مدل رياضی تخليه رسوبات مخزن سد از طريق تونل تخليه تحتانی

حسين محمد ولی سامانی دانشيار گروه عمران، دانشكدة مهندسی دانشگاه شهيد چمران اهواز
علی رضا زاور دانشجوی كارشناس ارشد مهندسی آب دانشكدة مهندسی دانشگاه شهيد چمران اهواز

چكيده

پديده رسوبگذاري در مخازن سدها و پيآمدهاي منفي آن در مقابل عمليات رسوبزدايي از مخازن و روشهاي مختلف آن از جمله مسائل مهم در بهرهبرداري و افزايش عمر مفيد سدها ميباشند. روش آبشويي رسوبات مخازن از جمله روشهاي رسوبزدايي ميباشد كه با توجه به عدم صرف انرژي اضافي و با توجه به اينكه تنها با انرژي خود جريان آب عمل ميكند، از گزينههاي مورد توجه در پروژههاي رسوبزدايي مخازن بهحساب ميآيد. در اين تحقيق يك مدل يك بعدي تهيه شده است كه روش فوق را مدل ميكند. مدل تهيه شده قادر به پيش بيني پروفيل بستر مخزن در هنگام آبشوئي رسوبات ميباشد. معادله ديفرانيسلي بهدست آمده با استفاده از روش تفاضلهاي محدود در حجم كنترل حل گرديده است. مدل مذكور با استفاده از نتايج آزمايشگاهي محققيني چند كاليبره شده و سپس مدل براي مخزن سد دشيدايرا در ژاپن اجرا و نتايج حاصل از مدل با نتايج اندازهگيري شده و مدل ديگري كه توسط محققين ديگر تهيه شده، مورد مقايسه قرار گرفته است.

كلمات كليدی: **آبشوئي، تفاضلهاي محدود، حجم كنترل، الگوريتم توماس، شرايط مرزي.**

Mathematical Model of Dam Reservoir Sediment Flushing by Low Level Outlet

H. M. V. Samani and A. Zaver
Civil Eng. Dept., Faculty of Engineering,
Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran

Abstract

Sediment accumulation in reservoirs of storage dams and methods of sediment removal are significant for reservoir operation planning and increase of the dam useful life. Flushing of sediments in reservoirs is considered as one of the most important methods of sediment removal because the energy of the water flow is utilized to remove accumulated deposits. In this paper a one-dimensional mathematical model has been developed to simulate the process of sediment flushing. The model is able to predict reservoir bed profile variation during the process of flushing. The developed differential equation has been solved by the finite difference method using the control volume approach. The calibration of the model has been done by using results obtained by other researchers and then it was validated for the reservoir of Dashidaira dam. The agreement of the results obtained from the developed model has been compared with those obtained from other models.

Key words: Flushing, Finite difference, Control volume, Thomas algorithm, Boundary conditions.

۱- مقدمه

مسئلهٔ رسوبگذاری و اقدامات کنترلی آن از مهمترین مسائل در بهرهبرداری و افزایش عمر مفید سدها می‌باشند. مخازن با ایجاد استخر ساکن بهصورت تلهای رسوبگیری عمل کرده و با تهنشینی ذرات جامد ورودی مانع از انتقال رسوب در رودخانهها می‌شوند و در صورت عدم انجام اقدامات لازم، این رسوبات بهطور کامل ظرفیت ذخیره مخازن را پر می‌کنند. روشهای مختلفی برای این منظور بهکار گرفته شدهاند. آبشویی یکی از مناسبترین روشهای رسوبزدایی از مخازن سدها می‌باشد و از اولین گزینهها در بررسی راهکارهای مناسب رسوبزدایی در یک پروژه بهحساب می‌آید [۳ و ۷]. از آنجایی که در عمل آبشویی از انرژی خود جریان آب استفاده می‌شود نیازی بهصرف انرژی اضافی برای این مهم نمی‌باشد. آبشویی در مناطق مختلفی از دنیا مورد استفاده قرار گرفته و بکارگیری این روش در پروژههای رسوبزدایی رو به افزایش است. این روش در مخازن سدهای متعددی در سراسر دنیا مانند سد دشیدایرا در ژاپن [۱۹] و سد سه دره در چین [۴] بهکار برده شده است. همچنین این روش در کشور ما برای رسوبزدائی سد سفید رود استفاده شده است [۱۱].

مدلهای ریاضی مختلفی برای شبیهسازی عملیات آبشویی رسوبات از مخازن سدها به کار گرفته شدهاند. به طور کلی این مدلها به سه دسته تقسیم بندی می‌شوند: مدلهای یک، دو و سه بعدی. در مدلهای یک بعدی فرض می‌شود که عرض کانال آبشویی مانند عرض مخزن و عرض دره بهطور تقریبی یکسان است. یک روش ساده شده برای آبشویی رسوبات درشت دانه توسط سچرلین [۱۶] در سال ۱۹۸۷ جهت ارزیابی تأثیرات آبشویی ارائه شده است. وی یک معادله پخشیدگی یک بعدی جهت شبیهسازی تغییرات پروفیل بستر مخزن بهدست آورد که می‌توان آن را بهطور تحلیلی حل کرد.

