



تحلیل هیدرولیکی بند توری سنگی سررین شونده با مخزن پر از رسوب

• حمید رضا شیبانی ، عضو هیات علمی دانشکده عمران و محیطزیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر • حبیبالله بیات ، دانشیار دانشکده عمران و محیطزیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تاریخ دریافت: آذر ماه ۱۳۸۱ تاریخ پذیرش: مرداد ماه ۱۳۸۲

چکیدہ

این پژوهش با اتکا به مشـاهدات آزمایشـگاهی و روشهای تحلیل رایانه ای به مدلسازی ریاضی برای تشخیص هیدرولیک جریان عبوری از روی / درون بند توری سـنگی با مخزن انباشـته از رسـوب های ریزدانه پرداخته است . وجود این رسوب سبب می شود تـا نفوذ جریان از نمای بالادسـت بند بسـیار ناچیز گردد و تمامی جریان از روی بند سـرریز نماید . جریـان گذرنده از روی بند به عنوان یک جریان متغیر مکانی مدل شـده و مکان یابی مقطع کنترل بر روی بند با اسـتفاده از روش Hinds امکان یافته است . درون محیط متخلخل درشت دانه بند ، جریان غیر خطی برقرار می باشد . این جریان با ترکیب معادلات پیوستگی و فورش هایم مدلسازی شده است. مدل برای مثالی از یک بند توری سنگی با نمای آببند بالادست ، یعنی مخزن پر از رسوب ، اجراء شده است و نتایج حاصل از آن ، ارتفاع پیزومتریک جریان و مقادیر سـرعت ظاهری جریان در هر نقطه (گره) از بدنه متخلخل و نیز پروفیل سـطح آب را بهدست میدهد . برای تایید یافته های تحقیق ، آزمایش بر روی مدل فیزیکی بند توری سـنگی انجام شـده است . یافتههای آزمایشگاهی نشان داده اند که نفوذ جریان در تاج بند ، شرایط خاصی را برای افت انرژی و نیز برای توزیح فشار بر روی یافتههای آزمایشگاهی نشان داده اند که نفوذ جریان در تاج بند ، شرایط خاصی را برای افت انرژی و نیز برای توزیح فشار بر روی یافتههای آزمایشگاهی نشان داده اند که نفوذ جریان در تاج بند ، شرایط خاصی را برای افت انرژی و نیز برای توزیح فشار بر روی تاج بند بوجود می آورد .

کلمات کلیدی: توری سنگی ، محیط متخلخل، جریان غیر دارسی، افت انرژی، نفوذ جریان، جریان غیر خطی، کنترل سیل، پروفیل سطح آب

Pajouhesh & Sazandegi No: 63 pp: 85-94

Hydraulic analysis of overtopable gabion dam with fully sedimented reservoir.

By: H.R. Sheibani, Member of Scientific Board of Civil & Environmental Department, Amir Kabir University. Tehran, Iran.

H. Bayat, Associtate Prof., Civil & Environmental Department.

Amir Kabir Uneversity, Tehran, Iran.

This study is concerned with a numerical modelling of flow through / over gabion dam with fully sedimented reservoir with fine sediment. Fine sediment causes that total of discharge flow over dam. The flow over the dam is assumed as a spatially varied flow , and control section has been verified by Hind's method .The flow through porous coarse media of dam is nonlinear. This flow has been modelled numerically by continuity and Forchhiemer equations. The numerical model was performed for a impervious upstream face of gabion dam i.e. fully sedimented reservoir. The results of analysis show the pizometric water level and virtual velocity of any node within porous body as well as the profile of water level over dam. In order to confirm the finding of this research , physical model test of gabion dam has been done .Physical test results show that suction in gabion dam crest cause special condition for enegey losses and pressure profile in that domain .

Key words: Gabion, Porous Media, Non Darcy Flow , Energy Loss , Flow Suction Nonlinear Flow , Flood Control , Water Surface Profile



مقدمه

بندهای توری ســنگی سـازه هایی هستند که از کنار هم قراردادن توری ســنگی ساخته می شوند . شکل – ۱ نمای سه بعدی و مقطع جانبی یک بند را نشـان می دهد . این سـازه ها در اصلاح شــیب آبراههها ، کنترل رسوب و کاهش پیک سیلاب کاربرد فراوانی دارند . مخزن اینگونه بندها اغلب کم حجم اسـت و در فاصله زمانی کمی از شـروع بهره برداری توسـط رسـوبات پر میگردد. مصالح حوضه آبریز بند نوع رسـوبات تشـکیل دهنده مخزن را تعریف می نماید این مصالح می توانند درشت دانه یا ریز دانه باشند. تصویر – ۲ رسوب حمل شده توسط رودخانه شور ، از شاخه های فرعی منتهی شده به مخزن سد مسجد سلیمان را نشان می دهد . از آنجایکه حوضه رود شور عمدتاً از مصالح رسـی تشـکیل شده است حجم زیادی از رس در مواقع سیلابی توسط این رود حمل می شود. تحلیل رفتار هیدرولیکی بندهای توری سنگی با مخزن پراز رسـوب ریزدانه ، موضوع این تحقیق میباشـد . استنباط می شـود که بعد از انباشته شدن رسوب در مخزن بند، شرایط خاص هیدرولیکی در جریان عبوری از روی / درون آن بوجود آید.

