مجله تحقیقات آب و خاک ایران (۴۰) ۲، ۱۳۸۸ (۱۹۸-۱۹۱)

بهبود طراحی مدول تیغه‌ای بر اساس مفهوم حساسیت هیدرولیکی سازه‌ها

محمد بی‌جن‌خان[۱]، صلاح کوچک‌زاده[۲*] و عبدالحسین هورفر[۳]

[۱]دانشجوی تحصیلات تکمیلی، [۲]استاد و [۳]دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

چکیده

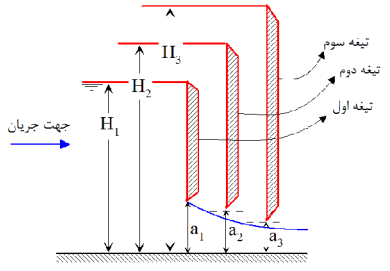
اندازه‌گیری و تحویل حجمی آب از مقوله‌های اساسی در شبکه‌های انتقال و توزیع آب است. در همین راستا مدول‌های تیغه‌ای که برای تحویل بده تقریبا ثابت در دامنه‌ای از تغییرات ارتفاع آب بالادست خود معرفی شده است ابزاری مناسب برای کاربرد در شبکه‌های فرعی می‌باشد که اصول طراحی آن در حال تکامل است. در این تحقیق بر اساس مفهوم حساسیت هیدرولیکی دو روش طراحی ارائه شده است. روش اول نتایجی منطبق با نتایج روش‌های موجود ارائه می‌دهد اما مزیت آن سادگی روش و ارائه نتایج جامع‌تر است. اما روش دوم نتایجی جدید ارائه کرده است که در مقایسه با سایر روش‌های طراحی عملکرد سازه را به شکل قابل توجهی بهبود بخشیده، به طوریکه بیشینه انحراف از بده طراحی آن به طور متوسط تا ۷/۰۹٪± کاهش یافته و کمترین حساسیت نسبت به تغییرات ارتفاع سطح آب بالادست را از خود نشان داده است.

واژه‌های کلیدی: آبگیرها، اندازه‌گیری آب، حساسیت هیدرولیکی، سازه‌های بهبود بهره‌برداری، مدول تیغه‌ای.

مقدمه

امروزه تحویل حجمی مطمئن آب یکی از ارکان اساسی برنامه‌های بهبود بهره‌برداری از منابع آب است. این امر نه تنها در تمام سطوح شبکه‌های مدرن آبیاری و زهکشی باید انجام شود، بلکه ایجاد تمهیداتی برای شبکه‌های نیمه مدرن و سنتی جهت تحویل حجمی آب ضرورت تام دارد. وضعیت مصارف آب و میزان راندمان‌های بهره‌برداری فعلی باعث شده تا توجه برنامه‌ریزان کشور به شبکه‌های فرعی معطوف شود. وسعت بسیار زیاد این شبکه‌ها از یک طرف و سطوح مالکیت زمینِ معمولاً محدود در کشور ما از طرف دیگر تعداد بسیار زیاد سازه‌ها و تنوع دامنه عملکرد آن‌ها را می‌طلبد. در چنین شرایطی ارائه دستورالعمل طراحی و احداث سازه تحویل آب جدید برای دامنه کم بده که بتواند با تغییرات رقوم سطح آب بده نسبتاً ثابتی را تحویل دهد و اعتماد کاربران را جلب نماید ضروری و مفید خواهد بود. به طور کلی طراحی سازه تحویل آب منجر به تعیین ابعاد و ضوابط استقرار سازه برای عبور دادن بده معین می‌شود بطوریکه با تغییر شرایط هیدرولیکی بالادست سازه، بده تحویلی انحراف قابل توجهی نسبت به بده طراحی نداشته باشد. آبگیرهای متنوعی برای شبکه‌های آبیاری و زهکشی تا کنون ابداع و به کار رفته‌اند که هر کدام مزایا و محدودیت‌ها خاص خود را دارند (Amiri & Siahi, 2008)، اما در این تحقیق به سازه مدول تیغه‌ای (Baffle Sluice Gate) که توسط Larsen and Mishra (۱۹۹۰) و Mishra et al. (۱۹۹۰) معرفی شده و قابلیت کاربرد در شبکه‌های فرعی و برای تحویل بده‌های کم را دارد، پرداخته می‌شود.

به نظر می‌رسد که مدول تیغه‌ای برای اولین بار توسط Larsen and Mishra (۱۹۹۰) مطرح شده است. این سازه که در شکل ۱ ارائه شده است متشکل از سه تیغه قائم و درجا ثابت است که ارتفاع آنها به ترتیب در جهت پایین دست افزایش یافته اما میزان فاصله لبه تحتانی آن‌ها از کف سازه که بازشدگی‌شان را تشکیل می‌دهد، کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر تیغه‌هایی با ارتفاع و بازشدگی‌های معین هستند که به دنبال هم قرار می‌گیرند و انتظار می‌رود که به ازای تغییرات مشخصی از ارتفاع آب بالادست، میزان آب عبوری از آنها تغییرات شدیدی نداشته باشد.



شکل ۱- شمایی از مدول تیغه‌ای و پارامترهای مربوط به ابعاد تیغه‌ها

Verma and Pasricha (۱۹۹۴) به صورت آزمایشگاهی و با استفاده از دو تیغه به بررسی مدول تیغه‌ای پرداختند.

* پست الکترونیک مکاتبه کننده skzadeh@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

Maheswara et al. (۱۹۹۶) به کمک مدل آزمایشگاهی به بررسی عملکرد و کارآیی این سازه پرداختند. ایشان علاوه بر بررسی تاثیر استغراق روی عملکرد سازه، کاهش عرض و ارتفاع تیغه‌ها را از میزان توصیه شده مجاز دانستند. در همین راستا Anwar (۱۹۹۹) با بهره‌گیری از روابط ضرایب بده جریان دریچه‌ی کشویی که توسط Swamee (۱۹۹۲) ارائه شده بود، روش طراحی مبتنی بر اساس اصول نظری پیشنهاد نمود که به زعم وی عملکرد سازه را بهبود می‌دهد. بنابراین تاکنون چند روش طراحی برای این سازه پیشنهاد شده است که به دلیل عدم وجود مقایسه جامع میان این روش‌ها، انتخاب ضوابط طراحی و استقرار مناسب مدول تیغه‌ای را بسیار دشوار نموده است. علاوه براین بررسی مطالب منتشر شده در این خصوص نشان می‌دهد که روش‌های ارائه شده هنوز قابلیت تدقیق و بهبود دارد. لذا در این تحقیق بر اساس مفهوم حساسیت هیدرولیکی، علاوه بر تسهیل روش‌های طراحی موجود، اصول طراحی جدیدی برای مدول تیغه‌ای ارائه شده است که امتیاز آن به حداقل رساندن حساسیت بده تحویلی نسبت به تغییرات ارتفاع آب بالادست در مقایسه با سایر روش‌های موجود می‌باشد.

