

ارزیابی سازه‌های کنترل و تنظیم کانال اصلی شیب‌آب با استفاده از HEC-RAS

مریم محمدی^۱ - فرزاد حسن پور^{۲*} - مجید عزیزپور پیرسرائی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۱۶

چکیده

قسمت قابل توجهی از تلفات آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی مربوط به بخش انتقال و توزیع است. لذا مسئله مدیریت شبکه‌های آبیاری، افزایش راندمان آبیاری و در نتیجه بهره‌برداری از منابع آب، بخصوص در بخش کشاورزی باید بعنوان مسئله‌ای اساسی مورد توجه هر چه بیشتر قرار گیرد. شبکه آبیاری و زهکشی شیب‌آب با ۵ بلوک دارای مساحت ۲۳۸۲۰ هکتار در دشت سیستان می‌باشد. این تحقیق با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS، با هدف ارزیابی عملکرد و بهره‌برداری سازه‌های موجود در کانال اصلی شیب‌آب طی یک مرحله آبیاری ۱۵ روزه انجام گرفته است. در ابتدا واسنجی مدل بر اساس داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی عمق و دبی در شرایط واقعی بهره‌برداری برای دوره ۱۰ روزه آبیاری کانال در تاریخ ۲ تا ۱۱ اردیبهشت انجام شد و مقادیر پارامترهای آماری RMSE، EF، MBE و R^2 محاسبه گردید سپس با توجه به نتایج شبیه‌سازی مدل HEC-RAS در شرایط غیرماندگار، تابع هدف با استفاده از شاخص‌های عملکرد بهره‌برداری کفایت، راندمان، عدالت و پایداری در تحویل دبی مولدن و گیتس، ارزیابی گردید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در شرایط بهره‌برداری موجود، میزان خطای تحویل دبی را ۰/۵۴٪ نشان داد که این میزان خطا با اعمال مدیریت بر روی سازه‌های تنظیم شبکه تا ۰/۴۲٪ کاهش یافت. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، مقادیر میانگین درصد بهبود شاخص‌های کفایت، راندمان، عدالت و پایداری و نیز تابع هدف در تحویل آب به ترتیب برابر ۱۹/۷، ۲۰/۹۰، ۶۶/۰۷، ۶۵/۲۴ و ۵۴/۸۱ می‌باشد. بنابراین بیشترین سهم بهبود در وضعیت تابع هدف برای شیوه مدیریتی پیشنهادی سازه‌های کنترل و تنظیم کانال اصلی شیب‌آب مربوط به شاخص‌های عدالت و پایداری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: جریان غیرماندگار، دشت سیستان، شاخص‌های عملکرد، شبکه آبیاری، HEC-RAS

مقدمه

طراحی و اجرای سیستم‌های کنترل و شیوه‌های بهینه‌سازی میسر می‌گردد. مدل‌های هیدرودینامیک امکان بررسی گزینه‌های مختلف بهره‌برداری و تحقق تصمیم‌گیری‌های مناسب و دستیابی به عملکرد بهینه شبکه‌های آبیاری را فراهم می‌نماید (۲). از اوایل دهه ۱۹۹۰ تاکنون مدل‌های زیادی بدین منظور توسعه یافته که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مدل‌های HEC-11، MODIS، SOBEK و ISC، CANALMAN، SIC، CANVER، RAS اشاره نمود (۵). به دلیل تنوع سازه‌های آبی و روش‌های مختلف بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری، پیش‌بینی وضعیت جریان بدون استفاده از مدل‌های ریاضی، بسیار پیچیده و گاهی غیرممکن می‌باشد. قدوسی و همکاران (۴) با استفاده از مدل‌های هیدرودینامیک در تعیین عملکرد کانال‌های آبیاری در شرایط ایجاد جریان غیرماندگار به کمک ۴ شاخص راندمان، کفایت، عدالت و پایداری و تعریف تابع هدف بصورت ترکیب خطی این شاخص‌ها، ابتدا به مقدار ایده‌آل تابع هدف رسیدند اما در ادامه پس از افزایش نیاز آبیگرهای میانی و افزایش جریان در سراب کانال، مقادیر این شاخص‌ها از مقدار ایده‌آل فاصله گرفته و مقدار تابع هدف به میزان ۰/۰۹ افزایش یافت. حبیب و همکاران (۶) با استفاده از مدل SIC شرایط هیدرولیکی و بهره‌برداری

محدودیت منابع آب و پایین بودن عملکرد اغلب شبکه‌های آبیاری، ضرورت توجه بیش از پیش به بازنگری و بهبود عملکرد شبکه‌ها و بهره‌برداری بهینه از منابع آب موجود را ایجاب می‌کند. از آنجا که استفاده صحیح و بهره‌برداری مناسب از سازه‌های هیدرولیکی واقع در مسیر جریان، امکان مدیریت شبکه و توزیع به موقع آب و کاهش تلفات را امکان‌پذیر می‌نماید، به نظر می‌رسد که شناسایی نواقص و مشکلات این سازه‌ها از لحاظ انتخاب نوع، طراحی، ساخت، نصب و بهره‌برداری، کمک شایانی به افزایش راندمان شبکه‌ها و جلوگیری از اتلاف آب می‌کند. با توجه به رفتار غیرماندگار جریان در اثر عملیات بهره‌برداری، تحویل آب به آبیگرها معمولاً با مازاد یا کمبود تحویل توأم بوده و موجب کاهش راندمان یا عملکرد بهره‌برداری می‌گردد (۲۰). امکان بهبود عملکرد هیدرولیکی شبکه‌های آبیاری با به خدمت گرفتن مدل‌های هیدرودینامیک،

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و مربی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

*- نویسنده مسئول: (Email: Hassanpourir@uoz.ac.ir)

هیدرولیکی شبکه کانال‌ها استفاده نمود. منعم و کیاپاشا (۱۶) با استفاده از تکنیک فازی، سیستم کنترلی برای تنظیم عمق آب در کانال‌های آبیاری تدوین و با استفاده از مدل هیدرودینامیک ICSS در کانال E1-R1 از شبکه دز، عملکرد آن را مورد ارزیابی قرار دادند. ایشان گزارش نمودند که می‌توان از این مدل برای تهیه مدل ریاضی سایر سیستم‌های کنترل جریان و بررسی عملکرد آن‌ها استفاده نمود. بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که مدل‌های هیدرودینامیک ابزار مناسبی به منظور مطالعه جریان و شرایط بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری می‌باشند. در این مطالعه بدلیل پایین بودن راندمان شبکه آبیاری شیب‌آب سیستان، با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS، در حالت جریان غیرماندگار، عملکرد سازه‌های کنترل و تنظیم کانال اصلی این شبکه بطول تقریبی ۱۹ کیلومتر با هدف ارزیابی مدل در شبیه‌سازی این کانال و آبیاری مناسب‌تر برای کانال‌های چهارگانه درجه ۲ منطقه مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا عملکرد سازه‌های موجود، در شرایط عدم اعمال و اعمال مدیریت بر روی سازه‌های کنترل مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

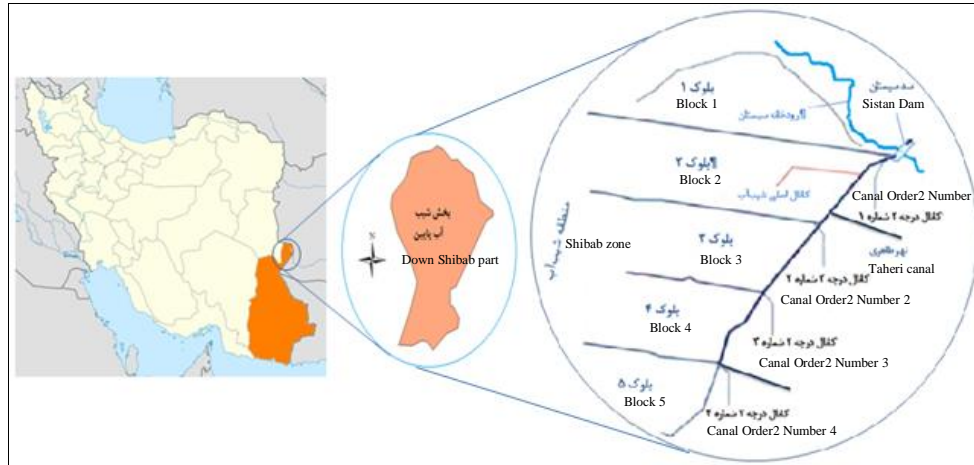
دشت سیستان از مناطق فوق‌العاده حاصلخیز است که در جنوب شرقی ایران و در مرز افغانستان واقع شده است (۱۸). متوسط شیب دشت ۰/۲۵ در هزار و وسعت شهرستان زابل ۸۱۱۷ کیلومتر مربع است که حدود ۳۵۰۰ کیلومتر مربع آن به هامون‌ها و ۲۰۶۰ کیلومتر مربع آن به گودال‌های جنوبی و ۲۵۵۰ کیلومتر باقیمانده به دشت سیستان مربوط است. منطقه شیب‌آب شامل اراضی واقع بین رودخانه سیستان، کانال اصلی آبیاری شیب‌آب و دریاچه هامون بوده و از طریق کانال اصلی شیب‌آب و کانال‌های درجه ۲ شماره‌های ۱ تا ۴ و نیز نهر طاهری آبیاری می‌گردد (شکل ۱). این تحقیق بر روی عملکرد سازه‌های کنترل و تنظیم در مسیر جریان و مدیریت بهره‌برداری از کانال اصلی منطقه شیب‌آب به انجام رسیده است. در جدول‌های ۱ و ۲ مشخصات هندسی و هیدرولیکی جریان کانال‌های اصلی و درجه ۲ منطقه ذکر شده است.

