نشریه علمی پژوهشی سد و نیروگاه برق آبی
سال سوم / شماره دهم / پاییز ۱۳۹۵

Journal of Dam and Hydroelectric PowerPlant
3rd Year / No. 10 / December 2016

آنالیز عدم قطعیت در برآورد حجم رسوب مخازن سدها با استفاده از روش آلفا- برش فازی (مطالعه موردی: سد لتیان)

مریم بیات*[۱]
کورش قادری[۲]
محمد مهدی احمدی[۳]

چکیده

در تخمین میزان رسوب‌گذاری و تجمع رسوبات در مخزن، عدم قطعیت‌هایی وجود دارد که از عواملی مانند میزان دبی جریان، بار رسوب، اندازه ذرات و وزن مخصوص رسوبات، راندمان تله‌اندازی و نوع عملکرد مخزن، ناشی می‌شوند. در این مطالعه جهت به‌کمیت درآوردن عدم قطعیت برآورد حجم رسوب‌گذاری مخزن، داده‌های ۴۶ ساله دبی جریان و بار رسوب ایستگاه‌های هیدرومتری منتهی به مخزن سد لتیان مورد استفاده قرار گرفته و مدل تجربی برآورد حجم رسوب مخزن بر مبنای روش آلفا- برش فازی در محیط برنامه‌نویسی نرم‌افزار MATLAB توسعه داده شده است. میزان عدم قطعیت بار کل رسوب ورودی به مخزن، راندمان تله‌اندازی و حجم رسوب انباشته شده در مخزن توسط دو تابع عضویت فازی مربوط به هر کدام و با پنج سطح آلفا- برش، به‌ترتیب ۰/۶۴۱، ۰/۰۲۳ و ۰/۳۴۴ محاسبه گردید. نتایج نشان داد مقدار دبی جریان سالانه نقش مهمی در تغییرات میزان عدم قطعیت دارد و با افزایش دبی، عدم قطعیت افزایش می‌یابد. هم‌چنین عامل بار رسوب ورودی به مخزن، بیشترین و راندمان تله‌اندازی کمترین تأثیر را در به وجود آمدن عدم قطعیت در برآورد حجم رسوب مخزن لتیان دارند بنابراین رسوب ورودی سالانه به مخزن مهم‌ترین عامل در برآورد مقدار رسوب‌گذاری سالانه و رسوب انباشته شده در مخزن سد لتیان است.

واژه‌های کلیدی

تحلیل عدم قطعیت، راندمان تله‌اندازی، سد لتیان، آلفا- برش فازی، تابع عضویت فازی.

۱*. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های آبی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، maryambayat14@yahoo.com.
۲. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
۳. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۰۸

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.3.5]

مقدمه

اندازه‌گیری حجم رسوب ورودی به مخازن، راندمان تله‌اندازی و محاسبه عمر مفید سدها از مهم‌ترین عواملی هستند که باید در روند طراحی سد و پس از ساخت در مدیریت بهره‌برداری به آن‌ها پرداخته شود. تخمین عوامل فوق با روابطی که غالباً تجربی هستند صورت می‌گیرد که باعث به‌وجود آمدن عدم قطعیت در نتایج می‌شود. بنابراین برای افزایش ضریب اطمینان به پروژه لازم است در برآورد حجم رسوب مخازن سدها میزان عدم قطعیت محاسبات مورد توجه قرار گیرد و عوامل مؤثر در به‌وجود آمدن عدم قطعیت نیز شناخته شوند تا این عوامل با توجه بیشتری بررسی گردند. برای محاسبه عدم قطعیت روش‌های مختلفی مانند روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو[1] (MCS)، برآورد واریانس مرتبه اول[2] (FOA)، نمونه‌گیری مکعب لاتین[3] (LHS)، منطق فازی[4] و... ارائه شده است. سالاس و شین[5] (۱۹۹۹) عدم قطعیت برآورد حجم رسوبات مخزن کنی[6] بر روی رودخانه وایت[7] واقع در کلرادو را با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو مورد بررسی قرار دادند و نتایج حساسیت عوامل و عدم قطعیت سطح آب، ارتفاع رقوم بستر و دبی جریان رسوب را تحلیل نمودند. تهرانی و همکاران (۲۰۰۸) با روش نمونه‌گیری مکعب لاتین برای عدم قطعیت در تخمین حجم رسوب تجمع یافته مخزن سد سحر-چای با روش واریانس مرتبه اول و آنالیز حساسیت نشان دادند که رسوب معلق، بار بستر و جریان سالانه، مهم‌ترین عامل مؤثر در حجم رسوب‌گذاری مخزن برای دو دوره کم بارش و پربارش و راندمان تله‌اندازی و درصد رسوبات از عوامل تأثیرگذار بعدی هستند. گنجی نوروزی و همکاران (۱۳۸۷) عدم قطعیت محاسبه حجم رسوب ورودی به مخزن سد اکباتان را با روش-های مونت‌کارلو و نقطه‌ای هار[8] بررسی نمودند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، دبی رسوب و دبی جریان بیش‌ترین تأثیر و راندمان تله‌اندازی کم‌ترین تأثیر را در برآورد حجم رسوب ورودی داشته‌اند. ایبب و همکاران[9] (۲۰۰۴) دو روش آنالیز عدم قطعیت شبیه‌سازی مونت‌کارلو و منطق فازی را روی مدل انتشار آلودگی آب زیرزمینی مقایسه کردند و نتایج نشان داد که روش برش آلفای فازی[10] (FAC) جایگزینی بسیار خوب برای روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو است و برای پارامترهای عدم قطعیت که خروجی آن یک تابع یکنواخت باشد، سریع‌تر عمل می‌کند. ریولی و ریدولفی[11] (۲۰۰۲) یک روش فازی برای آنالیز شبکه توزیع آب با در نظر گرفتن عدم قطعیت ناشی از عوامل غیرقطعی پیشنهاد دادند، آن‌ها با درنظر گرفتن عدم قطعیت در عوامل مستقل (تقاضای گره، ضرایب زبری لوله‌ها)، توابع عضویت عوامل فازی وابسته (دبی لوله و هد گره‌ها) را با استفاده از روشی بر اساس بازه جبری و تئوری بهینه‌سازی به‌دست آوردند. هدف از انجام این تحقیق، تحلیل عدم قطعیت برآورد حجم رسوب مخزن سد لتیان با استفاده از روش آلفا-برش فازی است. رمضانی موزیرجی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از ترکیب تکنیک‌های آماری و سیستم‌های فازی، روشی برای پیش‌بینی تغییرات تراز آب دریاچه خزر پیشنهاد دادند و تغییرات تراز آب این دریاچه را برای ۱۰ سال آینده پیش‌بینی نمودند.