درآغاز بهره برداری از بند ، گذرآب از تمامی وجوه یعنی نمای بالادست ، تاج و نمای پایین دست انجام می شود . پیرامون گذر جریان از بدنه های سنگریزه ای مطالعه هایی صورت گرفته است. Townsend و همکاران (۹) مدل ریاضی جریان در درون مصالح سد سنگریزه ای جریان آرام است) که از تلفیق معادله پیوستگی و معادله موسوم به رابطه Parkin (کاربرد این معادله در جریان نا آرام مشابه معادله لاپلاس در جریان آرام است) که از تلفیق معادله پیوستگی و معادله موسوم به رابطه Wilkins (کاربرد این معادله در جریان نا آرام مشابه معادله لاپلاس در به جریان آرام است) که از تلفیق معادله پیوستگی و معادله موسوم به رابطه Wilkins به دست می آید ، فشار را در نقاط مختلف از محیط متخلخل درشت دانه به دست آورده اند . نتایج مدل ریاضی آنها با نتایج مدل فیزیکی مطابقت داشته است . Kells (۶) با تدوین مدل ریاضی ، جریان عبوری از روی و درون بدنه سد سرریز شونده توری سنگی با نمای قائم در پایین دست را مدل کرده و پروفیل جریان عبوری از روی سد و نیز خطوط هم فشار در درون بدنه را به دست آورده است. نتایج بدست آمده با مقادیر حاصل شده از مدل فیزیکی ، با اندکی اختلاف ، تطابق خوبی داشته اند. وی در سال ۱۹۹۳ درراستای همان تحقیق سرریز های توری سنگی پلکانی را نیز مورد بررسی قرار داده است (۸). Huanxiong داشته اند. وی در سال ۱۹۹۳ درراستای همان تحقیق سرریز های توری سنگی پلکانی را نیز مورد بررسی قرار داده است (۸). Huanxiong (۵) با تدوین مدل ریاضی ، جریان آشفته ای را در درون مصالح سنگی یک فرازبند با کمک معادله فورش هایمر مدل نمودند د نتایج آنها با نتایج تست های آزمایشگاهی تطابق خوبی داشته است. Bart (۱) بر روی پروفیل جریان در درون مصالح سنگریزه ای ساخته شده در مسیر رودخانه های طبیعی تحقیق نموده اند (۱). جریان درداخل محیط متخلخل مشابه یک جریان متغیر تدریجی دریک کانال فرض شده و با دو روش استاندارد گام به گام و روش پرازاد (Prasad) پروفیل سطح آب در درون به سنگریزه ای بدست آمده

در این مقاله مدل ریاضی تدوین شده و تحقیقات آزمایشگاهی انجام یافته برای تحلیل جریان عبوری از روی و درون بند توری سنگی با نمای آببند بالادست ، شکل –۱، معرفی می گردند . نمای آببند بالادست مخزن پر از رسوب ریزدانه ، همچون نمونه عینی رسوبات رودخانه شور ، را مدل می نماید . تحت چنین شرایطی گذر آب تنها از تاج (وجه فوقانی) و نمای پایین دست انجام می شود و در تمامی طول تاج ، نفوذ جریان (Infiltration) به داخل بدنه وجود دارد . در صورتیکه قبل از پر شدن رسوبات در مخزن ،آب از نمای بالادست نفوذ می کند و در طولی از ابتدای تاج ، جریان از بدنه خارج شـده و در طول بعدی از تاج ، جریان به داخل بدنه نفوذ می نماید Rell در مخزن باعث تغییر رفتار جریان گذری از روی بند می شود و توزیع فشار و افت انرژی (اصطکاکی) را متاثر می سازد . نیز نفوذ جریان تنها از سـطح تاج ، جریانی کاملاً دو بعدی در محیط متخلخل بند بر قرار می کند و سـبب می شـود نیاز به تعریف ضرایب ثابت متفاوتی برای معادله حاکم ، در دو جهت افق و عمودی ، باشد .

مبانی نظری

پایه های تحلیلی تئوری حاکم بر آنالیز جریان عبوری از روی/ درون یک بند توری سنگی سرریز شونده مشتمل بر دو قسمت است . یکی نظریه ای که برای تعیین پروفیل سطح آب روی بند به کار گرفته می شود و دیگری تعیین مقادیر فشار و سرعت ظاهری جریان در داخل بدنه متخلخل بند است . هر دو نظریه در این کاربری خاص ، به نوعی به یکدیگر وابسته می شوند. حصول پروفیل سطح آب ، مقادیر فشار را برای مرز فوقانی جریان در محیط متخلخل به دست می دهد و آنالیز جریان در بدنه ، مقادیر دبی خروجی از کف را در تعیین پروفیل سطح آب

الف - پروفيل سطح آب

در مسیر جریان بر روی تاج بهطور تدریجی دبی جریان کاسته میشود.

