی ورودی (متر مکعب بر ثانیه)
نرمال (دبی ورودی بدون نوسان)	۴-۴/۵
نوسانی ملایم کاهش	۳/۶-۴/۴۹
دبی ورودی نوسانی کاهش	۲/۷-۳/۵۹
نوسانی شدید کاهش	۰/۴۴-۲/۶۹
نوسانی ملایم افزایش	۴/۵۱-۵/۴
دبی ورودی نوسانی افزایش	۵/۴۱-۶/۳
نوسانی متوسط افزایش	۶/۳۱-۶/۶
کم آبی ۵٪	۴/۲۷-۴/۵
کم آبی ۱۰٪	۴/۰۵-۴/۲۶
کم آبی ۱۵٪	۳/۸۲-۴/۰۴
کم آبی ۲۰٪	۳/۶-۳/۸۱
کم آبی ۲۵٪	۳/۳۶-۳/۶

### شبیه‌سازی بهره‌برداری

به منظور شبیه‌سازی بهره‌برداری در کانال اصلی شاخه چپ رودشت شمالی از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS استفاده شد. این مدل که توسط مهندسين ارتش آمریکا توسعه داده شده، نسخه تکمیل شده HEC-2 است. در این نرم‌افزار روند انجام محاسبات بر پایه معادله انرژی یک‌بعدی استوار است. افت‌ها بر اساس معادله مانینگ محاسبه می‌شوند و معادله مومنوم در وضعیت‌هایی که پروفیل سطح آب خیلی سریع تغییر می‌کند، استفاده می‌شود. در این مدل روش حل معادلات در جریان ماندگار، روش گام به گام استاندارد و در جریان غیرماندگار روش تفاضل‌های محدود ضمنی است (۹). برای ساخت مدل لازم است که مشخصات هندسی و فیزیکی کانال و داده‌های جریان، وارد مدل شوند. این داده‌ها شامل اطلاعات مربوط به مسیر کانال، مقاطع عرضی، سازه‌های هیدرولیکی، موقعیت قرارگیری سازه‌ها و همچنین شرایط مرزی بالادست و پایین دست است. در تحقیق حاضر اطلاعات لازم به منظور مدل‌سازی، از شرکت آب منطقه‌ای اصفهان دریافت شد. جدول ۱ اطلاعات مذکور را نمایش می‌دهد. کانال مورد

مطالعه دارای ۱۴ سازه تنظیم و ۲۶ سازه آبگیر است که این سازه‌ها با توجه به اطلاعات دریافتی، توسط نرم‌افزار مدل شدند. شرایط مرزی بالادست کانال، دبی ورودی به کانال و شرایط مرزی پایین دست، منحنی دبی اشل در پایین دست هر آبگیر تعریف شد.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل شبیه‌سازی شده در تحقیق حاضر بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری شده دبی ورودی و دبی تحویلی به آبگیرها در کانال مورد مطالعه صورت گرفت. اطلاعات گفته شده مربوط به یک دوره ۵۳ روزه بهره‌برداری از تاریخ بیست و یکم فروردین تا یازدهم خرداد سال ۱۳۹۴ است. ۲۷ روز از این داده‌ها برای واسنجی و ۲۶ روز برای صحت‌سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. ضریب آبگذری سازه‌های کنترل سطح آب و سازه‌های آبگیر به‌عنوان متغیرهای قابل تغییر برای انطباق مقادیر شبیه‌سازی شده دبی تحویلی در آبگیرها با مقادیر مشاهده‌ای استفاده شدند. بعد از واسنجی مدل و تنظیم پارامترهای آن، مدل در ۲۶ روز بعدی برای صحت‌سنجی اجرا شد. به‌منظور بررسی دقت مدل در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی از شاخص‌های آماری

آب به میزان درخواست شده بیان می‌کند. این شاخص به کمک رابطه (۴) قابل محاسبه است:

$$w_j = r_j (r_1 + \dots + r_m)^{-1} \quad (4)$$

$$P_a = \frac{Q_d}{Q_r} \quad \text{if } Q_d < Q_r \quad \text{otherwise } P_a = 1$$

که در آن  $Q_r$  و  $Q_d$  به ترتیب معرف مقدار آب مورد نیاز (منظور آب درخواستی بر اساس حبابه یا قرارداد در این تحقیق) و مقدار آب تحویل داده شده در عمل برای آبیگر  $x$  در دوره زمانی  $t$  و نمادهای  $\frac{1}{R} \sum$  و  $\frac{1}{T} \sum$  به ترتیب متوسط زمانی و مکانی هستند.

### راندمان تحویل و توزیع آب

شاخصی است برای ارزیابی میزان مازاد آب تحویل داده شده نسبت به آب درخواستی که به صورت رابطه (۵) بیان می‌شود:

$$P_F = \frac{1}{T} \sum_T \left[ \frac{1}{R} \sum_R (P_F) \right] \quad (5)$$

$$P_F = \frac{Q_r}{Q_d} \quad \text{if } Q_r < Q_d \quad \text{Otherwise } P_F = 1$$

### عدالت تحویل و توزیع آب

این شاخص نشانگر توزیع عادلانه آب بین مصرف‌کنندگان در طول سیستم است. به عبارت دیگر عدالت، یکنواختی مکانی نسبت مقدار آب تحویل داده شده به آب مورد نیاز یا آب برنامه‌ریزی شده تعریف می‌شود. این شاخص با استفاده از فرمول (۶) محاسبه می‌شود:

$$P_E = \frac{1}{T} \sum_T \left[ CV_R \left( \frac{Q_d}{Q_r} \right) \right] \quad (6)$$

$CV_R$  در فرمول (۶) ضریب تغییرات مکانی در طول کانال است.

