

توسعه تعدادی از شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی سازه‌ای و کاربرد آنها در تحلیل فرایند بهره‌برداری کانال‌های آبیاری

علی اصغر منتظر^۱، صلاح کوچک‌زاده^۲ و محمدحسین امید^۲

چکیده

شیوه آنالیز حساسیت از جمله شیوه‌های نوین مطالعه جریان بوده که از اوخر دهه نود میلادی مطرح گردیده و در حال حاضر مراحل توسعه خود را طی می‌نماید. در این روش با استفاده از روابط جریان دائمی و اطلاعات وضعیت ساختار فیزیکی شبکه‌های آبیاری، واکنش سیستم نسبت به تغییرات و اختلالات هیدرولیکی و سازه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته و امکان مطالعه جریان فراهم می‌گردد. در این تحقیق ضمن تدوین تعدادی از شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی سازه‌ای، از این شاخص‌ها در رفتار سنگی جریان یک کانال آبیاری استفاده شد. بدین منظور، با استفاده از نتایج شبیه‌سازی‌های یک کانال واقعی با مدل Sobek، شاخص‌های حساسیت در دو گزینه بهره‌برداری محاسبه و بر اساس آنها، به مطالعه روند تنظیم و توزیع جریان در سطح کانال پرداخته شد. نتایج نشان داد، شاخص‌های حساسیت از کارایی قابل توجهی در ارزیابی پتانسیل سازه‌ها و بازه‌های کانال به عملیات بهره‌برداری برخوردار می‌باشند. یافته‌های تحقیق بیانگر آن است که با محاسبه مقادیر کمی این شاخص‌ها در سطح کانال‌های آبیاری، سیستم اطلاعاتی جامعی تهیه گردیده که ضمن فراهم آمدن امکان ارزیابی پتانسیل پاسخگویی سیستم نسبت به اختلالات سازه‌ای، امکان برآورد دقیق عملیات بهره‌برداری سازه‌ها و هم‌چنین شیوه و فرکانس مناسب بهره‌برداری آنها متبادر می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آبگیر، اختلال، بهره‌برداری، سازه آبیاری، شاخص حساسیت، کانال

مقدمه

بهره‌برداری فهمیده می‌شود. مشکل این روابط در محدودیت کاربری در فرایند بهره‌برداری است چرا که در حال حاضر امکان مطالعه روند انتشار و توسعه اختلالات (Perturbations) در شبکه‌های آبیاری با استفاده از آنها میسر نمی‌باشد. از طرفی دانش انتشار و یا تحلیل اختلالات در طول کانال آبیاری یک

مطالعه جریان در شبکه‌های آبیاری با استفاده از روابط جریان‌های دائمی و غیردائمی صورت می‌پذیرد. روابط جریان‌های دائمی غالباً در طراحی سیستم‌های آبیاری کاربرد داشته و به خوبی توسط متخصصان طراح و حتی متولیان

۱. استادیار مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
۲. به ترتیب دانشیار و استادیار مهندسی آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

مجاری تخلیه جریان در چند کanal آبیاری از شبکه‌های آبیاری هند استفاده نمودند (۶). در تعریفی که ایشان ارائه کردند، نسبت تغییرات نسبی بدنه تخلیه کننده به تغییرات نسبی عمق جریان به عمق نرمال کanal تغذیه، به عنوان حساسیت تخلیه کننده‌ها معرفی شد. هورست در سال ۱۹۸۳ با مطالعه حساسیت سازه‌های آبیاری، این مفهوم را به سطح کanal ارتباط داده و شاخص انعطاف پذیری تغییرات اعمالی در بدنه ورودی کanal تعریف کرد (۳). شاخص انعطاف پذیری هورست عبارت است از نسبت تغییرات نسبی بدنه آبگیری به تغییرات نسبی بدنه جاری در کanal تغذیه. او در این تئوری که آن را تئوری پاسخگویی سیستم نامید، وضعیت پاسخگویی مقاطع آبگیری را با این شاخص مورد مطالعه قرار داد. هورست تغییرات شاخص انعطاف پذیری را تابعی از نوع سازه‌ها در نظر گرفته که بسته به نوع سازه‌های تنظیم و توزیع و وضعیت جریان مقادیر مختلف صفر، واحد، بزرگ‌تر و کوچک‌تر از واحد خواهد داشت. آلبینسون در ۱۹۸۶ مطالعاتی بر روی حساسیت سازه‌های آبگیر و تنظیم کننده (Cross regulator) انجام داده و تحلیلی در زمینه ترکیب اثرات حساسیت سازه‌های مجاور تنظیم کننده ارائه نمود (۲). شنان در سال ۱۹۹۲، در رابطه ارائه شده محبوب و گوالاتی به جای عمق نرمال، عمق واقعی جریان در بالادست آبگیر را جایگزین نموده و آن را به عنوان شاخص حساسیت آبگیرها پیشنهاد نمود (۱۱). رینالت و هماکومارا در ۱۹۹۹ تعریف دیگری از حساسیت ارائه نمودند که در آن به جای تغییرات نسبی عمق جریان از تغییرات مطلق عمق جریان استفاده شد. آنها اصول آنالیز حساسیت دریچه‌ها را برای نوسانات و اختلالات عمق جریان و تنظیم سازه‌ها توسعه داده و در مطالعه کanal‌هایی از شبکه‌های ماهاویل و کیریندویای سری لانکا و شبکه فوردوای (Fordova) پاکستان به کار برند (۹). رینالت در سال ۲۰۰۰ چند رابطه تحلیلی برای بازه‌های کanal ارائه

مهم در امر پایش (Monitoring) و نیل به بهره‌برداری کارایی سیستم می‌باشد (۱۰). روابط جریان غیر دائمی توانمندی کافی در تحلیل جریان را دارا بوده اما از پیچیدگی خاصی برخوردار می‌باشند که فرآگیری کاربری آنها را محدود می‌نماید (۴). شیوه آنالیز حساسیت (Sensitivity analysis approach) به عنوان یک شیوه نوین بینابینی، بین این دو روش مطالعه جریان مطرح بوده که از اواخر دهه نود میلادی نظر تعدادی از متخصصان آبیاری را به خود معطوف ساخته است. در این روش با استفاده از روابط جریان دائمی و وضعیت ساختار فیزیکی شبکه به ارزیابی واکنش سیستم نسبت به تغییرات و اختلالات ورودی و تحلیل جریان پرداخته می‌شود.

حساسیت به عنوان قابلیت پاسخگویی به اثرات و فشارهای بیرونی تعریف می‌شود (۹). در این روش، رفتار سیستم نسبت به تغییرات و اختلالات پارامترهای ورودی سنجیده می‌گردد. شاخص حساسیت هیدرولیکی یک سازه آبیاری به عنوان نسبت تغییرات نسبی و یا مطلق پارامترهای هیدرولیکی خروجی از سازه به تغییرات نسبی و یا مطلق پارامترهای هیدرولیکی ورودی به سازه تعریف می‌شود (۱۱). طبق تعریف خواهیم داشت:

[۱] = حساسیت هیدرولیکی سازه آبیاری
تغییرات پارامترهای هیدرولیکی ورودی / تغییرات پارامترهای هیدرولیکی خروجی
دانش آنالیز حساسیت سعی در دست‌یابی به یک سیستم اطلاعاتی به منظور پاسخ دادن به سوالات زیر دارد (۷).
(۱) تمایل طبیعی سیستم نسبت به تأثیرپذیری از تغییرات و اختلالات چگونه است؟ (۲) تمایل طبیعی سیستم به تولید و انتشار نوسانات و اختلالات چگونه است؟ (۳) عملکرد سیستم چگونه از حساسیت سازه‌ها تأثیر می‌پذیرد؟ (۴) موقعیت و نقاط حساس سیستم از نقطه نظر کاهش عملکرد کدام‌اند؟ (۵) فرایند بهره‌برداری کارآمد و ساده سیستم کدام است؟

مطالعات اولیه در رابطه با حساسیت آبگیرها (Offtakes) به سال ۱۹۵۱ بر می‌گردد که محبوب و گوالاتی تعریفی از حساسیت مجاری تخلیه کننده ارائه داده و از آن برای بررسی

ارتفاع سطح مبنا بوده که کف کanal و یا رقوم تاج سرریز پایین دست سازه در نظر گرفته می‌شود و β برابر ضریب توانی رابطه بده حاکم بر مرحله دو می‌باشد. مقادیر α و β به ترتیب به دو پارامتر الگوی جریان عبوری از سازه، به تعییری روگذار بودن یا زیرگذار بودن جریان عبوری از سازه، و وضعیت جریان پایین دست سازه، مستغرق و یا آزاد بودن جریان، بستگی دارند.