۸۶ ا پژوهش و سازندگی

با پذیرش فرضیاتی ساده کننده می توان جریان بر روی تاج را از نوع جریان متغیر مکانی (Spatially Varied Flow) در نظر گرفت. این فرضیات عبارتند از : 1- خطوط جریان موازی و مستقیم هستند . ۲- شیب کف مسیر ملایم است.۳- جریان بر روی بند عمدتاً یک بعدی است. ۴- ضریب تصحیح سرعت برابر واحد می باشد. ۵- در تعیین افت در مسیر روابط حاکم بر جریان یکنواخت قابل استفاده است . اگرچه فرضیات مذکور کاملاً با شرایط واقعی انطباق ندارند و وجود شتاب جریان در جهت عمود بر مسیر اصلی حرکت سیال ، که جریانی دو بعدی با توزیعی غیر یکنواخت برای سرعت را موجب می گردد ، از قوت فرضیات می کاهد، ولی ضمن اینکه اسلی حرک از آزمایشگاهی خود نشان داده است که استفاده از تئوری جریان متغیر مکانی نتایج قابل قبولی برای پروفیل سطح آب ارائه می دهد

www.SID.ir





، نیز در این تحقیق با عنایت به برداشتهای آزمایشگاهی اصلاحیه بر رابطه جریان متغیر مکانی جهت انطباق بیشتر با شرایط ، وارد شده است که در قسمتهای بعدی تشریح می گردد. بهطوریکه در هیدرولیک کلاسیک بحث می شود ، رابطه -۱ جریان با دبی کاهنده در مسیر را مدل می نماید (صفحه۲۳۲ ، ۱۹۷۳ ، ۲۳۲۲) (۴).

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f - \frac{Q.dQ/dx}{gA^2}}{1 - \frac{Q^2}{gA^2.D}}$$
(1)

جریان بر روی تاج بند معمولاً متشکل از دو جریان زیر بحرانی و فوق بحرانی است . می توان با استفاده از روش هیندز (۴) محل و عمق مقطع بحرانی را مشخص نمود و سپس پروفیل سطح آب را محاسبه کرد . جریان در بالادست این مقطع زیر بحرانی و در پایین دست آن فوق بحرانی

مىباشد .

۲- رابطه فورش هایمر که تغییرات فشار پیزومتریک در مسیر جریان را با سرعت نشان می دهد :

$$i_n = \frac{\partial h}{\partial n} = a_n V + b_n V^2 \tag{(7)}$$

و مولفه های آن در دو جهت x و y به صورتی که می آید خواهند x بود .

$$i_x = \frac{\partial h}{\partial x} = a_x u + b_x u^2 \tag{(f)}$$

$$i_{y} = \frac{\partial h}{\partial y} = a_{y}v + b_{y}v^{2} \tag{(a)}$$

$$V = (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$$
(9)





www.SID.ir



عکس ۳ - کانال و تجهیزات آزمایشگاهی

$$\frac{\partial}{\partial x}(c_x \cdot \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(c_y \cdot \frac{\partial h}{\partial y}) = 0$$

$$c_x \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + c_y \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0$$
(A)

رابطـه (۸) مبنای مدلسـازی ریاضی اسـت و تقریب درجـه دوم تفاضل مرکزی (Centeral Differencing) معادله فوق را جدا سـازی مینماید.

مدلسازی فیزیکی

مدل آرمایشگاهی در کانالی به عرض ۵۰ و عمق ۷۵ سانتیمتر و طولی برابر ۶ متر ساخته شده است . تصویر – ۳ کانال و تصویر – ۴ مدل بند توری سنگی را نشان می دهد . قبل از کانال ، مخزن آرام کننده ای جریان آرامی را به کانال هدایت می نماید و بعد از آن نیز حوضچه آرام کننده ای جریان را به سرریز اندازه گیری می ساند . بند توری سانگی با ارتفاع ۳۱، عرض ۵۰ و طول ۴۲ سانتیمتر به صورت بسته هایی به ابعاد ۲۱ × ۲۰ × ۱۰ ، از توری های گالوانیزه با چشمههای مربع شکل به ابعاد 8/2 × 8/2 ساخته شده اند و با مصالح گرد گوشه، دارای نماینده قطر دانه هایی (d_5) برابر ۱۷ میلیمتر و تخلخلی (

n) معـادل 700, پر گردیدند . زبری مانینگ این مصالح با استفاده از رابطه $\frac{1}{65}$ $h^{0.00}$ مقابل تعیین و برابر 700، به دست می آید. در این رابطه نماینده قطر دانه ها بر حسب میلیمتر قرار داده می شود (۶). با ابعاد قید شده ، دیده می شود که 70 ردیف بسته ارتفاع بند را می سازند و در هر ردیف بسته سطح بند را تشکیل می دهند . در حین انجام آزمایش مشاهده شد که با وجود دوخته شدن بسته ها به یکدیگر ، با گرفته در سطح ایجاد می گردد و دقت برداشت نتایج را کاهش گرفته در سطح ایجاد می گردد و دقت برداشت نتایج را کاهش می دهد لذا ردیف فوقانی بند به صورت یکپارچه ، از بسته ای به ابعاد $40 \times 10 \times 10$ ساخته شده است . شبکه پیزومتری در دیوار و کف کانال امکان قرائت فشار در بدنه متخلخل بند و نیز فشار درسطح تاج بند را فراهم می نمایند . این پیزومترها به فاصله 10سانتیمتری از یکدیگر قرار دارند . برداشت پروفیل جریان گذری (Point gauge) (می ای می از از منه می او از می ای او روی بند نیز با استفاده از ارتفاع سنج ان می ای ای او روی بند نیز با استفاده از ارتفاع سنج ای می ای می از روی بند نیز با استفاده از ارتفاع می داد . (۲0 می می می می می می می می می ای می ای می در می در می می می می می در ای می در می می در می دانه می اصلح . می در می می در دیوار در می در می در در در دیوار از روی بند نیز با استفاده از ارتفاع سنج نقطه ای (Point gauge)

