

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

مریم بیات<sup>۱\*</sup>

کوروش قادری<sup>۲</sup>

محمد مهدی احمدی<sup>۳</sup>

### چکیده

در تخمین میزان رسوب گذاری 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 رسوب گذاری 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، به ترتیب 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 رسوب گذاری 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.

## مقدمه

که روش برش آلفای فازی<sup>۱۰</sup> (FAC) جایگزینی بسیار خوب برای روش شبیه‌سازی مونت کارلو است و برای پارامترهای عدم قطعیت که خروجی آن یک تابع یکنواخت باشد، سریع‌تر عمل می‌کند. ریولی و ریدولفی<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۲) یک روش فازی برای آنالیز شبکه توزیع آب با در نظر گرفتن عدم قطعیت ناشی از عوامل غیرقطعی پیشنهاد دادند، آن‌ها با در نظر 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. رضانی 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 مخزن 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 کیلومتر مربع 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

اندازه‌گیری حجم رسوب ورودی به مخزن، 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 مخزن 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 مونت کارلو<sup>۱</sup> (MCS)، برآورد واریانس مرتبه اول<sup>۲</sup> (FOA)، نمونه‌گیری مکعب لاتین<sup>۳</sup> (LHS)، منطق فازی<sup>۴</sup> و... ارائه شده است. سالاس و شین<sup>۵</sup> (۱۹۹۹) عدم قطعیت برآورد حجم رسوبات مخزن کنی<sup>۶</sup> بر روی رودخانه وایت<sup>۷</sup> واقع در کلرادو را با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو 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 مونت کارلو و نقطه‌ای هار<sup>۸</sup> 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<sup>۹</sup> (۲۰۰۴) دو روش آنالیز عدم قطعیت شبیه‌سازی مونت کارلو و منطق فازی را روی مدل انتشار آلودگی آب زیرزمینی مقایسه کردند و نتایج نشان داد