دو شبکه آبیاری در پاکستان را شبیه‌سازی نموده و عملکرد شبکه‌ها را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه اثرات شرایط بهره‌برداری کانال‌ها بر عملکرد توزیع آب مورد بررسی قرار گرفت. میسرا و همکاران (۱۳) به منظور ارزیابی عملکرد کانال اصلی کانگ ساباتی در غرب ایالت بنگال کشور هندوستان از مدل MIKE-11 استفاده کردند. منتظر و پاشازاده (۱۷) عملکرد توزیع آب در شرایط مختلف بهره‌برداری کانال اصلی غرب شبکه آبیاری دز را با استفاده از مدل هیدرولیکی CANALMAN ارزیابی نمودند. بر اساس طبقه‌بندی مولدن و همکاران کفایت و عدالت آبیاری در آبیگرهای کانال از شرایط متوسط و راندمان تحویل و اعتمادپذیری تحویل آب در کانال از وضعیتی ضعیف برخوردار می‌باشند. عیسی‌لو پاسبان و همکاران (۸) سازه‌های تنظیم و دریچه‌های آبیگر شبکه مغان را مورد بررسی قرار داده و به کالیبراسیون این سازه‌ها پرداختند. آن‌ها اقدام به اندازه‌گیری جریان با استفاده از میکرومولینه نموده و نتیجه گرفتند که سازه‌های تنظیم بیش از بده طراحی و آبیگرها کمتر از بده طراحی جریان را از خود عبور می‌دهند. دهمرده (۳) با تحلیل عملکرد کانال‌های اصلی آبیاری شیب‌آب و پشت‌آب در دشت سیستان با استفاده از مدل HEC-RAS در شرایط جریان دائمی به این نتیجه رسید که بدون مدیریت بر سازه کنترل (آب‌بند) ورودی کانال اصلی شیب‌آب و پشت‌آب دشت سیستان، امکان توزیع دبی به میزان محاسبه شده برای آبیگرهای درجه ۲ میسر نمی‌باشد و خطای نسبی کل از ۵۰ درصد بیشتر است. لیتریکو و فرمیون (۱۲) یک روش تقریبی تحلیلی برای طراحی کنترل‌کننده‌های جریان در کانال‌های روباز را پیشنهاد نمودند. مشاهده شد که ID1 از یک روش ساده برای طراحی کنترل‌کننده جریان استفاده می‌کند. مقایسه نتایج در دو بخش دوره تناوب و مدت آبیاری، حاکی از دقت مدل ریاضی HEC-RAS می‌باشد. جاوید و محمد (۱۰) به آنالیز انعطاف‌پذیری سازه‌های آبیاری با استفاده از شبیه‌سازی مدل هیدرودینامیک SIC پرداختند. در این شبیه‌سازی علت اصلی عدم رفتار مناسب در سازه‌های خروجی، عدم دقت کافی در ساخت از جمله ارتفاع تاج گزارش شد. اسلام و همکاران (۹)، یک مدل شبیه‌سازی هیدرولیکی را برای شبکه کانال‌های آبیاری توسعه دادند و نشان دادند که مدل توسعه یافته را می‌توان با موفقیت به عنوان یک ابزار برای شبیه‌سازی

جدول ۱- موقعیت مکانی و مشخصات هندسی و هیدرولیکی کانال اصلی شبکه شیب‌آب

Table 1- Location and geometric and hydraulic properties of Shibab network's main canal

فاصله از سد سیستان (km)	عرض کف (m)	شیب طولی	شیب جداره	ضریب زبری (n)	عمق (m)	دبی (m ³ /s)
Distance from Sistan Dam	Bottom width	Longitudinal slope	Side Slope	Roughness Coefficient	Depth	Discharge
1+250 - 0+641.1	13	1:20000	2	0.013	2.35	30
7+297 - 1+250	10	1:20000	2	0.013	2.35	19.5
12+730 - 7+297	4	1:20000	2	0.013	1.7	9
18+769 - 12+730	2.5	1:20000	2	0.013	1.3	5



شکل ۱- طرح شماتیکی از کانال‌های درجه ۱ و ۲ منطقه شیب‌آب
Figure 1- Schematic plan of the Shibab's main and secondary canals

جدول ۲- مشخصات هندسی و هیدرولیکی کانال اصلی و کانال‌های درجه ۲ شبکه شیب‌آب

Table 2- Geometric and hydraulic properties of Shibab network's main and secondary canals

ردیف Row	نام Name	درجه Order	طول (m) Length	عمق (m) Depth	عرض کف (m) Bottom width	عرض بالا (m) Top width	دبی (m ³ /s) Discharge
1	Main	1	18780	2.2 , 3	2.5 to 13	9 to 22	5.5 - 30
2	Number1	2	18751	2.2 , 2.5	2.5 to 4	9 to 12	7 - 10.5
3	Number2	2	11540	2.5	2.5 to 4	9.5 to 14	3 - 9
4	Number3	2	6650	2.5	2 to 2.5	9.5 to 10	3.5
5	Number4	2	5390	2.5	2	9.5	3

معرفی مدل هیدرولیکی شبیه‌سازی جریان HEC-RAS

مدل HEC-RAS نسخه تکمیل شده HEC-2 می‌باشد که تحت سیستم عامل Windows اجرا می‌گردد. HEC-RAS قابلیت بسیار بالایی در شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه، تجزیه و تحلیل جریان‌های دائمی و غیردائمی، محاسبه پروفیل سطح آب و ارتباط با GIS دارد. این بسته نرم‌افزاری روند اصلی محاسباتی بر پایه معادله انرژی یک‌بعدی استوار است. افت‌ها بر اساس معادله مانینگ محاسبه می‌شوند و معادله مومنوم در وضعیت‌هایی که پروفیل سطح آب سریعاً تغییر می‌کند (مثل رژیم جریان مختلط)، استفاده می‌شود. در این مدل روش حل معادلات در حالت جریان پایدار، روش استاندارد گام به گام^۱ و در حالت ناپایدار روش تفاضل‌های محدود ضمنی^۲ می‌باشد (۷). این مدل قابلیت شبیه‌سازی چندشاخه‌ای شدن آبراهه‌ها را نیز دارد. علاوه بر این می‌توان در این مدل سازه‌های آبی شامل پل، بند، سد، آبگذر (کالورت) و ... را تعریف نموده و تأثیر آن را در روندیابی جریان مشاهده نمود (۱۱). همچنین این نرم افزار به کمک

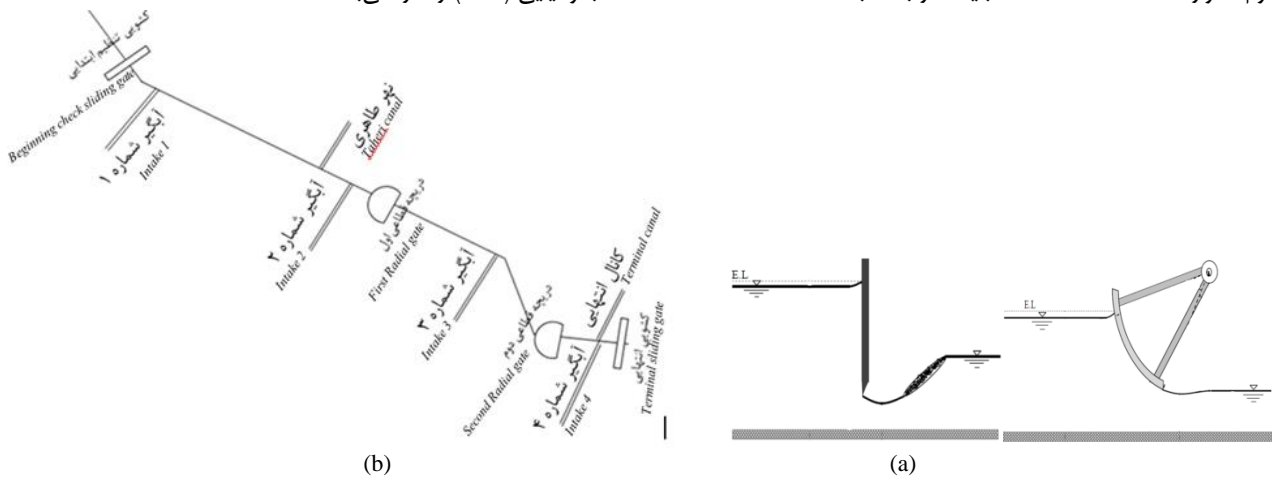
معرفی سازه‌های تنظیم و آگیری در مسیر کانال

