Archive of SID

مجله پژوهش آب ایران
سال ششم/ شماره دهم/ بهار و تابستان ۱۳۹۱

یادداشت فنی

شبیه‌سازی توزیع رسوب در مخزن سد کوثر با استفاده از الگوی توزیع رسوب مخزن سد دز

سید فرهاد موسوی[۱*] و جهانشیر محمدزاده هابیلی[۲]

چکیده

سد کوثر در استان کهگیلویه و بویراحمد در فاصله ۶۰ کیلومتری شمال غرب دوگنبدان در محل تنگ دوک و روی رودخانه خیرآباد احداث شده است. بهره‌برداری از این سد در سال ۱۳۸۲ آغاز شده است. با توجه به یکی بودن ضریب مخزن (۰/۴۱) سد دز و سد کوثر، سه بار رسوب‌سنجی در مخزن سد دز (سال‌های ۱۳۶۲، ۱۳۷۶ و ۱۳۸۲) و قرار گرفتن این دو سد در حوضه آبریر خلیج فارس، از الگوی توزیع رسوب سد دز برای پیش‌بینی توزیع رسوب در مخزن سد کوثر استفاده شده است. حجم رسوبات ورودی به مخزن سد کوثر ۴۷۵ هزار متر مکعب در سال است. توزیع رسوب در مخزن این سد در دوره‌های ۲۰۰ ساله پس از بهره‌برداری تخمین زده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ضریب مخزن پس از ثابت شدن نرخ رسوب‌گذاری به عدد ۰/۵۹ خواهد رسید. حدود ۶۳۲ سال پس از بهره‌برداری، تراز رسوبات به تراز دریچه‌های آبگیر سد می‌رسد. همچنین پس از ۱۴۳۷ سال، مخزن سد به طور کامل از رسوب پر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: رسوب‌گذاری، ضریب مخزن، سد دز و سد کوثر

ارجاع: موسوی س. ف. و محمدزاده هابیلی ج. ۱۳۹۰ . شبیه‌سازی توزیع رسوب در مخزن سد کوثر با استفاده از الگوی توزیع رسوب مخزن سد دز. مجله پژوهش آب ایران.

۱- استاد وابسته، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان
۲- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
* نویسنده مسئول: mousavi_sf@yahoo.com
تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۳/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۸/۰۹

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

سدها برای کنترل سیلاب، آبیاری، تأمین آب شهری و صنعتی، تولید برق و کنترل رسوب ساخته می‌شوند (فراری و کولینز، ۲۰۰۶؛ محمدزاده هابیلی و همکاران، ۲۰۰۹). هنگامی که سدی روی یک رودخانه احداث می‌گردد، رسوبات حمل شده در مخزن سد ذخیره شده و حجم آن به تدریج کم می‌شود. این امر باعث افزایش میزان تبخیر، باتلاقی شدن اراضی بالادست و کاهش حجم کنترل سیلاب در مخزن می‌شود (یانگ، ۱۹۹۶). رسوبات تجمع یافته، بر عملکرد تأسیسات خروجی آثار نامطلوب می‌گذارند (USBR، ۱۹۶۲).

پیش‌بینی توزیع رسوب در مرحله بهره‌برداری می‌تواند در مدیریت بهتر مخزن و تعیین زمان رسیدن تراز رسوبات به تراز دریچه‌های آبگیر سد مفید باشد. روش‌های افزایش سطح و کاهش سطح برای پیش‌بینی توزیع رسوب در مخازن سدها به کار می‌روند (آناندیل، ۱۹۸۷؛ بورلند و میلر، ۱۹۷۱). علاوه بر این، نرم‌افزارهای HEC-6 (اداره مهندسی ارتش آمریکا، ۱۹۹۱) و GSTAR3 (یانگ و سیموئس، ۲۰۰۲) نیز برای پیش‌بینی توزیع رسوب در مخازن سدها استفاده می‌شوند.

