



## Optimum Sizing of Complex (Dam - Levee) Flood Control Systems

S. Alimohammadi<sup>1\*</sup>, M. Majdzadeh Tabatabaei<sup>2</sup>  
and A. Sarabandi<sup>3</sup>

### Abstract

In this paper, an optimization model has been developed for computing the optimum sizing of a combined structural flood control system. The combination of a dam and a levee has been considered in this study without losing the generality of approach for other structural combinations. Compared to the previous studies, this study uses less simplicity assumptions. For example the geometry of the river and the levee were considered with more details and the levee were considered non-symmetric along the river axis. The optimization problem formed a large-scale nonlinear model with the objective to maximize the expected annual net benefits of the developed system, to result the optimum design return period (i.e. design flood), as well as, the optimum size of the system components, such as dam height, spillway dimensions, and levee's height and setback. The Tang-e-sorkh River and the flood control system (under study) in Shiraz, Iran, have been selected as a case study. The model solution proposed a combined dam and levee system, with a design return period of 1000 years.

**Keywords:** Optimization, Structural measures, Flood control, Dam, Levee.

Received: May 13, 2009  
Accepted: April 03, 2011

## بهینه سازی ابعاد سیستم‌های ترکیبی (سد - گوره) مهار سیلاب

سعید علیمحمدی<sup>۱\*</sup>، امیر سرابندی<sup>۲</sup>  
و محمدرضا مجدزاده طباطبایی<sup>۳</sup>

### چکیده

در این مقاله یک مدل بهینه سازی به منظور تعیین ابعاد بهینه یک سیستم ترکیبی کنترل سیلاب سازه‌ای ارائه گردیده است. اگرچه روش‌های مختلف سازه‌ای جهت کنترل سیلاب وجود دارد، در این مطالعه بدون کاستن از عمومیت بحث برای سایر ترکیبات، ترکیب یک سد و یک گوره در نظر گرفته شده است. در مقایسه با مطالعات قبلی، در این پژوهش از فرضیات ساده کننده کمتری استفاده شده است. مثلاً هندسه رودخانه و گوره با جزئیات بیشتری لحاظ شده است و گوره حول محور رودخانه به شکل نامتقارن در نظر گرفته شده است. مسئله حاصل یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی بزرگ مقیاس را نتیجه می‌دهد که از حل آن سود خالص مورد انتظار سالانه سیستم توسعه یافته، دوره برگشت سیل طرح، ابعاد مولفه‌های سیستم از قبیل ارتفاع سد، ابعاد سرریز (طول و ارتفاع)، ارتفاع و میزان عقب‌نشینی گوره از کرانه رودخانه، حاصل می‌گردد. رودخانه تنگ سرخ و سیستم کنترل سیلاب (در دست مطالعه) در شهر شیراز به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است. حل مدل یک سیستم ترکیبی سد - گوره را نتیجه داده است که باید برای سیلاب طراحی با دوره برگشت ۱۰۰۰ سال توسعه یابد.

**کلمات کلیدی:** بهینه‌سازی، روش‌های سازه‌ای، کنترل سیلاب، سد، گوره.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۳ اردیبهشت ۱۳۸۸  
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴ فروردین ۱۳۹۰

1- Assistant Professor, Power and Water University of Technology, Tehran, Iran, Email: alimohammadi@pwut.ac.ir  
2 Former Msc Student in River Engineering, Power and Water University of Technology, Tehran, Iran  
3- Assistant Professor, Power and Water University of Technology, Tehran, Iran  
\*- Corresponding Author

۱- استادیار، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، تهران- ایران.  
۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مهندسی رودخانه، دانشگاه صنعت آب و برق، تهران- ایران  
۳- استادیار، دانشگاه صنعت آب و برق، تهران- ایران  
\*- نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

به طور کلی روش‌های مختلف کاهش خسارات سیل را به دو گروه سازه‌ای و غیرسازه‌ای تقسیم‌بندی می‌نمایند. تنوع گزینه‌های کنترل سیل از یک طرف و محدودیت سیستم مورد بررسی از طرف دیگر، لزوم توجه به روش‌های ترکیبی کنترل سیلاب را ضروری می‌نماید. معمولاً در این سیستم‌ها با لحاظ نمودن ترکیبی از دو یا چند روش می‌توان به وضعیت مطلوب‌تری رسید. بررسی سوابق مطالعاتی حاکی از آن است که در مورد این گونه سیستم‌ها، مطالعات محدودی انجام گردیده که در اغلب آنها نیز عمدتاً سیستم شبیه‌سازی شده است. به عبارتی در زمینه بهینه‌سازی سیستم‌های ترکیبی کنترل سیلاب مطالعه شاخصی تاکنون گزارش نگردیده است.

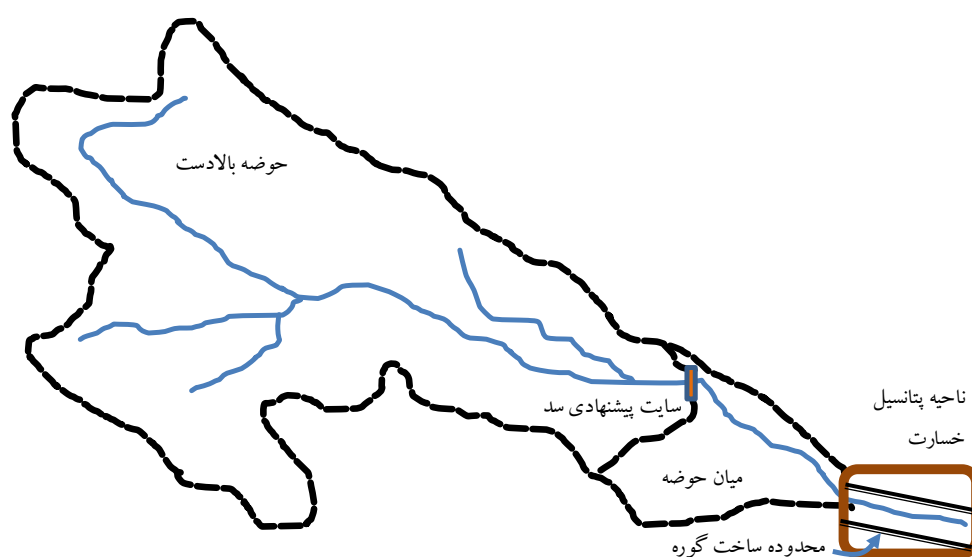
Shafiei et. al, (2005) در مقاله‌ای به بهینه‌یابی ارتفاع و عقب‌نشینی گوره با تحلیل اقتصادی سود - هزینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداخته‌اند. مطالعاتی با رویکرد اقتصادی سود - هزینه توسط افرادی چون: (Davis et. al (1972؛ Tung and Mays (1981؛ Wurbs (1983؛ Jaffe and Sanders (2001؛ Loucks and Van Beek (2005 صورت گرفته است. در این تحقیق با بررسی مطالعات انجام شده قبلی (به ویژه گوره‌ها)، یک مدل بهینه‌سازی با دقت مناسب تهیه گردیده که در ادامه به تشریح آن پرداخته شده است.

## ۲- مبانی تئوری

شکل ۱ شمایی از سیستم مورد نظر در این مطالعه را با اجزای آن نمایش می‌دهد. چنانچه در این شکل دیده می‌شود اجزای اصلی سیستم عبارتند از سد (مخزن ذخیره و تسکین سیلاب)، گوره، منطقه پتانسیل خسارت، حوضه آبریز اصلی، میان حوضه، و رودخانه. ایجاد یک مدل بهینه‌سازی با لحاظ نمودن تمامی جزئیات و ضوابط حاکم بر سیستم واقعی تقریباً غیرممکن است. بنابراین جهت فرمول بندی سیستم، ساده‌سازی‌هایی در روابط صورت می‌گیرد. بهرحال بسته به هدف مطالعه، نیایستی این ساده‌سازیها در حدی باشد که باعث کاهش توانایی مدل گردیده و نتایج نادرستی ارائه دهد.

هر مدلی مبتنی بر یک سری فرضیاتی است که بایستی در ابتدای تهیه مدل مورد توجه قرار گرفته و مدل بر اساس آنها فرمول بندی گردد.

