

اثر صفحات مستغرق بر میزان آبگیری و پروفیل طولی سطح آب در مجاورت آبگیرهای جانبی ۹۰ درجه

• فرزاد حسن پور

استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه زابل

• سید علی ایوب‌زاده

استادیار گروه سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس،

• مسعود قدسیان،

استاد دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس،

• جمال محمد ولی سامانی

دانشیار گروه سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس.

تاریخ دریافت: تیرماه ۱۳۸۵ تاریخ پذیرش: مهرماه ۱۳۸۵

Email: hassanpour.ir@gmail.com

چکیده

صفحات مستغرق به عنوان یک سازه هیدرولیکی کنترل کننده رسوب در دهانه آبگیرها مطرح می‌باشند. در این تحقیق عملکرد هیدرولیکی این صفحات در اعداد فرود نسبتاً بالا مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها به تعداد ۲۴ عدد در یک فلوم ۱۷ متری به عرض ۱ متر با یک کانال آبگیر افقی به طول ۲/۵۳ متر و عرض ۴۰ سانتیمتر و با زاویه آبگیری ۹۰ درجه در آزمایشگاه هیدرولیک گروه سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس انجام گردید و تاثیر تغییر پارامترهای زاویه نصب صفحات و دبی بر پروفیل طولی سطح آب مجاور آبگیر در کانال اصلی و نسبت آبگیری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که صفحات مستغرق استفاده شده در زوایای مختلف نصب، برای پارامتر جریان ۱۶۹ (دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه) و همچنین صفحات مستغرق با زاویه نصب ۲۵ درجه و در پارامتر جریان ۳۳۹ (دبی ۶۰ لیتر بر ثانیه) به دلیل زاویه زیاد بر خورد صفحات با جریان در کانال اصلی باعث افزایش پروفیل سطح آب بالادست صفحات گردیده‌اند. در شرایط عدم نصب صفحات مستغرق و در جریان فوق بحرانی یک افزایش ناگهانی در عمق جریان پایین دست دهانه آبگیر در کانال اصلی ایجاد می‌گردد. صفحات مستغرق در زوایای نصب ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه به ترتیب کاهش، بدون تاثیر منفی و افزایش نسبت آبگیری را در مقایسه با شرایط بدون استفاده از سازه کنترل رسوب به دنبال داشته‌اند.

کلمات کلیدی: آبگیرهای جانبی، صفحات مستغرق، راندمان آبگیری، پروفیل طولی سطح آب

Pajouhesh & Sazandegi No:77 pp: 104-114

Effect of submerged vanes on intake ratio and water surface profile at 90° diversion.

By: F. Hassanpour; Department of Irrigation, College of Agriculture, Zabol University, Zabol.

Ayyoubzadeh S.A. Department of Water Structure Engineering, College of Agriculture, Tarbiat Modarres University Tehran

Ghodisian, M. Department of Civil Engineering, College of Engineering, Tarbiat Modarres University, Tehran

Vali Samani J. M. Department of Water Structure Engineering, College of Engineering, Tarbiat Modarres University, Tehran

Submerged vanes are hydraulic structures for sediment control at intake entrance. In this paper, hydraulic performance of these structures within high Froude Numbers were studied experimentally. A total of 24 experiments were carried out in a flume with 17m length, 40 cm width and 90° diversion angle with and without using a set of submerged vanes. Effects of angle variations of submerged vanes and discharge on intake ratio and water surface profiles near intake in main channel were investigated. The results showed that application of submerged vanes, regardless of their angles, cause the increase of water surface elevations near upstream vanes when flow parameter was 169(30 lps, sub-critical flow) in main channel. Also, due to their relative high angle, an increase in water surface elevation was observed near upstream of 25° angle vanes when flow rate was 339(60 lps, super-critical flow) in main channel. The experimental results indicated that in supercritical flow a sudden increase in flow depth occurred downstream close to intake when the submerged vanes were not used. Compared to the condition with no vanes, the results showed that the application of 25° angle submerged vanes causes an increase in intake ratio. However, a reduction in intake ratio was observed in the case of 15° angle vanes and no change was observed in intake ratio when the angle was 20°.

Keywords: Lateral Intake, Submerged Vanes, Intake ratio, Water Surface Profile

مقدمه

وجود نداشته است و آبگیر با مشکلی که مربوط به رسوب باشد برخورد نکرده است (۲۳).

Nakato و Odgen با ساخت مدل فیزیکی برای دهانه‌های آبگیر رودخانه‌هایی با بستر ماسه‌ای در مجاورت رودخانه میسوری، به بررسی مشکلات ورود رسوبات بستر به دهانه آبگیر و روشهای کاهش آن پرداختند. تاثیر مثبت استفاده از صفحات طراحی شده براساس مدل فیزیکی در پرتوتایپ در طول سال‌های بهره‌برداری بدون مشکلات رسوب تایید گردید (۲۴).

راه کارهای افزایش کارایی صفحات مستغرق توسط Barkdoll و همکاران مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی آزمایشگاهی راه کارهای مختلف برای افزایش نسبت آبگیری و همچنین حفظ کارایی صفحات مستغرق، استفاده از دیواره جانبی در کنار صفحات مستغرق و عریض نمودن ورودی آبگیر به عنوان راه کارهای مناسب شناخته شدند (۲۰).

Sinha و Marelus مدل عددی برای تحلیل جریان عبوری از روی یک صفحه مستغرق را ارائه دادند. این مدل معادلات سه بعدی ناویراستوکس را با معادله آشفتگی K- ϵ حل می‌نماید. نتایج مدل عددی با مشاهدات مطالعه آزمایشگاهی انجام شده در یک کانال مستطیلی مستقیم با بستر متحرک مقایسه شد. مقایسه اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی سرعت در سه بعد در مجاورت و همچنین در فواصل دورتر از صفحه با نتایج مدل ریاضی بیانگر کارایی خوب مدل می‌باشد (۲۶).

ویژگی‌های حرکت جریان و رسوب اطراف یک صفحه مستغرق بزرگ به طول‌های بین ۱ تا ۴ متر را در یک فلوم مستقیم و عریض به طول ۳۰ متر و عرض ۶ متر، توسط Tan و همکاران مورد بررسی قرار گرفت.

صفحات مستغرق علیرغم سابقه کوتاه خود توانسته‌اند علاوه بر حفاظت سواحل رودخانه‌ها و عمیق کردن کانال‌ها، نقش بسیار موثری در دور کردن رسوبات بار بستر از دهانه آبگیر و کنترل رسوب در آنها داشته باشند (۱۹). مشخصه اصلی صفحات مستغرق این است که بر اثر اختلاف فشار دو طرف صفحه، جریان ثانویه‌ای در اطراف آنها ایجاد شده و رسوبات بستر را به داخل رودخانه منتقل و یک شبیه فرسایشی در جلو دهانه آبگیر ایجاد می‌کنند. در نتیجه از ورود رسوبات بستر به کانال آبگیر جلوگیری می‌شود. این صفحات موجب ایجاد یک چرخش در جریان پایین دست می‌شوند که گسترش آن یک تنش برشی عرضی را به بستر رودخانه، مکانی که تمرکز رسوبات حداکثر است، وارد می‌کنند (شکل ۱) (۱۹).