قابل ذکر است که مفهوم «خوب» و «متوسط» و «ضعیف» برای شاخص‌های ارزیابی عملکرد بهره‌برداری مطابق استاندارد

میانگین خطای مطلق (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب خطای پسماند (CRM) استفاده شد. فرمول‌های شاخص‌های مذکور در قالب روابط (۱)، (۲) و (۳)، ارائه شده است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n Y_i}{\sum_{i=1}^n X_i} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - X_i| \quad (3)$$

که در این روابط  $X_i$  و  $Y_i$  به ترتیب برابر مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده هستند.

### ارزیابی فرایند تحویل و توزیع آب در کانال اصلی

ارزیابی تحویل و توزیع آب به صورت نقطه‌ای (به تفکیک هر سازه آبیگر)، منطقه‌ای (در سه ناحیه بالادست، میان‌دست و پایین‌دست) و کلی (منظور کل آبیگرهای واقع در کانال اصلی) با بهره‌گیری از شاخص‌های کفایت، عدالت و راندمان تحویل و توزیع آب انجام شد. بدین صورت که در ارزیابی نقطه‌ای، شاخص‌های کفایت و راندمان به‌ازای هر آبیگر مورد محاسبه قرار گرفت. برای بررسی منطقه‌ای تحویل و توزیع آب در کانال، سه شاخص، کفایت، عدالت و راندمان در بالادست، میان‌دست و پایین‌دست با روش میانگین‌گیری وزنی برآورد شدند. در ارائه دیدگاه جامع برای مدیر شبکه، شاخص‌های عدالت، راندمان و کفایت با استفاده از روش مذکور در کل کانال نیز محاسبه شدند علاوه بر این، سه شاخص گفته شده با بهره‌گیری از نظرات کارشناسی در قالب شاخص «مطلوبیت تحویل و توزیع آب»، تجمیع شدند تا فرایند ارزیابی تسهیل یابد.

### کفایت تحویل و توزیع آب

شاخصی است که میزان توانایی روش بهره‌برداری را در تحویل

جدول ۳. محدوده تغییرات شاخص‌ها ارزیابی عملکرد

شاخص	محدوده عملکرد		
	ضعیف	متوسط	خوب
کفایت تحویل آب	< ۰/۸	۰/۸ - ۰/۸۹	۱ - ۰/۹
راندمان تحویل آب	< ۰/۷	۰/۷ - ۰/۸۴	۱ - ۰/۸۵
عدالت تحویل آب	> ۰/۲۵	۰/۱۱ - ۰/۲۵	۰ - ۰/۱

جدول ۴. مقادیر عددی ارجحیت‌ها برای مقایسه زوجی

مقدار عددی	ترجیحات
۹	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر
۱	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲،۴،۶،۸	ارجحیت بینابینی

#### روش مقایسات زوجی

روش مقایسات زوجی به عنوان بخشی از روش تحلیل سلسله مراتبی توسط پروفیسور ساعتی در سال ۱۹۹۰ ارائه شده است (۱۱). این روش بر دو اصل برقراری ترجیحات زوجی از طریق مقایسه زوجی و برقراری سازگاری منطقی بین اندازه‌گیری‌ها، استوار است. برای دریافت نظر کارشناسان و تشکیل ماتریس مقایسه زوجی از عبارات ارجحیت ارائه شده در جدول ۵ استفاده شده است. روش کار بدین صورت بود که با تهیه پرسشنامه‌ای، شاخص‌های ارزیابی عملکرد در هر سناریو، دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و هر کارشناس بنا به دیدگاه خود و با بهره‌گیری از مقادیر عددی جدول ۵، مقایسه مذکور را انجام داد. برای دستیابی به هدف مذکور از ۱۳ کارشناس از جمله اساتید دانشگاهی و مهندسین مشاور و کارفرما استفاده شد. به دلیل وجود چندین کارشناس، نظرات همه آنها با روش

ارائه شده تحقیق مولدن و گیتس ارزیابی شده است. استاندارد مذکور در جدول ۴ آورده شده است.

#### شاخص مطلوبیت تحویل و توزیع آب

همان‌طور که پیش‌تر یاد شد، برای تجمیع شاخص‌های ارزیابی عملکرد در قالب شاخص «مطلوبیت تحویل و توزیع آب»، ضروری است که اوزان شاخص‌های مذکور تعیین شوند. دلیل این امر آن است که در شرایط مختلف بهره‌برداری حاکم بر کانال، که علاوه بر وضعیت هیدرولیک جریان در کانال تابع سیاست‌های مدیر شبکه نیز است، ممکن است هر یک از شاخص‌ها دارای ارزش متفاوتی باشند. از این‌رو برای وزن‌دهی به معیارها در هر سناریو بهره‌برداری، از روش مقایسات زوجی استفاده شده است که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد.

جدول ۵. پارامترهای آماری برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل HEC-RAS

پارامتر آماری	واسنجی	صحت‌سنجی
MAE (m <sup>3</sup> /s)	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۳۸
RMSE (m <sup>3</sup> /s)	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۰۴
CRM	-۰/۰۴۳	-۰/۰۶۱

این شاخص برابر صفر است. با توجه به اینکه مقادیر مذکور به مقدار بهینه نزدیک هستند، لذا می‌توان نتیجه گرفت که مدل دقت مناسبی ارائه می‌دهد. شاخص ضریب خطای پسماند (CRM)، برای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی، به ترتیب برابر ۰/۰۴۱- و ۰/۰۶۱- هستند، با توجه به اینکه بهترین میزان برای CRM صفر است، مقادیر کم این شاخص حاکی از دقت قابل قبول مدل در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی است. در نهایت میزان ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، برای دوره واسنجی برابر ۰/۰۰۲۸ و برای دوره صحت‌سنجی ۰/۰۰۰۴ متر مکعب بر ثانیه به دست آمد. مقادیر مناسب این شاخص نیز دقت مدل را مورد تأیید قرار می‌دهد.