در زمینه بهینه‌سازی روش‌های منفرد به لحاظ ارتباط به موضوع می‌توان آنها را به دو گروه مرتبط با سد و مرتبط با گوره دسته بندی نمود. مطالعات سدها، بیشتر به بررسی سدهای چندمنظوره، نحوه بهره‌برداری، تعیین منحنی فرمان در زمان سیلاب و بهینه کردن حجم کنترل سیلاب (که قسمتی از حجم کل سد را تشکیل می‌دهد) اختصاص یافته است و کمتر به مطالعه در مورد سدهای تک منظوره کنترل سیلاب پرداخته شده است. مبانی طراحی هیدرولیکی و سازه‌ای گوره‌ها توسط رسته مهندسی ارتش آمریکا منتشر گردیده است (USACE, 2000). Olsen et al. (1998) به ارزیابی اقتصادی گوره‌ها پرداخته‌اند. Zhu (2004) به بهینه‌یابی ارتفاع و عقب‌نشینی<sup>۱</sup> گوره با تحلیل اقتصادی سود - هزینه در دو شرایط اقلیمی استاتیکی و دینامیکی پرداخته است. شفیعی و همکاران



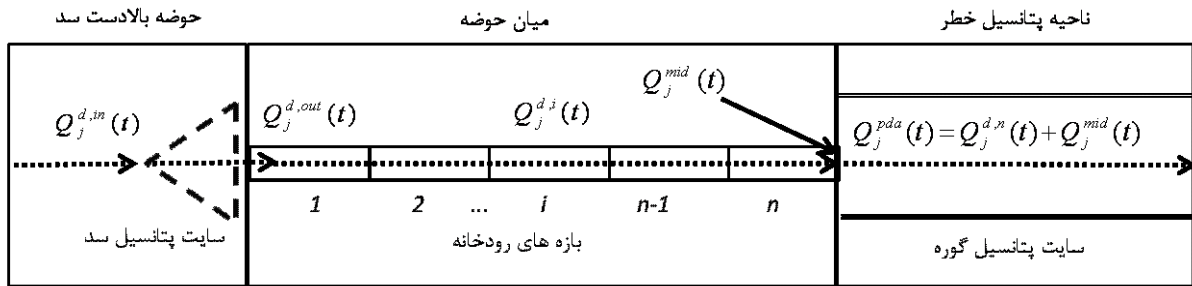
شکل ۱- شمایی از سیستم مورد مطالعه

### ۳- فرمول بندی مدل

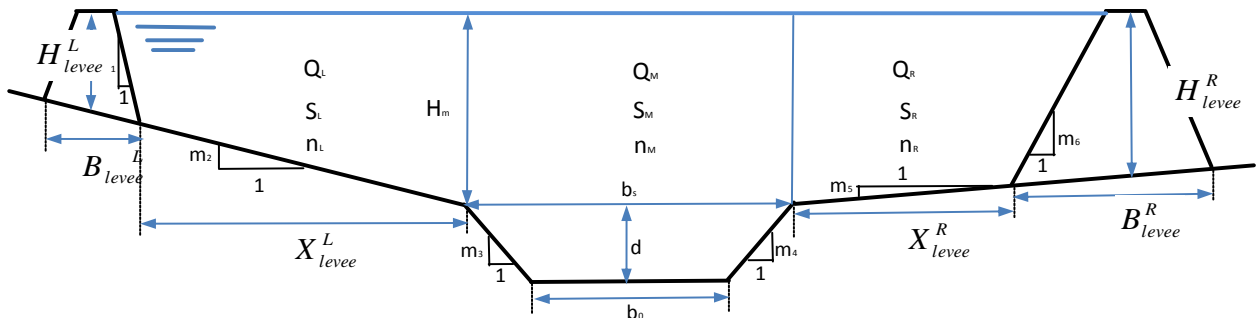
شکل ۲ شمای کلی سیستم مورد مطالعه در این تحقیق را نشان می‌دهد که در آن  $Q_j^{d,in}(t)$  دبی هیدروگراف ورودی به محل سد با دوره بازگشت  $j$  سال در زمان  $t$ ،  $Q_j^{d,out}(t)$  دبی هیدروگراف خروجی از سد با دوره بازگشت  $j$  سال در زمان  $t$ ،  $Q_j^{d,i}(t)$  دبی هیدروگراف روندیابی شده خروجی سد تا محل گوره در بازه  $i$  ام رودخانه، با دوره بازگشت  $j$  سال در زمان  $t$ ،  $Q_j^{mid}(t)$  دبی هیدروگراف حوضه میانی (حد فاصل بین سد تا گوره) با دوره بازگشت  $j$  سال در زمان  $t$ ،  $Q_j^{pda}(t)$  دبی هیدروگراف ورودی به ابتدای منطقه پتانسیل خطر، با دوره بازگشت  $j$  سال در زمان  $t$ ،  $Q_{j,max}^{pda}(t)$  ماکزیمم دبی هیدروگراف با دوره بازگشت  $j$  سال در منطقه پتانسیل خطر (=  $\max(Q_j^{pda}(t))$ )،  $Q_{j,max}^{pda,natural}$  دبی ماکزیمم سالانه با دوره بازگشت  $j$  در منطقه پتانسیل خطر (شرایط بدون طرح)،  $t=1, \dots, t_b$  و  $t_b$  زمان پایه هیدروگراف ورودی به سد (معمولا به ساعت).

همچنین شکل ۳ هندسه مقطع تیپ رودخانه و گوره را در منطقه پتانسیل خطر همراه با پارامترهای مربوطه نشان می‌دهد. اگر چه این شکل فرم ساده شده‌ای از مقطع واقعی است اما در مقایسه با مطالعات پیشین دقت به مراتب بیشتری دارد.

مهمترین فرضیاتی که در ارائه مدل بهینه‌سازی این مقاله مورد استفاده قرار گرفته‌اند، عبارتند از: هدف از ایجاد سد فقط کنترل سیلاب است بدین معنا که تمام حجم مفید آن بعد از ذخیره سیلاب، تخلیه شده و برای سیلاب بعدی آماده شود. سرریز سد از نوع آزاد (وجی) و کنترل نشده در نظر گرفته شده است. سیلاب طراحی سر ریز معلوم است (مثلا سیل ۱۰۰۰۰ ساله). در طراحی سیستم، تنها سر ریز اضطراری به عنوان خروجی سیلاب در نظر گرفته شده و خروجی از تخلیه کننده تحتانی (در جهت اطمینان) لحاظ نگردیده است. اگر دوره برگشت سیل طراحی  $T$  سال باشد، هیچ خسارتی از سیلابهای با دوره برگشت کمتر از  $T$  سال، به منطقه پتانسیل خسارت وارد نمی‌شود. روندیابی‌ها در مخزن و رودخانه به روش هیدرولوژیکی و به ترتیب به روشهای مخزن تراز و ماسکینگام انجام گرفته است. دبی‌های  $T$  ساله حوضه اصلی و میان حوضه (شکل ۱) بطور همزمان به وقوع می‌پیوندند (چون هر دو حوضه در یک ناحیه و مجاور هم هستند، این فرض دور از واقعیت نیست). مقطع رودخانه در منطقه پتانسیل خسارت، بصورت یک دوزنقه در نظر گرفته شده است (شکل ۳). مدل تنها قادر به دریافت یک مقطع در کل منطقه پتانسیل خطر می‌باشد. طراحی گوره بر اساس حداکثر دبی سیلاب هیدروگراف ورودی (طراحی) به ابتدای منطقه پتانسیل خطر انجام گرفته است. از نشت جریان در رودخانه و مخزن سد صرفنظر گردیده است.



شکل ۲- شمای کلی سیستم مدل سازی شده



شکل ۳- مقطع آبگذری در منطقه پتانسیل خسارت

قیدهای مدل شامل توابع و ترمهای مربوط به تشریح تابع هدف، روندیابی سیل در مخزن و رودخانه، هندسه رودخانه و گوره می‌باشد.

قیدهای مربوط به تشریح تابع هدف با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ به شرح زیر می‌باشند:

$$ABEN = E[D_{\text{without}}] - E[D_{\text{with}}] \quad (2)$$

$$E[D_{\text{without}}] = \sum_{j=1}^n \left[ \frac{D(Q_{j,\max}^{pda,natural}) + D(Q_{j+1,\max}^{pda,natural})}{2} \right] \times$$

$$[F(Q_{j+1,\max}^{pda,natural}) - F(Q_{j,\max}^{pda,natural})],$$

$$\text{for } Q_c = Q_{1,\max}^{pda,natural} \leq Q_{2,\max}^{pda,natural}$$

$$\leq \dots \leq Q_{n,\max}^{pda,natural} \leq \infty$$

(۳)

$$E[D_{\text{with}}] = \sum_{j=1}^n \left[ \frac{D(Q_{j,\max}^{pda}) + D(Q_{j+1,\max}^{pda})}{2} \right]$$

$$\times [F(Q_{j+1,\max}^{pda}) - F(Q_{j,\max}^{pda})],$$

$$\text{for } Q_c = Q_{1,\max}^{pda} \leq Q_{2,\max}^{pda} \leq \dots \leq Q_{n,\max}^{pda} \leq \infty$$

$$ACOST = CRF \times (CONS + LPRC) + AOMR \quad (5)$$

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (6)$$

$$CONS = CDam + CLevee \quad (7)$$

$$CDam = f_1(H_{dam}) \quad (8)$$

$$H_{dam} = H_{dead} + H_{fc} + H_{surg} + H_{fribd} \quad (9)$$

از جمله اینکه رودخانه به صورت یک دوزنقه با شیب متفاوت در دو طرف در نظر گرفته شده است. شیب اراضی مجاور رودخانه در دو طرف متفاوت است و فاصله گوره‌ها و هندسه آنها نیز در دو طرف یکسان نیست. همچنین هیدرولیک رودخانه و سیلابدشت (در دو سوی رودخانه) نیز متفاوت از هم لحاظ شده است.