<sup>7</sup> White

<sup>8</sup> Har

<sup>9</sup> Abebe

<sup>10</sup> Fuzzy Alpha-Cut

<sup>11</sup> Revelli and Redolfi

<sup>1</sup> Monte Carlo Simulation

<sup>2</sup> Frist-Order Variance Estimation Method

<sup>3</sup> Latin Hypercube Sampling

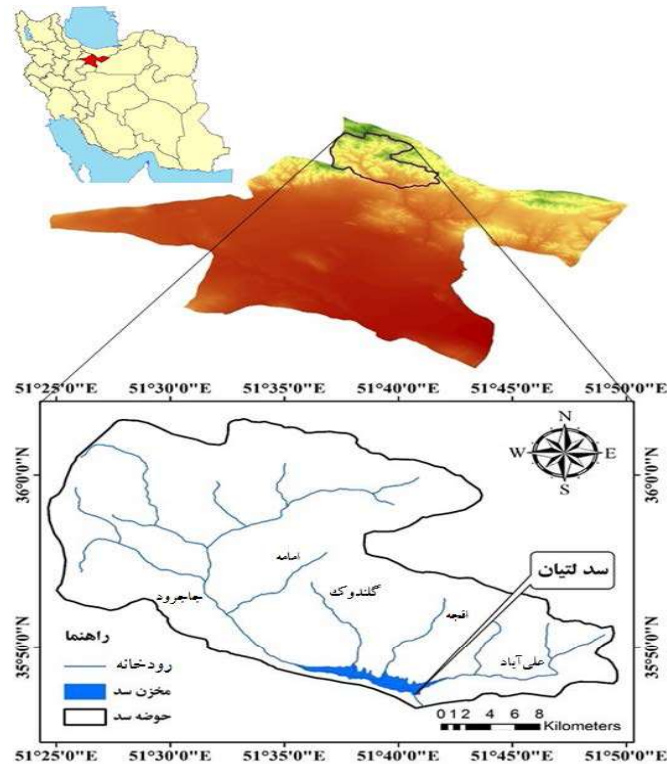
<sup>4</sup> Fuzzy Logic

<sup>5</sup> Salas and Shin

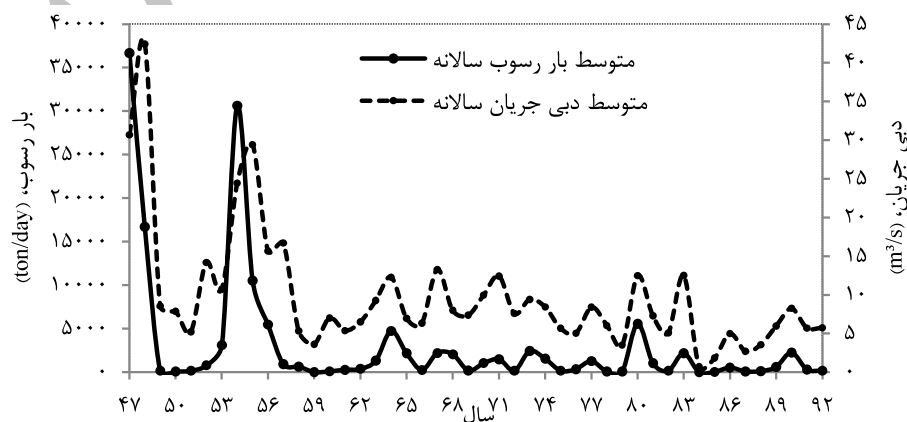
<sup>6</sup> Kenny

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.

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



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

### مدل تجربی برآورد حجم رسوب مخزن

عدم قطعیت در رسوب گذاری مخازن از عواملی مانند جریان رسوب ورودی به مخزن، بده آب و نوع رسوبات تجمع یافته در مخزن ناشی می شود. این عوامل در به وجود آمدن عدم قطعیت مقدار رسوبی که سالانه در مخزن انباشته می شود، رسوب تجمع یافته در مخزن در طول زمان بهره برداری و مدت زمانی که طول می کشد 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 تله اندازی و وزن مخصوص رسوبات ته نشین شده است، برآورد گردیده است.

روش رایج برای تخمین بار رسوب سالانه، استفاده از منحنی سنج 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 می شوند تا متوسط دبی جریان و دبی رسوبات بار معلق و بستر به صورت سالانه به دست آید. سپس متوسط بار رسوب سالانه در مقابل دبی متوسط سالانه به صورت یک گراف رسم می گردد. منحنی سنج رسوب سالانه مربوط به رسوبات معلق و بار بستر با استفاده از معادلات زیر به دست آمد.

$$\log_{10} QS_t = \log_{10} a_1 + b_1 \log_{10} QW_t \quad (1)$$

$$\log_{10} QB_t = \log_{10} a_2 + b_2 \log_{10} QW_t \quad (2)$$

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  $t$ ،  $a_1, b_1$  و  $a_2, b_2$  به ترتیب ضرایب منحنی سنج رسوب معلق و رسوبات بار سالانه معلق و بستر هستند.

سپس متوسط کل رسوب ورودی در سال  $t$ ، به صورت مجموع بار معلق و بستر طبق رابطه (۳) بیان می شود.

$$QT_t = QS_t + QB_t \quad (3)$$

پس از محاسبه مقدار رسوب ورودی، برای محاسبه مقدار رسوب ته نشین شده در مخزن ابتدا راندمان تله اندازی با استفاده از رابطه Brune به دست آمد.

$$TE_t = 100 \left[ 1 - \frac{1}{1 + 100(C_{t-1}/I_t)} \right]^{1.5} \quad (4)$$

که،  $TE_t$  راندمان تله اندازی (%) در سال  $t$ ،

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

و  $QW_t = 31.536 \times 10^6 I_t$  حجم آب ورودی ( $m^3$ ) در سال  $t$  هستند.

کل بار رسوب تله اندازی شده در مخزن  $^1 (RSL)$  در سال مشخص  $t$  به صورت رابطه (۵) بیان می شود.

$$RSL_t = 3.65 QT_t \times TE_t \quad (5)$$

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

$$ARSL_t = ARSL_{t-1} + RSL_t, \quad t=1,2,\dots \quad (6)$$

که  $ARSL_0 = 0$  است.