مدلسازی ریاضی

از روش تفاضلهای محدود در جداسازی معادلات حاکم برای تعیین پروفیل سطح آب و نیز حل جریان در محیط متخلخل استفاده شده است .

الف - پروفيل سطح آب

رابطه (۱) معادله ديفرانسيلي مرتبه اول است و با تقريب درجه يک عقب رونده (Backward Differencing) جداسازي مي شود .

ب - جریان در محیط متخلخل تلفیق معادلات پیوستگی و فورش هایمر امکان مدلسازی را فراهم می نماید.

$$i_x = \frac{\partial h}{\partial x} = a_x u + b_x u^2 = (a_x + b_x u) \cdot u = \frac{1}{c_x} \cdot u$$

$$i_y = \frac{\partial h}{\partial y} = a_y v + b_y v^2 = (a_y + b_y v) \cdot v = \frac{1}{c_y} \cdot v$$

$$c_x = \frac{1}{(a_x + b_x u)}$$
 , $c_y = \frac{1}{(a_y + b_y v)}$

$$u = c_x \cdot \frac{\partial h}{\partial x}$$
, $v = c_y \cdot \frac{\partial h}{\partial y}$



عکس ۴ – مدل آزمایشگاهی بند توری سنگی

۸۸ ا پژوهش و سازندگی www.SID.ir



عکس ۵ - آزمایش با دبی ثابت و دو حالت متفاوت وجود و عدم وجود نفوذ درسطح تاج

عملى مىشود .

دستاورد های آزمایشگاهی

برداشت نتایج از مدل فیزیکی جنبههای هیدرولیکی تازه ای را روشن ساختند. لحاظ این جنبه ها ، سبب رفتار نگاری صحیح جریان در مدلسازی ریاضی می گردد . ذیلاً به آنها اشاره میشود .

الف - توزيع فشار در جريان عبوري از روى بند

فشار بر روی سطح تاج ، به عنوان یک مورد از اطلاعات موثر بر شبیهسازی جریان در محیط متخلخل شناخته می شود. از پیش استنباط می شد که وجود انحناء در پروفیل جریان سبب گردد تا توزیع فشار از توزیع هیدروستاتیک فاصله بگیرد و انتخاب فشاری برابر ستون آب بر روی بند سبب ایجاد خطا در نتایج مدل ریاضی شود . برداشتهای آزمایشگاهی، ضمن تایید درستی این پیش بینی ، وقوع پدیده دیگری را نشان دادند. با

وجود نفوذ جريان در سطح تاج بند ، توزيع فشار اختلاف بیشتری نسبت به توزیع فشار هیدروستاتیک ، از آنچه بدلیل انحناء در سطح آب ایجاد می شود ، پیدا می کند. برای یافتن صحت این ادعا آزمایشهایی با دبی های مختلف وبه ازای هر دبی تحت دو حالت متفاوت، الف - وجود نفوذ در سطح تاج و ب - عدم وجود نفوذ در این سطح، انجام گردید . تصویر (۵) این دو حالت را نشان میدهد. از نتايج آزمايش ، نسبت فشار موجود به فشار هيدروستاتيک در سطح تاج برای هر دو حالت بدست آمد و با یکدیگر مقایسه گردید . منحنی شکل (۶) این مقایسه را به ازای دبی های مختلف نشان می دهد . با توضیح فوق ضروری می نمود از عمق جریان بر روی تاج بند ، یا بعبارتی فشار هیدرو ستاتیک ، فشار واقعی استخراج گردد. معیار (۱۰) از تعداد دبی آزمایش شده بدست آمده است . لازم به ذکر است که اگر چه این معیار برای شرایط حاضر از ابعاد بند ، دانه بندی وشکل مصالح سنگریزه ای و نیز محدوده دبی های آزمایش شده ، با دقت مناسب قابل قبول می باشد ، ولی تایید آن به عنوان یک استاندارد، نیازمند انجام آزمایشـهای متعدد با شرایط مختلف خواهد بود . در معیار

موردنظر ، x فاصله از نمای بالادست و L طول بند است . K_P ضریب تبدیل فشار هیدروستاتیک به فشار واقعی است .

