

## تدوین معادلات حساسیت هیدرولیکی مدول‌های تیغه‌ای و بررسی اثر تغییرات کمّی شاخص حساسیت در شرایط بهره‌برداری

علی اصغر منتظر، صلاح کوچک زاده، عبدالجعید لیاقت و محمدحسین امید<sup>۱</sup>

### چکیده

بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری، نتیجه یک فرآیند تصمیم‌گیری است که در آن سه عنصر وضعیت فیزیکی موجود سازه‌ها، ظرفیت کنترل و رفتار هیدرولیکی سیستم نقش کلیدی ایفا می‌نمایند. این سه عنصر به نوعی در مفهوم حساسیت هیدرولیکی سازه‌ها مستقر بوده و از این روز است که حساسیت هیدرولیکی سازه‌ها مهم‌ترین عامل مربوط به خصوصیات هیدرولیکی سیستم عنوان می‌شود. شیوه آنالیز حساسیت سازه‌های آبیاری از جمله روش‌های تحلیل جریان بوده که در سال‌های اخیر به منظور رفتارسنجی جریان در شبکه‌های آبیاری، توسعه یافته و در رفتارسنجی جریان چند شبکه آبیاری جهان مورد استفاده قرار گرفته است. مدول‌های تیغه‌ای از جمله مناسب‌ترین ابزار توزیع جریان بوده که امروزه در سطوح مختلف بهسازی شبکه‌های آبیاری مطرح و توصیه می‌شوند. در این مقاله معادلات حساسیت هیدرولیکی مدول‌های تیغه‌ای ارائه گردیده و به ارزیابی تغییرات کمّی این شاخص در شرایط بهره‌برداری و تأثیر آن در عملکرد سازه پرداخته شده است.

نتایج محاسبه‌های انجام گرفته روی داده‌های موجود و اسننجی جریان چند مدول از شبکه آبیاری دشت قزوین، بیانگر تغییرهای مقدار حساسیت هیدرولیکی این آبگیرها در شرایط بهره‌برداری است. در بعضی موارد این تغییرها به بیش از ۱۰۰ درصد می‌رسد. تغییر در مقدار کمّی حساسیت سازه، تغییر در بازه عملکرد سازه را پیامد شده و مشکلاتی را در فرآیند توزیع جریان در سطح شبکه به وجود می‌آورد. بازه تغییرات دبی بعضی از دریچه‌های مدول‌های مورد بررسی نسبت به مقدار مجاز که ۲۰ درصد می‌باشد، بیش از دو برابر افزایش یافته است.

**واژه‌های کلیدی:** آبگیر، آنالیز حساسیت، بهره‌برداری، سازه آبیاری، مدول تیغه‌ای

### مقدمه

کلیدی ایفا می‌نمایند. شرایط مناسب تنظیم و توزیع جریان در بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری، نتیجه یک فرآیند تصمیم‌گیری است که در آن سه عنصر وضعیت فیزیکی موجود سازه‌ها، ظرفیت کنترل سازه‌ها نسبت به تغییرات و اختلالات ورودی است. از بین این سه فاکتور حساسیت کنترل مهم‌ترین عامل مربوط به

۱. به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استادیار و استادیار مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

اساسی دارد(۱۲). الف) تمایل طبیعی سیستم نسبت به تأثیرپذیری از نوسانات و اختلالات چگونه است؟ ب) تمایل طبیعی سیستم به تولید و انتشار نوسانات و اختلالات چگونه است؟ ج) عملکرد سیستم چگونه از حساسیت سازه‌ها تأثیر می‌پذیرد؟ د) موقعیت و نقاط حساس سیستم از نقطه نظر کاهش عملکرد کدام‌اند؟<sup>۵</sup> فرایند بهره‌برداری کارآمد و ساده سیستم کدام است؟

بررسی‌های اولیه در رابطه با حساسیت آبگیرها (Offtakes) بر می‌گردد به سال ۱۹۵۱ که توسط محبوب و گوالاتی انجام گرفت(۱۰). ایشان از این مفهوم در حساسیت سنجی مجازی تخلیه جریان در چند شبکه آبیاری کشور هند استفاده نمودند. هورست با تعریف شاخص انعطاف پذیری (Flexibility Index) به عنوان نسبت تغییرات نسبی دبی تحويلی توسط آبگیر به تغییرات نسبی دبی ورودی به کanal اصلی، روند انتشار نوسانات دبی را در طول کanal مطالعه کرد(۹). آلبینسون بررسی‌هایی روی حساسیت سازه‌های آبگیر و تنظیم کننده (Cross Regulators) انجام داده و بر اساس آن تحلیلی در زمینه ترکیب آثار حساسیت سازه‌های مجاور سازه تنظیم کننده ارائه نمود(۳). رینالت و هماکومارا اصول آنالیز حساسیت دریچه‌ها را تحت شرایط گسترده‌ای از نوسانات و اختلالات عمق جریان و تنظیم سازه‌ها توسعه داده و در بررسی شبکه‌های مهاویل و کیریندویای سری لانکا و شبکه فوردوای (Fordova) پاکستان استفاده کردند(۱۱). ایشان هم‌چنین شاخص‌های مختلفی از حساسیت سازه‌ها را تعریف نموده که از آن جمله می‌توان حساسیت دبی تحويلی آبگیر به تغییرات عمق آب در بالادست آبگیر، حساسیت انتقال و حساسیت دبی به سطح مقطع نسبی جریان، حساسیت انتقال و حساسیت دبی به میزان تنظیم سازه را نام برد.

تا به حال شیوه آنالیز حساسیت برای آبگیرهای کشویی، فلومهای باز، روزنہای و سرریزها استفاده شده است(۱۱). روش آنالیز حساسیت از اواخر دهه ۱۹۹۰، با تعریف شاخص حساسیت بازه کanal (فاصله بین دو سازه تنظیم کننده در طول

خصوصیات هیدرولیکی سازه‌ها عنوان می‌شود(۱۲). رفتار سنجی جریان در شبکه‌های آبیاری با استفاده از روابط جریان‌های ماندگار و غیرماندگار صورت می‌پذیرد. بر این اساس مدل‌های هیدرودینامیک بسیاری توسعه یافته که امکان بررسی جریان و ارزیابی عملکرد هیدرولیکی شبکه‌های آبیاری را فراهم می‌نمایند. از جمله مهم‌ترین این مدل‌ها می‌توان به Mike-11, Modis, Sobek, Regvar, Canvar, Crue, Procan, Carima, Canalcad, Canalman مدل‌های Icss و اشاره نمود(۸).

وجود مدل‌های شبیه ساز علی‌رغم توانایی‌های قابل توجه در پیش‌بینی وضعیت جریان، به دلیل پیچیدگی کاربری تا به حال نظر مهندسان و متولیان بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری را به خود جلب نکرده است. از این رو هنوز نیاز به توسعه متداول‌تری‌های ساده به منظور تحلیل جریان در سطح شبکه‌های آبیاری احساس می‌شود(۵). روش آنالیز حساسیت (Sensitivity Analysis Approach) هیدرولیکی سازه‌های آبیاری در همین راستا طرح و توسعه یافته است. این روش یک شیوه بینایی‌است، ما بین شبیه‌سازی ساده و محدود براساس معادلات جریان دائمی و شبیه‌سازی پیچیده و کارآ براساس معادلات جریان غیردایمی. در این روش که اساساً یک آنالیز ساده (What-If) است، رفتار سیستم نسبت به تغییرهای پارامترهای ورودی سنجیده می‌شود. شاخص حساسیت هیدرولیکی یک سازه آبیاری به عنوان نسبت تغییرهای نسبی و یا مطلق پارامترهای هیدرولیکی خروجی به تغییرات نسبی و یا مطلق پارامترهای هیدرولیکی ورودی تعریف می‌شود(۱۱، ۱۲).

طبق تعریف خواهیم داشت:

[۱] تغییرات پارامترهای هیدرولیکی ورودی. تغییرات پارامترهای هیدرولیکی خروجی = حساسیت هیدرولیکی سازه

در این شیوه، پتانسیل فیزیکی سیستم نسبت به کنترل نوسانات و اختلالات ورودی، ارزیابی می‌گردد. دانش آنالیز حساسیت سازه‌های آبیاری، سعی بر پاسخ‌گویی پنج سؤال

(یک و یا دو تیغه) با نام‌های  $X_i$ ,  $L_i$ ,  $C_i$  و  $CC_i$  شناخته می‌شوند که  $n$  تعداد تیغه‌های مدول می‌باشد<sup>[7]</sup>. مدولهای سری  $CC_i$  معمولاً در شبکه‌های آبیاری کمتر کاربرد داشته و معمولاً در آبگیری‌های با شدت جریان بالا (سدها) استفاده می‌شوند و به همین علت در این پژوهش نیز مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. مدولهای تیغه‌ای در ایران با نام مدولهای روزنۀ ای نیپیک (Neyrpic) شناخته می‌شوند.

این پژوهش با هدف تدوین و ارائه معادلات حساسیت هیدرولیکی مدولهای تیغه‌ای و بررسی تأثیر تغییرات کمی حساسیت این سازه در شرایط بهره‌برداری صورت گرفت.

