مجله تحقيقات آب و خاک ايران (۴۱) ۱, ۱۳۸۹ (۸۵-۷۹)

اثر آستانه لبه پهن بر روي مشخصات جهش هيدروليكي در حوضچه هاي آرامش واگرا

امير گرد نوشهري[۱]، محمدحسين اميد[۲] و صلاح كوچك زاده[۳]
[۱]، كارشناس ارشد [۲]، دانشيار و [۳]، استاد دانشكده مهندسي و فناوري كشاورزي، پرديس كشاورزي و منابع طبيعي دانشگاه تهران

چكيده

در سازه هاي كنترل هيدروليكي، اغلب از لحاظ اقتصادي به صرفه است تا عرض دريچه را به حداقل رسانده و از عرض كامل كانال براي حوضچه آرامش استفاده كرد. بنابراين براي دست يابي به اين هدف مي توان از مقاطع واگراي تدريجي براي حوضچه آرامش استفاده كرد. از طرفي جهش هيدروليكي در اينگونه حوضچه ها فاقد وضعيت و مشخصات مناسب جهش كلاسيک مي باشد. در اين تحقيق امكان بهبود مشخصات جهش هيدروليكي واگرا به كمک آستانه لبه پهن مورد بررسي قرار گرفته است. در مجموع ۷۹ آزمايش در محدوده اعداد فرود اوليه ۳/۱ تا ۱۰/۳ در يک حوضچه آرامش واگرا انجام گرفت. از آستانه هاي با ارتفاع هاي مختلف و موقعيت هاي متفاوت نسبت به پنجه جهش در حوضچه هايي با زواياي واگرايي ۳ و ۵ درجه استفاده شد. در هر حالت مشخصات اصلي جهش هيدروليكي شامل نسبت عمق ثانويه، طول نسبي و نيمرخ طولي جهش مورد تجزيه و تحليل قرار گرفت. نتايج نشان مي دهند كه نصب آستانه لبه پهن اثري بر نسبت عمق ثانويه جهش ندارد ولي باعث كاهش قابل ملاحظه اي در طول جهش هيدروليكي مي شود. همچنين مشخص شد كه با افزايش زاويه واگرايي، اثر آستانه در كاهش طول جهش هيدروليكي واگرا، افزايش مي يابد.

واژه‌هاي كليدي : جهش هيدروليكي كنترل شده توسط آستانه، حوضچه آرامش واگرا، آستانه لبه پهن، جهش هيدروليكي واگرا.

مقدمه

جهش هيدروليكي پديده اي است كه در آن، جريان در فاصله كوتاهي از حالت فوق بحراني به زير بحراني تبديل مي شود. طي اين پديده عمق جريان در فاصله نسبتا كوتاهي به ميزان قابل ملاحظه اي افزايش يافته و در نتيجه ضمن ايجاد افت محسوس انرژي، از ميزان سرعت به اندازه قابل توجهي كاسته مي شود. به طور كلي جهش در مقاطع مستطيلي افقي را مي توان به دو دسته جهش در مقاطع منشوري (جهش كلاسيک) و مقاطع غير منشوري (واگراي تدريجي و ناگهاني) طبقه بندي كرد. هر كدام از اين جهش ها خود مي توانند بر اساس استفاده يا عدم استفاده از ضمائم كنترل كننده جهش (آستانه يا بلوك هاي كف) به دو نوع جهش كنترل شده و آزاد تقسيم بندي شوند.

زمانيكه عمق پاياب كمتر از عمق ثانويه جهش هيدروليكي پايدار است، جريان فوق بحراني به سمت پائين دست حركت مي كند. در اين چنين شرايطي تشكيل جهش و موقعيت آن مي تواند با طراحي مناسب آستانه هاي لبه انتهايي اصلاح شود. در مقايسه با آستانه هاي لبه تيز، آستانه هاي لبه پهن داراي مزيت هايي نظير پايداري سازه اي و هزينه هاي ساخت كمتر مي باشند. همچنين زمانيكه از آستانه لبه پهن استفاده مي شود، راه حل تحليلي براي جهش هيدروليكي وجود دارد. Forster and Skrinde (۱۹۵۰) با صرفنظر كردن از اثر پاياب و در نظر گرفتن رابطه دبي ارائه شده توسط Deoringsfeld and Barker (۱۹۴۱) براي جريان روي سرريز لبه پهن در يک كانال مستطيلي به بررسي آزمايشگاهي و تحليلي جهش هيدروليكي كلاسيک كنترل شده توسط آستانه لبه پهن پرداختند. Bhutto (۱۹۸۷) با در نظر گرفتن اين شرط كه در نقطه بحراني روي سرريز لبه پهن، عمق جريان معادل 2/3 برابر انرژي مخصوص در آن نقطه است، يک رابطه تحليلي براي جهش هيدروليكي كلاسيک كنترل شده توسط آستانه لبه پهن ارائه كرد. Achour and Debabeche (۲۰۰۳) كنترل جهش هيدروليكي بوسيله آستانه لبه پهن در داخل كانال U شكل را بررسي كردند و رابطه اي براي حداقل ارتفاع آستانه لبه پهن ارائه كردند. Debabeche and Achour (۲۰۰۷) به بررسي اثر آستانه لبه پهن بر روي مشخصات جهش هيدروليكي در يک كانال مثلثي پرداختند و در نهايت با استفاده از آناليز داده هاي آزمايشگاهي، روابطي را براي برآورد نسبت عمق ثانويه، طول حوضچه و ارتفاع آستانه مورد نياز براي كنترل جهش، ارائه كردند.