با استفاده از محاسبات پروفیل آب برگشتی برای جریان، وایت وبتس [۲۱] در سال ۱۹۸۴ و وایت [۲۲] در سال ۱۹۹۰ مدلهای عددی رسوبگذاری و آبشویی را توسعه داده و تأثیرات عمل آبشویی را برای مخازن کوچک در زیمبابوه مطالعه کردند. پنگ و نیو [۱۶] در سال ۱۹۸۷ و جو [۹] در سال ۱۹۹۰ از یک مدل پخشیدگی یک بعدی در شبیهسازی حجم رسوب دفع شده و تغییرات پروفیل بستر با دبی ثابت هنگام آبشویی استفاده کردند. گوان و همکارانش [۶] نیز فرض کردند که فرسایش پس رونده فقط در کانال آبشویی اتفاق می‌افتد. همچنین یک روش بهینه کردن مؤثر جهت کالیبره کردن مدلشان بر پایه اطلاعات مخزن فنهی(1) و روسوبات مخزن محاسبه کردند و دریافت کردند که شکل‌گیری کانال آبشویی به‌خوبی اساساً با اطلاعات و داده‌های صحرایی و مشاهدات مطابقت می‌کند.

شن و لای و زائو [۱۸] در سال ۱۹۹۳ برای آبشویی با افت رقوم آب یک مدل یک بعدی ساده شده را ارائه کردند. مدل عددی یک بعدی برای حل معادلهٔ پیوستگی انتقال رسوب جهت فرآیند آبشویی رسوب توسط فن و جیانگ [۵] در سال ۱۹۸۰ برای مخزن سن منشیا در چین تهیه شد. مدل مذکور تغییر شکل بستر رودخانه ناشی از ته نشینی یا فرسایش رسوب روی آن را محاسبه می‌کند. اتکینسون مدلی یک بعدی تهیه نمود که آبشویی رسوب از مخازن را شبیه‌سازی می‌کند [۲].

در مدلهای دو بعدی از مدلهای جریان متلاطم و حل معادلات ناویر - استوکس در دو بعد استفاده می‌شود و یک مدل دو بعدی در تشریح جریان و الگوی تهنشینی ناحیههای رسوب برای جریان و رسوب ورودی بهمخزن به کار برده می‌شود [۴، ۸ و ۱۰] ارائه کردند.

در مدلهای سه بعدی نیز حل معادلات ناویر - استوکس در سه بعد و مدلهای جریان متلاطم مانند $K-\varepsilon$ با استفاده از روشهای عددی از جمله تفاضلهای محدود و حجم محدود حل شدهاند. معادلات رسوب نیز بهصورت سه بعدی نیزه حل می‌شود [۱، ۱۲، ۱۳ و ۲۰]. مدلهای سه بعدی پیچیده بوده و نیاز به اطلاعات زیادی دارند و اجرای آنها نیز زمان بیشتری را نیاز دارد. ولی دقت بیشتری نسبت به مدلهای یک و دو بعدی دارند.

در این تحقیق مدلی یک بعدی ارائه شده است که معادله پیوستگی رسوب را با استفاده از تفاضلهای محدود و روش حجم کنترل حل می‌کند. نتایج حاصل از مدل، تغییرات رقوم بستر مخزن در اثر آبشویی رسوبات آن در زمانهای دلخواه می‌باشد. در ضمن حجم تجمعی رسوبات خروجی از مخزن را در اثر عملیات آبشویی، در زمانهای مختلف محاسبه می‌نماید. مدل با زبان برنامه نویسی فرترن تهیه شده است.

1- Fenhe

۲- معادلات حاکم

چون در هنگام آبشوئی رسوبات لازم است که سرعت جریان بالا باشد، سطح آب مخزن پایین آورده می‌شود. بنابراین می توان بهعنوان تقریب جریان را در هر گام زمانی دائمی و یکنواخت فرض نمود. بر پایه همین فرض در هر گام زمانی محاسباتی یک عمق میانگین برای جریان در نظر گرفته شده است که براساس رابطه مانینگ محاسبه می‌شود [۷].

۳- معادله رسوب

معادله پیوستگی رسوب بهصورت ذیل بیان می‌شود:

$$(1-p)\times\frac{\partial Z}{\partial t}+\frac{\partial q_s}{\partial x}=0 \qquad (۱)$$

که در آن:

x = فاصله طولی از محل تخلیه کننده تحتانی

P = تخلخل رسوب ته نشین شده

Z = رقوم بستر

q_s = دبی حجمی رسوب در واحد عرض

هنگام آبشویی با افت رقوم آب، غلظت رسوب حجمی جریان خروجی را می‌توان بهصورت تابعی از متغییرهای زیر بیان کرد [۷]:

$$C_s = f\,(u,h,g,\gamma,\gamma_s\_\gamma,\omega) \qquad (۲)$$

که در آن:

u = سرعت متوسط جریان

h = عمق آب

g = شتاب ثقل

γ_s = وزن مخصوص رسوب

γ = وزن مخصوص آب

ω = سرعت سقوط ذرات رسوب

بهوسیلة تحلیل ابعادی غلظت رسوب حجمی جریان خروجی را می‌توان بهصورت تابعی از پارامترهای بی‌بعد بهفرم زیر نشان داد.

$$C_s = f\left(\frac{\gamma}{\gamma_s-\gamma},\frac{u^3}{g.\omega.h}\right) \qquad (۳)$$

$$C_s = k_0\times\frac{\gamma}{\gamma_s-\gamma}\times\left(\frac{u^3}{g.\omega.h}\right)^m \qquad (۴)$$

k_0 و m ضرایبی هستند که در ادامه تعیین می‌شوند. همچنین:

$$q_s = u\ h\ C_s \qquad (۵)$$

از جایگزینی رابطه (۴) در (۵) خواهیم داشت:

$$q_s = \frac{k_0.u^{3m+1}\ h^{1-m}}{(sg-1)g^m\omega^m} \qquad (۶)$$

که در آن sg چگالی نسبی ذرات رسوب می‌باشد. پس از جایگزینی u از معادلة مانینگ در معادله (۶) خواهیم داشت:

$$q_s = \frac{k_0.h^{m+5/3}.S^{\frac{3m+1}{2}}}{(sg-1).g^m.\omega^m.n^{3m+1}} \qquad (۷)$$

