

## طرح بهینه خاکریزهای کنار رودخانه (گوره‌ها) به روش آنالیز ریسک (مطالعه موردی رودخانه خشک شیراز)

سعید علیمحمدی<sup>۱</sup>      نسرین رفیعی انزاب<sup>۲</sup>      ملیکا مرادی<sup>۳</sup>

(دریافت ۹۰/۴/۴)      آخرین اصلاحات دریافتی ۹۱/۱۰/۱۳      پذیرش ۹۱/۱۱/۲۸

### چکیده

در مقاله حاضر به بررسی یکی از روشهای سازه‌های کنترل سیل (گوره‌ها) پرداخته شد. به منظور تسریع بخشیدن در طراحی گوره‌ها، در این مقاله یک روش بهینه‌سازی پیشنهاد شد که می‌تواند جایگزین مناسبی برای روشهای معمول طراحی باشد. مزیت استفاده از روش بهینه‌سازی در این است که با یک بار حل مدل (یا چند بار به منظور تحلیل‌های تکمیلی) می‌توان به گزینه بهینه رسید و دیگر نیازی به بررسی گزینه‌های منفرد مختلف و متنوع نیست. به منظور بهینه‌سازی ابعاد گوره‌ها که شامل ارتفاع گوره و فاصله گوره از کرانه رودخانه است، از تحلیل سود-هزینه استفاده گردید. مدل بهینه‌سازی حاصل، یک مدل غیرخطی است که حل آن توسط نرم‌افزار لینگو ۱۲ صورت گرفت. در این تحقیق سیستم پیشنهادی کنترل سیلاب رودخانه خشک معالی‌آباد (تنگ سرخ) شیراز مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مطالعات انجام گرفته و در پی اجرای مدل، سیلاب با دوره بازگشت ۲۰ ساله دارای بیشترین سود خالص سالانه بوده و به‌عنوان سیل طراحی انتخاب شد. همچنین مقادیر به‌دست آمده برای ارتفاع گوره و فاصله آن از کرانه رودخانه به ترتیب برابر با ۱/۷ متر و ۶/۱ متر بود.

**واژه‌های کلیدی:** بهینه‌سازی، روشهای سازه‌ای، کنترل سیل، گوره

## Optimum Design of Levees by Risk Analysis Method (Case Study : Khoshk River of Shiraz)

S. Alimohammadi<sup>1</sup>      N. Rafiee Anzab<sup>2</sup>      M. Moradi<sup>3</sup>

(Received June 25, 2011    Revised Jan. 2, 2013    Accepted Feb. 16, 2013)

### Abstract

This paper has paid to review one of the structural flood control methods (levees). In order to speed up the design of levees, an optimization method has been proposed in this paper which can be a good alternative for the usual design methods. The advantage of using optimization method is that one can reach the optimal option by solving model for one time (or several times for further analysis) and there is no need to review various single options. Benefit-cost analysis has been used to optimize the dimensions of levee containing height of it and it's distance from the river bank. Obtained optimization model is a non-linear one that has been solved by LINGO 12 software. In this study, proposed system of flood control in dry Maali Abad river (TangeSorkh) of Shiraz has been studied. According to this studies and the execution of model, 20-year return period flood had the highest annual net benefit and was selected as the design flood. The obtained values for the height of levee and it's setback are respectively 1.7 and 6.1 meters.

**Keywords:** Optimization, Structural Methods, Flood Control, Levee.

1. Assist. Prof., Dept. of Water and Environmental Eng., Shahid Beheshti University, Tehran (Corresponding Author) (+98 21) 77312780  
s\_alimohammadi@sbu.ac.ir

2. B.S. of Civil Eng. (Operation of Dams and Network), University of Water and Power Tech., Tehran

3. M.Sc. Student of Hydraulic Structures, K. N. Toosi University of Tech., Tehran

۱- استادیار، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران  
(نویسنده مسئول) ۷۷۳۱۲۷۸۰ (۰۲۱) s\_alimohammadi@sbu.ac.ir  
۲- کارشناس مهندسی عمران (بهره‌برداری از سد و شبکه)، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، تهران  
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