## مواد و روش‌ها

ارائه روابط محاسبه حساسیت هیدرولیکی مدولهای تیغه‌ای رفتار هیدرولیکی جریان از سازه‌های آبگیر و تنظیم کننده، متأثر از دو مرحله عبور جریان از سازه (مرحله یک) و ورود آن به کanal پایین دست سازه (مرحله دو) می‌باشد<sup>[3]</sup>. معادلات عمومی دبی به وضعیت این دو مرحله ارتباط یافته و می‌تواند به صورت زیر نمایش داده شود<sup>(11)</sup>.

$$q = aA_{(w)}(H_{US} - H_{DS})^\alpha \quad [2]$$

$$q = b(H_{US} - H_{REF})^\beta \quad [3]$$

در روابط فوق  $q$  دبی عبوری از سازه،  $A_{(w)}$  سطح مقطع جریان که به عنوان تابعی از میزان تنظیم یا بازشدگی ( $W$ ) بیان می‌شود،  $a$  و  $b$  ضرایب رابطه دبی،  $H_{US}$  عمق آب در کanal اصلی بالادست سازه،  $H_{DS}$  عمق آب در کanal فرعی پایین دست سازه،  $H_{REF}$  ارتفاع سطح مرجع ثابت که می‌تواند کف کanal و یا رقوم تاج سرریز باشد و  $\alpha$  و  $\beta$  ضرایب توانی رابطه دبی می‌باشند. در شرایط جریان آزاد از سازه، رابطه ۲ حذف شده و تنها معادله (۲) بر وضعیت جریان حاکم می‌باشد.  $H_{DS}$  در جریان از روی سازه (Overshot Flow) به عنوان عمق آب روی تاج و در جریان از زیر سازه (Undershot Flow) به عنوان عمق جریان در

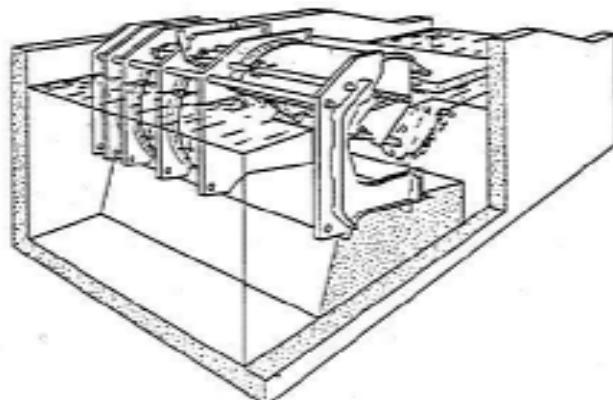
کanal) و استخراج چند رابطه تحلیلی در این مقوله وارد مرحله جدیدتری گردیده است<sup>(13)</sup>. هم اکنون مبانی تئوریک آن در حال توسعه بوده و مدل بهره‌برداری کanal‌ها براساس اصول حساسیت سنجی سازه‌ها در حال تدوین می‌باشد.

یکی از علائم مدرن بودن شبکه‌های آبیاری، وجود شرایط کنترلی مناسب در تنظیم و توزیع میزان جریان تحولی به بهره برداران است. مدولهای تیغه‌ای (Baffle Modules) از جمله مناسب‌ترین ابزار توزیع جریان بوده که امروزه در سطوح مختلف بهسازی و مدرنیزاسیون شبکه‌ها مطرح و توصیه می‌شوند. این توزیع کننده‌ها از پذیرش بالایی در بین متولیان امور شبکه‌ها و بهره‌برداران محلی برخوردار می‌باشند.

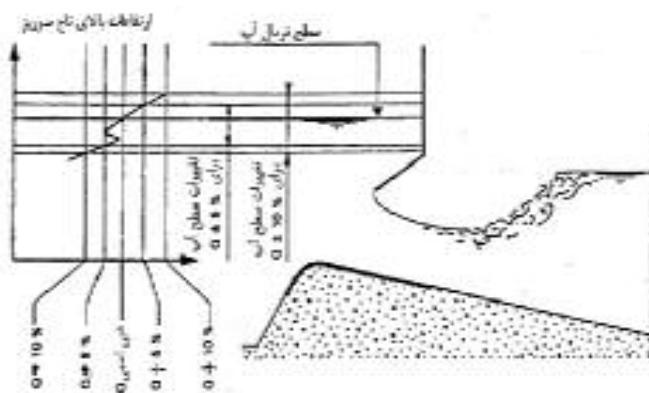
مدولهای تیغه‌ای شامل یک اسکلت فلزی استاندارد بوده که به تعدادی خروجی موازی با پروفیل طولی یکسان تقسیم می‌شوند. بر روی هر یک از مقاطع خروجی، یک یا دو تیغه فلزی نصب شده که هر خروجی را به صورت یک روزنۀ با سطح مقطع خروجی قابل تنظیم تبدیل می‌کند. در این مقاله به هر یک از این خروجی‌ها یک دریچه اطلاق می‌گردد. شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب شماتیک مدول تیغه‌ای نوع و پروفیل طولی جریان در یک دریچه فرضی از همین نوع مدول را نمایش می‌دهند<sup>(7)</sup>.

بسته به مقدار عمق جریان بالادست مدول، سه وضعیت هیدرولیکی متفاوت برای جریان عبوری از این سازه به وقوع می‌پیوندد<sup>(4) و (6)</sup>.

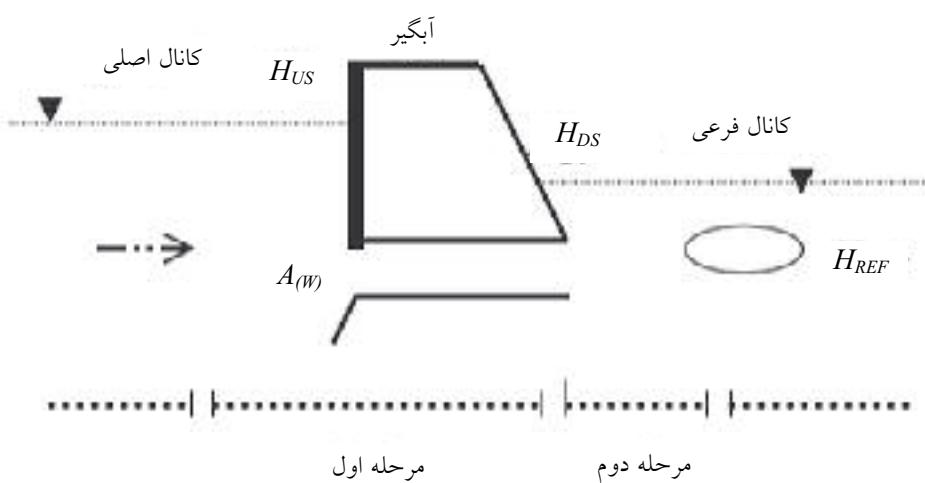
- در عمق‌های کم، سرریز لبه پهن جریان راکتل می‌کند.
- با افزایش عمق جریان، تیغه مدول وارد عمل شده و رژیم جریان را از حالت سرریز آزاد (Weir) به جریان از روزنۀ (Orifice) تغییر می‌دهد. در این بررسی محدوده تغییر جریان از حالت سرریز آزاد به روزنۀ منطقه انتقالی جریان نامیده گردید.
- با افزایش عمق آب، افت انرژی در روزنۀ افزایش می‌یابد. در این محدوده شدت افزایش دبی با افزایش ارتفاع کاهش پیدا می‌کند.
- مدول‌ها، در پنج سری با دبی‌های ویژه ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ طراحی شده‌اند. این پنج سری بسته به تعداد تیغه‌ها



شکل ۱. شماتی از یک مدول تیغه‌ای نوع L<sub>1</sub>



شکل ۲. پروفیل طولی جریان در یک دریچه از مدول نوع یک تیغه‌ای



شکل ۳. وضعیت جریان در سازه آبگیر

تغییرات دبی مدولها، به ترتیب در سه و پنج محدوده هیدرولیکی مختلف (نواحی ارتفاعی) قابل بررسی است. بازه مجاز تغییرات دبی مدولها معادل ۲۰ درصد دبی اسمی مدول در نظر گرفته شد. نواحی ارتفاعی در مدولهای یک تیغه‌ای با نامهای I، II، III و در مدولهای دو تیغه‌ای با نامهای I، II، III، IV و V نام‌گذاری گردیدند. شکل ۴ تفکیک این نواحی را روی منحنی‌های دبی - عمق جریان نمایش می‌دهد. مناسب‌ترین روابط برآشش شده بر گراف‌های تیپ در هر ناحیه ارتفاعی و برای هرنوع از مدولها با دقت بسیار تعیین شده و در جدولی در بخش نتایج ارائه گردید.

مقدار کمی حساسیت (شرایط تئوری) هر یک از نواحی ارتفاعی مدولهای مختلف با استفاده از روابط دبی - عمق جدول مذکور و رابطه (۷) قابل محاسبه هستند. حساسیت در هر یک از نواحی ارتفاعی به صورت  $S_j$  نمایش داده شد که اندیس  $j$  بیان‌گر ناحیه ارتفاعی مربوطه می‌باشد.

