**نشریه آبياري و زهكشي ايران**

**شماره 2، جلد5، تابستان 1390، ص.241-234**

**Iranian Journal of lrrigation and drainage**

**No. 2, Vol. 5, Summer 2011, p. 234-241**

تاثیرزبری­های یکپارچه مثلثی بر مشخصات پرش هیدرولیکی

عاطفه نژندعلی1\*، کاظم اسماعیلی2، جواد فرهودی3، زینب راور4

چکیده

پرش آبی در حوضچه­های آرامش نقش مؤثری در استهلاک انرژی جریان در پایاب سازه­های آبی ایفا می­کند. زبری بستر حوضچه عامل مؤثری در کنترل جهش آبی، کاهش طول و عمق ثانویه جهش و افزایش افت انرژی بشمار می­رود. این مطالعه اثر زبری­های عرضی مثلثی در کف حوضچه بر روی مشخصات پرش آبی مورد بررسی قرار گرفته است. 126 آزمایش در محدوده اعداد فرود 4-7/13 انجام شد.3 ارتفاع زبری (t) و چهار فاصله متفاوت (s) بین زبری­ها انتخاب گردید، چنانکه نسبت فاصله به ارتفاع زبری­ها در تمام آزمایش­ها ثابت ماند($\frac{s}{t}=0,0.5,1,1.5$).نتایج نشان می­دهد عمق ثانویه و طول جهش آبی در بستر زبر نسبت به بستر صاف بطور قابل ملاحظه­ای کاهش و افت انرژی افزایش می­یابد، چنانچه با افزایش عدد فرود این روند شدیدتر می­گردد.پروفیل­های بی بعد سطح آب پرش انطباق خوبی با یکدیگر داشته و می­توان آن­ها را توسط یک منحنی نمایش داد.مشاهدات بیانگر آن است که با افزایش فاصله و ارتفاع بین زبری­ها، طول جهش، طول غلتاب و عمق ثانویه کاهش یافته اما مقدار اختلاف آن­ها در بعضی موارد ناچیز است اما افت انرژی افزایش پیدا می­یابد.مقادیر تنش برشی کف نیز بر روی بسترهای زبر حداکثر 11 برابر بستر صاف بدست آمد.

**واژه های کلیدی** : جریان متغیر سریع ، حوضچه آرامش ، جهش آبی ، زبری مثلثی

مقدمه [[1]](#footnote-2) [[2]](#footnote-3) [[3]](#footnote-4)

جهش آبی از جريانهاي متغير سريع است که انرژي فوق العاده آب در سرعت­هاي فوق­بحراني را به ميزان قابل توجهي کاهش مي­دهد. در جهش آبي جريان از فوق­بحراني به زير بحراني تغيير حالت مي­دهد. به تناسب شدت پرش و آشفتگي­هايي که در سطح آب وجود دارد، انرژي آب بطور قابل توجهي کاهش مي­يابد. حوضچه­هاي آرامش بستر مناسبي براي کنترل و مهار پرش آبي و وقوع آن در يک موقعيت مکاني خاص مي­باشند. آن­ها ممکن است داراي شکل هندسي متفاوت و يا حاوي ضمائم اضافي نظير بلوک­هاي کف و آستانه­ها باشند که به عملکرد مؤثرشان کمک مي­کند.جهش آبي کلاسيک، جهشي است که در يک کانال مستطيلي و عريض افقي با کف صاف تشکيل ي گردد. بلانگر(2) براي عمق ثانويه جهش هيدروليکي کلاسيک در ناحيه زيربحراني ($y\_{2}^{\*}$) فرمول زير را ارائه کرد:

(1) $\frac{y\_{2}^{\*}}{y\_{1}}=^{1}/\_{2}\left[\sqrt{1+8Fr\_{1}^{2}}-1\right]$

که $ Fr\_{1}=\frac{v\_{1}}{\sqrt{gy\_{1}}}$ عدد فرود در مقطع جريان فوق­بحراني، و $v\_{1}$ و $y\_{1}$ به ترتيب سرعت و عمق متوسط جريان فوق­بحراني در بالادست جهش مي­باشند. در شکل 1 نمائي از جهش آبی بر روي بستر صاف ديده مي­شود.