سازه تحویل جریان باید به گونه‌ای طراحی و مستقر شود که با تغییر شرایط هیدرولیکی بالادست حتی الامکان کمترین انحراف در بده تحویلی نسبت به بده طراحی ایجاد شود. چنانچه یک دریچه‌ی کشویی قائم در نظر گرفته شود می‌توان برای بازشدگی‌های مختلف آن خانواده منحنی‌های بده-اشل را تولید نمود. حال اگر هدف طراح ارائه یک مدول تیغه‌ای باشد که شرط کمترین انحراف در بده تحویلی را تامین نماید، طراحی سازه را می‌توان به انتخاب چند منحنی بده-اشل تشبیه کرد بطوریکه ترکیب یا قرارگیری این منحنی‌ها در کنار یکدیگر انحراف در بده تحویلی را نسبت به بده طراحی محدود نماید. از این جهت بررسی و شناخت رفتار هیدرولیکی سازه به صورت ساده و دقیق ضرورت دارد. برای این منظور مفاهیم حساسیت هیدرولیکی به کار خواهد رفت.

حساسیت هیدرولیکی

طبق تعریف نسبت تغییرات خروجی به تغییرات ورودی یک سازه حساسیت آن را نشان می‌دهد و به صورت زیر بیان می‌شود (Renault, 2000b):

$$S_{IO} = \frac{\partial O}{\partial I} \qquad (۱)$$

که در آن S_{IO} شاخص حساسیت، O، پارامتر خروجی و I، پارامتر ورودی می‌باشد.

شاخص حساسیت را به دو صورت مطلق و نسبی به ترتیب مطابق روابط (۲) و (۳) می‌توان به کاربرد (Renault, 2000a) که مزیت اولی ارائه درک فیزیکی بهتر و مزیت دومی بی بعد بودن آن است (Renault, 1990, Renault and Hemakumara, 1999):

$$S_{IOa} = \frac{\partial O / O}{\partial I} \qquad (۲)$$

$$S_{IOr} = \frac{\partial O / O}{\partial I / I} \qquad (۳)$$

روابط یاد شده از دیدگاه نظری حساسیت یک نقطه مشخص از عملکرد سازه را ارائه می‌دهد. این موضوع در کاربرد میدانی روابط محدودیت ایجاد می‌کند از این رو حساسیت هیدولیکی معادل (Equivalent Hydraulic Sensitivity) نسبی و مطلق به صورت زیر تعریف شده است (Vatankhah et al. 2008):

$$S_{IO_R} = \frac{\partial O / O}{\partial I / I} \Rightarrow \overline{S}_{IO_R} \int_{I_1}^{I_2} \partial I / I = \int_{O_1}^{O_2} \partial O / O \qquad (۴)$$

$$\overline{S}_{IO_R} = \frac{\ln(O^{(2)}) - \ln(O^{(1)})}{\ln(I^{(2)}) - \ln(I^{(1)})} \qquad (۵)$$

$$S_{IO_A} = \frac{\partial O / O}{\partial I} \Rightarrow \overline{S}_{IO_A} \int_{I_1}^{I_2} \partial I = \int_{O_1}^{O_2} \partial O / O \qquad (۶)$$

$$\overline{S}_{IO_A} = \frac{\ln(O^{(2)}) - \ln(O^{(1)})}{I^{(2)} - I^{(1)}} \qquad (۷)$$

بالانویس‌های (۱) و (۲) نیز مربوط به مقادیر ابتدایی و انتهایی پارامتر مورد نظر می‌باشد.

امتیاز روابط (۵) و (۷)، در این است که برای داده‌های آزمایشگاهی و میدانی که گسسته و معمولاً محدود است قابل استفاده می‌باشد. به عبارت دیگر مقادیر متوسطی از شاخص‌های حساسیت سازه، که حساسیت معادل نامیده شده است تنها با استفاده از دو نقطه قابل تحصیل است و می‌توان آن را به عنوان نشانگری از متوسط رفتار هیدرولیکی یک سازه تلقی نمود.

حساسیت نسبی دریچه‌ی کشویی

تیغه‌های مدول تیغه‌ای همانند دریچه کشویی با ارتفاع و بازشدگی ثابت می‌باشند. بنابراین پیش از پرداختن به روابط مورد نیاز برای طراحی مدول تیغه‌ای لازم است که حساسیت دریچه‌ی کشویی مورد بررسی قرار گیرد. Swamee (۱۹۹۲) ضریب بده دریچه‌ی کشویی را تابعی از ارتفاع آب و بازشدگی دریچه ارائه کرده است، پس به نظر می‌رسد که در نظر گرفتن حساسیت نسبی ثابت ۰/۵ که بر اساس روابط نظری و ثابت گرفتن ضریب بده دریچه‌ی کشویی به دست می‌آید، مورد سوال است. لذا در این تحقیق تلاش می‌شود تا حساسیت هیدرولیکی نسبی دریچه‌ی کشویی با درنظر گرفتن ضریب بده به عنوان تابعی از ارتفاع آب، مورد بررسی قرار گیرد.

Archive of SID

www.SID.ir

رابطه عمومی برآورد بده عبوری از دریچه‌ی کشویی به صورت زیر می‌باشد (Bos, 1989):

$$q = C_d a\sqrt{2gH} \qquad (۸)$$

که در آن q، بده واحد عرض، C_d، ضریب بده، a، میزان بازشدگی دریچه، g، شتاب گرانش زمین و H، ارتفاع آب پشت دریچه‌ی کشویی می‌باشد.