با مشتق گرفتن از رابطة (۷) نسبت به x حاصل می‌شود:

$$\frac{\partial q_s}{\partial x}=\frac{k_0.h^{m+5/3}.}{(sg-1).g^m.\omega^m.n^{3m+1}}.(\frac{3m+1}{2})\,S^{\frac{3m-1}{2}}.\frac{\partial S}{\partial x} \qquad (۸)$$

با استفاده از رابطة مانینگ:

$$h=\left(\frac{n.q}{S^{\frac{1}{2}}}\right)^{\frac{3}{5}} \qquad (۹)$$

و با جایگزینی h از معادلة فوق در رابطة (۸) خواهیم داشت:

$$\frac{\partial q_s}{\partial x}=\frac{k_0.q^{0.6m+1}.(3m+1).S^{1.2m-1}}{(sg-1).g^m.\omega^m.n^{2.4m}.2}.\frac{\partial S}{\partial x} \qquad (۱۰)$$

شیب بستر برحسب Z به صورت زیراست:

$$S=-\left|\frac{\partial Z}{\partial x}\right| \qquad (۱۱)$$

با مشتقگیری از رابطة فوق حاصل می‌شود:

$$\frac{\partial S}{\partial x} = -\frac{\partial^2 Z}{\partial x^2} \qquad (۱۲)$$

در نتیجه با جایگزینی رابطهٔ (۱۲) در (۱۰) و قرار دادن رابطهٔ حاصله در رابطهٔ (۱) خواهیم داشت:

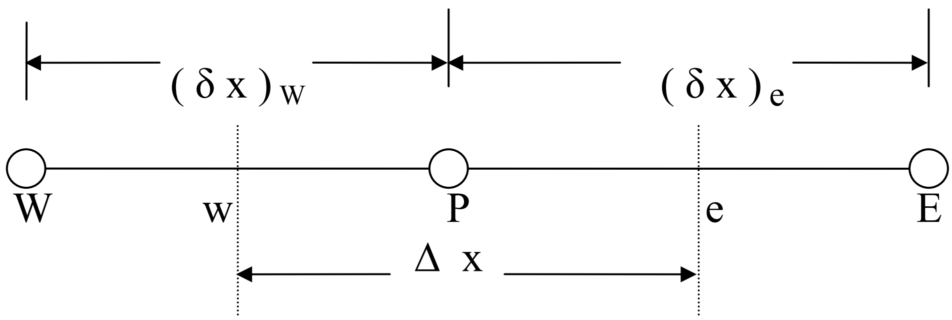
$$\frac{\partial Z}{\partial t} - \Gamma \frac{\partial^2 Z}{\partial x^2} = 0 \qquad (۱۳)$$

که در آن:

$$\Gamma = \frac{k_{0.q^{0.6m+1}}.(3m+1)}{2(1-p)(sg-1)g^m.\omega^m.n^{2.4m}} .S^{1.2m-1} \qquad (۱۴)$$

۴- حل عددی

معادله (۱۳) به دلیل غیر خطی بودن، حل تحلیلی ندارد. بنابراین معادله مذکور را باید با استفاده از یکی از روشهای عددی مانند تفاضلهای محدود یا المانهای محدود حل کرد. برای حل این معادله از روش تفاضلهای محدود در حجم کنترل استفاده شده است، زیرا در این روش دستگاه معادلات منقطع شده حاصلـه بـا ماتـریس ضرایب سه قطری خواهد بـود که حـل آن بـا الگـوریتم توماس بسیار سریع و بـا همگرائـی خوب مـی‌باشد [۱۴]. چنانچه از جملات معادله (۱۳) در حجم کنترل شکل (۱) نسبت به زمان و مکان انتگرالگیری شود نتایج ذیل بهدست می‌آیند:



شکل ۱- حجم کنترل براي يك گره داخلي

$$\int_t^{t+\Delta t}\int_w \Gamma \frac{\partial^2 Z}{\partial x^2} dxdt = \int_t^{t+\Delta t} \Gamma_P (\frac{\partial Z}{\partial x})\Big|_w^e dt$$

$$= \left[\Gamma_P \frac{Z_e - Z_P}{(\delta x)_e} - \Gamma_P \frac{Z_P - Z_w}{(\delta x)_w}\right]\Delta t \qquad (۱۵)$$

$$\int_t^{t+\Delta t}\int_w^e \frac{\partial Z}{\partial t} dxdt = \int_w^e (\Delta Z)\Big|_t^{t+\Delta t} dx = (Z_P^{n+1} - Z_P^n)\,\Delta x \qquad (۱۶)$$

کـه در آنها نقاط P, W, E, w, e در شکل (۱) نشـان داده شده‌انـد. حال با استفاده از روش کرانک نیکلسون حاصل می‌شود:

$$((1-\theta)\left[\frac{\Gamma_i}{(\delta x)_e}.(Z_{i+1}^n - Z_i^n) - \frac{\Gamma_i}{(\delta x)_w}(Z_i^n - Z_{i-1}^n)\right]\Delta t$$

$$+\theta\left[\frac{\Gamma_i}{(\delta x)_e}.(Z_{i+1}^{n+1} - Z_i^{n+1}) - \frac{\Gamma_i}{(\delta x)_w}(Z_i^{n+1} - Z_{i-1}^{n+1})\right]\Delta t$$

$$= (Z_i^{n+1} - Z_i^{n+1})\,\Delta x \qquad (۱۷)$$

که در آن θ ضریبی است وزنی موسوم به ضریب کرانک - نیکلسون. حال چنانچه رابطهٔ زیر را در نظر بگیریم:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \alpha$$

