

توسعه شاخص‌های حساسیت ناشی از اختلالات هیدرولیکی در شبکه‌های آبیاری

محمد مهدی حیدری^{1*} - صلاح کوچک زاده²

تاریخ دریافت: 1392/02/13

تاریخ پذیرش: 1394/02/29

چکیده

شناخت عملکرد هیدرولیکی شبکه‌ی آبیاری بدون کسب اطلاعات کافی از حساسیت سازه‌های موجود در شبکه مقدر نیست. تعیین حساسیت سازه‌ها و بازه‌ها به مدیران بهره‌برداری کمک می‌کند تا با مقایسه‌ی سازه‌ها و بازه‌های مختلف، سازه‌های حساس را مشخص کرده و کنترل و بازرسی بیشتری بر آن‌ها داشته باشند. علاوه بر آن، چنین شناختی کمک می‌کند تا اولویت‌های اصلی در دوره بهسازی و بازسازی شبکه تعیین شود. در پیچه‌ها بیشترین کاربرد را برای تنظیم و تحویل آب در شبکه‌ها در دنیا دارند و معمولاً ضرایب بده آن‌ها در طراحی و بهره‌برداری ثابت در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق براساس ضریب دبی ثابت و متغیر برای در پیچه‌های کشویی، روابط تحلیلی برای شاخص‌های مختلف حساسیت در سطح بازه‌های شبکه توسعه یافت و عملکرد روابط ارائه شده با داده‌های آزمایشگاهی صحت‌سنجی شد. برای حالتی که شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی سازه‌ای براساس ضریب دبی متغیر و ثابت محاسبه شوند متوسط خطای محاسبه‌ی شاخص حساسیت عمق آب بالادست تنظیم کننده به دبی ورودی بازه به ترتیب 5/7 و 16/6 درصد و متوسط خطای محاسبه‌ی شاخص حساسیت انتقال بازه به ترتیب 1/9 و 5/87 درصد می‌باشد. همچنین متوسط خطای تغییرات عمق آب محاسبه شده در بالادست سازه‌ی تنظیم کننده به دلیل اختلالات هیدرولیکی برای محدوده‌ی تغییرات 20 درصد دبی ورودی در حالتی که شاخص‌های حساسیت سازه‌ای براساس ضریب دبی متغیر و ثابت بدست آمده باشند به ترتیب 4/3 و 17 درصد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی عملکرد، بهره‌برداری شبکه آبیاری، پروفیل سطح آب، ضریب دبی در پیچه کشویی

مقدمه

باشند و یا در صورت نیاز، اقدام به تعمیر و تعویض سازه‌های حساس نمایند. حساسیت هیدرولیکی سازه‌ها توسط محققین متعددی مورد بررسی قرار گرفته و شاخص‌هایی در این زمینه ارائه شده است (2، 3، 4، 5، 6، 7 و 8). اما بررسی رفتار جریان عبوری از یک سازه به تنهایی اطلاعات کافی در نحوه‌ی پخش و توسعه‌ی اختلالات به مدیران و بهره‌برداران از شبکه‌های آبیاری را نمی‌دهد، به عبارت دیگر رفتار هیدرولیکی سازه‌ها در کانال‌های آبیاری به یکدیگر وابسته می‌باشد. به عنوان مثال، کاهش مقدار دبی عبوری از یک آبگیر باعث افزایش عمق آب در بالادست سازه‌ی تنظیم کننده شده و این افزایش عمق آب سبب تغییر در پروفیل سطح آب و افزایش دبی آبگیرهای دیگر این بازه و همچنین افزایش دبی ورودی به بازه‌های پایین دست می‌شود. بنابراین برای بررسی رفتار هیدرولیکی جریان باید شاخص‌های حساسیت را در سطح بازه توسعه داد. تغییرات جزئی در دبی ورودی به کانال به صورت برنامه‌ریزی شده (اجرای برنامه‌های آبیاری) و یا بدون برنامه‌ریزی (خطای بهره‌برداری) باعث ایجاد اختلالات هیدرولیکی می‌شود. کوچک‌زاده و منتظر (2) با تدوین شاخص‌های مختلف حساسیت در سه سطح سازه، بازه و زیرسامانه به رفتارسنجی جریان در شبکه‌ی آبیاری وادودارا (کشور هند) در شرایط حداقل و حداکثر دبی بهره‌برداری پرداخته‌اند و نتایج حاصل از آنالیز

اجرای برنامه‌های تحویل و توزیع آب برای پاسخگویی به تغییرات نیاز آبی در شبکه‌های آبیاری باعث می‌گردد که میزان بازشدگی در پیچه‌ها و دبی ورودی به کانال و آبگیرها تغییر کند. در کشورهای در حال توسعه که عمدتاً بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری به صورت دستی است، میزان بازشدگی واقعی در پیچه‌ها با مقادیر برنامه‌ریزی شده آن‌ها متفاوت بوده و این تفاوت باعث می‌شود که رقوم سطح آب بالادست در پیچه‌های تنظیم کننده و دبی آبگیرها با مقادیر برنامه‌ریزی شده اختلاف پیدا کرده و عملکرد هیدرولیکی مورد انتظار به دست نیاید. بررسی عملکرد هیدرولیکی شبکه‌های آبیاری بدون کسب اطلاعات کافی از حساسیت هیدرولیکی سازه‌ها و بازه‌های شبکه مقدر نیست. تعیین حساسیت سازه‌ها و بازه‌ها به مدیران در شرایط بهره‌برداری کمک می‌کند تا سازه‌ها و بازه‌های حساس را مشخص کرده و کنترل و بازرسی بیشتری بر آن‌ها داشته

1- استادیار گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی
(* - نویسنده مسئول: Email: mm.heidari@razi.ac.ir)

2- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

شود. آبیگری از کانال اصلی توسط دو عدد دریچه‌ی کشویی در فواصل 20 متری و 42/5 متری از ابتدای کانال صورت می‌گیرد. در پایین‌دست هر کانال آبیگری یک مخزن مربع شکل با طول و عرض 0/8 متر و عمق 0/5 متر وجود دارد. دبی عبوری از آبیگرها توسط یک سرریز مثلثی با زاویه رأس 135 درجه که در مخازن نصب شده، اندازه‌گیری می‌شود. به منظور ذخیره‌ی آب خروجی از کانال اصلی، در انتهای مجموعه‌ی آزمایشگاهی مخزن جمع‌آوری قرار دارد. آب مخازن کانال‌های آبیگری و مخزن جمع‌آوری کانال اصلی توسط پمپ تخلیه به مخزن تغذیه‌کننده پمپاژ می‌شود، تا بدین ترتیب سیستم گردش آب کامل شود.

روش تحلیل حساسیت

شیوه‌ی تحلیل حساسیت یک روش کارا و ساده برای رفتارسنجی جریان در شبکه‌های آبیاری می‌باشد، در این روش با استفاده از روابط جریان دائمی و داده‌های مربوط به ساختار فیزیکی شبکه به بررسی واکنش سامانه نسبت به تغییرات و اختلالات ورودی و تحلیل جریان پرداخته می‌شود. به منظور بررسی شاخص‌های مختلف حساسیت هیدرولیکی، ابتدا لازم است که ضریب دبی دریچه کشویی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی تعیین شود. متداول‌ترین شکل رابطه‌ی حاکم بر میزان دبی عبوری از دریچه‌های کشویی در شرایط آزاد به صورت رابطه‌ی 1 ارائه شده است (9 و 1):