سوامی بوسیله رقومی کردن داده‌های آزمایشگاهی Henry (۱۹۵۰) رابطه (۹) را برای محاسبه ضریب بده دریچه‌ی کشویی پیشنهاد نموده است (Swamee, 1992).

$$C_d = 0.611\left(\frac{H-a}{H+15a}\right)^{0.072} \qquad (۹)$$

با جاگذاری رابطه (۹) در معادله (۸)، بده دریچه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$q = 2.71a\left(\frac{H-a}{H+15a}\right)^{0.072}\sqrt{H} \qquad (۱۰)$$

با توجه به معادله (۱۰) که نشان دهنده رابطه بده با ارتفاع بالادست دریچه می‌باشد به صورت زیر در می‌آید:

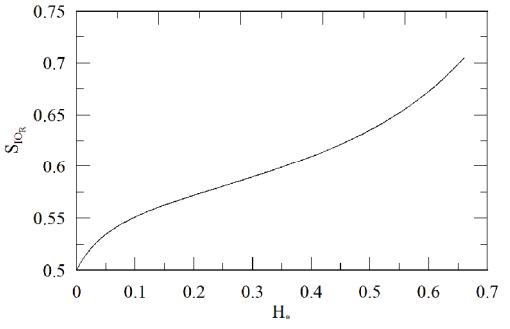
$$S_{IOr} = 0.5 + \frac{1.152aH}{(H+15a)(H-a)} \qquad (۱۱)$$

شایان ذکر است که Swamee (۱۹۹۲) چنین فرض کرد که از نظر هیدرولیکی بازای H=a جریان روزنه‌ای وجود ندارد و درنتیجه رابطه خود به شکلی بسط داد که در آن بازای H=a بده عبوری صفر باشد که تحت چنین شرایطی با توجه به رابطه (۱۱) حساسیت هیدرولیکی نقطه‌ای بینهایت است. همچنین رابطه (۱۱) نشان می‌دهد به شرطی حساسیت دریچه یاد شده برابر با ۰/۵ می‌شود که مقادیر a یا H برابر صفر باشند و یا H به سمت ∞ میل نماید که چنین شرایطی از نظر کاربردی فاقد اهمیت است. از این رو برای شرایط بهره‌برداری باید حساسیت دریچه‌ی کشویی را با ارتفاع آب و بازشدگی دریچه متغیر دانست.

با جایگزینی $H_*=a/H$ رابطه (۱۱) به صورت زیر در می‌آید:

$$S_{IOr} = 0.5 + \frac{1.152H_*}{(1+15H_*)(1-H_*)} \qquad (۱۲)$$

با در نظر گرفتن حداقل ارتفاع آب بالادست دریچه به میزان H=1.5a (Bos, 1989) و ثابت درنظر گرفتن ضریب بده، حداکثر خطای ۲۹/۰۹ درصد در تخمین حساسیت نسبی دریچه‌ی کشویی در صورت ثابت در نظر گرفتن به میزان ۰/۵ وجود دارد، از این رو چنین خطایی را نمی‌توان نادیده گرفت. روند تغییرات حساسیت نسبی در مقابل H_* محاسبه و در شکل ۲ ترسیم شده است. لذا از آنجایی که حساسیت نسبی نقطه‌ای دریچه‌ی کشویی با تغییرات ارتفاع بی‌بعد متغیر است، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که حساسیت نسبی معادل نیز تابعی از تغییرات ارتفاع بی‌بعد می‌باشد.



شکل ۲- H_* در مقابل حساسیت نسبی دریچه‌ی کشویی

مواد و روش‌ها

کاربرد مفهوم حساسیت هیدرولیکی در تدوین اصول طراحی مدول تیغه‌ای

برای طراحی مدول تیغه‌ای از مفهوم حساسیت نسبی معادل استفاده می‌شود. بمنظور تعیین ابعاد مدول تیغه‌ای فرض می‌شود که با رسیدن ارتفاع آب به بالای هر تیغه کنترل جریان به تیغه بعد منتقل می‌شود (Anwar, 1990, Mishra et al, 1990). همانطور که قبلاً اشاره شد برای محاسبه حساسیت نسبی معادل تیغه‌ی قائم نسبت به تغییرات سطح آب نیاز به ۲ نقطه روی منحنی بده-اشل می‌باشد. در این بخش ابتدا به معرفی دو شمای متفاوت از طراحی سازه پرداخته می‌شود و سپس به کمک حساسیت نسبی معادل، ابعاد سازه به ازای بده طراحی مورد نظر محاسبه می‌شود. در هر یک از این شماها ارتفاع آب تحت تاثیر هر یک از تیغه‌ها به صورت مجزا درنظر گرفته می‌شود و سپس با استفاده از مفهوم حساسیت معادل و با توجه به محدوده کارکرد هر یک از تیغه‌ها به بررسی رفتار مدول تیغه‌ای پرداخته می‌شود.

در این پژوهش دامنه مجاز تغییرات ارتفاع آب بالادست مدول تیغه‌ای (H_{min} تا H_{max})، که بازای آن بده تقریباً ثابتی از سازه عبور می‌کند، مقادیر پیشنهادی لارسن و میشرا (۱۹۹۰) یعنی H_{min}=۱۵ cm و H_{max}=۲۵ cm، می‌باشد. لازم به ذکر است که این مقادیر توسط محققین دیگر نیز پذیرفته شده است (Mishra et al, 1990, Verama and Pasricha 1994, Anwar, 1999).

شمای اول

در این شما با در نظر گرفتن m_1٪ انحراف نسبت به بده طراحی، q_d، ابعاد اولین تیغه به شکلی در نظر گرفته می‌شود که

Archive of SID
www.SID.ir

وقتی ارتفاع آب بالادست آن به اندازه H_{min} می‌باشد بده‌ای برابر $(1-m_1)$٪ بده طراحی از سازه عبور کند و با رسیدن ارتفاع آب به H_1، بده عبوری به بده طراحی برسد (شکل ۳). سپس با فرض اینکه کنترل جریان کاملاً به تیغه دوم منتقل شده است بازای ارتفاع H_1 بده برابر $(1-m_1)$٪ بده طراحی در نظر گرفته می‌شود و با رسیدن ارتفاع آب به H_2، بده برابر بده طراحی درنظر گرفته می‌شود. ابعاد تیغه سوم باید طوری درنظر گرفته شود که وقتی جریان توسط این تیغه کنترل می‌شود با تغییر ارتفاع آب از H_2 تا H_{max}، بده در محدوده $(1-m_1)$٪ تا بده طراحی قرار گیرد.