شناخت نقاط آسیب‌پذیر و تحلیل اقتصادی روش‌های مختلف مهار سیلاب پرداخته است [۵]. گانولیس در سال ۱۹۹۵ در مقاله‌ای به بهینه‌یابی ابعاد گوره با تحلیل اقتصادی سود- هزینه با رویکرد آنالیز ریسک در حوضه رودخانه جیوفیروس<sup>۹</sup> در جزیره کرت<sup>۱۰</sup> پرداخته است [۶]. گلدمن در سال ۱۹۹۷ در مقاله‌ای به ارزیابی خسارت قابل انتظار سالانه<sup>۱۱</sup> بر روی گوره‌های رودخانه‌های آمریکا با دو رویکرد USACE و NRC پرداخته است [۷]. اولسن و همکاران در سال ۱۹۹۸ در مقاله‌ای با استفاده از مدل اقتصادی ورودی- خروجی لیانتف<sup>۱۲</sup> به بررسی طراحی گوره در مناطق کشاورزی، صنعتی و شهری با سیل طرح به ترتیب ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله با رویکرد آنالیز ریسک در حوضه رودخانه‌های می‌سی‌سی‌پی و میسوری پرداخته‌اند [۸]. اولسن و همکاران در سال ۲۰۰۰ مدل‌های دینامیکی مدیریت سیلاب را مورد بررسی قرار دادند [۹]. ژو در سال ۲۰۰۴ در قالب پایان‌نامه دکترا، بهینه‌یابی ارتفاع و عقب‌نشینی گوره را با تحلیل اقتصادی سود- هزینه در دو شرایط اقلیمی استاتیکی و دینامیکی بررسی نموده است [۱۰]. پینگل و فورد در مقاله خود در سال ۲۰۰۴ به مطالعه روش‌های کاهش خسارات سیلاب پرداختند [۱۱]. لاکس و ون بیک در سال ۲۰۰۵ به بررسی انواع مدل‌های بهینه‌سازی، تحلیل حساسیت و آنالیز عدم قطعیت مدل‌ها، تحلیل اقتصادی برای تعیین حجم بهینه سیلاب در مخزن و شبیه‌سازی سیستم ترکیبی سد-گوره پرداخته‌اند [۱۲]. شفیی و همکاران در سال ۲۰۰۵ به بهینه‌یابی ارتفاع و عقب‌نشینی گوره با تحلیل اقتصادی سود- هزینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداخته‌اند [۱۳]. میز در سال ۲۰۰۵ در کتاب مهندسی منابع آب، به توضیح روش‌های کاهش خسارات سیل و نحوه تعیین خسارات سیل با رویکرد USACE، همچنین به بهینه‌سازی حجم کنترل سیل مخازن پرداخته است [۱۴]. ژو و همکاران در سال ۲۰۰۷ در مقاله‌ای به بهینه‌یابی ارتفاع و عقب‌نشینی گوره با تحلیل اقتصادی سود- هزینه با رویکرد آنالیز ریسک در شرایط دینامیکی تغییر اقلیم و کاربری اراضی حفاظت شده در حوضه رودخانه سکرمنتو<sup>۱۳</sup> در پایین دست سد فلسم<sup>۱۴</sup> پرداخته‌اند [۱۵]. پینگل و واکنیز در سال ۲۰۱۰ در مقاله‌ای به محاسبه خسارت قابل انتظار سالانه برای منابع چندگانه سیلاب پرداخته‌اند [۱۶].

مطالعاتی با رویکرد اقتصادی سود- هزینه در طراحی گوره توسط دیویس و همکاران در سال ۱۹۷۲، میز و تانگ در سال

مهار سیلاب یکی از ضروریات مهم پروژه‌های بزرگ توسعه منابع آب بوده و اساسی‌ترین هدف آن کاهش خسارت‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از وقوع احتمالی سیل به میزان منطقی است. اقدامات جامع مدیریت مهار سیلاب و جلوگیری از زیان‌های سیل شامل دو دسته اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای (مدیریتی) است. اقدامات سازه‌ای شامل مهار سیلاب با استفاده از مخازن ذخیره‌ای و تأخیری، محدودسازی سیلاب با احداث گوره (خاکریز)<sup>۱</sup> و سیل‌بند<sup>۲</sup>، انحراف سیلاب و همچنین ساماندهی مسیل<sup>۳</sup> می‌باشند که عموماً برای کاهش بده اوج سیل یا جلوگیری از سیل‌گیری انجام می‌گیرد. روش‌های غیرسازه‌ای یا مدیریتی که در اصل فاقد فعالیت‌های ساختمانی بزرگ بوده، حساسیت به سیلاب و اثر آن را کاهش می‌دهند. این روش‌ها اثرات زیست‌محیطی کمتری دارند [۱].

