Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 1, Mar- Apr 2010, p. 63-74

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۴، شماره ۱، فروردین - اردیبهشت ۱۳۸۹، ص. ۷۴-۶۳

شبیه سازی تحلیلی پدیده مسلح شدن بستر رودخانه

مرضیه خضریان[1*] – محمد رضا مجد زاده طباطبایی[2] – سید سعید موسوی ندوشنی[3]

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 بازه هایی 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 مدل ها 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

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 ترازکاهی چرخشی نامید. درصورتی 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 وذرات ریزتر به تدریج شسته می‌شوند. در این حالت فرسایش ذرات در لایه‌های موازی اتفاق می‌افتد و شیب جریان تغییر نمی کند. این حالت را می‌توان ترازکاهی موازی نامید. در نهایت فرآیند ترازکاهی با شستن مواد ریز از سطح بستر منجر به تجمع مواد زبر روی بسترمی شود. 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 دانشمندانی 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

۱، ۲ و۳ – به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، استادیار و استادیار دانشگاه صنعت آب و برق، تهران
(* - نویسنده مسئول: Email: marziyeh.khezriyan@gmail.com)

پیوستگی جریان و پیوستگی رسوب ، سیستمی از معادلات بـه دسـت 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 تـراز سـطح و دانـه بنـدی بستر را در هر زمان از شروع پدیده مسلح سازی دارد .مدل ارائه شـده قابلیت کاربرد در مواردی را دارد که ترازکاهی به صورت موازی انجام شود.

توسعه مدل

تئوری حاکم بر مدل

برای بررسی پدیده مسلح شدن بـازه‌ای بـا طـول L از رودخانـه 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 شـکل (۱) نشـان داده شـده است.

معادلات حاکم بر پدیده مسلح شـدن شـامل معـادلات ممنتـوم و پیوستگی جریان ، پیوستگی رسوب ومعادلات انتقال رسـوب هسـتند. این معادلات برای حجم کنترل بازه فوق نوشته خواهند شد. بـا توجـه به ثابت بودن دبی در طول فرآیند و یکنواختی شکل بازه، مشخصـات هیدرولیکی در طول آن یکنواختـانـد، بنـابراین نیـازی بـه اسـتفاده از معادله ممنتوم نیست. سایر معادلات به ترتیب برای بازه فـوق نوشـته 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 خواهـد شد:

$$q = cons\tan t = u \times h \qquad (۱)$$

که در آن :

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

u : سرعت جریان (m)

h: عمق جریان (m)

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

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

تغییرات زمانی عمق جریان با توجه به معادله فوق به صورت زیـر بدست می‌آید:

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

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

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

که در آن :

Z_b : تراز سطح بستر (m)

اگر فرض کنیم ترازکاهی در لایه‌های مـوازی صـورت مـی‌گیـرد معادله (۲) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

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

معادله پیوستگی رسوب

حال لازم است معادله پیوستگی رسوب بـرای بـازه فـوق نوشـته شود. بـرای نوشـتن معادلـه پیوسـتگی لازم اسـت شـکل قرارگیـری لایه‌های بستر و چگونگی مبادله رسوبات بین ایـن لایـه‌هـا و جریـان مشخص شود. برای این منظور سیستمی مانند شکل ۲ در نظر گرفتـه شده است. این سیستم برای لایـه بنـدی بسـتر نخسـتین بـار توسـط هیرانو (۵) معرفی شد. بعدها محققین دیگری این تئـوری را گسـترش دادند.

در شکل ۲ داریم :

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

p_i : در صـد حجمـی ذرات کـلاس i ام موجـود در بسـتر اصلی(لایه غیرفعال)

m_i: درصد حجمی ذرات کلاس i ام موجود در لایه فعال

φ_{pi} : جریان عمودی رسوبات کلاس i ام بین لایه غیر فعـال و فعال $(m^3 / s.m^2)$

φ_{mi} : جریان عمودی رسوبات کلاس i ام بین لایـه فعـال و جریان $(m^3 / s.m^2)$

L_a: ضخامت لایه فعال

و سایر پارامترها قبلا" تعریف شده‌اند.

معادله پیوستگی رسوب یا همان بقای جرم رسوبات برای حجـم

کنترل نشان داده شده در شکل(۱) و برای سیستم لایه بندی نشـان داده شـده در شـکل (۲) ، بـه صـورت جداگانـه بـرای کلاس‌های مختلف رسوبات نوشته می‌شود.