شکل 1- جهش آبی بر روي بستر صاف

به بستري که سطح آن از ناهمواري­هاي منظم و يا نامنظم تشکيل شده است، بستر زبر گفته مي­شود. زبري کف حوضچه به شيوه­هاي مختلفي ايجاد مي­شودکه مي­تواند بصورت سنگچين، موج­هاي سينوسي، ذوزنقه­اي، مستطيلي و مثلثي يکپارچه در عرض کانال باشد.

تحقيقات اوليه توسط راجاراتنام (7) نشان داد که اگر بستر کانالي که پرش بر روي آن شکل مي­گيرد زبر باشد، عمق پاياب مورد نياز براي تشکيل پرش مي تواند بطور مشخصي کوچکتر از عمق مزدوج مشابه خود در بستر صاف باشد. وي پارامتري به نام زبري نسبي $(k=\frac{k\_{e}}{y\_{1}})$ تعريف کرد که در آن $k\_{e}$ ارتفاع معادل زبري و$y\_{1}$ عمق جریان ورودي فوق بحراني بر روي زبري ها است. وي نشان داد که طول غلتاب و طول پرش روي بستر زبر در مقايسه با همان پارامترها بر روي بستر صاف کاهش قابل توجهي دارند. ايد وراجاراتنام(4) يک مطالعه آزمايشگاهي بر روي پرش آبی روي بستر موج­دار در بازه اعداد فرود 4 تا 10 انجام دادند. آن­ها مشاهده کردند که عمق پاياب مورد نياز براي پرش آبی روي بستر زبر کمتر از عمق مشابه آن در پرش بر روي بستر صاف است. اگر D را بصورت پارامتر بي بعد عمق$(D=\frac{y\_{2}^{\*}-y\_{2}}{y\_{2}^{\*}})$تعريف کنيم، در بازه مورد بررسی، D تقريبا برابر با 25/0 بدست آمده است. همچنين آن­ها نتيجه گرفتند که طول پرش در بستر زبر تقريبا نصف طول متناظر آن در بستر صاف است. آن­ها دليل کاهش طول جهش را افزايش تنش برشي بستر بر اثر بر هم کنش جريان فوق بحراني با زبري­هاي بستر توضيح دادند. ايزدجو و شفاعی بجستان(6) مطالعات خود را بر روي بسترهاي ذوزنقه­اي نواري شکل انجام دادند. آن­ها نشان دادند که عمق مورد نياز پاياب براي تشکيل جهش بر روي بسترهاي زبر کمتر از $y\_{2}^{\*}$ مي باشد و مقدار را2/0 براي پارامترD بدست آوردند. همچنين نتيجه گرفتند که طول جهش کلاسيک بيش از دو برابر طول جهش در بستر زبر مي­باشد، و این طول بیشتر به فاصله تاج زبري­ها بستگی دارد تا ارتفاع زبري­ها. ايد(3) آزمايش­های خود را بر روي سه بستر موج­دار سينوسي، ذوزنقه­اي و منشوري انجام داد. او نتيجه گرفت زبري نسبي و شکل موج­ها، تاثير قابل ملاحظه­اي روي عمق مزدوج نسبی ندارند. با توجه به اينکه تراز تاج موج­ها هم سطح کف کانال در بالادست مي­باشد، فواصل زبری­ها به صورت گودافتادگي عمل مي­نمايند و تغيير ارتفاع آن­ها اثر چندانی بر مشخصات جهش ندارد. وي ميزان پارامتر D را برابر با 4/0 بدست آورد. او همچنين نتايج گزارشات قبلي مبني بر کاهش عمق ثانويه در جهش آبی بر روي بستر زبر نسبت به عمق متناظر آن در بستر صاف را تائيد و علت آن را افزايش تنش برشي کف بر روي بستر زبر بيان کرد.گوهري و فرهودي(5) آزمايش­های خود را بر روي بسترهايي با زبري­هاي نواري مستطيلي در محدوده اعداد فرود 3 تا 10 انجام دادند.آن­ها مشاهده کردند عمق ثانويه جهش بر روي سطوح زبر نسبت به سطح صاف کاهش دارد و اين کاهش با افزايش فاصله بين زبري­ها، افزايش مي­يابد. همچنين پي بردند که تغيير ارتفاع زبري­ها و عمق اوليه پرش اثر ناچيزي بر مشخصات هيدروليکي دارد و مقادیر تنش برشي کف در بستر زبر حدودا 9 برابر بستر صاف بدست آمد. عباسپور و حسين زاده(1) با آزمايش­هايي در محدوده اعداد فرود 8/3 تا 6/8 مشخصات پرش آبي را در بستر موج­دار با محدوده شيب موج $0.286\leq ^{t}/\_{s}\leq 0.62$ بررسي کردند. نتايج نشان داد که مقادير عمق ثانويه و طول جهش آبي روی بستر موج­دار به ترتيب 20% و 50% کمتر از بستر صاف است. ضريب نيروي برشي در بستر موج­دار به ازاي عدد فرود 4 در حدود 10 برابر بستر صاف است و با افزايش عدد فرود اين ضريب افزايش بيشتري را نشان مي­دهد. شفاعي بجستان و نيسي (9) به بررسي مشخصات جهش آبی در حضور بلوک­هاي لوزي شکل در حوضچه آرامش پرداختند و به اين نتيجه رسيدند که طول جهش در مقايسه با حوضچه هاي USBR و SAF کمتر است. در اين بررسي کاهش عمق ثانويه و طول جهش آبی در محدوده اعداد فرود 5/4 تا 12 به ترتيب در حدود 26% و 40% گزارش شد.