شمای دوم

در مدولی که بر اساس شمای اول طراحی شده است از دیدگاه نظری برای دامنه تغییرات H مورد نظر همواره بده‌ای کمتر از بده طراحی به بهره‌بردار تحویل داده می‌شود. برای رفع این نقیصه، طراحی براساس شمای دوم پیشنهاد شده است. در شمای دوم محدوده بده و ارتفاع تحت تاثیر تیغه‌های اول و دوم همانند شمای اول درنظر گرفته می‌شود. اما برای تیغه سوم به ازای $H=H_{max}$ بده تحویلی $(1+m_2)$٪ بیشتر از بده طراحی در نظر گرفته می‌شود. یعنی از آنجا که با رسیدن آب به بالای تیغه انتهایی، یا $H=H_{max}$ ، جریان سرریز-روزنه وجود ندارد، منظور نمودن افزایش یاد شده مستدل می‌باشد. حال با توجه به دو شمای معرفی شده به طراحی مدول تیغه‌ای پرداخته می‌شود.

طراحی به روش شمای اول

دامنه نظری تغییرات حساسیت تیغه‌ی قائم همانند یک دریچه کشویی بین مقادیر ۰/۵ تا تقریباً ۰/۷ می باشد. از این رو برای بدست آوردن یک تقریب اولیه از ابعاد تیغه‌ها حساسیت آن‌ها را می توان برابر ۰/۵ درنظر گرفت، یعنی:

$$\bar{S}_1 = \bar{S}_2 = \bar{S}_3 = 0.5 \qquad (۱۳)$$

سپس با توجه به رابطه (۵) معادلات (۱۳) به صورت زیر در می آید:

$$\frac{\ln(\frac{(1-m_1)q_d}{q_d})}{\ln(\frac{H_{min}}{H_1})} = \frac{\ln(\frac{(1-m_1)q_d}{q_d})}{\ln(\frac{H_1}{H_2})} = \frac{\ln(\frac{(1-m_1)q_d}{q_d})}{\ln(\frac{H_2}{H_{max}})} = 0.5 \qquad (۱۴)$$

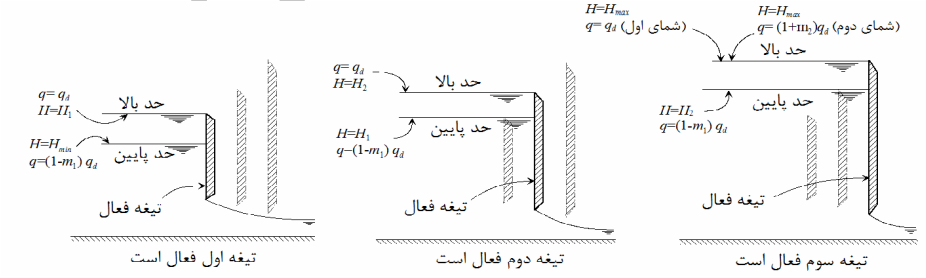
رابطه (۱۴) دارای سه معادله و سه مجهولِ H_1، H_2 و m_1 است که با حل همزمان این معادلات مجهولات بترتیب بوسیله معادلات (۱۵)، (۱۶) و (۱۷) قابل محاسبه می‌باشند.

$$H_1 = H_{min}^{\frac{2}{3}} H_{max}^{\frac{1}{3}} \qquad (۱۵)$$

$$H_2 = H_{min}^{\frac{1}{3}} H_{max}^{\frac{2}{3}} \qquad (۱۶)$$

$$m_1 = 1-(\frac{H_{min}}{H_{max}})^{1/6} \qquad (۱۷)$$

پس از برآورد ارتفاع تقریبی تیغه‌ها می توان با استفاده از رابطه (۱۰) به محاسبه بازشدگی تقریبی تیغه‌ها پرداخت. اما از آنجایی که روابط فوق با فرض تساوی حساسیت تیغه ها (رابطه (۱۳)) بدست آمده‌اند باید بر اساس حساسیت‌های جدید تعدیل شوند.



شکل ۳- نمایی از مدول تیغه‌ای به همراه محدوده بده و ارتفاع تحت تاثیر هر تیغه در شمای اول و دوم

اصلاح حساسیت‌ها

مراحل اصلاح نتایج که شامل مقدار حساسیت تیغه‌ها، ارتفاع و بازشدگی تیغه‌ها و میزان انحراف از بده طراحی است با تعیین حساسیت جدید شروع می شود. سپس با معلوم شدن حساسیت های جدید، ارتفاع تیغه‌ها، میزان انحراف از بده طراحی و بازشدگی تیغه ها اصلاح می شوند.

با جاگذاری رابطه (۱۰) در رابطه (۵)، حساسیت اصلاح شده تیغه‌ها به صورت زیر در می‌آید:

$$\bar{S}_{i(new)} = 0.5 + \frac{0.072\left[\ln(\frac{H_{LL}-a_i}{H_{LL}+15a_i}) - \ln(\frac{H_{UL}-a_i}{H_{UL}+15a_i})\right]}{\ln(\frac{H_{LL}}{H_{UL}})} \qquad (۱۸)$$

$i = 1,2,3$

اندیس‌های LL و UL مربوط به مقادیر ابتدایی و انتهایی پارامتر مورد نظر است که این مقادیر برای هر یک از تیغه‌ها

Archive of SID

www.SID.ir

مطابق با شمای آن قبلاً تعریف شده است (شکل ۳). همچنین اندیس i نشان دهنده شماره تیغه می‌باشد.