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

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

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

اگر معادله پیوستگی را برای لایه فعال بستر بنویسیم داریم :

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

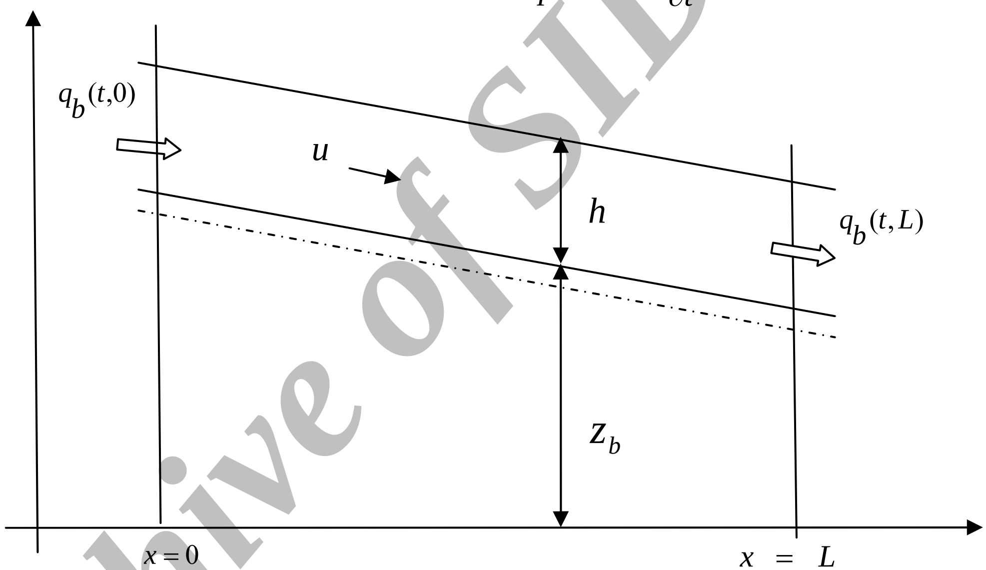
که در آن :

λ: تخلخل لایه فعال بستر

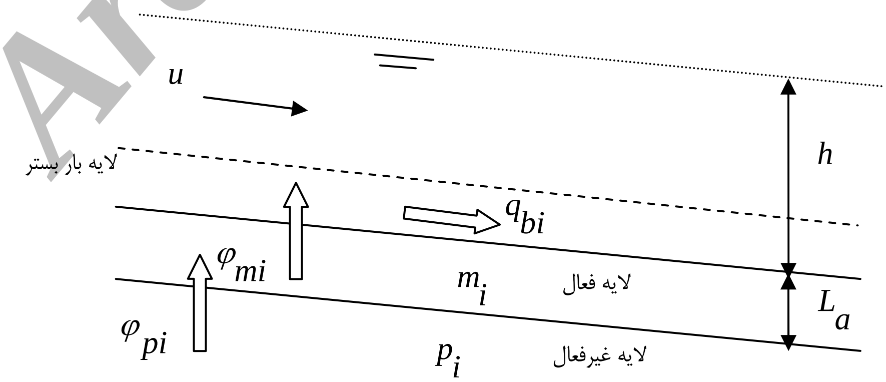
سایر پارامترها قبلا" تعریف شده‌اند.

در رابطه فوق پـارامتر $\frac{\partial m_i}{\partial t}$ بیـان‌گـر تغییـرات درصـد حجمـی 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:

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



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



(شکل۲)- چگونگی تعریف لایه‌های مختلف بستر در مدل

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

$$\sum_{i=1}^{N}\varphi_{mi} + \lambda\frac{\partial Z_b}{\partial t} = 0 \qquad (۱۰)$$

برای لایه‌ای که بار بستر در آن جریان دارد داریم:

$$t_i = \frac{q_{bi}(t,L)}{\sum_{i=1}^{N} q_{bi}(t,L)} \qquad (۱۱)$$

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 می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$q_{bi}(t,L) = t_i \sum_{i=1}^{N} q_{bi}(t,L) \qquad (۱۲)$$

به این ترتیب می‌توان نوشت :

$$\bar{\varphi}_{mi} = \frac{t_i \sum_{i=1}^{N} q_{bi}(t,L)}{L} = t_i \sum_{i=1}^{N} \varphi_{mi} \qquad (۱۳)$$

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

$$\bar{\varphi}_{mi} = -t_i \lambda \frac{\partial Z_b}{\partial t} \qquad (۱۴)$$