### نتایج ارزیابی تحویل و توزیع آب

با تأیید دقت مدل شبیه‌ساز توسعه داده شده کانال مورد مطالعه، مدل واسنجی شده به‌ازای سناریوهای مختلف بهره‌برداری اجرا شد و با توجه خروجی‌های به دست آمده، شاخص‌های ارزیابی عملکرد مورد محاسبه قرار گرفتند. همان‌طور که پیش‌تر عنوان شد، ارزیابی در کانال مورد مطالعه به سه صورت نقطه‌ای، منطقه‌ای و کلی انجام شد. در ادامه نتایج هر بخش به صورت مجزا، مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که سناریوهای بهره‌برداری دارای محدوده‌ای از دبی‌های ورودی به کانال هستند که اعداد بسیاری را شامل می‌شوند لذا از هر سناریو، یک دبی به عنوان نماینده انتخاب شد (جدول ۷). گفتنی است که دبی برگزیده شده (دبی نماینده هر محدوده) بر اساس میزان تکرار وقوع این دبی در داده‌های

میانگین‌گیری هندسی، در قالب یک ماتریس برای هر سناریو، به دست آمد. با تلفیق نظرات متخصصین مختلف و تشکیل ماتریس مقایسات زوجی گروهی، وزن معیارها با استفاده از روش میانگین هندسی و استفاده از معادلات (۷) و (۸) تعیین شد:

$$r_{ji} = \left( \prod_{j=1}^m a_{ij} \right)^{1/m} \quad (7)$$

$$w_j = r_j (r_1 + \dots + r_m)^{-1} \quad (8)$$

در این معادلات  $r_{ij}$  میانگین هندسی اعضای سطر اول ماتریس تصمیم‌گیری گروهی و  $w_i$  نشان‌دهنده وزن معیار  $i$ ام است.

### نتایج و بحث

نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل شبیه‌ساز هیدرولیک جریان واسنجی و صحت‌سنجی مدل بر اساس دبی ورودی به کانال و دبی تحویلی به آبگیرها و با اعمال تغییرات روی ضرایب آبگذری مربوط به سازه‌های تنظیم و سازه‌های آبگیر صورت گرفت. به طوری که داده‌های اندازه‌گیری شده دبی ورودی به کانال و دبی تحویلی به آبگیرها به ترتیب در محدوده (۰/۸، ۶/۶) و (۰، ۰/۲۴) متغیر بودند. نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در کانال اصلی رودشت، با استفاده از شاخص‌های ارزیابی MAE، RMSE و CRM در جدول ۶ درج شده‌اند. با توجه به جدول (۶)، ملاحظه می‌شود که میزان میانگین خطای مطلق (MAE)، برای دوره واسنجی برابر ۰/۰۰۲۷ و برای دوره صحت‌سنجی ۰/۰۰۳۸ متر مکعب بر ثانیه است. مقدار بهینه



جدول ۶. دبی‌های منتخب در هر سناریو

سناریو	دبی ورودی کانال (m <sup>3</sup> /s)	سناریو	دبی ورودی کانال (m <sup>3</sup> /s)
نرمال	۴/۵	نوسانی متوسط افزایشی	۳/۹
نوسانی ملایم کاهش‌ی	۴	کم‌آبی ۵٪	۳/۶
نوسانی متوسط کاهش‌ی	۳/۵	کم‌آبی ۱۰٪	۳/۴
نوسانی شدید کاهش‌ی	۰/۴۴	کم‌آبی ۱۵٪	۴/۹
نوسانی ملایم افزایشی	۴/۳	کم‌آبی ۲۰٪	۵/۶
نوسانی متوسط افزایشی	۴/۱۵	کم‌آبی ۲۵٪	۶/۶

جدول ۷. اوزان تخصیص‌یافته به شاخص‌ها به ازای سناریوهای مختلف توسط کارشناسان

سناریو	وزن شاخص کفایت	وزن شاخص راندمان	وزن شاخص عدالت
نرمال	۰/۴۷	۰/۱۳۷	۰/۳۸۳
نوسانی ملایم	۰/۴۸۱	۰/۱۳۸	۰/۳۸۱
نوسانی متوسط	۰/۴۶۴	۰/۱۶	۰/۳۷۶
نوسانی شدید	۰/۵۵۱	۰/۱۶۴	۰/۲۸۵
کم‌آبی ۵٪	۰/۴۵۲	۰/۱۳۲	۰/۴۱۶
کم‌آبی ۱۰٪	۰/۴۴۷	۰/۱۲۶	۰/۴۲۷
کم‌آبی ۱۵٪	۰/۴۷۳	۰/۱۲۱	۰/۴۰۶
کم‌آبی ۲۰٪	۰/۴۴۳	۰/۱۴۶	۰/۴۱۱
کم‌آبی ۲۵٪	۰/۴۳۷	۰/۱۵۸	۰/۴۰۵