اولين آزمايش ها در مورد جهش هاي هيدروليكي واگرا، توسط Riegel (۱۹۱۷) انجام گرفت. پس از وي محققين زيادي از جمله Rajaratnam (۱۹۶۷)، Koloseus and Ahmad

* پست الكترونيك مكاتبه كننده: agnoshahri@yahoo.com

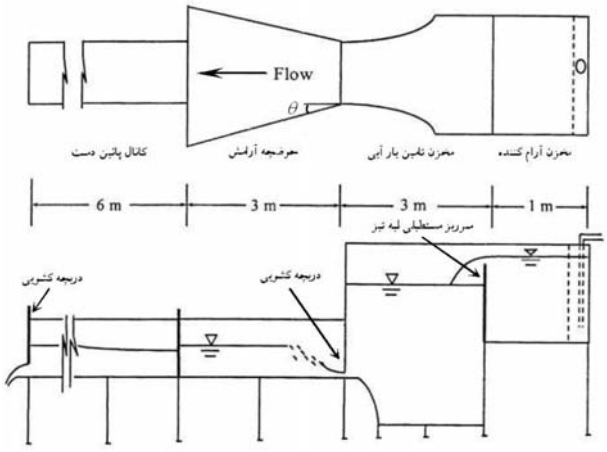
(۱۹۶۹)، Arbhabhirama and Abella (۱۹۷۱)، Lawson and Phillips (۱۹۸۳)، Hager (۱۹۸۵) و Khalifa and McCorquodale (۱۹۹۲) به مطالعه آزمایشگاهي و تحليلي اين نوع جهش هيدروليكي پرداختند. Omid et al. (۲۰۰۷) بر روي تاثير توأم مقطع ذوزنقه اي و واگرايي در جهش هيدروليكي مطالعاتي را انجام دادند و دو رابطه تحليلي با فرض پروفيل جهش ربع بيضي براي نسبت عمق ثانويه و افت نسبي انرژي ارائه كردند. نتايج آزمايش ها نشان داد كه در هر شيب جانبي با افزايش زاويه واگرايي، طول نسبي جهش و نسبت عمق ثانويه كاهش و افت نسبي انرژي افزايش مي يابد.

از مجموع مطالعات گذشته مي توان نتيجه گيري كرد كه در جهش هيدروليكي واگرا، عمق ثانويه و طول جهش كمتر و افت انرژي بيشتر از جهش كلاسيك است. از طرفي استفاده از آستانه لبه پهن موجب بهبود عملكرد و كاهش طول جهش مي شود. بنابراين انتظار مي رود استفاده از آستانه پهن در مقاطع واگرا، ضمن كاهش بيشتر طول حوضچه آرامش در تثبيت و بهبود عملكرد جهش موثر باشد.

مواد و روش ها

آزمايش هاي اين مطالعه در مدل آزمايشگاهي موجود در آزمايشگاه مركزي تحقيقات آب گروه مهندسي آبياري و آباداني دانشگاه تهران انجام گرفت. مدل شامل: مخزن آرام كننده با سرريز مستطيلي لبه تيز، مخزن ايجاد ارتفاع در بالادست، دريچه كشويي لبه تيز، يك كانال مستطيلي با كف و ديواره هاي شيشه اي به عرض ۰/۵ متر، عمق ۰/۶ متر و طول ۹ متر و يك دريچه انتهايي جهت تنظيم عمق پاياب مورد نياز مي باشد (شكل۱). بخشي از كانال مدل به طول ۳ متر كه بلافاصله بعد از دريچه مخزن قرار دارد، به گونه اي طراحي و ساخته شده است كه به عنوان حوضچه آرامش، امكان ايجاد واگرايي با زواياي متفاوت در دامنه وسيعي را فراهم مي كند (Omid et al., 2007). در اين مطالعه زواياي واگرايي ديواره جانبي حوضچه آرامش نسبت به محور مركزي كانال (θ) معادل ۳ و ۵ درجه انتخاب شد. موقعيت جهش با تغيير مقدار باز شدگي دريچه انتهايي، به گونه اي تنظيم گرديد كه پنجه جهش در ابتداي واگرايي كانال باشد. ارتفاع بازشدگي دريچه كشويي بالادست نيز ۳ سانتيمتر تنظيم گرديد.

براي اندازه گيري دبي جريان ورودي به حوضچه آرامش از يک سرريز مستطيلي بدون فشردگي جانبي استفاده گرديد. اين سرريز از جنس پلاكسي گلاس ساخته شده و در حد واسط مخزن آرام كننده و مخزن تامين بار آبي نصب گرديده است. براي قرائت عمق جريان در طول جهش، از يک عمق سنج كه بر روي سيستم ريلي موجود بر روي حوضچه آرامش قرار داشت، استفاده شد. اين عمق سنج با دقت ±۰/۱ ميليمتر امكان قرائت عمق هاي اوليه و ثانويه جهش را فراهم مي كرد. براي اندازه گيري طول جهش نيز از يک متر فلزي با دقت ±۱ ميليمتر كه در امتداد يكي از ريل ها نصب شده بود, استفاده شد. همچنين براي قرائت دقيق تر نيمرخ طولي جهش از ۱۳ عدد چاهک مشاهده كه از محل وقوع عمق اوليه تا انتهاي حوضچه آرامش در كف كانال تعبيه شده بودند، استفاده شد.