بعد از این که رسوبات در مخزن تله اندازی شد، در طول زمان تحکیم می گردد. نوع بهره برداری از مخزن و اندازه ذرات رسوب ورودی به آن، از مهم ترین عواملی هستند که باعث تغییر در وزن مخصوص رسوبات انباشته شده می شوند. برای محاسبه وزن مخصوص رسوبات از فرمول میلر<sup>۳</sup> (۱۹۵۲) استفاده شد.

$$W_t = W_1 + 0.4343K \left[ \left( \frac{t}{t-1} \right) (\ln t) - 1 \right], \quad t > 1 \quad (7)$$

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 بهره برداری مخزن و اندازه ذرات رسوب هستند. جدول (۱) مقادیر  $W_1$  و  $K$  را برای شرایط مختلف بهره برداری مخزن و انواع رسوب، مانند رس، لای و ماسه معرفی می کند. برای رسوبات مخلوط، میانگین وزنی متوسط وزن مخصوصها و ثابتهای تحکیم به ترتیب با استفاده از معادلات (۸) و (۹) به دست می آید.

$$W_1 = 0.01 [W_1(c)P(c) + W_1(m)P(m) + W_1(s)P(s)] \quad (8)$$

$$K = 0.01 [K(c)P(c) + K(m)P(m) + K(s)P(s)] \quad (9)$$

که،  $W_1(c)$ ،  $W_1(m)$  و  $W_1(s)$  به ترتیب 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  $K(s)$  به ترتیب 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

<sup>3</sup> Miller

<sup>1</sup> Reservoir Sedimentation Load

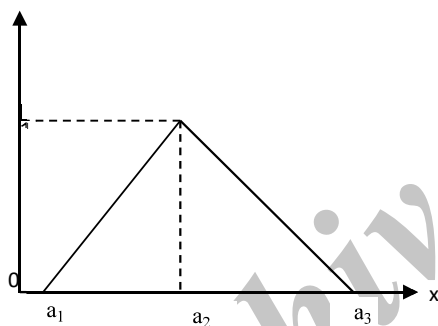
<sup>2</sup> Accumulated Reservoir Sedimentation Load

است، متوسط وزن مخصوص رسوبات ۱۱۷۵/۳۷ (kg/m<sup>3</sup>) به دست آمد.

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

رس		سیلت		ماسه		نوع عملکرد مخزن
w <sub>1</sub> (c)	K(c)	w <sub>1</sub> (m)	K(m)	w <sub>1</sub> (s)	K(s)	
(kg/m <sup>3</sup> )		(kg/m <sup>3</sup> )		(kg/m <sup>3</sup> )		
۴۱۶	۲۵۶	۱۱۲۰	۹۱	۱۵۰۰	صفر	رسوبات همیشه مستغرق یا نزدیک به مستغرق
۵۶۱	۱۳۵	۱۱۴۰	۲۹	۱۵۵۰	صفر	افت مخزن از متوسط تا مقدار قابل توجه
۶۴۱	صفر	۱۱۵۰	صفر	۱۵۵۰	صفر	مخزن خالی نرمال
۹۶۱	صفر	۱۱۷۰	صفر	۱۵۵۰	صفر	رسوبات بستر رودخانه‌ای

Membership value  $\mu_A(x)$



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

تابع عضویت مثلثی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2} & a_2 < x \leq a_3 \\ 0 & x > a_3 \end{cases} \quad (12)$$

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

#### آلفا- برش فازی<sup>۴</sup>

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

جهت تبدیل جرم رسوب تجمع یافته در مخزن به حجم رسوب تجمعی<sup>۱</sup> (ARSV)، از وزن مخصوص رسوبات استفاده می‌شود.