و با جایگزینی α در رابطهٔ (۱۷) و با منظم کردن جملات بر حسب حاصل می شود:

$$A_i\, Z_{i-1}^{n+1} + B_i Z_i^{n+1} + C_i\, Z_{i+1}^{n+1} = D_i \qquad (۱۸)$$

که در آن:

$$A_i = \frac{\alpha.\theta.\Gamma_i}{(\delta\, x)_w} \qquad (۱۹)$$

$$B_i = -\frac{\alpha.\theta.\Gamma_i}{(\delta\, x)_e} - \frac{\alpha.\theta.\Gamma_i}{(\delta\, x)_w} - 1 \qquad (۲۰)$$

$$C_i = \frac{\alpha.\theta.\Gamma_i}{(\delta\, x)_e} \qquad (۲۱)$$

$$D_i = -\alpha(1-\theta)$$
$$\left[\frac{\Gamma_i}{(\delta\, x)_e}.(Z_{i+1}^n - Z_i^n) - \frac{\Gamma_i}{(\delta\, x)_w}.(Z_i^n - Z_{i-1}^n)\right] - Z_i^n \qquad (۲۲)$$

$$\Gamma_i = \frac{.k_0\, .\, q^{0.6m+1}\, .\, (3m+1)}{2\,(1-\ p)\,(sg\ -1)\ g^m\, .\, \omega^m\, .\, n^{2.4m}} \frac{Z - Z_{i-1}}{2\Delta\, x_i})^{(1.2m-1)} \qquad (۲۳)$$

۵- شرایط مرزی

۵-۱- شرط مرزی بالادست

با جایگزینی h از معادلة (۹) در رابطة (۷) و استفاده از معادله (۱۱) رابطة ذیل برای مرز پایین دست به دست می‌آید:

$$\frac{\partial Z}{\partial x} = -(\frac{q_s.(sg-1).g^m.\omega^m.n^{2.4m}}{k_0.q^{0.6m+1}})^{\frac{0.833}{m}} \qquad (۲۴)$$

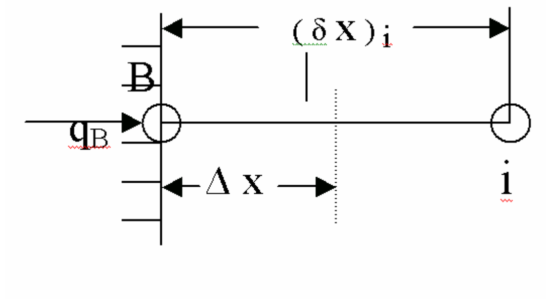
با اعمال تفاضلهای محدود برحجم کنترل گره مرزی بالادست ارائه شده در شکل (۲) برای معادله (۲۴) خواهیم داشت:

$$\frac{Z_2 - Z_1}{\frac{(\delta\, x)_c}{2}} = -(\frac{q_s.(sg-1).g^m.\omega^m.n^{2.4m}}{k_0.q^{0.6m+1}})^{\frac{0.833}{m}} \qquad (۲۵)$$

بنابراین ضرایب معادله (۱۸) برای شرط مرزی بالادست بهصورت زیر خواهند بود:

$$C_1 = 0 \quad , \quad B_1 = 1 \quad , \quad A_1 = 0$$

$$D_1 = (\frac{q_s.(sg-1).g^m.\omega^m.n^{2.4m}}{k_0.q^{0.6m+1}})^{\frac{0.833}{m}} \times \frac{(\delta x)_e}{2} \qquad (۲۶)$$



شکل ۲ - حجم کنترل مربوط به گره مرزي

۵-۲- شرط مرزی پایین دست

شرط مرزی پایین دست، رقوم معلوم کف دریچه آبشویی می‌باشد:

$$Z = Z(0,t) \qquad (۲۷)$$

بنابراین ضرایب معادله (۱۸) برای شرط مرزی پایین دست بهصورت زیر خواهند بود:

$$B_n = 1, \quad A_n = 0 \quad D_n = Z(0,t), \quad C_n = 0 \qquad (۲۸)$$

با اعمال معادلة (۱۸) برای کلیه گرههای داخلی و استفاده از شرایط مرزی برای گرههای بالادست و پایین دست معادلات با ماتریس سه قطری حاصل می‌شوند. یکی از الگوریتمهای بسیار کارأ براي حل چنین دستگاه معادلات الگوریتم توماس می باشد.