نتایج مطالعه نحوه توزیع رسوب در مخازن ۴۰ سد در آمریکا نشان می‌دهد که توزیع رسوب فقط به حجم رسوبات و ضریب مخزن بستگی دارد (محمدزاده هابیلی و حیدرپور، ۲۰۱۰). روش‌های افزایش سطح و کاهش سطح توسط رهنمایی (۱۳۷۴)، موسوی و صمدی بروجنی (۱۳۷۵)، شعبانلو (۱۳۷۹) و محمدزاده هابیلی (۱۳۸۷) ارزیابی شده‌اند. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که این دو روش دارای خطای زیادی در پیش‌بینی توزیع رسوب می‌باشند. یکی از روش‌هایی که می‌تواند برای پیش‌بینی توزیع رسوب در مخازن سدها به کار رود، استفاده از الگوی توزیع رسوب مخازن سدهای با عمر طولانی است که چندین بار عملیات رسوب‌سنجی در آنها انجام شده باشد. در تحقیق حاضر، با توجه به یکی بودن ضریب مخزن سدهای دز و کوثر (۰/۴۱)، سه بار رسوب‌سنجی در مخزن سد دز (مهندسین مشاور دریا ترسیم، ۱۳۸۲) و قرار گرفتن این دو سد در حوضه آبریز خلیج فارس، از الگوی توزیع رسوب سد دز برای پیش‌بینی توزیع رسوب در مخزن سد کوثر استفاده شده است.

معادله حاکم بر منحنی ارتفاع- حجم مخازن سدها

محمدزاده هابیلی و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از شباهت بین منحنی ارتفاع- حجم مخازن سدها با منحنی تابع لگاریتم طبیعی، معادله بدون بعد ارتفاع- حجم و ارتفاع- سطح مخازن سدها را به صورت زیر به دست آوردند:

$$p = \frac{1}{Ln(2)} Ln(v^N + 1) \qquad (۱)$$

$$V_y = V_m \left(e^{(\mathrm{Ln}\,2)\frac{y}{y_m}} - 1 \right)^{\frac{1}{N}} \qquad (۲)$$

که p عمق نسبی، v حجم نسبی، N ضریب مخزن، y فاصله عمودی از کف مخزن، y_m فاصله عمودی از کف مخزن تا بالاترین تراز آب، V_y حجم مخزن در تراز y و V_m حجم مخزن در بالاترین تراز آب است.

$$A_y = \frac{V_m(\mathrm{Ln}2)}{N y_m} e^{(\mathrm{Ln}2)\frac{y}{y_m}} \left(e^{(\mathrm{Ln}2)\frac{y}{y_m}} - 1 \right)^{\frac{1-N}{N}} \qquad (۳)$$

که A_y سطح مخزن در فاصله عمودی y از کف مخزن می‌باشد. با قرار دادن $y = y_m$ در معادله ۳ و پس از ساده‌سازی، سطح مخزن در بالاترین تراز A_m به صورت زیر به دست می‌آید:

$$A_m = \frac{2(\mathrm{Ln}\ 2) V_m}{N y_m} \qquad (۴)$$

با استفاده از معادله ۴، معادله ضریب مخزن به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$N = \frac{2(\mathrm{Ln}\ 2) V_m}{y_m A_m} \qquad (۵)$$

مواد و روش‌ها

مشخصات سدهای کوثر و دز

سد مخزنی کوثر در استان کهگیلویه و بویراحمد در ۶۰ کیلومتری شمال غرب دوگنبدان و روی رودخانه خیرآباد احداث شده و در سال ۱۳۸۲ بهره‌برداری شده است. سد کوثر از نوع بتنی وزنی با ارتفاع ۱۴۴ متر از پی، طول تاج ۱۹۰ متر، عرض در پی ۶۳ متر، عرض در تاج ۷ متر، تراز

www.SID.ir

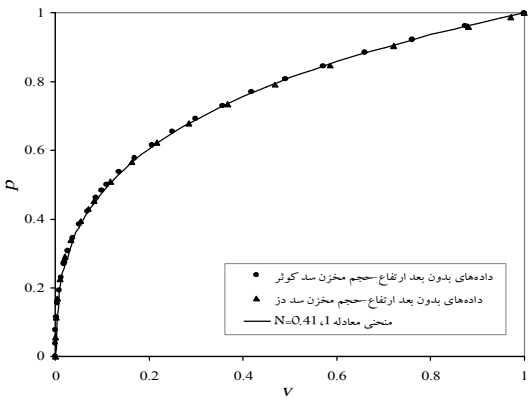
Archive of SID

تاج ۶۳۸ متر از سطح دریا، تراز دریچه‌های سرریز ۵۸۰ متر، تراز سرریز روی بدنه ۶۳۰ متر، تراز نرمال ۶۳۰ متر، حجم مخزن در تراز نرمال ۶۶۰ میلیون متر مکعب و سطح مخزن در تراز نرمال ۱۸ کیلومتر مربع است. سد دز در ۲۵ کیلومتری شمال دزفول ساخته شده است. این سد با حداکثر ارتفاع از پی ۲۰۳ متر، مساحت دریاچه در تراز حداکثر آب ۶۸ کیلومتر مربع و حجم ۳۳۶۷ میلیون متر مکعب است. آبگیری مخزن این سد در سال ۱۳۴۱ آغاز شده است.