مطالعات انجام شده بر روي بستر زبر نشان می­دهد که استفاده از بسترهاي زبر نيازمند آزمايش­های بيشتري، براي تعيين مناسب ترين و اقتصادي ترين شکل زبري­ها و ابعاد و فاصله آن­ها مي­باشد. از اينرو در اين تحقيق زبري­ها، بصورت بلوک­هاي يکپارچه مثلثي، انتخاب گرديده و اثر ارتفاع زبري­ها بر روي مشخصات جهش آبی در محدوده­ گسترده­ای از اعداد فرود مورد بررسي قرار گرفته است که نتايج آن در مقاله حاضر مورد تجزيه و تحليل قرار می­گیرد.

مواد و روش­ها

آزمايش­های مورد نظر در يک کانال به طول 12 متر، ارتفاع 50 سانتي متر و عرض 25 سانتي­متر انجام گرفت. ديواره­هاي شيشه­اي کانال امکان رويت جريان را فراهم نمود. براي ايجاد اعداد فرود مختلف، ارتفاع ديواره کانال در بالادست دريچه توسط پلکسي گلاس به ميزان 60 سانتي­متر افزايش داده شد و مخزني به ارتفاع 1/1 متر ايجاد گرديد. سپس با نصب يک دريچه کشوئي از جنس پلکسي گلاس در قسمت خروجي مخزن و تغيير در ارتفاع بازشدگي اين دريچه، عمق اولیه جهش تنظیم شد. براي ايجاد زبري­ها از منشورهاي چوبي با مقطع مثلث که اضلاع آن­ها باافق زاويه 45 درجه مي­ساختند، استفاده شد(شکل 3). جهت ساخت کف­هاي زبر، منشورهاي چوبي با فاصله­هاي معين بر روي ورقه­های چوبی نصب شدند. به جهت جلوگيري از ايجاد پديده کاويتاسيون، سطح بالائي زبري­ها با سطح بستر بالادست و پائين­دست کف موج­دار در يک تراز قرار داده شدند(شکل 2). فاصله دريچه تا محل تشکيل پرش براي تمام آزمايش­ها 17 سانتي متر در نظر گرفته شد و طول بستر زبر 6/1 متر انتخاب گرديد. عمق اولیه و ثانویه جهش با استفاده از یک عمق سنج با دقت $\pm 0.1$ میلی­متر اندازه­گیری شد و برای اندازه­گیری طول جهش آبی و طول غلتاب از یک نوار متر منصوب در بدنه کانال استفاده شد. به منظور اندازه گيري دبي، از سرريز مستطيلي نصب شده در انتهاي کانال استفاده شد و براي کنترل جهش آبي يک دريچه کرکره اي در انتهاي کانال نصب شد.