در این مقاله شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی به صورت S_{z} نمایش داده می‌شوند که اندیس α بیانگر متغیر یا پارامتری است که حساسیت نسبت به آن ارزیابی می‌شود و اندیس β بیانگر متغیر یا پارامتری است که حساسیت تغییرات آن در جریان سازه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به تعییر دیگر α مربوط به متغیر اثرگذار در روند یک اختلال و β مربوط به متغیر یا پارامتر اثربخش در این روند است. در سازه‌های تنظیم کننده بر عکس آبگیرها متغیر اثرگذار در روند اختلالات، تغییرات نسبی به عبوری و متغیر اثر پذیر مقدار مطلق تغییرات عمق جریان بالادست سازه می‌باشد. بدین ترتیب در تنظیم کننده‌ها شاخص حساسیت هیدرولیکی عمق جریان به تغییرات نسبی بده (S_{qh}) قابل تعریف بوده که رابطه محاسباتی آن عکس معادله ۳ می‌باشد.

به منظور مطالعه فرایند توزیع و تنظیم جریان در یک کanal باید به مطالعه جریان در بازه‌های آن پرداخت. بازه‌ها کوچک‌ترین واحد یک شبکه آبیاری بوده که شرایط هیدرولیکی آنها نقش اصلی را در عملکرد شبکه ایفا می‌نماید. به فاصله‌ای از کanal که بین دو سازه تنظیم کننده واقع می‌شود، بازه اطلاق می‌گردد. مطالعه جریان در بازه‌ها نیز با مطالعه اختلالات در بازه‌ها امکان پذیر می‌باشد. اختلالات ورودی در سطح بازه را می‌توان به دو نوع هیدرولیکی و سازه‌ای تقسیم‌بندی کرد. منظور از اختلال هیدرولیکی، اعمال یک تغییر جزئی در بده ورودی بازه بوده و اختلال سازه‌ای به مفهوم اعمال تغییرات جزئی در میزان تنظیم سازه‌های موجود در سطح یک بازه می‌باشد. شکل ۱ نمای شماتیک یک بازه در یک کanal را نمایش می‌دهد.

نموده و عملکرد توزیع سیستم را به حساسیت بازه‌ها ارتباط داد (۸).

این تحقیق با هدف توسعه شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی اختلالات سازه‌ای و ارائه مدل تحلیل جریان کanal‌های آبیاری با استفاده از این شاخص‌ها انجام پذیرفت. بدین منظور با استفاده از نتایج شبیه سازی دو گزینه بده حداقل و حداقل بهره‌برداری کanal وادودارا (Vadodara) و روابط توسعه یافته، مقادیر کمی شاخص‌های حساسیت اختلالات سازه‌ای محاسبه و بر اساس آنها روند تنظیم و توزیع جریان کanal مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تدوین شاخص‌های حساسیت

با فرض تأثیرپذیری رفتار هیدرولیکی جریان سازه‌های آبیاری (سازه‌های توزیع و تنظیم) از شرایط هیدرولیکی مراحل مختلف عبور جریان از سازه (مرحله یک) و ورود جریان به کanal پایین دست سازه (مرحله دو)، بر هر یک از این مراحل، یک رابطه دبی - عمق مترتب خواهد بود (۸). بدین ترتیب می‌توان شاخص حساسیت هیدرولیکی بده سازه آبگیر به عمق جریان (S_{hq}) را از رابطه زیر محاسبه نمود (۱).

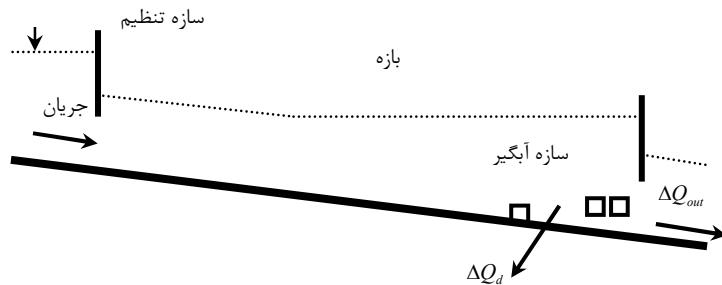
$$S_{\text{hq}} = \frac{dq/q}{dH_{\text{US}}} = \frac{\alpha}{H'_E} \quad [2]$$

که در آن:

$$\begin{aligned} dq/q &= \text{تغییرات نسبی بده آبگیر} \\ dH_{\text{US}} &= \text{تغییرات مطلق عمق جریان بالادست سازه} \\ \alpha &= \text{ضریب توانی رابطه بده حاکم بر مرحله یک} \\ H'_E &= \text{افت بار (Head Loss) جریان خروجی از سازه} \\ &\text{می‌باشد. مقدار افت بار جریان خروجی از سازه از رابطه زیر} \\ &\text{قابل محاسبه خواهد بود (۱).} \end{aligned}$$

$$H'_E = (H_{\text{US}} - H_{\text{DS}}) + \frac{\alpha}{\beta} (H_{\text{DS}} - H_{\text{REF}}) \quad [3]$$

در رابطه ۳، H_{US} برابر عمق مطلق جریان بالادست سازه، H_{DS} برابر عمق جریان پایین دست سازه، H_{REF} برابر



شکل ۱. نمای شماتیک یک بازه از کanal

اختلال هیدرولیکی تغییرات جزئی بده مدنظر می‌باشد، تغییرات بده آنها ناچیز و قابل صرف نظر کردن است. بدین ترتیب تعیین رابطه تغییرات عمق در طول بازه کanal و تغییرات عمق در بالادست سازه تنظیم بازه، در مطالعه اختلالات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در این زمینه استرلکف با مطالعه فرم بدون بعد منحنی‌های برگشت جریان بر وجود یک رابطه خطی بین تغییرات عمق بالادست سازه تنظیم و عمق جریان در طول بازه کanal تأکید می‌کند (۱۲). رینالت نیز در مطالعات خود بر روی شبکه‌هایی از کشورهای سریلانکا و پاکستان به این نکته اشاره نموده و از این فرض در ارائه روابط تحلیلی مربوطه استفاده می‌کند (۸). در این تحقیق نیز مطالعات جامعی روی منحنی‌های برگشت آب در طول بازه‌های مختلفی از کanal‌ها با شرایط فیزیکی - هیدرولیکی متفاوت انجام گرفت که وجود رابطه خطی در این مورد تأیید گردید. با توجه به این که هدف مقاله بررسی این ارتباط نمی‌باشد، صرفاً ضمن تأیید این رابطه خطی از آن در توسعه روابط استفاده گردیده است. در توسعه روابط از انتشار اختلالات از بازه‌های پایین دست با بازه‌های بالادست صرف نظر گردید. بر این اساس رابطه تغییرات عمق در بالادست مقاطع آبگیری و تغییرات عمق در بالادست مقطع کنترل می‌تواند به صورت زیر نشان داده شود.

$$\Delta H_{US(i)} = L_i \times \Delta H_{US(R)} \quad [6]$$

در این رابطه $\Delta H_{US(i)}$ تغییرات عمق جریان در مقطع آبگیری شماره i در طول منحنی برگشت آب، L_i ضریب زاویه یا

به منظور مطالعه اختلالات سازه‌ای در سطح یک بازه، می‌توان از معادله بیلان بده استفاده نمود. این معادله در سطح یک بازه که در میزان تنظیم سازه و یا سازه‌هایی از آن تغییراتی اعمال گردیده است، به صورت ذیل قابل بیان می‌باشد. در واقع یک اختلال سازه‌ای در سطح یک بازه، باعث وجود تغییراتی در دبی سازه تنظیم کننده انتهای بازه، دبی سازه‌های آبگیری موجود در آن بازه و مقدار حجم منشور ذخیره (Storage wedge) موجود در بازه می‌شود که اجزای معادله بیلان دبی را تشکیل می‌دهند. نظر به این که تغییرات حجم منشوره ذخیره نسبت به دو جزء دیگر کمتر می‌باشد، در این مطالعه به منظور سهولت کار در استخراج روابط از مقدار آن در معادله بیلان بده صرف نظر شده است (۳).