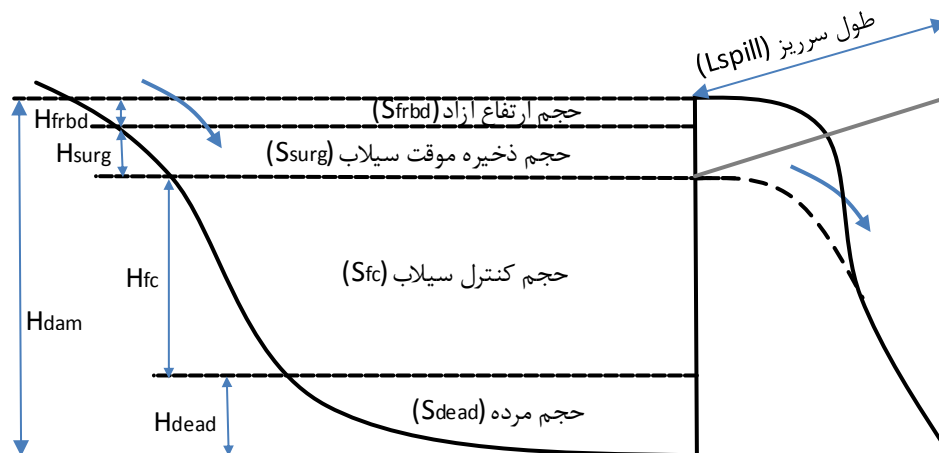
در شکل ۴ اجزای مخزن کنترل سیلاب به تصویر کشیده شده است. در اینجا نیز سعی گردیده تا حد امکان جزئیات بیشتری از سیستم مد نظر قرار گیرد تا تطابق هر چه بیشتری با واقعیت ایجاد گردد. چنانچه ملاحظه می‌گردد حجم مخزن از چهار بخش حجم مرده، حجم کنترل سیلاب، حجم ذخیره موقت (surcharge) و حجم ارتفاع آزاد تشکیل گردیده است. ارتفاع کل سد برابر ارتفاع متناظر با مجموع این چهار حجم است. یکی از نکات شاخص مطالعه حاضر در مدل‌سازی روندیابی سیل در مخزن می‌باشد که آن را از دیگر مدل‌های ارائه شده متمایز می‌نماید. در اینجا برخلاف مدل‌های پیشین، مخزن سد به هنگام وقوع سیل خالی است و نیز ارتفاع سد و ظرفیت سرریز مجهول است. مدل‌سازی این سیستم به مراتب پیچیده‌تر از مدل‌های ارائه شده پیشین است.

### ۱-۳- تابع هدف

همان گونه که ذکر گردید تابع هدف مدل، حداکثرسازی سود خالص سالانه سیستم می‌باشد. بر این اساس تابع هدف عبارتست از:

$$Max \quad ANB = ABEN - ACOST \quad (1)$$

که در آن  $ANB$  سود خالص سالانه،  $ABEN$  سود سالانه و  $ACOST$  هزینه سالانه می‌باشد.



شکل ۴- مقطع عرضی سد و مخزن کنترل سیلاب و پارامترهای طراحی

مجموعه دوم قیدها مربوط به روندیابی سیلاب طراحی در مخزن و محاسبه حجم کنترل سیلاب ( $S_{fc}$ ) و ارتفاع متناظر آن ( $H_{fc}$ ) می باشد. بایستی توجه کرد که سیلاب طراحی مخزن جهت تعیین حجم کنترل سیلاب، متفاوت از سیلاب طراحی سرریز است. فرض شده که سیلاب طراحی سرریز ( $Q_{spldes}^{d,in}(t)$ )، بزرگتر از سایر سیلابها ( $Q_j^{d,in}(t)$ ) می باشد. روندیابی سیلاب در مخزن به روش مخزن تراز (level pool routing) انجام گردیده است (Chow et al. 1988).

$$\left( \frac{S_{fcdes}(t+1)}{\Delta t} + \frac{Q_T^{d,out}(t+1)}{2} \right) = \left( \frac{S_{fcdes}(t)}{\Delta t} + \frac{Q_T^{d,out}(t)}{2} \right) + \quad (19)$$

$$\frac{Q_T^{d,in}(t+1) + Q_T^{d,in}(t)}{2} - Q_T^{d,out}(t), \quad \text{for } t = 1, 2, 3, \dots, t_b \quad (20)$$

$$S_{fcdes}(t+1) = \left( \frac{H_{fcdes}(t+1)}{3} \right) \times \quad (21)$$

$$\left( A_{crest} + A_{fcdes}(t+1) + \sqrt{A_{crest} \times A_{fcdes}(t+1)} \right) \quad (22)$$

$$A_{crest} = f_2(S_{dead} + S_{fc}) \quad (23)$$

$$A_{fcdes}(t+1) = f_2(S_{dead} + S_{fc} + S_{fcdes}(t+1)) \quad (24)$$

$$Q_T^{d,out}(t+1) = C_{spill} \times L_{spill} \times H_{fcdes}(t+1)^{1.5} \quad (25)$$

$$S(t) \leq S_{fc} \quad (26)$$

$$H_{fc} = f_3(S_{fc}) \quad (27)$$

که در آنها  $S_{fcdes}(t)$  حجم ذخیره موقت مخزن در زمان  $t$ ،  $Q_T^{d,out}(t)$  و  $Q_T^{d,in}(t)$  به ترتیب دبی سیلاب طراحی ورودی به مخزن و خروجی از سرریز در زمان  $t$ ،  $A_{crest}$  مساحت دریاچه مخزن در تراز لبه سرریز،  $\Delta t$  گام زمانی هیدروگراف سیلاب،  $H_{fcdes}(t)$  ارتفاع ذخیره موقت متناظر با  $S_{fcdes}(t)$ ،  $A_{fcdes}(t)$  مساحت مخزن در ارتفاع  $H_{fcdes}(t)$  بالاتر از تراز سرریز،  $S_{dead}$  حجم مرده مخزن (ثابت)، و  $C_{spill}$  ضریب آبگذری سرریز،  $f_2(\cdot)$  رابطه تابعی بین سطح و حجم مخزن و  $f_3(\cdot)$  رابطه تابعی بین ارتفاع و حجم مخزن می باشد.