در این پژوهش مقدار حساسیت دریچه‌های مدولهای تیغه‌ای، به صورت ترکیبی از حساسیت نواحی ارتفاعی مختلف آن در نظر گرفته شد. بر این اساس و به منظور محاسبه حساسیت هیدرولیکی مدولها، معادلات بسیاری تعریف و مورد آزمون قرار گرفتند. تعدادی از این معادلات که از دقت مناسب‌تری در برآورده مقدار حساسیت برخوردار می‌باشند، در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

در روابط فوق  $S_1$ ،  $S_2$ ،  $S_3$  به ترتیب مقدار حساسیت نواحی ارتفاعی اول، سوم و پنجم،  $\Delta H_{US(j)}$  اختلاف عمق جریان بالادرست دریچه بین حداقل و حداکثر مقدار عمق در ناحیه زام (محددوده تغییرات عمق ناحیه زام)،  $S_j$  مقدار حساسیت ناحیه  $j$  ام،  $A_j$  سطح زیر منحنی دبی - عمق در ناحیه ارتفاعی زام،  $\Delta q'$  و  $\Delta H'_{US}$  به ترتیب تغییرات دبی و تغییرات عمق بالادرست دریچه مدول بین حداقل عمق ناحیه ارتفاعی اول و حداکثر عمق ناحیه ارتفاعی سوم (پنجم)  $q_1$  دبی به ازای حداقل عمق جریان در ناحیه ارتفاعی اول و  $\bar{S}_0$  مقدار حساسیت هیدرولیکی دریچه مورد نظر در مدول می‌باشد.

محور مرکزی روزنه یا دریچه در نظر گرفته می‌شود. جریان در مدولها به صورت ترکیبی از جریان از رو و از زیر سازه صورت می‌گیرد.

با جمع روابط ۲ و ۳ و مشتق‌گیری نسبت به متغیر  $H_{US}$  و فرض ثابت بودن  $H_{REF}$ ، رابطه ۴ به دست می‌آید.

$$dH_{US} = \left[ \frac{1}{\alpha} (H_{US} - H_{DS}) + \frac{1}{\beta} (H_{DS} - H_{REF}) \right] \frac{dq}{q} \quad [4]$$

با تعریف  $H_E$  به صورت رابطه ۵ و جای‌گذاری در رابطه فوق، رابطه ۶ به دست می‌آید.

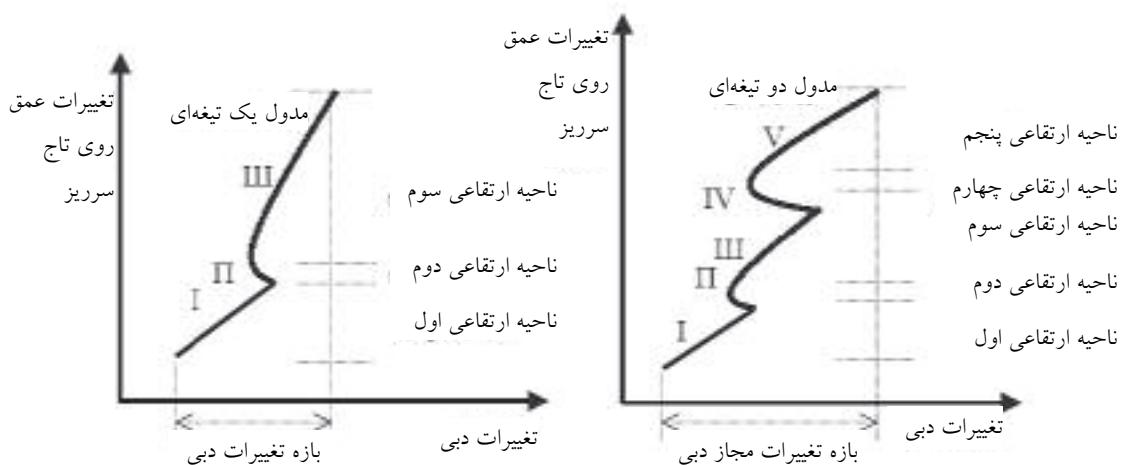
$$H_E = (H_{US} - H_{DS}) + \frac{\alpha}{\beta} (H_{DS} - H_{REF}) \quad [5]$$

$$dH_{US} = \frac{H_E}{\alpha} \cdot \frac{dq}{q} \quad [6]$$

$H_E$  مقدار افت بار معادل می‌باشد. افت بار معادل از یک آبگیر ویژه، برابر با افت بار همان نوع آبگیر با همان مقدار حساسیت اما تحت شرایط جریان آزاد در نظر گرفته می‌شود. مقدار  $H_E$  در شرایط جریان آزاد معادل  $H_{US}-H_{DS}$  خواهد بود. با توجه به روابط ۱ و ۶، حساسیت جریان تحويلی به تغییرهای مطلق عمق جریان در بالادرست سازه آبگیر (حساسیت هیدرولیکی سازه) از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$S = \frac{dq}{q} = \frac{\alpha}{H_E} \quad [7]$$

به منظور تحلیل حساسیت مدولهای تیغه‌ای و ارائه شاخص مناسب ارزیابی حساسیت این نوع خاص از آبگیرها، وجود روابط هیدرولیکی دبی - عمق آب مدولها ضروری است. در این پژوهش برای محاسبه روابط مذکور در حالت تئوری از گراف‌های ارائه شده توسط کارخانه طراح مدولها (گراف‌های تیپ) استفاده گردید. گراف‌های مذکور برای هر سری از مدولهای یک تیغه‌ای ( $C_1, L_1, XX_1, X_1$ ) و دو تیغه‌ای ( $C_2, L_2, XX_2, X_2$ ) به صورت جداگانه ارائه گردیده است (۶). جریان عبوری از مدولهای یک و دو تیغه‌ای در بازه مجاز



شکل ۴. تفکیک نواحی ارتفاعی مختلف در مدل‌های یک و دو تیغه‌ای

جدول ۱. روابط مورد آزمون برای محاسبه حساسیت هیدرولیکی مدل‌های تیغه‌ای

عنوان رابطه	مدول‌های یک تیغه‌ای	مدول‌های دو تیغه‌ای
A	$\bar{S}_o = S_5$	$\bar{S}_o = S_3$
B	$\bar{S}_o = \frac{S_1 + S_5}{2}$	$\bar{S}_o = \frac{S_1 + S_2}{2}$
C	$\bar{S}_o = \frac{\sum_{j=1}^5 S_j}{5}$	$\bar{S}_o = \frac{\sum_{j=1}^3 S_j}{3}$
D	$\bar{S}_o = \frac{\sum_{j=1}^5 \Delta H_{US(j)} \cdot S_j}{\sum_{j=1}^5 \Delta H_{US(j)}}$	$\bar{S}_o = \frac{\sum_{j=1}^r \Delta H_{US(j)} \cdot S_j}{\sum_{j=1}^r \Delta H_{US(j)}}$
E	$\bar{S}_o = \frac{\Delta q' / q_1}{\Delta H'_{US}}$	$\bar{S}_o = \frac{\Delta q' / q_1}{\Delta H'_{US}}$
F	$\bar{S}_o = \frac{\sum_{j=1}^5 S_j \cdot A_j}{\sum_{j=1}^5 A_j}$	$\bar{S}_o = \frac{\sum_{j=1}^r S_j \cdot A_j}{\sum_{j=1}^r A_j}$

استفاده گردید(۱). شبکه آبیاری دشت قزوین دارای ۱۵۵ نقطه

تحویل آب به کانال‌های درجه سه بوده که کلیه آبگیرهای موجود در این مقاطع از نوع مدل‌های تیغه‌ای می‌باشند. آب مورد نیاز این شبکه از رودخانه طالقان تأمین گردیده و توسط

داده‌های موجود و اسننجی جریان چند مدل تیغه‌ای

به منظور بررسی تغییرهای هیدرولیکی مدل‌های تیغه‌ای در شرایط بهره برداری، از نتایج داده‌های موجود و اسننجی جریان چند مدل در شبکه آبیاری دشت قزوین

ارتفاعی دارا هستند. در جدول ۳ ضرب ظرفیت اسمی کوچکترین دریچه در هر مدول می‌باشد. روابط ارائه شده برای شرایط تئوری، قابلیت تعیین شدت جریان مدولها را با دقت بسیار بالا دارا بوده و می‌توانند جایگزین گرافهای تیپ شوند.