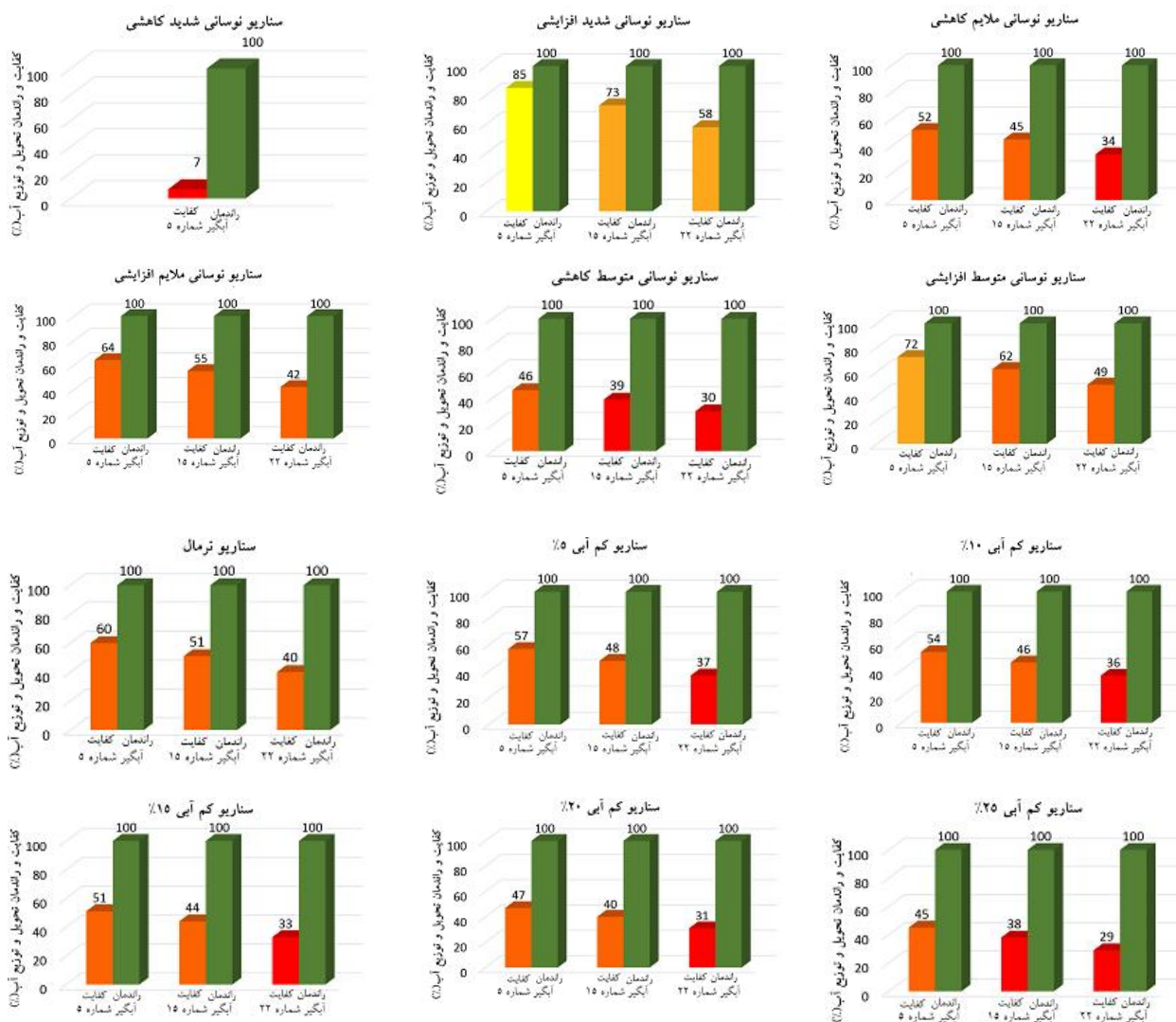
اندازه‌گیری شده در شبکه در طول ۵۳ روز بهره‌برداری از کانال صورت گرفت.

#### ارزیابی نقطه‌ای

با در دست داشتن اطلاعات مربوط به دبی مورد نیاز هر آبگیر و دبی تحویلی به آنها که از مدل هیدرودینامیکی واسنجی شده به دست آمد، شاخص‌های کفایت و راندمان به تفکیک هر آبگیر مورد محاسبه قرار گرفت. کانال اصلی شاخه چپ رودشت

شمالی دارای ۲۶ آبگیر درجه ۲ است که امکان تشریح نتایج ارزیابی همه آبگیرها خارج از حوصله این مقاله است، لذا آبگیرهای شماره ۵، ۱۵ و ۲۰ به ترتیب به‌عنوان نماینده بالادست، میاندست و پایین‌دست کانال انتخاب شدند. تحویل و توزیع آب در این ۳ آبگیر با توجه به سناریوهای مختلف بررسی شده است.