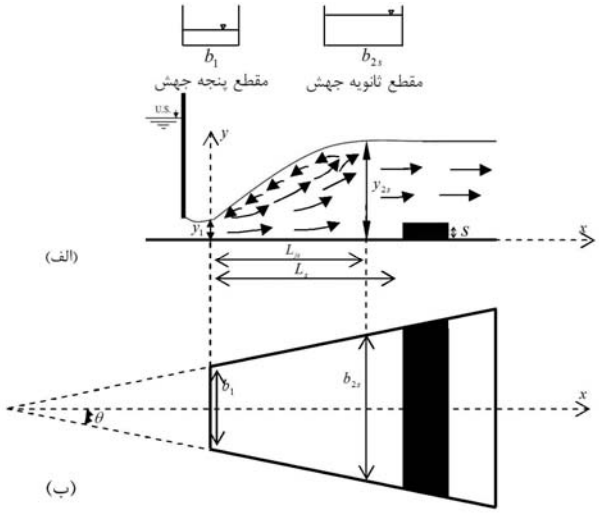


شكل۱- مشخصات پلان و مقطع طولي مدل آزمايشگاهي

جهت تعيين ارتفاع آستانه ها، از معيار USBR براي تعيين ارتفاع آستانه انتهايي حوضچه آرامش تيپ II استفاده شد (Peterka, 1984). در اين نوع حوضچه آرامش ارتفاع آستانه هاي به كار رفته در آزمايش ها بر حسب عمق ثانويه جهش بدون آستانه (y_2) طراحي شده است، بطوريكه همواره نسبت ارتفاع آستانه به عمق ثانويه جهش بدون آستانه در محدوده ۰/۰۸ تا ۰/۳۷ باشد. در اين مطالعه هم با توجه به اين معيار و همچنين با توجه به اين كه محدوده اعداد فرود اوليه مقدور براي آزمايش ها از ۳/۱ تا ۱۰/۳ بود، محل آستانه ها بر اساس طول جهش بدون آستانه براي اعداد فرود اوليه طراحي $Fr_{1d} = 5.5 , 8.5 , 11.5$ انتخاب گرديد و ارتفاع آستانه ها به گونه اي انتخاب شدند تا $s/y_2 = 0.09, 0.22, 0.35$ باشد. s ارتفاع آستانه و y_2 عمق ثانويه مربوط به جهش واگراي بدون آستانه براي اعداد فرود اوليه طراحي ذكر شده در بالا مي باشد. بر اين اساس در هر زاويه واگرايي ، آستانه ها در سه محل مختلف و در هر محل با سه ارتفاع مختلف نصب شدند. ساخت آستانه هاي لبه پهن با اتصال يک ورقه پلاستيک فشرده به طول ۴۵ سانتيمتر بر روي دو ورقه عمودي با ارتفاع مورد نظر، صورت گرفت.

از آنجائيكه آستانه لبه پهن همواره در انتهاي جهش قرار مي گيرد، بنابراين اصولا جهش كنترل شده بوسيله اين آستانه از لحاظ ظاهري مشابه جهش بدون آستانه خواهد بود. لذا معيار

به كار رفته براي اندازه گيري مشخصات جهش، مشابه جهش بدون آستانه است، بنابراين طول و عمق ثانويه جهش در مقطعي كه در آن تغييرات عمق آب ناچيز بود، اندازه گيري شد. در شكل۲ مقطع طولي جهش واگراي كنترل شده بوسيله آستانه لبه پهن و پلان حوضچه آرامش واگرا نشان داده شده است.



شكل۲- نماي كلي و مشخصات هيدروليكي جهش واگراي كنترل شده توسط آستانه لبه پهن

(الف) مقطع طولي جهش هيدروليكي، (ب) پلان حوضچه آرامش

با در نظر گرفتن عوامل موثر بر جهش هيدروليكي واگراي كنترل شده بوسيله آستانه لبه پهن، در نهايت رابطه تابعي كميت هاي بي بعد را مي توان به صورت زير نوشت:

$$f_1\left(\mathrm{Re}_1, Fr_1, \frac{y_{2s}}{y_1}, \frac{L_{js}}{y_1}, \frac{b_{2s}}{b_1}, \theta, \frac{L_s}{s}\right) = 0 \qquad (۱)$$

كه L_{js} و y_{2s} به ترتيب طول و عمق ثانويه جهش هيدروليكي واگراي كنترل شده بوسيله آستانه، $b_{2s} = b_1 + 2L_{js}\tan(\theta)$ عرض حوضچه در مقطع عمق ثانويه جهش، b_1 عرض حوضچه در پنجه جهش، L_s فاصله بين پنجه جهش و آستانه، s ارتفاع آستانه، y_1 عمق اوليه جهش، Fr_1 عدد فرود اوليه و Re_1 عدد رينولدز در پنجه جهش مي باشد.

با توجه به اينكه مقادير عدد رينولدز در اين آزمايش ها بزرگتر از 2.5×10^5 مي باشد، لذا مي توان از اثر لزوجت صرف نظر نمود. در نتيجه رابطه (۱) به صورت زير ساده خواهد شد:

$$f\left(Fr_1, \frac{y_{2s}}{y_1}, \frac{L_{js}}{y_1}, \frac{b_{2s}}{b_1}, \theta, \frac{L_s}{s}\right) = 0 \qquad (۲)$$

فرآيند كلي آزمايش به صورت: (۱)نصب آستانه لبه پهن در محل مورد نظر، (۲)برقراري دبي مورد نظر، (۳)تنظيم دريچه انتهايي جهت تشكيل جهش غير مستغرق با پنجه قرار گرفته در ابتداي كانال واگرا و (۴)اندازه گيري مقادير شدت جريان، طول جهش، عمق آب بالادست دريچه، عمق ثانويه جهش و قرائت نيمرخ طولي جهش پس از ايجاد شرايط پايدار بود. اين مراحل براي دبي هاي مختلف تكرار مي شدند.

