

شبیه سازی تحلیلی پدیده مسلح شدن بستر رودخانه

مرضیه خضریان^{۱*} - محمد رضا مجد زاده طباطبایی^۲ - سید سعید موسوی ندوشنی^۳

تاریخ دریافت: ۸۸/۱/۵

تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۰/۲۶

چکیده

فرسایش گزینشی ذرات در بستر رودخانه‌های آبرفتی، اغلب منجر به پیدایش لایه‌ای زبر بر روی بستر رودخانه‌های شنی می‌شود. این پدیده اغلب در بازه‌هایی که ورودی رسوبات در بالادست کاهش می‌یابد اتفاق می‌افتد. لایه‌ی زبر سطحی بوجود آمده، لایه مسلح نامیده می‌شود. تشکیل لایه مسلح بر روی بستر رودخانه فرسایش ذرات از بستر را متوقف می‌سازد. در اغلب موارد برای شبیه سازی این پدیده از مدل‌های عددی استفاده می‌شود. کاربرد این مدل‌ها در برخی موارد پیچیده است. در این مقاله مدلی با پایه‌ی تحلیلی گسترش داده شده است. این مدلی یک بعدی و یک لایه است و پارامترهای مختلف موثر در پدیده مسلح شدن را مورد بررسی قرار می‌دهد. در نهایت این مدل قابلیت پیش بینی عمق فرسایش تا رسیدن به لایه مسلح و توزیع دانه بندی لایه مسلح را دارا است. معادلات دیفرانسیل حاکم بر پدیده مسلح شدن به صورت تحلیلی در هر گام زمانی حل شده اند. گام‌های زمانی به قدر کافی کوچک انتخاب شده اند که بتوان معادلات را به صورت تحلیلی برای جریان یکنواخت حل کرد. نتایج پیش بینی شده توسط مدل با نتایج آزمایشگاهی و مدل‌های عددی مقایسه شد. نتایج نشان داد مدل از قابلیت خوبی در شبیه سازی پدیده مسلح شدن برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: مدل تحلیلی، انتقال رسوب، مسلح شدن، عمق فرسایش، دانه بندی

مقدمه

نهایت فرآیند تراز کاهی با شستن مواد ریز از سطح بستر منجر به تجمع مواد زبر روی بستر می‌شود. به تدریج این ذرات لایه‌ای محافظ روی بستر ایجاد می‌کنند که از ادامه روند فرسایش جلوگیری می‌کند. لایه زبر بوجود آمده بر روی بستر لایه مسلح نامیده می‌شود. شرح چگونگی این پدیده، موضوع بسیاری از تحقیق‌های صورت گرفته در مهندسی رودخانه بوده است. لیتل و مایر (۶) سعی کردند شرایط هیدرولیکی و رسوبی را که منجر به گسترش لایه‌های زبر بر روی بستر رودخانه می‌شود مورد بررسی قرار دهند. در مرحله دوم از این تحقیقات دانشمندی چون اگزاروف (۴) اثر آستانه حرکت در انتقال رسوبات غیریکنواخت را مورد بررسی قرار دادند. در گام سوم محققینی چون آشیدا و میچیو (۱) و پروفیت (۷)، ارتباط بین توزیع نهایی اندازه ذرات بستر و دانه بندی اولیه آن را مورد بررسی قرار دادند. در نهایت شبیه سازی فرآیند مسلح سازی به صورت ریاضی توسط محققینی نظیر شن و لو (۸) و بتس فری پان (۲) انجام شد. در شبیه سازی فرآیند مسلح سازی به صورت ریاضی همواره اندرکنش بین تنش‌های برشی اعمالی از سوی جریان، آستانه حرکت رسوبات در مخلوط رسوبی و چگونگی جابه جایی رسوبات در لایه‌های مختلف بستر مورد بررسی قرار می‌گیرد. به این ترتیب با استفاده از معادله

انتقال رسوبات در رودخانه‌های آبرفتی حاصل اندرکنش شرایط هیدرولیکی و خصوصیات بستر می‌باشد. فرسایش گزینشی ذرات در بازه‌ای از رودخانه آبرفتی که ورودی رسوب از بالادست ندارد منجر به کاهش تراز سطح بستر می‌شود. در شرایطی که اندازه ذرات تشکیل دهنده بستر بگونه‌ای باشد که جریان قابلیت حمل اکثریت دانه‌های آن را داشته باشد و این دانه بندی تا عمقی بیشتر از عمق مورد انتظار فرسایش وجود داشته باشد، شسته شدن ذرات منجر به کاهش شیب جریان می‌گردد. این حالت را می‌توان تراز کاهی چرخشی نامید. در صورتی که مواد بستر اولیه حاوی ذرات درشتی باشد که در شروع روند فرسایش جریان توانایی حمل آنها را نداشته باشد، این ذرات بر روی بستر باقی می‌مانند و ذرات ریزتر به تدریج شسته می‌شوند. در این حالت فرسایش ذرات در لایه‌های موازی اتفاق می‌افتد و شیب جریان تغییر نمی‌کند. این حالت را می‌توان تراز کاهی موازی نامید. در

۱، ۲ و ۳ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، استادیار و استادیار دانشگاه صنعت آب و برق، تهران

* - نویسنده مسئول: (Email: marziyeh.khezriyan@gmail.com)

بدست می‌آید:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{h}{u} \frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{q}{u^2} \frac{\partial u}{\partial t} \quad (۳)$$

تغییر عمق جریان در طول فرآیند مسلح شدن ناشی از تغییر تراز سطح بستر در اثر فرسایش است. با فرسایش بستر، تراز سطح بستر کاهش پیدا کرده و این مسئله منجر به افزایش عمق جریان می‌شود. با توجه به فرض اولیه یکنواختی شرایط جریان، مقدار کاهش تراز سطح بستر همان افزایش عمق جریان است. بنابراین داریم:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{\partial Z_b}{\partial t} \quad (۴)$$

که در آن:

$$Z_b: \text{تراز سطح بستر } (m)$$

اگر فرض کنیم ترازگاهی در لایه‌های موازی صورت می‌گیرد معادله (۲) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{u}{h} \frac{\partial Z_b}{\partial t} \quad (۵)$$

معادله پیوستگی رسوب

حال لازم است معادله پیوستگی رسوب برای بازه فوق نوشته شود. برای نوشتن معادله پیوستگی لازم است شکل قرارگیری لایه‌های بستر و چگونگی مبادله رسوبات بین این لایه‌ها و جریان مشخص شود. برای این منظور سیستمی مانند شکل ۲ در نظر گرفته شده است. این سیستم برای لایه بندی بستر نخستین بار توسط هیرانو (۵) معرفی شد. بعدها محققین دیگری این تئوری را گسترش دادند.