گرداب‌های به وجود آمده در لبه پائینی صفحه، ضمن چرخش به همراه جریان به پایین دست انتقال یافته و تشکیل گردابهای بزرگتری را می‌دهند. این گردابها در نهایت به صورت یک حرکت مارپیچی درآمده و باعث تغییرات در تنش برشی بستر و توپوگرافی کف رودخانه می‌شوند (۲۵). ایده استفاده از صفحات هدایت کننده جریان با الهام از جریان حلزونی در پیچ رودخانه و به منظور دور کردن رسوبات بستر برای اولین بار توسط Pynchkin و Poptapor در سال ۱۹۴۷ در دانشکده علوم مسکو شوروی سابق مطرح گردیده و با آزمایش‌های مدل هیدرولیکی تایید گردید (۲۸). در راستای کنترل رسوب در آبگیر ایستگاه پمپاژ واحد ۳ نیروگاه کانسبیل بلافس^۱ در رودخانه میسوری^۲، Nakato و همکاران از صفحات مستغرق استفاده نمودند. Nakato و همکاران اظهار کرده‌اند که پس از گذشت ۳/۵ سال از زمان نصب صفحات، هیچ‌گونه احتیاجی به لایروبی

دقت متوسط شیر دیجیتال حدود ۰/۴ لیتر بر ثانیه می‌باشد). عمق جریان در طول آزمایش‌ها بوسیله عمق‌سنج مدرج (Point gauge) با دقت ۰/۱mm اندازه‌گیری شده است.

برای اندازه‌گیری جریان در آزمایش‌ها از دو عدد سرریز مستطیلی و مثلثی به ترتیب در انتهای کانال اصلی و انتهای مسیر جریان انحرافی با روابط واسنجی شده حجمی به صورت ذیل استفاده شده است:
رابطه دبی - اشل سرریز مستطیلی:

$$Q = (-1.35406H_w + 2.0871875)BH_w^{1.5}$$

رابطه دبی - اشل سرریز مثلثی:

$$Q = 1.491937H_w^{2.5}$$

در این روابط، HW=عمق جریان روی سرریز (m)، Q=دبی جریان (m³/sec)، B=طول سرریز مستطیلی و برابر ۰/۳۲ متر می‌باشد. متغیرهای موثر بر میزان جریان انحرافی به آنگیر را می‌توان به صورت رابطه ۱- بیان نمود:

رابطه ۱-

$Q_1 = f(Q_M, B_M, B_1, S_M, K_S, g, \rho, m, q, H_{\mu}, \theta, H_v, L, N, \delta_s, \delta_n, \delta_b)$
که در آن، Q_1 = میزان جریان انحرافی به آنگیر، Q_M = دبی جریان در کانال اصلی، B_M = عرض کانال اصلی، B_1 = عرض کانال آنگیر، S_M = شیب کانال اصلی، K_S = زبری بستر، g = شتاب ثقل، ρ = جرم حجمی سیال، $m\mu$ = لزجت دینامیکی سیال، $q\theta$ = زاویه کانال آنگیر با کانال اصلی، H_v = ارتفاع صفحات مستغرق، L = طول صفحات مستغرق، N = تعداد ردیف صفحات مستغرق، $a\alpha$ = زاویه صفحات مستغرق با جریان، δ_s = فاصله طولی صفحات مستغرق، δ_n = فاصله عرضی صفحات مستغرق، δ_b = فاصله عرضی اولین ردیف صفحات مستغرق از دهانه آنگیر می‌باشند. متغیرهای H_v ، g و ρ را به عنوان متغیرهای تکرار شونده در روش آنالیز ابعادی باکینگهام انتخاب و با استفاده از این روش تعداد ۱۴ پارامتر بدون بعد به شرح معادله ۲- تعیین شده است:

$$P_1 = \frac{Q_1}{\sqrt{gH_v^3}}, P_2 = \frac{Q_M}{\sqrt{gH_v^3}}, P_3 = \frac{B_M}{H_v}, P_4 = \frac{B_1}{H_v}, P_5 = \frac{S_M}{H_v}, P_6 = \frac{K_S}{H_v}, P_7 = \frac{m}{\rho \sqrt{gH_v^3}}$$

$$P_8 = q, P_9 = \frac{L}{H_v}, P_{10} = N, P_{11} = a, P_{12} = \frac{d_1}{H_v}, P_{13} = \frac{d_n}{H_v}, P_{14} = \frac{d_b}{H_v}$$

در این تحقیق بررسی اثر متقابل پارامترهای π_1, π_2, π_3 مورد توجه بوده است لذا مقادیر سایر پارامترهای بدون بعد در طول کل آزمایش‌ها ثابت در نظر گرفته شده‌اند (جدول-۱). بنابراین خواهیم داشت (معادله ۳):

$$P_1 = \frac{Q_1}{\sqrt{gH_v^3}}, P_2 = \frac{Q_M}{\sqrt{gH_v^3}} \Rightarrow P_{12} = \frac{Q_1}{Q_M} \quad \text{معادله (۳)}$$

$$P_2 = \frac{Q_M}{\sqrt{gH_v^3}}$$

$$P_{11} = \alpha$$

این تحقیق نشان داد که کارایی صفحه مستغرق در منحرف نمودن مسیر حرکت رسوبات بستگی به زاویه برخورد صفحه با جریان، ارتفاع و طول صفحه دارد (۲۷).

تحقیقات قابل ملاحظه‌ای در کشور در زمینه ابعاد، فواصل، آرایش بهینه و همچنین اثرات هیدرولیکی صفحات مستغرق بر توزیع جانبی سرعت و پروفیل بستر انجام شده که عمدتاً آزمایشگاهی می‌باشند (۱)، تحقیقی دیگر، عملیات نصب این سازه‌ها در بخشی از رودخانه کرخه، و در ۳۵ کیلومتری اهواز انجام گردید. بررسی تغییرات کف رودخانه، پروفیل مقاطع عرضی در محل نصب صفحه‌ها در دو مرحله قبل از نصب و دو ماه پس از نصب، اثر بخشی این سازه در ایجاد توپوگرافی دلخواه را نشان می‌داد (۱۲).

واقع شدن بخش عمده‌ای از مساحت کشور در ناحیه خشک و نیمه خشک و وجود سیلاب با بار رسوبی زیاد خصوصاً بار بستر که از مشخصه‌های اصلی این مناطق می‌باشد، اهمیت سازه‌های کنترل کننده رسوب در آنگیرهای جانبی را در بهره‌وری بهتر از این آب‌ها روشن می‌سازد. روش‌های مختلفی برای کنترل رسوب در داخل رودخانه و در جلو دهانه آنگیر توسعه یافته و مورد استفاده قرار گرفته است که از میان آنها صفحات مستغرق به عنوان یک سازه کنترل کننده رسوبات بار بستر کم هزینه و بدون نیاز به بهره‌بردار توجه زیادی را در دو دهه اخیر به خود معطوف داشته است. با توجه به ایجاد اعداد فرود بالا در جریان‌های سیلابی و عدم سابقه مطالعاتی آزمایشگاهی در مورد عملکرد صفحات مستغرق در این شرایط، تأثیر صفحات در اعداد فرود بالا (Fr=۰/۷۵-۱/۱۸) تحت زوایای مختلف نصب در آرایش موازی، بر روی پروفیل طولی جریان در کانال اصلی و نسبت آنگیری در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های این تحقیق به صورت هیدرولیکی و بدون رسوب بر روی بستر صلب بتنی در دو مرحله عدم نصب و نصب صفحات مستغرق با آرایش منظم و بدون کنترل بر روی عمق جریان در انتهای کانال اصلی و کانال آنگیر و با هدف بررسی نسبت آنگیری در فلوام گروه سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس انجام گردید.