با جمع بستن معادله (۱۴) برای N کلاس مختلف و با استفاده از معادله (۷) و با تعریف $q_b(t,L) = \sum_{i=1}^{N} q_{bi}(t,L)$ می‌توان معادله زیر را بدست آورد:

$$\frac{q_b(t,L)}{L} = \lambda \frac{\partial Z_b}{\partial t} \qquad (۱۵)$$

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

$$(p_i - t_i)\frac{\partial Z_b}{\partial t} + L_a \frac{\partial m_i}{\partial t} = 0 \qquad (۱۶)$$

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

معادله انتقال رسوب

اگر فرض کنیم مقدار بار بستر انتقالی توسط جریان تابع پارامترهای سرعت جریان، و دانه‌بندی بستر است می‌توان با تعریف D_{mp} به عنوان نماینده ذرات لایه فعال و به صورت $D_{mp} = \sum_{i=1}^{N} D_i \times m_i$ نوشت:

$$q_{bi} = f(u, m_i, D_i, D_{mp}) \qquad (۱۷)$$

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

$$\frac{\partial q_{bi}(t,L)}{\partial t} = \frac{\partial q_{bi}}{\partial u}\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial q_{bi}}{\partial m_i}\frac{\partial m_i}{\partial t} + \frac{\partial q_{bi}}{\partial D_{mp}}\sum_{j=1}^{N} D_j \frac{\partial m_i}{\partial t} \qquad (۱۸)$$

با جمع بستن معادله فوق برای N کلاس ذرات داریم :

$$\frac{\partial q_b(t,L)}{\partial t} = u\psi \frac{\partial Z_b}{\partial t} + \sum_{i=1}^{N} \xi_i \frac{\partial m_i}{\partial t} \qquad (۱۹)$$

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

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

حل دستگاه معادلات

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

$$\frac{\partial^2 z_b}{\partial t^2} + \left[\frac{u\psi L_a + \sum_{i=1}^{N} m_i (P_{Ti} - p_{oi})}{p_{pi} L L_a}\right]\frac{\partial z_b}{\partial t} = 0 \qquad (۲۰)$$

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

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

$$t = 0 \quad z_b(0) = 0 \qquad t = 0 \quad \frac{\partial z_b}{\partial t} = \frac{q_b(0,L)}{p_o L} \qquad (۲۱)$$

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

$$z_b(t) = \frac{q_b(0,L)}{uL}\left(\exp\left[\frac{-u\lambda t}{p_o L}\right] - 1\right) \qquad (۲۲)$$

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

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

$$p_{pi}(t) = p_{pi}(0) + (p_{Ti} - p_{oi})\frac{z_b(t)}{L_a} \qquad (۲۳)$$

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

الگوریتم محاسباتی مدل

برای مدل فوق الگوریتمی نوشـته شـده اسـت. ایـن الگـوریتم در شکل ۳ نمایش داده شده است.

واسنجی مدل و بررسی نتایج حاصله

چین و همکاران (۳) آزمایش هایی را بر روی پدیده مسلح سـازی انجام داد که تا حدود زیادی گستره اطلاعات آزمایشگاهی موجـود در این باره را گسترش داد. در این مقاله برای واسـنجی مـدل و بررسـی نتایج از داده‌های آزمایشگاهی چین و همکاران (۳) استفاده شده است .این آزمایشات را چین و همکاران (۳) در فلومی بـه طـول ۱۹ متـر 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 . قطـر ذرات موجـود در مخلـوط‌هـای رسوبی بین ۰/۱۵ تا ۳۷/۵ میلی متر تغییر می‌کند .لازم به ذکـر اسـت نمونه برداری چین و همکاران (۳) از بستر مسلح به صـورت سـطحی انجام شده است در حالی که مدل ارائه شده درصدهای حجمـی ذرات را بدست می‌دهد. با بررسی لایه‌های مسلح رابطـه زیـر بـرای تبـدیل نمونه‌های سطحی به حجمی بدست آمده است .

$$p_{(v-v)i} = cp_{(a-v)i}D_i^x \qquad (۱۶)$$

در این رابطـه $p_{(v-v)i}$ و $p_{(a-v)i}$ درصـد ذرات بـا انـدازه قطر D_i به ترتیـب در نمونـه‌هـای حجمـی و سـطحی هسـتند . c مقداری است ثابت و توان x همواره به ۰/۵- نزدیک است (با تغییر ۰/۰۵ ±). واســـــنجی مــــــدل نشـــــــان داد کـــــــه

مقادیر $\tau_{*cr} = 0.03$، $k = 13.3$ و $r = -0.7$ بهترین مقادیر بـرای استفاده در فرمول (۱۶) هستند. معادله (۱۳) نشان می‌دهد مقـدار L_a پارامتری تعیین کننده در نرخ ترازکاهی بستر و شـرایط تعـادل نهـایی بستر دارد. ضخامت بیشتر این لایه سـبب افـزایش نـرخ زبرشـدگی 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 مقـادیر بـا مقـادیر پـیش بینی شده توسط مدل در شکل (۵) مقایسه شده است.