۶- محاسبه سرعت سقوط ذره رسوب

سرعت سقوط ذرات رسوب یکی از مهمترین پارامترهای توصیف کننده حرکت ذره در ارتباط با جریان در مخزن می‌باشد. در جریان ورقهای اطراف یک کره به قطر D_S نیروهای وارده بر ذره در حال سقوط با فرض سرعت سقوط یکنواخت با نوشتن معادله تعادل نیروها رابطة زیر حاصل می شود:

$$\omega = \sqrt{\frac{4gD_S}{3C_D}(sg-1)} \qquad (۲۹)$$

$$C_D = \frac{24}{R_e} + \frac{3}{\sqrt{R_e}} + 0.34 \qquad (۳۰)$$

$$R_e = \frac{\rho\omega\, D_s}{\mu} \qquad (۳۱)$$

که در آن:

$sg =$ چگالی نسبی ذره رسوب

$D_s =$ قطر ذره رسوب

$R_e =$ عدد رینولدز

$\rho =$ جرم مخصوص آب

در حالاتی که عدد رینولدز از ۰/۳ بیشتر باشد از روابط فوق استفاده می‌شود و چنانچه عدد رینولدز کوچکتر یا مساوی ۰/۳ باشد از رابطهٔ (۳۰) فقط جمله اول بهکار برده می‌شود و در نتیجه معادله زیر بهدست خواهد آمد:

$$\omega = \frac{g}{18\mu}(sg-1).D_s^2 \qquad (۳۲)$$

۷- ارائه و ارزیابی نتایج

به منظور کالیبراسیون و ارزیابی مدل و کالیبره کردن ضرایب k_0 و m از دو گروه دادههای آزمایشگاهی که توسط محققین مختلف و در شرایط متفاوتی انجام گرفته بودند استفاده گردید. جدول (۱) شرایط آزمایشگاهی در دو سری آزمایش را نشان می‌دهد. آزمایشهای سری اول در یک فلوم بهعرض ۰/۵ متر که بهوسیله ماسه با قطر متوسط ذرات ۰/۵۴ میلی‌متر پوشش داده شده صورت گرفته [۱۵] و آزمایش های سری دوم در فلومی به عرض ۲/۴۴ متر با قطر ذرات ۱/۵۲ میلی‌متر انجام گردیده است [۷]. در انتهای فلوم دیواری تعبیه شده است که در آن یک روزنه جهت شبیهسازی تونل تخلیه تحتانی قرار دارد. در این آزمایشات حجم تجمعی رسوبات تهنشین شده با زمان تغییر کرده و پروفیل بستر در طول فلوم در زمانهای مشخص ثبت گردیده است.

جدول ۱- مجموعه دادههای آزمایشی سری های اول و دوم

سری آزمایش	دبی جریان ورودی (متر مکعب بر ثانیه)	عمق اولیه رسوبات در سد (متر)	نرخ رسوب ورودی (تن بر متر در ثانیه)	طول بستر رسوبی (متر)	شیب بستر اولیه (درصد)	زمان انجام آزمایش (دقیقه)
اول	0.02	0.064	0.00000216	8.6	0.18	40
دوم	0.00487	0.1	0.0	9	0.0	30

در فرایند کالیبراسیون ضرایب k_0 و m باید طوری تعیین بشوند که نتایج خروجی مدل با مقادیر اندازهگیری شده آزمایشگاهی بهترین تطابق را داشته باشد. نتیجهٔ کالیبراسیون برای ضرایب مذکور مانند ذیل بهدست آمد:

$$k_0 = 1.456 \times 10^{-6}$$
$$m = 1$$

شکل های (۳) و (۴) نتایج حاصل را ارائه می کنند.