صفحات مستغرق از جنس پلگسی گلاس با ضخامت ۲ میلی‌متر ساخته شده و در دو ردیف طولی و با سه زاویه ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه نصب گردیدند. کانال اصلی با طول ۱۷ متر و عرض ۱ متر، دارای یک کانال آنگیر با زاویه انحراف ۹۰ درجه به طول ۲/۵۳ متر و عرض ۰/۴ متر می‌باشد. برای رویت جریان در دیواره سمت چپ کانال بتنی اصلی در طولی حدود ۱۰ متر از پلگسی گلاس استفاده شده و همچنین کانال آنگیر از جنس پلگسی گلاس با چارچوب فولادی می‌باشد. شیب کانال اصلی ۰/۰۲۳ و کانال آنگیر افقی می‌باشد (شکل-۲). ابعاد، فواصل طولی و عرضی صفحات مستغرق با بهره‌گیری از توصیه‌های تحقیقات انجام شده و محدوده تغییرات عمق جریان در مجاورت آنگیر برای دبی‌های آزمایش انتخاب و در شکل-۳ ارائه شده است. با توجه به تکرار آزمایش‌ها با یک دبی ثابت برای زوایای مختلف نصب صفحات مستغرق، برای افزایش دقت در ایجاد یک دبی ثابت از یک شیر برقی دیجیتال با محدوده بازشدگی صفر تا ۹۷ درصد استفاده گردید

جدول (۱): مقادیر پارامترهای بی بعد ثابت در طول آزمایش‌ها

پارامتر	B_M / H_V	B_1 / H_V	S_M	K_S / H_V	$\frac{\mu}{P \sqrt{gH_V^3}}$	Q	L/H _V	N	δ_s / H_V	δ_n / H_V	δ_b / H_V
مقدار	۵۰	۲۰	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۴۴۱۲	۰/۰۰۰۱۱۲۹	۹۰	۳	۲	۸	۳	۳

$$v = \frac{0.00000174}{1 + 0.03368t + 0.00022099t^2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

عدد فرود جریان عبارتست از (رابطه ۷):

$$Fr = \frac{Q}{A\sqrt{gD}} \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در این رابطه، Q = دبی جریان H_M عبوری از مقطع، A = سطح مقطع جریان و برابر $A = \sum A_i = B_M H_M$ ، جزء i ام از سطح مقطع، = متوسط وزنی عمق جریان در مقطع، $D =$ عمق هیدرولیکی و برابر، $D = \frac{A}{T}$ = عرض سطح آزاد می‌باشد.

نتایج و بحث

پروفیل طولی سطح آب برداشت شده در وسط کانال اصلی برای دبی های ۳۰ و ۶۰ لیتر بر ثانیه در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. موقعیت دهانه آبگیر توسط دو خط قائم $X = 11/375$ m و $X = 11/775$ m از ابتدای کانال اصلی و عمق بحرانی در هر نقطه در طول کانال اصلی توسط خط بحرانی (Critical Line) در این شکل‌ها نشان داده شده است. اعداد فرود و

با تعریف $Q^* = \frac{Q}{\sqrt{gH_V^3}}$ نسبت آگیری، پارامتر جریان، رابطه بدون بعد تحقیق به صورت معادله ۴ تعیین گردید:

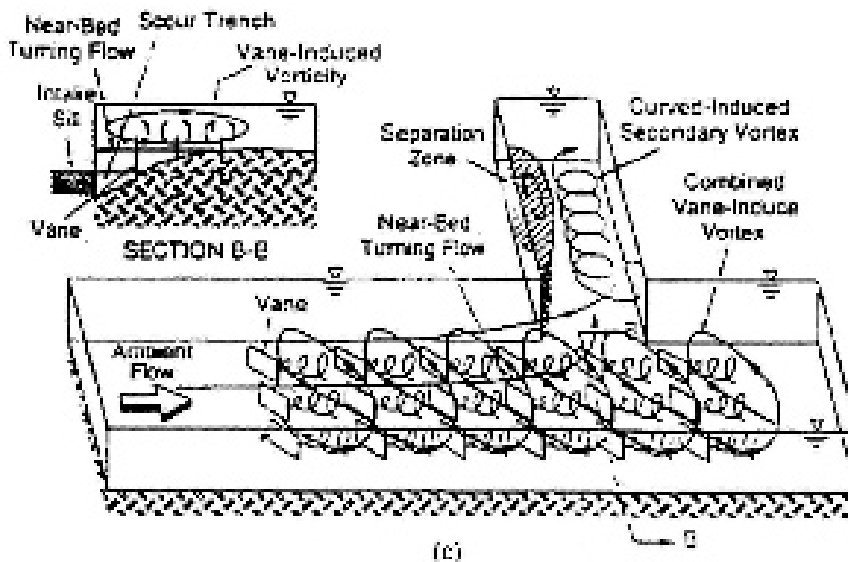
$$Q_R = f(Q^*, a) \quad \text{معادله (۴)}$$

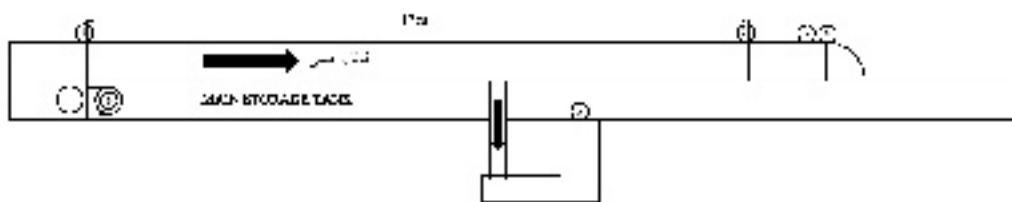
در این تحقیق به منظور تعیین وضعیت جریان از اعداد رینولدز و فرود جریان استفاده شده است. عدد رینولدز جریان عبارتست از (معادله ۵):

$$Re = \frac{UR_h}{\nu} = \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)\left(\frac{A}{P}\right)}{\nu} \quad \text{معادله (۵)}$$

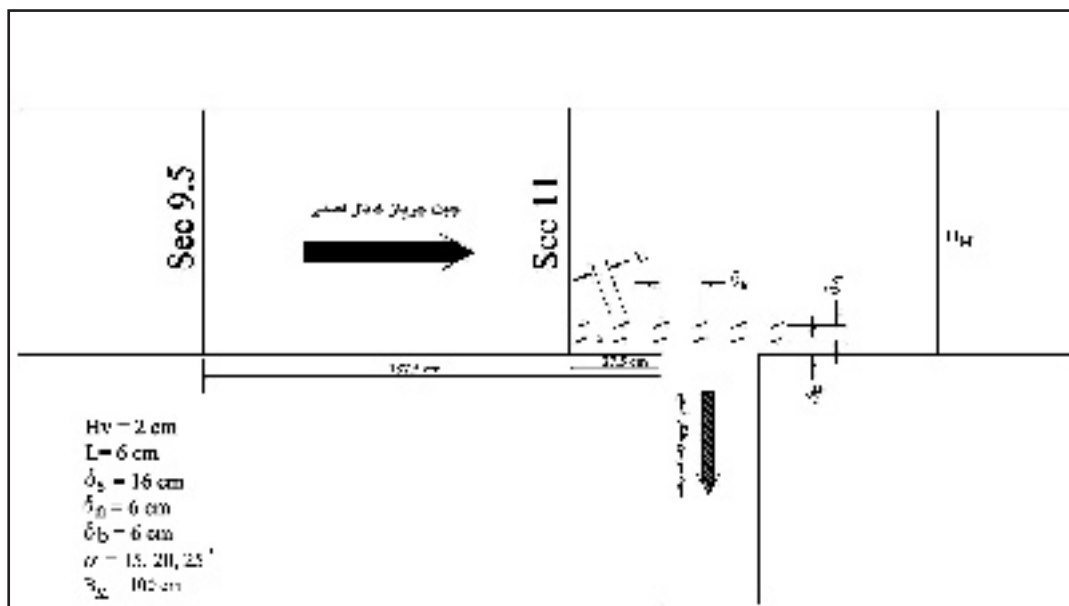
که در این رابطه، U = سرعت متوسط جریان در مقطع، $R_h =$ شعاع هیدرولیکی و برابر $R_h = A/P$ ، A = سطح مقطع جریان، P = محیط خیس شده مقطع و برابر $P = B_M + 2H_M$ و $\nu =$ لزجت سینماتیکی که بصورت تابعی از درجه حرارت در نظر گرفته شده است. رابطه لزجت سینماتیکی ν برحسب مترمربع بر ثانیه تابعی از دمای آب، t برحسب درجه سانتیگراد عبارتست از (۱۸) (رابطه ۶):