نتايج و بحث

در اين مطالعه به منظور بررسي اثر آستانه لبه پهن بر روي مشخصات جهش هيدروليكي واگرا، در مجموع ۷۹ آزمايش بر روي ۱۴ آستانه لبه پهن با ارتفاع هاي مختلف انجام شد. به منظور تجزيه و تحليل داده ها ، براي هر موقعيت قرار گيري داده هاي مربوط به نسبت عمق ثانويه، طول نسبي و افت نسبي انرژي جهش بدون آستانه و جهش كنترل شده بوسيله آستانه لبه پهن ترسيم شده اند. جهت مشخص كردن محل قرار گيري آستانه و ارتفاع آن از اعداد بدون بعد Fr_{1d} و $S = s/y_2$ استفاده شد. در جدول۱ دامنه تغييرات پارامترهاي بدون بعد مورد استفاده در اين تحقيق، ارائه شده است.

جدول۱- دامنه تغييرات پارامترهاي بدون بعد

پارامتر بدون بعد	حداقل	حداكثر
Fr_1	۳/۱	۱۰/۳
Re_1	۲۵۹۴۰/۴	۹۵۴۷۳/۴
L_{js}/y_1	۱۸/۰۵	۸۰/۴۹
s/L_s	۰/۰۱۳	۰/۰۶۴
y_{2s}/y_1	۴/۱۹	۱۲/۲۹
b_{2s}/b_1	۱/۰۹	۱/۴۳

نيمرخ طولي جهش هيدروليكي

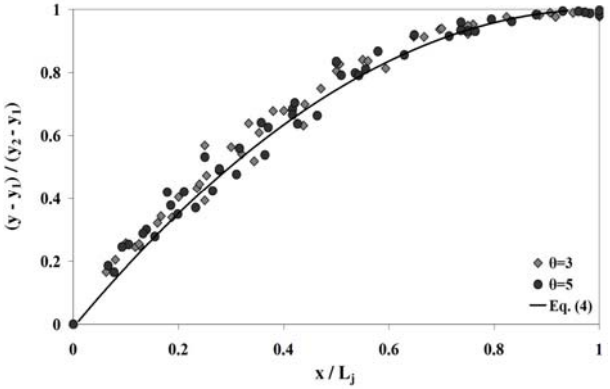
در مقاطع واگرا به علت وجود نيروهاي جانبي در اثر واگرايي ديواره هاي حوضچه كه تابعي از نيمرخ طولي جهش هستند، رابطه تئوري ارائه شده براي اينگونه جهش ها حاوي عبارتي است كه دربردارنده اثر نيروي مذكور خواهد بود. تاكنون نيمرخ هاي مختلفي براي جهش هاي واگرا در نظر گرفته شده است, به عنوان مثال Arbhabhirama and Abella (۱۹۷۱) نيمرخ ربع بيضي را در نظر گرفتند و Hager (۱۹۸۵) با فرض نيمرخ خطي رابطه اي تئوري براي نسبت عمق ثانويه جهش هيدروليكي واگراي آزاد ارائه كرده است. لذا جهت مطالعه دقيق تر نيمرخ جهش آزاد در مقاطع واگرا، در اين قسمت نيمرخ هاي قرائت شده را مورد بررسي قرار داده ايم. شكل بي بعد استفاده شده در اين تحقيق براي نيمرخ جهش واگراي آزاد به صورت معادله بدون بعد (۳) مي باشد.

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = A\left(\frac{x}{L_j}\right)^2 + B\left(\frac{x}{L_j}\right) \qquad (۳)$$

كه y ارتفاع سطح آب نسبت به كف حوضچه، x فاصله از پنجه جهش و A و B ضرائب ثابت مي باشند. از آنجائيكه در $x = L_j$ دو شرط مرزي به صورت $y = y_2$ و $dy/dx \approx 0$ داريم، مي توان ضرائب A و B را محاسبه كرد. در نتيجه داريم:

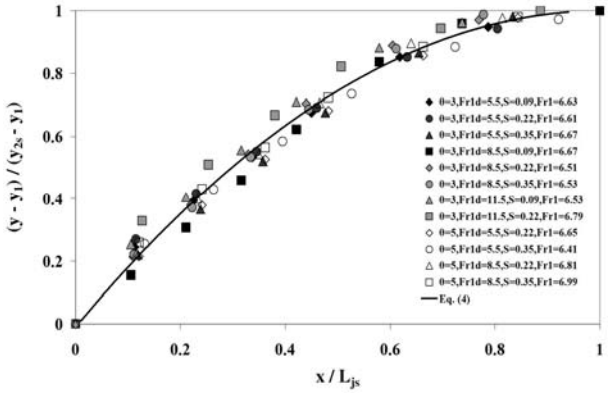
$$\frac{y-y_1}{y_2-y_1}=-\left(\frac{x}{L_j}\right)^2+2\left(\frac{x}{L_j}\right) \qquad (۴)$$

در شکل۳ کلیه داده هاي نیمرخ جهش واگراي آزاد براي دو زاویه واگرایي ۳ و ۵ درجه به همراه معادله(۴) نشان داده شده اند. همانطور که مشاهده مي شود مطابقت خوبي بین معادله(۴) و داده هاي آزمایشگاهي نیمرخ جهش وجود دارد. خطاي نسبي معادله(۴) در برآورد نیمرخ جهش واگراي آزاد در حدود ۶/۶ درصد مي باشد.



شکل۳- مقایسه نتایج آزمایشگاهي نیمرخ جهش واگراي آزاد با معادله(۴)

همچنین در شکل۴ بخشي از داده هاي مربوط به نیمرخ جهش واگراي کنترل شده نمایش داده شده است. همانطور که قبلا اشاره شد از آنجائیکه آستانه لبه پهن همواره بعد از انتهاي جهش قرار مي گیرد، انتظار مي رود که تاثیري بر روي شکل جهش نداشته باشد. این مطلب به وضوح در شکل۴ قابل مشاهده است. همانطور که مشاهده مي شود در حالت جهش واگراي کنترل شده بوسیله آستانه لبه پهن نیز مي توان از معادله(۴) براي برآورد نیمرخ طولي جهش استفاده کرد. در این حالت خطاي نسبي معادله(۴) در برآورد نیمرخ جهش واگراي کنترل شده در حدود ۵/۹ درصد مي باشد.