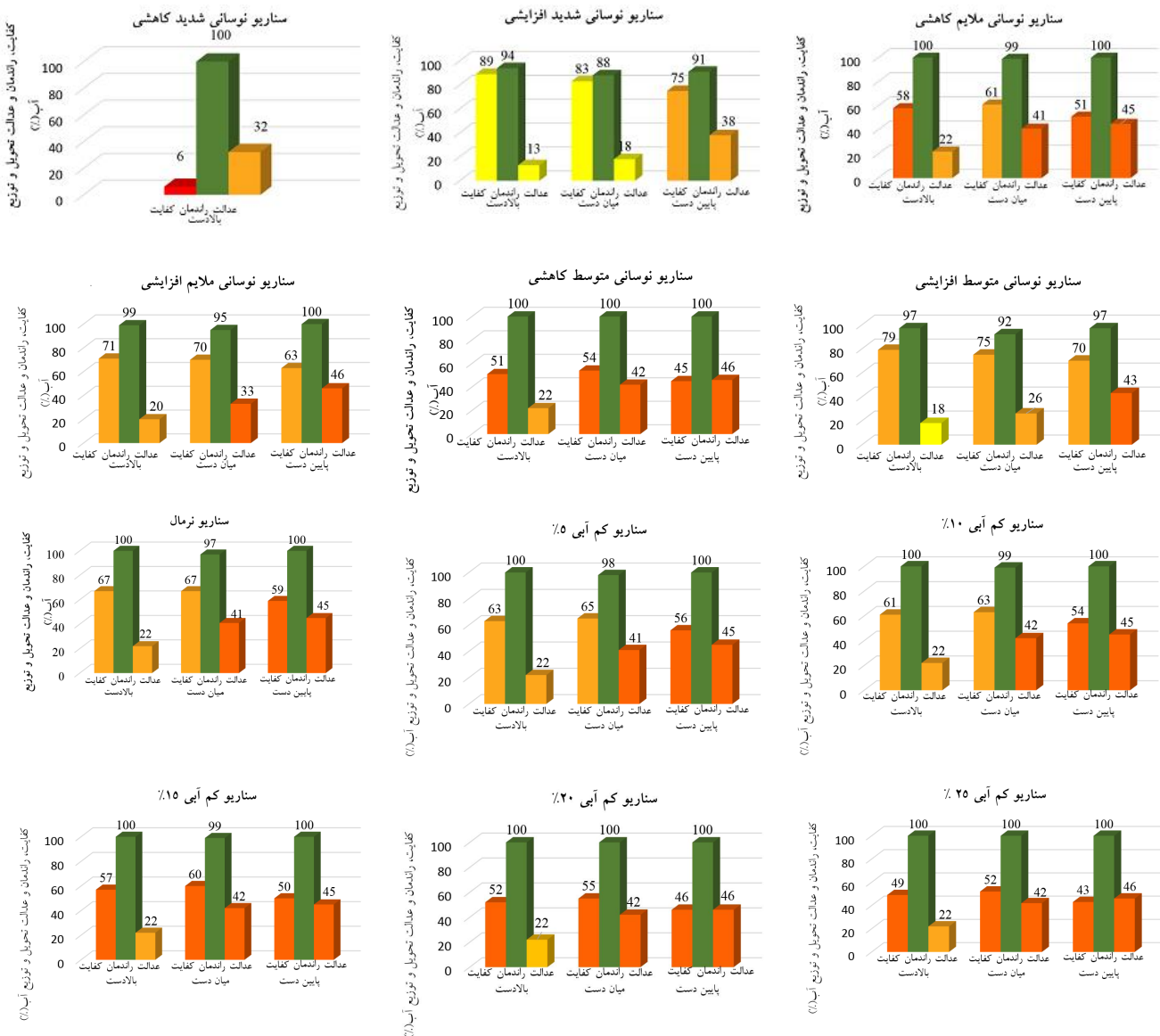
تغییرات شاخص‌های کفایت و راندمان در آبگیرهای شماره ۵، ۱۵ و ۲۲ در شکل ۱ به نمایش در آمده است. همان‌طور که



شکل ۱. کفایت و راندمان تحویل و توزیع آب در آبگیرهای شماره ۵، ۱۵ و ۲۲ به تفکیک سناریوهای مختلف بهره‌بردار

در محدوده ضعیف برآورد شده است. کمترین میزان کفایت مربوط به سناریو شدید کاهش با دبی ورودی ۴۴/۰ متر مکعب بر ثانیه است که در آبگیر شماره ۵، کفایت ۷ درصدی برقرار است. همان‌طور که در نمودار مربوط به این سناریو، نمایان است، شاخص‌های راندمان و کفایت برای آبگیرهای شماره ۱۵ و ۲۲ ترسیم نشده‌اند، دلیل این امر آن است که به دلیل روش کنترل بالادست و مقدار دبی ورودی بسیار کمی که وارد کانال می‌شود در آبگیرهای گفته شده، آبگیری صورت نمی‌گیرد.

از این نمودارهای میله‌ای پیداست، مقدار راندمان تحویل و توزیع آب در کانال به‌ازای همه سناریوها در آبگیرهای مذکور، ۱۰۰ درصد است، این مسئله بدین معنی است که طی فرایند تحویل و توزیع آب، هدر رفتی صورت نگرفته و این شاخص در مطلوب‌ترین حالت خود قرار گرفته است. اما بررسی کفایت تحویل و توزیع آب نشان از ناتوانی سیستم از دیدگاه این شاخص دارد. چرا که به‌جز سناریو شدید افزایشی که در آبگیر شماره ۵ کفایت ۸۵ درصدی برقرار است، کفایت تحویل و توزیع آب در باقی سناریوها



شکل ۲. کفایت، عدالت و راندمان تحویل و توزیع آب در بالادست، میان دست و پایین دست کانال به تفکیک سناریوهای مختلف بهره برداری

### ارزیابی منطقه‌ای

برای بررسی تحویل و توزیع آب در بخش‌های بالادست، میان دست و پایین دست کانال، شاخص‌های عدالت، کفایت و راندمان در بخش‌های مذکور مورد محاسبه قرار گرفتند. شکل ۲، نمودارهای میله‌ای مستخرج از داده‌ها را در سناریوهای مختلف بهره‌برداری به نمایش گذاشته است. همان‌طور که از این شکل نمایان است، در همه سناریوها،

شاخص کفایت از بالادست به سمت پایین دست روندی نزولی را طی می‌کند. دلیل این امر روش کنترل بالادست در کانال مورد مطالعه است. سناریو نوسانی شدید افزایشی با دبی ورودی ۶/۶ مترمکعب بر ثانیه، به ترتیب در بالادست و میان دست دارای کفایت ۸۹ و ۸۳ درصد است که نشان از وضعیت عملکرد متوسط از حیث شاخص مذکور دارد. در باقی سناریوها شاخص کفایت در محدوده ضعیف برآورد

داده اند. در مورد سناریو نوسانی شدید کاهش می باید ذکر کرد که به علت عدم جریان آب در میان دست و پایین دست، شاخص عدالت و بقیه شاخص ها مورد محاسبه قرار نگرفتند.