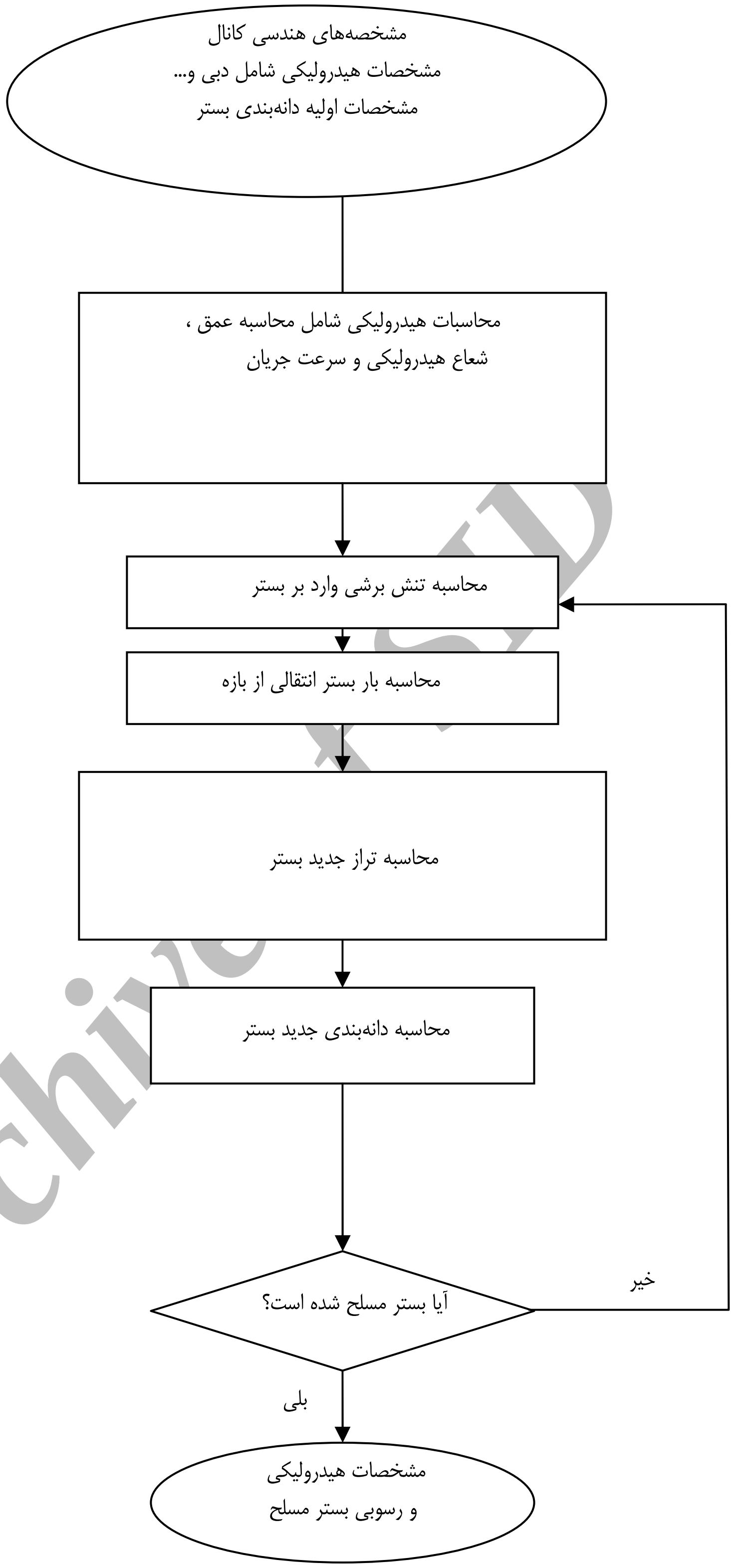
نتایج بدست آمده توسط مـدل بـرای عمـق نهـایی فرسـایش در شکل زیر با جواب‌های بدست آمده از مدل GSTAR نیز مقایسه شده است.