ساختمان‌های تنظیم‌کننده در شبکه‌های آبیاری روباز برای تنظیم جریان عبوری و کنترل رقوم سطح آب کانال بالادست یا به هر دو منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱). به منظور کنترل مقدار آب رهاشده از سدها و همچنین سطح آب در کانال‌های آبرسانی، نیاز به نصب سازه‌های مناسب بر روی سدها و کانال‌ها می‌باشد تا به این ترتیب سطح آب و میزان دبی عبوری با مقدار تقاضا هماهنگ گردد. درپچه‌ها از جمله سازه‌هایی هستند که برای کنترل دبی در کانال‌ها، در خروجی‌ها و در سرریزها بکار می‌روند (۱۹) و درپچه‌های قطاعی متداول‌ترین وسیله برای کنترل و تنظیم آب در سرریز سدها و کانال‌های انحرافی هستند (۲۱). موقعیت سازه‌های تنظیم و آگیری موجود در طول مسیر کانال اصلی شیب‌آب در شکل ۲ ارائه شده است. مشخصات سازه‌های موجود نیز در جدول‌های ۳ و ۴ آمده است. وجود سد انحرافی بر روی رودخانه سیستان موجب ایجاد تراز ثابت آب در بالادست سازه ابتدای کانال می‌شود که این وضعیت، شرایط مرزی بالادست در شبیه‌سازی‌های هیدرولیکی را مشخص می‌کند. شرایط مرزی پایین دست کانال نیز با استفاده از اندازه‌گیری‌های عمق و دبی تعیین گردید.

۱- Standard step method

۲- Implicit finite difference

نرم افزار HEC-Geo RAS قابلیت ارتباط با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) را دارا می باشد.



شکل ۲- (a) طرح شماتیک موقعیت سازه های تنظیم و آبیگر در طول کانال مورد مطالعه، (b) طرح شماتیک دریچه های قطاعی و کشویی
Figure 2- (a) Schematic drawing of the Shibab's adjustment and intake structures along the studied canal. (b) Schematic drawing of radial and sliding gates

جدول ۳- موقعیت مکانی و مشخصات آبیگرهای کانال اصلی شیب آب در آبیاری مورد نظر

Table 3- Location and properties of the Shibab's main channel intakes in desired irrigation

فاصله از سد سیستان (m)	شکل دریچه	تعداد دهانه	ارتفاع × عرض (m*m)
Distance from Sistan Dam	Gate form	Number of openings	Width*Height
1593.4	Slide	3	2.5*2
6234	Slide	12	1*2
7625.6	Slide	2	2.5*2
13407.8	Slide	2	2*1.5
19932	Slide	1	1.7*1.3
19932	Slide	2	1.4*1.3

جدول ۴- موقعیت مکانی و مشخصات سازه های تنظیم کانال اصلی شبکه شیب آب

Table 4- Location and properties of the Shibab's main channel adjustment structures

فاصله از سد سیستان (km)	تعداد دهانه	نوع سازه	ارتفاع × عرض (m*m)
Distance from Sistan Dam	Number of openings	Structure type	Width*Height
7.8835	1	قطاعی (همراه با دو چک) Radial (with 2 check)	4*1.75
14.1565	1	قطاعی (همراه با دو چک) Radial (with 2 check)	4*1.75

معادله پیوستگی

$$F_c = [\theta(Q_r - Q_l) - (1 - \theta)(Q_M - Q_J)]\Delta t + [\theta(A_L - A_J + Z_L) + (1 - \theta)(A_R - A_M + Z_R)]\Delta x = 0 \quad (1)$$

معادله مومنتوم

$$F_m = [(1 - \theta)(Q_R - Q_M) + \theta(Q_L - Q_J)]\frac{\Delta x}{g} + \theta(P_R - P_L + \frac{Q_R^2}{gA_R} - \frac{Q_L^2}{gA_L})\Delta t + (1 - \theta)(P_M - P_J + \frac{Q_M^2}{gA_M} - \frac{Q_J^2}{gA_J})\Delta t + (1 - \theta)[\theta A_R + (1 - \theta)A_M]\Delta x\Delta t + \theta[\theta D_L + (1 - \theta)D_J] + (1 - \theta)[\theta D_R + (1 - \theta)D_M]\Delta x\Delta t = 0 \quad (2)$$

در روابط فوق Δt و Δx ، گام های زمانی و مکانی، θ و \emptyset

معادلات حاکم بر جریان در مدل HEC-RAS

در حالت ماندگار معادله انرژی با استفاده از روش گام به گام استاندارد حل شده و پروفیل سطح آب به دست می آید. شبیه سازی جریان غیرماندگار بر اساس حل تفاضل محدود ضمنی^۱ معادلات St. Venant زیر بنا شده است. معادلات سنت ونانت با انتگرال گیری نسبت به متغیرهای مستقل زمان و مکان از معادلات تفاضل های محدود جزیی به معادلات غیرخطی جبری تبدیل می شود (۷).

۱- Implicit finite-difference solution

$$MP_A = \frac{1}{T} \sum_T \frac{1}{N} \sum_N (P_A), \begin{cases} Q_D < Q_R \\ P_A = \frac{Q_D}{Q_R} \end{cases}, \begin{cases} Q_D > Q_R \\ P_A = 1 \end{cases} \quad (3)$$

راندمان تحویل

$$MP_F = \frac{1}{T} \sum_T \frac{1}{N} \sum_N (P_F), \begin{cases} Q_D > Q_R \\ P_F = \frac{Q_R}{Q_D} \end{cases}, \begin{cases} Q_D < Q_R \\ P_F = 1 \end{cases} \quad (4)$$

عدالت تحویل

$$MP_E = \frac{1}{T} \sum_T CV_N \cdot P_A \quad (5)$$

پایداری در تحویل

$$MP_D = \frac{1}{N} \sum_N CV_T \cdot P_A \quad (6)$$

که در روابط بالا: $Q_D =$ دبی واقعی تحویلی به هر دریچه آبیگر، $Q_R =$ دبی مورد نیاز هر دریچه آبیگر جهت تأمین اراضی پایین دست آن = N ، تعداد دریچه‌های آبیگر، $CV_N \cdot P_A =$ ضریب تغییرات مکانی، $P_A =$ ضریب تغییرات زمانی، $CV_T \cdot P_A =$ ضریب تغییرات زمانی، $T =$ تعداد گام‌های زمانی مناسب در یک دوره تحویل که به طول دوره بهره‌برداری و Δt بستگی دارد و از رابطه $T = t_{dur} / \Delta t$ محاسبه می‌شود. Δt و t_{dur} به ترتیب طول دوره بهره‌برداری و طول گام زمانی محاسبات هیدرولیکی بر حسب ساعت می‌باشند. برای درک بهتر از وضعیت هر یک از این شاخص‌ها، از جدول ۵ نیز می‌توان استفاده کرد (۱۵).

فاکتورهای وزنی مکان و زمان، زیرنویس‌های R و L مربوط به گره‌های راست و چپ در زمان شبیه‌سازی و زیرنویس‌های J و M، مربوط به زمان t-1 می‌باشند. P و D ترم‌های فشار و کشش هستند.