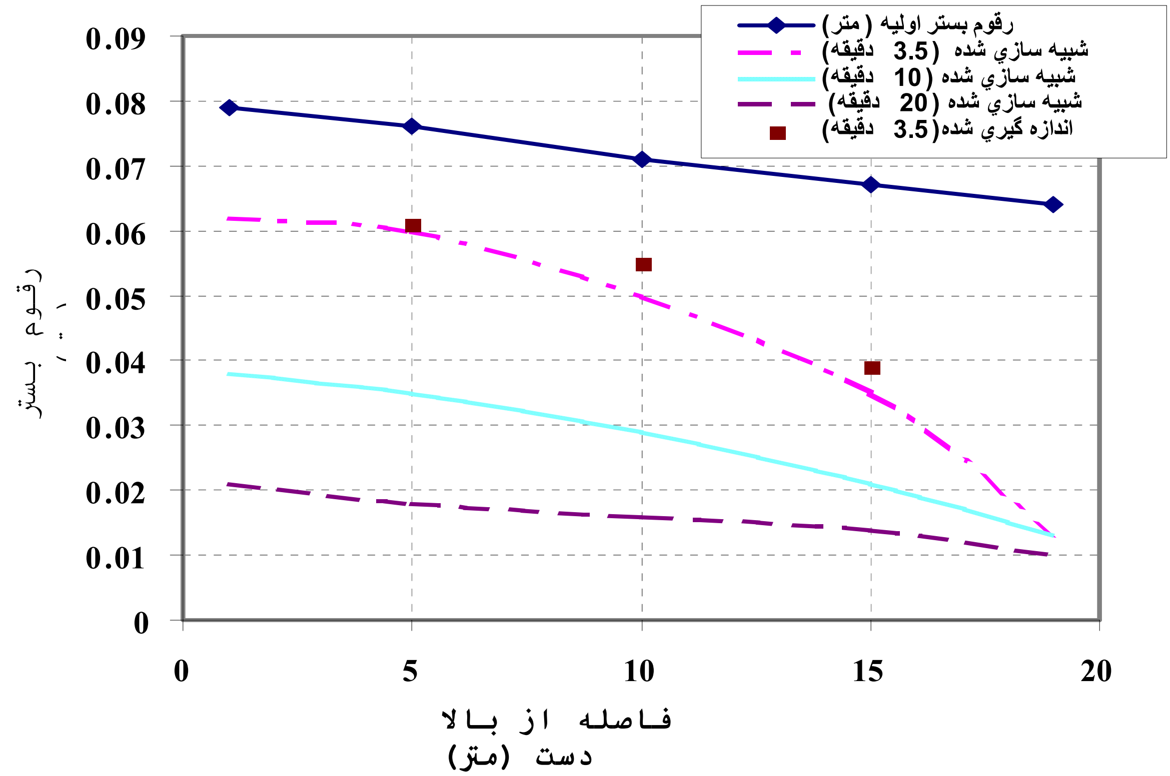
۸- اجرای مدل طبیعی

در این بخش مدل برای یک نمونه طبیعی، سد دشیدایرا در ژاپن اجرا شده است. مساحت حوضه آبریز رودخانه کورب، ۶۶۰ کیلومتر مربع و طول رودخانه آن ۸۶ کیلومتر می‌باشد. بارش میانگین سالیانه حوضچه مقدار ۳۸۰۰ میلیمتر می‌باشد. توپوگرافی حوضه بهشدت تند است. بنابراین پتانسیل تولید رسوب بـه شدت زیاد بـوده و مقـدار رسوب جریـان خروجـی در حوضه آبریز در شمار یکی از بالاترینها می‌باشد.

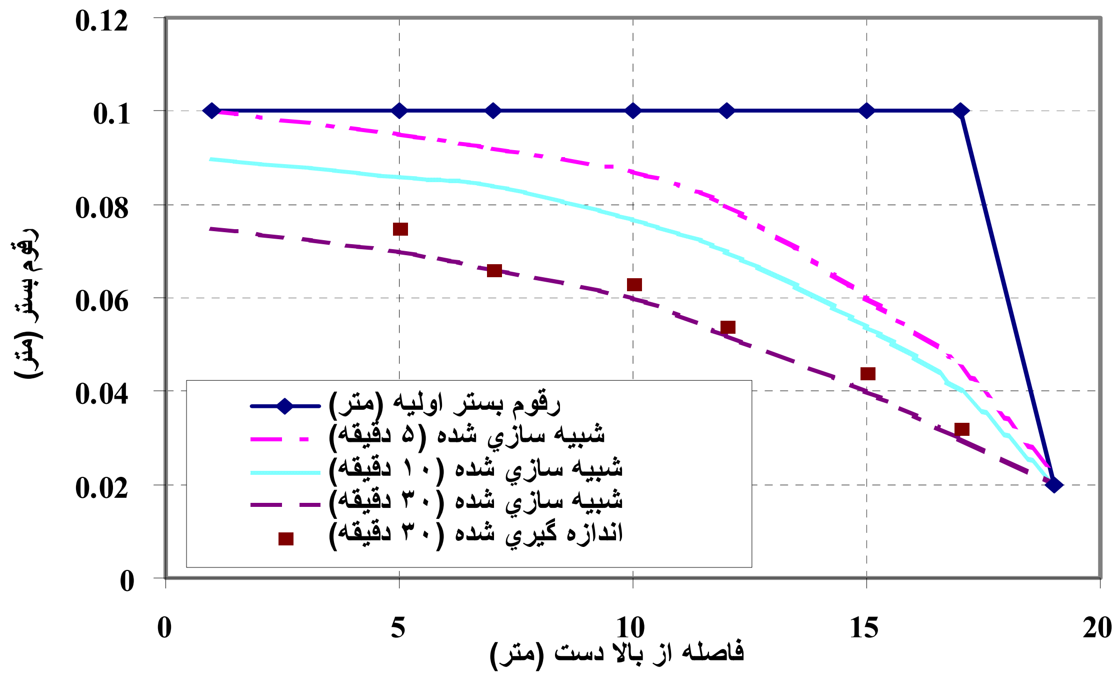
سد دشیدایرا، یک سد از نوع بتنی وزنی به ارتفاع ۷۶/۷ متر است که به منظور تولید برقابی در سال ۱۹۸۵ در ۲۶ کیلومتری بالادست دهانه رودخانه کورب ساخته شده است [۱۹].

اطلاعات ورودی مورد استفاده برای مخزن سد دشیدایرا بهشرح ذیل می‌باشد:

$$D_s = 0.3mm$$
$$p = 0.4$$
$$\gamma_s = 2640\, kg/m^3$$
$$n = 0.03$$
$$Q = 50\, m^3/s$$
$$Z(0,t) = 29.8\, m$$
$$\Delta t = 600 \text{ sec.}$$
$$\Delta x = 100\, m$$



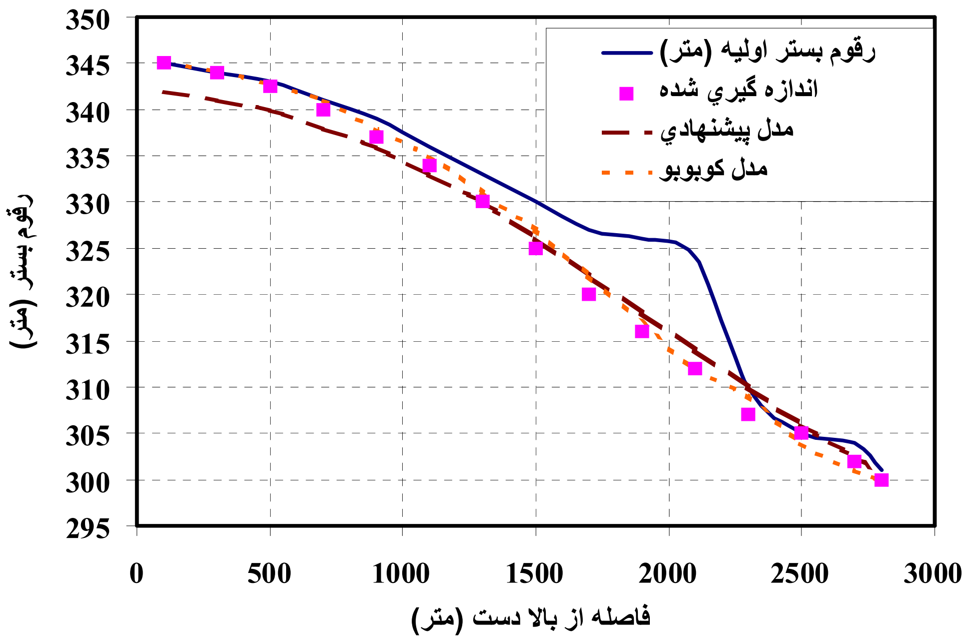
شکل۳ - نتايج شبيه سازي شده و اندازه‌گيري شده سري اول