مرجع

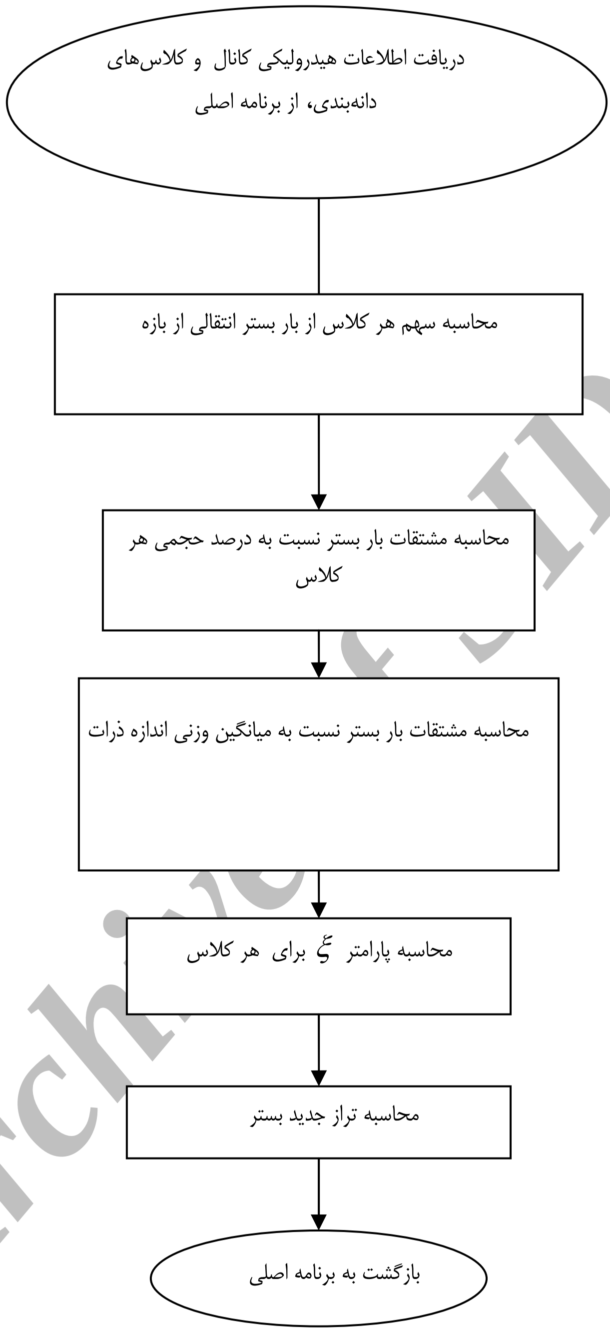
مقایسه دو نمودار فوق نیز بیان‌گـر نزدیکـی جـواب‌هـای مـدل و آزمایشگاه و اختلاف اندک آن‌ها با جـواب‌هـای GSTAR اسـت. بـه منظور بررسی توانایی مـدل در پـیش بینـی دانـه‌بنـدی لایـه مسـلح، نمودارهای دانه‌بندی بدست آمـده توسـط مـدل بـرای مخلـوط‌هـای مختلف با نمودارهای دانه‌بندی بدست آمـده از نـرم افـزار مرجـع GSTAR و مقادیر مشاهده شـده در آزمایشـگاه مقایسـه شـده است.

مقایسه مقادیر D_{mp} لایه مسلح محاسبه شـده توسـط مـدل و GSTAR در شکل (۸) قابل مشاهده است.