شکل ۱- وضعیت شماتیک جریان در آبگیر پس از نصب صفحات (۱۹)





شکل ۲- پلان کانال اصلی، آبگیر و ملزومات آن



شکل ۳- پلان موقعیت قرارگیری ابعاد، تعداد ردیف و فواصل نصب صفحات مستغرق

- ۱- آرام کننده ابتدای کانال اصلی، ۲- دریچه کشویی انتهایی کانال اصلی، ۳- آرام کننده جریان
 ۴- سرریز مستطیلی انتهایی کانال اصلی، ۵- سرریز مثلثی انتهایی کانال آبگیر و ۶- سیستم پمپاژ

و د). در این شرایط علی‌رغم اینکه الگوی پروفیل طولی سطح آب در سه زاویه نصب صفحات دارای روند مشابه می‌باشد اما صفحات مستغرق ۱۵ درجه به دلیل زاویه کمتر برخورد با جریان و در نتیجه توان تولید جریان چرخشی کمتر در پایین دست خود، نسبت به صفحات ۲۰ و ۲۵ درجه نسبت آبگیری کمتری را نتیجه داده‌اند.

برای دبی حداکثر مورد استفاده در آزمایش‌ها (۶۰ لیتر بر ثانیه، پارامتر جریان ۳۳۹) جریان فوق بحرانی در جلوی دهانه آبگیر در کانال اصلی رخ می‌دهد. بدلیل وجود دهانه آبگیر بخشی از جریان سطحی بالادست دهانه به سمت ورودی آبگیر متمایل شده و قسمتی از آن وارد کانال آبگیر می‌شود و بخشی دیگر با سرعت بالا با دیواره پایین دست کانال اصلی مجاور آبگیر برخورد می‌نماید و باعث تلاطم و افزایش ناگهانی عمق جریان در این نقطه می‌گردد. گسترش این تلاطم در پایین دست و عرض مقطع جریان، افزایش ناگهانی عمق در پروفیل طولی را به دنبال دارد (شکل ۶ الف). این پدیده در عکس‌های ارائه شده در شکل ۴- نشان داده شده است. در حالت نصب صفحات مستغرق در زاویه ۱۵ درجه به دلیل زاویه کم

رینولدز جریان برای دو مقطع Sec ۱۱ (در فاصله $X=11 \text{ m}$ از ابتدای کانال اصلی) و Sec ۹/۵ (در فاصله $X=9/5 \text{ m}$ از ابتدای کانال اصلی) محاسبه شده و در جدول (۲) ارائه شده است. مقطع Sec ۱۱ مجاور بالادست دهانه آبگیر در کانال اصلی و مطابق شکل ۳- بالاتر از اولین ردیف صفحات مستغرق انتخاب گردید و با توجه به پروفیل‌های طولی سطح آب ارائه شده در شکل‌های ۵ و ۶ عمق آب و همچنین عدد فرود جریان در این مقطع از آبگیر و زاویه نصب صفحات مستغرق تاثیرپذیر پذیرفته است. مقطع Sec ۹/۵ در فاصله $1/87 \text{ m}$ بالادست دهانه آبگیر در کانال اصلی است و با توجه به شکل‌های ۵ و ۶ بدلیل دارا بودن تغییرات کمتر عمق آب در زوایای مختلف نصب صفحات مستغرق، عمق جریان و عدد فرود جریان نزدیک شونده از بالادست کانال اصلی به دهانه آبگیر را نشان می‌دهد.

ساخت سازه صفحات مستغرق برای پارامتر جریان ۱۶۹ (دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه) در کانال اصلی باعث ایجاد مقاومت در برابر حرکت جریان در کانال اصلی گردیده و این مقاومت افزایش عمق را در مقطع عرضی جریان بلافاصله بالادست صفحات (مقطع ۱۱) به دنبال داشته است (شکل ۵ ب، ج

جدول (۲): اعداد فرود و رینولدز جریان در مقاطع بالادست دهانه آبگیر

NO	TEST	دمای آب (درجه سانتیگراد)	Q_M (m^3/sec)	مشخصات مقطع ۱۱ Sec			مشخصات مقطع ۹/۵ Sec		
				H_M (mm)	Fr	Re	H_M (mm)	Fr	Re
۱	NV۰۰۶۰	۱۵/۲	۰/۰۶۰۷	۶۷/۱	۱/۱۱	۴۸۰۴۷	۷۳/۴	۰/۹۷	۴۷۵۱۴
۲	NV۰۰۵۳	۱۵/۷	۰/۰۵۴۲	۷۱/۸	۰/۹۰	۴۳۱۳۷	۶۴/۹	۱/۰۵	۴۳۶۶۸
۳	NV۰۰۴۵	۱۵/۷	۰/۰۴۶۴	۶۱/۳	۰/۹۸	۳۷۶۱۸	۶۰/۱۰	۱/۰۱	۳۷۷۰۷
۴	NV۰۰۳۷	۱۵/۷	۰/۰۳۸۵	۵۵/۴	۰/۹۴	۳۱۵۶۱	۵۹/۱۰	۰/۸۶	۳۱۳۵۹
۵	NV۰۰۳۰	۱۴/۶	۰/۰۳۱۸	۴۹/۳	۰/۹۳	۲۵۶۲۲	۵۴/۱۱	۰/۸۱	۲۵۳۹۶
۶	NV۰۰۲۰	۱۵/۷	۰/۰۲۰۲	۳۸/۸	۰/۸۴	۱۷۰۶۱	۳۹/۷	۰/۸۲	۱۷۰۳۴
۷	PV۱۵۶۰	۱۸/۰	۰/۰۵۹۹	۶۴/۱	۱/۱۸	۵۱۱۷۵	۷۲/۴	۰/۹۸	۵۰۴۳۲
۸	PV۱۵۵۳	۱۸/۵	۰/۰۵۳۲	۷۲/۹	۰/۸۶	۴۵۳۲۴	۶۴/۸	۱/۰۳	۴۵۹۷۹
۹	PV۱۵۴۵	۱۸/۵	۰/۰۴۵۵	۶۲/۲	۰/۹۴	۳۹۴۸۳	۶۱/۵	۰/۹۵	۳۹۵۲۸
۱۰	PV۱۵۳۷	۱۸/۵	۰/۰۳۷۹	۵۳/۹	۰/۹۷	۳۳۳۸۳	۵۶/۱۰	۰/۹۱	۳۳۲۵۷
۱۱	PV۱۵۳۰	۱۸/۵	۰/۰۳۱۰	۵۲/۳	۰/۸۳	۲۷۳۹۳	۵۰/۶	۰/۸۷	۲۷۴۷۶
۱۲	PV۱۵۲۰	۱۸/۵	۰/۰۲۱۹	۴۱/۷	۰/۸۲	۱۹۷۰۶	۴۱/۸	۰/۸۲	۱۹۷۰۵
۱۳	PV۲۰۶۰	۱۶/۵	۰/۰۶۰۷	۶۸/۳	۱/۰۹	۴۹۵۹۳	۷۲/۸	۰/۹۹	۴۹۱۹۸
۱۴	PV۲۰۵۳	۱۷/۱	۰/۰۵۳۷	۷۵/۲	۰/۸۳	۴۴۰۳۸	۶۴/۹	۱/۰۴	۴۴۸۴۱
۱۵	PV۲۰۴۵	۱۷/۷	۰/۰۴۶۰	۶۳/۸	۰/۹۱	۳۹۰۰۳	۵۹/۳	۱/۰۲	۳۹۳۱۹
۱۶	PV۲۰۳۷	۱۸/۳	۰/۰۳۸۲	۵۵/۶	۰/۹۳	۳۳۴۲۸	۵۸/۱۱	۰/۸۷	۳۳۲۷۸
۱۷	PV۲۰۳۰	۱۸/۳	۰/۰۳۱۲	۵۶/۳	۰/۷۵	۲۷۲۴۶	۵۳/۴	۰/۸۱	۲۷۳۸۹
۱۸	PV۲۰۲۰	۱۸/۱	۰/۰۱۹۷	۴۰/۰	۰/۷۹	۱۷۶۴۷	۳۹/۸	۰/۷۹	۱۷۶۵۵
۱۹	PV۲۵۶۰	۱۵/۰	۰/۰۶۰۵	۷۸/۷	۰/۸۷	۴۶۶۸۰	۷۱/۸	۱/۰۰	۴۷۲۴۴
۲۰	PV۲۵۵۳	۱۳/۸	۰/۰۵۳۷	۷۲/۳	۰/۸۸	۴۰۶۲۸	۶۴/۱۱	۱/۰۶	۴۱۲۲۴
۲۱	PV۲۵۴۵	۱۳/۸	۰/۰۴۴۷	۶۲/۹	۰/۹۰	۳۴۳۸۴	۶۰/۸	۰/۹۵	۳۴۵۱۶
۲۲	PV۲۵۳۷	۱۳/۸	۰/۰۳۷۲	۶۱/۹	۰/۷۷	۲۸۶۴۶	۵۸/۴	۰/۸۴	۲۸۸۲۶
۲۳	PV۲۵۳۰	۱۳/۸	۰/۰۳۰۰	۵۰/۳	۰/۸۵	۲۳۶۰۴	۴۷/۱۱	۰/۹۴	۲۳۷۴۰
۲۴	PV۲۵۲۰	۱۳/۸	۰/۰۲۱۰	۴۱/۰	۰/۸۱	۱۶۷۸۲	۴۲/۲	۰/۷۷	۱۶۷۴۶