$$ARSV_t = 1000 \text{ ARSL}_t / W_t \quad (10)$$

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

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

$$C_t = C_0 - ARSV_t \quad (11)$$

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

#### پارامترهای فازی و تابع عضویت مثلثی<sup>۲</sup>

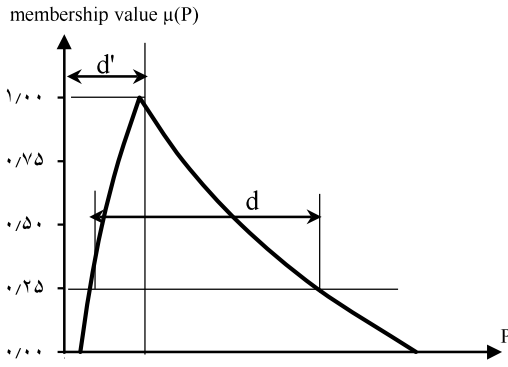
مجموعه فازی به صورت اعضای فازی که در نهایت تابع عضویت فازی را ارائه می‌دهد، تعریف می‌شود. عوامل فازی درجه عضویتی بین صفر تا یک دارند. رایج‌ترین انواع توابع عضویت شامل توابع مثلثی و دوزنقه‌ای هستند. شکل (۳) تابع عضویت مثلثی با اعداد فازی را نشان می‌دهد.

<sup>3</sup> Shibu and Reddy

<sup>4</sup> Fuzzy  $\alpha$ - cut

<sup>1</sup> Accumulated Reservoir Sedimentation Volume

<sup>2</sup> Triangular Membership Function

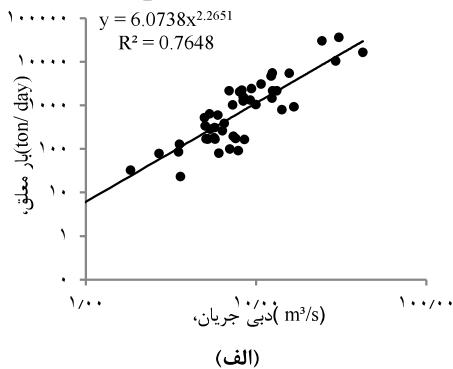


شکل (۵): محاسبه عدم قطعیت برای روش FAC.  $d/d'$ .  
(ایبب و همکاران، ۲۰۰۰)

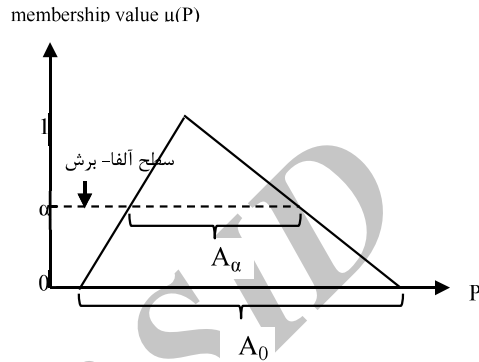
### نتایج و بحث

#### 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  $(a_2, b_2)$  به عنوان عوامل غیرقطعی، به کمیت 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. به منظور تعیین عوامل فازی رابطه منحنی سنجه، با استفاده از نرم افزار SPSS رگرسیونی بین داده‌های سالانه دبی جریان با بار معلق و دبی جریان با بار بستر ایجاد شد. برای هر کدام از ضرایب  $(a_1, b_1)$  و  $(a_2, b_2)$  سه عدد فازی به دست 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) به دست آمده است.



عوامل فازی  $p$  را که به صورت عدد فازی مثلثی ارائه شده است، با دامنه  $A_0$  معرفی می‌کند. عریض تر 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  $[0, 1]$  است، برش آلفا یا آلفا-برش  $(\alpha\text{-cut})$  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:

$$(k) = a_1 + (a_2 - a_1) * ([k-1]/n) \quad (13)$$

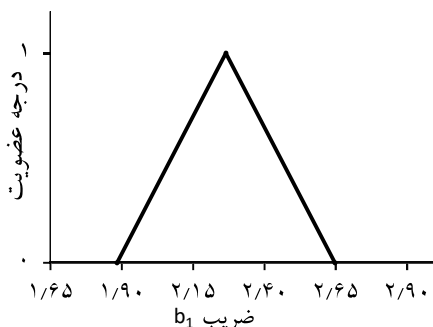
$$(k) = a_3 - (a_3 - a_2) * ([k-1]/n) \quad (14)$$