### ارزیابی کلی

شکل ۳، ارزیابی کلی تحویل و توزیع آب در کانال را به صورت نمودارهای میله ای به نمایش گذاشته است. همان طور که ملاحظه می شود، اطلاعات مربوط به سناریو نوسانی شدید کاهش می در بین نمودارها مشاهده نمی شود، علت این امر آن است به سبب دبی بسیار کم ورودی در سراب کانال (۴۴/۰ متر مکعب بر ثانیه)، شاخص های عدالت، کفایت و راندمان در کل کانال قابل محاسبه نیستند. لذا در سایر سناریوهای شاخص کفایت بین ۴۸ درصد (سناریو کم آبی ۲۵ درصد) تا ۸۲ درصد (سناریو نوسانی شدید افزایشی)، متغیر است. در کل می توان گفت که به لحاظ شاخص کفایت، تحویل و توزیع آب در کانال اصلی آبیاری رودشت، مطلوب نیست. این فرایند از دیدگاه شاخص راندمان، به علت عدم هدررفت آب، مطلوب برآورد شده است چرا که در بین سناریوها، این شاخص بین ۹۱ تا ۱۰۰ درصد متغیر است. نتایج خارج شده از شکل ۱، نشانگر عدم توزیع عادلانه آب در کانال است چرا که تغییرات ۲۳ تا ۴۴ درصدی شاخص عدالت در سناریوهای مختلف، حاکی از قرارگیری آن در محدوده ضعیف است.

### شاخص مطلوبیت تحویل و توزیع آب

#### نتایج محاسبه وزن شاخص ها

در هر سناریو بهره برداری، از ۱۳ کارشناس متخصص در امور بهره برداری شبکه های آبیاری، در مورد میزان ارجحیت شاخص ها نسبت به یکدیگر نظرسنجی شد. پس از دریافت نظرات کارشناسی در مورد مقایسات زوجی بین شاخص های

شده است که ضعیف ترین آن مربوط به سناریو نوسانی شدید کاهش با ۶ درصد کفایت در بالادست کانال است. شاخص راندمان در محدوده ۹۱ (سناریوی شدید افزایشی) تا ۱۰۰ درصد بین سناریوهای بهره برداری متفاوت است که در همه آنها میزان این شاخص در سطح مطلوب گزارش شده است. مسئله دیگری که در سناریوهای نرمال، کم آبی و سناریوهای نوسانی ملایم و متوسط کاهش می ملاحظه می شود این است که آبیگرهای میان دستی شماره ۱۰، ۱۲ و ۱۴ در کانال، با کفایت مطلوبی، آب دریافت می کنند، همین عامل باعث شده که کفایت میان دست از کفایت بالادست با اختلاف صفر تا ۴ درصد، بالاتر باشد. علت این امر را می توان عواملی چون موقعیت قرارگیری سازه های تنظیم، ظرفیت سازه ها، واسنجی دوره ای، مسائل مربوط به حفاظت و نگهداری، وجود بهره بردارهای متفاوت با عملکردهای متفاوت، عنوان کرد. این عوامل روی شاخص راندمان نیز مؤثر بوده به طوری که با بررسی نتایج موجود، ملاحظه می شود که به علت هدررفت آب در آبیگرهای شماره ۱۰، ۱۲ و ۱۴ میزان راندمان در میان دست کاهش یافته است.

عدالت تحویل و توزیع آب در کانال نشان دهنده توزیع عادلانه آب در طول سیستم است. طبق استاندارد تعیین شده توسط مولدن و گیتز (۱۹۹۰)، هر چه این شاخص به صفر نزدیک تر باشد، توزیع عادلانه تری در کانال صورت پذیرفته است. با توجه به شکل (۲)، شاخص عدالت بین ۱۳ درصد (در سناریو نوسانی شدید افزایشی) تا ۴۶ درصد (در سناریوهای نوسانی متوسط کاهش می و سناریوهای کم آبی ۲۰ و ۲۵ درصد) متغیر است. شاخص عدالت در سناریوهای نرمال، سناریوهای نوسانی کاهش می، سناریوهای کم آبی و سناریو نوسانی ملایم افزایشی، در محدوده ضعیف واقع شده است. در سناریوهای افزایشی متوسط در بالادست کانال و در افزایشی شدید در بالادست و میان دست، این شاخص عملکرد متوسط داشته به طوری که به ترتیب در سناریوهای مذکور مقادیر ۱۸، ۱۳ و ۱۸ درصد را به خود اختصاص



شکل ۳. کفایت، راندمان و عدالت تحویل و توزیع آب در طول کل کانال به تفکیک سناریوهای مختلف بهره‌برداری

می‌دهد از نظر متخصصین در درجه سوم اهمیت قرار داد.

### نتایج محاسبه شاخص مطلوبیت تحویل و توزیع آب به‌ازای هر سناریو

با تعیین اوزان مربوط به شاخص‌های ارزیابی بهره‌برداری در هر سناریو، شاخص مطلوبیت توزیع و تحویل آب محاسبه شد. در جدول (۹) نتایج مربوط به دبی‌های ورودی نماینده هر سناریو آورده شده است. هر چه این شاخص به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشان از مطلوبیت بیشتر در تحویل و توزیع آب

ارزیابی عملکرد در هر سناریوهای بهره‌برداری، اوزان مربوطه استخراج شدند. جدول ۸، نتایج مربوط به وزن‌های شاخص‌ها را در سناریوهای بهره‌برداری نمایش می‌دهد. با توجه به جدول ۸ ملاحظه می‌شود که از نظر کارشناسان، کفایت تحویل و توزیع آب در هر شرایطی از اهمیت بالاتری برخوردار است. رتبه دوم ارجحیت متعلق به شاخص عدالت است، بدین معنی که پس از میزان تطابق آب تحویلی با آب مورد نیاز، این توزیع عادلانه آب در طول سیستم است که رنگ اهمیت به‌خود می‌گیرد. با توجه به اینکه شاخص راندمان میزان هدررفت آب در کانال را نشان