$$q = C_d W b \sqrt{2gH_{us}} \quad (1)$$

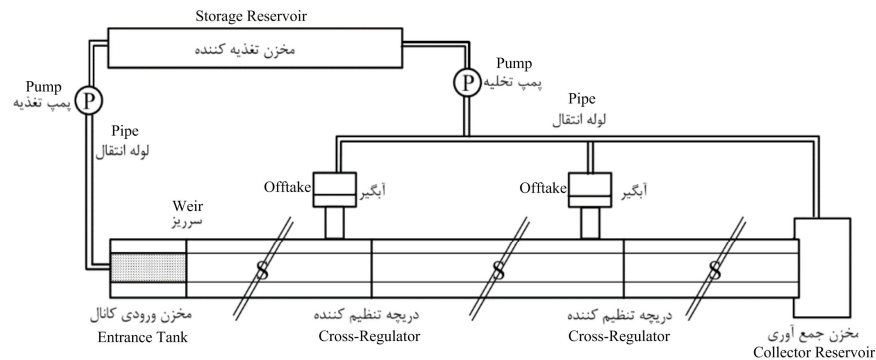
که در آن q دبی جریان عبوری از دریچه، b عرض سازه، W میزان بازشدگی دریچه، g شتاب ثقل، H_{us} عمق آب بالادست سازه و C_d ضریب دبی دریچه‌ی کشویی است که می‌توان آن را ثابت و 0/6 در نظر گرفت. اما ضریب دبی دریچه‌ی کشویی در شرایط آزاد متغیر و تابعی از $H^* = H_{us}/W$ می‌باشد. در تحقیق حاضر ضریب دبی دریچه‌های کشویی دو حالت ثابت و متغیر در نظر گرفته شد.

حساسیت را با مدل هیدرودینامیک SOBEK مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان نشان می‌دهد شاخص‌های حساسیت معرفی‌شده، از کارایی مناسبی در تجزیه و تحلیل وضعیت جریان و مطالعه‌ی گزینه‌های مختلف بهره‌برداری برخوردار است. شاخص‌های حساسیتی که قبلاً توسط محققین پیشنهاد شده است با این فرض توسعه یافته‌اند که ضریب دبی دریچه‌های کشویی مورد استفاده برای آبیگرها و تنظیم‌کننده‌ها ثابت است. حال آنکه ضریب دبی دریچه متغیر است و در شرایط آزاد بستگی به بازشدگی و عمق آب بالادست دریچه دارد (9). بنابراین ارائه‌ی شاخص‌های مختلف حساسیت هیدرولیکی بر اساس ضریب دبی متغیر در سطح بازه و صحت‌سنجی آن‌ها با داده‌های آزمایشگاهی به منظور عملیاتی کردن آن‌ها ضروری می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که ارائه روابط بر اساس ضرایب بده متغیر می‌تواند بر نتایج مورد انتظار اثر قابل توجهی داشته و شرایط بهره‌برداری را بهبود دهد.

مواد و روش‌ها

تجهیزات آزمایشگاهی

برای مطالعه‌ی شاخص‌های مختلف حساسیت هیدرولیکی یک مدل فیزیکی مطابق شکل 1 طراحی و احداث شد. این تجهیزات شامل مخزن ذخیره، پمپ تغذیه، دبی‌سنج الکترومغناطیسی، مخزن ورودی کانال، کانال انتقال طویل و ضمام آن، پایه‌های نگهدارنده‌ی کانال، انشعاب آبیگری و ضمام آن، مخزن جمع‌آوری آب، پمپ تخلیه و تابلوهای پیرومتری است. به‌منظور تأمین آب مورد نیاز آزمایشات، مخزن تغذیه‌کننده در ابتدای مجموعه‌ی آزمایشگاهی احداث گردید. با استفاده از دبی‌سنج الکترومغناطیسی دبی جریان اندازه‌گیری می‌شود. طول کانال انتقال آب 60/5 متر و مقطع آن دوزنقه‌ای با عرض کف 0/3 متر، عمق 0/25 متر، شیب جانبی 1:1 و متوسط شیب کف 0/0009 است. تراز سطح آب در کانال با استفاده از دریچه‌های تنظیم‌کننده کنترل شده تا آب مورد نیاز آبیگرها تأمین



شکل 1- نمایی کلی از مجموعه‌ی آزمایشگاهی

Figure 1- Schematic of the experimental setup plan

عمق آب در بالادست سازه‌ی تنظیم‌کننده می‌شود. به منظور تعیین تأثیر تغییرات دبی بر عمق آب بالادست سازه‌ی تنظیم‌کننده، از شاخص حساسیت عمق آب بالادست تنظیم‌کننده به تغییرات دبی، $S_{qh(a)}$ مطابق رابطه‌ی 5 استفاده می‌گردد (4):

$$S_{qh(a)} = \frac{dH_{us(R)}}{dq_R / q_R} \quad (5)$$

در رابطه‌ی فوق، زیرنویس R نشان‌دهنده‌ی مشخصات مربوط به سازه‌ی تنظیم‌کننده است. به منظور محاسبه‌ی شاخص حساسیت $S_{qh(a)}$ به صورت تحلیلی از رابطه‌ی دبی جریان عبوری از دریچه‌ی تنظیم‌کننده دیفرانسیل گرفته و با ساده‌سازی، شاخص فوق مطابق رابطه‌ی 6 ارائه می‌شود:

$$S_{qh(a)} = W_R / \left[\left(\frac{0.5}{H_R^*} + \frac{\beta(1+\alpha)}{(H_R^* + \alpha)(H_R^* - 1)} \right) \right] \quad (6)$$

شاخص حساسیت ضریب تأثیر کنترل

وضعیت جریان در یک بازه با توجه به شرایط فیزیکی و هیدرولیکی، مطابق شکل 2 متأثر از منحنی پس‌زدگی آب و یا جریان یکنواخت می‌باشد. نقاط تحویل آب در بازه نیز در این دو محدوده قابل بررسی می‌باشد. البته نقاط آبیگری معمولاً نزدیک به سازه‌ی تنظیم‌کننده و متأثر از منحنی پس‌زدگی آب بوده ولی در مواردی نیز آبیگرهایی وجود داشته که با توجه به شرایط هیدرولیکی بازه و موقعیت آن‌ها متأثر از این منحنی نبوده و تحت کنترل جریان یکنواخت می‌باشد.

تعیین رابطه‌ی بین تغییرات عمق آب در مجاورت آبیگر و بالادست تنظیم‌کننده در بررسی و توسعه‌ی شاخص‌های حساسیت در سطح بازه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. رنالت (5) شاخص حساسیت ضریب تأثیر کنترل را به صورت نسبت بین تغییرات عمق آب در محل آبیگر به تغییرات عمق آب در محل تنظیم‌کننده در نظر گرفت و رابطه‌ی 7 را ارائه داد:

در حالت متغیر ضریب دبی دریچه کشویی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی مطابق رابطه‌ی 2 ارائه می‌شود:

$$C_d = A_d \left(\frac{H^* - 1}{H^* + \alpha} \right)^\beta \quad (2)$$

ضرایب α ، β و A_d با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی برای دریچه‌های آبیگر و تنظیم‌کننده محاسبه و به ترتیب 0/65 0/07، 15، 0/65 0/07 در نظر گرفته شد.