تعداد 126 آزمايش در محدوده اعداد فرود 4 تا 7/13 انجام شد. زبري­هاي انتخابيبا سه ارتفاع مختلف (سانتي­متر 4و3و2t=) مورد بررسي قرارگرفتند و در هر ارتفاع 4 فاصله (s) متفاوت بين بلوک­ها در نظر گرفته شد بطوريکه در کل، 4 نسبت براي$s/t$بدست آمد ($s/t=0,0.5,1,1.5$).

نتایج و بحث

پروفیل سطح آب

با عکس برداري مستقيم از نيمرخ طولي جهش آبي و رقومي کردن عکس­ها با استفاده از نرم افزار گرافر 7، اطلاعات مربوط به پروفيل سطح آب در جهش ثبت شد. پروفيل­هاي بي بعد سطح آب در شکل (4)نشان داده شده­اند که در آن­ها $\frac{y-y\_{1}}{y\_{2}-y\_{1}}$ در برابر $\frac{x}{L\_{j}}$رسم شده است که درآن $y$ عمق جريان و $x$ فاصله از ابتداي جهش است.اين نمودار نشان مي­دهد که پروفيل جهش آبي بي بعد را برای تمام آزمایش­ها مي­توان با يک منحني ميانگين تعريف نمود.



شکل 2- طرح شماتيک جهش آبی بر روي بستر زبر



 شکل 3- زبری­های مثلثی

$${(y-y\_{1})}/{\left(y\_{2}-y\_{1}\right)=1.6045(^{x}/\_{l\_{j}})^{3}-4.5588\left(^{x}/\_{l\_{j}}\right)^{2}+4.1313\left(^{x}/\_{l\_{j}}\right)+0.1636}$$

$$R^{2}=0.9405$$

شکل 4– پروفیل­های بی­بعد سطح آب در جهش آبی بر روی بستر زبر برای کلیه آزمایش­ها

نسبت عمق­های مزدوج

عمق ثانویه جهش آبی بر روی بستر زبر را می­توان بصورت معادله تعریف نمود:

(2) $y\_{2}=f\_{1}\left(y\_{1},v\_{1},g,ρ,ν,s ,t\right)$

که در آن :

S فاصله بین زبری­ها،tارتفاع زبری­ها،ν لزجت سینماتیک سیال، ρ چگالی متوسط، g شتاب ثقل و $y\_{1}وv\_{1}$ به ترتیب سرعت جریان و عمق جریان فوق­بحرانی ورودی می­باشد.

با استفاده از نظریه باکینگهام رابطه (3) بدست می­آید:

*(3)* $\frac{y\_{2}}{y\_{1}}=f\_{2}\left(Fr\_{1}=\frac{ν\_{1}}{\sqrt{gy\_{1}}},R\_{1}=\frac{ν\_{1}y\_{1}}{ν},\frac{t}{y\_{1}},\frac{s}{y\_{1}}\right)$

از آنجائی که مقادیر اعداد رینولدز در آزمایش­های انجام شده بزرگ است می­توان از اثر لزجت چشم­پوشی کرد و معادله (3) بصورت زیر ساده می­شود:

(4) $\frac{y\_{2}}{y\_{1}}=f\_{3}\left(Fr\_{1},\frac{t}{y\_{1}},\frac{s}{y\_{1}}\right)$

*(5)* $\frac{y\_{2}}{y\_{1}}=f\_{4}(Fr\_{1},\frac{s}{t})$

رابطه $\frac{y\_{2}}{y\_{1}}$با $Fr\_{1}$برای تمام آزمایش­ها در شکل (5) نشان داده شده است. با توجه به این شکل، نسبت عمق­های مزدوج جهش آبی بر روی بستر زبر نسبت به بستر صاف کاهش می­یابد و این کاهش با افزایش عدد فرود فوق­بحرانی ورودی شدت بیشتری می­یابدکه حاکی از آنست که افزایش عدد فرود در روی بستر زبر روند کاهش عمق ثانویه را افزایش می­دهد.

برای نمایش میزان اختلاف عمق ثانویه در بستر زبر $y\_{2}$و جهش کلاسیک $y\_{2}^{\*}$ پارامتر کاهش عمق $(D=\frac{y\_{2}^{\*}-y\_{2}}{y\_{2}^{\*}})$ تعریف شده است. تغییرات D با عدد فرود جریان فوق­بحرانی ورودی در شکل (6) نمایش داده شده است. مقادیر حداکثر و حداقل پارامتر D به ترتیب21/0 و 045/0 می­باشد.

طول جهش هیدرولیکی

تغییرات طول بی بعد جهش آبی$^{L\_{j}}/\_{y\_{2}^{\*}}$ با عدد فرود جریان فوق­بحرانی ورودی در شکل (7) نشان داده شده است. از این شکل می­توان دریافت که طول بی بعد جهش آبی مستقل از عدد فرود است و دارای مقدار متوسط1/4می­باشدکه نشان می­دهد طول جهش در بستر زبر حدود 68 درصد طول جهش در بستر صاف می­باشد.

شکل (8) تغییرات طول نسبی جهش آبی$^{L\_{j}}/\_{y\_{1}}$ بر روی بستر زبر به همراه داده­های حاصل از آزمایش­های انجام شده بر روی بستر صاف را در مقابل عدد فرود جریان فوق­بحرانی ورودی نشان می­دهد.

نتایج نشان می­دهد طول جهش بر روی بستر زبر نسبت به بستر صاف کاهش دارد و با افزایش عدد فرود میزان کاهش طول جهش بیشتر می­شود.

$$^{y\_{2}}/\_{y\_{1}}=1.0533Fr\_{1}+0.7135$$

$$R^{2}=0.9966$$

شکل 5– تغییرات عمق مزدوج نسبی با عدد فروددر بستر صاف و بسترهای زبر برای کلیه آزمایش­ها

شکل 6– تغییرات پارامتر کاهش عمق در مقابل عدد فرود

$$^{L\_{j}}/\_{y\_{2}^{\*}}=4.1$$

شکل 7– تغییرات طول بی­بعد جهش آبی با عدد فرود در بستر صاف و بسترهای زبر برای کلیة آزمایش­ها

استهلاک انرژی

افت انرژی $E\_{L}$ و افت انرژی نسبی $R\_{L}$ در جهش آبی به ترتیب به صورت زیر تعریف می­شوند:

(6) $E\_{L}=E\_{1}-E\_{2}$

(7) $R\_{L}=\frac{E\_{L}}{E\_{1}}$

در آن$E\_{1}$ و $E\_{2}$ به ترتیب ارتفاع انرژی مخصوص جریان در ابتدا و انتهای جهش آبی می­باشند.

در شکل(9) تغییرات افت انرژی نسبی در مقابل $Fr\_{1}$رسم شده­است. از این شکل مشخص است که مقادیر $R\_{L}$ در بسترهای زبر بزرگتر از بسترهای صاف است و این اختلاف با افزایش $Fr\_{1}$، افزایش می­یابد. حداکثر افت انرژی در بستر زبر در حدود 83 درصد می­باشد و افزایش افت انرژی نسبت به بستر صاف حداکثر 18 درصد بیشتر است.