$$P_{Actual} = K_P P_{Hydrostatic} \tag{9}$$

اگر
$$\frac{x}{L} \le \cdot /$$
 ۲۵: $K_p = \cdot / \lambda \Delta$

$$\cdot/\mathbb{Y}_{\Delta} \prec \frac{x}{L} \prec \cdot/\mathbb{Y}_{:} \qquad K_{P} = \cdot/95$$
 (۱۰)

$$\cdot/\mathbf{V} \leq \frac{\pi}{L} \leq \mathbf{V} : \quad K_p = \mathbf{A} \cdot \mathbf{V}$$



Q=15.0 lit/s -W it hout Suction in Crest
 Q=20.5 lit/s -W it hout Suction in Crest
 Q=29.4 lit/s -W it hout Suction in Crest
Q=34.0 lit/s -W it hout Suction in Crest
Average -W ith out Suct ion in Crest

عکس ۶- تاثیر نفوذ جریان بر تو زیع فشار در روی تاج بند توری سنگی .



$$\frac{dy}{dx} \propto \frac{-S_f + \frac{v_s u_s}{gR} - \frac{2\beta v_s U}{gR}}{(1 - \beta \frac{U^2}{gR} + \frac{u_s^2}{gR})}$$
(17)

 $v_s u_s$

مقایسه تناسب-۱۳ با رابطه-۱ نشان می دهد که شاید عبارت $\frac{1}{gR}$ بتواند تأثیر نفوذ جریان در تغییر افت اصطکاکی را لحاظ نماید یا بعبارتی :

$$-S_f \propto -S_{f(manning)} + \frac{v_s u_s}{gR} \tag{14}$$

جایگذاری این تناسب دررابطه -۱ و مقایسه نتایج به دست آمده از آن با نتایج مدل فیزیکی نشان داد که این تناسب را می توان به تساوی زیر تبدیل نمود و در حصول پروفیل سطح آب از آن استفاده کرد .

$$-S_{f} = -S_{f(manning)} + k_{Suction} \cdot \frac{v_{s}u_{s}}{\sigma R}$$
(12)

به هنگام نفوذ جریان جهت سرعت نفوذ (v_s) از بالا به پایین است و لذا مقدار عددی منفی را به خود اختصاص می دهد و سبب افزایش افت اصطکاکی می شود . رابطه – ۱۶ شکل اصلاح شده رابطه جریان متغیر مکانی است و ملاک عمل برای تعیین پروفیل سطح آب قرار گرفته است .

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_{f(mamning)} + k_{Suction} \cdot \frac{v_s u_s}{gR} - \frac{Q.dQ/dx}{gA^2}}{1 - \frac{Q^2}{gA^2 \cdot D}}$$

$$S_{f(manning)} = \frac{n^2 \cdot U^2}{R^{\frac{4}{3}}}$$
(17)

با حصول نتایج آزمایشگاهی در دبی های ۱۵ تا ۳۵ لیتر در ثانیه ، و



عکس ۸ – آزمایش برای استخراج ضرایب ثابت در رابطه فورش هایمر .





استخراج می شود . نتایج بهدست آمده از حل عددی تدوین شده بر پایه این رابطه ، پروفیلی بدست می دهد که با اختلاف زیادی در زیر پروفیل واقعی ، یعنی پروفیل بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی ، قرار دارد . نمودار شکل -۷ نتیجه مورد ذکر را برای مثالی نمایش می دهد . پررسی های بیشتر نشان دادند که این اختلاف به دلیل نفوذ جریان در سطح تاج بوجود آمده است . نفوذ سبب افزایش زبری هیدرولیکی بستر نسبت به شرایط عدم نفوذ می شود . بنابراین لازم گردید به نحوی این یافته تحقیقاتی به مدل ریاضی اعمال شود تا نتایج تئوری اصلاح گردند . برای این منظور ، تعریف دیگری برای مقدار شیب خط انرژی یافت شید که تاثیر نفوذ را به سیستم اعمال می نماید. حصول این تعریف بدین ترتیب است .

و Chen و ۲۱ (۳) در تحقیق خود رابطه تحلیلی ۱۱ را برای تنش برشی بر سطح محیط متخلخل تحت نفوذ استخراج نمودند .

$$z_b = -\rho g y \frac{dy}{dx} (1 - \beta \frac{U^2}{g y} + \frac{u_s^2}{g y}) - \rho v_s (2\beta U - u_s) \tag{11}$$

مقادیـر u_s و v_s به ترتیب سـرعتهای جریان در جهت x و y بر روی بستر متخلخل می باشند . بنابراین v_s سرعت نفوذ جریان خواهد بود . رابطه فوق به صورت دیگری مرتب می شود .

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-\tau_b + \rho v_s u_s - 2\rho v_s \beta U}{\rho g y (1 - \beta \frac{U^2}{g y} + \frac{u_s^2}{g y})}$$
(17)

از طرفی روشن است که برای جریان یکنواخت ، بین تنش برشی کف و شیب خط انرژی رابطه زیر بر قرار است .

$$\tau_b = \rho g R S_f$$

بنابرایــن می توان برای جریـان غیر یکنواخت تناسـب زیر را معقول دانست .

$$\tau_b \propto \rho g R S_f$$

با جایگذاری T_b در رابطه – ۱۲، آن رابطه به تناسب زیر تغییر داده

۹۰ ، پژوهش و سازندگی www.SID.ir



مقایسه آنها با نتایج مدل عددی ، $k_{suction}$ بدست آمد. $k_{suction} = _{\Delta \cdot}$ و VS و VS از اطلاعات اولین ردیف گر ه های

محاسباتی فوقانی در محیط متخلخل حاصل می شوند .