شاخص حساسیت دبی تحویلی آبیگر به تغییرات عمق آب

دبی عبوری از دریچه‌ی آبیگری در شرایط آزاد جریان، تابع عمق آب بالادست و میزان بازشدگی آن می‌باشد، به طوری که اگر مقدار بازشدگی دریچه ثابت باشد و عمق آب بالادست آبیگر به دلیل اختلالات هیدرولیکی تغییر کند، میزان دبی عبوری از آبیگر نیز تغییر می‌کند. با استفاده از رابطه‌ی 3 می‌توان میزان تأثیر تغییرات عمق آب بالادست دریچه بر روی دبی آبیگر را مورد بررسی قرار داد (6):

$$S_{hq(a)} = \frac{dq_o / q_o}{dH_{us(o)}} \quad (3)$$

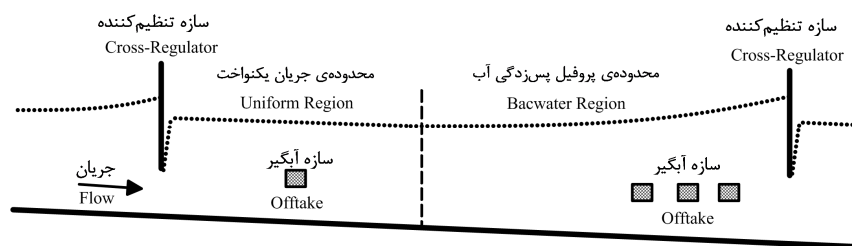
در رابطه‌ی فوق $S_{hq(a)}$ شاخص حساسیت دبی تحویلی آبیگر به تغییرات عمق آب، زیرنویس o نشان‌دهنده‌ی مشخصات مربوط به سازه‌ی آبیگر، $dH_{us(o)}$ تغییرات عمق آب در بالادست آبیگر و dq_o تغییرات دبی آبیگر است. به منظور محاسبه‌ی شاخص حساسیت $S_{hq(a)}$ به صورت تحلیلی، از طرفین رابطه‌ی 1 دیفرانسیل کامل گرفته شده و با ساده‌سازی، شاخص مورد نظر به صورت رابطه‌ی 4 ارائه شد:

$$S_{hq(a)} = \frac{1}{W_o} \left[\frac{0.5}{H_o^*} + \frac{\beta(1+\alpha)}{(H_o^* + \alpha)(H_o^* - 1)} \right] \quad (4)$$

شاخص حساسیت عمق آب بالادست تنظیم‌کننده به

تغییرات دبی

اختلالات هیدرولیکی و اجرای برنامه‌های آبیاری باعث تغییر



شکل 2- وضعیت کنترل جریان در یک بازه از شبکه‌ی آبیاری
Figure 2- Schematic representation of canal reach

بازه است. با استفاده از شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی میزان تغییرات دبی آبیگرهای موجود در یک بازه مطابق رابطه 12 ارائه می‌شود:

$$\Delta Q_d = dH_{us(R)} \sum_{i=1}^{i=n_1} m_i S_{hq(a)i} q_{(o)i} + \frac{\Delta Q_{in}}{Q_{in}} \sum_{j=1}^{j=n_2} S_{hq(a)j} q_{(o)j} S_{Qh_n(o)j} \quad (12)$$

در رابطه‌ی فوق، Q_{in} دبی ورودی به بازه قبل از اختلالات هیدرولیکی، و $S_{Qh_n(o)j}$ شاخص حساسیت عمق نرمال نسبت به تغییرات دبی در جریان یکنواخت در بالادست آبیگر j ام، n_1 و n_2 به ترتیب تعداد آبیگرهای موجود در محدوده پس‌زدگی و محدوده‌ی جریان یکنواخت بوده و سایر متغیرها نیز قبلاً تعریف شده‌اند. تغییرات دبی خروجی از بازه به دلیل اختلالات هیدرولیکی را می‌توان با استفاده از شاخص حساسیت $S_{qh(a)}$ سازه‌ی تنظیم‌کننده، مطابق رابطه‌ی 13 محاسبه نمود:

$$\Delta Q_{out} = Q_{out} dH_{us(R)} (S_{qh(a)})^{-1} \quad (13)$$

با جایگزینی روابط مربوط به تغییر دبی تحویلی به آبیگرها و تغییرات دبی خروجی از بازه در رابطه‌ی 11 و ساده‌سازی، رابطه‌ی بیلان ناشی از اختلالات هیدرولیکی و تغییرات عمق آب ایجاد شده در بالادست سازه‌ی تنظیم‌کننده مطابق روابط 14 و 15 می‌باشد:

$$\Delta Q_{in} = dH_{us(R)} \left[\sum_{i=1}^{i=n_1} m_i S_{hq(a)i} q_{(o)i} + Q_{out} (S_{qh(a)})^{-1} \right] \quad (14)$$

$$+ \frac{\Delta Q_{in}}{Q_{in}} \sum_{j=1}^{j=n_2} S_{hq(a)j} q_{(o)j} S_{Qh_n(o)j}$$

$$dH_{us(R)} = \frac{\Delta Q_{in} - \frac{\Delta Q_{in}}{Q_{in}} \sum_{j=1}^{j=n_2} S_{hq(a)j} q_{(o)j} S_{Qh_n(o)j}}{\sum_{i=1}^{i=n_1} m_i S_{hq(a)i} q_{(o)i} + Q_{out} (S_{qh(a)})^{-1}} \quad (15)$$

تغییرات عمق آب مشاهده‌ای و محاسباتی در بالادست تنظیم‌کننده‌ها برای محدوده‌ی تغییرات $\pm 20\%$ دبی ورودی در حالتی که شاخص‌های حساسیت سازه‌ای براساس ضریب دبی متغیر و ثابت بدست آمده باشند، در شکل 3 آورده شده است.

همانطور که ملاحظه می‌شود در صورتی که شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی سازه‌ای براساس ضریب دبی متغیر محاسبه شوند، تمام داده‌های محاسباتی تغییرات عمق آب بالادست تنظیم‌کننده‌ها خطای کمتر از 9 درصد و متوسط خطای 4/3 درصد دارند، این در حالی است که اگر شاخص‌های $S_{hq(a)}$ و $S_{qh(a)}$ براساس ضریب دبی ثابت محاسبه شوند، متوسط خطای تغییرات عمق آب محاسباتی حدود 17 درصد می‌باشد. از مهمترین عوامل موثر بر میزان تغییرات عمق آب در بالادست تنظیم‌کننده‌ها به دلیل اختلالات

$$m_i = \frac{\Delta H_{us(o)i}}{\Delta H_{us(R)}} \quad (7)$$

در رابطه‌ی فوق، $\Delta H_{us(o)i}$ تغییرات عمق آب در محل آبیگر i ام و $\Delta H_{us(R)}$ تغییرات عمق آب در بالادست تنظیم‌کننده و m_i شاخص حساسیت ضریب تأثیر کنترل مربوط به آبیگر i ام است. شاخص حساسیت ضریب تأثیر کنترل مقداری بین یک برای آبیگرهای مجاور تنظیم‌کننده تا صفر برای آبیگرهای تحت تأثیر جریان یکنواخت دارد. وطن خواه (10) با استفاده از معادله‌ی حاکم بر جریان متغیر تدریجی رابطه‌ی 8 را برای شاخص حساسیت ضریب تأثیر کنترل ارائه داد:

$$m_i = \left(\frac{1 - Fr_R^2}{1 - Fr_{o(i)}^2} \right) \left(\frac{S_0 - S_{fr}}{S_0 - S_{fo(i)}} \right) \quad (8)$$

در رابطه‌ی فوق، $S_{fo(i)}$ شیب خط انرژی در مقطع آبیگر i ام، S_{fr} شیب خط انرژی در بالادست تنظیم‌کننده، Fr_R عدد فرود در مقطع تنظیم‌کننده و $Fr_{o(i)}$ عدد فرود در محل آبیگری i ام است.

شاخص حساسیت عمق نرمال نسبت به تغییرات دبی

تغییر دبی ورودی به بازه باعث تغییر عمق نرمال جریان می‌شود. در محدوده‌ی جریان یکنواخت رابطه‌ی حاکم بر شرایط هیدرولیکی جریان، رابطه‌ی مانینگ است. شاخص حساسیت عمق نرمال نسبت به تغییر دبی، S_{Qh_n} ، به صورت رابطه‌ی 9 ارائه می‌شود:

$$S_{Qh_n} = \frac{\Delta h_n}{\Delta Q / Q} \quad (9)$$

در رابطه‌ی فوق، Δh_n تغییر عمق نرمال و $\Delta Q/Q$ تغییرات نسبی دبی ورودی به بازه است. با دیفرانسیل‌گیری از رابطه‌ی مانینگ، مقدار شاخص حساسیت مزبور به‌صورت تحلیلی مطابق رابطه‌ی 10 ارائه می‌شود:

$$S_{Qh_n} = \frac{3A}{5T - 4R\sqrt{1+z^2}} \quad (10)$$

که در آن، A مساحت جریان، T عرض سطح آب، R شعاع هیدرولیکی و Z شیب دیواره‌های جانبی است.