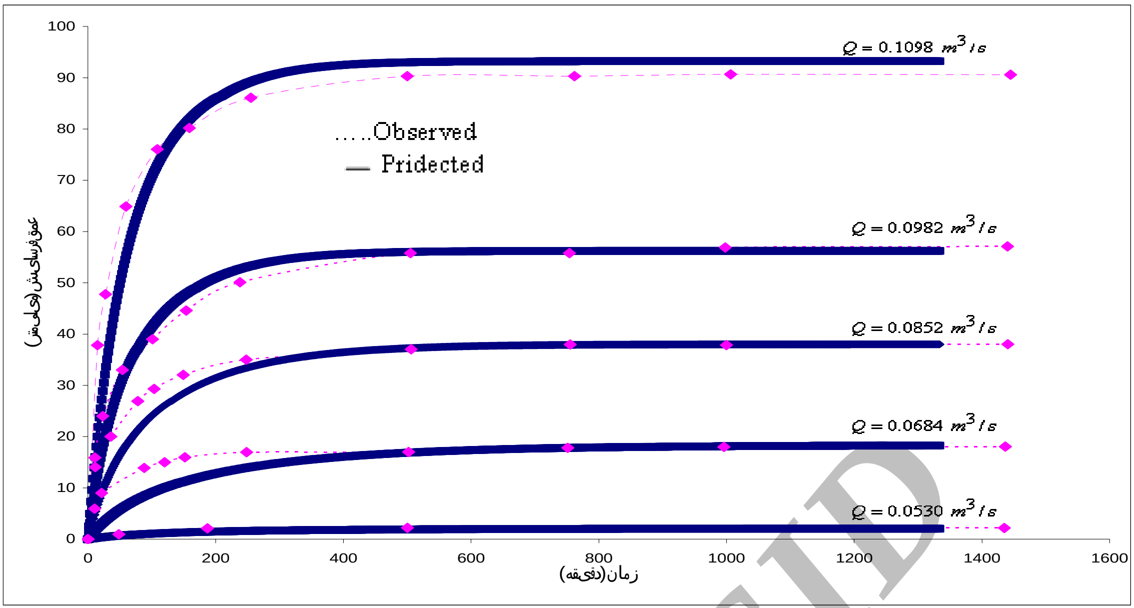
در منحنی فوق مشاهده می‌شود به ازای مقادیر کوچک‌تر D_{mp} اختلاف نتایج مدل با GSTAR کمتر است. علت اختلاف نتایج مـدل و GSTAR، بکار بردن تابع پناه‌گیری در معادله بار بستر بکار رفته در مدل است. در مقادیر بزرگتر D_{mp} تابع پناه‌گیری تأثیر بیشتری روی نتایج می‌گذارد. تغییرات D_{mp} را در مقابل تنش برشی وارد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