ج - ضرایب ثابت

ضرایب ثابت در معادله فورش هایم-ر ، $d \in a$ ، تابعی از خصوصیات فیزیکی محیط متخلخل از جمله اندازه دانه ها ، تخلخل و میباشند. تعیین این ضرایب ، با امکانات موجود آزمایشگاهی ، برای جریانی یک بعدی قابل انجام بوده است . بدین ترتیب که ضخامتی از بسته های توری سنگی در مسیر جریان در کانال قرار داده می شود و شیب خط انرژی در محیط متخلخل برای چند دبی مختلف اندازه گیری می گردد سپس با کمک رابطه فورش هایمر ثابتها استخراج می شوند . این ضرایب برای

شــکل (۹) - مقایسه منحنیهای هم فشــار بدست آمده از مدل ریاضی و مدل فیزیکی (فشارها بر حسب متر). الف- مثال (۱) ب- مثال (۲) منحنی خط پر: نتایج حاصل از مدل ریاضی منحنی خطچین: نتایج حاصل از مدل فیزیکی

جریان یک بعدی به گونه زیر حاصل آمده
اند .
$$a = r/\gamma \quad \frac{s}{m} \quad , \quad b = r/\gamma \quad \frac{s^2}{m^2}$$

از آنجایک مجریان عبوری از محیط متخلخل بند جریانی کاملا دو بعدی است لذا فرض برابری مقادیر ثابت در دو جهت افق و عمودی ، سبب شد تا نتیجه مطلوبی از مدل ریاضی حاصل نگردد . از اینرو با عنایت به عدم امکان تعیین آزمایشگاهی ضرایب در فضای دو بعدی ، لاجرم با اجرای مکرر مدل ریاضی به ازای ضرایب ثابت مختلف ، ضرایب مطلوب استخراج شدند . با چنین ضرایبی نتایج مناسبی به ازای گذر دیگر دبی ها نیز حاصل می آید .

$$a_{x} = \frac{1}{1/\Delta} \qquad , \qquad b_{x} = \frac{1}{1/\Delta} \qquad , \qquad b_{x$$

شرايط مرزى

ترکیب معادله های حاکم ، معادله ای با تنها متغیر ارتفاع پیزومتریک (h) در رابطه – Λ نتیجه داده است . از اینرو برای حل جریان ، لازمست مقدار و یا نرخ تغییرات آن در مرزها معین باشد .این ارتفاع پیزومتریک نسبت به سطح مبنای کف کانال در پایین دست اندازه گیری می شود .

مرز بالادست : این مرز یک لایه نفوذ ناپذیربوده و بنابراین تغییر فشار پیزومتریک عمود بر آن برابر صفر است .

$$\frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

پژوهش و سازندگی



شکل (۱۰) - مقایسه پروفیلهای سطح آب بدست آمده از مدل ریاضی و مدل فیزیکی. الف- مثال (۱) ب- مثال (۲) منحنی خط پر: نتایج حاصل از مدل ریاضی منحنی خطچین: نتایج حاصل از مدل فیزیکی

مرز کف : این مرز نیز یک مرز نفوذ ناپذیر است .
$$\frac{\partial h}{\partial y}=0$$

مرز فوقانی (سـطح تاج بند) : با کمک معیار تعریف شده مرز فوقانی (سـطح تاج بند) : با کمک معیار تعریف شده (۱۰) ، از عمق آب در هر مقطع بر روی بند ، فشـار بر سطح تاج نسبت به سطح مبناء L_y تراز سطح تاج نسبت به سطح مبناء $h = P_{Actual} + L_y$

مرز پایین دست : تراز آب در بلافاصله پایین دست بند بالاتر از تراز نظری پایاب قرار دارد مقایسه نتایج مدل ریاضی با برداشت های آزمایشگاهی نشان می دهد که عمق آب پایین دست در بلافاصله از بند شرط مرزی را تعریف می نماید . γ_p تراز گره مورد نظر و $EL_{Tailwater}$ تراز سطح آب پایاب از سطح مبناء است .

روی تراز آب در پایین دست :

 $h = y_P$

زیر تراز آب در پایین دست :

$$h = EL_{Tailwater}$$

سلسله مراتب مدلسازی ریاضی

دو مـدل تعیین پروفیل سـطح آب و آنالیـز جریان در محیط متخلخل توری سنگی در برنامه به یکدیگر کوپل شده و مسـیر سعی و تکرار برای رسیدن به جواب نهایی انجام می شود .خلاصه مسیر حل ریاضی به قرار زیر است .

۱ – ابتدا ، مدل پروفیل فرضی برای سطح آب در نظر
 می گیرد .