شاخص‌های مورد استفاده ارزیابی عملکرد

شاخص‌های دسته‌بندی شده مدیریتی ارزیابی عملکرد، پارامترهایی هستند که بطور مستقیم به مدیریت دستگاه بهره‌برداری بستگی دارند و قابلیت دستگاه اداره‌کننده بر آن‌ها تأثیرگذار است. در بین شاخص‌های کمی ارائه شده برای این مجموعه شاخص‌های مدیریتی کفایت (MP_A)، راندمان (MP_F)، عدالت (MP_E) و پایداری (MP_D) مولدن و گیتس به لحاظ بی‌بعد بودن و سادگی اندازه‌گیری آن‌ها مناسب‌ترین شاخص‌ها تشخیص داده شده‌اند (۱۵). هدف آن است که در یک دوره تحویل بر حسب نیاز پایین دست، شاخص‌های ذکر شده در ترکیب مناسبی در یک تابع هدف بطور همزمان و با توجه به شرایط واقعی برای آبیگرها، بهینه شوند. راهکار رسیدن به این هدف تنظیم بهینه دریچه‌های آبیگر و سازه‌های کنترل است که در فرآیند بهینه‌سازی تعیین می‌شود. روابط محاسباتی این شاخص‌ها به شرح زیر است:

(۱) کفایت تحویل:

جدول ۵- مقادیر استاندارد شاخص‌های ارزیابی عملکرد هیدرولیکی شبکه‌های آبیاری
Table 5- Standard values for indices of hydraulic performance of irrigation networks

شاخص‌های ارزیابی (Evaluation indexes)	کلاس‌های ارزیابی (Evaluation classes)		
	خوب (Good)	متوسط (Fair)	ضعیف (Poor)
کفایت (Adequacy)	0.9-1	0.8-0.89	0.8 >
راندمان (Efficiency)	0.85-1	0.7-0.84	0.7 >
عدالت (Equity)	0-0.1	0.11-0.24	0.25 <
پایداری (Reliability)	0-0.1	0.11-0.2	0.2 <

بستگی به اهمیت شاخص‌ها دارند. اگر γ_i تفاوت سطح عملکرد شاخص با مقدار ایده‌آش باشد می‌توان مقادیر γ_i را به یک نسبت بزرگ کرده و تأثیر این تغییرات را بررسی نمود. بنابراین شکل پارامتری مناسب برای ضریب وزنی C_i که در برگزیده موارد فوق باشد به صورت زیر خواهد بود:

$$C_i = 1 + \theta \gamma_i \quad (8)$$

از آنجایی که مقدار ایده‌آل شاخص‌های کفایت و راندمان ۱ می‌باشد، لذا تابع هدفی که مقدار بهینه شاخص‌های فوق را ارائه دهد به صورت ترکیب خطی زیر است که مقدار حداقل آن (مقدار ایده‌آل صفر آن) مورد نظر می‌باشد:

$$FF = C_1(1 - MP_A) + C_2(1 - MP_F) + C_3 MP_E + C_4 MP_D \quad (7)$$

مقادیر C_i در رابطه فوق ضرایب وزنی جملات تابع هدف هستند که

دست سازه‌های تنظیم در کانال اصلی و بالادست سازه‌های آبیگر ورودی کانال‌های فرعی، استفاده شد.

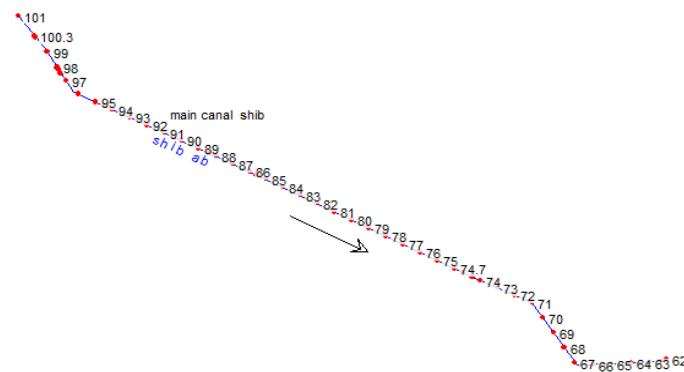
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{n}} \quad (9)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - p_i)}{n} \quad (10)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2 - \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{o})^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2} \quad (11)$$

نحوه شبیه‌سازی در مدل HEC-RAS

در این طرح طول کانال اصلی شیب‌آب حدود ۱۹ کیلومتر و شامل دو سازه کنترل قطاعی در مسیر کانال اصلی و چهار کانال آبیگر درجه ۲ با تعداد ۳ یا ۴ دهانه آبیگر مستطیلی شکل می‌باشد (مطابق شکل ۲)، که بر این اساس تعداد ۸۷ مقطع عرضی در طول کانال اصلی، توسط نقشه‌برداری برداشت و به شکل پلان زیر به مدل معرفی گردید (شکل ۳).



شکل ۳- طرح شماتیک کانال اصلی شبکه شیب‌آب و مقاطع عرضی در مدل

Figure 3- Schematic drawing of the Shibab network's main channel and cross sections in model

کانال ۷ روز پس از شروع آبیگری، باز بودن دریاچه‌های آبیگر کانال‌های شماره ۱، ۲ و ۳ و بازشدگی ناگهانی دریاچه‌های کانال‌های درجه ۲ طاهری، کانال شیب‌آب بالا و کانال شماره ۴ پس از گذشت ۷ روز تا انتها، به نرم‌افزار معرفی شده و شرایط مرزی طبق جدول ۶ برای تک‌تک سازه‌ها تعریف گردید. گزینه بهره‌برداری دوم: طبق این گزینه، دریاچه‌های آبیگری کانال اصلی شیب‌آب ابتدا در ارتفاع ۷۰ سانتی‌متری و در ادامه با اعمال مدیریت طی زمان‌بندی مشخص شده ۱۵ روز آبیگری با فرض تنظیم ۲۴ ساعته دریاچه‌ها با دقت ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر باز شده و نهایتاً در روز هفتم به حداکثر بازشدگی خود یعنی ۲ متر می‌رسد. شرایط مرزی در مدل برای تک‌تک سازه‌ها به شرح جدول ۶ و هیدروگراف جریان ورودی به کانال طی ۱۵ روز دوره بهره‌برداری مطابق شکل ۴ در نظر گرفته شد. در جدول زیر منظور از سازه IS، سازه تنظیم و LS، سازه آبیگر است.

که در آن θ پارامتری است که در اجراهای متعدد مقادیر مختلف (معمولاً ۱ الی ۱۰) به آن داده شده و تأثیر آن در جواب‌های بهینه بررسی می‌شود تا احیاناً جواب‌های بهتر در صورت امکان جستجو شوند. از طرفی در تابع هدف می‌توان جهت سهولت کار و ارزش‌گذاری یکسان برای شاخص‌های مورد استفاده از مقدار ۱ برای ضرایب وزنی استفاده نمود (۱۴). در این مطالعه نیز از مقدار $C_i = 1$ برای شاخص‌های کیفیت و راندمان استفاده شده است.

واسنجی مدل

واسنجی مدل بر اساس داده‌های شرایط واقعی بهره‌برداری برای دوره ۱۰ روزه آبیگری کانال در تاریخ ۲ تا ۱۱ اردیبهشت انجام شد. در این راستا مقادیر پارامترهای آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و انحراف نتایج (MBE) با مقدار بهینه صفر و نیز راندمان شبیه‌سازی (EF)، مطابق روابط زیر جهت مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای عمق و دبی به ترتیب در بالادست و پایین

گزینه‌های بهره‌برداری

شرایط مختلف بهره‌برداری از سازه‌های موجود، در دو حالت کلی زیر در مدل تعریف و مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. گزینه بهره‌برداری اول: با استفاده از اطلاعات کسب شده از اداره آب منطقه‌ای سیستان و نیز بازدیدها و داده‌برداری‌های صورت گرفته در فصل آبیاری، طی یک مرحله آبیگری ثبت شده ۱۵ روزه با دبی ورودی ۲۴/۳۵۷ متر مکعب بر ثانیه به کانال، دریاچه‌های آبیگری کانال اصلی ابتدا در ارتفاع ۷۵ سانتی‌متری و در ادامه بدون در نظر گرفتن مدیریت بر بهره‌برداری و تنظیمات دریاچه‌ها طی مدت زمان مشخص شده و تنها تحت شرایط واقعی حاکم بر آبیگری کانال در منطقه، بازشدگی ناگهانی دریاچه‌های آبیگر ابتدای کانال اصلی ۶ روز پس از شروع آبیگری کانال، تنظیم ناگهانی سازه‌های آب‌بند مسیر

نتایج و بحث

نتایج واسنجی مدل

مدل HEC-RAS قادر به واسنجی تمامی پارامترهای هیدرولیکی جریان و هندسی آبراهه (کانال) می‌باشد. همانطور که اشاره شد واسنجی مدل بر اساس داده‌های شرایط واقعی بهره‌برداری برای دوره ۱۰ روزه آبیگری کانال، در تاریخ ۲ تا ۱۱ اردیبهشت، در دبی ورودی ۲۴/۳۵۷ متر مکعب بر ثانیه به کانال، زمانی که جریان به حالت پایدار

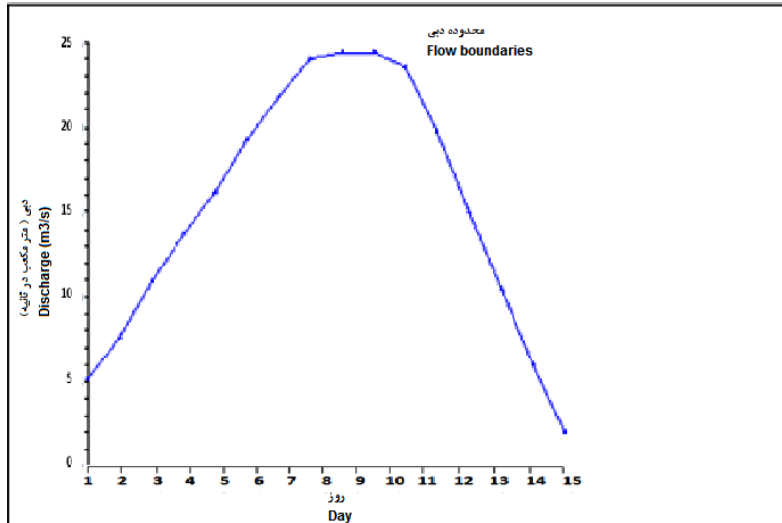
خود رسیده و عمق‌ها در بیشترین میزان آبیگری کانال‌های درجه ۲ تغییر نمی‌کنند، با استفاده از پارامترهای آماری MBE، RMSE، EF برای مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی عمق و دبی انجام گرفت و نتایج مطابق جدول ۷ بدست آمد. همچنین در شکل ۵ از خط ۴۵ درجه و دامنه خطای ۱۰ درصد از آن برای مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی عمق و دبی استفاده شده است.