در شکل ۲ داریم:

$$q_{bi}: \text{نرخ انتقال رسوب مربوط به کلاس } i \text{ ام } (m^3 / s.m)$$

p_i : در صد حجمی ذرات کلاس i ام موجود در بستر اصلی (لایه غیرفعال)

$$m_i: \text{در صد حجمی ذرات کلاس } i \text{ ام موجود در لایه فعال}$$

φ_{pi} : جریان عمودی رسوبات کلاس i ام بین لایه غیر فعال

$$\text{و فعال } (m^3 / s.m^2)$$

φ_{mi} : جریان عمودی رسوبات کلاس i ام بین لایه فعال و

$$\text{جریان } (m^3 / s.m^2)$$

$$L_a: \text{ضخامت لایه فعال}$$

و سایر پارامترها قبلاً" تعریف شده‌اند.

معادله پیوستگی رسوب یا همان بقای جرم رسوبات برای حجم

پیوستگی جریان و پیوستگی رسوب، سیستمی از معادلات به دست می‌آید که اغلب با روش‌های عددی مختلف حل می‌شود. در این مقاله هدف آن است که به جای استفاده از حل‌های عددی مرسوم برای این سیستم معادلات از یک حل تحلیلی استفاده شود. به این ترتیب مدلی تحلیلی ارائه می‌شود که قابلیت پیش بینی تراز سطح و دانه بندی بستر را در هر زمان از شروع پدیده مسلح سازی دارد. مدل ارائه شده قابلیت کاربرد در مواردی را دارد که ترازگاهی به صورت موازی انجام شود.

توسعه مدل

تئوری حاکم بر مدل

برای بررسی پدیده مسلح شدن بازه‌ای با طول L از رودخانه انتخاب شده است. این بازه در مسیر خود مستقیم است. با فرض ثابت بودن دبی در طول فرآیند مسلح شدن، مشخصات هیدرولیکی در طول این بازه ثابت خواهد بود. بازه انتخابی در شکل (۱) نشان داده شده است.

معادلات حاکم بر پدیده مسلح شدن شامل معادلات ممنتوم و پیوستگی جریان، پیوستگی رسوب و معادلات انتقال رسوب هستند. این معادلات برای حجم کنترل بازه فوق نوشته خواهند شد. با توجه به ثابت بودن دبی در طول فرآیند و یکنواختی شکل بازه، مشخصات هیدرولیکی در طول آن یکنواخت‌اند، بنابراین نیازی به استفاده از معادله ممنتوم نیست. سایر معادلات به ترتیب برای بازه فوق نوشته خواهند شد. از آن جایی که مدل یک بعدی است، معادلات برای واحد عرض مدل نوشته خواهند شد.

معادلات حاکم

معادله پیوستگی جریان

معادله پیوستگی جریان برای بازه فوق به شکل زیر نوشته خواهد شد:

$$q = \text{const} = u \times h \quad (۱)$$

که در آن:

$$q: \text{دبی در واحد عرض حجم کنترل } (m^3 / s.m)$$

$$u: \text{سرعت جریان } (m)$$

$$h: \text{عمق جریان } (m)$$

با توجه به ثابت بودن دبی مشتق زمانی معادله فوق به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial t} \cdot h + \frac{\partial h}{\partial t} \cdot u = 0 \quad (۲)$$

تغییرات زمانی عمق جریان با توجه به معادله فوق به صورت زیر

که در آن :

λ : تخلخل لایه فعال بستر

سایر پارامترها قبلاً " تعریف شده‌اند.

در رابطه فوق پارامتر $\frac{\partial m_i}{\partial t}$ بیان گر تغییرات درصد حجمی

کلاس i ام از رسوبات است. با توجه به اصل بقای جرم، حجم رسوبات شسته شده از لایه فعال توسط رسوباتی از لایه غیر فعال جایگزین می‌شود. بنابراین می‌توان نوشت:

$$\varphi_{pi} = -\lambda p_i \frac{\partial Z_b}{\partial t} \quad (۹)$$

کنترل نشان داده شده در شکل (۱) و برای سیستم لایه بندی نشان داده شده در شکل (۲) ، به صورت جداگانه برای کلاس‌های مختلف رسوبات نوشته می‌شود.

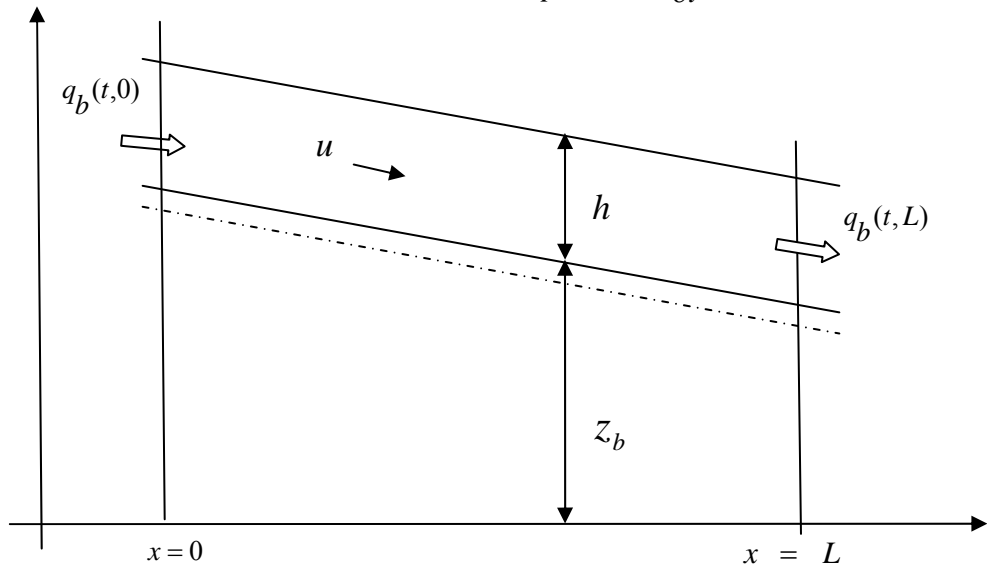
$$\frac{\partial q_{bi}}{\partial x} - \varphi_{mi} = 0 \quad (۶)$$