تاکنون از روش آلفا- برش فازی برای تحلیل عدم قطعیت برآورد حجم رسوب مخازن استفاده نشده است. در این مطالعه مدل برآورد حجم رسوب مخزن سد لتیان بر مبنای روش آلفا-برش فازی و با در نظر گرفتن عدم قطعیت در عوامل ورودی، در محیط برنامه‌نویسی نرم‌افزار MATLAB توسعه داده شده است.

مواد و روش‌ها

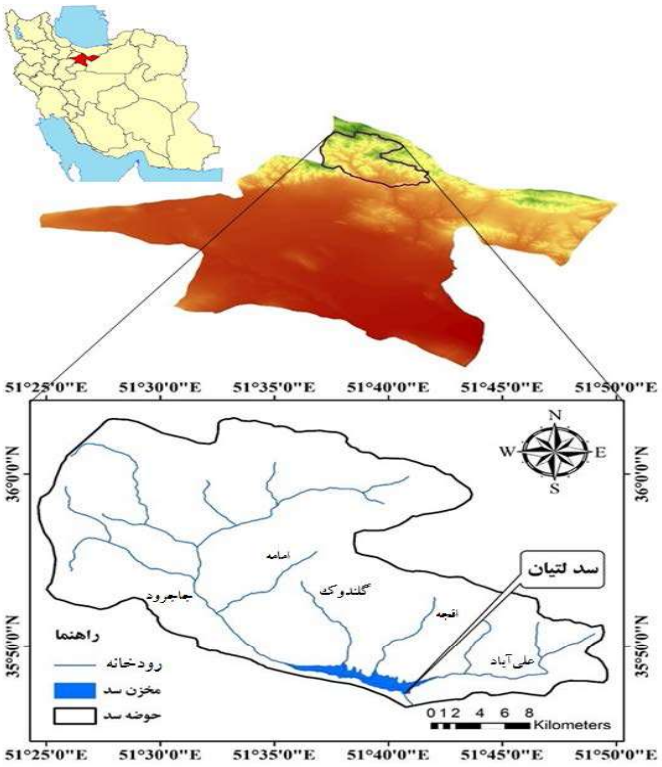
منطقه مطالعاتی

سد لتیان در محدوده جغرافیایی به عرض ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و به طول ۵۱ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی واقع شده است. این سد بر روی رودخانه جاجرود با سطح حوضه آبریزی به مساحت ۶۹۸ کیلومترمربع و با متوسط جریان آب سالانه به میزان ۳۵۰ (MCM) در استان تهران و در فاصله ۳۵ کیلومتری شمال شرقی تهران و ۵ کیلومتری بخش جاجرود قرار دارد. رودخانه جاجرود، آبریز و تأمین‌کننده اصلی و رودخانه‌های علی‌آباد، افجه و گلندوک، از دیگر آبریزهای این

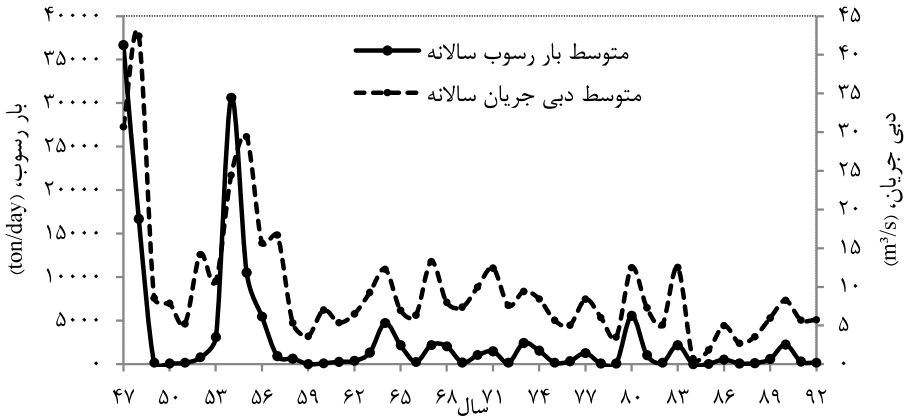
[1] Monte Carlo Simulation
[2] Frist-Order Variance Estimation Method
[3] Latin Hypercube Sampling
[4] Fuzzy Logic
[5] Salas and Shin
[6] Kenny
[7] White
[8] Har
[9] Abebe
[10] Fuzzy Alpha-Cut
[11] Revelli and Redolfi

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.3.5]

سد هستند. شکل (۱) موقعیت حوضه آبریز سد لتیان را نشان می‌دهد. این سد از نوع بتنی پایه‌دار، با ارتفاع ۱۰۷ متر از پی، حجم کل مخزن ۹۵ (MCM) و حجم مرده ۲۸ (MCM) در سال ۱۳۴۶ بهره‌برداری شده است. برای دستیابی به هدف مورد نظر این پژوهش، آمار دبی جریان و دبی رسوب روزانه به مدت ۴۶ سال مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه‌های تأمین‌کننده مخزن سد لتیان، اطلاعات سه دوره هیدروگرافی و متوسط درصد ذرات رسوب ورودی به مخزن از شرکت آب منطقه‌ای استان تهران تهیه شد. شکل (۲) مقادیر متوسط دبی جریان و بار رسوب ورودی سالانه مخزن سد لتیان را در کل دوره آماری نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوضه و سد لتیان