$$C_{Levee} = C_{Levee}^L + C_{Levee}^R \quad (10)$$

$$C_{Levee}^L = UPRC_{Levee} \times A_{Levee}^L \times L_{Levee} \quad (11)$$

$$C_{Levee}^R = UPRC_{Levee} \times A_{Levee}^R \times L_{Levee} \quad (12)$$

$$LPRC = C_{Set}^L + C_{Set}^R + C_{LB}^L + C_{LB}^R \quad (13)$$

$$C_{Set}^L = UPRC_{Land}^L \times X_{Levee}^L \times L_{Levee} \quad (14)$$

$$C_{Set}^R = UPRC_{Land}^R \times X_{Levee}^R \times L_{Levee} \quad (15)$$

$$C_{LB}^L = UPRC_{Land}^L \times B_{Levee}^L \times L_{Levee} \quad (16)$$

$$C_{LB}^R = UPRC_{Land}^R \times B_{Levee}^R \times L_{Levee} \quad (17)$$

$$AOMR = \alpha \times CDam + \beta \times C_{Levee} \quad (18)$$

که در آنها:  $E[D_{Without}]$  خسارت مورد انتظار سالانه ناشی از سیل در شرایط طبیعی (بدون طرح)،  $E[D_{With}]$  خسارت مورد انتظار سالانه ناشی از سیل پس از اجرای طرح کنترل سیلاب،  $D(Q_{j,max}^{pda,natural})$  منطقه پتانسیل خطر و  $F(Q_{j,max}^{pda,natural})$  احتمال عدم وقوع سیل با دوره برگشت  $Z$  ( $F=1-p=1-1/T$ ) می باشد. همچنین  $CRF$  ضریب بازگشت سرمایه،  $CONS$  ارزش فعلی هزینه های ساختمانی سد و گوره،  $LPRC$  هزینه تملک اراضی مجاور رودخانه،  $AOMR$  هزینه سالانه بهره برداری و نگهداری سد و گوره،  $n$  عمر مفید طرح کنترل سیلاب به سال،  $i$  نرخ بهره،  $CDam$  هزینه احداث سد،  $C_{Levee}$  هزینه احداث گوره  $f_1(\cdot)$  رابطه تابعی بین ارتفاع و هزینه سد،  $H_{dam}$  ارتفاع کل سد،  $H_{dead}$  ارتفاع متناظر با حجم مرده سد،  $H_{fc}$  ارتفاع متناظر با حجم کنترل سیلاب،  $H_{surg}$  ارتفاع متناظر با حجم ذخیره موقت،  $H_{ftbd}$  ارتفاع آزاد،  $C_{Levee}^L$  و  $C_{Levee}^R$  به ترتیب هزینه احداث گوره در ساحل چپ و راست رودخانه،  $UPRC_{Levee}$  هزینه واحد حجم ساخت گوره،  $A_{Levee}^L$  و  $A_{Levee}^R$  مساحت سطح مقطع گوره به ترتیب در ساحل چپ و راست رودخانه،  $C_{Set}^L$ ،  $C_{Set}^R$  هزینه تملک اراضی بین گوره و رودخانه به ترتیب در ساحل چپ و راست،  $C_{LB}^L$ ،  $C_{LB}^R$  هزینه تملک اراضی جهت ساخت گوره (واقع در قاعده گوره) به ترتیب در ساحل چپ و راست رودخانه،  $UPRC_{Land}^L$  و  $UPRC_{Land}^R$  قیمت واحد زمین در منطقه پتانسیل خطر به ترتیب در ساحل چپ و راست رودخانه،  $X_{Levee}^L$  و  $X_{Levee}^R$  به ترتیب فاصله پای گوره تا لب رودخانه در ساحل چپ و راست رودخانه،  $B_{Levee}^L$ ،  $B_{Levee}^R$  به ترتیب اندازه قاعده گوره در سمت چپ و راست رودخانه،  $\alpha$  و  $\beta$  به ترتیب ضریب هزینه های بهره برداری و نگهداری سد و گوره (به صورت ضریبی از هزینه های اجرایی) می باشند.

می‌باشد. به این منظور از روش ماسکینگام استفاده شده است. بازه رودخانه به n قسمت با پارامترهای روندیابی معلوم (X<sub>i</sub>, K<sub>i</sub>) تقسیم شده است.

$$Q_T^{d,1}(t+1) = C_{1,1} \times Q_T^{d,out}(t+1) + C_{2,1} \quad (32)$$

$$\times Q_T^{d,out}(t) + C_{3,1} \times Q_T^{d,1}(t)$$

$$Q_T^{d,1}(0) = Cte \quad (33)$$

$$Q_T^{d,i}(t+1) = C_{1,i} \times Q_T^{d,i-1}(t+1) + C_{2,i} \times \quad (34)$$

$$Q_T^{d,i-1}(t) + C_{3,i} \times Q_T^{d,i}(t), \quad i = 2, 3, \dots, n$$

$$C_{1,i} = \frac{\Delta t - 2K_i X_i}{2K_i(1 - X_i) + \Delta t} \quad (35)$$

$$C_{2,i} = \frac{\Delta t + 2K_i X_i}{2K_i(1 - X_i) + \Delta t} \quad (36)$$

$$C_{3,i} = \frac{2K_i(1 - X_i) - \Delta t}{2K_i(1 - X_i) + \Delta t} \quad (37)$$

که در آن  $Q_T^{d,i}(t)$  دبی خروجی بازه i در انتهای دوره t و  $X_i$  و  $K_i$  ضرایب روندیابی در بازه i و  $C_{1,i}, C_{2,i}, C_{3,i}$  پارامترهای روندیابی ماسکینگام در بازه i می‌باشند.

و سرانجام سری پنجم قیدها نحوه مدل سازی مقطع رودخانه و گوره را در منطقه پتانسیل خطر بر اساس شکل ۳، نشان می‌دهد.

$$Q_T^{pda}(t) = Q_T^{d,n}(t) + Q_T^{mid}(t) \quad (38)$$

$$Q_{T,max}^{pda} \geq Q_T^{pda}(t) \quad (39)$$

$$Q_{T,max}^{pda} = Q_L + Q_M + Q_R \quad (40)$$

$$Q_L = (S_L)^{\frac{1}{2}} \frac{\left( X_{levee}^L \times H_{levee}^L + \frac{1}{2} \times H_{levee}^L{}^2 (1/m_1) + \frac{1}{2} \times X_{levee}^L{}^2 \times m_2 \right)^{\frac{5}{3}}}{n_L \left( H_{levee}^L \sqrt{1+1/m_1^2} + X_{levee}^L \sqrt{1+m_2^2} \right)^{\frac{2}{3}}} \quad (41)$$

$$Q_M = (S_M)^{\frac{1}{2}} \frac{\left( \frac{b_0 + b_s}{2} \times d + H_m \times b_s \right)^{\frac{5}{3}}}{n_M \left( b_0 + d \times (\sqrt{1+1/m_3^2} + \sqrt{1+1/m_4^2}) + 2 \times H_m \right)^{\frac{2}{3}}} \quad (42)$$

$$Q_R = (S_R)^{\frac{1}{2}} \frac{\left( X_{levee}^R \times H_{levee}^R + \frac{1}{2} \times H_{levee}^R{}^2 (1/m_5) + \frac{1}{2} \times X_{levee}^R{}^2 \times m_6 \right)^{\frac{5}{3}}}{n_R \left( X_{levee}^R \sqrt{1+1/m_5^2} + H_{levee}^R \sqrt{1+m_6^2} \right)^{\frac{2}{3}}} \quad (43)$$

مجموعه سوم قیدها مربوط به محاسبات روندیابی سیل طراحی سرریز در مخزن سد و تعیین ابعاد سرریز و حجم ذخیره موقت (S<sub>surge</sub>) است.

$$\left( \frac{S_{spldes}(t+1)}{\Delta t} + \frac{Q_{spldes}^{d,out}(t+1)}{2} \right) =$$

$$\left( \frac{S_{spldes}(t)}{\Delta t} + \frac{Q_{spldes}^{d,out}(t)}{2} \right) + \quad (26)$$

$$\frac{Q_{spldes}^{d,in}(t+1) + Q_{spldes}^{d,in}(t)}{2}$$

$$- Q_{spldes}^{d,out}(t), \quad \text{for } t = 1, 2, 3, \dots, t_b$$

$$S_{spldes}(t) = \left( \frac{H_{spldes}(t)}{3} \right) \times \quad (27)$$

$$\left( A_{crest} + A_{spldes}(t) + \sqrt{A_{crest} \times A_{spldes}(t)} \right) \quad (28)$$

$$S_{spldes}(0) = 0 \quad (28)$$

$$A_{spldes}(t) = f_2(S_{dead} + S_{fc} + S_{spldes}(t)) \quad (29)$$

$$Q_{spldes}^{d,out}(t) = C_{spill} \times L_{spill} \times (H_{spldes}(t))^{1.5} \quad (30)$$

$$S_{spldes}(t) \leq S_{surge} \quad (31)$$

که در آنها S<sub>spldes</sub>(t) حجم ذخیره موقت مخزن متناظر با سیلاب طراحی سرریز در زمان t،  $Q_{spldes}^{d,in}(t)$  و  $Q_{spldes}^{d,out}(t)$  به ترتیب دبی هیدروگراف (سیلاب طراحی سرریز) ورودی به مخزن و خروجی از سرریز در زمان t، ارتفاع ذخیره موقت متناظر با S<sub>spldes</sub>(t)، A<sub>spldes</sub>(t) مساحت مخزن در ارتفاع H<sub>spldes</sub>(t) بالاتر از لیه سرریز می باشد.

سری چهارم قیدها مربوط به محاسبات روندیابی سیل (طراحی) در رودخانه در پایین دست سد و ورودی به منطقه پتانسیل خطر

پتانسیل خطر (محل پیشنهادی احداث گوره)، محور پیشنهادی سد، و مسیر رودخانه در شکل ۵ به نمایش درآمده است.