تنش برشی

دلیل اصلی کاهش عمق ثانویه در جهش آبی بر روی بستر­های زبر در مقایسه با بستر­های صاف وجود تنش برشی اضافه است. اگر $F\_{τ}$ جمع نیروهای برشی بستر بر روی سطح افقی هم­تراز با تاج زبری­ها در طول جهش باشد، با استفاده از معادله مومنتم می­توان بیان کرد:

شکل 8– تغییرات طول نسبی جهش آبی با عدد فروددر بستر صاف و بسترهای زبر برای کلیة آزمایش­ها

شکل9- تغییرات افت نسبی انرژی جهش آبی با عدد فرود در کلیه بسترها

 (8) $F\_{τ}=\left(P\_{1}-P\_{2}\right)+(M\_{1}-M\_{2})$

که در آن P و M مقادیرفشار و مومنتم و اندیس­های 1 و 2 به ترتیب نشانگر مقاطع قبل و بعد از جهش می­باشند. راجاراتنام (9) در تحقیق خود ضریب تنش برشی بستر$ε=\frac{F\_{τ}}{{γy\_{1}^{2}}/{2}}$ را تعریف کرد.

با به­کارگیری رابطه بدست آمده توسط راجاراتنام و داده­های بدست آمده از آزمایش­های انجام شده، تغییرات ضریب تنش برشی بستر با $Fr\_{1}$ در شکل 10 رسم شده است.

با استفاده از داده­های بدست آمده رابطه بین ε و $Fr\_{1}$ را می­توان بصورت معادله زیر برآورد نمود:

(9) $ε=1.0785Fr\_{1}^{2}-6.1452Fr\_{1}+10.539 R^{2}=0.9905$

راجاراتنام (8) مقدار  در بستر صاف (در واحد عرض کانال) را بصورت تابعی از عدد فرود بالادست و بصورت زیر بدست آورده­است:

(10) $ε=0.16Fr\_{1}^{2}-0.8Fr\_{1}+1$

از مقایسه رابطه 9 و 10 می­توان دریافت که مقدار  در پرش هیدرولیکی بر روی بسترهایی با زبری مثلثی قائم حداکثر 11برابر بیشتر از بستر صاف است.

$$R^{2}=0.9905$$

$$ε=1.0785Fr\_{1}^{2}-6.1452Fr\_{1}+10.539$$

شکل 10 – تغییرات ضریب تنش برشی کف با عدد فرود

نتیجه­گیری

نتایج نشان می­دهد که پروفيل جهش آبي بي بعد را برای تمام آزمایش­ها مي­توان با يک منحني ميانگين تعريف نمود.

نسبت عمق­های مزدوج جهش آبی بر روی بستر زبر نسبت به بستر صاف کاهش می­یابد و این کاهش با افزایش عدد فرود جریان فوق­بحرانی ورودی شدت بیشتری می­یابد.

مقادیر حداکثر و حداقل پارامتر D به ترتیب21/0 و 045/0 می­باشد.

طول بی بعد جهش مستقل از عدد فرود بوده و دارای مقدار متوسط 1/4 می­باشد و طول جهش در بستر زبر حدود 68 درصد طول جهش در بستر صاف می­باشد.

طول جهش بر روی بستر زبر نسبت به بستر صاف کاهش دارد و با افزایش عدد فرود میزان کاهش طول جهش بیشتر می­شود.

حداکثر افت انرژی در بستر زبر در حدود 83 درصد می­باشد و افزایش افت انرژی نسبت به بستر صاف حداکثر 18 درصد بیشتر است.

مقدار  در پرش هیدرولیکی بر روی بسترهایی با زبری مثلثی قائم حداکثر 11برابر بیشتر از بستر صاف است.