$$\Delta Q_d + \Delta Q_{out} = . \quad [5]$$

در این رابطه ΔQ_d معادل مقدار اختلال در بده تحویلی آبگیرهای بازه و ΔQ_{out} میزان اختلال در بده خروجی سازه تنظیم کننده انتهای بازه می‌باشد، این رابطه بیانگر آن است که تأثیرات اعمال یک اختلال سازه‌ای در یک بازه، در بده آبگیرهای بازه و بده خروجی سازه تنظیم انتهای بازه خودنمایی می‌نماید. معمولاً آبگیرهای یک بازه در محدوده اثر منحنی برگشت آب (Backwater curve) واقع شده و تغییرات بده آنها نیز تابعی از همین منحنی است. امکان وجود آبگیرهایی در خارج از این محدوده برای بعضی بازه‌ها نیز دور از انتظار نیست بنابراین با توجه به این که این آبگیرها در محدوده اثر جریان یک‌نواخت بازه قرار خواهند داشت و در

خواهیم داشت:

$$\Delta q_{(m)} = \frac{q_{(m)}}{H'_{E(m)}} \left[\frac{\Delta A(w_m)}{A(w_m)} (H_{US(m)} - H_{DS(m)}) + \alpha_m \times L_m \times \Delta H_{US(R)} \right] \quad [10]$$

در رابطه ۵، ΔQ_d مرکب از دو جزء است. تغییرات بده در آبگیر m که از رابطه فوق قابل جایگذاری است و مجموع تغییرات بده در سایر آبگیرها که با استفاده از رابطه ۵ به صورت جمله اول رابطه ۱۱ قابل خلاصه می‌باشد. در رابطه (۵) به جای ΔQ_{out} می‌توان از رابطه ۴ جایگذاری نمود. بدین ترتیب رابطه ۵ به صورت زیر در خواهد آمد:

$$\Delta H_{US(R)} \times \sum_{i=1}^n L_i \times S_{hq(o)i} \times q_{(o)i} + Q_{out} \times \Delta H_{US(R)} \times (S_{qh(R)})^{-1} + \frac{q_{(m)}}{H'_{E(m)}} \times \left[\frac{\Delta A(w_m)}{A(w_m)} (H_{US(m)} - H_{DS(m)}) + \alpha_m \times L_m \times \Delta H_{US(R)} \right] = . \quad [11]$$

با جایگذاری $H'_{E(m)}$ به جای α_m در رابطه فوق و خلاصه نمودن آن، $\Delta H_{US(R)}$ از رابطه زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$\Delta H_{US(R)} = -\frac{q_{(m)}}{H'_{E(m)}} \times \left[\frac{\Delta A(w_m)}{A(w_m)} (H_{US(m)} - H_{DS(m)}) \right] \quad [12]$$

از رابطه فوق، محاسبه مقدار تغییرات عمق در بالادست سازه تنظیم کننده انتهای بازه در نتیجه عملیات بهره‌برداری سازه m ، امکان پذیر می‌باشد.

با استفاده از تعریف شاخص حساسیت تغییرات نسبی بده به مقدار تنظیم سازه (S_{wq})، و ترکیب دو رابطه ۱۲ و ۱۳ به صورت زیر در خواهد آمد:

$$S_{wq(m)} = \left(\frac{\Delta A(w_m)}{A(w_m) \times \Delta w_m} \right) \left(\frac{H_{US(m)} - H_{DS(m)}}{H'_{E(m)}} \right) \left[1 + \frac{L_m \times S_{hq(m)} \times q_m}{\sum_{i=1}^n L_i \times S_{hq(m)} \times q_m + Q_{out} \times (S_{qh(R)})^{-1}} \right] \quad [13]$$

شیب خط مورد نظر و $\Delta H_{US(R)}$ تغییرات عمق جریان در بالادست سازه تنظیم بازه می‌باشد. مادامی که بده بهره‌برداری بازه ثابت و یا تغییرات آن جزئی است، مقدار ضریب L_i ثابت و صرفاً تابعی است از موقعیت مقطعي که تغییرات عمق جریان در آن مدنظر می‌باشد (مقطع آبگیری شماره i). با تغییر بده بهره‌برداری بازه مقدار این ضریب نیز تغییر می‌کند. این تغییر به دلیل تغییر منحنی برگشت جریان با تغییر بده رخ می‌دهد. مقدار عددی L_i با فاصله گرفتن آبگیرها از سازه تنظیم کاهش یافته و برای آبگیرهایی که فاصله زیادی با سازه تنظیم داشته و یا خارج از محدوده اثر منحنی برگشت آب می‌باشند، معادل صفر است. مقدار آن برای آبگیرهای مجاور سازه تنظیم معادل یک می‌باشد. با اعمال مقادیر زیاد تغییرات بده بهره‌برداری بازه، رابطه فوق برقرار بوده بنابراین مقدار L_i تغییر می‌کند.

به منظور توسعه روابط این نوع اختلال، از روابط لگاریتمی معادلات عمومی بده (۸)، در سازه‌ای که میزان تنظیم دریچه آن تغییر می‌کند، مشتق گرفته که نتایج به صورت زیر در خواهد آمد:

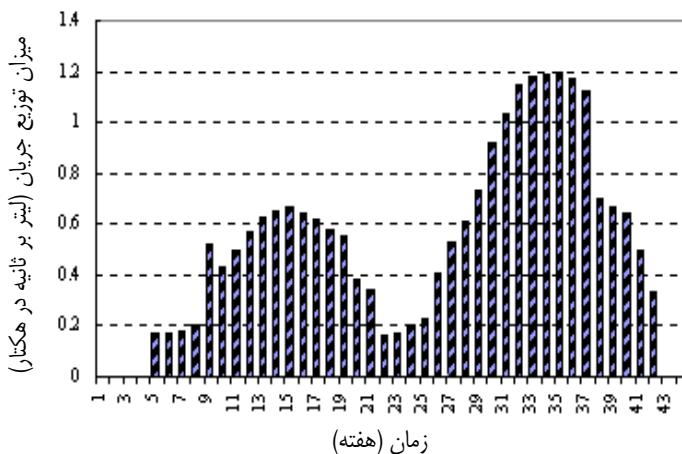
$$\frac{\Delta q_{(m)}}{q_{(m)}} = \frac{\Delta A(w_m)}{A(w_m)} + \alpha_m \times \frac{(\Delta H_{US(m)} - \Delta H_{DS(m)})}{(H_{US(m)} - H_{DS(m)})} \quad [V]$$

$$\frac{\Delta q_{(m)}}{q_{(m)}} = \beta_m \times \frac{\Delta H_{DS(m)}}{H_{DS(m)} - H_{REF(m)}} \quad [8]$$

سازه m ، سازه‌ای از بازه است که در تنظیم آن تغییر جزئی اعمال می‌شود. کلیه متغیرهای با اندیس m ، همان متغیرهای تعریف شده روابط قبل بوده که مربوط به سازه m که در آن یک اختلال سازه‌ای شده، می‌باشد. با استفاده از رابطه ۷ می‌توان $\Delta H_{DS(m)}$ را بر حسب سایر پارامترها به صورت زیر نشان داد:

$$\Delta H_{DS(m)} = \frac{\Delta q_{(m)}}{q_{(m)}} \times \frac{1}{\beta_m} (H_{DS(m)} - H_{REF(m)}) \quad [9]$$

با جایگذاری در رابطه ۶ و استفاده از رابطه تغییرات عمق جریان در بالادست سازه‌های آبگیر با تغییرات عمق جریان در بالادست سازه تنظیم (رابطه ۵) و خلاصه نمودن رابطه حاصل،



شکل ۲. تغییرات هفتگی شدت توزیع آب در واحدهای مختلف شبکه (فصل آبیاری)

متغیر است. عرض کف کanal برای بازه ابتدایی $6/3$ متر و برای بازه انتهایی $2/7$ متر و برای سایر بازه‌ها بین این دو مقدار متغیر باشد. مطالعات انجام شده بر روی وضعیت اقلیم، منابع آب و خاک و الگوی کشت منطقه بیانگر آن است که روش توزیع چرخشی آب، مناسب‌ترین روش توزیع آب در شبکه می‌باشد. بر این اساس بدء ثابت $1/157$ لیتر بر ثانیه به ازای هر هکتار بین کشاورزان به صورت چرخشی توزیع می‌شود. هر کشاورز در هر هفته برای یک زمان ثابت و مدت مشخص این آب را تحويل می‌گیرد. تغییرات بدء توزیع در سطح کanal در فصول مختلف آبیاری به طور متوسط بین 20 تا 100 درصد ظرفیت طراحی کanal متغیر بوده که روند توزیع آن در طول هفت‌های مختلف از شروع فصل آبیاری در شکل ۲ ارائه شده است(۵).