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

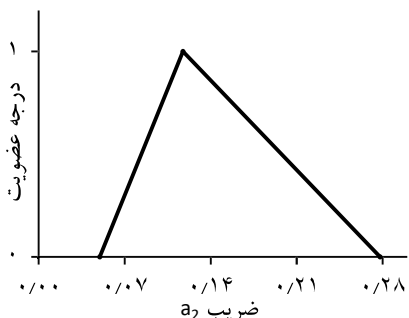
#### محاسبه عدم قطعیت با استفاده از روش آلفا-برش فازی (FAC)

به دلیل این که ضرایب منحنی سنجه رسوب با تعداد محدودی اندازه‌گیری صحرائی دبی جریان و دبی رسوب تهیه می‌شوند، دارای عدم قطعیت هستند. عوامل غیرقطعی روابط منحنی سنجه رسوب (ضرایب رگرسیونی  $a$  و  $b$ ) به صورت 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 به همراه توابع عضویت آن‌ها به دست خواهند آمد.

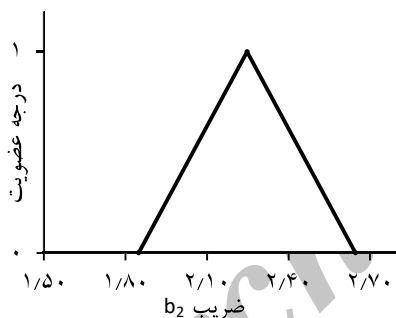
میزان عدم قطعیت خروجی‌ها با استفاده از روش آلفا-برش فازی از طریق نسبت بازه مربوط به هر آلفا-برش به مقدار آلفا-برش یک محاسبه می‌شود. شکل (۵) نحوه محاسبه میزان عدم قطعیت را برای آلفا-برش ۰/۲۵ نشان می‌دهد.



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

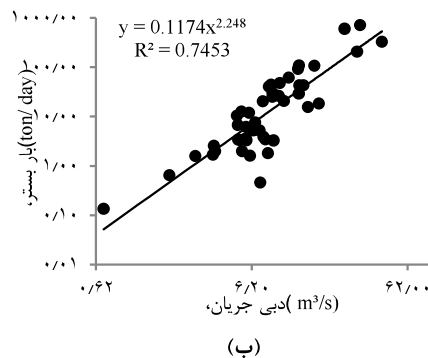


شکل (۹): تابع عضویت ضریب رابطه منحنی سنجه بار بستر،  $a_2$



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  $\alpha$ : 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.

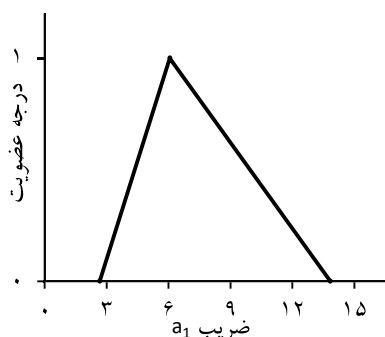


شکل (۶): منحنی سنجه رسوب سالانه، (الف): بار معلق، (ب): بار بستر، (log-log)

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) به ترتیب توابع عضویت مثلثی ضرایب رگرسیونی  $a$  و  $b$  رابطه منحنی سنجه بار معلق و شکل‌های (۹) و (۱۰) به ترتیب 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،  $a_1$

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

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

جدول (۵): حجم مفید باقی مانده (C) مخزن سد لتیان در سال ۱۳۹۲ (MCM)

برش	۱	۲	۳	۴	آلفا-
صفر	۶۳/۳۲	۳۰/۰۲	۴۸/۱۱	-۱۶/۱۸	
۰/۲۵	۶۰/۵۹	۳۰/۹۸	۴۵/۵۷	-۰/۴۴	
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 می شود، بدین منظور با ترکیب حد بالا و پایین مقادیر عوامل هدف، توابع عضویت خروجی حاصل می گردد. در این مطالعه برای هر کدام از عوامل هدف که شامل بار رسوب ورودی، راندمان تله اندازی 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 می دهد.