نتایج و بحث

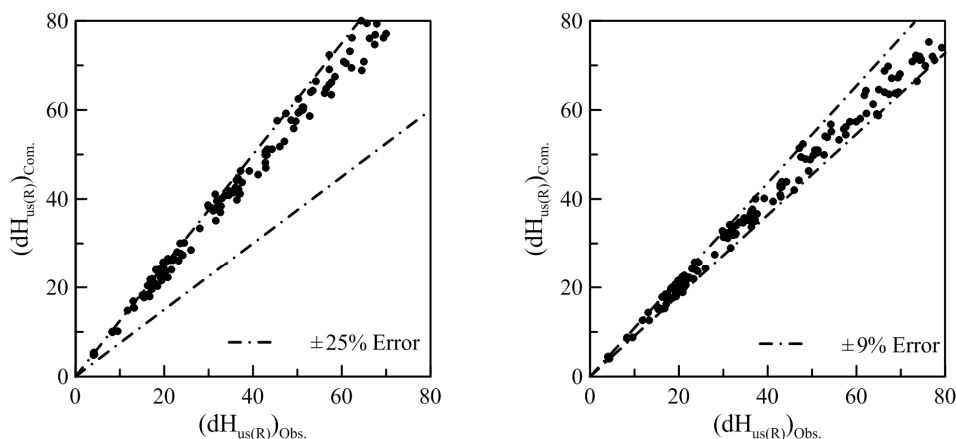
تغییرات جزئی در میزان دبی ورودی به بازه به‌صورت برنامه‌ریزی شده و یا بدون برنامه‌ریزی باعث ایجاد اختلالات هیدرولیکی می‌شود. معادله‌ی بیلان دبی ناشی از اختلالات هیدرولیکی در یک بازه به‌صورت رابطه‌ی 11 می‌باشد:

$$\Delta Q_{in} = \Delta Q_d + \Delta Q_{out} \quad (11)$$

که در آن، ΔQ_{in} و ΔQ_{out} به ترتیب میزان تغییر دبی ورودی و خروجی بازه و ΔQ_d میزان تغییر دبی تحویلی به آبیگرهای موجود در

عمق آب بالادست تنظیم‌کننده‌ها آورده شده است.

هیدرولیکی، عمق اولیه‌ی آب و میزان تغییرات دبی ورودی به کانال می‌باشد. در شکل 4 دو نمونه از تأثیر عمق اولیه‌ی آب بر تغییرات



ب-ضریب دبی ثابت

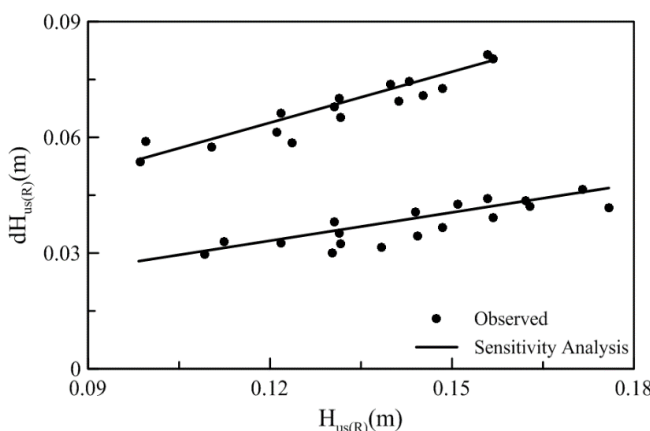
الف-ضریب دبی متغیر

b) Constant discharge coefficient

a) Variable discharge coefficient

شکل 3- مقایسه‌ی تغییرات عمق آب مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در بالادست سازه‌های تنظیم‌کننده

Figure 3- Comparison of observed and calculated variation of water depth upstream of regulator



شکل 4- تأثیر عمق اولیه‌ی آب بر میزان تغییرات عمق آب بالادست تنظیم‌کننده‌ها

Figure 4- Effect of initial water depth on variation of water depth upstream of regulators

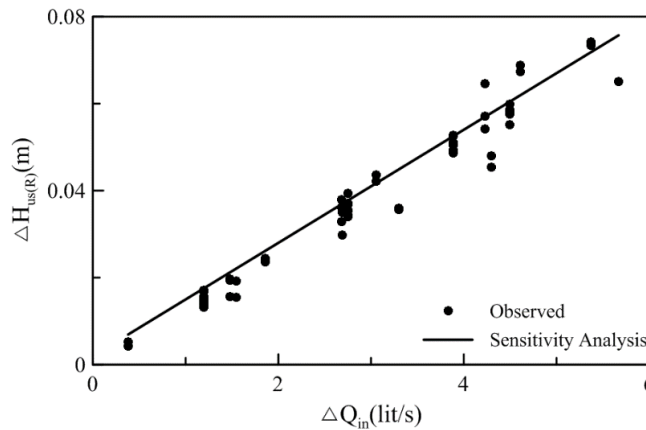
شاخص حساسیت تغییر عمق آب بالادست تنظیم‌کننده به

تغییر دبی ورودی به بازه

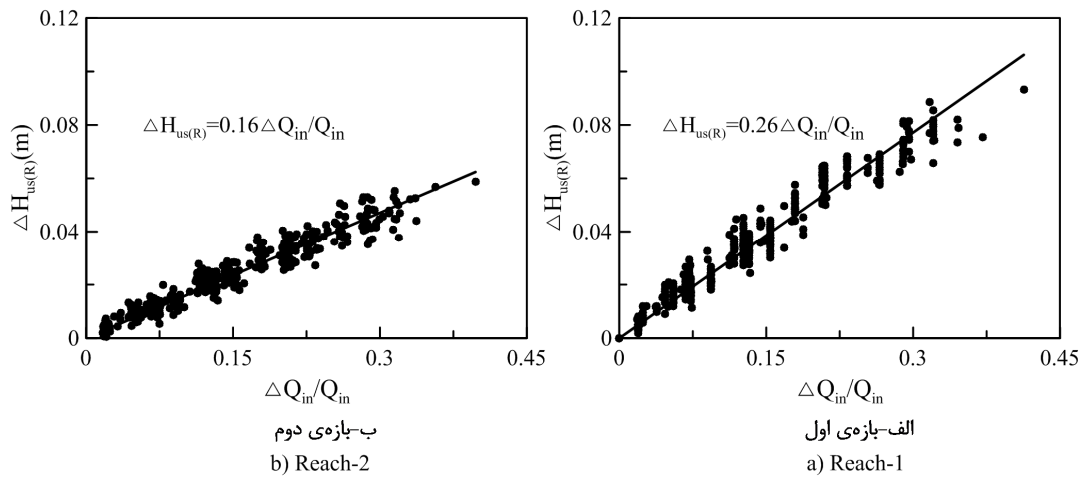
با استفاده از این شاخص می‌توان تغییرات عمق آب در بالادست تنظیم‌کننده به دلیل اختلال دبی ورودی به بازه را تعیین نمود. رنالت (5) شاخص حساسیت تغییرات عمق آب بالادست تنظیم‌کننده به تغییر دبی ورودی به بازه، S_{RH} ، را مطابق رابطه‌ی 16 ارائه داد:

$$S_{RH} = \frac{dH_{us(R)}}{\Delta Q_{in} / Q_{in}} \quad (16)$$

همانطور که ملاحظه می‌شود برای تغییرات دبی ورودی یکسان، با افزایش عمق اولیه‌ی آب میزان تغییرات عمق آب بالادست تنظیم‌کننده افزایش می‌یابد. در واقع با افزایش عمق آب شاخص حساسیت $S_{RH(a)}$ مربوط به آبگیر کاهش و شاخص حساسیت $S_{RH(a)}$ مربوط به سازه‌ی تنظیم‌کننده افزایش می‌یابد، بنابراین با توجه به رابطه‌ی 15 برای تغییرات دبی ورودی ثابت میزان تغییرات عمق آب افزایش می‌یابد. همچنین در شکل 5 میزان تأثیر تغییرات دبی ورودی بر تغییرات عمق آب بالادست تنظیم‌کننده‌ها برای یک عمق اولیه به صورت نمونه آورده شده است.