به کارگیری مدل Sobek

شبیه سازی‌های انجام شده با مدل هیدرودینامیک Sobek انجام گرفت. مدل Sobek یک بسته نرم افزاری است که قابلیت کاربری در حوزه‌های مختلف مدیریت رودخانه‌ها، مناطق شهری و روستایی را برای مجاری روباز و تحت فشار دارا می‌باشد. این مدل در سال 2000 توسط WL/Delft Hydraulic در قالب یک مدل تجاری ارائه شد. در این مدل هفت مدول مختلف وجود داشته که با توجه به اهداف شبیه سازی از حالت ترکیبی این مدول‌ها نیز می‌توان استفاده نمود. مدول

در اختلالات سازه‌ای، شاخص حساسیت عمق به میزان تنظیم سازه نیز قابل تعریف بوده که می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$S_{wh} = \frac{dH_{US}}{dw} \quad [14]$$

با ترکیب رابطه فوق با تعاریف دو شاخص حساسیت عمق با بدء و حساسیت بدء به میزان تنظیم سازه، مقدار کمی شاخص فوق از رابطه زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$S_{wh} = S_{qh} \times S_{wq} \quad [15]$$

معرفی کanal مورد مطالعه

کanal وادودارا یکی از کanal‌های درجه دو شبکه آبیاری نارمادا (Narmada) واقع در شمال غربی کشور هند می‌باشد. شبکه آبیاری نارمادا یکی از بزرگ‌ترین شبکه‌های آبیاری جهان بوده که سطح ناخالص اراضی تحت پوشش آن پس از تکمیل کلیه واحدهای به حدود دو میلیون هکتار می‌رسد. کanal وادودارا در فاصله 81 کیلومتری از ابتدای کanal اصلی نارمادا منشعب می‌شود. این کanal با طول 102 کیلومتر دارای 35 سازه تنظیم کننده و 32 سازه آبگیر بوده که کلیه آبگیرها از نوع روزنه دریچه‌دار مجهز به سریز پایین دست و تنظیم کننده‌ها نیز غالباً از نوع دریچه‌های شعاعی زیرگذر می‌باشند. ظرفیت طراحی کanal در بخش ابتدایی معادل 76 متر مکعب بر ثانیه است. شبکه کanal در طول بین $1/6$ متر در ده هزار تا 5 متر در ده هزار

انتهای کanal شروع و در جهت بازه ابتدای کanal ادامه یافت. با توجه به این که جریان در کلیه سازه‌های آبگیر و تنظیم کننده کanal از نوع زیرگذر می‌باشد، مقدار α برای کلیه سازه‌ها معادل $0/5$ در نظر گرفته شد. به منظور محاسبه β از نتایج شبیه سازی جریان در هر یک از گرینه‌های بهره‌برداری مورد مطالعه استفاده گردید.

نتایج و بحث

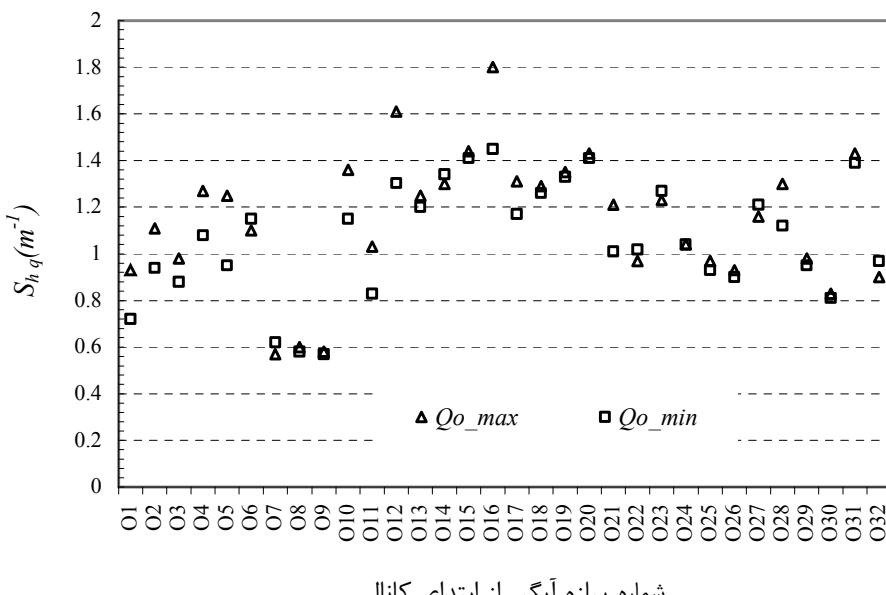
در این تحقیق ضمن تعریف شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی بدله به عمق بالادست سازه آبگیر، حساسیت هیدرولیکی عمق بالادست به بدله سازه تنظیم کننده، حساسیت بدله به مقدار تنظیم سازه‌های آبیاری و حساسیت عمق به میزان تنظیم سازه‌های آبیاری و استخراج روابط آنها، مقادیر کمی شاخص‌های حساسیت برای یک کanal واقعی محاسبه و با استفاده از این مقادیر به تحلیل جریان کanal پرداخته شد. به منظور محاسبه مقادیر افت بار هر سازه از نتایج شبیه سازی‌ها و رابطه 3 استفاده گردید. مقدار H_{REF} معادل صفر در نظر گرفته شد.

مقادیر کمی شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی بدله به عمق آبگیرها (S_{hq}) و عمق به بدله تنظیم کننده‌ها (S_{qh}) به ترتیب از روابط 2 و 4 محاسبه گردید. در شکل 3 مقادیر کمی شاخص آبگیرهای مختلف کanal به ازای بدله‌های بهره‌برداری حداقل و حداکثر مورد مقایسه قرار گرفتند. در این شکل محور افقی، شماره آبگیر و محور قائم مقدار شاخص حساسیت را نشان می‌دهد. بررسی مقادیر شاخص حساسیت آبگیرها بیانگر تغییر مقدار کمی حساسیت با تغییر بدله بهره‌برداری کanal می‌باشد. در این رابطه آبگیرهایی که فاصله بیشتری با سازه‌های تنظیم کننده دارند، تغییرات بیشتری نشان می‌دهند. حساسیت آبگیرهایی که در مجاورت سازه‌های تنظیم کننده قرار گرفته‌اند نسبت به تغییرات بدله بهره‌برداری، تغییر چندانی نشان نداده و می‌توان حساسیت آنها را در تغییرات بدله بهره‌برداری کanal ثابت فرض نمود. مقدار حساسیت هیدرولیکی آبگیر شماره 16 که طبق محاسبات حساس‌ترین آبگیر کanal وادودار است، در دو

Water Flow به منظور شبیه سازی جریان‌های دائمی و غیر دائمی مجاری رویاز به کار گرفته می‌شود. در این مطالعه، از این مدل Sobek استفاده شد. در مدل Sobek برای حل معادلات سنت ونانت از شمای محاسباتی جدیدی موسوم به شمای دلفت (Delft Hydraulic Scheme) که یک شیوه حل ضمنی (Implicit) در قالب یک شبکه متنابض است، استفاده می‌گردد. به کارگیری شمای دلفت در حل معادلات، قابلیت شبیه سازی شبکه‌های گسترده درختی، شاخه‌ای، حلقوی و پدیده‌های مختلفی مانند امواج حاصل از برگشت آب، جریان‌های بسیار کم در حد خشکی کanal و جریان‌های فوق بحرانی را با دقت بالایی برای این مدل فراهم ساخته است. امکان شبیه سازی انواع مختلف سازه‌های موجود در شبکه‌های انتقال و توزیع جریان توسط مدل وجود دارد. هم‌چنین امکان شبیه سازی بهره‌برداری‌های دستی، اتوماتیک و اعمال انواع مختلف کنترل گرهای هیدرولیکی، زمانی و PID(Proportional-integral-Derivative) در مدل پیش‌بینی شده است (۱۳).