شکل (۲): متوسط دبی جریان سالانه و متوسط بار رسوب سالانه ورودی به مخزن سد لتیان در طول دوره آماری

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.3.5]

مدل تجربی برآورد حجم رسوب مخزن

عدم قطعیت در رسوب‌گذاری مخازن از عواملی مانند جریان رسوب ورودی به مخزن، بده آب و نوع رسوبات تجمع یافته در مخزن ناشی می‌شود. این عوامل در به وجود آمدن عدم قطعیت مقدار رسوبی که سالانه در مخزن انباشته می‌شود، رسوب تجمع یافته در مخزن در طول زمان بهره‌برداری و مدت زمانی که طول می‌کشد تا مقدار معینی رسوب در مخزن تجمع یابد، دخیل هستند (سالاس و شین، ۱۹۹۹). جهت برآورد سرعت کاهش حجم سد، پارامترهای رسوبی که شامل مقدار رسوب ورودی، راندمان تله‌اندازی و وزن مخصوص رسوبات ته‌نشین شده است، برآورد گردیده است.

روش رایج برای تخمین بار رسوب سالانه، استفاده از منحنی سنجه رسوب معلق و بار بستر است. مقادیر روزانه دبی جریان، بار معلق و بار بستر متعلق به هر سال از دوره آماری با هم جمع و بر تعداد روزهای سال تقسیم می‌شوند تا متوسط دبی جریان و دبی رسوبات بار معلق و بستر به‌صورت سالانه به‌دست آید. سپس متوسط بار رسوب سالانه در مقابل دبی متوسط سالانه به‌صورت یک گراف رسم می‌گردد. منحنی سنجه رسوب سالانه مربوط به رسوبات معلق و بار بستر با استفاده از معادلات زیر به‌دست آمد.

$$\log_{10} QS_t = \log_{10} a_1 + b_1 \log_{10} QW_t \qquad (۱)$$

$$\log_{10} QB_t = \log_{10} a_2 + b_2 \log_{10} QW_t \qquad (۲)$$

که، QW_t متوسط دبی جریان سالانه (m^3/s) در سال t،

QS_t متوسط بار رسوب معلق سالانه (ton/day) در سال t

QB_t متوسط سالانه بار بستر (ton/day) در سال t،

و b_1، a_1، b_2 و a_2 به ترتیب ضرایب منحنی سنجه برای متوسط بار سالانه معلق و بستر هستند.

سپس متوسط کل رسوب ورودی در سال t، به‌صورت مجموع بار معلق و بستر طبق رابطه (۳) بیان می‌شود.

$$QT_t = QS_t + QB_t \qquad (۳)$$

پس از محاسبه مقدار رسوب ورودی، برای محاسبه مقدار رسوب ته‌نشین شده در مخزن ابتدا راندمان تله‌اندازی با استفاده از رابطه Brune به‌دست آمد.

$$TE_t = 100\left[1 - \frac{1}{1+100(C_{t-1}/I_t)}\right]^{1.5} \qquad (۴)$$

که، TE_t راندمان تله‌اندازی (٪) در سال t،

C_{t-1} حجم مفید مخزن (m^3) در شروع سال t،

و $I_t = 31.536\times10^6\ Qw_t$ حجم آب ورودی (m^3) در سال t هستند.

کل بار رسوب تله‌اندازی شده در مخزن[1] (RSL) در سال مشخص t به‌صورت رابطه (۵) بیان می‌شود.

$$RSL_t = 3.65\ QT_t \times TE_t \qquad (۵)$$

که RSL برحسب ton است. رسوب تجمعی در مخزن[2] (ton) بعد از t سال برابر خواهد بود با:

$$ARSL_t = ARSL_{t-1} + RSL_t, \quad t = 1,2,\ldots \qquad (۶)$$

که $ARSL_0=0$ است.

بعد از این‌که رسوبات در مخزن تله‌اندازی شد، در طول زمان تحکیم می‌گردد. نوع بهره‌برداری از مخزن و اندازه ذرات رسوب ورودی به آن، از مهم‌ترین عواملی هستند که باعث تغییر در وزن مخصوص رسوبات انباشته شده می‌شوند. برای محاسبه وزن مخصوص رسوبات از فرمول میلر[3] (۱۹۵۳) استفاده شد.

$$W_t = W_1 + 0.4343K\left[\left(\frac{t}{t-1}\right)(\ln t) - 1\right], \quad t>1 \qquad (۷)$$

که، W_t متوسط وزن مخصوص رسوبات (kg/m^3) بعد از t سال، W_1 وزن مخصوص اولیه رسوبات، و K ثابت تحکیم است. دو فاکتور W_1 و K تابعی از نوع بهره‌برداری مخزن و اندازه ذرات رسوب هستند. جدول (۱)مقادیر W_1 و K را برای شرایط مختلف بهره‌برداری مخزن و انواع رسوب، مانند رس، لای و ماسه معرفی می‌کند. برای رسوبات مخلوط، میانگین وزنی متوسط وزن مخصوص‌ها و ثابت‌های تحکیم به‌ترتیب با استفاده از معادلات (۸) و (۹) به‌دست می‌آید.