۲ – با استفاده از پروفیل فرضی، فشار های پیزومتریک در سطح تاج بدست می آیند و جریان دربدنه توری سنگی آنالیز می شود. نتیجه این آنالیز حصول مشخصه های مولفه های سرعت و ارتفاع پیزومتریک جریان می باشند . در اینجا نکته حائز اهمیت اینست که اگرچه مقادیر C_x در رابطه – ۸ ... ه شکل پارامترهای ثابتی نمایان شده اند ولی واضح است که مقادیرآنها در هر گره از محیط متخلخل وابسته ... به مقادیر مولفه های سرعت در آن گره می باشد از اینرو حل جریان دربدنه توری سنگی نیز با تکرار انجام می شود.

تکرار بدین صورت است که ابتدا مقادیر فرض می گردند ، میدان حل عددی می شود و فشارهای پیزومتریک حاصل میگردند این فشارها مولفه های سرعت را بدست می دهد و با استفاده از آنها جدید حاصل می شود . مسیر فوق تا رسیدن به همگرایی تکرار می گردد .

۳- با استفاده از سرعت های بدست آمده در محیط متخلخل ، مولفه افقی سرعت مریت مرین (v_s) جریان بلافاصله بر روی تاج (u_s) و سرعت نفوذ جریان (v_s) حاصل میشود. مقدار v_s تغییرات دبی در طول تاج ، یعنی $\frac{dQ}{dx}$ ، را بدست می دهد و پروفیل سطح آب مجدداً محاسبه می شود .

۴- از مرحله دوم با داشتن پروفیل سطح آب تجدید شده ، محاسبات تکرار می شده ، ما محاسبات تکرار می شدود تا در نهایت پروفیل در دو تکرار متوالی با دقت قابل قبولی مشابه یکدیگر باشند .

نتايج و بحث

با استفاده از برداشت های آزمایشگاهی ، درک هیدرولیک جریان گذری از روی بستر متخلخل بند ممکن ، و بدنبال آن شرایط در مدل عددی جهت انطباق با واقعیت اصلاح گردید . مدل بند توری سنگی با مشخصاتی که پیشتر ذکر شد مبنای مقایسه مدلهای ریاضی و فیزیکی قرار داده شده است . با عنایت به هدف تحقیق ، که همانا تایید کار مدل ریاضی است ، مشخصات بند و شرایط فیزیکی مصالح سنگریزه ای آن در کلیه آزمایش ها ثابت نگه داشته شده و تنها با برقراری دبی و سطوح آب پایاب مختلف ، شرایط متفاوت آزمایشگاهی در مدل فراهم گردیده است . دو نمونه از مقایسه هایی که صورت گرفته ، انتخاب گردیده و نتایج در قالب نمودارهایی که مقادیر فشار در بدنه و نیز پروفیل سطح آب روی بند را نشان می دهند ، در اینجا آورده شده است . مشخصات این دو نمونه بدین قرار هستند :

مثال (۱) – جریان با دبی ۱۴/۹ لیتر در ثانیه و عمق آب پایاب برابر ۱۴۰ میلیمتر .

مثال (۲) - جریان با دبی ۲۳/۰ لیتر در ثانیه و عمق آب پایاب برابر ۱۶۰ میلیمتر.

شــکل (۹) خطوط هم فشـار و شکل (۱۰) پروفیل های سـطح آب را نمایش می دهند . نیز در شـکل (۱۱) به همراه خطوط هم فشـار ، بردارهای سرعت ظاهری در بدنه متخلخل بند قابل رؤیت هستند . دیده می شود که نتایج بدست آمده از مدل ریاضی با برداشتهای آزمایشگاهی تطابق مناسبی دارند و می توان رای به صحت کار مدل صادر نمود اگرچه تاکید می شود که برای عمومیت بخشیدن به معیارهای ارائه شده در این تحقیق کوشش بیشتری نیاز میباشد .

خلاصه و نتیجه گیری

تحقیق حاضر با بهره گیری از مدل ریاضی تدوین شده توسط مولفین ، می تواند پروفیل سطح آب بر روی بند و مقادیر مولفه های سرعتهای ظاهری و فشارهای پیزومتریک در درون بدنه توری



سنگی بند با مخزن پر از رسوبات ریزدانه را ارائه دهـد . این تحلیل گامی در ورای کارهای گزارش شـده دیگر پژوهشگران می باشـد که بند توری سـنگی سـرریز شـونده با مخزن خالی از رسوب را در نظـر گرفتـه بودند . به همین جهت اسـت که نتایـج مدل ریاضی مورد بحـث در این مقاله میتوانـد برای شـرایط واقعی کاربـردی تر تلقی گردد . انباشته شـدن رسوبات ریز دانه در مخزن بند سـبب می شـود تا اولاً نفوذ جریان به داخل تـاج بند در تمامی طول تاج بر قرار باشـد و ثانیا سـرعت نفوذ نسبت به شـرایط عدم رسوبگذاری بیشـتر شود . نشان داده شد که وجود این نفوذ از سطح تاج سبب می شود تا :

۱ – توزیع فشار نسبت به شرایط عدم نفوذ تغییر یافته و مقدار فشار در سطح تاج کاهش نسبت به آن شرایط بیشتری پیدا می کند. بدیهی است که چنانچه سطح سیال در مسیر حرکت دارای انحناء باشد توزیع فشار از توزیع هیدروستاتیک فاصله می گیرد ولی نشان داده شد که همراه با نفوذ جریان در بدنه متخلخل بند این فاصله بیشتر می شود به گونه ای که تفاوت آن نسبت به توزیع هیدروستاتیک حائز اهمیت می گردد.