مراجع

Abbaspour A. and HosseinzadehDalir A. 2009. Effect of sinusoidal corrugated bed on hydraulic jump characteristics. Journal of Hydro-environment Research. 3:109-117.

Belanger, J.B. 1828. Essai Sur la Solution Numériaue de Quelques Problémes Relatifs au Mouvement Permanent des Eaux Courantes. Carulian-Goeury, Paris, France (in French).

Ead S. A. 2007. Effect of bed corrugations on the characteristics of a hydraulic jump. Final Research Report 14/427. King Saud University. College Of Engineering. Research Center.

Ead S. A. and Rajaratnam N. 2002. Hydraulic jumps on corrugated beds. Journal of Hydraulic Eng.ineering ASCE. 128:656-663.

Gohari A. and Farhoudi J. 2009. The characteristics of hydraulic jump on rough bed stilling basins. 33rd IAHR Congress. Water Engineering for a Sustainable Environment. Vancouver. British Columbia. August 9-14.

Izadjoo F. and Shafai-Bejestan M. 2007. Corrugated Bed Hydraulic Jump Stilling Basin. Journal of Applied Science. 7:1164-1169.

Rajaratnam N. 1968. Hydraulic jumps on rough beds. Trans. Eng. Inst. Canada. 11(A-2). 1-8.

Rajaratnam N. 1965. The hydraulic jump as a wall jet. Journal of Hydraulic Div. Am.Soc. Civil Engineering. 91(5):107-132.

Shafai-Bajestan M. and Neisi K. 2009. A New Roughened Bed Hydraulic Jump Stilling Basin. Journal of Applied Science. 2:436-445.

تاریخ دریافت: 18/11/89

تاریخ پذیرش: 24/2/90

Effect of Triangular Blocks on the Characteristics of Hydraulic Jump

**نشریه آبياري و زهكشي ايران**

**شماره 2، جلد5، تابستان 1390، ص.241-234**

**Iranian Journal of lrrigation and drainage**

**No. 2, Vol. 5, Summer 2011, p. 234-241**

A.Najandali[[4]](#footnote-5), K.Esmaeili2, J.Farhoudi3, Z.Ravar4

Abstract

Hydraulic jump in stilling basins play a significant role in reduction of excessive energy of flow downstream of hydraulic structures. Bed roughness in stilling basin is an important phenomenon to reduce the length of jump and sequent depth and increase the energy loss. This research deals with an investigation on effect of triangular rough bed on the characteristics of hydraulic jump. Total of 126 runs are conducted where Froude number of incoming flow was varying between 4 to 13.7. Three different heights (t) were selected with four different longitudinal spacing (s) and four ratios of (s/t) was fixed for all experiments. The results showed that the sequent depth and the length of hydraulic jump are considerably reduced compared to smooth bed. These effects are intensified as the Froude number of incoming flow increased. The non-dimensional flow profile of hydraulic jump follows a unified curve. It was also revealed that the increase in height and spacing of rough bars decrease the length of jump, length of rollers and the sequent depth. It is found the bed shear stress is 10 times bigger than that on smooth bed.

1. 1 و 2 -دانشجوی کارشناسی ارشد، سازه­های آبی و استادیار دانشکد کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

)\* - نویسنده مسئول:(Email: najand\_a@yahoo.com [↑](#footnote-ref-2)
2. 3-استاد دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران [↑](#footnote-ref-3)
3. 4-دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی کشاورزی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران [↑](#footnote-ref-4)
4. -Postgraduate student, & Assistance Professor Irrigation Engineering Dept., College, Agricultural College, Ferdowsi University of Mashhad

(\*- Corresponding Author E-mail: Najand\_a@yahoo.com)

3- Professor of Hydraulic Structures, Agricultural Engineering & Technology College, University of Tehran, Karaj, Iran

4- Postgraduate Student, Irrigation & Reclamation Dept., Agricultural Engineering & Technology College, University of Tehran, Karaj [↑](#footnote-ref-5)