جدول ۶- شرایط مرزی مورد استفاده در مدل برای سازه‌های تنظیم و آبیگر در دو گزینه بهره‌برداری این پژوهش

Table 6- Boundary conditions used in the model for intake and adjustment structures at two operational scenarios of this research

گزینه بهره‌برداری Operating option	گزینه بهره‌برداری اول First operating option	گزینه بهره‌برداری دوم Second operating option
نوع سازه Structure type	شرایط مرزی Boundary conditions	شرایط مرزی Boundary conditions
-	هیدروگراف جریان Flow hydrograph	هیدروگراف جریان Flow hydrograph
IS	سری زمانی بازشدگی‌های دریچه Time series of gate openings	سری زمانی بازشدگی‌های دریچه Time series of gate openings
LS	سری زمانی بازشدگی‌های دریچه Time series of gate openings	دریچه کنترل شده توسط تراز سطح آب Controlled gate with water surface level
LS	سری زمانی بازشدگی‌های دریچه Time series of gate openings	دریچه کنترل شده توسط تراز سطح آب Controlled gate with water surface level
LS	سری زمانی بازشدگی‌های دریچه Time series of gate openings	دریچه کنترل شده توسط تراز سطح آب Controlled gate with water surface level
LS	سری زمانی بازشدگی‌های دریچه Time series of gate openings	دریچه کنترل شده توسط تراز سطح آب Controlled gate with water surface level
IS	سری زمانی بازشدگی‌های دریچه Time series of gate openings	سری زمانی بازشدگی‌های دریچه Time series of gate openings
LS	سری زمانی بازشدگی‌های دریچه Time series of gate openings	دریچه کنترل شده توسط تراز سطح آب Controlled gate with water surface level
IS	سری زمانی بازشدگی‌های دریچه Time series of gate openings	سری زمانی بازشدگی‌های دریچه Time series of gate openings
LS	سری زمانی بازشدگی‌های دریچه Time series of gate openings	دریچه کنترل شده توسط تراز سطح آب Controlled gate with water surface level
LS	سری زمانی بازشدگی‌های دریچه Time series of gate openings	دریچه کنترل شده توسط تراز سطح آب Controlled gate with water surface level
IS	سری زمانی بازشدگی‌های دریچه Time series of gate openings	سری زمانی بازشدگی‌های دریچه Time series of gate openings
-	عمق نرمال Normal depth	عمق نرمال Normal depth

*در این پژوهش، در شرایط مرزی عمق نرمال برای مقطع کانال انتهایی (۶۲)، مطابق با شیب طولی کانال، شیب ۰/۰۰۰۰۵ در نظر گرفته شد

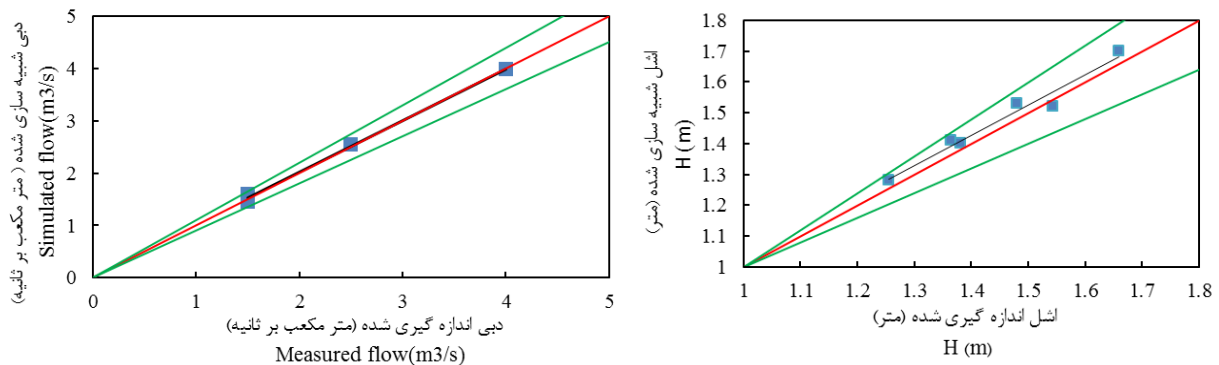


شکل ۴- هیدروگراف جریان ورودی به کانال در دبی ۲۴/۳۵۷ متر مکعب در ثانیه
Figure 4- Inflow hydrograph with 24.357 cubic meters per second discharge

جدول ۷- نتایج پارامترهای آماری حاصل از واسنجی مدل برای مقادیر عمق و دبی

Table 7- The results of the statistical parameters of the model calibration for depth and discharge

شاخص آماری Statistical parameter	واسنجی بر حسب عمق Calibration based on depth	واسنجی بر حسب دبی Calibration based on discharge	مقدار بهینه شاخص The optimal value of parameters
RMSE	0.0449	0.083	0
EF	0.9025	0.9949	1
MBE	-0.0101	-0.025	0



شکل ۵- مقایسه عمق و دبی جریان در شرایط واقعی و مدل شده
Figure 5- Comparison of depth and flow rate in actual and model condition

کانال‌های درجه ۲ می‌باشد.

نتایج شبیه‌سازی مدل

با استفاده از مدل HEC-RAS به بررسی شرایط واقعی بهره‌برداری از سازه‌های موجود در شبکه پرداخته و سپس گزینه‌های بهره‌برداری مورد نظر، اجرا و نتایج آن بصورت زیر بدست آمد. سپس عملکرد سازه‌ها از نظر شاخص کفایت و راندمان مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه در جدول ۸ نتایج حاصل از شبیه‌سازی جریان در شرایط واقعی و پیشنهادی ذکر شده، ارائه شده است.

با توجه به نتایج واسنجی ملاحظه می‌شود که مقادیر نزدیک به یک شاخص‌های EF، و مقادیر کم و نزدیک به صفر شاخص‌های RMSE و MBE، بیانگر واسنجی خوب مدل برای تعیین شرایط هیدرولیکی جریان کانال مورد نظر می‌باشد. با در نظر گرفتن توأم نتایج واسنجی عمق و دبی می‌توان ادعا کرد دقت شبیه‌سازی مدل برای هر دو نوع کمیت، نسبتاً خوب است. همچنین می‌توان گفت وجود خطای بین شبیه‌سازی و مشاهدات، نشان دهنده خطا در اندازه‌گیری‌ها و یا حاکی از وجود مقداری رسوب در دهانه ورودی

جدول ۸- مقایسه توزیع جریان در آبگیرهای جانبی در دبی پیک بر اساس دو گزینه بهره‌برداری
Table 8- Comparison of the distribution of peak discharge in the lateral intakes based on operational options

گزینه بهره‌برداری Operating option	نام کانال Canal name	مساحت زیر کشت (هکتار) The area under cultivation (ha)	حجم آب مورد نیاز (متر مکعب) The volume of water required(m ³)	دبی مورد نیاز (دور آبیاری ۳۰ روز) Required discharge(30 days irrigation period)	دبی پیک برآورد شده با HEC-RAS HEC-RAS Maximize discharge estimated by HEC-RAS	خطای تحویل دبی Discharge delivery error	خطای نسبی Relative error
گزینه بهره‌برداری اول First operating option	درجه ۲ شماره ۱ Order2 Number1	7185.85	32192640	12.42	5.39	-7.03	0.56
	نهر طاهری Taheri Canal	307.221	1376352	5.31	10.29	4.98	0.93
	درجه ۲ شماره ۲ Order2 Number2	2632.5	11793600	4.55	3.66	-0.89	0.19
	درجه ۲ شماره ۳ Order2 Number3	1527.42	6842880	2.64	2.10	-0.54	0.2
	انتهای شیب‌آب بالا End of Shibab Upstream	405	1814400	1.7	0.79	-0.91	0.53
	درجه ۲ شماره ۴ Order2 Number4	1955.57	8760960	3.38	1.36	-2.02	0.59
	جمع کل Total summation	14013.561	62780832	30	23.59	16.37	0.54
	درجه ۲ شماره ۱ Order2 Number1	7185.85	32192640	12.42	7.49	-4.93	0.39
	نهر طاهری Taheri Canal	307.221	1376352	5.31	8.59	3.28	0.61
	درجه ۲ شماره ۲ Order2 Number 2	2632.5	11793600	4.55	4.58	0.03	0.0066
درجه ۲ شماره ۳ Order2 Number3	1527.42	6842880	2.64	1.9	-0.74	0.28	
انتهای شیب‌آب بالا End of Shibab Upstream	405	1814400	1.7	0.58	-1.12	0.66	
درجه ۲ شماره ۴ Order2 Number4	1955.51	8760960	3.38	0.82	-2.56	0.75	
جمع کل Total summation	14013.561	62780832	30	23.96	12.66	0.42	