اصلاح ارتفاع تیغه‌ها

فرض بر این است که چنانچه در دو مرحله متوالی حساسیت تیغه‌ها با دقت قابل قبولی مساوی شوند، مقدار مطلوب ارتفاع تیغه‌ها و درصد انحراف از بده طراحی بدست می‌آید. بنابراین از شرط $\bar{S}_{(new)} / \bar{S} = 1$ برای تعیین این پارامترها می توان استفاده کرد. لذا در حالت حدی داریم:

$$\frac{\bar{S}_{1(new)}}{\bar{S}_1} = \frac{\bar{S}_{2(new)}}{\bar{S}_2} = \frac{\bar{S}_{3(new)}}{\bar{S}_3} = 1 \qquad (۱۹)$$

رابطه (۱۹) دارای سه مجهول است که شامل ارتفاع تیغه‌های اول و دوم و درصد انحراف از بده طراحی می‌باشد. پارامترهای که به این ترتیب به کمک رابطه (۱۹) به دست می‌آیند اصلاح شده مقادیری هستند که با در نظر گرفتن حساسیت نسبی ثابت برای تیغه‌ها حاصل شده بودند. با جایگذاری پارامترهای حساسیت بر مبنای رابطه (۵) در رابطه (۱۹) و با توجه به دامنه تحت تاثیر هر تیغه و پس از خلاصه سازی نتایج معادلات زیر به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} &\bar{S}_{1(new)} \ln(H_{min} / H_{1(new)}) = \\ &\bar{S}_{2(new)} \ln(H_{1(new)} / H_{2(new)}) = \\ &\bar{S}_{3(new)} \ln(H_{2(new)} / H_{max}) = 1 \end{aligned} \qquad (۲۰)$$

با حل رابطه (۲۰) ارتفاع تیغه‌های اول و دوم به ترتیب بوسیله معادلات (۲۱) و (۲۲) اصلاح می‌شوند.

$$H_{1(new)} = H_{max}^{\alpha} \, H_{min}^{1-\alpha} \qquad (۲۱)$$

$$H_{2(new)} = H_{max}^{\beta} \, H_{min}^{1-\beta} \qquad (۲۲)$$

که در آن مقادیر α و β به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\alpha = \frac{1/\bar{S}_{1(new)}}{1/\bar{S}_{1(new)} + 1/\bar{S}_{2(new)} + 1/\bar{S}_{3(new)}}$$

$$\beta = \frac{1/\bar{S}_{1(new)} + 1/\bar{S}_{2(new)}}{1/\bar{S}_{1(new)} + 1/\bar{S}_{2(new)} + 1/\bar{S}_{3(new)}}$$

ملاحظه می‌شود که با ثابت درنظر گرفتن حساسیت تیغه‌ها مقادیر α و β به ترتیب برابر 1/3 و 2/3 شده و در نتیجه معادلات (۲۱) و (۲۲) به ترتیب به معادلات (۱۵) و (۱۶) تبدیل می‌شوند. به عبارت دیگر توان روابط (۱۵) و (۱۶) که بدلیل ثابت درنظر گرفتن حساسیت تیغه‌ها مقادیر تقریبی بوده به این ترتیب قابل اصلاح می‌باشد.

اصلاح انحراف از بده طراحی

با توجه به معادله (۱۹) و درنظر گرفتن حساسیت تیغه‌ها مطابق با معادله (۵) رابطه انحراف از بده طراحی اصلاح شده به صورت زیر درمی‌آید:

$$m_{1(new)} = 1 - \left(\frac{H_{min}}{H_{max}} \right)^{\left(1/(1/\bar{S}_{1(new)} + 1/\bar{S}_{2(new)} + 1/\bar{S}_{3(new)})\right)} \qquad (۲۳)$$

اصلاح میزان بازشدگی‌ها

پس از محاسبه ارتفاع‌های جدید با استفاده از روابط (۲۱) و (۲۲) و با جاگذاری آنها در رابطه (۱۰) بازشدگی‌های جدید تیغه‌های اول و دوم محاسبه می‌شوند. بازشدگی تیغه سوم نیز با استفاده از رابطه (۱۰) و با درنظر گرفتن ارتفاع آب بالادست تیغه به میزان H_{max} محاسبه می‌شود.

کلیه مراحل یاد شده که عبارت از اصلاح حساسیت تیغه‌ها، ارتفاع تیغه‌ها، میزان انحراف از بده طراحی و بازشدگی تیغه‌ها است باید تا جایی که برای هر سه تیغه $\bar{S}_{i(new)} / \bar{S}_i \approx 1$ شود، ادامه پیدا کند.

در این شمای طراحی با توجه به رابطه (۲۳)، مقدار انحراف از بده طراحی در دامنه ٪۸/۲<m_1<٪۱۰/۳ قرار می‌گیرد. بر این اساس برای H_{min}=15cm، و H_{max}=25cm، مقادیر H_1، H_2، و بازشدگی‌های a_i برای تحویل بده‌های ۲ تا ۷ لیتر بر ثانیه به کمک شمای یاد شده محاسبه شده‌اند که برای دو پارامتر اول به ترتیب مقادیر۱۷/۷ و ۲۱ سانتیمتر به دست آمد و نتاج تغییرات بازشدگی‌ها در برابر بده در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ابعاد مدول تیغه‌ای با استفاده از روش طراحی حساسیت معادل در شمای اول

q (l/s/cm)	a_1 (cm)	a_2 (cm)	a_3 (cm)
۰/۲	۱/۹	۱/۷	۱/۵
۰/۲۵	۲/۴	۲/۲	۲/۰
۰/۳	۲/۹	۲/۶	۲/۴
۰/۳۵	۳/۴	۳/۱	۲/۸
۰/۴	۴/۰	۳/۶	۳/۲
۰/۴۵	۴/۵	۴/۰	۳/۷
۰/۵	۵/۱	۴/۶	۴/۱
۰/۵۵	۵/۶	۵/۰	۴/۵
۰/۶	۶/۲	۵/۵	۵/۰
۰/۶۵	۶/۸	۶/۰	۵/۴
۰/۷	۷/۴	۶/۶	۵/۹

علی‌رغم تغییرات قابل توجه حساسیت هیدرولیکی دریچه کشویی قائم (شکل ۲) ابعاد مدول تیغه‌ای در شمای اول به شکلی حاصل شد که تغییرات حساسیت هیدرولیکی معادل آن

Archive of SID

www.SID.ir

در محدوده کمی قرار گرفته است و در نتیجه با دقت قابل قبولی می‌توان با استفاده از روابط (۱۵) و (۱۶) به صورت مستقیم ارتفاع تیغه‌ها را محاسبه کرد، در حالیکه طراحی به روش پیشنهادی انور الزاماً نیازمند برنامه نویسی است (Anwar, 1999). همچنین نکته قابل ذکر این است که ابعاد محاسبه شده برای مدول سه تیغه‌ای با استفاده از این روش با ابعاد پیشنهادی روش Anwar (۱۹۹۹) تطابق پیدا کرده است اما امتیاز آن در سادگی طراحی و ارائه نتایج جامع‌تر است.