در صورتی که معادله فوق برای N کلاس مختلف جمع بسته شود داریم:

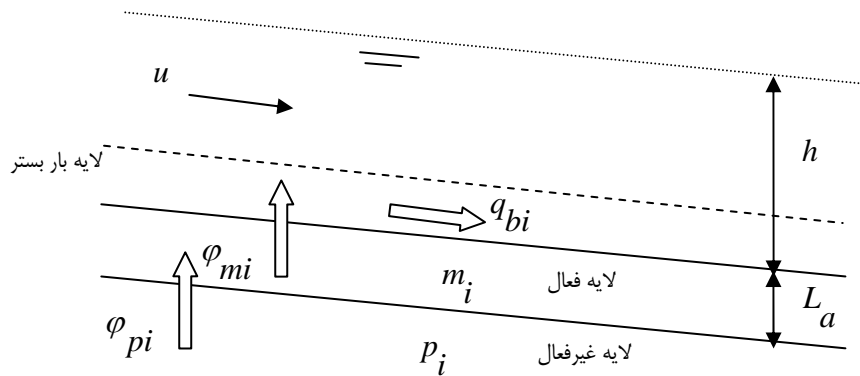
$$\sum_{i=1}^N \frac{\partial q_{bi}}{\partial x} - \sum_{i=1}^N \varphi_{bi} = 0 \quad (۷)$$

اگر معادله پیوستگی را برای لایه فعال بستر بنویسیم داریم :

$$\varphi_{mi} - \varphi_{pi} + \lambda L \frac{\partial m_i}{\partial t} = 0 \quad (۸)$$



(شکل ۱) - بازه در نظر گرفته شده برای ارائه مدل



(شکل ۲) - چگونگی تعریف لایه‌های مختلف بستر در مدل

معادله انتقال رسوب

اگر فرض کنیم مقدار بار بستر انتقالی توسط جریان تابع پارامترهای سرعت جریان، و دانه بندی بستر است می توان با تعریف D_{mp} به عنوان نماینده ذرات لایه فعال و به صورت

$$D_{mp} = \sum_{i=1}^N D_i \times m_i \quad \text{نوشت:}$$

$$q_{bi} = f(u, m_i, D_i, D_{mp}) \quad (17)$$

به این ترتیب تغییرات مقدار بار بستر را می توان به صورت زیر نمایش داد:

$$\frac{\partial q_{bi}(t, L)}{\partial t} = \frac{\partial q_{bi}}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial q_{bi}}{\partial m_i} \frac{\partial m_i}{\partial t} + \frac{\partial q_{bi}}{\partial D_{mp}} \sum_{j=1}^N D_j \frac{\partial m_j}{\partial t} \quad (18)$$

با جمع بستن معادله فوق برای N کلاس ذرات داریم:

$$\frac{\partial q_b(t, L)}{\partial t} = u \psi \frac{\partial Z_b}{\partial t} + \sum_{i=1}^N \xi_i \frac{\partial m_i}{\partial t} \quad (19)$$

$$\xi_i = \frac{\partial q_{bi}}{\partial m_i} - \frac{\partial q_{bN}}{\partial m_N} + (D_i - D_N) \sum_{j=1}^N \frac{\partial q_{bj}}{\partial D_{mp}}$$

$$\psi = \frac{1}{h} \sum_{i=1}^N \frac{\partial q_{bi}}{\partial u}$$

حل دستگاه معادلات

معادلات (۱۵)، (۱۶) و (۱۹) تشکیل سیستمی از $N + 2$ معادله و $N + 2$ مجهول را می دهند. مجهولات شامل درصد های حجمی رسوبات موجود در بستر (m_i ها برای N کلاس مختلف)، تراز سطح بستر (Z_b) و مقدار بار بستر خروجی از بازه (q_b) هستند.

$$\frac{\partial^2 z_b}{\partial t^2} + \left[\frac{u \psi L_a + \sum_{i=1}^N m_i (P_{Ti} - P_{oi})}{p_{pi} LL_a} \right] \frac{\partial z_b}{\partial t} = 0 \quad (20)$$

با حل معادله دیفرانسیل فوق تراز بستر در هر لحظه بدست خواهد آمد.

برای حل معادله فوق دو شرط اولیه زیر در نظر گرفته می شود:

$$t = 0 \quad \frac{\partial z_b}{\partial t} = \frac{q_b(0, L)}{p_o L} \quad t = 0 \quad z_b(0) = 0 \quad (21)$$

به این ترتیب معادله (۲۰) به صورت زیر حل خواهد شد:

$$z_b(t) = \frac{q_b(0, L)}{uL} \left(\exp \left[\frac{-u \lambda t}{p_o L} \right] - 1 \right) \quad (22)$$

با توجه به اینکه $\sum_{i=1}^N m_i = 1$ و $\sum_{i=1}^N p_i = 1$ است، با جمع بستن معادلات (۹) و (۸) و برای N کلاس مختلف ذرات خواهیم داشت:

$$\sum_{i=1}^N \varphi_{mi} + \lambda \frac{\partial Z_b}{\partial t} = 0 \quad (10)$$

برای لایه ای که بار بستر در آن جریان دارد داریم:

$$t_i = \frac{q_{bi}(t, L)}{\sum_{i=1}^N q_{bi}(t, L)} \quad (11)$$

که در آن:

t_i : درصد حجمی مربوط به کلاس i ام در بار بستر

اگر فرض شود: $\bar{\varphi}_{mi} = \frac{q_{bi}(t, L)}{L}$ که در آن، $\bar{\varphi}_{mi}$ ،