دبی‌های پیک حوضه آبریز اصلی و میان حوضه همراه با خسارت‌های تخمینی به محدوده منطقه پتانسیل خطر برای دوره برگشت‌های مختلف مطابق جدول ۱ ارائه گردیده‌اند (مهندسين مشاور آیفن و بررسی‌های میدانی).

سایر داده‌های مورد نیاز مدل با توجه به مشخصات مقطع آبگذری در منطقه پتانسیل خطر (طبق شکل ۴)، شامل طول منطقه مورد حفاظت توسط گوره در کرانه چپ و راست رودخانه در منطقه پتانسیل خسارت ( $L_R$  و  $L_L$ )، ضریب آبگذری سرریز ( $C$ )، پارامترهای روندیابی ماسکینگام حدفاصل سد و گوره با در نظر گرفتن یک بازه ( $X$  و  $K$ )، ضریب بازگشت سرمایه و پارامترهای آن (طبق رابطه ۳)، هزینه یک مترمکعب ساخت گوره، هزینه یک مترمکعب ساخت سد (خاکی)، هزینه یک مترمربع اشغال زمین توسط قاعده گوره و عقب نشینی آن، حجم مرده تخصیص داده شده جهت انباشت رسوبات ( $S_{dead}$ )، ارتفاع آزاد (که در اینجا از آن صرفنظر شده است) و مقدار دبی ایمن رودخانه در محدوده منطقه پتانسیل خطر ( $Q_{safe}$ )، در جدول ۲ ارائه گردیده اند.

#### ۴-۱- نتایج حاصل از اجرای مدل

مدل بهینه‌سازی تشریح شده با روابط ۱ تا ۴۶ بر اساس داده‌های جدول‌های ۱ و ۲ حل شده است. نتایج حاصل از اجرای مدل برای سری سیلاب‌های طراحی با دوره بازگشت‌های مختلف، در جدول ۳ ارائه گردیده است. در هر اجرا فرض شده که دبی طراحی دارای دوره بازگشت  $T$  سال مطابق ستون دوم جدول ۳ است. دوره برگشت بهینه در جدول ۴ آمده است. با توجه به پارامترهای مشخص شده در جدول ۲، به دلیل یکسان بودن شیب دو طرف رودخانه و در نظر گرفتن ارزش یکسان زمین‌های کرانه چپ و راست رودخانه در منطقه پتانسیل خطر، ارتفاع گوره در دو طرف یکسان است. محاسبات مربوط به انتخاب دوره برگشت بهینه (سیلاب طرح) در جدول ۴ خلاصه گردیده است. ستون اول دوره بازگشت سیل طرح را نشان می‌دهد. ستون دوم خسارت مورد انتظار سالانه در شرایط بدون طرح است که از جدول ۱ بدست می‌آید.

ستون سوم جدول ۴ نشان دهنده خسارات قابل انتظار سالانه وارده به منطقه پتانسیل خطر در شرایط اجرای طرح با دوره بازگشت  $T$

$$bs = b_0 + d(1/m_3 + 1/m_4) \quad (44)$$

$$H_m = H_{levee}^L + X_{levee}^L / m_2 \quad (45)$$

$$H_m = H_{levee}^R + X_{levee}^R / m_5 \quad (46)$$

که در آنها  $b_0$  عرض عرض کف رودخانه،  $d$  عمق رودخانه،  $m_3$  و  $m_4$  به ترتیب شیب کناره‌های رودخانه در سمت چپ و راست،  $m_2$  و  $m_5$  به ترتیب شیب متوسط سیلاب دشت در منطقه پتانسیل خطر در سمت چپ و راست رودخانه،  $S_M$ ،  $S_L$ ،  $S_R$  به ترتیب شیب طولی رودخانه و سیلابدشت در سمت چپ و راست،  $n_M$ ،  $n_L$ ،  $n_R$  به ترتیب ضریب مانینگ رودخانه و سیلابدشت در سمت چپ و راست،  $Q_M$ ،  $Q_R$ ،  $Q_L$  به ترتیب دبی عبوری از رودخانه و سیلابدشت در سمت چپ و راست،  $X_{levee}^L$  و  $X_{levee}^R$  به ترتیب عقب نشینی گوره در کرانه چپ و راست رودخانه،  $m_1$  و  $m_6$  به ترتیب شیب کناره‌های گوره به ترتیب در کرانه چپ و راست رودخانه هستند.

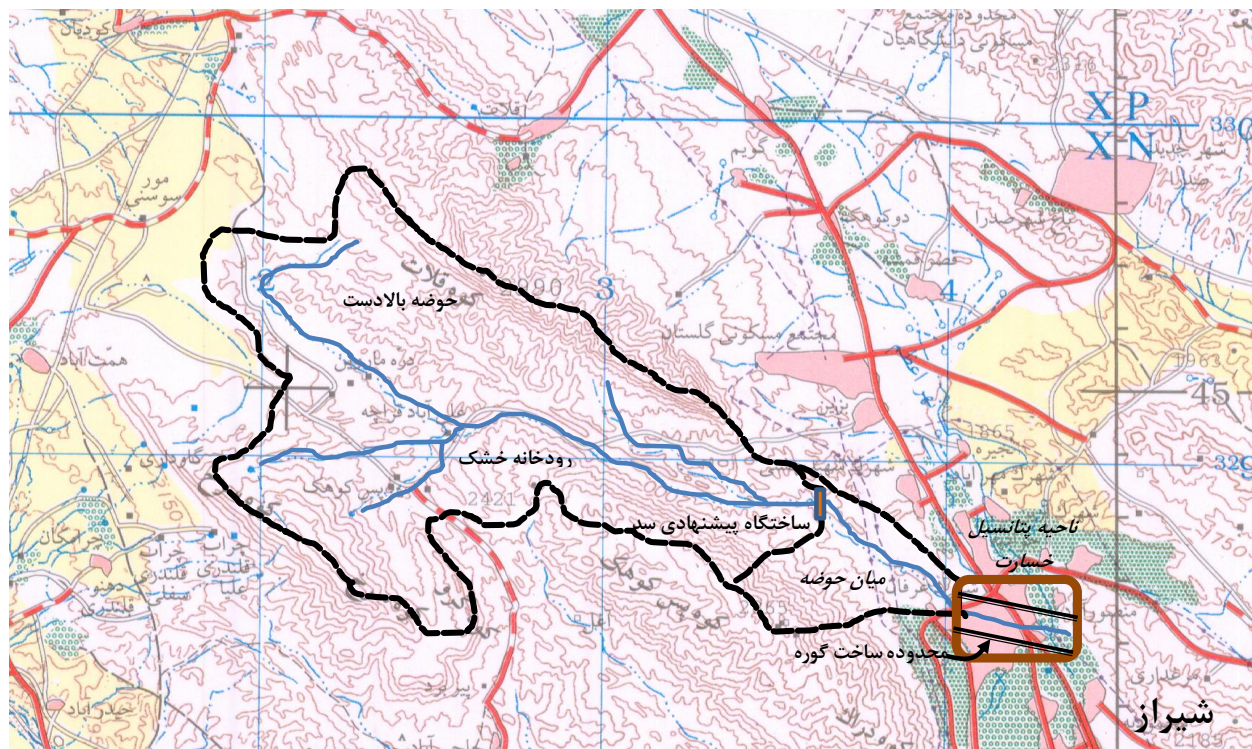
جهت حل مدل از نرم‌افزار LINGO 11.0 (LINGO System Inc, 2008) استفاده شده است. این نرم افزار از الگوریتم گرادینان کاهش می‌تواند جهت حل مدل‌های غیرخطی استفاده می‌نماید. جهت آزمون صحت مدل، نظر به عدم وجود یک مثال یا مطالعه از قبل انجام شده و تست شده در این زمینه، از طریق کنترل تغییر منطقی و مورد انتظار ابعاد و خروجی‌های سیستم با تغییر پارامترهای ورودی مدل (ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها) در شرایط مختلف، استفاده شده است.