طراحی به روش شمای دوم

در اینجا نیز برای بدست آوردن یک تقریب اولیه از ابعاد تیغه‌ها حساسیت آن‌ها برابر ۰/۵ درنظر گرفته می‌شود. لذا داریم:

$$\bar{S}_1 = \bar{S}_2 = \bar{S}_3 = 0.5 \qquad (۲۴)$$

با توجه به رابطه (۵)، معادلات (۲۴) به صورت زیر در می آید:

$$\frac{\ln(\frac{(1-m_2)q_d}{q_d})}{\ln(\frac{H_{min}}{H_1})} = \frac{\ln(\frac{(1-m_2)q_d}{q_d})}{\ln(\frac{H_1}{H_2})} = \frac{\ln(\frac{(1-m_2)q_d}{(1+m_2)q_d})}{\ln(\frac{H_2}{H_{max}})} = 0.5 \qquad (۲۵)$$

رابطه (۲۵) دارای سه معادله و سه مجهول است که با حل همزمان این معادلات و ساده‌سازی آنها، H_1، H_2 و m_2 بترتیب بوسیله معادلات (۲۷)، (۲۸) و (۲۶) قابل محاسبه می‌باشند.

$$m_2 = 1 - (\frac{H_{min}}{H_{max}})^{1/(6+2c)} \qquad (۲۶)$$

$$H_1 = H_{min}^{\frac{2+c}{3+c}} H_{max}^{\frac{1}{3+c}} \qquad (۲۷)$$

$$H_2 = H_{min}^{\frac{1+c}{3+c}} H_{max}^{\frac{2}{3+c}} \qquad (۲۸)$$

در روابط فوق $c = -\ln(1+m_2)/\ln(1-m_2)$ است.

برای تعیین مقادیر اولیه H_1 و H_2، c و در نتیجه m_2 باید معلوم باشد. با توجه به مقادیر H_{min}=15cm و H_{max}=25cm معادله (۲۶) به کمک روش تکرار حل شده که نتیجه آن ۶/۳٪ =m_2 به دست امده است. این مقدار انحراف از بده طراحی به عنوان مقدار تقریبی برای تعیین ارتفاع تیغه‌ها و بازشدگی آن‌ها که به ترتیب با استفاده از معادلات (۲۷)، (۲۸) و (۱۰) به دست می‌آیند، به کار خواهد رفت.

اما از آنجایی که روابط فوق با فرض تساوی حساسیت تیغه ها (رابطه (۱۳)) بدست آمده‌اند باید تعدیل شوند. روابط (۲۷)، (۲۸) و (۲۶) با فرض تقریبی رابطه (۲۴) بدست آمده‌اند و در این شما نیز قابل تعدیل هستند.

با فرض اولیه m_2، برابر ۶/۳٪ و به کمک روابط (۲۷)، (۲۸) مقادیر H_1 و H_2 تقریبی محاسبه می‌شوند. سپس با استفاده از رابطه (۱۰) بازشدگی تقریبی تیغه‌های اول و دوم و به وسیله رابطه (۲۹) بازشدگی تقریبی تیغه سوم محاسبه می‌شود و پس از آن نتایج تعدیل می‌شوند.

$$q_d = \frac{2.71}{1+m_2} a_3 \left(\frac{H_{max} - a_3}{H_{max} + 15a_3}\right)^{0.072} \sqrt{H_{max}} \qquad (۲۹)$$

تعدیل حساسیت‌ها و میزان انحراف از بده طراحی

رابطه (۱۸) برای تعدیل حساسیت‌های به کار می‌رود.

همچنین مشابه شمای اول زمانی که $\bar{S}_{(new)}/\bar{S} = 1$ شود نتایج مورد نظر تحصیل شده است، لذا در حالت حدی داریم:

$$\frac{\bar{S}_{1(new)}}{\bar{S}_1} = \frac{\bar{S}_{2(new)}}{\bar{S}_2} = \frac{\bar{S}_{3(new)}}{\bar{S}_3} = 1 \qquad (۳۰)$$

با توجه به رابطه (۳۰) و در حالت حدی داریم:

$$\frac{\ln(1-m_{2(new)})}{\bar{S}_{1(new)}\ln(H_{min}/H_{1(new)})} = \frac{\ln(1-m_{2(new)})}{\bar{S}_{2(new)}\ln(H_{1(new)}/H_{2(new)})} = \frac{\ln((1-m_{2(new)})/(1+m_{2(new)}))}{\bar{S}_{3(new)}\ln(H_{2(new)}/H_{max})} = 1 \qquad (۳۱)$$

رابطه (۳۱) دارای سه معادله و سه مجهول، که شامل ارتفاع تیغه‌های اول و دوم و میزان انحراف از بده طراحی جدید است می‌باشد که با حل دستگاه معادلات فوق H_1، H_2 و m_2 تصحیح شده حاصل می‌شود. لذا با توجه به رابطه (۳۱)، مقدار $m_{2(new)}$، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$m_{2(new)} = 1 - \left(\frac{H_{min}}{H_{max}}\right)^{(1/(1/\bar{S}_{1(new)} + 1/\bar{S}_{2(new)} + (1+c_{new})/\bar{S}_{3(new)}))} \qquad (۳۲)$$

باید توجه شود که رابطه (۳۲) نسبت به $m_{2(new)}$ صریح نیست اما شکل رابطه به گونه‌ای تنظیم شده است که با یکی از روش‌های تکراری نظیر روش نقطه ثابت (Fixed point method) جواب مطلوب به راحتی حاصل می‌شود.