میانگین درصد حجمی رسوبات مبادله شده بین لایه فعال و جریان در کلاس i ام است، معادله (۶) را می توان به صورت زیر نوشت:

$$q_{bi}(t, L) = t_i \sum_{i=1}^N q_{bi}(t, L) \quad (12)$$

به این ترتیب می توان نوشت:

$$\bar{\varphi}_{mi} = \frac{t_i \sum_{i=1}^N q_{bi}(t, L)}{L} = t_i \sum_{i=1}^N \varphi_{mi} \quad (13)$$

با توجه به معادله (۱۰) و (۱۱) معادله (۱۳) بدست می آید:

$$\bar{\varphi}_{mi} = -t_i \lambda \frac{\partial Z_b}{\partial t} \quad (14)$$

با جمع بستن معادله (۱۴) برای N کلاس مختلف و با استفاده

از معادله (۷) و با تعریف $q_b(t, L) = \sum_{i=1}^N q_{bi}(t, L)$ می توان

معادله زیر را بدست آورد:

$$\frac{q_b(t, L)}{L} = \lambda \frac{\partial Z_b}{\partial t} \quad (15)$$

در نهایت با ترکیب معادلات (۹) و (۱۵) معادله (۱۶) بدست می آید:

$$(p_i - t_i) \frac{\partial Z_b}{\partial t} + L_a \frac{\partial m_i}{\partial t} = 0 \quad (16)$$

به این ترتیب، حاصل نوشتن معادله پیوستگی رسوب برای حجم کنترل شکل (۲) معادلات (۱۴)، (۱۵) و (۱۶) هستند.

مقادیر $\tau_{*cr} = 0.03$ ، $k = 13.3$ و $r = -0.7$ بهترین مقادیر برای استفاده در فرمول (۱۶) هستند. معادله (۱۳) نشان می‌دهد مقدار L_a پارامتری تعیین کننده در نرخ تراز کاهی بستر و شرایط تعادل نهایی بستر دارد. ضخامت بیشتر این لایه سبب افزایش نرخ زبرشدگی و افزایش عمق فرسایش می‌شود. کالیبراسیون نتایج با آزمایشات چین و همکاران (۳) نشان می‌دهد ضخامت لایه فعال از مرتبه D_{mp} است. برای مخلوط شماره ۱ از این آزمایشات مقادیر عمق فرسایش در طول فرآیند مسلح شدن برداشت شده است. این مقادیر با مقادیر پیش بینی شده توسط مدل در شکل (۵) مقایسه شده است. نتایج بدست آمده توسط مدل برای عمق نهایی فرسایش در شکل زیر با جواب‌های بدست آمده از مدل GSTAR نیز مقایسه شده است.

مرجع

مقایسه دو نمودار فوق نیز بیان گر نزدیکی جواب‌های مدل و آزمایشگاه و اختلاف اندک آن‌ها با جواب‌های GSTAR است. به منظور بررسی توانایی مدل در پیش بینی دانه‌بندی لایه مسلح، نمودارهای دانه‌بندی بدست آمده توسط مدل برای مخلوط‌های مختلف با نمودارهای دانه‌بندی بدست آمده از نرم افزار مرجع GSTAR و مقادیر مشاهده شده در آزمایشگاه مقایسه شده است.

مقایسه مقادیر D_{mp} لایه مسلح محاسبه شده توسط مدل و GSTAR در شکل (۸) قابل مشاهده است.

در منحنی فوق مشاهده می‌شود به ازای مقادیر کوچک تر D_{mp} اختلاف نتایج مدل با GSTAR کمتر است. علت اختلاف نتایج مدل و GSTAR، بکار بردن تابع پناه‌گیری در معادله بار بستر بکار رفته در مدل است. در مقادیر بزرگتر D_{mp} تابع پناه‌گیری تأثیر بیشتری روی نتایج می‌گذارد. تغییرات D_{mp} را در مقابل تنش برشی وارد بر بستر در شکل (۹) رسم شده است. در این شکل نیز تفاوت نتایج مدل و GSTAR برای D_{mp} های بزرگتر بیشتر است.

$$\lambda = \psi + \frac{y}{L_a} \sum_{i=1}^N \frac{m_i (p_{Ti} - p_{oi})}{uy}$$

با قرار دادن حل تحلیلی معادله (۲۲) در معادله (۱۶) تغییرات در دانه بندی ذرات به صورت زیر بدست می‌آید:

$$p_{pi}(t) = p_{pi}(0) + (p_{Ti} - p_{oi}) \frac{z_b(t)}{L_a} \quad (23)$$

به این ترتیب می‌توان درصد حجمی ذرات با اندازه D_i را در لایه فعال بستر در هر زمان بدست آورد.