#### ۴-۲- مطالعه موردی

رودخانه خشک شیراز یک رودخانه فصلی است که پس از عبور از شهر شیراز به دریاچه مهارلو می‌ریزد. این رودخانه دارای دو شاخه اصلی به نام‌های نهراغظم و خشک معالی آباد (تنگ سرخ) است که به ترتیب از ارتفاعات شمال و شمال غرب شیراز سرچشمه می‌گیرند. این دو شاخه در ابتدای شهر شیراز به هم پیوسته و رودخانه خشک را تشکیل می‌دهند. همه ساله به دلیل بارندگی و عبور سیلاب از داخل شهر خسارت‌های زیادی به اراضی و تاسیسات شهری وارد می‌شود که عمده این سیلاب‌ها از شاخه تنگ سرخ سرچشمه می‌گیرد (مهندسين مشاور آیفن، ۱۳۸۳). جهت جلوگیری از خسارات و مهار آبهای سطحی حوضه آبریز رودخانه تنگ سرخ، طرح کنترل سیلاب سازه‌ای، بر روی این رودخانه قبل از اتصال به شاخه نهراغظم پیش‌بینی شده است. موقعیت رودخانه خشک معالی آباد، منطقه

حاصل که برابر تفاضل ستون‌های چهارم و پنجم است ارائه گردیده است. بنابراین از آنجا که سیلاب ۱۰۰۰ ساله دارای بیشترین سود خالص می‌باشد، به عنوان سیل طرح انتخاب می‌شود.

سال می‌باشد. ستون چهارم سود سالانه حاصل از اجرای طرح (تفاضل ستون دوم و سوم) را نشان می‌دهد. ستون پنجم هزینه کل سالانه طرح را نشان می‌دهد. سرانجام در ستون ششم سود خالص



شکل ۵- موقعیت حوضه رودخانه تنگ سرخ و اجزای سیستم مورد مطالعه

جدول ۱- دبی پیک سیلاب و خسارت‌های تخمینی (مهندسين مشاور آيفن، ۱۳۸۳ و بررسی‌های میدانی)

دوره بازگشت (سال)	۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰۰
دبی پیک حوضه اصلی (مترمکعب بر ثانیه)	۷۰	۱۰۲	۱۲۲	۱۴۱	۱۶۸	۲۴۹	۲۷۶	۳۱۰	۳۳۹	۴۲۹
دبی پیک حوضه میانی (مترمکعب بر ثانیه)	۳۵	۵۱	۶۱	۷۰/۵	۸۴	۱۲۴/۵	۱۳۸	۱۵۵	۱۶۹/۵	۲۱۴/۵
پتانسیل خسارت (میلیارد ریال)	۰/۱	۰/۹	۹/۵	۵۰	۹۱	۴۵۰	۵۱۰	۹۳۰	۲۰۰۰	۷۸۰۰

جدول ۲- پارامترهای ورودی مورد نیاز مدل بهینه‌سازی

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
$K$	۴ (ساعت)	$m_1$	۳	$S_M$	۰/۰۰۲	$d$	۱/۲۳ (متر)
$X$	۰/۲	$m_2$	۰	$S_L$	۰/۰۰۲	$b_0$	۱۶/۳۱ (متر)
$C_{Lev}$	۱۶۰۶۶ (ریال)	$m_3$	۱/۵	$S_R$	۰/۰۰۲	$b_s$	۲۰ (متر)
$C_{Dam}$	۶۹۲۵ (ریال)	$m_4$	۱/۵	$n_M$	۰/۰۴۵	$L_L$	۲۰۸۱ (متر)
$C_{Set}$	۱۰۰۰۰۰۰ (ریال)	$m_5$	۰	$n_L$	۰/۰۳۵	$L_R$	۲۰۸۱ (متر)
$S_{dead}$	۱/۶۵ میلیون متر مکعب	$m_6$	۳	$n_R$	۰/۰۴۵	$C_{spill}$	۲/۲۲۴۵۶
$N$	۳۰ سال	$CRF$	۰/۲۰۲	$H_{fbrd}$	۰/۰	$Q_{Safe}$	۳۰ ( $m^3/s$ )



جدول ۳- نتایج حاصل از اجرای مدل

ردیف	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع نرمال (متر)	ارتفاع سد (متر)	طول سرریز (متر)	ارتفاع سرریز (متر)	ارتفاع گوره (متر)	عقب نشینی گوره (متر)	دبی در منطقه پتانسیل خطر (مترمکعب بر ثانیه)	هزینه اجرایی (میلیارد ریال)
۱	۱۰۰۰۰	۴۹/۹۷	۵۴/۴۶	۱۷/۲	۴/۴۹	۲/۶	۰	۲۱۴/۵	۸۲/۳۳۶
۲	۱۰۰۰	۴۸/۲۸	۵۰/۹۸	۴۱/۰۱	۲/۷	۲/۱	۰	۱۶۹/۵	۶۵/۱۳۷
۳	۵۰۰	۴۶/۹۳	۴۹/۶۹	۳۹/۷	۲/۷۶	۱/۹۵	۰	۱۵۵	۶۱/۱۸۰
۴	۲۰۰	۴۵/۳۷	۴۸/۲۲	۳۷/۹	۲/۸۵	۱/۷۵	۰	۱۲۸	۵۶/۰۲۹
۵	۱۰۰	۴۲/۸۶	۴۶/۷۵	۳۷/۵	۲/۸۹	۱/۶	۰	۱۲۴/۵	۵۱/۸۴۶
۶	۵۰	۴۰	۴۲/۹۶	۳۶/۲	۲/۹۶	۱	۰	۸۴	۳۸/۰۳۷
۷	۲۰	۳۸	۴۱/۲	۳۴	۳/۲	-۰/۸	۰	۷۰/۵	۳۲/۹۴۹
۸	۱۰	۳۳/۶۱	۴۰/۸	۱۱/۲	۷/۱۹	-۰/۶	۰	۶۱	۲۸/۸۵۵
۹	۵	۳۲/۰۶	۳۶/۵۱	۲۹/۱	۳/۴۵	-۰/۴۵	۰	۵۱	۲۴/۶۱۳
۱۰	۲	۲۹/۷۱	۳۳/۳	۲۷/۵	۳/۵۹	-۰/۱۲	۰	۳۵	۱۶/۷۰۲

جدول ۴- تعیین دوره برگشت سیل طرح (ارقام به میلیارد ریال)

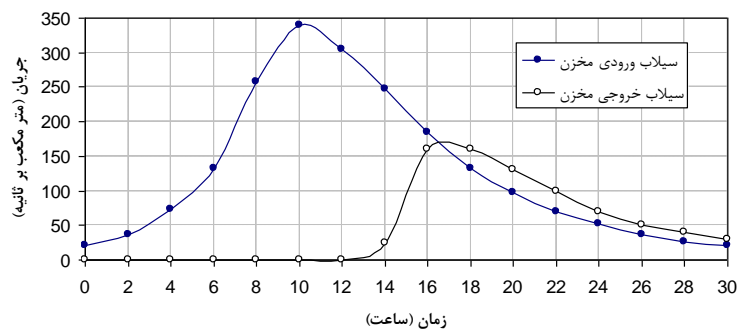
دوره بازگشت (سال)	$EAD_0$	$EAD_T$	سود	هزینه	سود خالص
۱۰۰۰۰	۱۸/۲۱۸	-۰/۰	۱۸/۲۱۸	۱۶/۶۳۲	۱/۵۸۶
۱۰۰۰	۱۸/۲۱۸	۱/۳۷۷	۱۶/۸۴۱	۱۳/۱۵۸	۳/۶۸۳
۵۰۰	۱۸/۲۱۸	۳/۸۱۸	۱۴/۴۰۰	۱۲/۳۵۸	۲/۰۴۲
۲۰۰	۱۸/۲۱۸	۷/۳۶۲	۱۰/۸۵۶	۱۱/۳۱۸	-۰/۴۶۲
۱۰۰	۱۸/۲۱۸	۹/۰۱۴	۹/۲۰۴	۱۰/۴۷۳	-۱/۲۶۹
۵۰	۱۸/۲۱۸	۱۲/۸۱۵	۵/۴۰۳	۷/۶۸۳	-۲/۲۸۰
۲۰	۱۸/۲۱۸	۱۴/۲۷۸	۳/۹۴۰	۶/۶۵۶	-۲/۷۱۶
۱۰	۱۸/۲۱۸	۱۵/۱۸۰	۳/۰۳۸	۵/۸۲۹	-۲/۷۹۱
۵	۱۸/۲۱۸	۱۶/۸۱۰	۱/۴۰۸	۴/۹۷۲	-۳/۵۶۴
۲	۱۸/۲۱۸	۱۷/۹۹۵	-۰/۲۲۳	۳/۳۷۴	-۳/۱۵۱

شکل‌های ۶، ۷ و ۸، به ترتیب مقایسه هیدروگراف‌های ورودی به مخزن (هیدروگراف حوضه آبریز اصلی) و خروجی از سرریز سد، هیدروگراف‌های خروجی از سرریز سد و روندیابی شده تا محل احداث گوره و هیدروگراف‌های روندیابی شده تا محل احداث گوره، میان حوضه و نهایی (هیدروگراف عبوری از مقطع آبگذری منطقه پتانسیل خطر)؛ سیل طرح (سیلاب ۱۰۰۰ سال) را ارائه می‌نمایند.