با استفاده از روابط جدول ۳، رابطه ۷ و هر یک از معادلات جدول ۱، مقادیر کمی حساسیت هیدرولیکی انواع مختلف مدولها در شرایط تئوری محاسبه شدنند. به منظور ارزیابی دقت هر یک از معادلات A تا F، بازه تغییرهای دبی براساس مقادیر حساسیت محاسبه شده از این معادلات تعیین شد. منظور از بازه تغییرهای دبی، میزان تغییرات دبی مدولها به ازای تغییرات عمق جریان بالادست مدول (مطابق با ستون نواحی ارتفاعی جدول ۳) می‌باشد. مقدار این بازه بر حسب درصد بوده و معادل با حاصل ضرب مقدار کمی حساسیت (محاسبه شده از معادلات A تا F) در مقدار عددی تغییرات عمق جریان بالادست مدول (از جدول ۳) است. در شکل ۵ نتایج این محاسبات برای انواع مختلف مدولها آمده است. محور افقی نوع مدول و محور قائم بازه تغییرهای دبی را نشان می‌دهد. در این شکل بازه تغییرات دبی محاسبه شده از معادلات مذکور با مقدار مجاز آن که ۲۰ درصد می‌باشد و به عنوان منحنی مرجع معرفی شده است، مورد مقایسه گرفت. مقادیر جذر میانگین مربعات (RMS) هر سری از داده‌ها که مربوط به یکی از معادلات مذکور می‌باشد نسبت به منحنی مجاز که مقدار آن برای کلیه مدولها ثابت و معادل ۲۰ درصد است، محاسبه شد. مقدار این شاخص برای معادلات A تا F به ترتیب ۶,۶۱, ۴۳, ۴۵, ۱۸, ۸۲, ۶۸, ۰۸, ۸ و ۰۷, ۱۱ می‌باشد. حداقل مقدار جذر میانگین مربعات، مربوط به داده‌های معادله D بوده که بیانگر مناسبت بیشتر این معادله به منظور محاسبه حساسیت هیدرولیکی مدولها می‌باشد. معادلات دیگری نیز مورد آزمون قرار گرفته‌اند که از دقت کمی برخوردار بوده و در مقاله ارائه شدند. معادله D را می‌توان به صورت زیر نمایش داد. در این

کanal اصلی به ظرفیت طراحی ۳۰ متر مکعب بر ثانیه (ظرفیت بخش ابتدایی کanal) به داخل شبکه انتقال می‌یابد. مجموعه‌ای از کanalهای درجه دو، سه و چهار وظیفه توزیع آب را در سطح شبکه بر عهده دارند (۱). در این پژوهش از داده‌های اندازه‌گیری شده روی پنج مدول مختلف با ظرفیت و موقعیت مشخص شده در جدول ۲ استفاده شد. در این پنج سری آزمایش، دبی دریچه‌های مختلف مدولهای انتخابی با استفاده از پارشال فلومهای نصب شده در پایین دست آبگیرها اندازه‌گیری گردیده است. مقاطع نصب پارشال فلوم به گونه‌ای انتخاب شده بود که از طرفی جریان در خروجی پارشال فلوم‌ها به صورت کاملاً آزاد صورت پذیرفته و از طرفی این سازه در منطقه تأثیر آبگیرها واقع نشود. در انتخاب مدولها نیز دقت کافی برای عدم وجود تلاطم و اختشاش در سطح آب بالادست آبگیرها و همچنین تا حد امکان حداقل بودن میزان فرسودگی و درز و شکاف بدنه و آب بندی آنها، مدنظر بوده است.

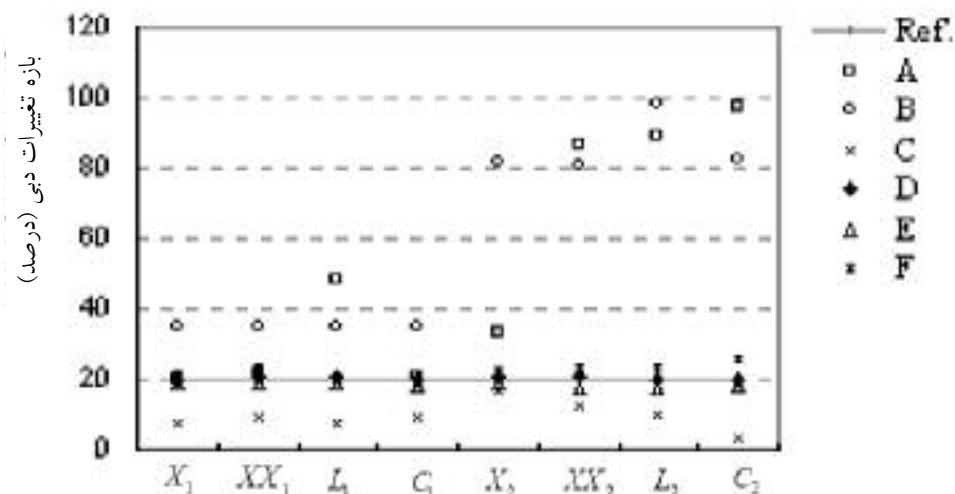
در جدول ۲ منظور از دریچه  $C_{\text{left}}$ ، دریچه با دبی اسمی ۱۰۰۰ لیتر بر ثانیه واقع شده در بخش کناری مدول مورد نظر است.  $C_{\text{mid}}$  نیز همین نوع دریچه واقع شده در بخش میانی مدول است. هر دو دریچه مربوط به مدول تیپ G<sub>۱</sub> می‌باشند.

## نتایج و بحث

در این پژوهش ضمن ارائه معادلات حساسیت هیدرولیکی مدولهای تیغه‌ای، تغییرات این شاخص در شرایط تئوری و بهره برداری ارزیابی شد. بدین منظور نخستین مرحله، تعیین روابط دبی - عمق در هر یک از این شرایط است. در شرایط تئوری این روابط از برآش مناسبترین روابط بر گرافهای تیپ و در شرایط بهره برداری از برآش بهترین روابط بر داده‌های واسنجی جریان پنج مدول از شبکه آبیاری دشت قزوین استخراج گردیدند. روابط شرایط تئوری و بهره برداری به ترتیب در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. این روابط حداقل ضرایب همبستگی را بین کلیه روابط قابل انطباق در هر ناحیه

## جدول ۲. مشخصات و موقعیت مدولها و دریچه‌های واسنجی شده(۱)

سری آزمایش	نوع مدول	ظرفیت اسمی (لیتر بر ثانیه)	موقعیت مدول	دربیچه‌های واسنجی شده
C <sub>1</sub>	اول	۱۹۰۰	محل آبگیری کanal ۵ از کanal اصلی	C <sub>1left(۱۰۰)</sub> , C <sub>1mid(۱۰۰)</sub> , C <sub>۱(۶۰۰)</sub> , C <sub>۱(۴۰۰)</sub> , C <sub>۱(۲۰۰)</sub> , C <sub>۱(۱۰۰)</sub>
C <sub>۱</sub>	دوم	۳۷۰۰	محل آبگیری کanal ۶ از کanal اصلی	C <sub>۱(۲۰۰)</sub> , C <sub>۱(۱۰۰)</sub>
XX <sub>۱(۶۰)</sub> , XX <sub>۱(۲۰)</sub> , XX <sub>۱(۱۰)</sub>	سوم	۱۷۰	ابتدای کanal درجه ۴ منشعب از کanal تغذیه ۵	
L <sub>۱(۴۰۰)</sub> , L <sub>۱(۲۰۰)</sub> L <sub>۱(۱۰۰)</sub> , L <sub>۱(۵۰۰)</sub> XX <sub>۱left(۹۰)</sub> , XX <sub>۱mid(۱۰)</sub>	چهارم	۴۵۰	محل کanal ۷ از انشعاب کanal ۷	
XX <sub>۱(۲۰)</sub> , XX <sub>۱(۱۰)</sub>	پنجم	۴۵۰	محل آبگیری ۱۰۱A از کanal اصلی	



شکل ۵. مقایسه بازه تغییرات دبی مدول‌های مختلف بر اساس حساسیت محاسبه شده از روابط مورد آزمون

در رابطه فوق تعداد نواحی ارتفاعی مدول (۳ یا ۵ ناحیه) می‌باشد. مقادیر حساسیت هیدرولیکی مدول‌های مختلف در شرایط تئوری با استفاده از رابطه فوق محاسبه گردیده ونتایج در شکل ۶ ارائه شدند. در نمودارهای این شکل محور افقی نوع مدول و محور عمودی مقدار کمی شاخص حساسیت هیدرولیکی را نشان می‌دهد. در نمودار مربوط به مدول‌های یک تیغه‌ای، برای هر نوع مدول چهار مقدار حساسیت مشخص شده است. مقادیر S<sub>۱</sub> تا S<sub>۶</sub> به ترتیب حساسیت نواحی ارتفاعی اول تا

در این معادله حساسیت هیدرولیکی یک دریچه از مدول به مقدار حساسیت و هیدرولیک جریان نواحی ارتفاعی مختلف مدول ارتباط یافته است.  $S_j$  مشخصه حساسیت و  $\Delta H_{US(j)}$  مشخصه هیدرولیک جریان می‌باشد.

$$\bar{S}_o = \frac{\sum_{j=1}^n \Delta H_{US(j)} \cdot S_j}{\sum_{j=1}^n \Delta H_{US(j)}} \quad [8]$$

شده نیز همانند نمودارهای شکل ۶ بیانگر حساسیت‌های نواحی ارتفاعی و حساسیت هیدرولیکی محاسبه شده برای دریچه‌های مدولهای می‌باشند.