نتایج و بحث

شباهت بین سدهای کوثر و دز

با استفاده از ضریب مخزن، می‌توان شباهت یا تفاوت بین مخزن دو سد را از نظر هندسی تعیین کرد. در شکل ۱ داده‌های بدون بعد ارتفاع - حجم مخازن سدهای کوثر و دز نشان داده شده است. مقدار N با استفاده از روش حداقل نمودن متوسط خطای همبستگی (MSE) بین داده‌های بدون بعد ارتفاع- حجم مخزن با منحنی معادله ۱، برابر با ۰/۴۱ برای هر دو سد به دست آمد. چون ضریب مخزن سدهای کوثر و دز برابر است، نشان دهنده شباهت کامل این دو از نظر هندسی است. با توجه به این که هر دوی آنها در یک حوضه آبریز قرار دارند، با استفاده از الگوی توزیع رسوب مخزن سد دز می‌توان توزیع رسوب سد کوثر را به دقت پیش‌بینی کرد.

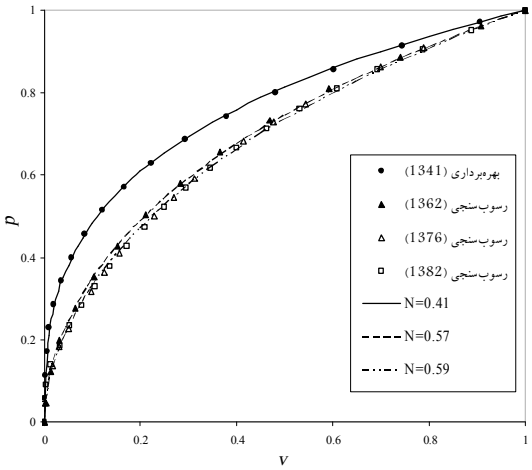


شکل ۱- داده‌های بدون بعد ارتفاع- حجم مخازن سدهای کوثر و دز به همراه منحنی معادله ۱

پیش‌بینی توزیع رسوب سد کوثر با استفاده از الگوی توزیع رسوب سد دز

در سال ۱۳۴۱، حجم مخزن سد دز ۳۳۴۰ میلیون متر مکعب در تراز ۳۵۰، و پایین‌ترین تراز مخزن ۱۶۵ متر بوده است. عملیات رسوب‌سنجی مخزن در سال‌های ۱۳۶۲، ۱۳۷۶ و ۱۳۸۲ انجام شده است. در این رسوب‌سنجی‌ها، تراز رسوبات در پشت بدنه سد به ترتیب ۲۱۸/۸۸، ۲۳۹/۹ و ۲۴۵/۵ متر وحجم مخزن به ترتیب ۳۱۴۱، ۲۹۸۵ و ۲۷۲۹ میلیون متر مکعب برآورد شده است. در شکل ۲ داده‌های بدون بعد ارتفاع- حجم مخزن در زمان بهره‌برداری و سه بار رسوب‌سنجی نشان داده شده و منحنی معادله ۱ برای مقایسه ترسیم شده است.

براساس شکل ۲، ضریب مخزن سد دز در زمان بهره‌برداری ۰/۴۱ بوده که در رسوب‌سنجی سال ۱۳۶۲ به ۰/۵۷ افزایش یافته است. همچنین در رسوب‌سنجی سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۸۲ ضریب مخزن در ۰/۵۹ ثابت شده است. با توجه به ثابت شدن ضریب مخزن سد دز، می‌توان نتیجه گرفت که ضریب مخزن سد کوثر نیز پس از رسوب‌گذاری، در ۰/۵۹ ثابت می شود. همچنین مطالعات انجام شده توسط بورلند و میلر (۱۹۵۸) نشان می‌دهد که سطح مخزن در بالاترین تراز پس از رسوب‌گذاری ثابت باقی می‌ماند.



شکل ۲- داده‌های بدون بعد ارتفاع – حجم مخزن سد دز در زمان بهره‌برداری و رسوب‌سنجی سال‌های ۱۳۶۲، ۱۳۷۶ و ۱۳۸۲ به همراه منحنی معادله۱