شکل 5- تأثیر تغییرات دبی ورودی بر میزان تغییرات عمق آب بالادست تنظیم کننده‌ها
Figure 5- Effect of discharge changes on variation of water depth upstream of regulators



شکل 6- مقدار متوسط شاخص S_{RH} برای بازه‌های مجموعه‌ی آزمایشگاهی
Figure 6- Average values of reach sensitivity indicator of water depth

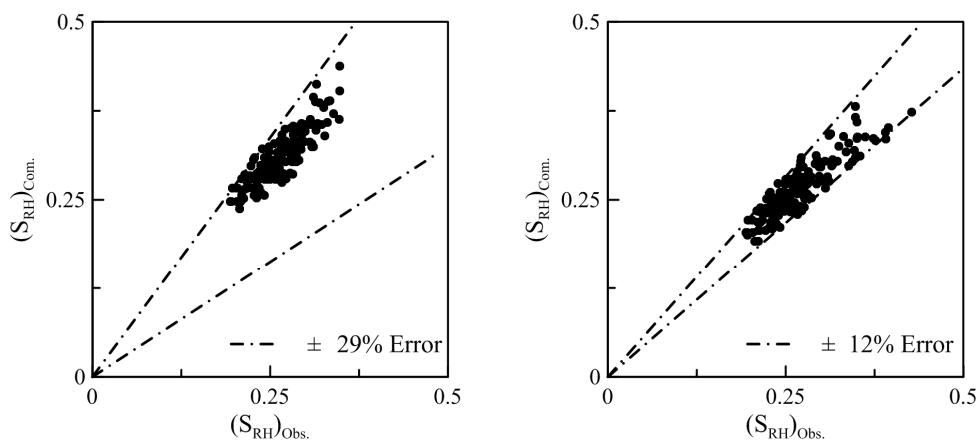
میزان عمق آب در بالادست سازه‌ی کنترل کننده‌ی بازه‌ی اول 26 میلی‌متر و برای بازه‌ی دوم 16 میلی‌متر تغییر می‌کند. یکی از عواملی که سبب شده بازه‌ی دوم، شاخص S_{RH} کمتری نسبت به بازه دوم داشته باشد، کم بودن عمق اولیه‌ی آب در بازه‌ی دوم است. رابطه‌ی مستقیمی بین عمق اولیه‌ی آب، میزان تغییرات عمق آب بالادست تنظیم کننده‌ها و شاخص حساسیت تغییر عمق آب بالادست تنظیم کننده به تغییر دبی ورودی به بازه وجود دارد. شاخص حساسیت S_{RH} مشاهداتی و محاسباتی در محدوده‌ی تغییرات ± 20 درصد دبی ورودی، برای حالتی که شاخص‌های حساسیت سازه‌ی براساس ضریب دبی متغیر و ثابت محاسبه شوند در شکل 7 آورده شده است.

با جایگزین کردن رابطه‌ی 15 در 16 شاخص حساسیت فوق مطابق رابطه‌ی 17 به صورت تحلیلی ارائه شد:

$$S_{RH} = \frac{Q_{in} - \sum_{j=1}^{j=n_2} S_{hq(a)j} q_{(o)j} S_{qh_n(o)j}}{\sum_{i=1}^{i=n_1} m_i S_{hq(a)i} q_{(o)i} + Q_{out} (S_{qh(a)})^{-1}} \quad (17)$$

با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی مقدار متوسط شاخص حساسیت مزبور برای بازه‌های مجموعه‌ی آزمایشگاهی در شکل 6 ارائه شده است.

شکل 6 نشان می‌دهد که مقدار متوسط شاخص S_{RH} برای بازه‌ی اول 0/26 و برای بازه‌ی دوم 0/16 می‌باشد. به عبارت دیگر در صورتی که دبی ورودی به بازه‌ی اول و یا دوم 10 درصد تغییر کند،



الف-ضریب دبی ثابت

b) Constant discharge coefficient

الف-ضریب دبی متغیر

a) Variable discharge coefficient

شکل 7- شاخص حساسیت S_{RH} مشاهده‌ای و محاسبه‌ای برای بازه‌های مجموعه‌ای آزمایشگاهی

Figure 7- Observed and calculated values of reach sensitivity indicator of water depth

$$S_{RC} = \frac{Q_{out}}{Temp} \quad (19)$$

$$Temp = S_{qh(a)} \left[\sum_{i=1}^{i=n_1} m_i S_{hq(a)_i} q_{(o)_i} + Q_{out} (S_{qh(a)})^{-1} \right]$$

$$+ \frac{\Delta Q_{in}}{dH_{us(R)} Q_{in}} \sum_{j=1}^{j=n_2} S_{hq(a)_j} q_{(o)_j} S_{Qh_n(o)_j}$$

با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی مقدار متوسط شاخص S_{RC} برای بازه‌های مجموعه‌ای آزمایشگاهی در شکل 8 ارائه شده است. با توجه به شکل 8 مقدار متوسط شاخص S_{RC} برای بازه‌ی اول 0/64 و برای بازه‌ی دوم 0/61 می‌باشد. به عبارت دیگر در صورتی که در بازه‌ی اول در دبی ورودی تغییری ایجاد شود، به طور متوسط 0/64 مقدار این تغییر دبی از بازه اول خارج می‌شود و در صورتی که در بازه‌ی دوم اختلال هیدرولیکی ایجاد شود، به طور متوسط 0/61 مقدار این تغییر دبی از بازه دوم خارج می‌شود. یکی از عواملی مهمی که بر شاخص حساسیت S_{RC} تأثیر می‌گذارد نسبت مجموع دبی آبیگرهای بازه به دبی خروجی از بازه مورد نظر یعنی Q_d/Q_{out} ، می‌باشد. شکل 9 تأثیر پارامتر Q_d/Q_{out} بر شاخص حساسیت S_{RC} را نشان می‌دهد.

همانطور که ملاحظه می‌شود با افزایش پارامتر Q_d/Q_{out} مقدار شاخص حساسیت S_{RC} کاهش می‌یابد. شکل 10 تأثیر عمق اولیه‌ی آب بر روی شاخص حساسیت انتقال بازه را نشان می‌دهد. عمق اولیه‌ی آب تأثیر چندانی بر شاخص حساسیت S_{RC} ندارد. حداکثر مقدار شاخص حساسیت S_{RC} یک و حداقل مقدار آن صفر می‌باشد.

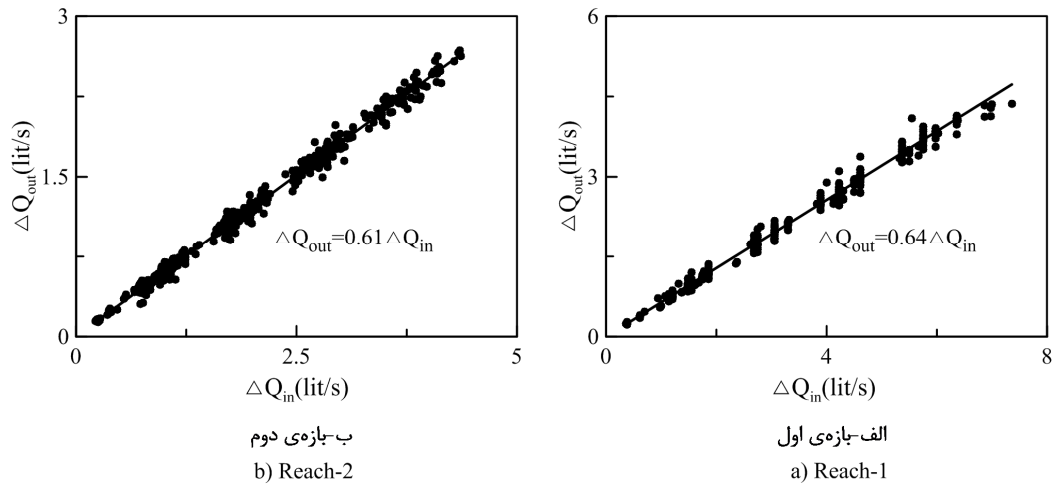
برای حالتی که شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی سازه‌ای براساس ضریب دبی متغیر و ثابت محاسبه شوند خطای محاسباتی S_{RH} در تمام آزمایشات به ترتیب کمتر از 12 و 29 درصد و خطای متوسط به ترتیب 5/7 و 16/6 درصد می‌باشد. با استفاده از شاخص حساسیت S_{RH} می‌توان تغییرات پروفیل سطح آب در کانال را به دلیل اختلالات هیدرولیکی بررسی نمود. فرضاً اگر دبی ورودی به یک بازه 10 درصد تغییر کند با این شاخص می‌توان تغییرات عمق آب در بالادست سازه‌ی کنترل کننده و آبیگرها موجود در بازه را محاسبه نمود.