$$W_1 = 0.01[W_1(c)P(c)+W_1(m)P(m)+W_1(s)P(s)] \qquad (۸)$$

$$K = 0.01[K(c)P(c)+K(m)P(m)+K(s)P(s)] \qquad (۹)$$

که، $W_1(c)$، $W_1(m)$ و $W_1(s)$ به‌ترتیب وزن مخصوص اولیه ذرات رس، سیلت و ماسه، $P(c)$، $P(m)$ و $P(s)$ درصدهای ذرات رس، سیلت و ماسه و $K(c)$، $K(m)$ و $K(s)$ به‌ترتیب ثابت تحکیم رس، سیلت و ماسه است. باتوجه به عملکرد مخزن سد لتیان، رسوبات همیشه مستغرق یا نزدیک به مستغرق و متوسط درصد ذرات رسوب ورودی به مخزن شامل ۱۰/۷۲ درصد ماسه، ۴۶/۸۴ درصد سیلت و ۴۲/۴۴ درصد رس

[1] Reservoir Sedimentation Load
[2] Accumulated Reservoir Sedimentation Load
[3] Miller

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.3.5]

است، متوسط وزن مخصوص رسوبات ۱۱۷۵/۳۷ (kg/m^3) به‌دست آمد.

جدول (۱): وزن مخصوص اولیه و ضرایب تحکیم براساس نوع رسوبات و نوع عملکرد مخزن، (ایمان‌شعار و همکاران، ۲۰۱۴)

نوع عملکرد مخزن	ماسه		سیلت		رس	
	$w_1(s)$		$w_1(m)$		$w_1(c)$	
	K(s)	(kg/m^3)	K (m)	(kg/m^3)	K(c)	(kg/m^3)
رسوبات همیشه مستغرق یا نزدیک به مستغرق	صفر	۱۵۰۰	۹۱	۱۱۲۰	۲۵۶	۴۱۶
افت مخزن از متوسط تا مقدار قابل توجه	صفر	۱۵۵۰	۲۹	۱۱۴۰	۱۳۵	۵۶۱
مخزن خالی نرمال	صفر	۱۵۵۰	صفر	۱۱۵۰	صفر	۶۴۱
رسوبات بستر رودخانه‌ای	صفر	۱۵۵۰	صفر	۱۱۷۰	صفر	۹۶۱

جهت تبدیل جرم رسوب تجمع یافته در مخزن به حجم رسوب تجمعی[1] (ARSV)، از وزن مخصوص رسوبات استفاده می‌شود.

$$ARSV_t = 1000\ ARSL_t / W_t \qquad (۱۰)$$

که، $ARSV_t$ حجم رسوبات تجمع یافته در مخزن سد (m^3) بعد از t سال است.

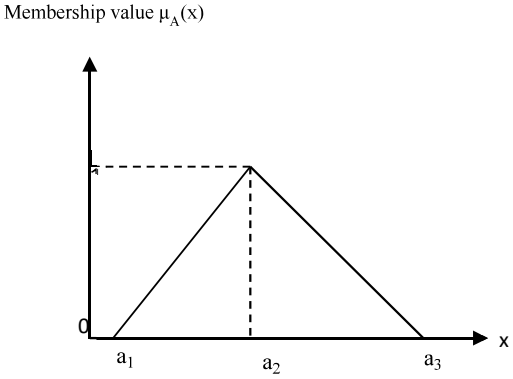
در نهایت حجم مفید باقی‌مانده در انتهای سال t را می‌توان به‌صورت رابطه (۱۱) بیان کرد.

$$C_t = C_0 - ARSV_t \qquad (۱۱)$$

که C_0 حجم مفید اولیه مخزن است (گنجی نوروزی و همکاران، ۱۳۸۷).

پارامترهای فازی و تابع عضویت مثلثی[2]

مجموعه فازی به صورت اعضای فازی که در نهایت تابع عضویت فازی را ارائه می‌دهد، تعریف می‌شود. عوامل فازی درجه عضویتی بین صفر تا یک دارند. رایج‌ترین انواع توابع عضویت شامل توابع مثلثی و ذوزنقه‌ای هستند. شکل (۳) تابع عضویت مثلثی با اعداد فازی را نشان می‌دهد.



شکل (۳): منحنی تابع عضویت مثلثی با اعداد فازی $A=(a_1, a_2, a_3)$، (شیبو و ردی[3]، ۲۰۱۴)

تابع عضویت مثلثی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_A(x)=\begin{cases}0 & x<a_1\\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1} & a_1\le x\le a_2\\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2} & a_2\le x\le a_3\\ 0 & x>a_3\end{cases} \qquad (۱۲)$$

که، a_3 و a_1, a_2 اعداد فازی مثلثی هستند.

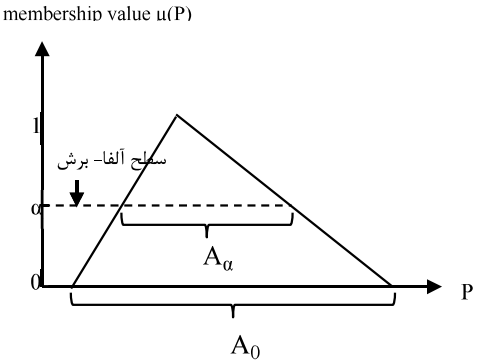
آلفا- برش فازی[4]

این روش، از تئوری مجموعه منطق فازی برای تعیین عدم قطعیت پارامترها استفاده می‌کند. عوامل غیرقطعی به‌صورت اعداد فازی با تابع عضویت مناسب بیان می‌شوند. شکل (۴)

[1] Accumulated Reservoir Sedimentation Volume
[2] Triangular Membership Function
[3] Shibu and Reddy
[4] Fuzzy α- cut

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.3.5]

عوامل فازی p را که به‌صورت عدد فازی مثلثی ارائه شده است، با دامنه A_0 معرفی می‌کند. عریض‌تر بودن دامنه تابع عضویت، بیان‌گر بیشتر بودن میزان عدم قطعیت است. به مجموعه‌ای از تمام عوامل مربوط به دامنه‌ای از مجموعه فازی اصلی که دارای یک درجه عضویت در بازه [۱و۰] است، برش‌آلفا یا آلفا- برش (α- cut) تابع عضویت می‌گویند (شیبو و ردی، ۲۰۱۴)



شکل (۴): آلفا-برش و دامنه اعداد فازی، (شیبو و ردی، ۲۰۱۴)

جهت تعیین بازه آلفا- برش برای عوامل ورودی با تابع عضویت مثلثی از روابط زیر استفاده می‌شود.