بررسی این نمودارها نشان می‌دهد در شرایط بهره‌برداری دریچه‌های مختلف یک مدول دارای مقدار حساسیت متفاوتی هستند. بنابراین نمی‌توان به سادگی در مورد مقدار کمی حساسیت مدول اظهار نظر نمود. حساسیت یک مدول به حساسیت دریچه‌های مختلف آن بستگی تام دارد. بنابراین منطقی است که حساسیت در قالب یک رابطه وزنی بر حسب حساسیت دریچه‌های آن بیان شود. تنها مشخصه کمی که دریچه‌های موجود در یک مدول را از یکدیگر متمایز می‌سازد، ظرفیت اسمی (Nominal Capacity) دریچه‌هاست. ظرفیت اسمی واژه‌ای است که کارخانه طراح این سازه برای میزان دبی طراحی دریچه‌ها به کار برده است. در این مقاله نیز با همین مفهوم به کار رفته و با  $q_n$  مشخص شده است. ظرفیت مدول که برگرفته از ظرفیت دریچه‌های آن است در تأثیرپذیری از تغییرات مقدار حساسیت نقش عمده‌ای را بازی می‌کند. بدین ترتیب رابطه مطلوب برای محاسبه حساسیت مدول در شرایط بهره‌برداری، یک رابطه وزنی بر حسب مقادیر حساسیت دریچه‌های مدول بوده که ضرایب وزنی آن ظرفیت اسمی دریچه‌ها می‌باشند. این رابطه به صورت زیر قابل بیان است.

$$\bar{S}_M' = \frac{\sum_{k=1}^m \bar{S}_{o(k)} \times q_{n(k)}}{\sum_{k=1}^m q_{n(k)}} \quad [9]$$

در معادله فوق  $m$  تعداد دریچه مدول (مقدار  $m$  معادل تعداد دریچه‌های مورد استفاده در شرایط بهره‌برداری بوده و بنابراین ممکن است در دو شیوه بهره‌برداری متفاوت، متغیر باشد)،  $\bar{S}_{o(k)}$  حساسیت دریچه  $k$ ام،  $q_{n(k)}$  ظرفیت اسمی دریچه  $k$ ام و  $\bar{S}_M'$  مقدار حساسیت هیدرولیکی مدول می‌باشد. مقادیر حساسیت هریک از مدولهای مورد بررسی

سوم این مدولها بوده که با استفاده از معادلات جدول ۳ و رابطه ۷ محاسبه گردیده و مقدار  $\bar{S}_0$  حساسیت هیدرولیکی مدول بوده که با استفاده از رابطه ۸ محاسبه شده است.

مقدار  $\bar{S}_0$  هر مدول بر روی منحنی مربوطه در نمودار مشخص شده است. در نمودار مربوط به مدولهای دو تیغه‌ای نیز برای هر نوع مدول شش مقدار حساسیت مشخص گردیده که  $\bar{S}_0$  حساسیت هیدرولیکی مدول و پنج مقدار دیگر مربوط به حساسیت هیدرولیکی نواحی ارتفاعی پنج گانه می‌باشند.

بررسی نتایج محاسبات و نمودارهای شکل ۶ نشان می‌دهد مدول نوع  $X_1$  با مقدار کمی حساسیت هیدرولیکی ۲۸۵,۰ حساس‌ترین مدول تیغه‌ای نسبت به تغییرات عمق جریان است. حساسیت ۲۸۵,۰ به مفهوم اعمال ۵,۲۸ درصد تغییرها در دبی تحولیکی این مدول به ازای ۱۰ سانتی‌متر تغییرات عمق جریان می‌باشد. مقدار حساسیت مدولهای یک تیغه‌ای، از مدول نوع  $X_1$  با افزایش ظرفیت اسمی مدول، روند کاهشی داشته به‌طوری که حساسیت مدول  $C_1$ ، ۷,۴ برابر از مقدار حساسیت مدول  $X_1$  کمتر است. این روند با همان نسبت ۷,۴، بین مدول  $C_2$  و  $X_2$  برقرار است. حساسیت هیدرولیکی هر نوع از مدولهای یک تیغه‌ای، ۵,۲ برابر حساسیت هیدرولیکی مدول دو تیغه‌ای هم نوع (مثل  $X_2$  نسبت به  $X_1$ ) می‌باشد. براین اساس مدول نوع  $C_2$  دارای حساسیت هیدرولیکی ۸,۱۱ برابر کمتر از مدول نوع  $X_1$  است. در حالت توری کلیه دریچه‌های مدول، دارای مقدار حساسیت هیدرولیکی یکسانی بوده و می‌توان حساسیت مدول را معادل حساسیت هر دریچه از آن مدول فرض نمود.

مقادیر حساسیت دریچه‌های هر یک از مدولهای مورد بررسی در شرایط بهره‌برداری با استفاده از معادلات جدول ۴ و روابط (۷) و (۸) محاسبه گردیده و نتایج در شکل ۷ ترسیم شدند. هر یک از نمودارهای این شکل مربوط به دریچه‌های مختلف یکی از مدولهای معرفی شده در جدول ۲ می‌باشد. در نمودارهای این شکل محور افقی مربوط به نوع دریچه‌های مدولهای مورد مطالعه و محور عمودی مقدار کمی شاخص حساسیت را نشان می‌دهد. شاخص‌های حساسیت مشخص

جدول ۲. ضرایب معادلات دبی توری انواع مدول‌ها در نواحی ارتفاعی مختلف

$$q = \left( \frac{q_n}{A} \right) (BH_{us}^C + DH_{us} + E)$$

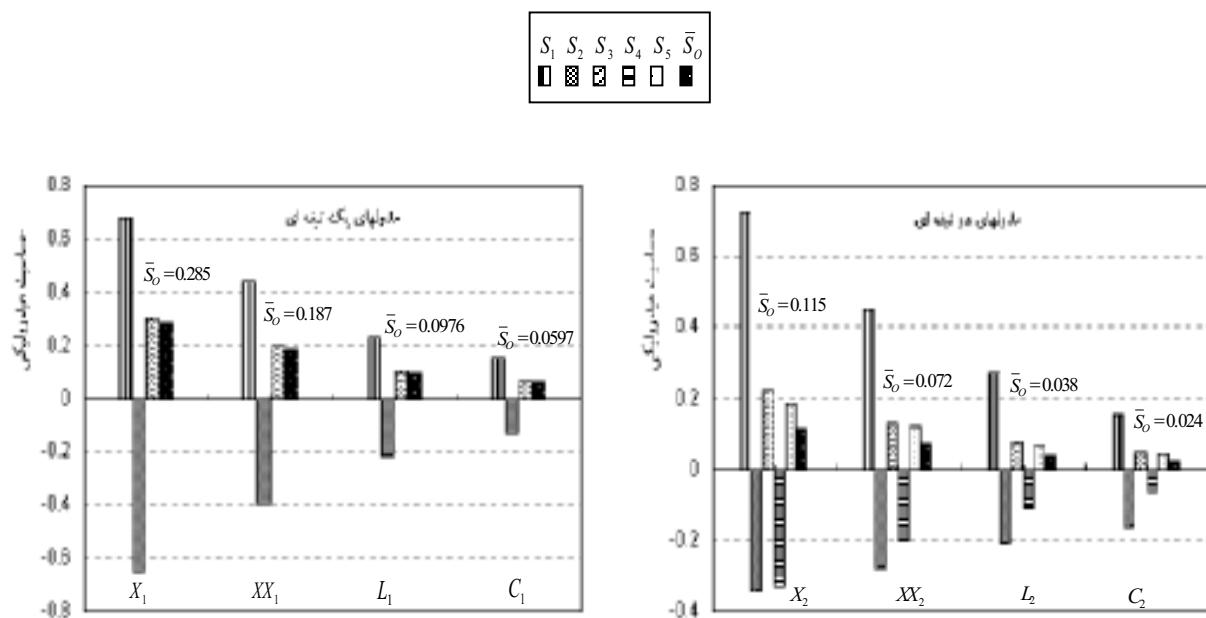
E	D	C	B	A	$\leq H_{us} <$ cm	محدوده تغییرات عمق جریان (نواحی ارتفاعی)	نوع مدول	ضرایب
*	*	0/9117	0/9977	0	14/10	12/8		
121/26	-15/822	2	0/0772	0	14/8	14/10	X,	
728724	-0/2922	2	0/127	0	19/9	14/8		
*	*	0/9139	0/5262	10	22/1	20/2		
185/46	-15/194	2	0/3280	10	22/1	22/1	XX,	
137/229	-0/2215	2	0/112	10	31/2	23/1		
*	*	0/9050	1/7123	00	40/8	37		
1100/2	-49/503	2	0/582	00	42/5	40/8	L,	
707211	-1/0839	2	0/106	00	51	42/0		
*	*	0/948	1/8878	100	64/8	59		
2139/7	-60/501	2	0/4470	100	67/85	64/8	C,	
128/27	-1/3174	2	0/0122	100	92	67/85		
*	*	0/9782	0/3717	0	14/18	12/8		
109/21	-20/962	2	0/7102	0	14/9	14/18		
777752	-0/4034	2	0/0152	0	19/35	14/9	X,	
137/71	-0/1750	2	0/0121	0	22/8	19/35		
7/31+1	*	1	0/985	0	30/8	22/8		
*	*	0/9791	0/4898	10	22/25	20/2		
2112/7	-17/359	2	0/3713	10	22/5	22/25		
150/77	-0/0370	2	0/0127	10	30/5	22/5	XX,	
33/099	-1/193	2	0/0129	10	35/8	30/5		
4/9283	*	1	0/120	10	48/4	35/8		
*	*	1/0505	1/0052	00	41/1	37/4		
1507/3	-67/168	2	0/7958	00	43/2	41/1		
79/163	-1/1623	2	0/0203	00	56	43/2	L,	
145/7	-2/0974	2	0/0177	00	66	56		
224/812	*	1	0/3376	00	89/2	66		
*	*	0/9725	1/7104	100	65/1	59		
210/73	-88/873	2	0/7007	100	78/3	65/1		
103/22	-1/8859	2	0/0151	100	89/4	78/3	C,	
338/22	-4/22	2	0/0182	100	105/4	89/4		
49/409	*	1	0/4203	100	142	105/4		

متغیرهای  $H_{us}$  و  $q$  به ترتیب عمق آب در بالا دست مدول و دبی اسمی دریچه می‌باشد. واحد دبی لیتر بر ثانیه است.