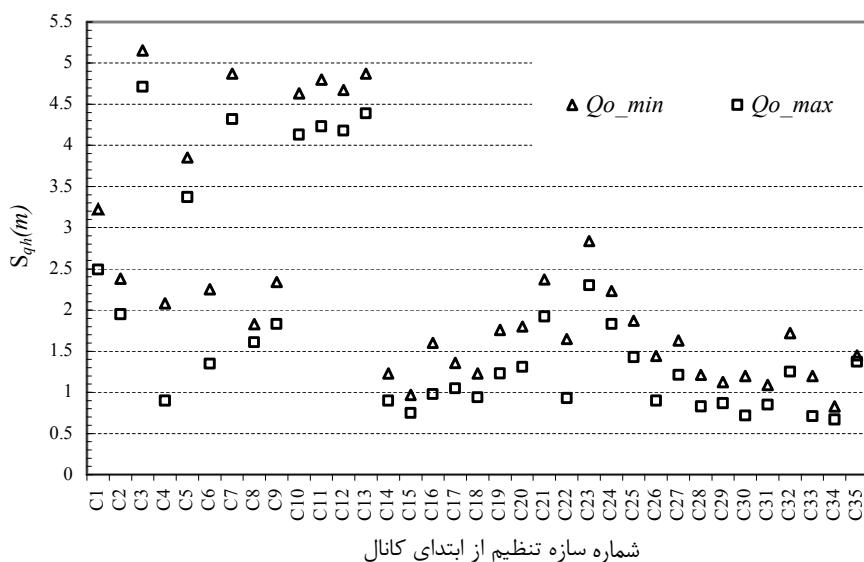
شبیه سازی‌های انجام شده

به منظور محاسبه حساسیت هیدرولیکی سازه‌های کanal وادودار، ابتدا کanal به انضمام کلیه سازه‌های موجود آن در مدل Sobek شبیه سازی گردید. شبیه سازی جریان به ازای گرینه‌های بهره‌برداری بدله حداکثر و حداقل کanal انجام گرفت. مقدار حداکثر و حداقل بدله بهره‌برداری کanal به ترتیب معادل 25 و 90 درصد بدله طراحی کanal در نظر گرفته شد. در شبیه سازی‌های انجام شده عمق جریان در بالادست کلیه سازه‌های تنظیم کننده هر بازه معادل عمق هدف که برابر عمق نرمال در بدله طراحی بازه در نظر گرفته شد، ثابت گردید. تشییت عمق در حد عمق هدف با تنظیم کننده هر بازه معادل نمودن میزان بازشدگی سازه‌های تنظیم کننده انتهای بازه‌ها انجام گرفت. در هر یک از بدله‌های بهره‌برداری فوق برای هر سازه ضرایب مورد نیاز محاسبه افت جریان عوری تعیین شد. عملیات برای هر سازه به صورت موضعی و جداگانه و از سازه‌های پایین دست بازه



شماره سازه آبگیر از ابتدای کanal

شکل ۲. مقادیر کمی حساسیت هیدرولیکی بدء به عمق سازه‌های آبگیر کanal وادودارا



شکل ۴. مقادیر کمی شاخص‌های حساسیت عمق به بدء سازه‌های تنظیم کanal وادودارا

بهره‌برداری آبگیر شماره ۱۶ نسبت به آبگیر شماره ۹ معطوف نماید. به منظور اعمال یک سطح کنترل در توزیع جریان در این دو سازه، دقت عملیات بهره‌برداری مورد نیاز آبگیر شماره ۱۶، ۳/۱ برابر آبگیر شماره ۹ خواهد بود. به تعبیر دیگر تغییرات مجاز عمق جریان در آبگیر شماره ۱۶، ۳/۱ برابر کمتر از آبگیر شماره ۹ می‌باشد.

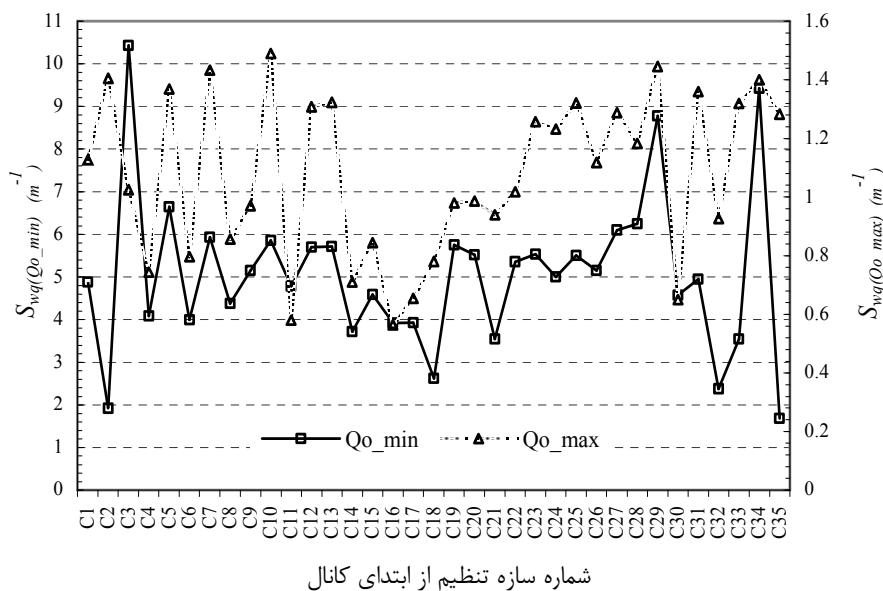
در شکل ۴ مقادیر شاخص S_{qh} سازه‌های تنظیم کanal به

بدء بهره‌برداری مورد مطالعه به ترتیب معادل ۱/۸ و ۱/۴۵ می‌باشد. مقدار حساسیت ۱/۸ به مفهوم ۱/۸ درصد تغییر در بدء آبگیری به ازای هر سانتی‌متر تغییر در عمق جریان بالادرست آبگیر می‌باشد. آبگیر شماره ۹ نیز با مقادیر حساسیت هیدرولیکی مراکزیم و مینیم $0/57$ و $0/58$ دارای کمترین مقدار حساسیت به تغییرات می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد مدیریت بهره‌برداری کanal بایستی دقت بیشتری در امور