مرز k امین آلفا- برش برای تابع عضویت مثلثی:

$$\text{مرز چپ } (k) = a_1+(a_2-a_1)*([k-1]/n) \qquad (۱۳)$$

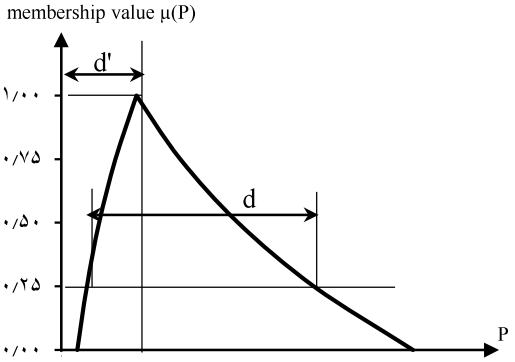
$$\text{مرز راست } (k) = a_3-(a_3-a_2)*([k-1]/n) \qquad (۱۴)$$

که، a_3 و a_2 ،a_1 اعداد فازی مثلثی و n تعداد بخش‌های تابع عضویت است که از آلفا- برش‌ها حاصل می‌شود.

محاسبه عدم قطعیت با استفاده از روش آلفا- برش فازی (FAC)

به دلیل این‌که ضرایب منحنی سنجه رسوب با تعداد محدودی اندازه‌گیری صحرایی دبی جریان و دبی رسوب تهیه می‌شوند، دارای عدم قطعیت هستند. عوامل غیرقطعی روابط منحنی سنجه رسوب (ضرایب رگرسیونی a و b) به‌صورت اعداد فازی با تابع عضویت مثلثی وارد مدل برآورد حجم رسوب مخزن می‌شوند. توابع عضویت پارامترها توسط ۵ آلفا- برش به ۴ بخش تقسیم می‌شوند. در نهایت خروجی‌های فازی مدل به‌همراه توابع عضویت آن‌ها به‌دست خواهند آمد.

میزان عدم قطعیت خروجی‌ها با استفاده از روش آلفا- برش فازی از طریق نسبت بازه مربوط به هر آلفا- برش به مقدار آلفا- برش یک محاسبه می‌شود. شکل (۵) نحوه محاسبه میزان عدم قطعیت را برای آلفا- برش ۰/۲۵ نشان می‌دهد.



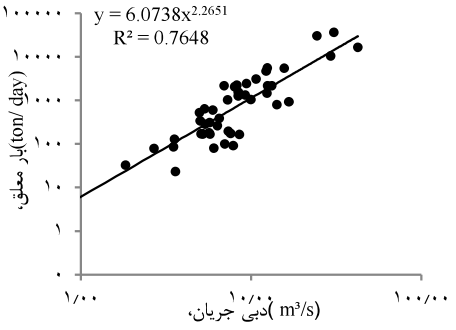
شکل (۵): محاسبه عدم قطعیت برای روش FAC، 'd/d، (ایبب و همکاران، ۲۰۰۰)

نتایج و بحث

تعیین عوامل غیرقطعی

عدم قطعیت برآورد حجم رسوب مخزن سد لتیان، با در نظر گرفتن ضرایب منحنی سنجه رسوب (روابط ۱ و ۲) بار معلق و بار بستر (a_1, b_1 و a_2, b_2) به‌عنوان عوامل غیرقطعی، به‌کمیت درآورده شد. شکل (۶) منحنی سنجه رسوب سالانه بار معلق و بار بستر مربوط به داده‌های آماری ۴۶ ساله دبی جریان و دبی رسوب ورودی به مخزن لتیان را نشان می‌دهند. به‌منظور تعیین عوامل فازی رابطه منحنی سنجه، با استفاده از نرم‌افزار SPSS رگرسیونی بین داده‌های سالانه دبی جریان با بار معلق و دبی جریان با بار بستر ایجاد شد.

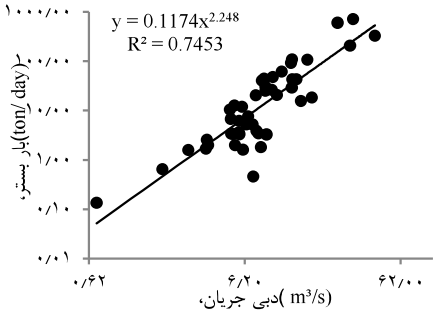
برای هرکدام از ضرایب (a_1,b_1 و a_2, b_2)، سه عدد فازی به‌دست آمد که این اعداد فازی، توابع عضویت مثلثی عوامل ورودی مدل را تشکیل می‌دهند. اعداد فازی مربوط به رابطه منحنی سنجه رسوب بار معلق ($QS_t= a_1\ QW_t^{b_1}$) و بار بستر ($QB_t= a_2\ QW_t^{b_2}$) به شرح جدول (۲) به‌دست آمده است.