جدول ۸. شاخص مطلوبیت تحویل و توزیع آب در کانال

سناریو	دبی ورودی (m <sup>3</sup> /s)	شاخص مطلوبیت بهره‌برداری کل کانال (%)
نرمال	۴/۵	۶۹
نوسانی ملایم (کاهشی)	۴	۶۵
نوسانی متوسط (کاهشی)	۳/۵	۶۲
نوسانی شدید (کاهشی)	۰/۴۴	-
کم‌آبی ۵٪	۴/۳	۶۷
کم‌آبی ۱۰٪	۴/۱۵	۶۶
کم‌آبی ۱۵٪	۳/۹	۶۴
کم‌آبی ۲۰٪	۳/۶	۶۳
کم‌آبی ۲۵٪	۳/۴	۶۲
نوسانی ملایم (افزایشی)	۴/۹	۷۱
نوسانی متوسط (افزایشی)	۵/۶	۷۶
نوسانی شدید (افزایشی)	۶/۶	۸۲

جدول ۹. شاخص مطلوبیت تحویل و توزیع آب در کانال

سناریو	دبی ورودی (m <sup>3</sup> /s)	شاخص مطلوبیت بهره‌برداری کل کانال (%)
نرمال	۴/۵	۶۹
نوسانی ملایم (کاهشی)	۴	۶۵
نوسانی متوسط (کاهشی)	۳/۵	۶۲
نوسانی شدید (کاهشی)	۰/۴۴	-
کم‌آبی ۵٪	۴/۳	۶۷
کم‌آبی ۱۰٪	۴/۱۵	۶۶
کم‌آبی ۱۵٪	۳/۹	۶۴
کم‌آبی ۲۰٪	۳/۶	۶۳
کم‌آبی ۲۵٪	۳/۴	۶۲
نوسانی ملایم (افزایشی)	۴/۹	۷۱
نوسانی متوسط (افزایشی)	۵/۶	۷۶
نوسانی شدید (افزایشی)	۶/۶	۸۲

در محدوده ۰/۹-۱، ۰/۸۹-۰/۸ و کمتر از ۰/۸ تعریف می‌شوند. با توجه به جدول (۹)، با افزایش دبی ورودی، شاخص مطلوبیت تحویل و توزیع آب در کانال افزایش می‌یابد. کمترین

در کانال دارد. با توجه به اینکه متخصصین به شاخص کفایت تحویل و توزیع آب در کانال وزن بیشتر اختصاص داده‌اند لذا بازه‌های مربوط به عملکرد خوب، متوسط و ضعیف به ترتیب

قرار گرفت. مدل کالیبره شده به‌ازای سناریوهای مختلف بهره‌برداری اجرا شده و از خروجی‌های آن برای ارزیابی تحویل و توزیع آب در محل آبیگرها (نقطه‌ای)، مناطق بالادست، میان دست و پایین‌دست کانال (منطقه‌ای)، در کل کانال (کلی) و ارائه شاخصی تحت عنوان "مطلوبیت تحویل و توزیع آب" استفاده شد. نتایج ارزیابی تحویل و توزیع آب با استفاده از شاخص‌های کفایت، عدالت و راندمان نشان داد که تحویل و توزیع آب در کانال مورد مطالعه در ارزیابی‌های نقطه‌ای، منطقه‌ای و کلی مطلوب نبوده و نیازمند ارائه راهکارهایی به‌منظور بهبود عملکرد کانال است. با توجه به وضعیت بهره‌برداری حال حاضر شبکه آبیاری رودشت، پروژه‌های مدرن‌سازی، بهسازی و نوسازی راهکارهای مناسبی به‌منظور ارتقای عملکرد این شبکه محسوب می‌شوند. در این راستا بهره‌گیری از روش‌هایی چون کنترل دستی بهبودیافته با استفاده از گوشی هوشمند (۱۵)، کنترل خودکار محلی (۱۶) و کنترل خودکار مرکزی (۱۴) می‌توانند مؤثر واقع شوند.

### سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دفتر پژوهش‌های کاربردی شرکت مدیریت منابع آب ایران، در قالب طرح پژوهش کاربردی با کد د/۱۲۶۹۴، صورت پذیرفته است. نویسندگان مقاله تشکر خود را از این شرکت اعلام می‌کنند.

میزان این شاخص برای زمانی است که نوسان شدید کاهشی در کانال حاکم است به‌طوری که دبی ورودی کانال به میزان ۰/۴۴ متر مکعب بر ثانیه کاهش می‌یابد. در این حالت مطلوبیت تحویل و توزیع آب در کانال قابل محاسبه نیست. مطلوبیت ۸۲ درصدی تحویل و توزیع آب متعلق به دبی ورودی ۶/۶ متر مکعب بر ثانیه است. در این حالت دبی ورودی به کانال به میزان ۴۶ درصد افزایش داشته است.