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	$(a_{\min}, b_{\min}), (a_{\min}, b_{\max})$

عوامل ورودی فازی روابط منحنی سنجه رسوب به صورت چهار مدل مختلف وارد مدل برآورد حجم رسوب شدند و سایر ورودی های 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 داده های 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 تله اندازی، جرم و حجم رسوب تجمعی و حجم مفید مخزن) حاصل گردید. ورود ضرایب رگرسیونی به صورت مدل چهار در رابطه منحنی سنجه رسوب، خروجی ها را با مقادیر زیاد برآورد می کند و در نتیجه باعث بی معنی شدن مقادیر حجم مفید مخزن در این مورد می شود 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.



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 مونت کارلو و واریانس مرتبه اول و...، مشابه است.

روش مونت کارلو 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 مونت کارلو کم‌تر است.

### نتیجه‌گیری

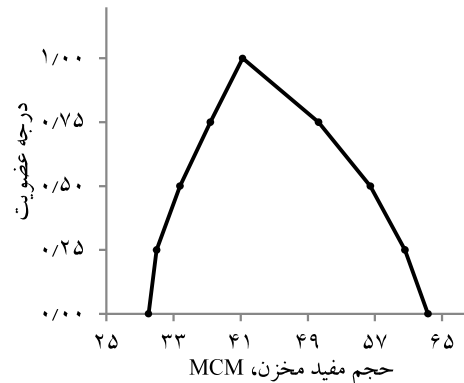
مقدار حجم مفید مخزن لتیان در سال ۱۳۹۲، ۴۰/۵۹ (MCM) و عمر مفید سد لتیان با احتساب ۹۵ (MCM) ظرفیت کل مخزن، ۸۸ سال برآورد گردید.

عدم قطعیت‌های بار رسوب ورودی، راندمان تله‌اندازی و حجم رسوب مخزن به ترتیب 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 مونت کارلو و سایر روش‌های برآورد عدم قطعیت است.

### مراجع

- ۱- رضانی موزیرچی، ف.، یعقوبی، م. و فانقرمه، 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 alpha-cut vs. Monte Carlo techniques in assessing uncertainty in model parameters", Proceedings of the 4th International Conference on Hydroinformatics, Iowa City, USA.



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  $1/84 \text{ (m}^3/\text{s)}$  و بیش‌ترین مقدار عدم قطعیت (۰/۸۳) مربوط به سال سوم (سال ۱۳۴۸) با بیشینه دبی سالانه جریان  $42/41 \text{ (m}^3/\text{s)}$  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 عدم قطعیت‌های سالانه هر یک از فاکتورهای خروجی، عدم قطعیت کلی برآورد گردید. در جدول (۷) مقادیر عدم قطعیت بار کل 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.

- 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 and Harr's method: Shahar ChaiDamin Iran." *Journal of Hydrology New Zealand*. 47(1), 25-42.
- 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.

Archive of SID

## Uncertainty Analysis of Reservoir Sedimentation Using Fuzzy $\alpha$ -cut (Case Study: Latian Dam)

Maryam Bayat <sup>\*1</sup>

Kourosh Qaderi <sup>2</sup>

Mohammad Mahdi Ahmadi <sup>3</sup>

### 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  $\alpha$ -cut method has been developed in MATLAB software environment. Two fuzzy membership function with five level of  $\alpha$ -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.

---

<sup>1\*</sup> MSc student of water structure engineering, Shahid Bahonar University of Kerman. maryambayat14@yahoo.com.

<sup>2</sup> Assistant professor, Department of water engineering, Shahid Bahonar University of Kerman.

<sup>3</sup> Assistant professor, Department of water engineering, Shahid Bahonar University of Kerman.

Received: 2016/01/21

Accepted: 2016/10/29