شکل۴- مقایسه نتایج آزمایشگاهي نیمرخ جهش واگراي کنترل شده با معادله(۴)

طول جهش هیدرولیکي

از آنجائیکه وظیفه اصلي آستانه لبه پهن تثبیت و بهبود وضعیت جهش و جلوگیري از فرار جهش به پائین دست و خارج از حوضچه آرامش مي باشد، این نکته که براي یک آستانه طراحي شده بر اساس یک عدد فرود اولیه مشخص تا چه محدوده اي از عدد فرود اولیه امکان استفاده از آستانه وجود دارد و اینکه آستانه مذکور چه تاثیري بر روي مشخصات جهش هیدرولیکي دارد، بسیار مهم مي باشد.

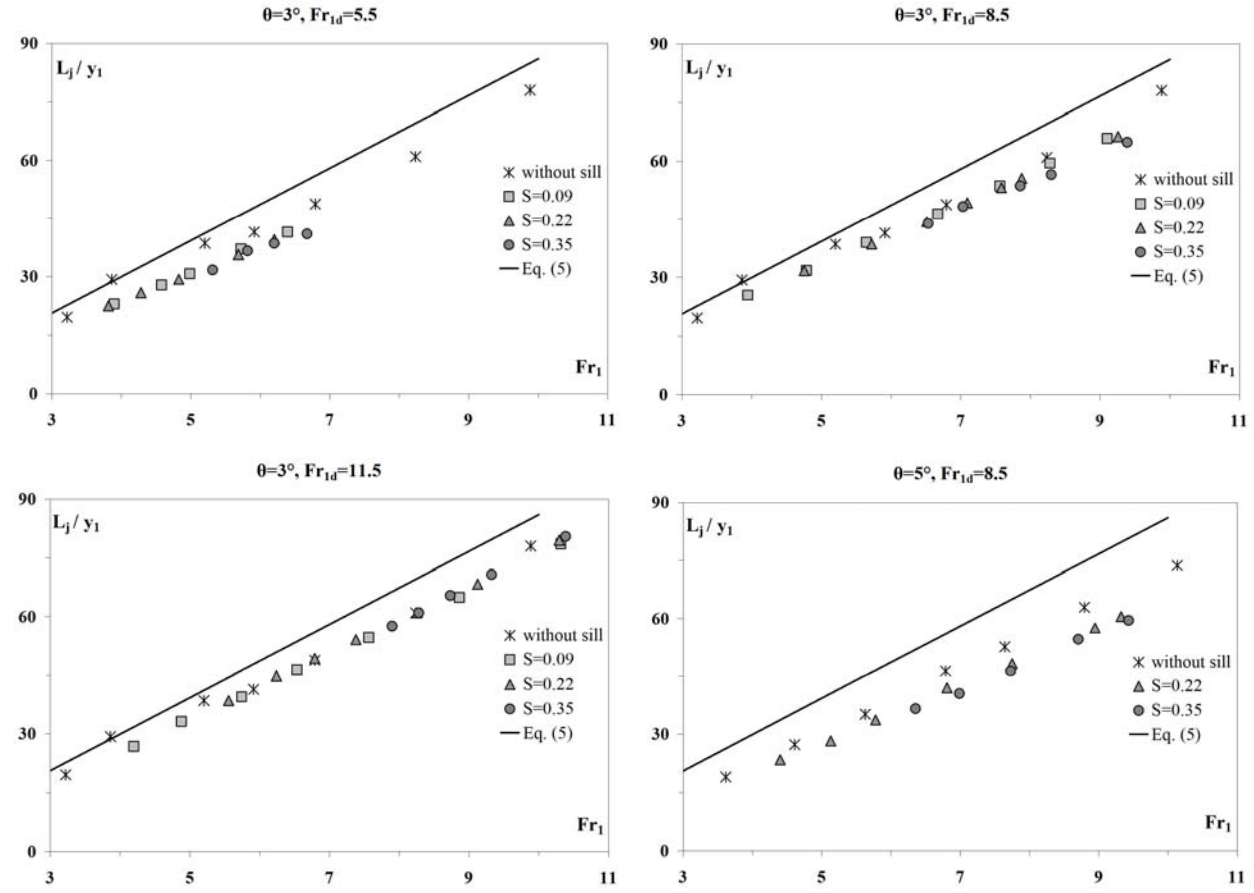
در شکل۵ بخشي از داده هاي آزمایشگاهي مربوط به طول نسبي جهش واگراي آزاد و کنترل شده نشان داده شده است. همچنین به منظور مقایسه نتایج با یک معیار ثابت و بررسي اثر زاویه واگرایي بر روي طول جهش، منحني مربوط به طول نسبي جهش هیدرولیکي کلاسیک (معادله(۵)) نیز بر اساس رابطه پیشنهاد شده توسط هگر ترسیم شده است (Hager, 1992).