اگر V_{m2}، A_{m2}، y_{m2} و N_2 به ترتیب حجم مخزن، سطح مخزن در بالاترین تراز، عمق مخزن و ضریب مخزن

www.SID.ir

Archive of SID

بعد از رسوب‌گذاری باشند، آنگاه با جایگزین کردن این پارامترها در معادله ۵، می‌توان نوشت:

$$N_2 = \frac{2(\mathrm{Ln}(2))V_{m2}}{y_{m2} A_{m2}} \qquad (۶)$$

اگر VS حجم رسوبات ورودی به مخزن و V_{m1} حجم مخزن در زمان بهره‌برداری باشد، آنگاه می‌توان نوشت:

$$V_{m2} = V_{m1} - V_S \qquad (۷)$$

همچنین سطح مخزن در بالاترین تراز آب در اثر رسوب‌گذاری تغییر نمی‌کند. در نتیجه:

$$A_{m2} = A_{m1} \qquad (۸)$$

با جایگزین کردن مقادیر A_{m2} و V_{m2} از معادلات ۷ و ۸ در معادله ۶ و قرار دادن N_2 = ۰/۵۹:

$$y_{m2} = \frac{2(\mathrm{Ln}(2))(V_{m1} - V_S)}{0.59 A_{m1}} = 2.35 \frac{(V_{m1} - V_S)}{A_{m1}} \qquad (۹)$$

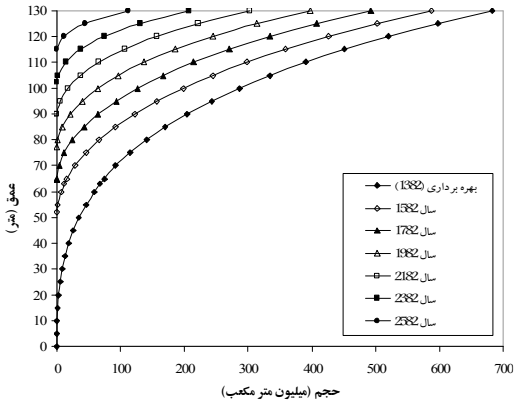
پس از محاسبه y_{m2}، عمق صفر جدید مخزن (yo) یا ضخامت رسوبات در پشت بدنه سد را می‌توان از معادله زیر به دست آورد:

$$y_o = y_{m1} - y_{m2} \qquad (۱۰)$$

پس از محاسبه y_{m2} و yo و استفاده از معادله ۲، معادله جدید ارتفاع - حجم مخزن عبارت خواهد بود از:

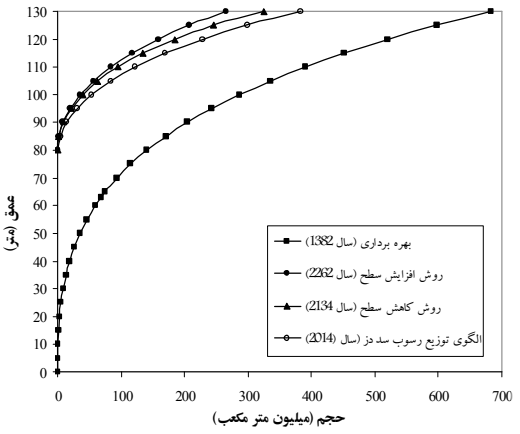
$$V_{y \geq y_o} = (V_{m1} - V_S)\left(e^{(\mathrm{Ln}\,2)\frac{y - y_o}{y_{m2}}} - 1 \right)^{\frac{1}{0.59}} \qquad (۱۱)$$

پیش‌بینی منحنی ارتفاع- حجم سد کوثر پس از رسوب‌گذاری بر اساس اندازه‌گیری‌های غلظت رسوب در ایستگاه هیدرومتری بالادست سد کوثر، حجم رسوبات ورودی به مخزن این سد، با وزن مخصوص ظاهری ۱/۲ گرم در سانتی‌متر مکعب، ۴۷۵ هزار متر مکعب در سال محاسبه شد. به ازای این حجم رسوب، در دوره‌های ۲۰۰ ساله پس از بهره‌برداری از سد و استفاده از معادلات ۹، ۱۰ و ۱۱، منحنی ارتفاع- حجم مخزن محاسبه شده و نتایج در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- منحنی‌های ارتفاع- حجم مخزن سد کوثر در زمان بهره‌برداری و دوره‌های زمانی ۲۰۰ ساله پس از بهره‌برداری

از مهمترین کاربردهای روش پیشنهادی، تعیین زمان رسیدن تراز رسوبات به تراز دریچه‌های آبگیر سد می‌باشد. تراز دریچه‌های آبگیر سد کوثر ۵۸۰ متر از سطح دریا (عمق ۸۰ متری از بستر رودخانه) است. در یک فرایند سعی و خطا، زمان رسیدن تراز رسوبات به تراز دریچه‌های آبگیر سد، ۶۳۲ سال پس از بهره‌برداری (یعنی در سال ۲۰۱۴ شمسی) تعیین شد. با استفاده از روش پیشنهادی (شباهت با الگوی توزیع رسوب در سد دز) و روش‌های افزایش سطح و کاهش سطح، منحنی ارتفاع- حجم در زمان رسیدن تراز رسوبات به تراز دریچه‌های سد محاسبه شده و در شکل ۴ نشان داده شده است. بر این اساس، روش‌های افزایش سطح و کاهش سطح نسبت به روش پیشنهادی، زمان رسیدن تراز رسوبات به تراز دریچه‌های سد را دیرتر پیش‌بینی می‌کنند.