(الف)

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.3.5]



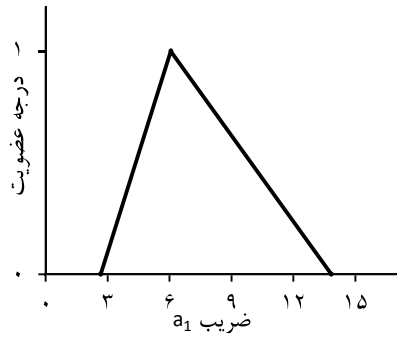
(ب)

شکل (۶): منحنی سنجه رسوب سالانه، (الف): بار معلق، (ب): بار بستر، (log-log)

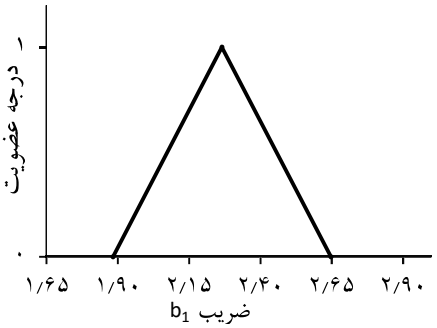
جدول (۲): اعداد فازی مثلثی برای عوامل غیرقطعی

پارامتر	کمینه درجه عضویت، صفر	متوسط درجه عضویت، یک	بیشینه درجه عضویت، صفر
a_1	۲/۶۷	۶/۰۷	۱۳/۸۴
b_1	۱/۸۸۳	۲/۲۶۵	۲/۶۴۷
a_2	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۲۸
b_2	۱/۸۴۹	۲/۲۴۸	۲/۶۴۷

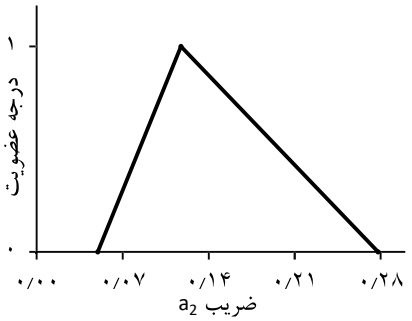
با استفاده از اعداد فازی مذکور برای هر یک از ضرایب رگرسیونی، یک تابع عضویت مثلثی حاصل شد. شکل‌های (۷) و (۸) به‌ترتیب توابع عضویت مثلثی ضرایب رگرسیونی a و b رابطه منحنی سنجه بار معلق و شکل‌های (۹) و (۱۰) به‌ترتیب توابع عضویت مثلثی ضرایب رگرسیونی a و b رابطه منحنی سنجه بار بستر را نشان می‌دهند.



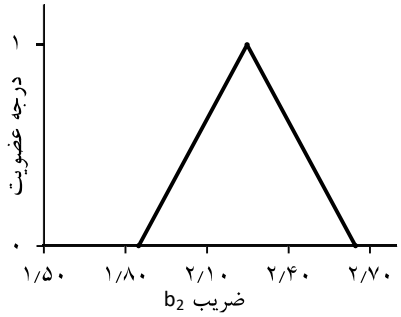
شکل (۷): تابع عضویت مثلثی ضرایب رابطه منحنی سنجه بار معلق، a_1



شکل (۸): توابع عضویت مثلثی ضرایب رابطه منحنی سنجه بار معلق، b_1



شکل (۹): تابع عضویت ضریب رابطه منحنی سنجه بار بستر، a_2



شکل (۱۰): تابع عضویت ضرایب رابطه منحنی سنجه بار بستر، (الف) a_2 و (ب) b_2

مدل برآورد حجم رسوب مخزن بر مبنای روش آلفا- برش فازی توسعه داده شد و توابع عضویت عوامل ورودی به چهار بخش تقسیم (مقادیر α: صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱) و مرز کمینه و بیشینه هر کدام از بازه‌های مربوط به هر آلفا- برش توسط روابط (۱۳) و (۱۴) محاسبه شد. این مقادیر برای هر چهار تابع عضویت ورودی، در جدول (۳) آورده شده است.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.3.5]

جدول (۳): ضرایب رگرسیونی رابطه منحنی سنجه بار معلق و بار بستر به‌ازای هر آلفا- برش

مقادیر برش آلفا	ضرایب منحنی سنجه بار معلق				ضرایب منحنی سنجه بار بستر			
	b_1^{max}	b_1^{min}	a_1^{max}	a_1^{min}	b_2^{max}	b_2^{min}	a_2^{max}	a_2^{min}
صفر	۲/۶۵	۱/۸۸۳	۱۳/۸۴	۲/۶۷	۲/۶۴۷	۱/۸۴۹	۰/۲۸	۰/۰۵
۰/۲۵	۲/۵۵	۱/۹۸	۱۱/۸۹	۳/۵۲	۲/۵۵	۱/۹۵	۰/۲۴	۰/۰۷
۰/۵	۲/۴۶	۲/۰۷	۹/۹۵	۴/۳۷	۲/۴۵	۲/۰۵	۰/۲۱	۰/۰۸
۰/۷۵	۲/۳۶	۲/۱۷	۸/۰۱	۵/۲۲	۲/۳۵	۲/۱۵	۰/۱۶	۰/۱
۱	۲/۲۶۵		۶/۰۷		۲/۲۴۸		۰/۱۲	

عوامل ورودی فازی روابط منحنی سنجه رسوب به‌صورت چهار مدل مختلف وارد مدل برآورد حجم رسوب شدند و سایر ورودی‌های مدل، مانند متوسط دبی جریان سالانه (QW)و متوسط درصد ذرات رسوب، مقداری ثابت دارند. این چهار مدل به شرح جدول (۴) است.