توجه:

حروف بکار برده شده در عنوان آزمایش‌ها به ترتیب از سمت چپ عبارتند از: حروف اول و دوم بیانگر عدم استفاده (NV) و یا استفاده از صفحات مستغرق با آرایش موازی (PV)، حروف سوم و چهارم بیانگر زاویه نصب صفحات مستغرق (a)(a)، حروف پنجم و ششم بیانگر دبی جریان وارد شونده به کانال اصلی.



شکل ۴- شکل گیری افزایش ناگهانی عمق بعد از دهانه آبگیر در دبی ۶۰ لیتر بر ثانیه

تحقیق در جدول ۳ ارائه شده و شکل‌های ۷ و ۸ نتایج مربوط به نسبت آبگیری (QR) در مقابل پارامتر جریان (Q*) در آزمایش‌های صفحات با

زوایای ۱۵، ۲۰، ۲۵ و بدون کاربرد صفحات مستغرق را نشان می‌دهند. مقایسه تغییرات نسبت آبگیری مقابل پارامتر جریان در دو حالت نصب صفحات با زاویه ۱۵ درجه و عدم نصب صفحات با توجه به شکل ۷- نشان می‌دهد که پس از نصب سازه صفحات مستغرق با زاویه ۱۵ درجه در مقابل دهانه آبگیر در دبی‌های مختلف (پارامتر جریان‌های مختلف) کاهش نسبت آبگیری مشاهده می‌گردد از آنجائیکه تفاوت این دو سری از آزمایش‌ها تنها در نصب صفحات مستغرق در مقابل آبگیر می‌باشد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نصب سازه صفحات مستغرق با زاویه ۱۵ درجه در مقابل دهانه آبگیر به عنوان یک عامل منفی در میزان آبگیری باعث کاهش نسبت آبگیری شده است.

مقایسه تغییرات نسبت آبگیری در مقابل پارامتر جریان در زوایای مختلف ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه نصب صفحات مستغرق در شکل‌های ۷ و ۸ که برای شرایط یکسان انجام آزمایش‌ها و تنها با تغییر زاویه نصب صفحات حاصل گردیده‌اند، افزایش در میزان آبگیری به ازای افزایش در زاویه نصب صفحات را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن این نکته در کلیه این آزمایش‌ها عامل منفی تأثیر ساخت سازه صفحات در میزان آبگیری با توجه با ثابت بودن طول صفحات تقریباً یکسان بوده است بنابراین علت تفاوت

برخورد جریان با صفحات و در نتیجه تولید جریان چرخشی ضعیف در پایین دست صفحات از سویی و آبگیری کانال انحرافی از جریان‌های فوقانی از سوی دیگر، مشابه حالت عدم نصب صفحات پدیده افزایش موضعی عمق مجدداً ایجاد می‌گردد (شکل ۶ ب). صفحات مستغرق در زاویه نصب ۲۰ درجه باعث ایجاد جریان چرخشی مناسبی در پایین دست خود می‌گردند که گسترش این جریان حلزونی افزایش نسبت آبگیری را برای این حالت به دنبال دارد و در نتیجه بخش کمتری از جریان منحرف شده سطحی به سمت دهانه آبگیر به دیواره پایین دست کانال اصلی برخورد کرده و افزایش ناگهانی عمق و افت انرژی کمتر شده و پدیده افزایش ناگهانی عمق در پروفیل طولی برای این حالت مشاهده نمی‌شود (شکل ۶ ج). در حالت نصب صفحات مستغرق در زاویه ۲۵ درجه زاویه زیاد برخورد صفحات با جریان باعث افت انرژی زیادی در محل برخورد گردیده و موقعیت پرش هیدرولیکی به بالادست دهانه آبگیر منتقل می‌گردد در نتیجه صفحات ۲۵ درجه علی‌رغم اینکه در دبی‌های کم به دلیل زاویه زیاد برخورد با جریان و توان تولید جریان چرخشی قوی‌تر در پایین دست خود نسبت آبگیری را افزایش داده بودند در دبی حداکثر مورد استفاده (پارامتر جریان ۳۳۹) امکان شکل‌گیری جریان فوق بحرانی در جلوی دهانه آبگیر را فراهم ننموده و در نتیجه کاهش نسبت آبگیری را به دنبال دارند شکل‌های (۶ د) و (۸). مقادیر پارامتر جریان (Q*) و جریان انحرافی (QI) در آزمایش‌های

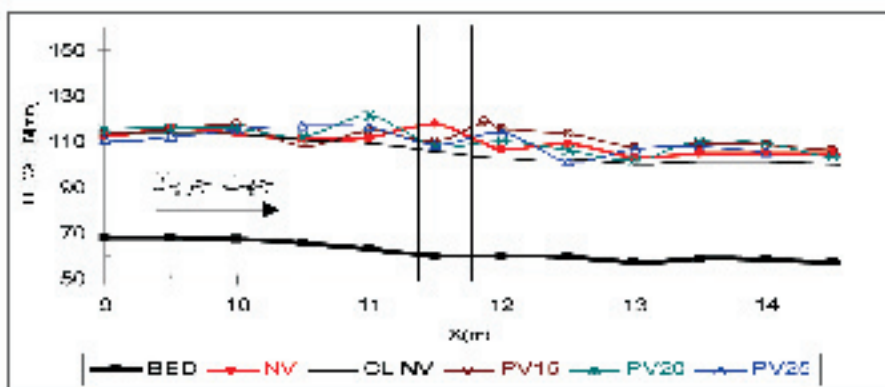
جدول (۳): جدول مقادیر پارامتر جریان (*Q) در آزمایش‌ها