الگوریتم محاسباتی مدل

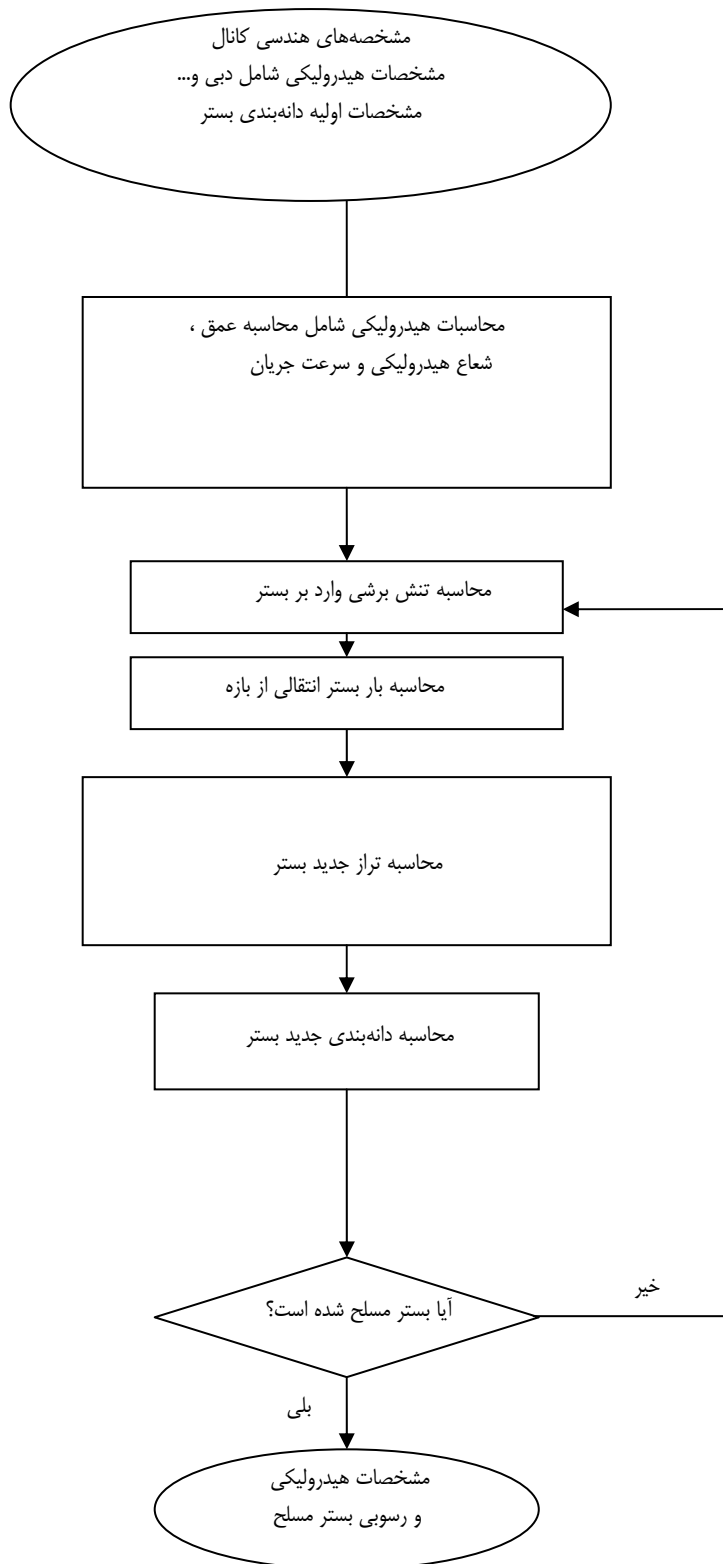
برای مدل فوق الگوریتمی نوشته شده است. این الگوریتم در شکل ۳ نمایش داده شده است.

واسنجی مدل و بررسی نتایج حاصله

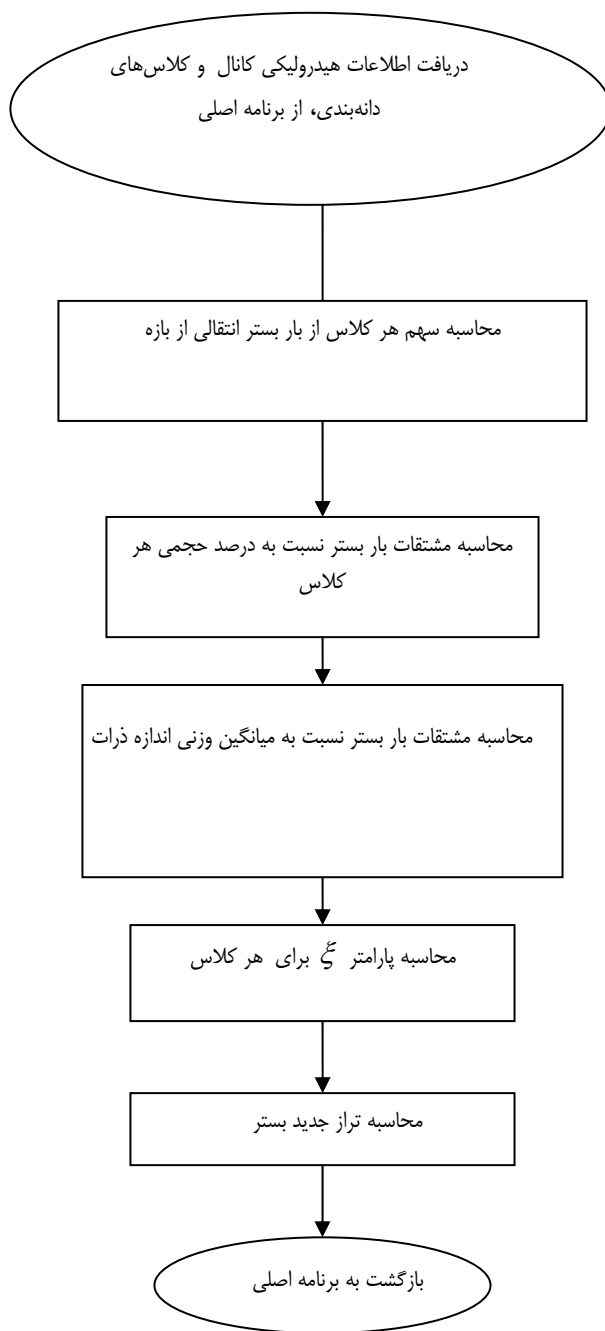
چین و همکاران (۳) آزمایش هایی را بر روی پدیده مسلح سازی انجام داد که تا حدود زیادی گستره اطلاعات آزمایشگاهی موجود در این باره را گسترش داد. در این مقاله برای واسنجی مدل و بررسی نتایج از داده‌های آزمایشگاهی چین و همکاران (۳) استفاده شده است. این آزمایشات را چین و همکاران (۳) در فلومی به طول ۱۹ متر و عرض ۰/۴۵ متر بر روی ۱۱ مخلوط رسوبی با دانه بندی‌های مختلف انجام داد. برای هر کدام از مخلوط ها بین ۳ تا ۶ آزمایش با تنش‌های برشی مختلف انجام شده است. قطر ذرات موجود در مخلوط‌های رسوبی بین ۰/۱۵ تا ۳۷/۵ میلی متر تغییر می‌کند. لازم به ذکر است نمونه برداری چین و همکاران (۳) از بستر مسلح به صورت سطحی انجام شده است در حالی که مدل ارائه شده درصدهای حجمی ذرات را بدست می‌دهد. با بررسی لایه‌های مسلح رابطه زیر برای تبدیل نمونه‌های سطحی به حجمی بدست آمده است.