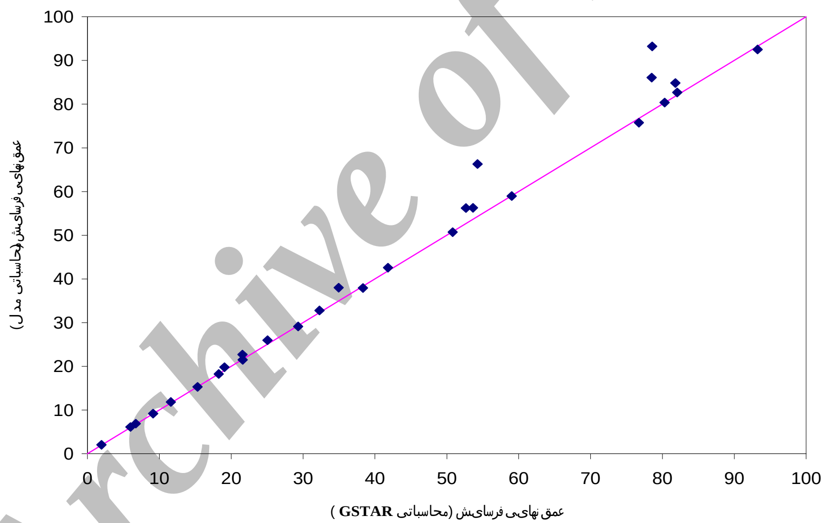
(شکل ۳)- روندنمای برنامه اصلی



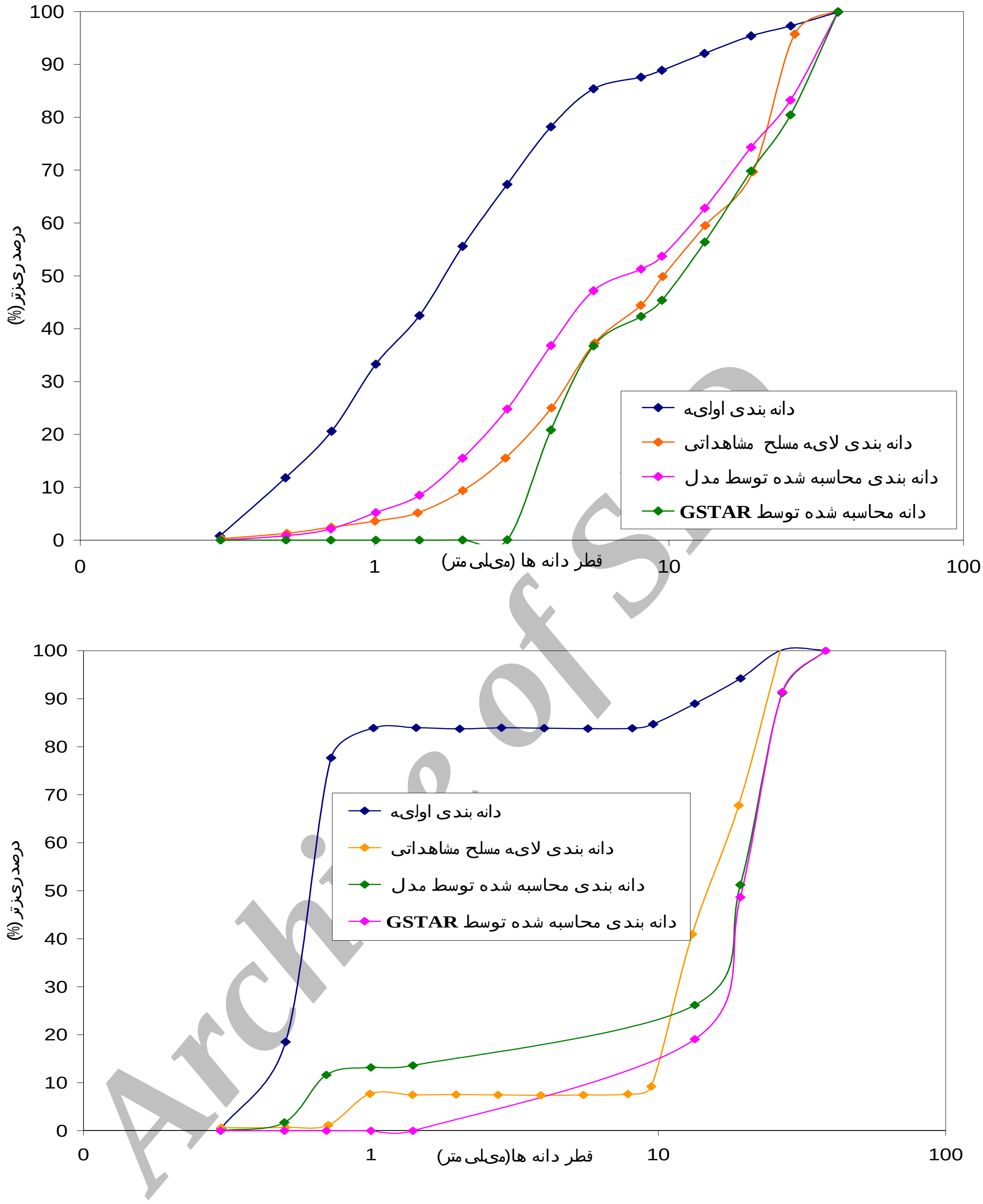
(شکل ٤)- روندنمای زیر برنامه محاسبه تراز بستر



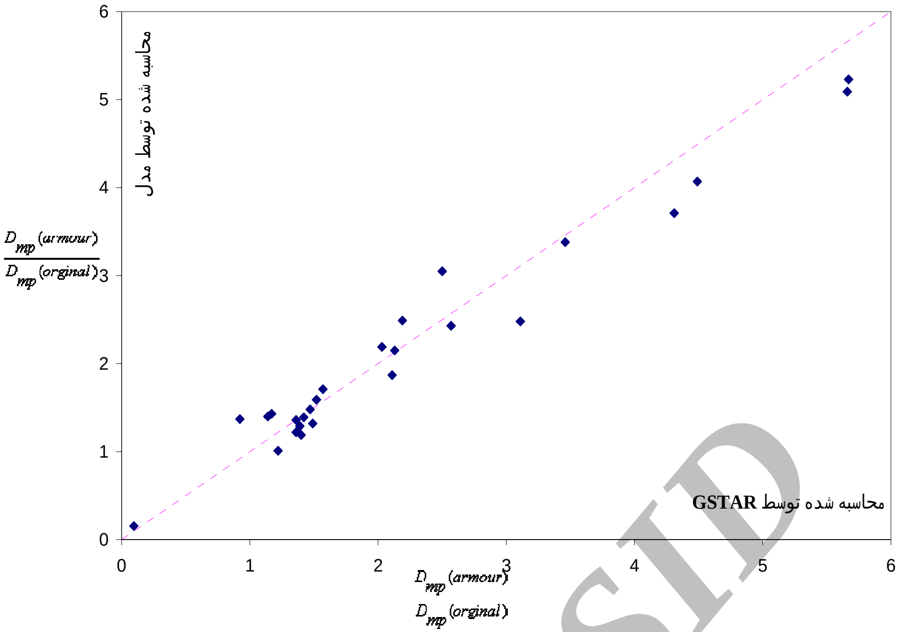
(شکل ۵)–مقایسه مقادیر تغییرات تراز بستر بدست آمده از مدل و مقادیر مشاهداتی