جدول ۹- نتایج حاصل از بهینه‌سازی تابع هدف و شاخص‌های عملکرد در دوره ۱۵ روزه برای دو گزینه بهره‌برداری

Table 9- Optimization results of objective function and performance indicators for two operational options in 15 days period

شاخص‌های عملکرد Operating index	کفایت تحویل Delivery adequacy		راندمان تحویل Delivery Efficiency		پایداری در تحویل Delivery reliability		عدالت در تحویل Delivery equity		تابع هدف Objective function	
	واقعی Real	مدیریتی Mangement	واقعی Real	مدیریتی Mangement	واقعی Real	مدیریتی Mangement	واقعی Real	مدیریتی Mangement	واقعی Real	مدیریتی Mangement
تاریخ Date										
۱۳۹۲/۰۲/۱۸										
05/08/2013	0.8	0.94	0.76	0.9	0.11	0.065	0.18	0.095	0.73	0.32
۱۳۹۲/۰۲/۱۹										
05/09/2013	0.67	0.81	0.63	0.77	0.104	0.062	0.18	0.06	0.984	0.524
۱۳۹۲/۰۲/۲۰										
05/10/2013	0.68	0.82	0.64	0.78	0.108	0.064	0.22	0.11	1.008	0.574
۱۳۹۲/۰۲/۲۱										
05/11/2013	0.64	0.78	0.6	0.74	0.21	0.063	0.31	0.116	1.28	0.659
۱۳۹۲/۰۲/۲۲										
05/12/2013	0.64	0.78	0.6	0.74	0.212	0.063	0.35	0.121	1.322	0.664
۱۳۹۲/۰۲/۲۳										
05/13/2013	0.56	0.7	0.52	0.66	0.213	0.061	0.35	0.122	1.483	0.823
۱۳۹۲/۰۲/۲۴										
05/14/2013	0.74	0.88	0.7	0.84	0.214	0.061	0.37	0.126	1.144	0.467
۱۳۹۲/۰۲/۲۵										
05/15/2013	0.8	0.94	0.76	0.9	0.202	0.06	0.38	0.13	1.022	0.35
۱۳۹۲/۰۲/۲۶										
05/16/2013	0.83	0.97	0.79	0.93	0.19	0.059	0.43	0.143	1	0.302
۱۳۹۲/۰۲/۲۷										
05/17/2013	0.83	0.97	0.79	0.93	0.189	0.057	0.4	0.141	0.969	0.298
۱۳۹۲/۰۲/۲۸										
05/18/2013	0.75	0.89	0.71	0.85	0.185	0.055	0.36	0.11	1.085	0.425
۱۳۹۲/۰۲/۲۹										
05/19/2013	0.72	0.86	0.68	0.82	0.178	0.048	0.36	0.085	1.138	0.453
۱۳۹۲/۰۲/۳۰										
05/20/2013	0.69	0.83	0.65	0.79	0.165	0.045	0.35	0.074	1.175	0.499
۱۳۹۲/۰۲/۳۱										
05/21/2013	0.65	0.79	0.61	0.75	0.182	0.036	0.26	0.071	1.182	0.567
۱۳۹۲/۰۳/۰۱										
05/22/2013	0.67	0.79	0.63	0.75	0.093	0.089	0.26	0.071	1.053	0.62
میانگین دوره Period average	0.711	0.85	0.67	0.81	0.170	0.0592	0.317	0.105	1.105	0.5042

کانال‌های درجه ۲ شماره ۳ و ۲ اختصاص دارد. تنها کانال طاهری در دبی حداکثر آبیگری خود با مازاد آب مواجه شده و بقیه کانال‌های جانبی با کمبود آب مواجه هستند. همچنین مطابق نتایج گزینه دوم بهره‌برداری، میزان خطای نسبی تحویل دبی پیک ۰/۴۲ متر مکعب بر ثانیه برآورد شده که مقایسه آن با خطای تحویل گزینه اول نشان می‌دهد اعمال مدیریت تنظیمات در پیچه‌های سازه‌های آب‌بند و آبیگر تأثیر بهبود دهنده قابل توجه ۰/۱۲ بر کاهش خطای تحویل دبی دارد که می‌تواند بدلیل باز بودن مستمر در پیچه کشویی انتهایی از ابتدا تا انتهای دوره آبیگری و هدر رفتن آب بیشتر از انتهای کانال و خارج شدن از شبکه باشد. بیشترین سهم ایجاد خطای نسبی در بین

بر اساس جدول ۸، در مجموع بطور متوسط در طول مدت مورد مطالعه، آب تحویلی به بهره‌برداران غالباً کمتر از حد مورد نیاز بوده است که این مقدار در شرایط واقعی معادل ۱۱/۳۹ کمبود و ۴/۹۸ مازاد و در وضعیت مدیریتی معادل ۹/۳۵ کمبود و ۳/۳۱ مازاد تحویل دبی می‌باشد. در گزینه بهره‌برداری اول میزان خطای نسبی تحویل دبی ۰/۵۴ برآورد شده که خطای نسبتاً بالایی در آبیگری کانال‌های فرعی است. بیشترین سهم ایجاد خطای نسبی در بین آبیگرهای در حال آبیگری در آبیاری مورد نظر، به نهر طاهری با ۱۲ دهانه، کانال درجه ۲ شماره ۱ با ۳ دهانه، کانال آبیگر اراضی شیب‌آب بالا و در نهایت کانال درجه ۲ شماره ۴ با ۲ دهانه و کمترین میزان خطا به

پس از واسنجی مدل اقدام به برآورد شاخص‌های عملکرد کفایت، راندمان، عدالت و پایداری در تحویل در طی دوره آبیاری ۱۵ روزه برای کانال بر اساس دبی‌های شبیه‌سازی و دبی‌های مورد نیاز هر آبگیر گردید. در جدول‌های ۹ و ۱۰ مقادیر این شاخص‌ها و تابع هدف و درصد بهبود روزانه آن‌ها برای شرایط واقعی و مدیریتی (گزینه بهره‌برداری اول و دوم) ارائه و سپس مقادیر روزانه این شاخص‌ها در نمودارهای میله‌ای در شکل ۶ به تصویر در آمده است.

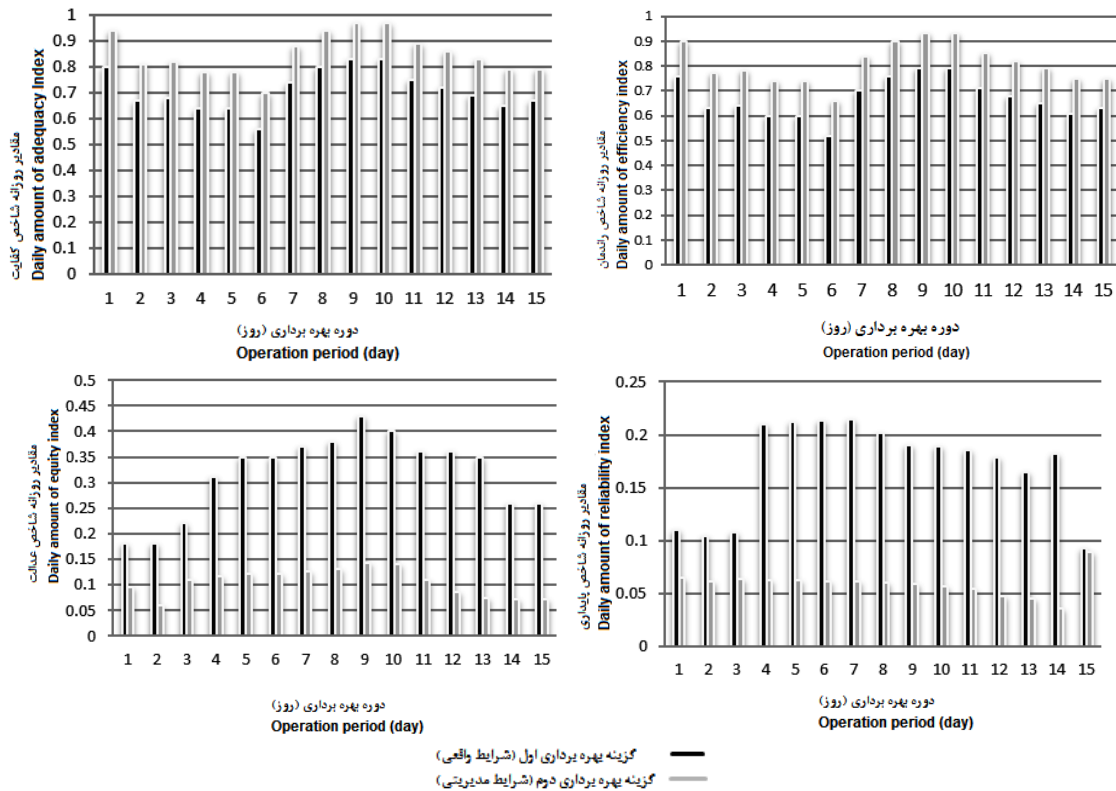
آبگیرهای در حال آبیگری در این گزینه، به کانال درجه ۲ شماره ۴، کانال آبیگری اراضی شیب‌آب بالا و نهر طاهری و کمترین سهم ایجاد خطا به کانال شماره ۲ اختصاص دارد. در کانال‌های ابتدایی کاهش خطای قابل توجهی رخ می‌دهد. تنها نهر طاهری و کانال درجه ۲ شماره ۲ در دبی حداکثر آبیگری خود با مازاد آب و بقیه کانال‌های جانبی با کمبود آب مواجه هستند.