NO	TEST	Q _M (Lit/Sec)	Q _I (Lit/Sec)	Q°
۱	NV۰۰۶۰	۶۰/۶۶۴	۴/۹۳۳	۳۴۲/۳۹۲
۲	NV۰۰۵۳	۵۴/۲۱۸	۴/۲۶۰	۳۰۶/۰۰۹
۳	NV۰۰۴۵	۴۶/۴۰۹	۳/۶۷۶	۲۶۱/۹۳۷
۴	NV۰۰۳۷	۳۸/۵۳۱	۳/۱۱۵	۲۱۷/۴۷۲
۵	NV۰۰۳۰	۳۱/۸۲۵	۲/۷۸۶	۱۷۹/۶۲
۶	NV۰۰۲۰	۲۰/۲۰۶	۱/۷۹۹	۱۱۴/۰۴۳
۷	PV۱۵۶۰	۵۹/۸۷۰	۴/۸۱۳	۳۳۷/۹۰۹
۸	PV۱۵۵۳	۵۳/۱۹۶	۳/۹۳۵	۳۰۰/۳۴۲
۹	PV۱۵۴۵	۴۵/۴۷۰	۳/۳۱۲	۲۵۶/۶۳۴
۱۰	PV۱۵۳۷	۳۷/۸۸۱	۲/۸۵۵	۲۱۳/۸۰۱
۱۱	PV۱۵۳۰	۳۰/۹۹۳	۲/۵۷۶	۱۷۴/۹۲۸
۱۲	PV۱۵۲۰	۲۱/۸۷۰	۱/۷۷۹	۱۲۳/۴۳۳
۱۳	PV۲۰۶۰	۶۰/۶۹۲	۵/۴۵۸	۳۴۲/۵۴۹
۱۴	PV۲۰۵۳	۵۳/۷۳۲	۴/۲۲۷	۳۰۳/۲۶۴
۱۵	PV۲۰۴۵	۴۵/۹۵۳	۳/۶۲۵	۲۵۹/۳۵۹
۱۶	PV۲۰۳۷	۳۸/۲۳۳	۳/۱۴۳	۲۱۵/۷۹۱
۱۷	PV۲۰۳۰	۳۱/۲۰۳	۲/۷۸۶	۱۷۶/۱۱۴
۱۸	PV۲۰۲۰	۱۹/۷۱۶	۱/۷۷۹	۱۱۱/۲۸
۱۹	PV۲۵۶۰	۶۰/۴۶۲	۴/۸۷۳	۳۴۱/۲۵
۲۰	PV۲۵۵۳	۵۳/۷۰۰	۴/۶۸۳	۳۰۳/۰۸۶
۲۱	PV۲۵۴۵	۴۴/۶۹۸	۳/۹۸۸	۲۵۲/۲۷۹
۲۲	PV۲۵۳۷	۳۷/۱۷۱	۳/۳۱۲	۲۰۹/۷۹۷
۲۳	PV۲۵۳۰	۲۹/۹۹۷	۲/۶۵۹	۱۶۹/۳۰۴
۲۴	PV۲۵۲۰	۲۰/۹۶۹	۱/۷۵۳	۱۱۸/۳۴۹

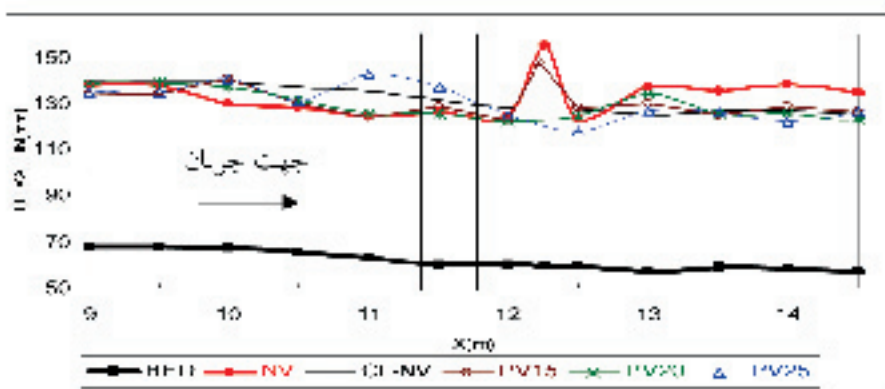
صفحات مستغرق می‌باشد و عامل مثبت توان ایجاد جریان چرخشی ناشی از نصب صفحات مستغرق بوده که سبب انتقال جریان بیشتر به درون کانال آبگیر می‌شود، بنابراین اگر مقدار کاهش نسبت آبگیری ناشی از عامل اول را با ΔQ_{R1} - و مقدار افزایش نسبت آبگیری ناشی از عامل دوم را با $\Delta Q_{R2} +$ نشان دهیم. مقدار کل تغییر در نسبت آبگیری $\Delta Q_{R} = \Delta Q_{R1} - \Delta Q_{R2}$ خواهد بود. در زمان عدم کاربرد صفحات $\Delta Q_{R1} = \Delta Q_{R2} = 0$ خواهد بود، فلذا $\Delta Q_{R} = 0$ می‌باشد.

برای پارامتر جریان کمتر از حدود ۳۱۰ در کلیه آزمایش‌ها عدد فرود جریان کمتر از یک می‌باشد، در زمان کاربرد صفحات با زاویه ۲۰ درجه، دو عامل فوق‌الذکر با یکدیگر در تعادل می‌باشند بنابراین $\Delta Q_{R1} = D \Delta Q_{R2}$

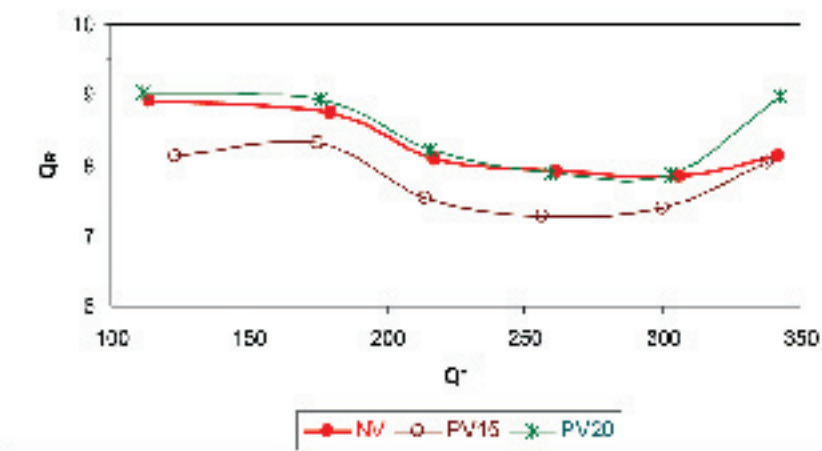
در میزان آبگیری در این شرایط به دلیل تفاوت در توانایی عملکرد صفحات می‌باشد. با توجه به شکل ۱- صفحات مستغرق با ایجاد جریان چرخشی در پایین دست خود باعث دور شدن جریان با بار رسوبی زیاد از مقابل آبگیر شده و باعث هدایت جریان‌های سطحی به داخل آبگیر می‌شوند (۱۹). در نتیجه افزایش زاویه نصب صفحات که منجر به افزایش میزان آبگیری شده است به عنوان یک عامل مثبت توانسته است با تقویت جریان‌های چرخشی در پایین دست صفحات مستغرق، هدایت بهتر جریان سطحی به آبگیر را به دنبال داشته باشد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نسبت آبگیری در حالت نصب صفحات متاثر از دو عامل با اثرات معکوس بوده است. عامل منفی فضای اشغال شده در جلوی دهانه آبگیر توسط سازه