$$p_{(v-v)i} = c p_{(a-v)i} D_i^x \quad (16)$$

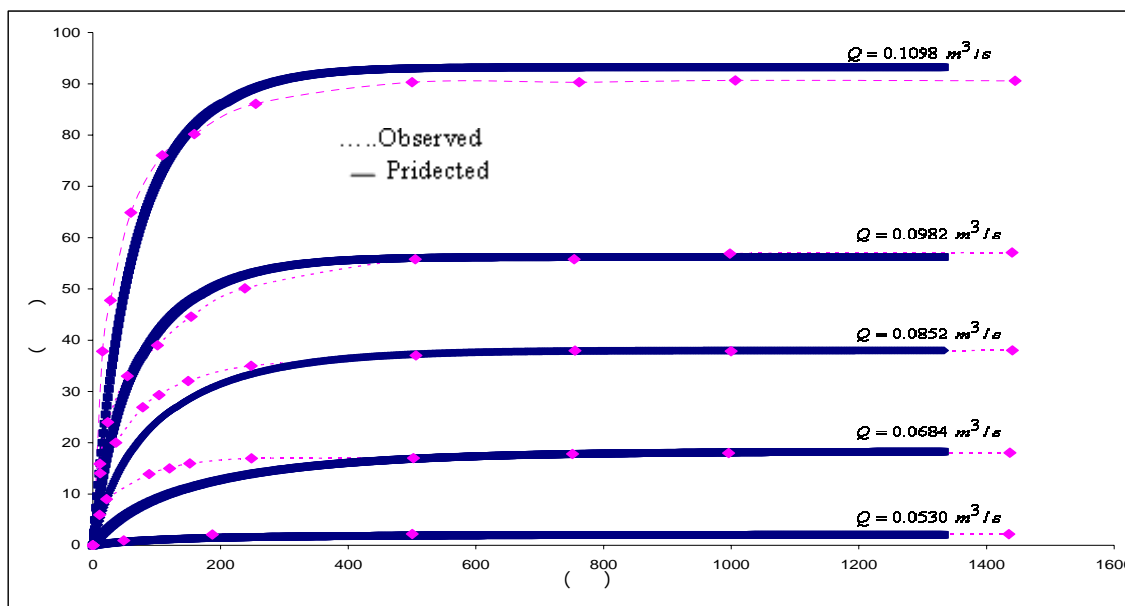
در این رابطه $p_{(a-v)i}$ و $p_{(v-v)i}$ درصد ذرات با اندازه قطر D_i به ترتیب در نمونه‌های حجمی و سطحی هستند. c مقداری است ثابت و توان x همواره به ۰/۵ - نزدیک است (با تغییر ± 0.05). واسنجی مدل نشان داد که