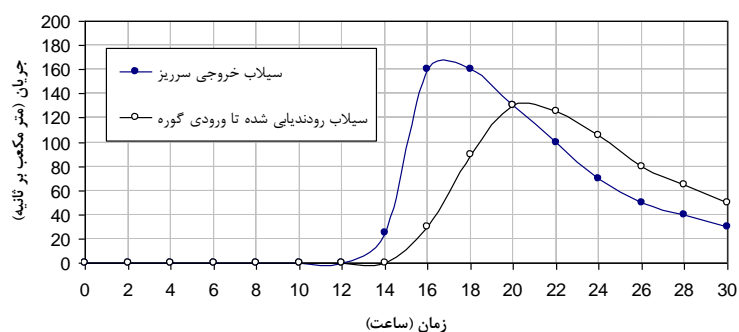
#### ۴-۲- تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت مدل برای سیلاب ۱۰۰۰ ساله که به عنوان سیل طرح انتخاب گردید، صورت گرفته است. از بین داده‌های ورودی مدل، چهار داده که دارای عدم قطعیت بالاتری نسبت به دیگر پارامترها هستند، انتخاب شده است. در جدول ۵ مقادیر اولیه، کران بالا و پایین و انحراف معیار داده‌های ورودی ارائه شده است.

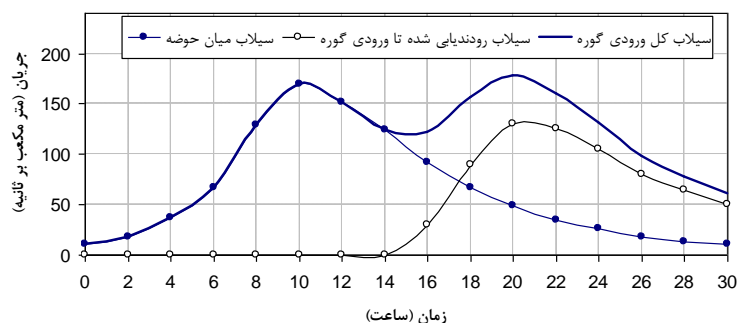
جهت تعیین اثر سد در کاهش خسارات قابل انتظار سالانه بالاتر از سیل طراحی  $T$  سال، کلیه هیدروگراف‌های سیلاب بالاتر از سیل طراحی را با در نظر گرفتن اثر سد و سرریز طراحی شده در سیل طراحی  $T$  سال، مقدار حداکثر دبی آنها را در منطقه پتانسیل خطر بدست می‌آید که با توجه به جدول ۱ می‌توان کاهش خسارت را تعیین نمود. چگونگی و وسعت شکست گوره در سیلاب‌های بالاتر از سیل طراحی  $T$  سال که باعث افزایش خسارات قابل انتظار سالانه می‌شود، بر اساس یک سری فرضیات منطقی تعیین می‌شود. درصدی از هزینه سالانه سازه گوره، با توجه به سیلاب‌های بالاتر از سیل طراحی را به عنوان خسارات وارده به سازه گوره در نظر گرفته شده است.



شکل ۶- مقایسه هیدروگراف‌های ورودی به مخزن (۱) و خروجی از سرریز سد (۲)



شکل ۷- مقایسه هیدروگراف‌های خروجی از سرریز سد (۲) و روندیابی شده تا محل احداث گوره (۳)



شکل ۸- مقایسه هیدروگراف‌های روندیابی شده و نهایی (عبوری از منطقه پتانسیل خطر)

تحلیل حساسیت داده‌های خروجی برای طول سرریز ( $L_{Spill}$ )، ارتفاع سرریز ( $H_{Spill}$ )، ارتفاع مخزن ( $H_{Res}$ )، ارتفاع سد، ارتفاع گوره و عقب نشینی گوره صورت گرفته است. نتایج در جداول ۶ الی ۱۱ آورده شده‌اند.

طول سرریز ( $L_{Spill}$ ) به دو پارامتر زمان پیمایش موج سیل و هیدروگراف ورودی به ترتیب ۶۱/۸٪ و ۳۸/۲٪ حساسیت از خود نشان می‌دهد و دو پارامتر دیگر اثری بر آن نمی‌گذارند.

به غیر از هیدروگراف‌های ورودی، کلیه داده‌های جدول ۵ به مقدار پانزده درصد افزایش و کاهش داده شده‌اند. در مقادیر هیدروگراف میان حوضه ( $Q_{1000}^{mid}$ ) و حوضه اصلی ( $Q_{1000}^{d.in}$ ) به مقدار ده درصد افزایش و کاهش صورت گرفته است. تحلیل حساسیت هیدروگراف‌های ورودی براساس مقادیر دبی حداکثر هیدروگراف‌های میان حوضه و حوضه اصلی صورت می‌گیرد. باید توجه داشت هیدروگراف‌های ورودی تواما افزایش و کاهش خواهند داشت، همچنین ضرایب زبری نیز همگی افزایش و همگی کاهش یافته‌اند. نتیجه کاهش با اندیس  $Low$  و افزایش با اندیس  $High$  نشان داده شده است.

جدول ۵- مقادیر اولیه، کران بالا و پایین ۴ داده ورودی

عنوان	شاخص	مقدار اولیه	کران پایین	کران بالا	انحراف معیار
زمان پیمایش موج سیل	K (ساعت)	۴	۳/۴	۴/۶	۰/۳۶۳۶
ضرایب زبری	$n_L$	۰/۰۴۵	۰/۰۳۸۲۵	۰/۰۵۱۷۵	۰/۰۰۴۰۹
	$n_M$	۰/۰۳۵	۰/۰۲۹۷۵	۰/۰۴۰۲۵	۰/۰۰۳۱۸
	$n_R$	۰/۰۴۵	۰/۰۳۸۲۵	۰/۰۵۱۷۵	۰/۰۰۴۰۹
هیدروگراف ورودی	$Q_{1000}^{d.in}$ (مترمکعب بر ثانیه)	۳۳۹	۳۰۵/۱	۳۷۲/۹	۲۰/۵۴۵۴
	$Q_{1000}^{mid}$ (مترمکعب بر ثانیه)	۱۶۹/۵	۱۵۲/۵۵	۱۸۶/۴۵	۱۰/۲۷۲۷
هزینه در مقدار واحد	ساخت گوره (ریال)	۱۶۰۶۶	۱۸۴۷۵/۹	۱۳۶۵۶/۱	۱۴۶۰/۵۰

جدول ۶ تحلیل حساسیت متغیر  $L_{Spill}$  با مقدار اولیه ۴۱/۰۱ (متر)

متغیر ورودی	$(L_{Spill})_{Low}$	$(L_{Spill})_{High}$	واریانس خروجی	درصد اثر گذاری
زمان پیمایش موج سیل (ساعت)	۳۰/۱	۵۹/۵	۷۹/۴۲	٪۶۱/۸
ضرایب زبری	۴۱/۰۱	۴۱/۰۱	۰	---
هیدروگراف ورودی (مترمکعب بر ثانیه)	۳۹/۵	۱۶/۴	۴۹/۰۸	٪۳۸/۲
هزینه واحد ساخت گوره (میلیارد ریال)	۴۱/۰۱	۴۱/۰۱	۰	---

جدول ۷- تحلیل حساسیت متغیر  $H_{Spill}$  با مقدار اولیه ۲/۷ (متر)

متغیر ورودی	$(H_{Spill})_{Low}$	$(H_{Spill})_{High}$	واریانس خروجی	درصد اثر گذاری
زمان پیمایش موج سیل (ساعت)	۳/۲۶	۲/۱۴	۰/۱۱۵۲	٪۲۶/۲
ضرایب زبری	۲/۷	۲/۷	۰	---
هیدروگراف ورودی (مترمکعب بر ثانیه)	۲/۷۷	۴/۶۵	۰/۳۲۴۶	٪۷۳/۸
هزینه واحد ساخت گوره (میلیارد ریال)	۲/۷	۲/۷	۰	---

جدول ۸- تحلیل حساسیت متغیر  $H_{Res}$  با مقدار اولیه ۴۸/۲۸ (متر)

متغیر ورودی	$(H_{Res})_{Low}$	$(H_{Res})_{High}$	واریانس خروجی	درصد اثر گذاری
زمان پیمایش موج سیل (ساعت)	۴۸/۲۸	۴۸/۲۸	۰	---
ضرایب زبری	۴۸/۲۸	۴۸/۲۸	۰	---
هیدروگراف ورودی (مترمکعب بر ثانیه)	۴۶/۷۱	۴۷/۶۸	۰/۰۸۶۴	٪۱۰۰
هزینه واحد ساخت گوره (میلیارد ریال)	۴۸/۲۸	۴۸/۲۸	۰	---