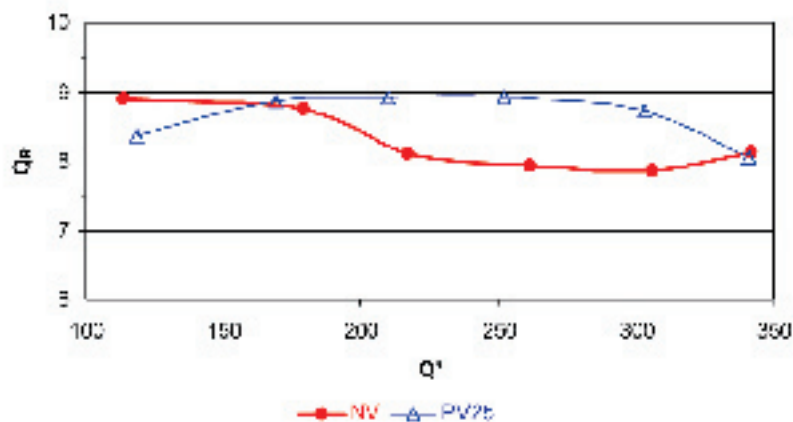
شکل ۵- پروفیل طولی سطح آب برای دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه در وسط کانال اصلی برای شرایط:
 الف) عدم نصب صفحات (NV)، ب) نصب صفحات ۱۵ درجه (PV۱۵)، ج) نصب صفحات ۲۰ درجه (PV۲۰) و د) نصب صفحات ۲۵ درجه (PV۲۵).



شکل ۶- پروفیل طولی سطح آب برای دبی ۶۰ لیتر بر ثانیه در وسط کانال اصلی برای شرایط:
 الف) عدم نصب صفحات (NV)، ب) نصب صفحات ۱۵ درجه (PV۱۵)، ج) نصب صفحات ۲۰ درجه (PV۲۰) و د) نصب صفحات ۲۵ درجه (PV۲۵).



شکل ۷- تغییرات نسبت آبیگری مقابل پارامتر جریان در زاویه ۲۰ و ۱۵ درجه نصب صفحات مستغرق (رابطه ۴)



شکل ۸- تغییرات نسبت آبیگری مقابل پارامتر جریان در زاویه نصب صفحات مستغرق (رابطه ۴)

جریان‌هایی با اعداد فرود بالا مورد استفاده قرار گیرند. ساخت سازه صفحات مستغرق برای دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه در کانال اصلی باعث ایجاد مقاومت در برابر حرکت جریان در کانال اصلی گردیده و این مقاومت افزایش عمق را در پروفیل طولی سطح آب بالادست صفحات به دنبال داشته است (شکل ۵). پدیده افزایش عمق در پروفیل طولی سطح آب بالادست صفحات در دبی ۶۰ لیتر بر ثانیه برای صفحات مستغرق ۲۵ درجه نیز به دلیل زاویه زیاد برخورد آنها با جریان مشاهده می‌شود (شکل ۶).

صفحات مستغرق با زاویه نصب ۲۵ درجه در جریان‌های زیر بحرانی به دلیل ایجاد جریان‌های چرخشی قوی‌تر در پایین دست خود، نسبت آبیگری بیشتری را در مقایسه با سایر زوایای نصب نتیجه می‌دهند، اما به دلیل اینکه در جریان‌های با دبی‌های زیاد مانع از شکل‌گیری جریان‌های فوق بحرانی شده و همانند یک مانع باعث افزایش عمق می‌شوند، می‌توانند در جریان‌های زیاد مشکل‌زا باشند. صفحات مستغرق ۲۰ درجه نه تنها در جریان‌های زیر بحرانی باعث کاهش نسبت آبیگری در مقایسه با شرایط عدم نصب صفحات نشده‌اند، بلکه در جریان فوق بحرانی نیز دارای عملکرد مناسب و افزایش نسبت آبیگری شده‌اند. در جریان فوق بحرانی صفحات مستغرق ۲۰ درجه با ایجاد جریان چرخشی مناسب در پایین دست خود، مانع برخورد جریان سطحی متمایل شده به سمت دهانه آبیگر با دیواره کانال اصلی پایین دست آبیگر شده و افزایش قابل ملاحظه‌ای در نسبت آبیگری ایجاد نموده‌اند. در نتیجه از شکل‌گیری افزایش ناگهانی موضعی جریان در پایین دست دهانه آبیگر در کانال اصلی در مقایسه با شرایط عدم نصب صفحات ممانعت نموده‌اند. صفحات مستغرق ۱۵ درجه به دلیل توان تولید جریان‌های چرخشی ضعیف و ایجاد مانع در برابر جریان‌های انحرافی به آبیگر در کلیه موارد باعث کاهش نسبت آبیگری شده‌اند.

پاورقی‌ها

- 1- Council Bluffs
- 2- Missouri River

لیکن $\Delta QR = 0$ می‌باشد و برای زاویه نصب ۱۵ درجه $\Delta QR_1 > \Delta QR_2$ بوده لذا $D\Delta QR < 0$ می‌شود و برای زاویه نصب ۲۵ درجه $\Delta QR_1 < \Delta QR_2$ بوده و بنابراین $\Delta QR > 0$ می‌گردد.

برای آزمایش‌های انجام گرفته در پارامتر جریان ۳۳۹ (دبی ۶۰ لیتر بر ثانیه) در مقطع بالادست مجاور آبیگر در کانال اصلی جریان فوق بحرانی شکل می‌گیرد. کاربرد صفحات مستغرق ۲۰ درجه به دلیل ایجاد جریان چرخشی قوی‌تر در پایین دست آنها و در نتیجه هدایت بهتر جریان به سمت آبیگر، میزان آبیگری بیشتری را نتیجه می‌دهد بنابراین $\Delta QR_1 < \Delta QR_2$ بوده و $\Delta QR > 0$ می‌گردد. در حالی که برای صفحات ۱۵ درجه مجدداً مشابه عملکرد آنها در جریان زیر بحرانی، سازه صفحات در مقابل جریان‌های انحرافی به آبیگر مانع ایجاد می‌نماید و بدلیل زاویه بسیار کم در برخورد جریان با آنها حتی در مقایسه با حالت عدم نصب صفحات باعث عدد فرود بیشتر در مقطع می‌گردند. بنابراین انتظار این است که در این شرایط جریان در کانال اصلی بطرز مناسب‌تری توسط صفحات به سمت پایین دست هدایت شود. در صفحات ۲۵ درجه سرعت بالای جریان در برخورد با زاویه زیاد در چپ می‌شود تا صفحات به شکل مانع عمل نموده و عمق جریان در مقطع بلافاصله بالادست صفحات در کانال اصلی افزایش یافته و در نتیجه عدد فرود مقطع کاهش یابد و در مقایسه با سایر دبی‌ها کاهش نسبت آبیگری مشاهده شود و در این دبی صفحات ۲۵ درجه امکان شکل‌گیری جریان فوق بحرانی همانند سایر زوایای نصب صفحات و حالت بدون نصب صفحات در مقابل دهانه آبیگر را نمی‌دهند (شکل ۸-).