شکل ۴ - منحنی‌های ارتفاع- حجم مخزن سد کوثر در زمان بهره‌برداری و زمان رسیدن تراز رسوبات به دریچه‌های آبگیر سد

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

با توجه به یکی بودن ضریب مخزن سدهای دز و کوثر، سه بار رسوب‌سنجی انجام شده در مخزن سد دز و قرار گرفتن این دو سد در حوضه آبریز خلیج فارس، از الگوی توزیع رسوب سد دز برای پیش‌بینی توزیع رسوب در مخزن سد کوثر استفاده شد و یک معادله ریاضی برای پیش‌بینی توزیع رسوب در مخزن سد کوثر به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ۶۳۲ سال پس از بهره‌برداری، تراز رسوبات به تراز دریچه‌های آبگیر سد می‌رسد. همچنین پس از ۱۴۳۷ سال مخزن سد به طور کامل از رسوب پر می شود با توجه به حجم خیلی کم رسوبات ورودی به مخزن سد کوثر، و فرض اینکه نرخ رسوب‌گذاری در سال‌های آینده برای این سد ثابت بماند، به نظر می‌رسد که رسوب مشکل خاصی را در زمینه بهره‌برداری از مخزن سد ایجاد نمی‌کند.

منابع

۱- شعبانلو س. ۱۳۷۹. بررسی نحوه رسوب‌گذاری در تعدادی از سدهای مخزنی ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲- رهنمایی د. ۱۳۷۴. رسوب‌گذاری در مخازن سدها. آب و توسعه، ۳(۱): ۵۰-۵۸.

۳- محمدزاده هابیلی ج. ۱۳۸۷. به دست آوردن معادلات ریاضی منحنی‌های حجم – سطح مخازن برای پیش‌بینی توزیع رسوب در مخازن سدها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴- موسوی س. ف. و صمدی بروجنی ح. ۱۳۷۵. ارزیابی توزیع رسوب در مخازن سدهای کوچک منطقه چهارمحال و بختیاری. آب و فاضلاب ۱۸: ۴-۱۳.

۵- مهندسین مشاور دریا ترسیم. ۱۳۸۲. گزارش رسوب‌سنجی سد دز. تهران.

6- Annandale G.W. 1987. Reservoir Sedimentation. Developments in Water Science, No. 29, Elsevier, Amsterdam.

7- Borland W.M. and Miller C.R. 1958. Distribution of sediment in large reservoirs. J. of Hydraulic Division, ASCE, 84(2): 1587.1-1587.10.

8- Borland W.M. and Miller C.R. 1971. River Mechanics. Water Resources Publication, Fort Collins, CO.

9- Christofano E.A. 1953. Area Increment Method for Distributing Sediment in a Reservoir. U. S. Bureau of Reclamation, Albuquerque, New Mexico.

10- Ferrari R. and Collins K. 2006. Reconnaissance techniques for reservoir surveys. Proc. of the Eighth Federal Interagency Sedimentation Conference, April 2-6, Reno, NV, USA.

11- Mohammadzadeh-Habili J. Heidarpour M., Mousavi S.F. and Haghiabi A.H. 2009. Derivation of reservoir's area-capacity equations. J. Hydrol. Eng., 14(9): 1017-1023.

12- Mohammadzadeh-Habili J. and Heidarpour M. 2010. New empirical method for prediction of sediment distribution in reservoirs. J. Hydrol. Eng., 15(10): 813-821.

13- U.S. Army Corps of Engineers. 1991. HEC-6 scour and deposition in rivers and reservoirs, user's manual. Hydrologic Engineering Center (HEC), Davis, CA.

14- U. S. Bureau of Reclamation. 1962. Revision of the procedure to compute sediment distribution in large reservoirs. Sedimentation Section, Hydrology Branch.

15- Yang C.T. 1996. Sediment Transport: Theory and Practice. Mc-Graw Hill, Inc., New York, 412 P.

16- Yang C.T. and Simões, F.J.M. 2002. User's manual for GSTARS3 (Generalized Sediment Transport Model for Alluvial River Simulation version 3.0). U.S. Bureau of Reclamation, Technical Service Center, Denver, CO.

www.SID.ir