### نتیجه‌گیری

با توجه به عملکرد ضعیف شبکه‌های آبیاری بهبود عملکرد آنها گامی ضروری در راستای افزایش بهره‌وری آب محسوب می‌شود. نخستین مرحله بدین منظور، ارزیابی وضع موجود بهره‌برداری است. روش‌های کمی و کیفی متعددی برای ارزیابی شبکه‌های آبیاری موجود است، که یکی از این روش‌ها، شبیه‌سازی بهره‌برداری در کانال‌های آبیاری و استفاده از اطلاعات آن به‌منظور کمی‌سازی شاخص‌های ارزیابی است. ارزیابی تحویل و توزیع آب به‌صورت نقطه‌ای، منطقه‌ای و کلی، با در نظر گرفتن نظرات متخصصین امر بهره‌برداری، می‌تواند دیدگاه واقع‌بینانه‌تری را در اختیار مدیر شبکه قرار دهد و امکان بررسی عملکرد تیم‌های مختلف بهره‌برداری را نیز میسر سازد. لذا در پژوهش حاضر، کانال اصلی شاخه چپ شبکه آبیاری رودشت با بهره‌گیری از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS ایجاد شد. پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، دقت آن مورد تأیید

### منابع مورد استفاده

1. Abbasi, F., F. Sohrab and N. Abbasi. 2017. Evaluation of irrigation efficiencies in Iran. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research* 17(67): 113-128. (In Farsi).
2. Afrasiabikia, P., A. P. Rizi and M. Javan. 2017. Scenarios for improvement of water distribution in Doroodzan irrigation network based on hydraulic simulation. *Computers and Electronics in Agriculture* 135: 312-320.
3. Burt, C. M. and S. W. Styles. 2004. Conceptualizing irrigation project modernization through benchmarking and the rapid appraisal process. *Irrigation and Drainage: The Journal of the International Commission on Irrigation and Drainage* 53(2): 145-154.
4. Dejen, Z. A. 2015. Hydraulic and operational performance of irrigation schemes in view of water saving and sustainability: sugar estates and community managed schemes In Ethiopia. Doctorate Thesis, Delft University, Netherlands.
5. Ghadbeigi, V. 2013. Application of Data Mining Methods to Identify Patterns of Irrigation Networks Performance and Improvement of their Operational Management. Master Thesis, Tarbiat Modarres University, Tehran, I.R. Iran.



6. Khorrami, J. 2003. Evaluation of Irrigation Networks Using Fuzzy Logic: Case Study of Maroon Network. Master Thesis, Tarbiat Modarres University, Tehran, I.R. Iran.
7. Liu, J., Q. Liu and H. Yang. 2016. Assessing water scarcity by simultaneously considering environmental flow requirements, water quantity, and water quality. *Ecological Indicators* 60: 434-441.
8. Mishra, A., A. Anand, R. Singh and N. Raghuvanshi. 2001. Hydraulic modeling of Kangsabati main canal for performance assessment. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 127(1): 27-34.
9. Mohammadi, M., F. Hasanpoor and M. Azizpoor pirsaraei. 2016. Evaluation of control and adjustment structures of the shibab main canal using HEC-RAS. *Journal of Water and Soil* 30(4):1059-1070. (In Farsi).
10. Monem, M. J. and W. Shuurmans. 1992. Performance of canal delivery strategies and control systems. In: Proceeding of 1992 International CEMGREF-IMI workshop, Montpellier, France.
11. Saaty, T. L. 1999. Fundamentals of the analytic network process. In: Proceedings of 1999 the 5th International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, University of Pittsburgh, U.S.A.
12. Shahrokhnia, M. and M. Javan. 2005. Performance assessment of Doroodzan irrigation network by steady state hydraulic modeling. *Irrigation and Drainage Systems* 19(2): 189-206.
13. Tariq, J. A. and M. Latif. 2010. Improving operational performance of farmers managed distributary canal using SIC hydraulic model. *Water Resources Management* 24(12): 3085-3099.
14. Van Overloop, P., A. Clemmens., R. Strand., R. Wagemaker. and E. Bautista. 2010. Real-time implementation of model predictive control on Maricopa-Stanfield irrigation and drainage district's WM canal. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 136(11): 747-756.
15. van Overloop, P., J. Maestre, S. Hashemy, A. Sadowska, A. J. Davids and E. Camacho. 2014. Human in the loop control of dez main canal. In: Proceedings of the Planning, Operation and Automation of Irrigation Delivery Systems, U. S. Committee on Irrigation and Drainage, Phoenix, Arizona, USA. 307-320.
16. Van Overloop, P. J., J. Schuurmans., R. Brouwer and C. M. Burt. 2005. Multiple-model optimization of proportional integral controllers on canals. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 131(2): 190-196.



## Evaluation of Agricultural Water Distribution and Delivery Systems from the Viewpoints of Adequacy, Efficiency and Equity (Case Study: Irrigation Network of Roodasht, Isfahan)

A. Kaghazchi, S. M. Hashemy Shahdany<sup>\*</sup>, A. Roozbahany and M. E. Banihabib<sup>1</sup>

(Received: August 2-2019; Accepted: December 30-2019)

### Abstract

The main purpose of the study is the operational simulation of main irrigation canal and evaluation of water delivery and distribution locally, regionally and overall using adequacy, efficiency, and equity indicators and “Desirability of water delivery and distribution” indicator. To achieve this goal, the hydrodynamic model of Roodasht irrigation network’s main canal was developed. The results of the calibration and validation of the hydrodynamic model showed that the two processes were satisfactory. All available scenarios including normal, water shortages and fluctuations were considered for water delivery and distribution in different conditions. In the local assessment, the adequacy varied from 7 to 85%, and the efficiency in all scenarios was 100%. The adequacy, efficiency, and equity indicators in the regional evaluation varied from 6 to 89, 91 to 100, and 13 to 46%, respectively. The overall evaluation of the canal showed that the most desirable situation is related to a harsh fluctuation increasing with the adequacy, equity and efficiency indicators equal to 82, 23 and 91%, respectively. Calculation of the “Desirability of water delivery and distribution” indicator showed poor performance in all operational scenarios except harsh fluctuation scenario with 82% of which, the canal performance was estimated in fair level.

**Keywords:** Water distribution evaluation, Operational simulation, Irrigation canal, Operational management.

---

1. Department of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran.

\*: Corresponding author, Email: mehdi.hashemy@ut.ac.ir