شاخص حساسیت انتقال بازه

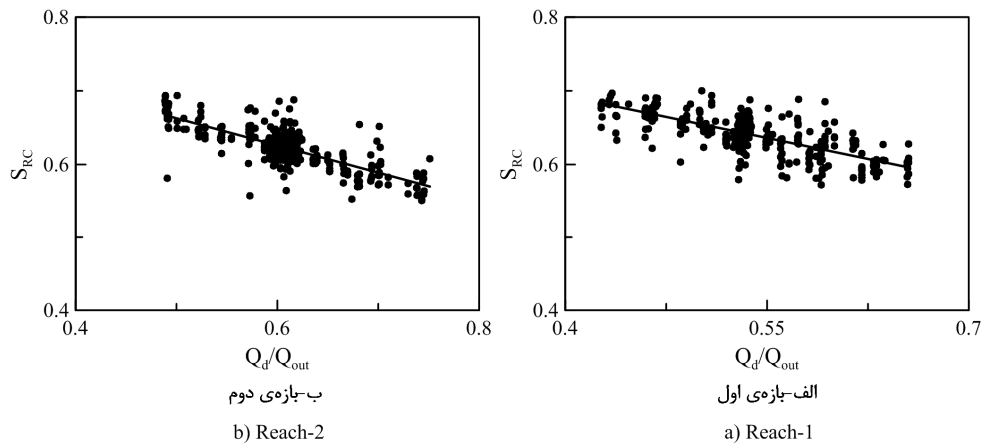
به منظور مطالعه‌ی پاسخ بازه‌ها به اختلالات هیدرولیکی از شاخص حساسیت انتقال بازه S_{RC} ، استفاده می‌شود. این شاخص بیان می‌کند که چه مقدار از اختلالات هیدرولیکی ورودی به بازه از آن خارج می‌شود. رنالت (5) شاخص حساسیت فوق را به صورت رابطه‌ی 18 ارائه داد:

$$S_{RC} = \frac{\Delta Q_{out}}{\Delta Q_{in}} \quad (18)$$

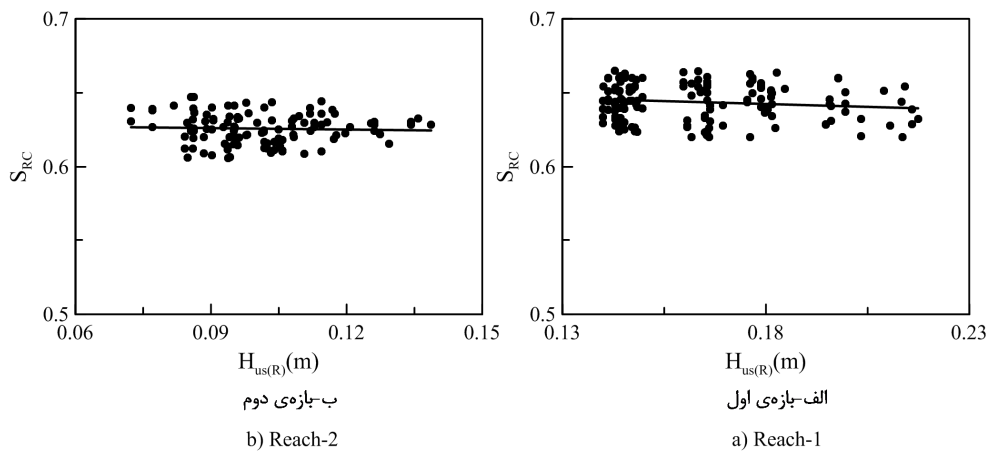
با جایگزینی روابط 13 و 14 در رابطه‌ی 18 و ساده‌سازی، شاخص حساسیت انتقال بازه به صورت تحلیلی مطابق رابطه‌ی 19 ارائه شد:



شکل 8- متوسط شاخص حساسیت انتقال برای بازه‌های مجموعه‌ی آزمایشگاهی
Figure 8- Average values of reach sensitivity indicator for conveyance



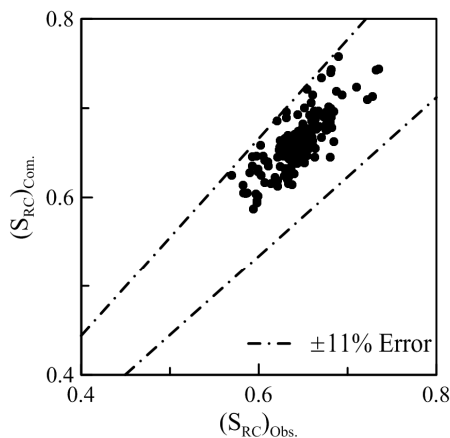
شکل 9- تأثیر پارامتر Q_d/Q_{out} بر شاخص حساسیت انتقال بازه
Figure 9- Effect of Q_d/Q_{out} on conveyanc index



شکل 10- تأثیر عمق اولیه‌ی آب بر روی شاخص حساسیت انتقال بازه
Figure 10- Effect of initial water depth on conveyanc index

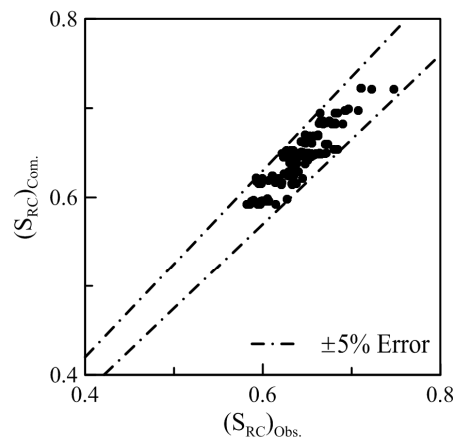
انتقال برابر صفر می‌باشد. شاخص حساسیت SRC مشاهده‌ای و محاسباتی در محدوده‌ی تغییرات ± 20 درصد دبی ورودی برای ضریب دبی متغیر و ثابت در شکل 11 آورده شده است.

در صورتی که هیچ سازه‌ی آبیگر در بازه وجود نداشته باشد و یا مقدار شاخص حساسیت $S_{hq(a)}$ آبیگر صفر باشد، مقدار شاخص حساسیت انتقال بازه برابر واحد بوده و در صورتی که بازه مورد نظر در انتهای شبکه‌ی آبیاری قرار گرفته باشد، مقدار شاخص حساسیت



ب- ضریب دبی ثابت

b) Constant discharge coefficient



الف- ضریب دبی متغیر

a) Variable discharge coefficient

شکل 11- شاخص حساسیت انتقال بازه مشاهده‌ای و محاسبه‌ای

Figure 11- Observed and calculated values of conveyanc index

برای بازه‌ی دوم 0/39 می‌باشد. یکی از عواملی که بر شاخص حساسیت S_{RD} تأثیر می‌گذارد نسبت مجموع دبی آبیگرهای بازه به دبی خروجی از بازه می‌باشد. در شکل 13 تأثیر پارامتر Q_d/Q_{out} را بر شاخص حساسیت S_{RD} نشان می‌دهد.