نتایج ارزیابی شاخص‌های عملکرد

جدول ۱۰ - نتایج درصد بهبود شاخص‌های عملکرد از شرایط واقعی به شرایط مدیریتی

Table 10- Results of improved performance indicators from the actual to management condition

شاخص عملکرد Operating index	درصد بهبود هر شاخص					
	تاریخ Date	کفایت تحویل Delivery adequacy	راندمان تحویل Delivery efficiency	پایداری در تحویل Delivery reliability	عدالت در تحویل Delivery equity	تابع هدف Objective function
۱۳۹۲/۰۲/۱۸	05/08/2013	17.5	18.42	40.90	47.22	56.16
۱۳۹۲/۰۲/۱۹	05/09/2013	20.89	22.22	40.38	66.66	44.91
۱۳۹۲/۰۲/۲۰	05/10/2013	20.58	21.87	40.74	50	43.05
۱۳۹۲/۰۲/۲۱	05/11/2013	21.87	23.33	70	62.58	48.51
۱۳۹۲/۰۲/۲۲	05/12/2013	21.87	23.34	70.28	65.42	49.77
۱۳۹۲/۰۲/۲۳	05/13/2013	25	26.92	71.36	65.14	44.50
۱۳۹۲/۰۲/۲۴	05/14/2013	18.91	20	71.49	65.94	59.17
۱۳۹۲/۰۲/۲۵	05/15/2013	17.5	18.42	70.29	65.78	65.75
۱۳۹۲/۰۲/۲۶	05/16/2013	16.86	17.74	68.94	66.74	69.8
۱۳۹۲/۰۲/۲۷	05/17/2013	16.867	17.72	69.84	64.75	69.24
۱۳۹۲/۰۲/۲۸	05/18/2013	18.66	19.71	70.27	69.44	60.82
۱۳۹۲/۰۲/۲۹	05/19/2013	19.44	20.58	73.03	76.38	60.193
۱۳۹۲/۰۲/۳۰	05/20/2013	20.28	21.53	72.72	78.85	69.93
۱۳۹۲/۰۲/۳۱	05/21/2013	21.53	22.95	80.21	72.69	52.03
۱۳۹۲/۰۳/۰۱	05/22/2013	17.91	19.04	4.30	70.60	41.12
میانگین درصد بهبود Average percentage of improvement		19.70	20.90	65.24	66.07	54.81



شکل ۶- مقایسه مقادیر روزانه شاخص‌های عملکرد در طی دوره ۱۵ روزه آبیاری برای دو گزینه بهره‌برداری
Figure 6- Comparison of the daily performance indicators for two operational options during 15 days period

جدول ۱۱- کلاس‌های ارزیابی شده شاخص‌های عملکرد در شرایط واقعی و مدیریتی
Table 11- Assessed categories of performance indicators in actual and management condition

کلاس ارزیابی شاخص‌های عملکرد Evaluation Class of operating index	تعداد روزها Number of days			
	عدالت Equity	پایداری Reliability	راندمان Efficiency	کفایت Adequacy
شرایط واقعی Real Condition	0	1	0	0
شرایط مدیریتی Management Condition	6	15	5	4
شرایط واقعی Real Condition	3	9	6	4
شرایط مدیریتی Management Condition	9	0	9	6
شرایط واقعی Real Condition	12	5	9	11
شرایط مدیریتی Management Condition	0	0	1	5

عدالت، پایداری و سپس به راندمان و کفایت نسبت داد. نمودارهای میله‌ای شکل ۶ و جدول ۱۱ بیانگر شرایط مساعدتر توزیع آب بین آبگیرها در روزهای بین ۷ تا ۱۲ دوره برای راندمان و کفایت (نزدیکی به ۱) و در روزهای بین ۹ تا ۱۴ برای عدالت و پایداری (نزدیکی به صفر) در شرایط مدیریتی می‌باشد.

با توجه به نتایج جدول ۹ و نیز درصد بهبود شاخص‌ها در جدول ۱۰، اختلاف مقادیر شاخص‌های عدالت و پایداری از گزینه اول بهره‌برداری به گزینه دوم، بیشتر و مشهودتر از شاخص‌های کفایت و راندمان می‌باشند؛ بنابراین می‌توان بیشترین سهم بهبود تابع هدف در شرایط مدیریتی نسبت به شرایط واقعی را به ترتیب به شاخص‌های

در شرایط موجود بهره‌برداری در هیچ یک از روزهای آبیاری انتخابی، دبی تحویلی با دبی مورد نیاز تطبیق نداشته و توزیع دبی ورودی به آبیگرها ناعادلانه بوده است.

با اعمال مدیریت بر روی سازه‌های مسیر کانال بر اساس گزینه بهره‌برداری پیشنهادی در مقایسه با شرایط بهره‌برداری موجود، میزان کمبود دبی تحویلی نسبت به دبی کل شبکه در آبیاری مورد نظر، به میزان ۰/۱۲ کاهش می‌یابد.

بیشترین سهم بهبود در وضعیت تابع هدف برای شیوه مدیریتی پیشنهادی سازه‌های کنترل و تنظیم کانال اصلی شیب آب مربوط به شاخص‌های عدالت و پایداری با مقادیر میانگین درصد بهبود به ترتیب برابر ۰۶۶/۰۷، ۶۵/۲۴ می‌باشد.

با در نظر گرفتن قابلیت‌های گسترده مدل HEC-RAS در تحلیل هیدرولیکی و انجام محاسبات پروفیل سطح آب در جریان‌های ماندگار و غیرماندگار و محاسبات انتقال رسوب در مرز متحرک، توجه به این نکته ضروری است که این مدل برای سطح وسیعی از کانال‌های مصنوعی و طبیعی و رودخانه‌ها طراحی شده و تمامی ضرایب محاسبات هیدرولیکی سازه‌های اختصاصی شبکه‌های آبیاری را ندارد اما با در نظر گرفتن محدودیت‌های مدل می‌توان از آن به عنوان یک مدل کاربردوست در شبیه‌سازی جریان در شبکه‌های آبیاری و زهکشی سیستم استفاده نمود.

بررسی نتایج جدول ۱۱ نشان می‌دهد که با توجه به طبقه‌بندی ارائه شده توسط مولدن و گیتس در طول دوره بهره‌برداری، وضعیت کفایت تحویل آب به بهره‌برداران از ۴ روز کلاس متوسط و ۱۱ روز ضعیف به ۴ روز کلاس خوب، ۶ روز متوسط و فقط ۱ روز ضعیف و وضعیت راندمان تحویل شبکه نیز از ۶ روز متوسط و ۹ روز ضعیف به وضعیت ۵ روز کلاس خوب، ۹ روز متوسط و تنها ۱ روز ضعیف تغییر وضعیت داده است. همچنین پایداری توزیع آب بین آبیگرها از فقط ۱ روز به ۱۵ روز کلاس خوب یعنی کل دوره مورد مطالعه و نیز عدالت توزیع از ۳ روز کلاس متوسط و ۱۲ روز کلاس ضعیف به ۶ کلاس خوب و ۹ روز کلاس متوسط بدون هیچ کلاس ضعیفی تغییر وضعیت داده‌اند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس نتایج واسنجی، مدل HEC-RAS می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب در شبیه‌سازی گزینه‌های مختلف بهره‌برداری کانال اصلی شیب‌آب مورد استفاده قرار گیرد. عمق‌ها و دبی‌های حاصل از شبیه‌سازی جریان با عمق و دبی‌های اندازه‌گیری شده در آبیاری مورد نظر کمی مغایرت دارد که از دلایل این تفاوت می‌توان به گستردگی عوامل تأثیرگذار از جمله خطا در اندازه‌گیری دبی‌ها و خطاهای شرایط هندسی و مرزی مدل، اشاره نمود.