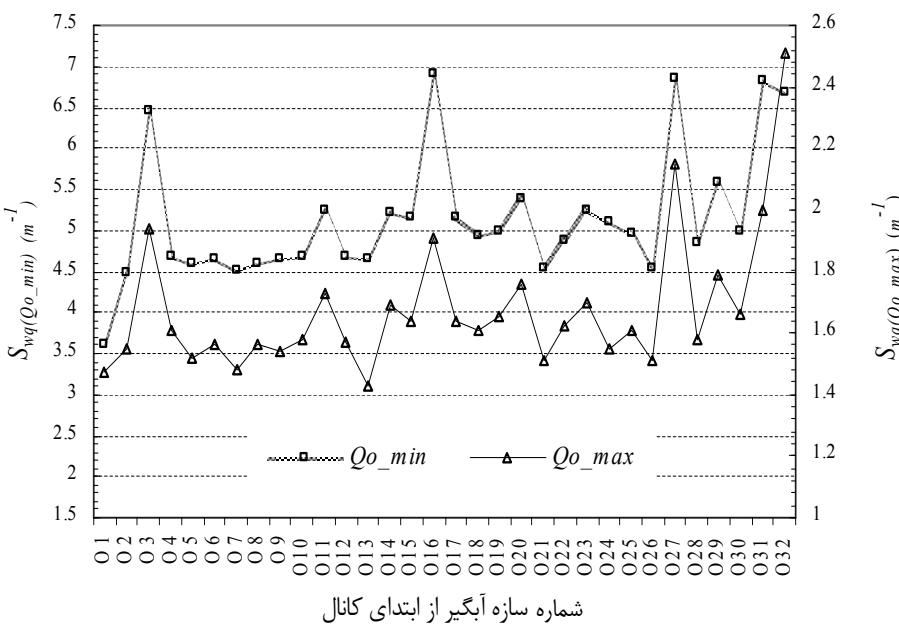
به منظور ارزیابی دقت رابطه ارائه شده، آنالیز حساسیت برای محاسبه شاخص حساسیت بدنه به میزان تنظیم سازه در اختلالات سازه‌ای (رابطه ۱۳)، مقادیر محاسبه شده این شاخص برای سازه‌های تنظیم کanal با استفاده از رابطه مذکور با مقادیر محاسبه شده (مستقیم) این شاخص با استفاده از نتایج مدل Sobek مورد مقایسه قرار گرفتند. شکل ۷ این مقایسه را برای گزینه بهره‌برداری بدنه حداقل نشان می‌دهد. مقایسه نتایج، بیانگر دقت مناسب رابطه پیشنهادی شاخص حساسیت بدنه به میزان تنظیم سازه می‌باشد. محاسبات نشان می‌دهد خطای استاندارد (Standard error) مقادیر کمی شاخص S_{wq} ، برای دو روش کمتر از ۱۰ و معادل ۹/۸۷ می‌باشد. این شاخص آماری در حالت دبی بهره‌برداری، حداقل معادل ۸/۳۱ می‌باشد. در جدول ۱ خلاصه‌ای از اطلاعات آماری مربوط به شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی سازه‌های کanal در بدنه‌های بهره‌برداری مورد مطالعه، ارائه گردیده است. در این جدول میانگین، ماکریم، مینیمم و ضریب تغییرات هر یک از شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی بدنه به عمق سازه‌های آبگیر، عمق با بدنه سازه‌های تنظیم و بدنه به میزان تنظیم سازه‌های آبگیر و تنظیم کanal در هر یک از بدنه‌های بهره‌برداری مورد مطالعه آمده است. داده‌های این جدول نشان می‌دهد مقدار کمی شاخص حساسیت عمق به دبی سازه‌های تنظیم کننده کanal نسبت به شاخص حساسیت دبی به عمق سازه‌های آبگیر بیشتر می‌باشد. لازم به ذکر است که تفاوت در مقدار هر یک از شاخص‌ها به دلیل تعریف متفاوت شاخص‌ها و نشان دادن حساسیت‌های پارامترهای مختلف نسبت به یکدیگر در هر یک از آنها می‌باشد. بررسی مقادیر شاخص‌های حساسیت بدنه به میزان بازشدنگی سازه‌های تنظیم و آبگیر بیانگر آن است که مقدار این شاخص در سازه‌های آبگیر کanal به طور متوسط ۱/۶ برابر آن در سازه‌های تنظیم می‌باشد و از این رو تنظیم بازشدنگی سازه‌های آبگیر کanal مورد مطالعه دقت بیشتری را نسبت به سازه‌های تنظیم کننده طلب می‌نماید.

ازای بدنه‌های بهره‌برداری مورد مطالعه مشخص شده‌اند. تنظیم کننده شماره سوم با مقدار شاخص حساسیت ۵/۱۵ دارای ماکریم مقدار حساسیت عمق به بدنه کanal می‌باشد. مقدار شاخص فوق بیانگر آن است که در این تنظیم کننده به ازای یک درصد تغییر در بدنه خروجی، ۵/۱۵ سانتی متر عمق جریان در بالادرست آن تغییر می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد حساسیت هیدرولیکی سازه‌های تنظیم در بدنه بهره‌برداری حداقل، ماکریم مقدار خود را دارند. بالا بودن مقدار شاخص حساسیت عمق به دبی سازه‌های تنظیم کننده ۱۰ الی ۱۳ به دلیل زیاد بودن مقدار افت جریان خروجی از این سازه‌های است. لازم به ذکر است که شاخص حساسیت عمق به دبی با افت جریان خروجی از سازه‌های تنظیم کننده رابطه مستقیم دارد. زیاد بودن مقدار افت جریان خروجی سازه‌های مذبور نیز به علت آن است که در محدوده این ۳ بازه، شبیه کanal بیشترین مقدار خود را دارد.

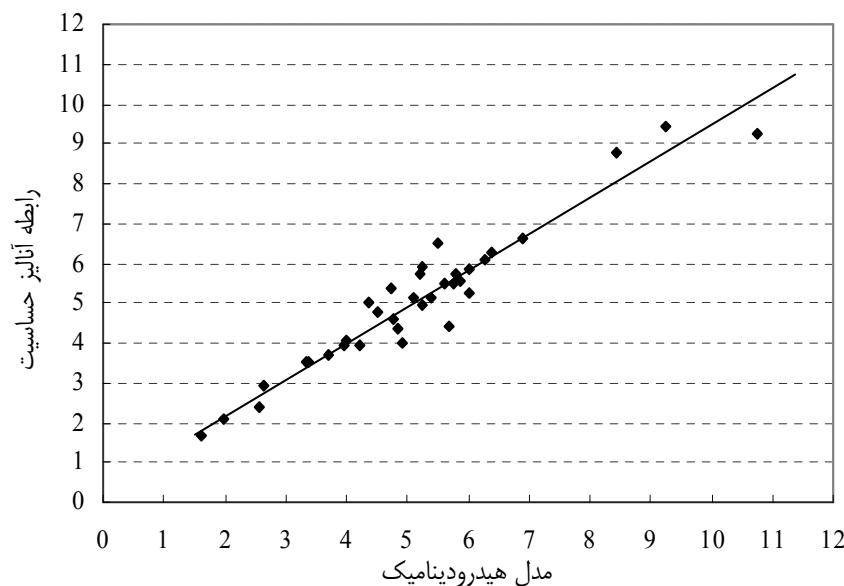
به منظور محاسبه شاخص‌های حساسیت تغییرات نسبی بدنه به میزان تنظیم (S_{wq}) سازه‌های آبگیر و تنظیم کننده کanal از رابطه ۱۳ استفاده گردید. در شکل‌های ۵ و ۶ مقادیر کمی این شاخص‌ها برای سازه‌های تنظیم و آبگیر به ازای بدنه‌های بهره‌برداری مورد مطالعه ارائه گردیده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد تنظیم کننده‌های شماره‌های ۲۹ و ۳۵ به ترتیب حداقل و حداقل مقدار این شاخص را بین سازه‌های تنظیم کننده کanal دارا می‌باشند. مقادیر این شاخص برای شرایط حداقل بهره‌برداری برای دو شاخص فوق به ترتیب عبارت اند از ۸/۷۸۵ و ۱/۶۸۵ بودند. به بیان دیگر به ازای یک سانتی متر تغییر در میزان بازشدنگی سازه تنظیم شماره ۲۹، ۸/۷۸ درصد در بدنه خروجی سازه تغییر ایجاد خواهد شد. این مقدار برای سازه تنظیم شماره ۳۵، ۱/۶۸۵ می‌باشد. حداقل و حداقل مقادیر این شاخص S_{wq} به ترتیب در شرایط بدنه بهره‌برداری حداقل و بدنه بهره‌برداری حداقل به وقوع می‌پیوندد. در رابطه با آبگیرهای کanal، آبگیرهای شماره ۱۶ و ۱ به ترتیب حداقل و حداقل مقدار این شاخص را دارا می‌باشند.



شکل ۵. مقادیر شاخص‌های حساسیت تغییرات نسبی بدء به میزان بازشدگی سازه‌های تنظیم وادودارا در بدههای بهره‌برداری مورد مطالعه



شکل ۶. مقادیر شاخص‌های حساسیت تغییرات نسبی بدء به میزان بازشدگی سازه‌های آبگیر کاتال وادودارا در بدههای بهره‌برداری مورد مطالعه



شکل ۷. مقایسه مقادیر شاخص S_{wq} سازه‌های تنظیم با استفاده از دو روش آنالیز حساسیت و مدل

جدول ۱. خلاصه اطلاعات آماری شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی سازه‌های کanal در حداقل و حداقل دبی بهره برداری

شاخص حساسیت	پارامتر	حداقل بدنه بهره برداری کanal	حداقل بدنه بهره برداری کanal
حساسیت هیدرولیکی بدنه به عمق سازه (S_{hq})	میانگین	۱/۱۴	۱/۰۶
	ماکریم	۱/۸	۱/۴۵
	مینیمم	۰/۵۸	۰/۰۷
	ضریب تغییرات	۰/۳۱	۰/۲۴
حساسیت هیدرولیکی عمق بدنه کنندۀ (S_{qh})	میانگین	۱/۸۴	۲/۳۱
	ماکریم	۴/۷۱	۰/۱۵
	مینیمم	۰/۶۷	۰/۸۳
	ضریب تغییرات	۰/۴۲	۰/۳۳
حساسیت هیدرولیکی بدنه به میزان بازشدگی سازه (S_{wq})	میانگین	۱/۶۶	۰/۱۳
	ماکریم	۲/۵۱	۶/۹
	مینیمم	۱/۴۳	۳/۶۲
	ضریب تغییرات	۰/۲۲	۰/۷۹
نیازهای تنظیم کنندۀ	میانگین	۱/۰۸	۰/۱۴
	ماکریم	۱/۴۹	۱۰/۴۲
	مینیمم	۰/۵۶	۱/۶۸
	ضریب تغییرات	۰/۲۸	۰/۶۸