جدول (۴): انواع مختلف عوامل فازی ورودی (ضرایب منحنی سنجه رسوب) برای محاسبه بار معلق و بار بستر

مدل	$QS_t = a_1\ QW_t^{b_1}$	$QB_t = a_2\ QW_t^{b_2}$
۱	a_1^{min} و b_1^{min}	a_2^{min} و b_2^{min}
۲	a_1^{min} و b_1^{max}	a_2^{min} و b_2^{max}
۳	a_1^{max} و b_1^{min}	a_2^{max} و b_2^{min}
۴	a_1^{max} و b_1^{max}	a_2^{max} و b_2^{max}

باتوجه به داده‌های آماری ۴۶ ساله مخزن سد لتیان (Qw و درصد ذرات رسوب) مدل برآورد حجم رسوب به ازای هر آلفا- برش و چهار مدل مختلف ذکر شده در جدول (۴)، اجرا و برای هر سال عوامل هدف موردنظر (بار رسوب ورودی، راندمان تله‌اندازی، جرم و حجم رسوب تجمعی و حجم مفید مخزن) حاصل گردید. ورود ضرایب رگرسیونی به صورت مدل چهار در رابطه منحنی سنجه رسوب، خروجی‌ها را با مقادیر زیاد برآورد می‌کند و در نتیجه باعث بی‌معنی شدن مقادیر حجم مفید مخزن در این مورد می‌شود در نتیجه نیازی به محاسبه عدم قطعیت عوامل هدف به این مدل ناست. در جدول (۵) مقادیر محاسبه شده حجم مفید مخزن در سال آخر دوره آماری (سال ۱۳۹۲) ارائه شده است.

جدول (۵): حجم مفید باقی‌مانده (C) مخزن سد لتیان در سال ۱۳۹۲، (MCM)

آلفا- برش	مدل ۱	مدل ۲	مدل ۳	مدل ۴
صفر	۶۳/۳۲	۳۰/۰۲	۴۸/۱۱	-۱۶۰/۱۸
۰/۲۵	۶۰/۵۹	۳۰/۹۸	۴۵/۵۷	۰/۰۴۴
۰/۵	۵۶/۴۵	۳۳/۷۷	۴۳/۲۵	۲/۲۴
۰/۷۵	۵۰/۲۸	۳۷/۳۹	۴۱/۵۷	۲۲/۷۳
۱	۴۱/۲۳	۴۱/۲۳	۴۱/۲۳	۴۱/۲۳

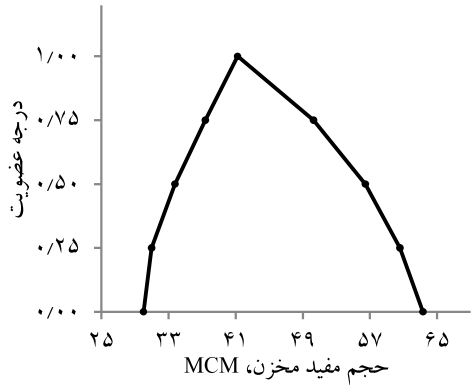
برآورد عدم قطعیت، با استفاده از توابع عضویت عوامل هدف محاسبه می‌شود، بدین منظور با ترکیب حد بالا و پایین مقادیر عوامل هدف، توابع عضویت خروجی حاصل می‌گردد. در این مطالعه برای هر کدام از عوامل هدف که شامل بار رسوب ورودی، راندمان تله‌اندازی و برآورد حجم مفید مخزن هستند، دو تابع عضویت در نظر گرفته شد. در جدول (۶) مقادیر تشکیل دهنده توابع عضویت عوامل هدف ارائه شده است و شکل (۱۱) تابع عضویت عامل هدف حجم مفید مخزن را نشان می‌دهد.

جدول (۶): مقادیر تشکیل دهنده توابع عضویت عامل هدف

تابع عضویت	مقادیر تشکیل دهنده تابع عضویت عامل هدف
۱	$(a_{min}\ ,\ b_{min})\ ,\ (a_{max}\ ,\ b_{min})$
۲	$(a_{min}\ ,\ b_{min})\ ,\ (a_{min}\ ,\ b_{max})$

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.3.5]



شکل (۱۱): تابع عضویت حجم مفید مخزن

عدم قطعیت رسوب‌گذاری مخزن

پس از تشکیل توابع عضویت عوامل هدف برای هر سال، عدم قطعیت هر آلفا- برش مربوط به هر تابع عضویت برای سال‌های دوره آماری محاسبه گردید. سپس عدم قطعیت سالانه مربوط به بار کل رسوب، راندمان تله‌اندازی و حجم مفید مخزن، جدول‌بندی شده سپس با مقایسه مقادیر عدم قطعیت‌های سالانه با یک‌دیگر کم‌ترین میزان عدم قطعیت (۰/۵۷) مربوط به سال ۴۰ بهره‌برداری (سال ۱۳۸۵) با دبی سالانه جریان ۱/۸۴ (m^3/s) و بیش‌ترین مقدار عدم قطعیت (۰/۸۳) مربوط به سال سوم (سال ۱۳۴۸) با بیشینه دبی سالانه جریان ۴۲/۴۱ (m^3/s) است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که دبی جریان در تغییر میزان عدم قطعیت بسیار مؤثر بوده و با افزایش دبی جریان، مقدار عدم قطعیت نیز افزایش می‌یابد.

با محاسبه میانگین عدم‌قطعیت‌های سالانه هر یک از فاکتورهای خروجی، عدم‌قطعیت کلی برآورد گردید. در جدول (۷) مقادیر عدم قطعیت بارکل رسوب، راندمان تله‌اندازی و حجم مفید مخزن ارائه شده است.

جدول (۷): مقادیر عدم قطعیت عوامل مدل برآورد حجم رسوب مخزن

عوامل خروجی	مقدار عدم قطعیت
بار رسوب ورودی به مخزن (QT)	۰/۶۴۱
راندمان تله‌اندازی (TE)	۰/۰۲۳
حجم رسوبات مخزن (ARSV)	۰/۳۴۴

باتوجه به عدم قطعیت خروجی‌های مدل، عامل بار رسوب ورودی به مخزن پس از عامل دبی جریان، بیش‌ترین تأثیر را در به‌وجود آمدن عدم قطعیت در مدل برآورد حجم رسوب دارد و کم‌ترین تأثیر مربوط به عامل راندمان تله‌اندازی است. بنابراین رسوب ورودی سالانه به مخزن مهم‌ترین عامل در برآورد مقدار رسوب‌گذاری سالانه و رسوب انباشته شده در مخزن لتیان است. نتایج مطالعه حاضر با نتایج تحقیقات به‌عمل آمده از روش‌هایی نظیر شبیه‌سازی مونت‌کارلو و واریانس مرتبه اول و...، مشابه است.