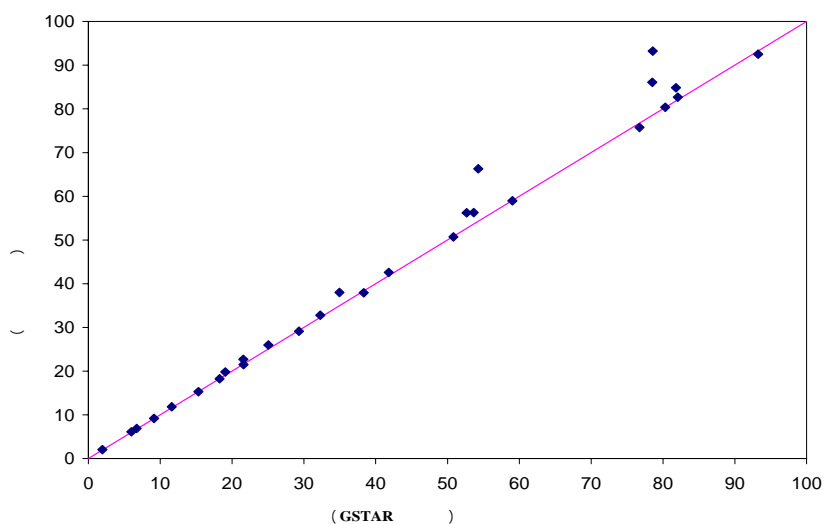
(شکل ۳) - روندنمای برنامه اصلی



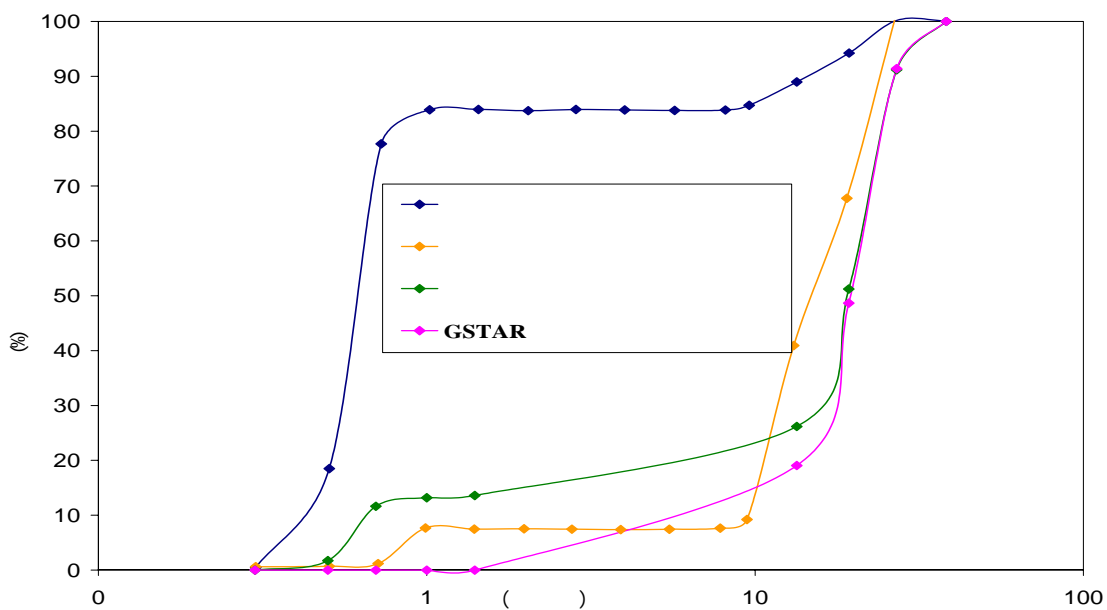
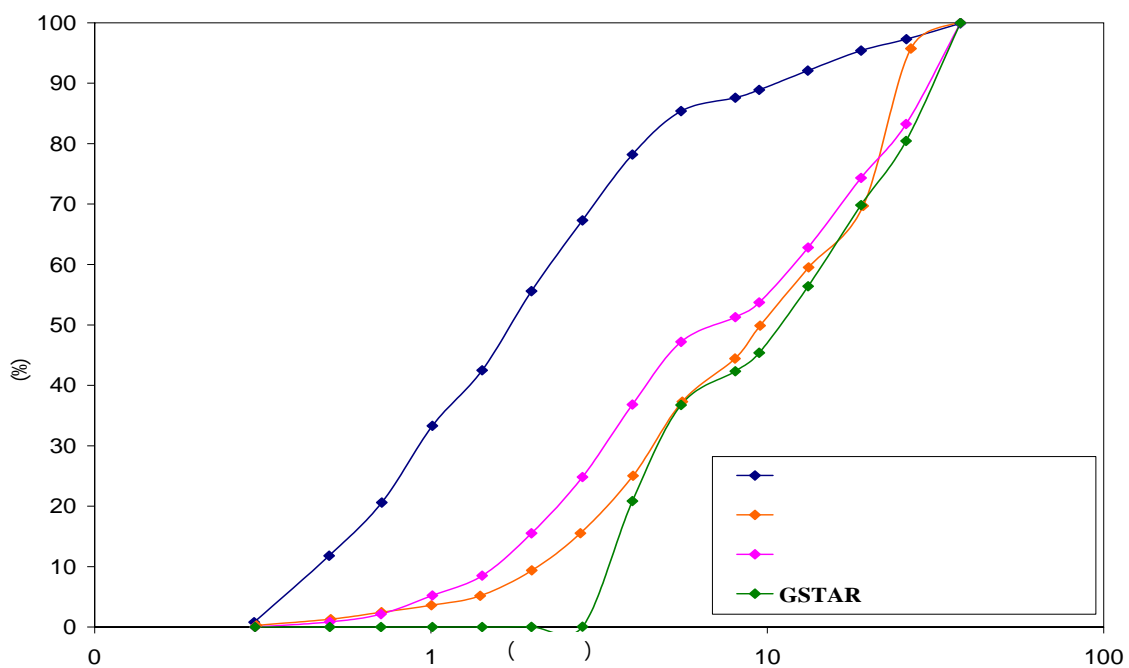
(شکل ۴) - روندنمای زیر برنامه محاسبه تراز بستر



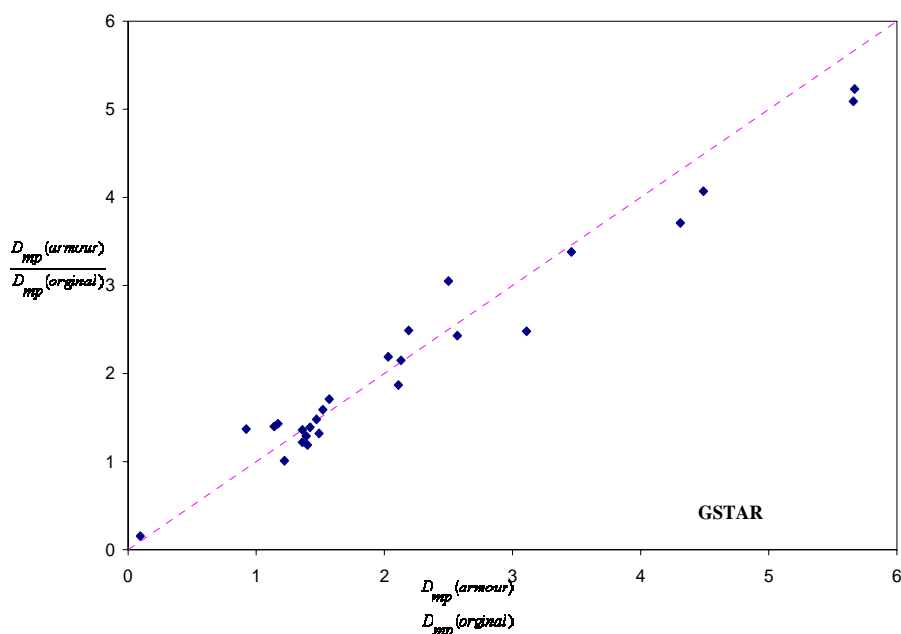
شکل ۵-مقایسه مقادیر تغییرات تراز بستر بدست آمده از مدل و مقادیر مشاهداتی



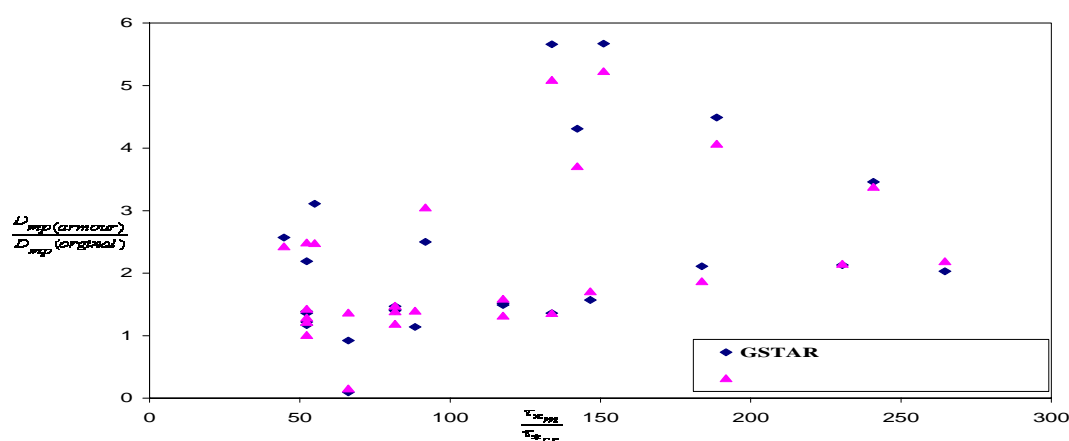
شکل ۶-مقایسه عمق‌های نهایی فرسایش محاسبه شده توسط مدل و مقادیر محاسبه شده توسط GSTAR