با افزایش پارامتر Q_d/Q_{out} مقدار شاخص حساسیت تحویل بازه افزایش می‌یابد. مقدار شاخص حساسیت تحویل بازه بین یک و صفر می‌باشد. در صورتی که با ایجاد اختلال در دبی ورودی کانال اصلی، تغییری در دبی آبیگرها ایجاد نمی‌شود، شاخص حساسیت تحویل بازه برابر صفر می‌باشد. این وضعیت در حالتی اتفاق می‌افتد که حساسیت $S_{hq(a)}$ سازه‌ی کنترل‌کننده‌ی سطح آب و یا حساسیت $S_{hq(a)}$ سازه‌ی آبیگر صفر باشد. به عنوان مثال اگر سازه‌ی کنترل‌کننده‌ی سطح آب از نوع آمیل و سازه‌ی آبیگر از نوع مدول نیریک باشد، شاخص حساسیت تحویل بازه صفر و یا نزدیک به صفر می‌باشد. حال آنکه در صورتی که از دریچه‌های زیرگذر برای تنظیم سطح آب و از سرریزهای ثابت برای آبیگری استفاده شود مقدار شاخص حساسیت تحویل بازه افزایش می‌یابد و به یک نزدیک می‌شود و مقدار زیادی از اختلالات هیدرولیکی توسط آبیگرهای بازه جذب می‌شود.

در صورتی که شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی سازه‌ی براساس ضریب دبی متغیر و ثابت محاسبه شوند خطای محاسباتی SRC در تمام آزمایشات به ترتیب کمتر از 5 و 11 درصد و خطای متوسط به ترتیب 1/9 و 5/87 درصد می‌باشد.

شاخص حساسیت تحویل بازه

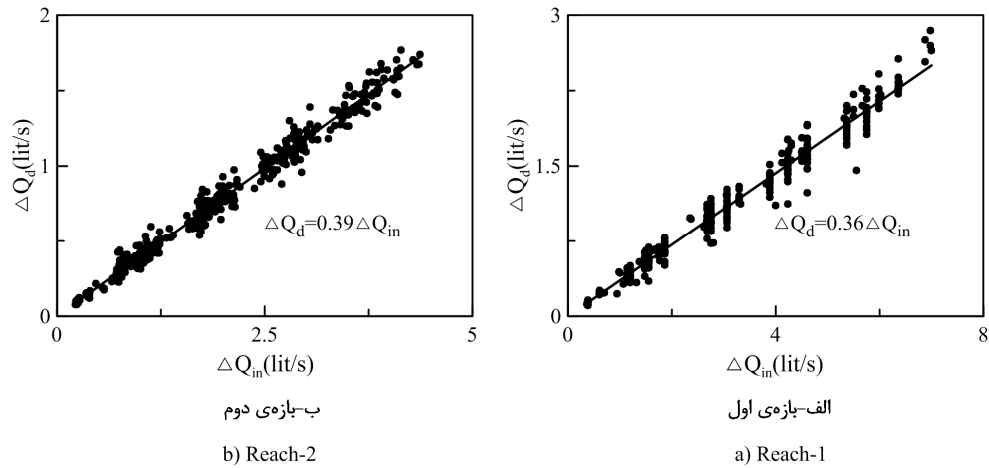
به منظور تعیین توانایی بازه‌ها در جذب اختلالات هیدرولیکی از شاخص حساسیت تحویل بازه S_{RD} استفاده می‌شود. این شاخص بیان می‌کند که چه مقدار از اختلالات هیدرولیکی ورودی به بازه به آبیگرهای موجود در بازه‌ی مزبور وارد می‌شود. رنالت (5) شاخص حساسیت تحویل بازه را به صورت رابطه‌ی 20 ارائه داد:

$$S_{RD} = \frac{\Delta Q_d}{\Delta Q_{in}} \quad (20)$$

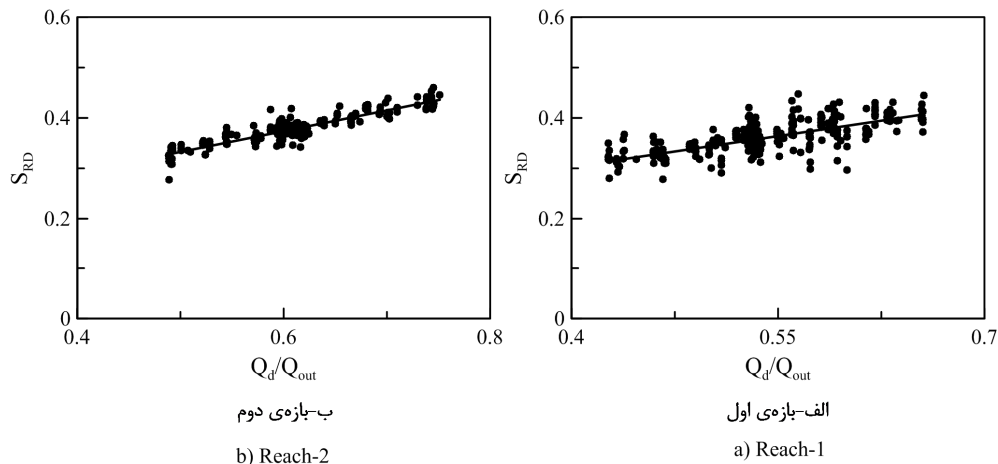
با جایگزینی روابط 18 در رابطه‌ی 20 و ساده‌سازی خواهیم داشت:

$$S_{RD} = 1 - S_{RC} \quad (21)$$

با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی مقدار متوسط شاخص S_{RD} برای بازه‌های مجموعه‌ی آزمایشگاهی در شکل 12 ارائه شده است. با توجه به شکل مقدار متوسط شاخص S_{RD} برای بازه‌ی اول 0/36 و



شکل 12- مقدار متوسط شاخص حساسیت تحویل بازه
 Figure 12- Average values of reach sensitivity indicator for delivery



شکل 13- تأثیر پارامتر Q_d/Q_{out} بر شاخص حساسیت تحویل بازه
 Figure 13- Effect of Q_d/Q_{out} on delivery index

نتیجه گیری کلی

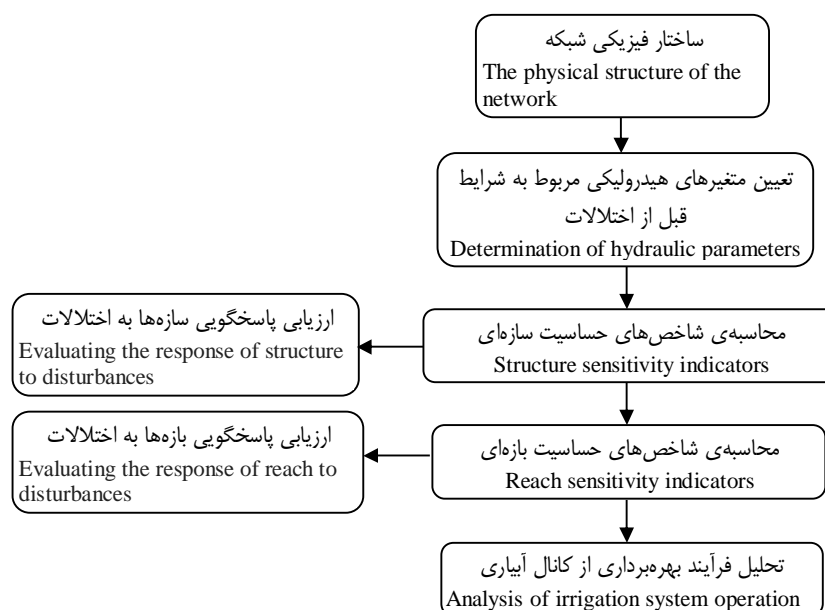
در این تحقیق با در نظر گرفتن ضریب دبی متغیر برای دریچه‌های کشویی، شاخص‌های مختلف حساسیت در سطوح مختلف توسعه یافت و با داده‌های آزمایشگاهی صحت‌سنجی گردید. از مهمترین عوامل موثر بر میزان تغییرات عمق آب در بالادست سازه‌ی تنظیم‌کننده به دلیل اختلالات هیدرولیکی، عمق اولیه‌ی آب در تغییرات دبی ورودی یکسان، تغییرات عمق آب بالادست تنظیم‌کننده به دلیل کاهش شاخص حساسیت $S_{hq(a)}$ آبگیر و افزایش شاخص حساسیت $S_{qh(a)}$ تنظیم‌کننده افزایش می‌یابد. در این پژوهش همچنین تأثیر پارامترهای عمق اولیه‌ی آب و نسبت مجموع دبی