جدول ۹- تحلیل حساسیت متغیر ارتفاع سد با مقدار اولیه ۵۰/۹۸ (متر)

متغیر ورودی	$(H_{Res})_{Low}$	$(H_{Res})_{High}$	واریانس خروجی	درصد اثر گذاری
زمان پیمایش موج سیل (ساعت)	۵۱/۵۴	۵۰/۴۲	۰/۱۱۵۲	٪۱۳/۳۸
ضرایب زبری	۵۰/۹۸	۵۰/۹۸	۰	---
هیدروگراف ورودی (مترمکعب بر ثانیه)	۴۹/۴۸	۵۲/۳۳	۰/۷۴۵۹	٪۸۶/۶۲
هزینه واحد ساخت گوره (میلیارد ریال)	۵۰/۹۸	۵۰/۹۸	۰	---

جدول ۱۰- تحلیل حساسیت متغیر ارتفاع گوره با مقدار اولیه ۲/۱۲ (متر)

متغیر ورودی	$(H)_{Low}$	$(H)_{High}$	واریانس خروجی	درصد اثر گذاری
زمان پیمایش موج سیل (ساعت)	۲/۱۲	۲/۱۲	۰	---
ضرایب زبری	۱/۸۲	۲/۴	۰/۰۳۱	۷۰/۱۴٪
هیدروگراف ورودی (مترمکعب برثانیه)	۱/۹۲	۲/۳۱	۰/۰۱۳۲	۲۹/۸۶٪
هزینه واحد ساخت گوره (میلیارد ریال)	۲/۱۲	۲/۱۲	۰	---

جدول ۱۱- تحلیل حساسیت متغیر عقب نشینی گوره با مقدار اولیه ۰ (متر)

متغیر ورودی	$(S)_{Low}$	$(S)_{High}$	واریانس خروجی	درصد اثر گذاری
زمان پیمایش موج سیل (ساعت)	۰	۰	۰	---
ضرایب زبری	۰	۰	۰	---
هیدروگراف ورودی (مترمکعب برثانیه)	۰	۰	۰	---
هزینه واحد ساخت گوره (میلیارد ریال)	۰	۰	۰	---

دبی هیدروگراف میان حوضه طراحی شده است و حوضه آبریز اصلی هیچ تاثیری بر طراحی گوره نداشته است.

- عدم در نظر گرفتن خسارت قابل انتظار سالانه اثر ترکیبی سد - گوره هر سیل طراحی یا سود ثانویه طبق جدول ۴، منجر به ایجاد خطای محرز در انتخاب سیل طرح می‌شود، به عنوان نمونه در مطالعه موردی صورت گرفته اگر جهت تعیین سود ثانویه صرفاً گزینه سد در نظر گرفته شود سیل طرح ۵۰ ساله خواهد بود، در حالی که با در نظر گرفتن سود ثانویه اثر ترکیبی سد - گوره سیل طرح ۱۰۰۰ ساله انتخاب می‌شود و در صورت عدم در نظر گرفتن سود ثانویه، سیل طرح ۱۰۰۰۰ ساله انتخاب می‌شود.

- بر خلاف اکثر مطالعات صورت گرفته در مورد گوره‌ها که در آنها گرایشی به در نظر گرفتن جزئیات مختلف نمی‌باشد، در توسعه مدل‌های این مطالعه سعی شده است که کلیه گزینه‌های مختلف و امکان پذیر مورد توجه قرار گیرند.

- پارامتر هیدروگراف ورودی بر تمامی متغیرهای خروجی اثر می‌گذارد.

- پارامتر ضرایب زبری صرفاً بر ارتفاع گوره اثر گذاری دارد.  
 - پارامتر زمان پیمایش موج سیل نسبت به پارامتر هیدروگراف ورودی بیشترین اثر را بر روی ارتفاع سرریز از خود نشان می‌دهد.  
 - متغیرهای ارتفاع سد و سرریز نسبت به دو پارامتر زمان پیمایش سیل و هیدروگراف ورودی حساس می‌باشند که بیشترین سهم را نیز هیدروگراف ورودی داراست.  
 - هزینه واحد ساخت گوره تنها پارامتری است که متغیرهای خروجی هیچگونه حساسیتی نسبت به آن از خود نشان نمی‌دهند.

ارتفاع سرریز ( $H_{Spill}$ ) به دو پارامتر زمان پیمایش موج سیل و هیدروگراف ورودی به ترتیب ۲۶/۲٪ و ۷۳/۸٪ حساسیت از خود نشان می‌دهد و دو پارامتر دیگر اثری بر آن نمی‌گذارند. ارتفاع مخزن ( $H_{Res}$ ) تنها نسبت به هیدروگراف ورودی حساسیت از خود نشان می‌دهد. ارتفاع سد به دو پارامتر زمان پیمایش موج سیل و هیدروگراف ورودی به ترتیب ۱۳/۳۸٪ و ۸۶/۶۲٪ حساسیت از خود نشان می‌دهد و دو پارامتر دیگر اثری بر آن نمی‌گذارند. ارتفاع گوره به دو پارامتر ضرایب زبری و هیدروگراف ورودی به ترتیب ۷۰/۱۴٪ و ۲۹/۸۶٪ حساسیت از خود نشان می‌دهد و دو پارامتر دیگر اثری بر آن نمی‌گذارند.

## ۵- نتیجه گیری

مهمترین نتایجی که از انجام این مطالعه حاصل گردیده عبارتند از:  
 - روش معمول مطالعه چنین سیستم‌هایی، روش شبیه سازی است که مبتنی بر تولید تعداد زیادی گزینه (با ابعاد کاملاً مشخص)، تحلیل و آنالیز آنها و نهایتاً انتخاب یک گزینه می‌باشد که با توجه به تعداد گزینه‌ها، زمان و هزینه زیادی را صرف خواهد نمود. در حالی که با تهیه مدل بهینه‌سازی مورد نظر مشخصات گزینه بهینه با زمان به مراتب کمتری مشخص می‌گردد.  
 - علاوه بر صحت رفتاری مدل در مرحله آزمون آن، در مطالعه موردی انجام شده، نتایج حاصله برای کلیه سیلاب‌ها با دوره بازگشت مختلف منطقی می‌باشند. چرا که به دلیل بالا بودن هزینه زمین در منطقه پتانسیل خطر، گوره صرفاً بر اساس حداکثر

- Olsen, J. R., Beling, P. A. and Lambert, J. H. (1998), "Input-output economic evaluation of system of levee", *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 124, No. 5, pp. 237-245.
- Shafiei, M., Bozorg Hadad, O. and Afshar, A. (2005), "GA in optimizing Ajichai flood levees encroachment", *Proceeding of the 6Th WSEAS*, Int. Conf. on Evolutionary computing, Portugal, pp. 392-399.
- Tung, Y. Y., and Mays, L. W. (1981), "Optimal risk-based design of flood levee systems", *Water Resources Research*, Vol. 17, No. 4, pp. 843-852.
- US Army Corps of Engineers (USACE) (2000), "Design and construction of levees", Engineering and Designs, EM 1110-2-1913, Washington Dc, USA.
- Wurbs, R. A. (1983), "Economic feasibility of flood control improvements", *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 109, No. 1, pp. 29-47.
- Zhu, T. (2004), "Climate change and water resources management: adaptations for flood control and water supply", PhD Dissertation, University of California, Davis, USA.
- متغیر ارتفاع مخزن تنها نسبت به پارامتر هیدروگراف ورودی از خود حساسیت نشان می‌دهد.
- ۶- مراجع**
- مهندسين مشاور آيفن (۱۳۸۳)، مطالعات مرحله اول سد تنگ سرخ شيراز، تهران.
- Chow, V. T., D. R. Maidment and L. W. Mays. (1988), "Applied Hydrology", McGraw-Hill Inc, New York.
- Davis, D. R., Kisiel, C. C. and Duckstein, L. (1972), "Bayesian decision theory applied to design in hydrology", *Water Resources Research*, Vol. 8, No. 1, pp. 33-41.
- Jaffe, D. A. and Sanders, B. F. (2001), "Engineered levee breaches for flood mitigation", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 127, No. 6, pp. 471-479.
- LINDO Systems Inc. (2008), "LINGO User's guide", LINDO Systems, Chicago.
- Loucks, D. P. and Van Beek, E. (2005), "Water resources system planning and management", UNESCO, Netherlands.