$$\frac{L_j}{y_1}=220\tanh\left(\frac{Fr_1-1}{22}\right) \qquad (۵)$$

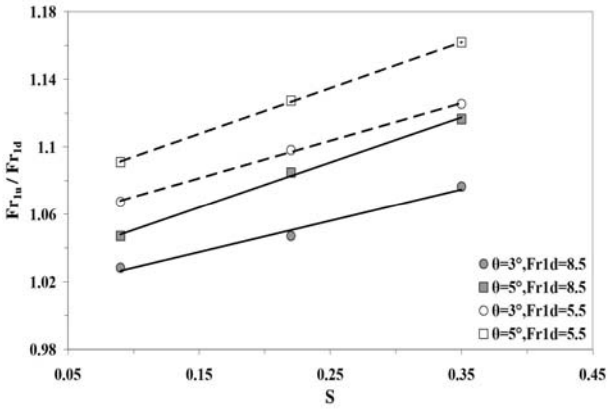
همانطور که مشاهده مي شود با افزایش زاویه واگرایي حوضچه آرامش طول جهش هیدرولیکي آزاد کاهش مي یابد بطوریکه براي زواياي واگرایي ۳ و ۵ درجه طول جهش بطور متوسط به ترتیب در حدود ۹/۳ و ۱۵/۷ درصد کاهش نسبت به جهش کلاسیک را نشان مي دهد.

نتایج نشان مي دهند که با افزایش فاصله آستانه از پنجه جهش، اثر آستانه در کاهش طول جهش واگرا کاهش مي یابد. بطوریکه براي آستانه هاي طراحي شده بر اساس $Fr_{1d}=11.5$ در حوضچه با زاویه واگرایي ۳ درجه حداکثر مقدار کاهش طول در حدود ۳ درصد مي باشد. همچنین با افزایش ارتفاع آستانه براي یک موقعیت ثابت آستانه، اثر آستانه لبه پهن در کاهش طول جهش واگرا افزایش مي یابد. به عنوان مثال در حوضچه با زاویه واگرایي ۳ درجه و براي موقعیت آستانه طراحي شده بر اساس $Fr_{1d}=8.5$ به ترتیب براي ارتفاع هاي نسبي آستانه ۰/۰۹ ، ۰/۲۲ و ۰/۳۵ به طور متوسط در حدود ۴/۲ ، ۵/۸ و ۹/۲ درصد کاهش طول قابل مشاهده است.

بررسي تاثیر زاویه واگرایي حوضچه آرامش در میزان کاهش طول جهش واگرا به واسطه نصب آستانه لبه پهن نشان مي دهد که با افزایش زاویه واگرایي حوضچه آرامش، کاهش طول جهش واگراي کنترل شده نیز افزایش مي یابد. بطوریکه در حوضچه با زاویه واگرایي ۵ درجه و براي آستانه طراحي شده بر اساس $Fr_{1d}=8.5$ براي آستانه هاي با ارتفاع نسبي ۰/۲۲ و ۰/۳۵ به ترتیب به طور متوسط در حدود ۹/۴ و ۱۲/۹ درصد کاهش طول نسبت به جهش واگراي آزاد وجود دارد. مطالب فوق به وضوح در شکل۶ نشان داده شده است. در این شکل نسبت حداکثر عدد فرود اولیه قابل آزمایش (Fr_{1u}) قبل از اینکه جهش از حوضچه خارج شود به عدد فرود اولیه طراحي (Fr_{1d}) در مقابل ارتفاع نسبي آستانه (S) ترسیم شده است.



شكل۵- اثر آستانه لبه پهن بر طول نسبي جهش هيدروليكي واگرا

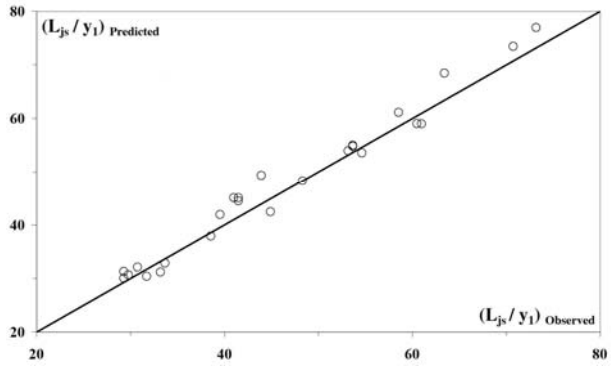


شكل۶- حد نهايي عدد فرود اوليه براي كنترل جهش واگرا بوسيله آستانه لبه پهن

در نهايت پس از انجام تجزيه و تحليل هاي آماري با استفاده از نرم افزار LabFit و بر اساس معادله(۲)، رابطه زير براي طول نسبي جهش واگراي كنترل شده بدست آمد.

$$\frac{L_{js}}{y_1}=\frac{9.02Fr_1-12.025}{0.98\left(\frac{s}{L_s}\right)+4.96\tan\theta+0.75} \qquad R^2=0.99 \qquad (۶)$$

براي بررسي دقت رابطه(۶) در برآورد طول نسبي جهش در شكل۷ نتايج حاصل از اين مدل رگرسيوني با بخشي از داده هاي آزمايشگاهي(۳۰ درصد) كه در تجزيه و تحليل آماري استفاده نشده اند، مورد مقايسه قرار گرفته است. خطاي نسبي رابطه(۶) در برآورد پارامتر مورد نظر در حدود ۴/۶ درصد مي باشد.