از روزنه تبدیل می‌شود). بنابراین چون در شرایط بهره‌برداری محدوده ارتفاعی اول که دارای حساسیت بیشتری نیز می‌باشد، افزایش می‌یابد، طبیعی است که در افزایش مقدار حساسیت دریچه‌های مدول و به تبع آن حساسیت مدول مؤثر باشد. به عنوان مثال در دریچه C<sub>(400)</sub> آزمایش سری اول، مقدار حساسیت ناحیه ارتفاعی اول (S<sub>1</sub>) معادل ۰/۱۹۶ بوده که نسبت به حالت توری ۰/۰۴۶ افزایش نشان می‌دهد. تیغه مدول در این دریچه پس از ۹ سانتی‌متر افزایش عمق جریان نسبت به حالت تشوری، عمل می‌نماید. محدوده ارتفاعی ناحیه سوم نیز

در شرایط بهره‌برداری با استفاده از رابطه فوق محاسبه گردیده و روی نمودارهای مربوطه در شکل ۷ مشخص شده است.

در حالت بهره‌برداری تغییر میزان حساسیت نواحی ارتفاعی مختلف از طرفی و تغییر محدوده وضعیت‌های هیدرولیکی جریان از طرف دیگر، در افزایش میزان حساسیت واقعی این سازه تأثیر گذار است. در شرایط بهره‌برداری اثر تیغه‌های مدول در ارتفاعی بالاتر از آنچه در تشوری پیش‌بینی شده، عمل می‌نماید. پس از عمل نمودن تیغه‌های سری از وضعیت هیدرولیکی جریان تغییر می‌کند (جریان روگذر از سرریز به جریان زیرگذر



شکل ۶. مقایسه مقادیر کمی حساسیت هیدرولیکی مدول‌های تیغه‌ای در شرایط تئوری

در کنار مدول واقع شده دارای مقدار حساسیت بیشتری است. به عنوان مثال مقدار حساسیت دریچه  $C_{1mid}$  واقع شده در بخش میانی مدول در آزمایش‌های سری اول معادل ۰۹۱۳،۰ بوده و حساسیت دریچه  $C_{1left}$  واقع شده در بخش کناری همین مدول معادل ۰۷۸ است. بخشی از این اختلاف می‌تواند به وضعیت هیدرولیکی جریان ناشی از وجود جریان‌های گردابی به سمت دریچه میانی مدول ارتباط یابد.

بررسی نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، مقدار حساسیت مدول‌های تیغه‌ای در شرایط بهره‌برداری نسبت به شرایط تئوری تغییرات قابل ملاحظه‌ای می‌نماید. این تغییرها پیامدهایی را در عملکرد سازه سبب می‌گردند. اختلاف بازه تغییرات دبی به ازای نوسانات مجاز عمق آب نسبت به حالت تئوری، نشان دهنده وضعیت عملکرد مدول در روند توزیع جریان می‌باشد. این پارامتر با توجه به مقادیر حساسیت مدول‌ها در دو شرایط تئوری و بهره‌برداری از فرمول زیر قابل محاسبه است.

$$\Delta q_{R(Ty,T)} = \bar{S}_{o(Ty)} - \bar{S}_{o(T)} \cdot \Delta H_{US(R)} \cdot q_n \quad [10]$$

کاهش یافته و  $S_2$  که مقدار کمی آن منفی است، سه برابر کاهش می‌یابد. کلیه این تغییرها در جهت افزایش مقدار حساسیت هیدرولیکی این دریچه عمل نموده و مقدار آن را ۳،۸۴ درصد افزایش می‌دهد. به تعبیر دیگر در شرایط بهره‌برداری، افزایش محدوده ارتفاعی و حساسیت ناحیه اول، کاهش حساسیت‌های نواحی دو در مدول‌های یک تیغه‌ای و دو و چهار در مدول‌های دو تیغه‌ای که دارای مقدار کمی منفی است و کاهش ارتفاعی ناحیه سوم در تغییر مقدار حساسیت هیدرولیکی مدول نسبت به حالت تئوری نقش عمده‌ای ایفا می‌کند. مقادیر حساسیت نواحی ارتفاعی خود تابعی از ساختار فیزیکی دریچه‌های مدول می‌باشد و از این رو می‌توان حساسیت دریچه‌ها و به تبع آن مدول‌ها را تابعی از وضعیت ساختار فیزیکی و هیدرولیک جریان دریچه‌ها دانست. موقعیت دریچه روی مدول نیز در مقدار کمی حساسیت آن تأثیرگذار است. برای مثال دو دریچه با ظرفیت اسمی یکسان روی یک مدول، دارای میزان حساسیت متفاوت هستند. دریچه‌ای که در وسط مدول واقع شده نسبت به دریچه‌ای که

جدول ۴. ضرایب معادلات دلی دریچه‌های مدولهای واسنجی شده در شرایط برهه برداری ( $q = (BH_{us}^c + DH_{us} + E)$ )

E	D	C	B	محدوده تغییرات عمق جریان (نواحی ارتفاعی) $\leq H_{us} < cm$	سری آزمایش	نوع مدول	ظرفیت اسمی دریچه (لتر بر ثانیه)
*	*	0/9303	19/947	77/8	09		
16812	-443/37	2	2/1036	72/2	77/8	1000 (left)	
21422	-34/937	2	0/2602	92	72/2		
*	*	1/4497	2/3209	77	09		
4762/6	-162/8	2	1/0576	77/3	72	1000 (middle)	
1177/6	-8/2827	2	0/075	92	77/3		
*	*	1/1879	4/166	77/1	09		
75/1	-18/729	2	-0/1429	77/8	74/1	700	
909/03	-8/8129	2	-0/0744	92	77/8		
*	*	1/2783	1/9385	73/8	09		
2488/7	-51/605	2	0/3268	76	73/8	700	
-237/7	17/021	2	-0/0876	92	76		
*	*	1/1871	1/0527	77/3	09		
3949/3	-85/709	2	0/4836	75/4	74/3	700	
121/9	-2/182	2	-0/0055	92	70/4		
*	*	1/2877	0/0549	77/3	09		
3780/5	-97/788	2	0/6006	74/1	72/3	100	
55/991	-1/786	2	-0/0084	92	74/1		
*	*	1/087	2/1919	71/8	09		
1248/0	-28/125	2	0/170	70	71/8	700	
129/89	-1/4	2	-0/0020	92	70		
*	*	1/2168	0/6461	73	09		
0320/4	-128/82	2	0/920	70/8	73	100	
0473	-1/0224	2	-0/0030	92	70/8		
*	*	1/1704	1/481	22/5	20/2		
150/13	-7/VV	2	0/10	20/4	22/5	70	
78/571	-2/116	2	0/0	21/2	20/4		
*	*	1/3794	0/2277	22/4	20/2		
-182/31	17/390	2	-0/375	22	22/4	70	
-7/362	1/6130	2	-0/022	21/2	22		
*	*	1/32417	0/1307	22/4	20/2		
40/1864	-2/1820	2	0/0375	20/0	22/4	10	
-27/97	2/210	2	-0/0321	21/2	20/0		
*	*	1/3768	2/0870	22/8	21		
1822/4	-74/09	2	0/V	20	23/8	700	
29/0/18	0/290	2	0/0372	0A	20		
*	*	1/2301	1/7722	0/2	21		
1500/3	-48/13	2	0/125	02/9	00/2	700	
260/37	-2/9123	2	0/0381	0A	03/9		
*	*	1/487	0/3205	2A/1	21		
1041/7	-05/94	2	0/0429	02/6	2A/1	100	
229/20	-0/13301	2	0/0510	0A	02/6		
*	*	1/0947	0/1173	2A	21		
118/00	-2/2179	2	0/0179	02	2A	00	
100/24	0/075	2	0/0417	0A	02		