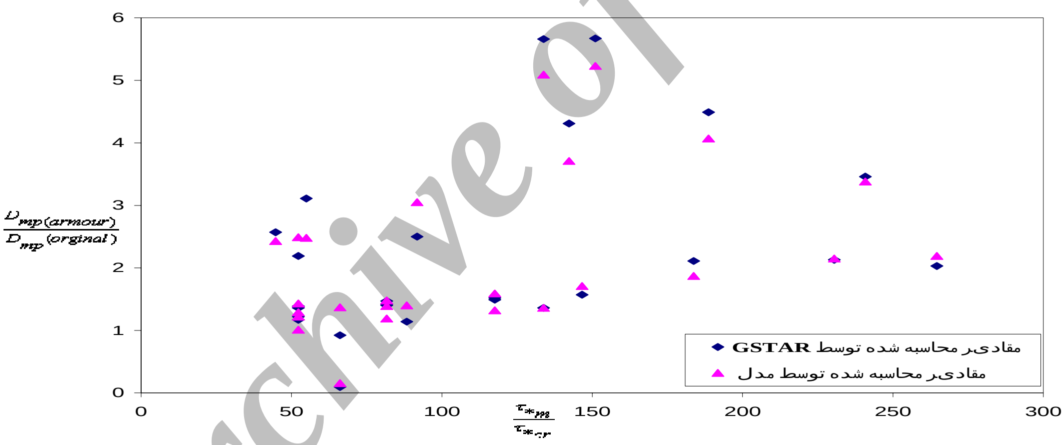
(شکل ٦)–مقایسه عمق‌های نهایی فرسایش محاسبه شده توسط مدل و مقادیر محاسبه شده توسطGSTAR



(شکل۷) – بررسی چگونگی انطباق لایه مسلح محاسبه شده توسط مدل و GSTAR



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



(شکل۹)- بررسی تغییرات D_{mp} (میانگین وزنی قطر دانه‌ها) در لایه مسلح با تنش برشی وارد بر بستر

نتیجه‌گیری

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

هستند. با این وجود تفاوت‌های اندکی با مقادیر محاسبه شده توسط نرم‌افزار مرجع GSTAR دارند. علت این اختلاف بکار بردن تابع پناه‌گیری در معادله بار بستر بکار رفته در مدل است. استفاده از تابع پناه‌گیری در مدل باعث شده است جواب‌های مدل تا حد زیادی با نتایج آزمایشگاهی همخوانی داشته باشند. جواب‌های محاسبه شده توسط GSTAR به دلیل عدم اصلاح رابطه بار بستر با تابع پناه‌گیری تا حدی از جواب‌های آزمایشگاهی فاصله گرفته‌اند. بدین ترتیب می‌توان عدم کاربرد تابع پناه‌گیری 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 تنش‌های برشی با توجه به افزایش مقدار D_{mp} و افزایش مقدار تابع پناه‌گیری اختلاف نتایج حاصل از مدل و GSTAR بیشتر می‌شود. از دیگر دلایل اختلاف نتایج مدل و نرم‌افزار GSTAR می‌توان به این نکته اشاره نمود که در نرم‌افزار GSTAR ضخامت لایه فعال بستر، ضریبی از میانگین هندسی اندازه ذرات درشت‌ترین کلاس دانه‌بندی است. در مدل ارائه شده ضخامت این لایه ضریبی از اندازه D_{mp} یا میانگین وزنی اندازه ذرات بستر، در نظرگرفته شده است. نزدیکی جواب‌های مدل به مقادیر آزمایشگاهی و اختلاف جواب‌های GSTAR با این مقادیر بیان‌گر این نکته است که در نظر گرفتن ضخامت لایه فعال به عنوان ضریبی از D_{mp} به واقعیت نزدیک‌تر است.

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- Bettes 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.

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 1, Mar- Apr 2010, p. 63-74

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۴، شماره ۱، فروردین - اردیبهشت ۱۳۸۹، ص. ۷۴-۶۳

Simulation of armouring process in river bed

M. Khezriyan[1*] - M.R. Majdzadeh Tabatabai[2] - S.S. Mosavi Nadushani[3]

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)