شكل۷- مقايسه نتايج آزمايشگاهي با رابطه(۶)

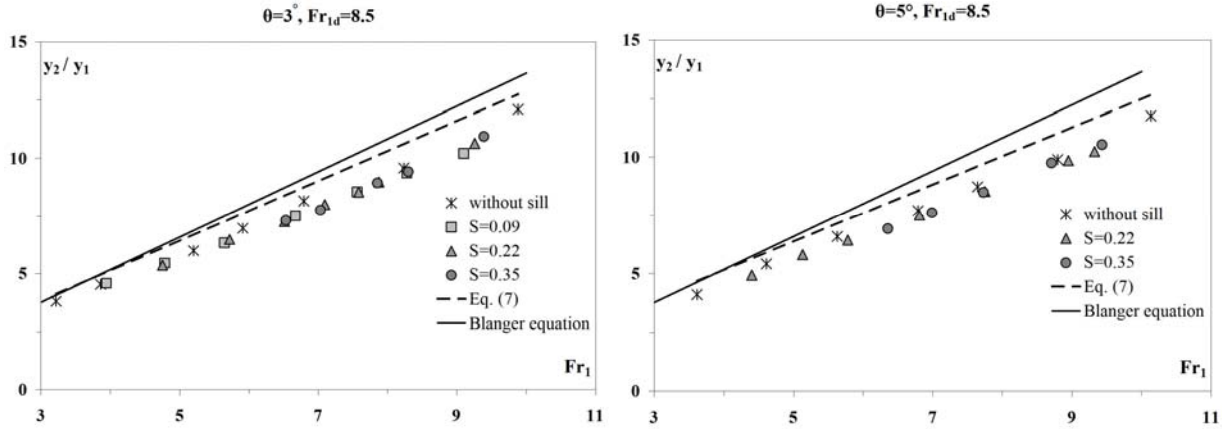
نسبت عمق ثانويه

به منظور بررسي اثر آستانه لبه پهن بر روي نسبت عمق ثانويه جهش واگرا، بخشي از داده هاي مربوط به آستانه هاي طراحي شده بر اساس $Fr_{1d}=8.5$ براي دو زاويه واگرايي ۳ و ۵ درجه در شكل۸ نشان داده شده اند. در اين شكل همچنين مقادير نسبت عمق ثانويه آزمايشگاهي و تئوري جهش واگراي آزاد نيز ترسيم شده اند. براي نمايش منحني تئوري نسبت عمق ثانويه جهش واگراي آزاد با توجه به معادله نيمرخ طولي پيشنهادي (معادله(۴)) كه در بخش قبل ارائه شد و با استفاده از اصل

اندازه حرکت و پیوستگي، در نهایت از معادله(۷) استفاده شد (Arbhabhirama and Abella, 1971).

$$\frac{y_{2t}}{y_1} = Fr_1^2\ 1\ \frac{A_1}{A_2} + \frac{1}{2}\ \frac{2A_1}{A_2} + \frac{2\,L_j\,tg\theta\left(0.533y_{2t}^2 + 0.2y_1^2 + 0.264y_1y_{2t}\right)}{A_2y_1} \qquad (۷)$$

در این رابطه y_{2t} عمق ثانویه تئوري جهش واگراي آزاد، A_1 سطح مقطع در پنجه جهش و A_2 سطح مقطع در انتهاي جهش مي باشد. این رابطه یک رابطه نیمه تحلیلي مي باشد زیرا در طرف دوم رابطه، پارامتر طول جهش وجود دارد که تنها از طریق آزمایش بدست مي آید و از طرف دیگر یک رابطه ضمني مي باشد که به طریق سعي و خطا قابل حل است. نکته دیگر قابل ذکر در مورد معادله(۷) این است که با قرار دادن $\theta = 0^\circ$ ، کسر دوم در سمت راست معادله حذف مي شود و در نهایت به معادله بلانگر (Blanger) تبدیل مي شود. جهت مقایسه نحوه تغییرات نسبت عمق ثانویه در واگرایي هاي مختلف نسبت به جهش کلاسیک، در شکل۸ معادله بلانگر نیز ترسیم شده است.



شکل۸- تغییرات نسبت عمق ثانویه در برابر عدد فرود اولیه براي موقعیت آستانه لبه پهن مربوط به $Fr_{1d} = 8.5$

همانگونه که در شکل ۸ مشاهده مي شود عملا آستانه لبه پهن تاثیر قابل ملاحظه اي بر روي نسبت عمق ثانویه جهش واگرا ندارد که کاملا منطقي مي باشد، زیرا در طول آزمایش ها همواره آستانه لبه پهن بعد از انتهاي جهش و خارج از محدوده موثر آن قرار داشته است. همچنین مشاهده مي شود که با افزایش زاویه واگرایي حوضچه آرامش، نسبت عمق ثانویه جهش واگراي آزاد کاهش مي یابد. بررسي نتایج آزمایشگاهي نشان مي دهند که در حوضچه هاي با واگرایي ۳ و ۵ درجه به ترتیب بطور متوسط ۱۰/۹ و ۱۳/۵ درصد کاهش عمق ثانویه نسبت به جهش کلاسیک وجود دارد.

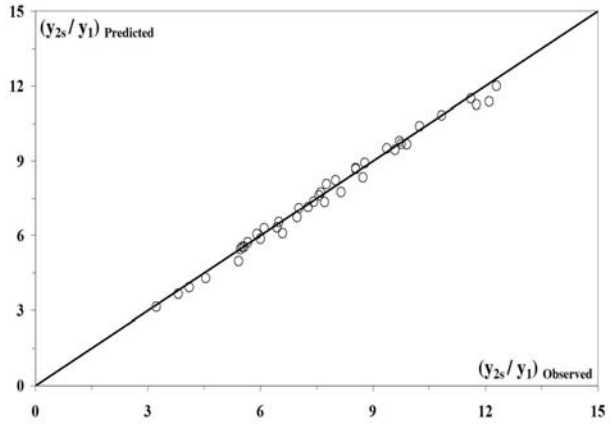
درنهایت با توجه به اینکه نصب آستانه لبه پهن بر روي نسبت عمق ثانویه اثر محسوسي ندارد و با در نظر گرفتن این نکته که در محاسبه نسبت عمق ثانویه تئوري (معادله(۷)) به پارامتر طول جهش نیاز مي باشد، رابطه کمیت هاي بي بعد (معادله(۲)) به صورت زیر ساده مي شود.