(شکل ۷) - بررسی چگونگی انطباق لایه مسلح محاسبه شده توسط مدل و GSTAR



(شکل ۸) - مقایسه مقادیر D_{mp} محاسبه شده توسط مدل و GSTAR



(شکل ۹) - بررسی تغییرات D_{mp} (میانگین وزنی قطر دانه‌ها) در لایه مسلح با تنش برشی وارد بر بستر

نتیجه گیری

- ۱- در نهایت می‌توان حاصل کار را به صورت زیر خلاصه کرد:
- ۲- مدل توسعه داده شده، حاصل حل تحلیلی معادلات جریان و رسوب به طور همزمان است. در این مدل حل تحلیلی معادلات در گام‌های زمانی کوتاه، جایگزین گسسته سازی معادلات دیفرانسیل شده است. برای استفاده از مدل، الگوریتمی ارائه شده و در نهایت برنامه کامپیوتری به زبان Fortran برای این الگوریتم نوشته شده است. مدل توسعه داده شده قابلیت محاسبه

- تغییرات تراز بستر، دانه‌بندی، شیب بستر و شعاع هیدرولیکی را در حین گسترش لایه مسلح دارا است.
- ۳- با وجود ساده سازی‌های انجام شده در روند حل معادلات جواب‌های قبل قبولی از مدل مزبور بدست آمده است. بدین ترتیب می‌توان به قابلیت مدل در شبیه‌سازی فرآیند مسلح شدن بستر رودخانه و پیش‌بینی عمق فرسایش و تغییرات دانه‌بندی بستر در طول این فرآیند، اعتماد نمود.
- ۴- بررسی جواب‌های محاسبه شده توسط مدل نشان داد، این جواب‌ها به مقادیر مشاهده شده در آزمایشگاه بسیار نزدیک

مقدار D_{mp} و افزایش مقدار تابع پناه گیری اختلاف نتایج حاصل از مدل و GSTAR بیشتر می شود. از دیگر دلایل اختلاف نتایج مدل و نرم افزار GSTAR می توان به این نکته اشاره نمود که در نرم افزار GSTAR ضخامت لایه فعال بستر، ضریبی از میانگین هندسی اندازه ذرات درشت ترین کلاس دانه بندی است. در مدل ارائه شده ضخامت این لایه ضریبی از اندازه D_{mp} یا میانگین وزنی اندازه ذرات بستر، در نظر گرفته شده است. نزدیکی جواب های مدل به مقادیر آزمایشگاهی و اختلاف جواب های GSTAR با این مقادیر بیان گر این نکته است که در نظر گرفتن ضخامت لایه فعال به عنوان ضریبی از D_{mp} به واقعیت نزدیک تر است.

هستند. با این وجود تفاوت های اندکی با مقادیر محاسبه شده توسط نرم افزار مرجع GSTAR دارند. علت این اختلاف بکار بردن تابع پناه گیری در معادله بار بستر بکار رفته در مدل است. استفاده از تابع پناه گیری در مدل باعث شده است جواب های مدل تا حد زیادی با نتایج آزمایشگاهی همخوانی داشته باشند. جواب های محاسبه شده توسط GSTAR به دلیل عدم اصلاح رابطه بار بستر با تابع پناه گیری تا حدی از جواب های آزمایشگاهی فاصله گرفته اند. بدین ترتیب می توان عدم کاربرد تابع پناه گیری را علت اختلاف نتایج محاسبه شده توسط GSTAR و نتایج آزمایشگاهی دانست. اختلاف نتایج محاسبه شده توسط مدل و GSTAR نیز به همین دلیل است.

۵- در مقادیر بیشتر تنش های برشی با توجه به افزایش

منابع

- 1- Ashida K., and Michiue M. 1971. An investigation of river bed degradation downstream of a dam. Proc.14th IAHR Congress, 3, 247-256.
- 2- Bettis R., and Frangipane A. 2003. A one-layer model to predict the time development of static armour. J. Hydr. Research. Vol.41, No.2, pp.179-194
- 3- Chin C.O., Melville B.W. and Raudkivi A.J. 1994. Stream bed armouring, J. of Hydr. Eng., ASCE, Vol. 120, No .8, pp. 899-918.
- 4- Egiazarof P.I. 1965. Calculation of non-uniform sediment concentrations.Proc.Am.Soc.Civ.Engrs, J .Hydraulics Div.,91(HY4).225-247.
- 5- Hirano M. 1971. River bed degradation with armouring, Trans. of JSCE, Vol.3 Part 2, pp194-195Div., ASCE, vol. 102, pp. 164-1660.
- 6- Little W.C. and Mayer P.G. 1976. Stability of channel beds by armouring. J.of the Hydr.
- 7- Proffit G.T. 1980. Selective transport and armouring of non-uniform alluvial sediments, Res. Rept. 80-22, Dept. Civil Eng., University of Canterbury, NZ, 203pp.
- 8- Shen H.W., and Lu J.Y. 1983.Development and prediction of bed Armouring. J. Hydr. Engrg., ASCE, 109(4), 611-629.



Simulation of armouring process in river bed

M. Khezriyan^{1*} - M.R. Majdzadeh Tabatabai² - S.S. Mosavi Nadushani³

Abstract

The concept of armouring is used to discuss the coarse surface layer in rivers. Selective erosion in an alluvial channel reach for which there is no upstream sediment supply can lead to formation of a layer coarser than the under laying material. This phenomenon inhibits sediment transport from the reach. Numerical modeling of armouring river bed, provides an approach to simulation of this phenomenon, however, these models are complicated in application. In addition, discretisation errors, affect the solution. Herein this paper, an analytical-based model has been developed; it is a simple one layer, 1-D, model to analysis different parameters in development of an armour layer, to predict depth of erosion and bed gradation curve of an armour bed. Differential equations describing armouring process, have been solved analytically, for each time step. The time steps are selected small enough to solve the equations analytically, for uniform flow, by avoiding discretisation errors. Predicted results are then compared by experimental data and numerical model results. This has shown reasonable validation of the model.

Keywords: Analytical model, Sediment transport, Armouring, Depth of erosion, Grain sizes

1,2,3- A Contribution from University of Water and Electronic Industries
(* - Corresponding author Email: marziyeh.khezriyan@gmail.com)