۲- افت انرژی (اصطکاکی) جریان افزایش می یابد . لمس فیزیکی این پدیده نیز به آسانی قابل درک است . وجود نفوذ سبب می شود تا حجم آب گذر کرده از روی بند به سطح تاج بیشتر بچسبد وهنگامیکه با چسبندگی بیشتر جرکت می کند اصطکاک بین سیال و سطح زیرین آن افزوده می شود .بدیهی است که این مهم در تعیین جانمایی پروفیل سطح آب باید لحاظ گردد .

۳ شرایط کاملاً دو بعدی برای حرکت جریان در محیط متخلخل بوجود می آید و باعث می شود که نتوان تنها یک جهت ، افق یا عمود ، را بهعنوان جهت غالب حرکت در نظر گرفت . در تحقیق های دیگر همچون تحقیق (۷) که جریان از بدنه بند توری سنگی با مخزنی خالی از رسوب عبور می کند جهت غالبی در امتداد افق برای حرکت سیال می توان تصور نمود و ضرایب فورش هایمر در جهت های x و y را مشابه

> شــکل (۱۱) - منحنیهــای هم فشــار و بردارهای ســرعت ظاهری حاصله از مدل ریاضی (فشارها بر حسب متر). الف- مثال (۱) ب- مثال (۲)



3- Chiew Yee-Meny, Chen Xingwei 2001. Bed shear stress in open channel flow with bed suction, sep. 16-21, XXIX IAHR Congress Proceedings, Beijing – China

4- Chow, V.T. 1973; Open Channel Hydraulics "McGraw-Hill Pub. Co., ISBN 0-07-Y85906-X

5-Huanxiang X., Jianliang L. 1994. Calculation of water depth on the top of cofferdam and the lifting pressure underneath the concreat slabs on downstream slop . I. J. Water Resources Engineering . Vol 2, No : 2, P 45 - 60

6-Joy D.M. 1991. Nonlinear porous media flow : Determination of Parameters for a Coarse Granular Media "13 th Can. Cong. Appl. Mech., Winnipeg, Canada

7-Kells J. A. 1993. Spatially varied flow over rockfill embankment
Can. J. Civ. Eng., Vol 20 P 820 – 827

8-Kells J. A.1993. Analysis of flow through a gabion Dam . Canadian society for civil fngineering annual conference , P 51 -60

9-Townsend Ronald D., Garga Vinod K., Hansen David. 1991; Finite difference modeling of the variation in piezometric head within a rockfill embankment. Can. J. Civ. Eng., Vol 18, P 254-265. دانست . حال آنکه در جریان دو بعدی لزومــا ضرایب فورش هایمر در دو جهت برابر نخواهند بود .

ضميمه: تعريف يارامترها

Α سطح مقطع جريان : a_n, b_n ضرايب فورش هايمر : C_x, C_y ضرایب وابسته به مولفه های ظاهری سرعت: D عمق هيدروليكي: عمق آب در پایاب : $D_{\tau w}$ $EL_{Tailwater}$ تراز سطح آب یاباب : شتاب ثقل: g h ارتفاع پيزومتريک جريان: i_n شیب هیدرولیکی در راستای n K_{p} ضربت تصحيح فشار : L طول بند در امتداد جریان: L_{y} ارتفاع بند از کف کانال در پایین دست : n ضریب زبری مانینگ: \overline{P} فشار : Q دبي جريان : R شعاع هيدروليكي: S_0 شيب كف مجرا : S_{f} شيب خط انرژي : $S_{f(manning)}$ شيب خط انرژي براي جريان يكنواخت : مولفه سرعت ظاهری جریان در محیط متخلخل و در راستای محور a: U Uسرعت متوسط جریان گذری از روی بند : مولفه افقی سرعت جریان بلافاصله بر روی تاج بند : U. v ، مولفه سرعت ظاهری جریان در محیط متخلخل و در راستای محور vسرعت ظاهری جریان در محیط متخلخل : Vمولفه عمودی سرعت یا سرعت نفوذ جریان به داخل محیط متخلخل : $v_{\rm e}$ محور مختصات در جهت افق : х y محور مختصات در جهت عمود : فاصله تا سطح مبنا : y_P ß ضريب تصحيح سرعت در معادله ممنتوم : دانسیته سیال : ρ تنش برشی بر روی محیط متخلخل : τ_{b}

منابع مورد استفاده

1- Bari R. & Hansen D. 2002. Application of gradually varied flow algoritms to simulation buried streams J. Hyd. Res., Vol. 40, No. 6, pp 673-683

2- Bear J. 1975. Dynamics of fluids in porous media. American Elsevier Pub. Co., ISBN 0-444-00 114.

<mark>۹۴</mark> پژوهش و سازندگی www.SID.ir