$$f_2\left(Fr_1, \frac{y_{2s}}{y_1}, \frac{b_{2s}}{b_1}\right) = 0 \qquad (۸)$$

درنتیجه با در نظر گرفتن معادله(۸) و با استفاده از آنالیز آماري نتایج آزمایشگاهي، رابطه زیر براي برآورد نسبت عمق ثانویه جهش واگراي کنترل شده بدست آمد.

$$\frac{y_{2s}}{y_1} = 1.302Fr_1 + \frac{3.237}{\left(\frac{b_{2s}}{b_1}\right)^2} - 3.355 \qquad R^2 = 0.997 \qquad (۹)$$

در شکل۹ نتایج حاصل از این مدل رگرسیوني با بخشي از داده هاي آزمایشگاهي (۳۰ درصد)، مربوط به جهش واگراي کنترل شده، که در فرآیند ارائه مدل رگرسیوني استفاده نشده اند و داده هاي آزمایشگاهي مربوط به جهش واگراي آزاد مورد مقایسه قرار گرفته است. بطوریکه ملاحظه مي شود رابطه(۹) از دقت قابل قبولي برخوردار مي باشد و داراي خطاي نسبي ۲/۵ درصد مي باشد.



شکل۹- مقایسه نتایج آزمایشگاهي با رابطه(۹)

نتيجه گيري

در اين مطالعه اثر آستانه لبه پهن بر روي مشخصات جهش هيدروليكي واگرا در مقاطع مستطيلي مورد بررسي قرار گرفت. نتايج زير حاصل اين بررسی می باشد.

- به طور كلي مي توان گفت كه نصب آستانه لبه پهن در حوضچه آرامش واگرا موجب كاهش قابل ملاحظه طول جهش هيدروليكي مي شود (حداكثر تا ۱۶ درصد).
- با كاهش فاصله آستانه نسبت به پنجه جهش اثر آستانه بر كاهش طول جهش بيشتر می شود.
- افزايش ارتفاع آستانه در كاهش طول جهش واگرا موثر است.
- با افزايش زاويه واگرايي حوضچه، اثر آستانه لبه پهن در كاهش طول جهش واگرا افزايش مي يابد.
- معادله(۴) در تخمين نيمرخ طولي جهش واگراي آزاد و كنترل شده از دقت قابل قبولي برخوردار مي باشد.

سپاسگزاري

اين تحقيق در راستاي ماموريت قطب ارزيابي و بهسازي شبكه‌هاي آبياري و زهكشي و با حمايت دانشگاه تهران انجام شده است كه بدينوسيله تشكر و قدرداني مي‌شود.

نمادها

A عدد ثابت معادله بدون بعد نيمرخ طولي جهش

A_1 سطح مقطع جريان در پنجه جهش

A_2 سطح مقطع جريان در انتهاي جهش

B عدد ثابت معادله بدون بعد نيمرخ طولي جهش

b_1 عرض حوضچه آرامش در پنجه جهش

b_{2s} عرض حوضچه آرامش در انتهاي جهش

Fr_1 عدد فرود اوليه

Fr_{1d} عدد فرود اوليه طراحي

Fr_{1u} حداكثر عدد فرود اوليه قابل آزمايش

L_j طول جهش واگراي آزاد

L_{js} طول جهش واگراي كنترل شده بوسيله آستانه

L_s فاصله قرارگيري آستانه از پنجه جهش

Re_1 عدد رينولدز جريان در پنجه جهش

s ارتفاع آستانه

S ارتفاع نسبي آستانه

x مختصات طولي

y مختصات عمودي

y_1 عمق اوليه جهش

y_2 عمق ثانويه جهش هيدروليكي آزاد

y_{2s} عمق ثانويه جهش واگراي كنترل شده بوسيله آستانه

y_{2t} عمق ثانويه تئوري جهش واگراي آزاد

θ زاويه واگرايي حوضچه آرامش

REFERENCES

Achour, B. and Debabeche, M. (2003). Control of hydraulic jump by sill in a U-shapes channel. *Journal of Hydraulic Research*, 41(1), 97-103.

Arabhabhirama, A. and Abela, A. (1971). Hydraulic jump within gradually expanding channel. *J. Hydraulic Div.* , 97(1),31-42.

Bhutto, H. (1987). *Hydraulic jump control and energy dissipation*. Ph. D. dissertation, Mehran University of Engineering and Technology, Jamshoro.

Debabeche, M. and Achour, B. (2007). Effect of sill in the hydraulic jump in a triangular channel. *Journal of Hydraulic Research*, 45(1), 135-139.

Hager, W.H. (1985). Hydraulic jump in non-prismatic rectangular channels. *Journal of Hydraulic Research*, 23(1), 21-34.

Hager, W.H. (1992). *Energy dissipators and hydraulic jump*. Water Science and Technology Library, Kluwer Academic Publishers.

Khalifa, A. and McCorquodale, J. (1992). Simulation of the radial hydraulic jump. *Journal of Hydraulic Research*, 30(2), 149-163.

Kouluseus, H.J. and Ahmad, D. (1969). Circular hydraulic jump. *J. Hydraulic Div.*, 95(1), 409-422.

Lawson, J.D. and Phillips, B.C. (1983). Circular hydraulic jump. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(4), 505-518.

Omid, M.H. and Esmaeeli Varaki, M. and Narayanan, R. (2007). Gradually expanding hydraulic jump in trapezoidal channel. *Journal of Hydraulic Research*, 45(4), 512-518.

Peterka, A.J. (1984). *Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators*. US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Engineering Monograph, No.25, Denver, Col.