منابع

- 1- Akbarian A. 2007. Design of Small Canal Structures. P. 189. Amidi Press, Tabriz, Iran. (in Persian)
- 2- Burt C. M., and Styles S. 1998. Modern Water Control and Management Practices in Irrigation: Impact on Performance. Proceeding of the First International ITIS Network Meeting on Modernization of Irrigation System Operations, India: 62-79.
- 3- Dahmardeh M. 2010. Performance Analysis of Poshtab and Shibab Main Channels in Sistan Plain using HEC-RAS Model. Msc thesis in agriculture faculty, University of Zabol, Iran. P. 129. (in Persian with English abstract)
- 4- Ghodusi H., Monem M.J., and Emadi A. 2009. Using Hydrodynamic Models in Determination of Irrigational Channels Operation in Unsteady Flow Conditions, National Conference of Water. P. 6. Soil, Planet and Agricultural Machinery, Azad University of Dezfoul, Dezfoul, Iran. (in Persian with English abstract)
- 5- Goussard J. 2000. Canal Operation Simulation Models. International Commission on Irrigation and Drainage Publisher (ICID Pub). New Delhi.
- 6- Habib Z., Shahid B., and Butta M. 1992. The Utility of a Simulation Model for Pakistan Canal Systems. Cemagref-IIMI International Workshop on the Application of the Mathematical Modeling for Improvement of Irrigation Canal Operation, Octobr 26-30, Montpellier, France, pp. 131-150.
- 7- HEC-RAS. 2010. River Analysis System, Reference Manual, Version 4.1. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 411p.
- 8- Isalou-Pasban N., Zadeh-Deli A., Farsadi-Zadeh D., and Sadrodini A.A. 2008. Hydraulic Operation Evaluation of Water Flow Measurement Structures, Case Study: L1D/R2M Slide Gate Canal of Moghan Irrigation and Drainage Network, Technical Workshop on the Management. Operation and maintenance of Irrigational and Drainage Networks, Tehran, Iran. (in Persian with English abstract)
- 9- Islam A., Raghuwanshi N. S., and Singh R. 2008. Development and Application of Hydraulic Simulation Model for Irrigation Canal Network. Irrigation and Drainage Engineering, 134: 1(49).
- 10- Javid A., and Muhammad L. 2009. Flexibility Analysis of Irrigation Outlet Structures using Simulation of Irrigation Canal Hydrodynamic Model. Irrigation science. 29: 127-134.
- 11- Jebelifard S., and Omidvar A. 2002. HEC-RAS River Analysis System, Jahad Daneshgahi. P. 371. Tehran, Iran. (in Persian)

- 12- Litrico X., and Fromion V. 2004. Analytical Approximation of Open-Channel Flow for Controller Design. *Applied Mathematical Modeling*, 28: 677-695.
- 13- Mishra A., Anand A., Sing R., and Ranghuwanshi N. S. 2001. Hydraulic Modeling of Kangsabati Main Canal for Performance Assessment. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE 127(1): 27-34.
- 14- Mohseni Movahed S.A., Mohseni N., and Norouzpour S. 2010. Assessing Impacts of Weighting Indicators on Optimum Performance of Irrigation Canals. *Journal of Water and Soil*, 24: 1083-1096. (in Persian with English abstract)
- 15- Molden D. J., and Gates T. K. 1990. Performance Measures for Evaluation of Irrigation Water Delivery Systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, American Society of civil Engineering (ASCE), 116: 804-822.
- 16- Monem M.J., and Kiapasha M.S. 2009. Training and Testing of Upstream Phase Automated Control Systems in Irrigation Canals. *Iran Water Research Journal*, 4: 41-50. (in Persian)
- 17- Montazar A.A., and Pashazadeh N. 2010. Performance Assessment of West Main Canal of Dez in the Different Water Operational Scenarios Using CANALMAN Model. *Journal of Water and Soil*, 25: 125-139. (in Persian with English abstract)
- 18- Samani J.M. 2004. Report of Applied Research Plan: Legal Studies of Sistan Plain Water Resources. Code 410, No 7302. (in Persian)
- 19- Shafai-Bajestan M. Open Channel Flow. P. 386-388. Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. (in Persian)
- 20- Soltani H., Maroufi S., and Boroumand nasab S. 2006. Representation of a Mathematical Equation for Estimation of Channels Efficiencies (Case Study in Shavour Irrigation and Drainage Network). The 1st Conference on Optimum Utilization of Water Resources, 5-6 Sep. 2006. Shahrekord, Iran. (in Persian)
- 21- Zalaghi A. 2005. Flow Discharge Coefficient in Radial Gate. Msc thesis in water structures field, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. (in Persian with English Abstract).

Evaluation of Control and Adjustment Structures of the Shibab Main Canal Using HEC-RAS

M. Mohammadi¹ - F. Hassanpour^{2*} - M. Azizpour Pirsaraie³

Received: 22-04-2015

Accepted: 07-12-2015

Introduction: Poor performance of irrigation and drainage networks causes to reduce the transfer and distribution throughputs and in result comes useless water and makes too much consumption in forming. A significant portion of water losses in irrigation and drainage networks is related to transmission and distribution. Therefore more consideration in irrigation network management, improve irrigation efficiency and also the exploitation of water resources, especially in the agricultural sector is necessary. Controlling and adjusting structures of water level in the direction of drainage and irrigation canals can influence on increasing of throughput and decrease the use of water. So, right choosing and recognition of the deficiencies of these structures helps carry up the throughput of the networks and prevents to waste water. It is hard to solve equations of water flow in canals and related institutions by using analytic methods. For this reason, this research was done with HEC-RAS hydraulic model in the main channel of irrigation and drainage network of Sistan plain.

Materials and Methods: Sistan plain is located in southeastern of Iran with good potential for agricultural production because of the alluvial sediments from Hirmand River. 23820 ha of the Sistan plain is covered by 5 blocks of the Shibab irrigation and drainage network. While Sistan's Shibab irrigation network efficiency is low, HEC-RAS Hydraulics model in unsteady condition was performed to control and adjust this network's main canal in approximately 19 Km length. In this research, the evaluation model in the canal was performed for more suitable intake of water in the quadruple order 2 canals. So, the existing structure's operation was analyzed on controlling structures in management and lack of management situations. This research was assessed during a 15-day impounding period using hydraulic model of HEC-RAS with the aim of performance and operation evaluation of existing structures on the Shibab main canal. HEC-RAS model was prepared by United States army corps of engineers which is developed by the hydrologic engineering center. HEC-RAS analyzes river system and runs under the Windows operating system. This software package is of hydraulic analysis program series, where the user communicates with the system via a graphical user interface (GUI). The system is capable of performing steady and unsteady flow water surface profile calculations. HEC-RAS software is designed to perform one dimensional hydraulic calculation for a full network of natural and synthetic channels. Visits were made before and after the beginning of irrigation, and during the Operation, in order to record the data of the flow and observe the way of utilization of canal, and existing structures. Then, the model was calibrated on the basis of depth and discharge measurement and simulation data in real condition of operation for 10 days impoundment during 21 to 30 April, and the Statistical parameter values: RMSE, EF, MBE and R2 were calculated. Then the objective function was evaluated using operational performance indexes of adequacy, efficiency, equity and reliability of Morden and Gates regarding to HEC-RAS simulation results in unsteady condition.

Results and Discussion: According to the simulation results in existing condition, the error of delivery discharge is equal to 0.54 while applying the management on the adjustment structure of irrigation network declined the error to 0.42. By the canal route structure management in HEC-RAS model, on the basis of proposed operation option, according to existing operation condition, delivery discharge loss in comparison to the total discharge of the network 0.12 value decreases. Based on the simulation results, the mean percentage of improvement in performance indexes of adequacy, efficiency, equity and reliability, as well as objective function of delivery discharge are equal to 19.7, 20.90, 66.07, 65.24 and 54.81. Therefore based on simulation results of different scenarios and investigation of the effective factors onto the flow, on the forms of charts and tables show that without management on controlling structures, it isn't possible to appropriate of flow rate onto second class canals and traditional streams branched out main canal and also streams branched out second class canals, properly.

1, 2 and 3- Former M.Sc. Water Structures, Associate Professor and Instructor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Respectively

(* - Corresponding Author Email: Hassanpourir@uoz.ac.ir)

Conclusion: The results show that the model of HEC-RAS is proper for hydraulic simulation of main canal in the irrigation and drainage network of Sistan plain. Based on the simulation results of different scenarios of this research, the most improvements in the objective function are allocated to equity and reliability indexes in the Shibab main canal with the proposed management method.

Keywords: Irrigation network, HEC-RAS, Performance indexes, Sistan plain, Unsteady flow