با استفاده از شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی می‌توان فرایند بهره‌برداری در شبکه‌های آبیاری را به صورت شکل 14 ارائه نمود. بدین منظور با استفاده از داده‌های ساختار فیزیکی شبکه و روابط جریان دائمی شاخص‌های حساسیت سازه‌ها محاسبه و سپس به ارزیابی پتانسیل پاسخگویی سازه‌ها به اختلالات پرداخته می‌شود. همچنین با استفاده از روابط حساسیت سازه‌های آبگیر و تنظیم‌کننده، شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی در سطح بازه محاسبه شده و به ارزیابی پتانسیل پاسخگویی بازه‌ها به اختلالات پرداخته می‌شود و بدین ترتیب می‌توان فرایند تنظیم و توزیع مطلوب و مناسب جریان در شبکه‌های آبیاری را ارائه نمود.

سیاسگزاری

این تحقیق در راستای مأموریت‌ها و اهداف قطب علمی "ارزیابی و بهسازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی" و با حمایت مشترک شرکت مدیریت منابع آب ایران و دانشگاه تهران انجام شده است.

آبگیرها به دبی خروجی از بازه Q_d/Q_{out} بر شاخص حساسیت انتقال و تحویل بازه مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس، عمق اولیه‌ی آب تأثیر چندانی بر شاخص حساسیت S_{RD} و S_{RC} ندارد. در حالی که، با افزایش پارامتر Q_d/Q_{out} شاخص حساسیت S_{RC} کاهش و شاخص حساسیت S_{RD} افزایش می‌یابد.



شکل 14 - مراحل بهره‌برداری کانال‌های آبیاری با استفاده از شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی
Figure 14-The process of operation of irrigation canals using hydraulic sensitivity indicator

منابع

- 1-Bos M.G. 1989. Discharge measurement structures. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands.
- 2-Kouchakzadeh S., and Montazar A. 2005. Hydraulic sensitivity indicators for canal operation assessment, Journal of Irrigation and Drainage, 54(4):443-454.
- 3-Montazar A., and Kouchakzadeh S. 2006. The sensitivity analysis of baffle distributors, Journal of Applied Science, 41(2):273-90.
- 4-Renault D. 2000a. Operational sensitivity of irrigation structures, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 126(3):157-162.
- 5-Renault D. 2000b. Aggregated sensitivity indicators of irrigation systems hydraulic behavior, Journal of Agricultural Water Management, 43(2):151-171.
- 6-Renault D., and Hemakumara H.M. 1999. Irrigation offtake sensitivity, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 125(3):131-136.
- 7-Shahrokhnia M.A., and Javan M. 2007. Influence of roughness changes on offtaking discharge in irrigation canals, Journal of Water Resource Management, 21:635-647.
- 8-Shanan L. 1992. Planning and management of irrigation system in developing counties, Agricultural Water Management, 22(1+2), The Netherlands, Elsevier.
- 9-Swamee P.K. 1992. Sluice gate discharge equations, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 118(1):56-60.
- 10-Vatankhah A. 2011. Influence of Regulators in Controlling Upstream Water Depth, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 137(9):620-623.

Developing Sensitivity Indicators for Hydraulic Perturbation

M.M. Heidari^{1*}-S. Kouchakzadeh²

Received: 03-05-2013

Accepted: 19-05-2015

Introduction: Determination the hydraulic performance of an irrigation network requires adequate knowledge about the sensitivities of the network structures. Hydraulic sensitivity concept of structures and channel reaches aid network operators in identifying structures with higher sensitivities which will attract more attention both during network operation and maintenance program. Sluice gates are frequently used as regulator and delivery structures in irrigation networks. Usually discharge coefficient of sluice gate is considered constant in the design and operation stage. Investigation of sensitivity of offtakes and cross-regulators has carried out by various researchers and some hydraulic sensitivity indicators have been developed. In the previous researches, these indexes were developed based on constant coefficient of discharge for free flow sluice gates. However, the coefficient of discharge for free flow sluice gates depend on gate opening and the upstream water depth. So, in this research, some hydraulic sensitivity indicators at structure based on variable coefficient of discharge for free flow sluice gates were developed and they were validated by using observed data.

Materials and Methods: An experimental setup was constructed to analyses the performance of the some hydraulic sensitivity. The flume was provided with storage reservoir, pumps, electromagnetic flowmeter, entrance tank, feeder canal, delivery canals, offtakes, cross-regulators, collector reservoir, piezometric boards. The flume is 60.5 m long and the depth of that is 0.25 m, of which only a small part close to offtake and Cross-regulators was needed for these tests. Offtakes and Cross-regulators are free-flowing sluice gates type. Offtakes were located at distances 20 m and 42.5 m downstream from the entrance tank, respectively. and, Cross-regulators were located 2 m downstream from each offtakes. The offtakes are 0.21 m and Cross-regulators are 0.29 m wide. The upstream and downstream water levels at gates were measured with piezometer taps. There is a collector reservoir downstream of each delivery canal that was equipped with a 135 V-notch weir as a measuring device. The flow was provided by a pump having maximum capacity 35 lit/s, and was measured by an electromagnetic flowmeter of 0.5% accuracy. The suction pipe of the upstream pump was connected to the storage reservoir and its discharge pipe delivered the water to an entrance tank located at the upstream side of the flume. The entrance take was equipped with a turbulence reduction system. Measured water entered to feeder canal and, after adjusting water depth by Cross-regulators, it moved to offtakes and the brink of the feeder canal. Underneath the downstream end of the feeder canal and delivery canals, a tank was installed to collect the water. Water accumulated at the collector tanks was pumped to the storage reservoir by using a pump to complete the water circulation cycle.

Results and Discussion: Discharge coefficient is the most important parameter that is effect on hydraulic indicators sensitivity. Therefore, coefficient of discharge for free flow sluice gates determined based on experimental data. Sluice-gate discharge coefficient is a function of geometric and hydraulic parameters. For free flow, it is related to upstream depth and gate opening. In this study, analytical relationships for various sensitivity indices for channel reach were developed, and the performance of the proposed relationships was verified with experimental data compiled during this research. It was shown that using constant discharge coefficient yields average error in the calculated sensitivity of the water depth upstream regulator to the inlet flow, and average error of calculated reach sensitivity indicator, as 16.6% and 5.8%, respectively. While those values for variable coefficient was 5.7% and 1.9%, respectively. Also, for 20% variation in reach inflow, the variable coefficient improved the calculated mean flow depth error upstream of a regulator drastically, i.e. the mentioned error using constant coefficient was 17% while that of variable one was 4.3%

Conclusion: In this research, Analytical relationships based on using variable discharge coefficient for Three sensitivity indicators for a canal reach, i.e. reach sensitivity indicator of water depth, reach sensitivity indicator

1- Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, Razi University

(*-Corresponding Author Email: mm.heidari@razi.ac.ir)

2- Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

for conveyance and delivery developed. Comparing reach canal sensitivity indicators and the structural sensitivities, i.e. sensitivity of delivery of offtake to absolute water depth deviation and water depth sensitivity to the discharge for regulator with experimental data, showed good agreement. Hence, the technique proved to be reliable in providing what is necessary for practical canal.

Keywords: Discharge coefficient of sluice gate, Operation of irrigation networks, Performance assessment, Water surface profile