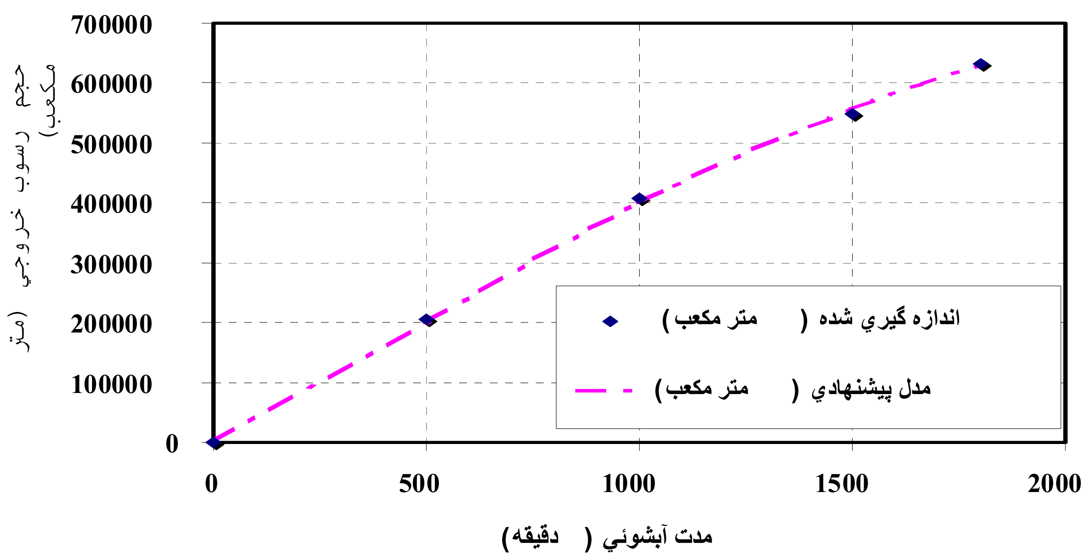
شکل۴ - نتايج شبيه سازي شده و اندازه گيري شده سري دوم

مخزن سد تا فاصله ۲۸۰۰ متری از تخلیه کنندههای تحتانی مدل گردیده است. عرض مؤثر جریان برابر با ۱۳۶ متر در نظر گرفته شده است. کل زمان آبشوئی رسوبات مخزن ۳۰ ساعت منظور شده است. تعداد تخلیه کنندههای تحتانی دو عـدد بوده که مقطع آنها مربعی با طول ضلع ۵ متر می باشد.

نتایج حاصل از اجرا مدل برای سد فوق در شکل (۵) و (۶) نشان داده شده است.



شکل۵ - نتايج شبيه سازي شده و اندازهگيري شده سد دشيدايرا



شکل ۶ - نتايج مدل پيشنهادي و اندازه گيري شده سد دشيدايرا

۹- نتیجه گیری

آبشویی رسوبات، یکی از بهترین روشهای رسوب زدایی مخازن سدها می‌باشد که بدون نیاز به صرف انرژی اضافی و فقط با استفاده از انرژی جریان آب، رسوبات درون مخزن شسته شده و از طریق تونلهای تخلیه تحتانی از سد خارج می‌شوند. این روش در بعضی از مخازن در سراسر دنیا اجرا شده است و همچنین در کشور ما این روش یکی از اولین گزینهها برای بررسی امکان رسوب زدایی از مخازن به حساب می‌آید. استفاده از مدلهای ریاضی و شبیهسازی عملیات آبشویی رسوبات از مخازن سدها از روشهای مفید و کارآمد در بررسی پدیده فوق و پیشبینی‌های لازم در آن می‌باشد که به طور گستردهای رو بهتزاید است. مدلهای ریاضی یک بعدی بهعلت سادگی و عدم نیاز به اطلاعات ورودی زیاد که معمولاً در تهیه این اطلاعات مشکلات فراوانی وجود دارد، از ابزارهای مفیدی برای شبیهسازی آبشویی می‌باشند. از نظر دقت نمی‌توان انتظاراتی که از مدلهای دو بعدی و سه بعدی داریم از مدلهای یک بعدی داشته باشیم. ولیکن می‌توان دقت آنها را با بکارگیری کالیبراسیون دقیق افزایش داد. مدل ریاضی یک بعدی ارائه شده در این مقاله بهوسیله تفاضلهای محدود در حجم کنترل حل گردیده است. مدل فوق به وسیلهٔ نتایج آزمایشگاهی حاصل از دو سری آزمایش مدل فیزیکی با شرایط مختلف کالبره شده است. سپس از مدل برای یک نمونه واقعی مخزن سد دشیدایرا استفاده شد. نتایج حاصل از اجرای مدل برای این سد با نتایج اندازهگیریهای انجام گرفته در تغییرات رقوم بستر مخزن پس از آبشویی نتایج خوبی می‌دهد. همچنین جهت مقایسه با مدلهای دیگر آبشویی، مقادیر محاسبه شده تغییرات رقوم بستر سد دشیدایرا با نتایج حاصل از اجرای مدلی که توسط محققین ژاپنی برای همین منظور تهیه شده، انجام گرفته است. برتری نسبی نتایج مدل ایشان نسبت به مدل این تحقیق، آن است که در واقع آنها مدل را با همین سد کالیبره کردهاند.