روش مونت‌کارلو نیز مانند روش آلفا- برش فازی علاوه بر برآورد عدم قطعیت کلی توانایی محاسبه عدم قطعیت مربوط به هر عامل را دارد اما روش آلفا- برش فازی بسیار ساده‌تر بوده و حجم محاسبات آن نسبت به روش مونت‌کارلو کم‌تر است.

نتیجه‌گیری

مقدار حجم مفید مخزن لتیان در سال ۱۳۹۲، ۴۰/۵۹ (MCM) و عمر مفید سد لتیان با احتساب ۹۵ (MCM) ظرفیت کل مخزن، ۸۸ سال برآورد گردید.

عدم قطعیت‌های بار رسوب ورودی، راندمان تله‌اندازی و حجم رسوب مخزن به‌ترتیب ۰/۶۴۱، ۰/۰۲۳ و ۰/۳۴۴ محاسبه شد. دبی جریان در تغییر میزان عدم قطعیت بسیار مؤثر بوده و با افزایش دبی جریان، مقدار عدم قطعیت نیز افزایش می‌یابد. باتوجه به عدم قطعیت عوامل هدف مدل، عامل بار رسوب ورودی به مخزن پس از عامل دبی جریان، بیشترین تأثیر را در به‌وجود آمدن عدم قطعیت در مدل برآورد حجم رسوب دارد و کمترین تأثیر مربوط به عامل راندمان تله‌اندازی است. نتایج نشان داد روش آلفا- برش فازی جایگزین مناسبی برای روش مونت‌کارلو و سایر روش‌های برآورد عدم قطعیت است.

مراجع

۱- رمضانی موزیرجی، ف.، یعقوبی، م. و قانقرمه، ع.، (۱۳۹۰)، "پیش‌بینی تراز آب دریای خزر مبتنی بر سیستم تقریبگر فازی"، مجله آب و فاضلاب، شماره ۳، ۹۸- ۹۰.

۲- گنجی نوروزی، ز.، سامانی، ج. م. و. و مرید، س. (۱۳۸۷)،" بررسی عدم قطعیت حجم رسوب مخازن سدها"، تحقیقات منابع آب ایران، سال چهارم، شماره یک، ۹۷-۹۰.

3- Abebe, A., Guinot, V. and Solomatine, D. (2004), "Fuzzy alph-acut vs. Monte Carlo techniques in assessing uncertainty in model parameters", Proceedings of the 4th International Conference on Hydroinformatics, Iowa City, USA.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.3.5]

4- Brune, G. M., (1953), "Trap efficiency of reservoirs." *Trans. American Geophysical Union*. 34(3), 407-418.

5- Imanshoar, F., Jahangirzadeh, A., Basser, H., Akib, Sh., Kamali, B., M. Tabatabaei, M.R. and Kakouei, M. (2014)," Reservoir Sedimentation Based on Uncertainty Analysis." *Hindawi Publishing Corporation.* 2014, 1-6.

6- Miller, C. R., (1953), "Determination of the unit weight of sediment for use in sediment volume computations", Bureau of reclamation, Denver.

7- Reveli, R. and Ridolfi, L. (2002), "Fuzzy approach for analysis of pipe networks." *Journal of Hydrologic Engineering*. 128(1), 93-101.

8- Salas, J. D. and Shin, H. (1999). "Uncertainty analysis of reservoir sedimentation." *Journal of Hydraulic Engineering*. 125(4), 339–350.

9- Shibu, A. and Reddy, M. J. (2014), "Optimal Design of Water Distribution Network Considering Fuzzy Randomness of Demands Using Cross Entropy Optimization." *Water Resources Management*. 28, 4075-4094.

10- Tehrani, M. V., Samani, J. M. V. and Montaseri, M., (2008). "Uncertainty analysis of reservoir sedimentation using Latin Hypercube sampling andHarr'smethod: Shahar ChaiDamin Iran." *Journal of Hydrology New Zealand*. 47(1), 25–42.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.3.5]

Uncertainty Analysis of Reservoir Sedimentation Using Fuzzy α-cut (Case Study: Latian Dam)

Maryam Bayat [*1]
Kourosh Qaderi [2]
Mohammad Mahdi Ahmadi [3]

Abstract

There are a number of uncertainties in estimating reservoir sedimentation and accumulation which are related to amount of streamflow, sediment load, sediment particle size, specific weight, trap efficiency and reservoir operation. In this study, to analyze the uncertainty of annual reservoir sedimentation, the accumulated reservoir sedimentation data for 46 years has been used and an empirical model to estimate the volume of reservoir sedimentation based on Fuzzy α-cut method has been developed in MATLAB software environment. Two fuzzy membership function with five level of α-cut have been used to calculate the uncertainty annual reservoir sedimentation, trap efficiency and accumulated reservoir sedimentation. The calculated uncertainty is about 0.641, 0.023, 0.344, respectively. The results have shown that the streamflow has an important role in uncertainty, i.e. uncertainty increases while the streamflow is increased. Sediment load factor and the trap efficiency have the most and least effects on uncertainty of Latian reservoir sedimentation volume estimate, respectively.

Keywords

Uncertainty, Trap efficiency, Latian dam, Fuzzy Alpha-cut method, Fuzzy membership function.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.3.5]

1* MSc student of water structure engineering, Shahid Bahonar University of Kerman. maryambayat14@yahoo.com.
2 Assistant professor, Department of water engineering, Shahid Bahonar University of Kerman.
3 Assistant professor, Department of water engineering, Shahid Bahonar University of Kerman.
Received: 2016/01/21 Accepted: 2016/10/29