کanal نیز، این شاخص حدود ۷ سانتی متر می باشد. لازم به ذکر است، در صورتی که دقت توزیع جریان آبگیرها مقدار بیشتری در نظر گرفته شود (تغییرات مجاز معادل ± 5 و یا ± 10 بده آبگیرها)، مقدار دقت بیشتری در عملیات بهره برداری سازه های تنظیم نیز مورد نیاز می باشد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که دقت بهره برداری سازه های تنظیم کanal وادودارا با مشکلاتی همراه بوده که خود می تواند به عنوان عاملی برای کاهش عملکرد توزیع در این کanal مطرح باشد. یکی از راه حل های این مشکل، مجهر نمودن تنظیم کننده های کanal به سیستم کنترل خودکار بوده که در آن عملاً مشکل تنظیمات در بهره برداری تسهیل خواهد گردید. در حال حاضر متولیان بهره برداری شبکه نارمادا در صدد طراحی و اجرای سیستم کنترل خودکار برای کanal اصلی و برخی از کanal های درجه دو شبکه می باشند. کanal وادودارا یکی از این کanal هاست. راه حل دوم آن است که حتی الامکان تغییرات در بهره برداری این سازه ها به توالی زمانی طولانی انجام گرفته تا اولاً در این محدوده زمانی امکان برقراری جریان دائمی فراهم گردد و ثانیاً آثار حاصل از تنظیمات سازه ای که همراه با ایجاد اختلال در سیستم توزیع می باشد، به حداقل برسد. نظر به این که شیوه و فرکанс مناسب بهره برداری سازه های تنظیم کننده را می توان تابعی از دو پارامتر دامنه و احتمال وقوع اختلالات و پتانسیل مدیریت اختلالات در سیستم (شکل ۹) دانست، دست یابی به این مهم با مشخص شدن این دو پارامتر که با استفاده از شاخص های حساسیت میسر است، امکان پذیر خواهد بود.

نتیجه گیری

به طور کلی یافته های این تحقیق را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

- موقعیت آبگیرها نسبت به سازه های تنظیم انتهایی بازه ها و میزان بده بهره برداری کanal ها، دو عامل مؤثر بر مقدار کمی شاخص های مختلف حساسیت هیدرولیکی سازه ها می باشند.

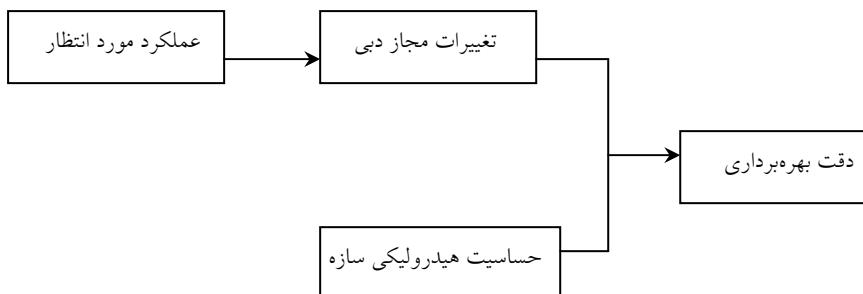
دقت بهره برداری یک سازه تنظیم کننده را می توان تابعی از دو پارامتر تغییرات مجاز بده و حساسیت هیدرولیکی عمق به میزان بازشدگی سازه تنظیم کننده دانست که تغییرات مجاز بده سازه خود بستگی به عملکرد مورد انتظار سیستم توزیع دارد، شکل (۸). از این رو با محاسبه مقدار کمی حساسیت هیدرولیکی سازه های آبگیر (S_{hq}) و استفاده از رابطه حساسیت تغییرات عمق به میزان بازشدگی سازه های تنظیم کننده (S_{wh})،
$$\Delta H_{US} = \frac{dH_{US}}{dw}$$
 امکان تعیین دقت مورد نیاز در انجام عملیات بهره برداری سازه های تنظیم کننده هر بازه میسر می گردد. بدین منظور مقدار سازه های حساس ترین آبگیر در بده بهره برداری حداقل به عنوان مقدار حساسیت ماکریم بازه انتخاب می شود. با فرض مقداری به عنوان محدوده تغییرات مجاز و مطلوب بده آبگیرها که یک متغیر مدیریتی است، می توان مقدار تغییرات مجاز عمق جریان در بالادست آبگیر (ΔH_{US}) را به منظور عدول نکردن میزان بده آبگیرها بازه مورد نظر از حد مجاز تعیین شده، از رابطه ۱۶ محاسبه نمود. در این رابطه، تغییرات مجاز بده آبگیرها معادل ± 5 درصد بده آبگیر در نظر گرفته شده است.

$$\Delta H_{US} = \frac{.05}{S_{hq(max)}} \quad [16]$$

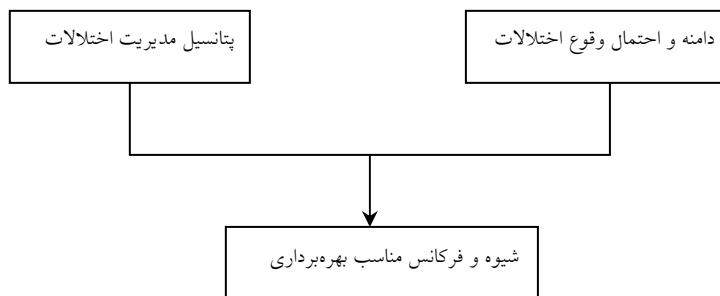
بدین ترتیب میزان دقت بهره برداری سازه تنظیم (Δw) با استفاده از رابطه ۱۴ قابل محاسبه خواهد بود. مقدار دقت مورد نیاز در بهره برداری هر یک از سازه های تنظیم بدین روش و به ازای تغییرات مجاز بده معادل ± 5 ، ± 10 و ± 15 درصد بده های آبگیری محاسبه گردید. نتایج برای تغییرات مجاز ± 15 درصد، در جدول ۲ ارائه شده است. به منظور توزیع جریان در سازه های آبگیر در محدوده این تغییرات مجاز بده (± 15 درصد)، سازه هایی که دقت بهره برداری آنها کمتر از ۱ ± سانتی متر است عملاً با دشواری بهره برداری و تنظیم مواجه می باشند. در این کanal شاخص دقت بهره برداری (Δw) برای تعدادی از سازه ها نیز بیشتر از دو سانتی متر بوده ولی مقدار عددی آنها کمتر از ۵ سانتی متر است که این نیز بیانگر لزوم دقت بالا در بهره برداری و تنظیم این سازه هاست. در چهار بازه انتهایی

جدول ۲. دقت بهره‌برداری سازه‌های تنظیم کننده کانال وادودара به ازای تغییرات مجاز بده آبگیرها