تعدیل ارتفاع تیغه‌ها

پس از محاسبه میزان انحراف از بده طراحی دیگر مجهولات رابطه (۳۱) یعنی ارتفاع اصلاح شده تیغه‌ها مطابق با روابط (۳۳) و (۳۴) به صورت زیر قابل محاسبه هستند.

$$H_{1(new)} = H_{max}^{\gamma} H_{min}^{1-\gamma} \qquad (۳۳)$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$H_{2(new)} = H_{max}^{\lambda} H_{min}^{1-\lambda} \quad (۳۴)$$

که در روابط فوق پارامترهای γ و λ به صورت زیر می‌شوند:

$$\gamma = \frac{1/\bar{S}_{1(new)}}{1/\bar{S}_{1(new)} + 1/\bar{S}_{2(new)} + (1+c_{new})/\bar{S}_{3(new)}}$$

$$\lambda = \frac{1/\bar{S}_{1(new)} + 1/\bar{S}_{2(new)}}{1/\bar{S}_{1(new)} + 1/\bar{S}_{2(new)} + (1+c_{new})/\bar{S}_{3(new)}}$$

پس از محاسبه ارتفاع‌های اصلاح شده با جاگذاری آنها در روابط (۱۰) و (۲۹) می‌توان مقادیر بازشدگی‌های جدید را تعیین کرد. این روند تا حصول شرط $\bar{S}_{(new)}/\bar{S} \approx 1$ با دقت مورد نظر، برای هر سه تیغه ادامه می‌یابد. ابعاد محاسبه شده برای مدول تیغه‌ای با استفاده از شمای دوم برای دامنه بده ۲ تا ۷ لیتر بر ثانیه محاسبه است. برای همان مقادیر H_{max} و H_{min} ارتفاع دریچه‌ها اول و دوم به ترتیب برابر H_1=17cm و H_2=19.4cm و مقادیر بازشدگی متناظر با بده در جدول ۲ قید شده است.

جدول ۲- ابعاد مدول تیغه‌ای با استفاده از روش طراحی حساسیت معادل با شمای دوم

q (l/s/cm)	a_1 (cm)	a_2 (cm)	a_3 (cm)
۰/۲	۱/۹	۱/۸	۱/۷
۰/۲۵	۲/۵	۲/۳	۲/۱
۰/۳	۳/۰	۲/۸	۲/۶
۰/۳۵	۳/۵	۳/۳	۳/۰
۰/۴	۴/۱	۳/۸	۳/۵
۰/۴۵	۴/۶	۴/۳	۳/۹
۰/۵	۵/۲	۴/۸	۴/۴
۰/۵۵	۵/۸	۵/۳	۴/۹
۰/۶	۶/۴	۵/۸	۵/۳
۰/۶۵	۷/۰	۶/۴	۵/۸
۰/۷	۷/۶	۶/۹	۶/۳

دامنه انحراف از بده طراحی بر اساس روش طراحی پیشنهادی شمای دوم بر اساس رابطه (۳۲)، برابر ٪۶/۳<m_2<٪۷/۹ می‌باشد.

معادلات (۲۷) و (۲۸) نشان می‌دهند که ارتفاع تیغه‌های اول و دوم تابعی از میزان انحراف بده تحویلی از بده طراحی می‌باشند. بسیار جلب توجه است که بدانیم میل دادن m_2 به سمت صفر و حد گرفتن از معادلات یاد شده برای این شرط و ساده‌سازی روابط، معادلات (۳۵) و (۳۶) را به دست می‌آید:

$$H_1 = \sqrt[4]{H_{min}{}^3 H_{max}} \quad (۳۵)$$

$$H_2 = \sqrt{H_{min} H_{max}} \quad (۳۶)$$

حل معادلات (۳۵) و (۳۶) ارتفاع تیغه‌های اول و دوم را به طور صریح به ترتیب برابر ۱۷ و ۱۹/۴ سانتی‌متر تعیین می‌کنند و به این ترتیب نیاز به روش تکرار را در این بخش از طراحی و برای دامنه بده مورد بررسی مرتفع می‌کند. اما به هر دلیل در صورت نیاز به دقت‌های بالاتر از نتایج معادلات (۳۵) و (۳۶) برای به دست آوردن مقادیر اولیه پارامترها استفاده کرد. در این صورت تعیین ابعاد نهایی و اتمام طراحی به بیش از دو تکرار نیاز نخواهد داشت.

نتایج و بحث

Renault and Hemakumara (۱۹۹۹) از اولین محققینی هستند که به لزوم تعریف حساسیت برای سازه‌های مختلف در شبکه و کاربرد وسیع آن اشاره کرده‌اند. همچنین Montazar and Kouchakzadeh (۲۰۰۶) و Montazar et al. (۲۰۰۵) اقدام به توسعه روابطی جهت برآورد و مقایسه مدول‌های نیرپیک کرده‌اند. اما تاکنون برای مدول تیغه‌ای شاخص‌ها و روابطی ارائه نشده است که مقایسه بین انواع مختلف آن را میسر سازد. لذا در این بخش اقدام به مقایسه بین نتایج روش‌های مختلف طراحی که تاکنون ارائه شده‌اند و انتخاب مناسب‌ترین آنها پرداخته می‌شود. برای این منظور می‌توان از روابط (۲۳) و (۳۲) استفاده کرد.

از آنجایی که برای برآورد حساسیت نسبی معادل حداقل مختصات دو نقطه مورد نیاز است و در روش Mishra et al. (۱۹۹۰) ارتفاع تیغه اول برابر کمینه ارتفاع طراحی در نظر گرفته شده است، لذا حساسیت نسبی معادل برای تیغه اول قابل تعریف نمی‌باشد. به عبارت دیگر در این روش اولین تیغه هیچ تاثیری در کنترل جریان ندارد. به این ترتیب میزان انحراف از بده طراحی مدول تیغه‌ای برای روش‌های طراحی موجود محاسبه و در شکل ۴ ارائه شده است. این شکل به وضوح نشان می‌دهد که طراحی مدول تیغه‌ای مطابق با شمای پیشنهادی دوم کمترین انحراف از بده طراحی را دارد و نسبت به سایر روش‌ها بهبود قابل توجهی در عملکرد سازه ایجاد کرده و بنابراین ارجحیت دارد.