نمادها

وزن مخصوص آب	γ
چگالي نسبي ذرات	sg
شتاب ثقل	g
ضريب زبري مانينگ	n
ويسكوزيته	μ
دبي جريان	q
دبي رسوب ورودي	q_s
فاصله طولي از تونل تحتاني	x
زمان كل	T
گام زماني	Δt
ضريب كرانك نيكلسون	θ
رقوم بستر	Z
سرعت جريان	u
عمق آب	h
سرعت سقوط ذره رسوب	ω
تخلخل ذرات	P
ضريب ثابت	k_0
ضريب نيروي رانش	C_D
عدد رينولدز	R_e
شيب كف	S
جرم مخصوص آب	ρ
قطر متوسط ذرات	D_s

مراجع

[1] Atkinson, E. (1995), "A numerical Model for Prediction Sediment Exclusion at Intakes." ReportOD 130, HR Wallingford, UK.

[2] Atkinson, E.(1996), "Flushing Sediment from Reservoirs: RESFLUSH User Manual" HR Wallingford, UK Report OD ITM 54, March.

[3] Atkinson, E. (1996), "The Feasibility of Flushing Sediment from Reservoirs." Report OD 137, Nov.

[4] Cheng, X. M. (1992), "Reservoir Sedimentaion in Chinese Hydro Schemes." Int. Water Power & Dam Construction, pp. 44-47.

[5] Fan, J., and Jiang Rujin (1980), "On Methods of Desilting of Reservoir." International Seminar of Experts on Reservoir Desilting, Tunis.

[6] Guan, Y., Rong, F., and Wang, H. (1991), "A Numerical Model for Sedimentation in Fenhe Reservoir and Adjoining Reaches." International Journal Research IRTCES, Vol. 36, No. 4, April.

[7] Hsieh, W. Shen, Jihn-Sung Lai (1996), "Flushing Sediment Through Reservoirs." Journal of Hydraulic Res. Vol 34, No.2.

[8] Hsieh, W. Shen (1999), "Flushing Sediment Through Reservoirs." Journal of Hydraulic Research, Vol 37.

[9] Ju, J. (1990), "Computational Method of Headwater Erosion and Its Application." Journal of Sediment Research,Vol.1,pp.30-39.

[10] Jiang-Sung, Lai (1994), "Hydraulic Flushing for Reservoir Desiltation", Dissertation Presented to the University of California at Berkerly, in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy.

[11] Morris, G. L., and Fan, J. (1993) "Reservoir Sedimentation Handbook." McGraw HillBook Company, pp.23.1- 23.27.

[12] Neve, RS and Gusbi M.M., (1991) "Mathematical Modelling of Reservoir Flows In: Computer Methods in Water Resources II, Vol. l2. Computational Hydraulics and Hydrology, pp.261-269, Computational Mechanics Publications, Southampton, UK.

[13] Olsen, N. R. B. (1991). "A Three Dimensional Numerical Model for Simulation of Sediment Movements in Water Intakes." Dissertation for the Dr. Eng. Degree, The Norwegian Institue of Technology, Division of Hydraulic Engineering, University of Trondheim.

[14] Patankar, S. V. "Numerial Heat Transfer and Fluid Flow." Hemisphere Pub. Corp., New York: McGraw Hill.

[15] Peng, R. and J. Niu (1987). "Numerical model for Headward Erosion on Bed Load." Journal of Sediment Research,Vol.3, Proceeding Conference IAHR, in Graz, Austria.

[16] Scheurlein, H. (1987), "Sediment Sluicing in Mountain Reservoirs." Proc. IAHR of the Int.Workshop on Fluvial Hydraulics of Mountain Regions, Trent, Italy, Oct.3-6, pp.B77- B88.

[17] Sen, S. P., and Srivasta (1995) "Flushing of Sediment from Small Reservoirs." Proceeding: Sixth International Symposium, River Sedimentation, New Delhi, India. C.V.J. Varmaand A .R. G. Rao. Published by A. Balkema, Rotterdam.

[18] Shen, H. W., Lai, Zhao (1993), "Hydraulic Desiltation for Non- Cohesive Sediment." In: Proc. Of the 1993 Annual ASCE Hydraulic Engineering.

[19] Kokubo, T., Ltakura, M., Harada, M. (1997) "Predicting Methods and Actual Results on Flushing of Accumulated Deposits from Dashidaira Reservoirs" 18th. ICOLD, Q74, R.47, Florence, I Conference, San Fransisco, California, July 26-30.

[20] Thorsten Stoesser (1999), "On the Use of A Three Dimensional. CFD Model to Simulate Reservoir Sedimentation Procsses." Proceeding.

[21] White, W. R and Bettes, R. (1984), "The Feasibility of Flushing Sediments through Reservoirs, Proc. of the Harare Symposium. " Challenges in African Hydrology and Water Resources," July 1984. IAHR Publ. No. 144.

[22] White, W. R . (1990), "Reservoir Sedimentation and Flushing." In: Hydrology in Regions. II- Artificial Reservoirs; Water and Slopes, Proc. Of Two Symposia, IAHR, Pub. Lousanne., No. 194, pp. 129-139.