جدول ۴. ادامه

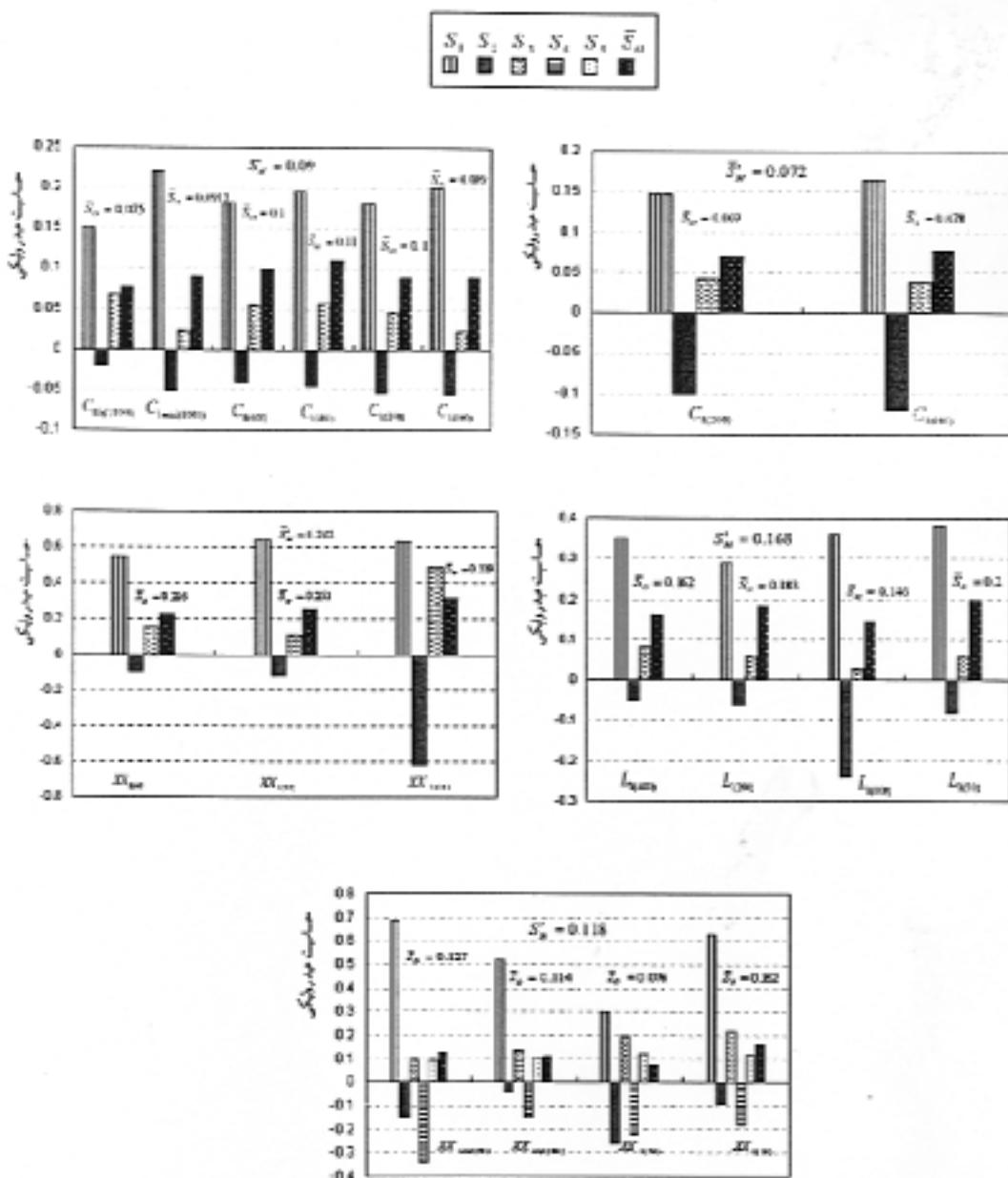
۰	۰	۱/۵۰۴	۰/۷۴۶	۲۴	۲۰/۲			
۳۷۳/۹۶	-۲۱/۹۲۷	۲	۰/۴۱۷۵	۲۵/۳	۲۴			
۵۵۳	-۱/۰۰۹	۲	-۰/۰۱۰۹	۳۴/۴	۲۵/۳	۹° (left)	XX <sub>۱</sub>	۵
۹۵۴/۷۶	-۴۷۳۲۹	۲	۰/۶۱۷۹	۳۷/۹	۳۴/۴			
۰۰/۷۸۶	۰	۱	۰/۸۴۹۴	۴۸/۴	۳۷/۹			
۰	۰	۱/۱۶۸	۲/۱۴۷۹	۲۳/۵	۲۰/۲			
-۱۷/۷۶۶	۹/۰۲۵	۲	-۰/۱۹۵۹	۲۴	۲۳/۵			
۷۵/۸۴۳	-۰/۲۰۳۶	۲	۰/۰۲۵	۳۱/۱	۲۴	۹° (middle)		
۲۳۵/۹	-۷/۳۲۵	۲	۰/۰۸۹۳	۳۷/۳	۳۱/۱			
۵۰/۲۱۵		۱	۱/۰۳۵	۴۸/۴	۳۷/۳			
۰	۰	۰/۶۶۸	۳/۳۹۶	۲۵	۲۰/۲			
-۱۳۴/۴۴	۱۳/۰۶	۲	-۰/۲۷۷	۲۶/۷	۲۵			
۴۴/۳۲۶	-۱/۰۹۳۶	۲	۰/۰۳۹۳	۳۰/۵	۲۶/۷	۳۰		
۷۵/۳۵۴	-۱/۹۸۷۵	۲	۰/۰۱۹۶	۳۵/۹	۳۰/۵			
۱۴/۴۴	۰	۱	۰/۳۹۰۵	۴۸/۴	۳۵/۹			
۰	۰	۱/۴۲۱	۰/۲۱۳۵	۲۵	۲۰/۲			
-۶۷۵۱	-۳/۳۸۷۳	۲	۰/۰۶۱۷	۲۷/۱	۲۵			
-۳۲/۲	-۱/۰۴۲۳	۲	۰/۰۲۲	۳۱	۲۷/۱	۳۰		
۸۰/۷۳۶	-۳/۲۹۴	۲	۰/۰۴۴	۳۵	۳۱			
۱۰/۰۰۷	۰	۱	۰/۲۴۴۸	۴۸/۴	۳۵			

نسبت اختلاف مقدار حساسیت شرایط بهره برداری و تنوری به مقدار حساسیت تنوری است که برای هر یک از دریچه‌های مورد بررسی محاسبه و روی نمودارهای شکل (۸) مشخص شده است. به عنوان مثال بازه تغییرات دبی ناشی از افزایش مقدار کمی حساسیت دریچه  $C_{(400)}$  در آزمایش‌های سری اول ۷۹/۸ لیتر بر ثانیه افزایش نشان می‌دهد. به تعبیر دیگر بازه تغییرات دبی به ازای میزان تغییرات مجاز عمق جریان ۶۷۵ درصد افزایش یافته که بیانگر دقیق پایین دریچه مذکور در کنترل جریان خروجی است.

در شرایط بهره برداری، عملکرد مدول‌های نوع C و L که ظرفیت بالاتری در انتقال جریان دارند و به عنوان مدول‌های بزرگ‌تر شناخته می‌شوند نسبت به تغییر مقدار کمی حساسیت هیدرولیکی بیشتر متأثر می‌شوند. افزایش حساسیت آنها در شرایط بهره برداری باعث تغییرات بیشتر بازه تغییرات دبی آنها

در رابطه فوق،  $\Delta q_{R(Ty,T)}$  اختلاف بازه تغییرات دبی (مابين شرایط بهره برداری و پیش بینی شده تنوری) به ازای نوسانات مجاز عمق جریان بالادست دریچه مدول،  $\bar{S}_0(\bar{T}_R)$  حساسیت در شرایط بهره برداری،  $\bar{S}_0(T)$  حساسیت در حالت تنوری،  $\Delta H_{US(R)}$  مقدار تغییرات عمق جریان و  $q_n$  ظرفیت اسمی دریچه مدول می‌باشد.

با استفاده از رابطه ۱۰ اختلاف بازه تغییرات دبی مدول‌های واسنجی شده با شرایط تنوری محاسبه گردیده و در شکل ۸ گزارش شده است. نمودارهای ارائه شده در این شکل، محور افقی دریچه‌های مختلف مدول‌های مورد بررسی و محور عمودی بازه تغییرات دبی را نشان می‌دهد. در هر نمودار که مربوط به دریچه‌های یکی از مدول‌های معرفی شده در جدول ۲ است، مقدار محاسبه شده تنوری و بهره برداری این بازه مورد مقایسه گرفته است. منظور از پارامتر  $\Delta \bar{S}/\bar{S}_T$