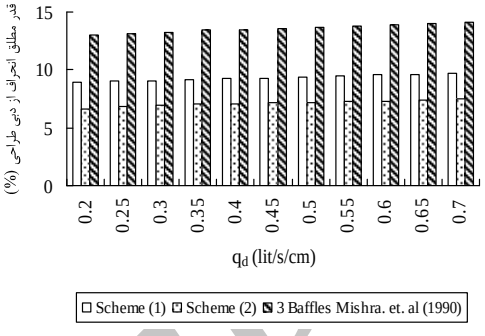
برای بده طراحی ۰/۲ لیتر بر ثانیه بر سانتی‌متر روابط به دست آمده در تحقیق حاضر نشان می‌دهد که ۱۳-٪ خطا در روش Mishra et al. (۱۹۹۰) وجود دارد. Anwar (۱۹۹۹) نیز نیز وجود خطای نظری ۱۷/۷-٪ را برای بده طراحی ۰/۲ لیتر بر ثانیه بر سانتی‌متر در روش میشرا گزارش کرده است.

بهرحال مقادیر خطای گزارش شده با مقادیر خطای مشاهده شده آزمایشگاهی که توسط Mishra et al. (۱۹۹۰) ارائه شده است، تفاوت قابل توجهی دارد. Anwar (۱۹۹۹) از

Archive of SID

www.SID.ir

این تفاوت به عنوان یک تناقض آشکار یاد می‌کند. به این ترتیب به نظر می‌رسد که بررسی‌های بیشتر آزمایشگاهی ضرورت مبرم دارد.



شکل ۴- حداکثر انحراف از بده طراحی برای روش‌های مختلف طراحی مدول تیغه‌ای

لازم به ذکر است که شمای اول طراحی تطابق بسیار خوبی با آنچه Anwar (۱۹۹۹) ارائه کرده است دارد بطوریکه در روش طراحی ایشان برای بده طراحی ۰/۲ لیتر بر ثانیه بر سانتی‌متر قدر مطلق حداکثر خطا برابر ۸/۶۷٪ گزارش شده است و در تحقیق حاضر نیز این مقدار با توجه به معادله (۲۳) برابر با ۸/۹۱٪ به دست می‌آید.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق سازه تحویل نسبتاً ثابت بده در دامنه‌ای قابل توجه از تغییرات ارتفاع آب بالادست معرفی شده و دو شیوه طراحی جدید پیشنهاد شده است. شیوه‌های طراحی جدید بر پایه شاخص حساسیت هیدرولیکی بنا نهاده شده است. اگرچه شیوه اول که بنام شمای اول طراحی نامگذاری شده ابعادی مشابه با طراحی‌های ارائه شده توسط محققین قبلی ارائه کرده است اما امتیاز آن علاوه بر تسهیل طراحی و تعیین ابعاد تیغه‌ها و میزان بازشدگی آن‌ها، ارائه اطلاعات جامع‌تری از قبیل تعیین میزان انحراف بده تحویلی از بده طراحی و حساسیت انفرادی تیغه‌ها در مقابل تغییرات سطح آب می‌باشد. همچنین نتایج طراحی به شیوه‌های مختلف مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت و نشان داده شد که روش پیشنهادی دوم این تحقیق که به نام شمای دوم معرفی شده است نسبت به سایر روش‌ها انحراف کمتری در بده نسبت به بده طراحی را نشان داده است و بهبود قابل توجهی در عملکرد سازه ایجاد کرده است.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت دانشگاه تهران و قطب علمی "ارزیابی و بهسازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی" انجام شد که بدینوسیله از این حمایت‌ها تشکر و قدردانی می‌شود.

REFERENCES

Amiri, A. And Siahi, M. K. (2008) *Design of irrigation canals and related structure*. Tehran University Nomber 2914. (In Farsi)

Anwar, A. A. (1999). Baffle sluice module with improved performance. *J. Irrig. Drain. Eng.* 125(2), 91-95.

Bos, M. G. (1989) *Discharge measurement structures.* International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). Publication No. 20. Wageningen. The Netherlands.

Henry, H. R. (1950). Diffusion of submerged jets. By Albertson, M. L., Dai, Y. B., Jensen, R. A. and Rouse, *H. Trans* 115, 687-694.

Larsen, A. P. and Mishra, P. K. (1990). Constant discharge device for field irrigation. *J. Hydr. Res. Delft*, The Netherlands. 28(4), 481-489.

Maheswara Babu, B., Mishra, P. K. and Satyanarayana, T. (1996). Performance of baffle-sluice module with change module dimensions. *J. Irrig. Drain. Eng*. 122(5), 310-313.

Mishra, P. K., Larsen, A. P. and Satyanarayana, T. (1990). Development of Low-Discharge Baffle-Sluice Module. *J. Irrig. Drain. Eng*. 116(3), 444-453.

Montazar, A., Kouchakzadeh, S. (2006). Hydraulic sensitivity of baffled modules distributors. *Journal of applied irrigation science*, Germany.

Montazar, A., Kouchakzadeh, S. and MH. Omid. (2005). Hydraulic sensitivity of baffled modules distributors. Proceeding *of XXXI IAHR Congress, Seoul, Korea*.

Rajaratnam, N. and Subramanya, K. (1967). Flow equation for sluice gate. *J. Irrig. Drain. Eng*. 3(3), 167-187.

Renault, D. (1999). Offtake Sensitivity, Operation Effectiveness, and Performance of Irrigation System *J. Irrig. Drain. Eng*. 125(3), 137-147.

Renault, D. (2000a). Re-Engineering Irrigation Management and System Operation. *J. Agric. Water Mgmt*. 47, 211-226.

Renault, D. (2000b). Aggregated Sensitivity Indicators of Irrigation Systems Hydraulic Behavior. *J. Agric. Water Mgmt*. 43(2), 151-171.

Renault, D., H. M. Hemakumara (1999). Irrigation Offtakes Sensitivity. *J. Irrig. Drain. Eng*. 125(3), 131-136.

Swamee, P. K. (1992). Sluice gate discharge equations. *J. Irrig. Drain. Eng*. 118(1), 56-60.

Vatankhah, A., Kouchakzadeh, S. and Hoorfar, A. (2008). Developing Effective Sensitivity Indicator for Irrigation Network Components. *International Journal of Applied Agricultural Research*. 3(1), 17-36.

Verma, D. V. S. (1997). Discussion of 'Performance of baffle-sluice modules with changed module dimensions, by B. Maheswara Babu., P. K. Mishra, and T. Satyanarayana. *J. Irrig. Drain. Eng*, 123(6), 463.

Verma, D. V. S. and Pasricha, A. (1994). Hydraulic characteristics of baffle modules. *J. Inst. Engrs*. 75, 155-158

Archive of SID

www.SID.ir