نتیجه‌گیری

صفحات مستغرق با ایجاد جریان چرخشی در پایین دست خود دارای نقش مثبت در افزایش نسبت آبیگری می‌باشند، هر چند ساخت سازه صفحات در جلوی دهانه آبیگر مشابه یک مانع می‌تواند نقش منفی در نسبت آبیگری داشته باشد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که صفحات مستغرق می‌توانند به عنوان یک سازه کنترل کننده رسوب مناسب در

منابع مورد استفاده

- ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۲۳ ص.
- ۱۵- کشاورزی، ع ر، شمس‌الدینی، ع ر. ۱۳۸۳؛ تاثیر توان چرخشی ثانویه صفحه افقی بر رسوب ورودی به دهانه‌آبگیر با انشعاب ۹۰ درجه. مجله علمی کشاورزی، ویژه‌نامه علوم و مهندسی آب، جلد ۲۷، ص ۱۵۹-۱۵۱.
- ۱۶- یونسسی، ح ا، امید، م ح، و ساجدی سابق، م. ۱۳۸۲؛ بررسی عملکرد آرایش طولی صفحات مستغرق در کاهش میزان رسوبگذاری در دهانه آبگیرها. مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشکده فنی، دانشگاه شیراز، شیراز، صفحه ۴۰۶-۳۹۹.
- ۱۷- یونسسی، ح ا، امید، م ح، و کاشفی‌پور، م. ۱۳۸۳؛ بررسی تاثیر آرایش طولی صفحات مستغرق در یک کانال مستقیم بر توپوگرافی بستر، افزایش نسبی راندمان آبگیری و کاهش رسوبگذاری در دهانه آبگیرهای ثقیلی. مجله علمی کشاورزی، ویژه‌نامه مهندسی علوم آب، جلد ۲۷، ص ۱۴۹-۱۲۷.
- 18-Ayyoubzadeh, S. A. 1997; Hydraulic aspects of straight-compound channel flow and bed load sediment transport. PhD Thesis, The University of Birmingham, England, UK.
- 19-Barkdoll, B. D., Hagen, B.L. and Odgaard, J. 1995; Sediment exclusion at hydropower intakes using submerged vanes. Proc. of Waterpower conference, pp 368-377.
- 20-Barkdoll, B.D., Ettema, R. and odgaard, J. 1999; Sediment control at lateral diversion: Limits and enhancements to vane use. Journal of Hydraulic Engineering, pp 862-870.
- 21-Ghorbani, B. 2005; The Effect of submerged vanes on hydraulic properties of open channel flow. The 5th Iranian Hydraulic Conference. pp 139-146.
- 22-Keshavarzi, A. Shamsaddini nejad, A.R. 2002; Plain secondary current at water intakes and its effect on sedimentation process. CSCE/EWRI of ASCE Environmental Engineering conference , Niagara. pp. 1-7.
- 23-Nakato, T., Kennedy, J. F. and Bauerly, D. 1990; Pump – station Intake – shoaling control with submerged vanes. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, pp 119-128.
- 24- Nakato, T., Ogden, F. L. 1998; Sediment control at water intakes along sand-bed rivers. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 124, No. 6, pp 589-596.
- 25-Odgaard, J. and Wang, Y. 1991; Sediment management with submerged vanes. I: Theory. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 117, No. 3, pp 267-283.
- 26-Sinha, S.K. and Marelius, F. 2000; Analysis of flow past submerged vane. Journal of Hydraulic Research, Vol. 38, No. 1, PP.65-71
- 27- Tan, S.K., Yu, G., Lim, S.Y. and Ong, M.C. 2005; Flow Structure and sediment motion around submerged vanes in open channel. Journal of Waterway, Port, coastal and Ocean Engineering, Vol. 131, No. 3, PP 132-136.
- 28-Vanoni, V. A. 1975; Sedimentation engineering. ASCE, 745 p.
- ۱- اسدی، م، خانجانی، م ج، و بارانی، غ ح. ۱۳۷۸؛ بررسی تئوری اثر صفحات مستغرق با استفاده از توزیع دو بعدی سرعت. مجموعه مقالات دومین کنفرانس هیدرولیک، دانشکده فنی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، صفحه ۹۵-۹۰.
- ۲- امام، ع. ۱۳۷۴؛ بررسی تاثیر آرایش قرارگیری صفحات مستغرق بر رفتار رودخانه‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، ۱۶۰ ص.
- ۳- بارانی، غ ع، خانجانی، م ج، و آلی، ج ا. ۱۳۷۸؛ بهینه‌سازی کارگذاری صفحات مستغرق در دهانه‌های آبگیر باروش هوک - جوینز اصلاح شده. مجموعه مقالات دومین کنفرانس هیدرولیک، دانشکده فنی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، صفحه ۱۶۵-۱۵۹.
- ۴- حبیبی، م، قلاتی، ع ر، و قدسیان، م. ۱۳۷۸؛ بررسی آزمایشگاهی درباره تاثیر زاویه قرارگیری صفحات مستغرق بر عملکرد آنها در محل‌های آبگیری از رودخانه. مجموعه مقالات دومین کنفرانس هیدرولیک، دانشکده فنی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، صفحه ۲۱۰-۱۹۸.
- ۵- دهقانی، قدسیان، م، صالحی، س ا و شفیعی‌فر، م. ۱۳۸۵؛ کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی در قوس ۱۸۰ درجه یا استفاده از پره‌های مستغرق. مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- ۶- رحمانیان، م ر. ۱۳۷۷؛ بررسی هیدروینامیکی تاثیر آرایش قرارگیری صفحات مستغرق در محل‌های آبگیری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۴۷ ص.
- ۷- ساجدی سابق، م، و حبیبی، م. ۱۳۸۲؛ بررسی آزمایشگاهی کاربرد صفحات مستغرق و آبشکن در افزایش راندمان آبگیری. مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشکده فنی، دانشگاه شیراز، شیراز، صفحه ۴۲-۳۵.
- ۸- سلیمانی اسبویی، ح ر. ۱۳۷۵؛ تاثیر آرایش قرارگیری صفحات مستغرق در مقاطع رودخانه بر تغییر مورفولوژی بستر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، ۱۷۵ ص.
- ۹- صمیمی بهبهان، ت، بارانی، غ و خانجانی، م ج. ۱۳۸۵؛ بررسی آزمایشگاهی اثر صفحات مستغرق بر تثبیت بستر رودخانه‌ها. مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس مهندسی عمران دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- ۱۰- عباسی، ع. ۱۳۸۲؛ مطالعه آزمایشگاهی کنترل رسوب در آبگیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم. رساله دکتری، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۹۲ ص.
- ۱۱- غیاث‌آبادی فراهانی، ق. ۱۳۸۴؛ آنالیز عددی جریان پشت صفحات مستغرق با مدل k-ε. مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، صفحه ۶۴۴-۶۳۷.
- ۱۲- فروغی، ع. ۱۳۷۱؛ استفاده از صفحات مستغرق در حفاظت و تثبیت سواحل رودخانه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی تاسیسات آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۵۲ ص.
- ۱۳- فروغی، ع و شفاعی بجستان، م. ۱۳۸۲؛ نقش استقرار پوشش گیاهی بر عملکرد صفحات مستغرق در ساماندهی رودخانه‌های فصلی. مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ص ۴۳۰-۴۲۳.
- ۱۴- قلاتی، ع. ۱۳۷۷؛ بررسی آزمایشگاهی درباره تاثیر زاویه قرارگیری صفحات مستغرق بر عملکرد آنها در محل‌های آبگیری از رودخانه. پایان‌نامه کارشناسی