امکان پذیری تنظیم سازه	دقت بهره‌برداری حسب سانتی‌متر	دقت بهره‌برداری (Δw) بر	حساسیت هیدرولیکی S_{wh}	تنظیم کننده بازه ماکریم حساسیت هیدرولیکی آبگیری در بازه (S _{hq(max)})	مقدار تغییر عمق جریان به ازای درصد تغییرات مجاز بده (متر)	شماره بازه
بهره‌برداری بسیار مشکل است	1/۸	8/۶۹۷	۰/۱۵	۰/۹۷	۱	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	----	2/۳۹۹	بدون آبگیر	بدون آبگیر	۲	
بهره‌برداری بسیار مشکل است	2/۳۲	5/۸۴۲	۰/۱۳	۱/۱	۳	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	----	4/۶۶۴	بدون آبگیر	بدون آبگیر	۴	
بهره‌برداری بسیار مشکل است	0/۹۳	13/۶۷	۰/۱۲	1/۱۸	۵	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	----	5/۰۴۵	بدون آبگیر	بدون آبگیر	۶	
بهره‌برداری بسیار مشکل است	0/۷۴	15/۶۱۵	۰/۱۲	1/۳	۷	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	----	4/۴۵۲	بدون آبگیر	بدون آبگیر	۸	
لزوم دقت بالا در بهره‌برداری	3/۷۶	6/۵۲۷	۰/۲۴	0/۶۱	۹	
بهره‌برداری بسیار مشکل است	0/۷۶	13/۳۶۵	۰/۱	1/۴۷	۱۰	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	----	12/۷۶۶	بدون آبگیر	بدون آبگیر	۱۱	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	----	14/۷۷۸	بدون آبگیر	بدون آبگیر	۱۲	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	----	15/۴۶۰	بدون آبگیر	بدون آبگیر	۱۳	
لزوم دقت بالا در بهره‌برداری	3/۳۸	2/۵۳	۰/۰۸	1/۷۵	۱۴	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	----	2/۴۷۴	بدون آبگیر	بدون آبگیر	۱۵	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	----	3/۴۸۵	بدون آبگیر	بدون آبگیر	۱۶	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	----	2/۹۶۱	بدون آبگیر	بدون آبگیر	۱۷	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	----	2/۹۱۵	بدون آبگیر	بدون آبگیر	۱۸	
بهره‌برداری بسیار مشکل است	2/۵۴	4/۷۱۶	۰/۱۲	1/۲۵	۱۹	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	----	5/۰۲۱	بدون آبگیر	بدون آبگیر	۲۰	
لزوم دقت بالا در بهره‌برداری	3/۵۴	2/۹۳۸	۰/۱	1/۴۴	۲۱	
بهره‌برداری بسیار مشکل است	1/۸۷	4/۴۶۴	۰/۰۸	1/۸	۲۲	
بهره‌برداری بسیار مشکل است	1/۹۶	7/۷۳۳	۰/۱۵	0/۹۹	۲۳	
بهره‌برداری بسیار مشکل است	2/۴۷	5/۰۱۳	۰/۱۴	1/۱	۲۴	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	----	5/۷۱۸	بدون آبگیر	بدون آبگیر	۲۵	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	----	4/۱۲۶	بدون آبگیر	بدون آبگیر	۲۶	
بهره‌برداری بسیار مشکل است	2/۸۴	5/۰۷۴	۰/۱۵	1/۰	۲۷	
لزوم دقت بالا در بهره‌برداری	4/۱۴	3/۶۵۴	۰/۱۵	0/۹۹	۲۸	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	----	5/۰۷۸	بدون آبگیر	بدون آبگیر	۲۹	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	6/۹۷	2/۸۷۱	۰/۲	0/۷۵	۳۰	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	----	2/۹۹۴	بدون آبگیر	بدون آبگیر	۳۱	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	7/۹۵	1/۴۴۱	۰/۱۱	1/۳۱	۳۲	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	7/۵۱	1/۷۰۷	۰/۱۳	1/۱۷	۳۳	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	----	4/۳۴۶	بدون آبگیر	بدون آبگیر	۳۴	
عدم وجود مشکل در بهره‌برداری	7/۲۲	1/۴۴	۰/۱	1/۴۵	۳۵	



شکل ۸. رابطه دقت بهره‌برداری با حساسیت و عملکرد مورد انتظار سازه



شکل ۹. رابطه شیوه و فرکانس مناسب بهره‌برداری با دامنه و احتمال وقوع و پتانسیل مدیریت اختلالات در سیستم

بهره‌برداری سازه‌ها و هم‌چنین شیوه و فرکانس مناسب بهره‌برداری متبلور می‌گردد. از این‌رو استفاده از شاخص‌های حساسیت و الگوریتم پیشنهادی به کار گرفته شده در تحلیل جریان در این مقاله، قابل توصیه و کاربرد در عرصه رفتارسنجی شرایط بهره‌برداری کanal‌ها در سطح شبکه‌های آبیاری می‌باشد.

سیاستگذاری

شبیه سازی‌های انجام شده با استفاده از مدل Sobek، در طول یک فرصت تحقیقاتی که نویسنده اول در دانشگاه تیودلفت (TUDelft University) هلند داشته، انجام گرفته است. بدین وسیله از گروه علمی مدیریت آب و زمین دانشگاه تیودلفت که تمهیدات لازم در زمینه استفاده از مدل و سایر منابع علمی مورد نیاز انجام تحقیق را در اختیار قرار دادند و هم‌چنین از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری که فرصت مطالعاتی مذکور را در اختیار گذاشته و بخشی از هزینه‌های آن را تأمین نموده است، تشکر و قدردانی می‌گردد.

به عنوان مثال حداقل و حداکثر مقادیر کمی شاخص حساسیت بدء به میزان تنظیم سازه‌ها، به ترتیب در شرایط بدء حداقل و حداقل بهره‌برداری به وقوع می‌پیوندند. به تعبیر دیگر در شرایط بهره‌برداری کanal با دبی خیلی کمتر از میزان ظرفیت طراحی، به دلیل حساسیت زیاد سازه‌ها به اختلالات می‌باشد در عملیات بهره‌برداری سازه‌ها دقت بیشتری صورت گیرد.

- سازه‌های تنظیم کننده در بدء حداقل بهره‌برداری کanal، ماکریم مقدار حساسیت هیدرولیکی عمق به بدء را دارند. این نتیجه نیز دلیلی بر نیاز به اعمال دقت بیشتر در عملیات بهره‌برداری سازه‌های تنظیم شبکه‌های آبیاری در فصول کم آبی که بدء کanal‌ها تفاوت زیادی با مقدار ظرفیت طراحی دارد، می‌باشد.

- با محاسبه مقادیر کمی شاخص‌های توسعه داده شده، سیستم اطلاعاتی جامعی تهیه گردیده که ضمن فراهم آمدن امکان ارزیابی پتانسیل، پاسخگویی بازه‌های مختلف کanal نسبت به اختلالات سازه‌ای، امکان برآورد دقت عملیات

منابع مورد استفاده

۱. منتظر، ع.ا، ص. کوچکزاده، ع.م. لیاقت و م.ح. امید. ۱۳۸۳. تدوین معادلات حساسیت هیدرولیکی مدول‌های تیغه‌ای و بررسی اثر تغییرات کمی شاخص حساسیت در شرایط بهره‌برداری. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۸(۳): ۱۲۱-۱۳۷.
2. Albinson, B. 1986. Network Planning Criteria: Hydraulic Aspects, Guidline 5, Annex 1, *In: Design and Operation Guidelines for Structured Irrigation networks*. Fourth Draft, South East Asia Division, World Bank, WA, DC, USA.
3. Brouwer, R. 2001. Operational Water Management. TU Delft University, The Netherlands.
4. Horst, L. 1983. Irrigation Systems. Internal Report, Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.
5. ITIS5. 1998. Modernization of Irrigation System Operation. Proc. of 5th Int. Meeting of the ITIS Network, D. Renault (Ed.), IWMI, Colombo, Sri Lanka.
6. Loke, E. 1994. A control system for the narmada main conveyance canal. M.Sc. Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.
7. Mahbub, S.I. and N. D.Gulati. 1951. Irrigation Outlets. Atma Ram, Delhi, India.
8. Renault, D. 2000. Re-Engineering irrigation management and system operation. Agric. Water Mgnag. 42: 211-226.
9. Renault, D.1999. Offtake Sensitivity, Operation effectiveness and performance of irrigation sstem. J. Irrig. & Drain. Eng., ASCE 125(3):137-149.
10. Renault, D. and H. M. Hemakumara. 1999. Irrigation offtakes sensitivity. J. Irrig. and Drain., ASCE 125(3):131-136.
11. Renault, D. and I. W. Makin. 1999. Modernization irrigation operations. IWMI, Research Rep. No.33, Colombo, Sri Lanka.
12. Shanan, L. 1992. Planning and management of Irrigation system in developing Countries. Agric. Water Manag. 22(1+2): IX.
13. Strelkoff, T. S., J. L. Deltour, C. M. Burt, A. J. Clemmens and J. P. Baume. 1998. Influence of Canal Geometry and dynamic of controlability. J. Irrig. & Drain. Eng., ASCE 124(1):16-22.
14. WL/Delft Hydraulic. 2000. Sobek Manual and Technical Reference . Delft Pub., The Netherlands.