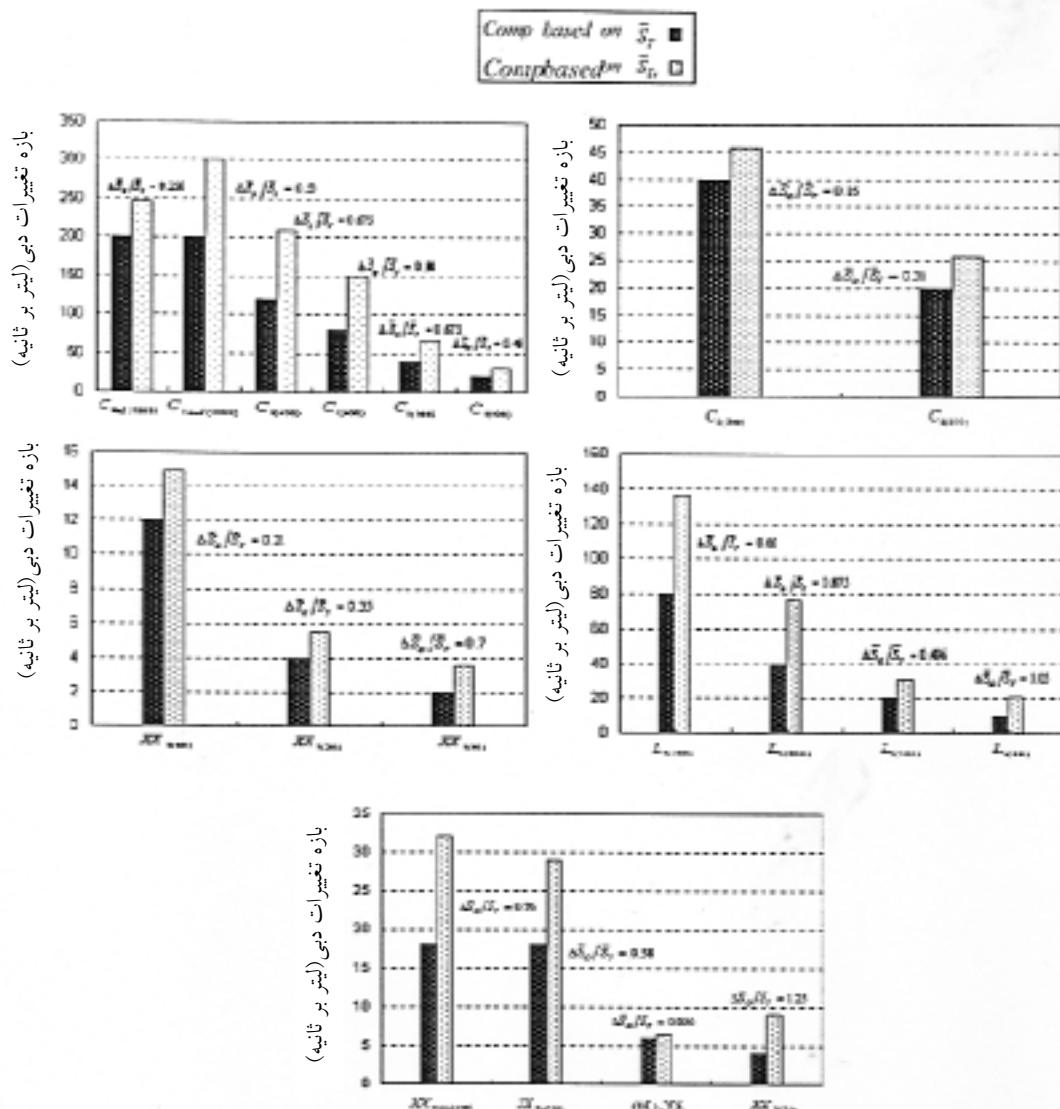


شکل ۷. مقایسه مقادیر کمی حساسیت هیدرولیکی دریچه‌ها و مدل‌های مورد مطالعه در شرایط بهره‌برداری

اظهار رضایت داشته که دلیل آن کاملاً روشن است. این موضوع در بازدیدهای میدانی از شبکه‌های آبیاری ورامین، سفیدرود و قزوین که از این مدل‌ها در توزیع آب استفاده می‌کنند بارها از طرف بهره‌برداران عنوان می‌شد.

تغییر حساسیت مدل‌ها در شرایط بهره‌برداری، تغییر در عملکرد آنها و اختلال در فرآیند توزیع جریان در شبکه را به دنبال خواهد داشت. به بیان دیگر اختلال در فرآیند توزیع

که با افزایش دبی تحويلی همراه است، می‌گردد. این مدل‌ها دبی بیشتری را نسبت به آنچه در شرایط تئوری برایشان پیش‌بینی شده تحويل کشاورزان می‌دهند. بدین ترتیب کشاورزان نواحی بالادست شبکه به دلیل عملکرد نامناسب مدل‌ها میزان آب بیشتری نسبت به آب خریداری شده که بر اساس وضعیت تئوری مدل‌ها محاسبه و خریداری می‌شود، دریافت می‌نمایند. این تعداد از کشاورزان از روند توزیع جریان در سطح شبکه



شکل ۸. مقایسه بازه تغییرات دهنی شرایط شوری و بهره‌برداری مدول‌های مورد بررسی

### نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج به دست آمده از این پژوهش را می‌توان در بندهای زیر خلاصه نمود:

1. مقدار کمی حساسیت هیدرولیکی مدول‌های تیغه‌ای به دو پارامتر محدوده تغییرات عمق در نواحی ارتفاعی چندگانه و حساسیت هر یک از این نواحی بستگی دارد. به بیان دیگر حساسیت مدول تابعی است از ساختار فیزیکی سازه و هیدرولیک جریان و بدین ترتیب کلیه عواملی که بر هر یک از دو عامل فوق تأثیر گذار باشند، بر حساسیت مدول نیز موثر

جریان نتیجه ترکیب آثار ناشی از تغییر حساسیت مدول‌ها و میزان جریان تحویلی در طول شبکه است. این تغییرات، عملکرد توزیع را در طول فصل آبیاری متاثر می‌نماید، مشکلات جدی در اواخر فصل آبیاری خود نمایی می‌کند. افزایش نیاز آبی و کمبود میزان ذخیره آبی شبکه در اواخر فصل آبیاری از طرفی و وجود اختلال در فرآیند توزیع جریان که موجب عدم عدالت در توزیع می‌گردد از طرف دیگر، در مواقعی باعث نرسیدن آب به انتهای شبکه شده و کشاورزان این نواحی را با مشکلات زیادی مواجه می‌سازد.

دارای عملکرد یکسانی نبوده و از این رو لزوم واسنجی جریان و محاسبه حساسیت واقعی آنها ضروری است. محاسبه مقدار کمی حساسیت این سازه با استفاده از روابط ارائه شده در این پژوهش امکان پذیر خواهد بود.

۴. با توجه به عدم وجود اطلاعات فنی کافی جهت طراحی، ساخت و حتی اجرای مدلول‌های تیغه‌ای و تولید این سازه توسط چند کارگاه نه چندان تخصصی داخلی و مضاف بر آن وضعیت بهره برداری نه چندان مطلوب شبکه‌های آبیاری کشور، تردید در دقت مورد انتظار برآورد دبی این سازه با استفاده از گراف‌های تیپ ارائه شده کارخانه طراح دور از انتظار نیست. این موضوع نیز لزوم انجام کالیبراسیون و محاسبه حساسیت واقعی این سازه‌ها را به منظور بهینه نمودن وضعیت بهره‌برداری و نیل به توزیع و تحويل عادلانه، طی هر چند سال بهره برداری ضروری می‌نماید.

خواهد بود.

۲. حساسیت هیدرولیکی مدلول‌های تیغه‌ای در شرایط بهره‌برداری نسبت به مقادیر محاسبه شده تئوری، تغییرات قابل توجهی می‌نماید. این شاخص در بعضی موارد بیش از ۱۰۰ درصد افزایش نشان می‌دهد. تغییر حساسیت هیدرولیکی مدلول‌ها، نشان دهنده تفاوت بازه تغییرات دبی نسبت به مقدار گزارش شده کارخانه طراح مدلول‌ها و به تعبیری پایین بودن دقت دبی برآورده از گراف‌های تیپ است. اختلاف این بازه در تعدادی از دریچه‌های مدلول‌های مورد بررسی نسبت به شرایط تئوری، بیش از دو برابر اختلاف نشان می‌دهد.

۳. به منظور بهره‌گیری از مدل حساسیت هیدرولیکی سازه‌های آبیاری در رفتار سنجی جریان، باید حساسیت واقعی سازه و سیستم در حالت بهره‌برداری محاسبه گردد. در این رابطه واسنجی آبگیرها ضروری می‌نماید. مدلول‌های تیغه‌ای علی‌رغم حساسیت پایین نسبت به تغییرات و نوسانات عمق جریان (در مقایسه با سایر انواع آبگیرها)، در شرایط بهره‌برداری و تئوری

### منابع مورد استفاده

۱. رضوی نبوی، س. م. ۱۳۷۳. ضرایب تجربی در دریچه‌های نیرپیک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۲. وزارت برنامه و بودجه. ۱۳۶۷. ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری و زهکشی. (نشریه ۱۰۶).
3. 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.
4. Alsthom, F. 1971. Technical Brochures: Distributors, Amil & Avio & Avis Gates. France.
5. Burt,C. M., S. Styles. 1998. Modern Water Control and Management Practies in Irrigation: Impact on Performance, Proceedings of the Fifth International ITIS Network Meeting on Modernization of Irrigation System Operations, India, 28-30 October.
6. Delft Hydraulic Lab. 1989. Water Control Systems and Irrigation Structures.
7. Goussard, J. 1993. Automation of Canal Irrigation Systems. ICID Pub., New Delhi.
8. Goussard, J. 2000., Canal Operation Simulation Models. ICID Pub, New Delhi.
9. Horst, L. 1983. Irrigation Systems, Internal Report, Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.
10. Mahbub, S. I., N. D. Gulati. 1951. Irrigation Outlets. Atma Ram, Delhi, India.
11. Renault,D., H. M. Hemakumara. 1999. Irrigation Offtakes Sensitivity. J. Irrig. and Drain. 125(3): 132-136.
12. Renault, D. 2000. Re-Engineering Irrigation Management and System Operation, Agric. Water Mgmt. 47: 24-226.
13. Renault,D. 2000. Aggregated Sensitivity Indicators of Irrigation Systems Hydraulic Behaviour. Agric. Water Mgmt. 43 (2): 151-171.