آنچه که در این مقاله به آن پرداخته می‌شود، یکی از اقدامات سازه‌ای معمول مهار سیلاب یعنی احداث گوره‌ها بود. از دیرباز استفاده از گوره‌ها به‌عنوان یکی از راه‌های مهار سیلاب در سرتاسر ایران رواج داشته‌اند اما به جز بعضی از گوره‌هایی که در سال‌های اخیر طراحی و ساخته شده‌اند، سایر آن‌ها غالباً فاقد شرایط مناسبی هستند [۲]. به‌منظور تسریع بخشیدن به طراحی گوره‌ها، روش ارائه شده در این مقاله (بهینه‌سازی)<sup>۴</sup> می‌تواند جایگزینی برای روش‌های معمول شبیه‌سازی باشد.

بهینه‌یابی انجام شده در این مقاله بر اساس تحلیل "سود - هزینه"<sup>۵</sup> صورت گرفت. در مطالعه مورد بررسی سود عبارت است از جلوگیری یا کاهش خسارت سیلاب در ناحیه پتانسیل خسارت و هزینه عبارت است از مجموع هزینه‌های اجرایی و بهره‌برداری گوره [۳]. این مدل بهینه‌سازی، یک مدل غیرخطی بوده و حل آن توسط نرم افزار لینگو<sup>۶</sup> ۱۲، ضمن تعیین ابعاد بهینه مؤلفه‌های سیستم در هر سیل طراحی از قبیل: ارتفاع گوره و فاصله گوره<sup>۷</sup> از کرانه رودخانه، سیل طرح<sup>۸</sup> را نیز نتیجه می‌دهد.

میز و تانگ در سال ۱۹۹۲ به انواع روش‌ها و مدل‌های بهینه‌سازی اشاره کرده و به بررسی تأثیر روش‌های مختلف سازه‌ای کنترل سیل و کاهش خسارات آن پرداخته‌اند [۴]. لینزلی در سال ۱۹۹۲ در کتاب مهندسی منابع آب، به برآورد خسارات سیل،

<sup>1</sup> Embankment

<sup>2</sup> Flood Wall

<sup>3</sup> Floodway Training

<sup>4</sup> Optimization

<sup>5</sup> Benefit - Cost

<sup>6</sup> Lingo (Lindo system inc./ 2009)

<sup>7</sup> Setback

<sup>8</sup> Design Flood

<sup>9</sup> Giofyros

<sup>10</sup> Crete

<sup>11</sup> Expected Annual Damage (EAD)

<sup>12</sup> Leontief Economic Input-Output Model

<sup>13</sup> Sacramento

<sup>14</sup> Folsom

آبریز بالادست و حوضه آبریز میانی استفاده می‌شود. ایجاد یک مدل بهینه‌سازی با لحاظ نمودن تمامی جزئیات و ضوابط حاکم بر سیستم واقعی تقریباً غیرممکن است. بنابراین به منظور فرمول‌بندی سیستم، ساده‌سازی‌هایی در روابط صورت می‌گیرد. به هر حال بسته به هدف مطالعه، نباید این ساده‌سازی‌ها در حدی باشد که باعث کاهش توانایی مدل گردیده و نتایج نادرستی ارائه دهد.

به این ترتیب هر مدلی که ارائه می‌گردد مبتنی بر یک سری فرضیات است که باید در ابتدای تهیه مدل مورد توجه قرار گرفته و مدل بر اساس آن‌ها فرمول‌بندی گردد. مهم‌ترین فرضیاتی که در ارائه مدل بهینه‌سازی این مقاله مورد استفاده قرار گرفتند، به شرح زیر است:

در صورت انجام طرح کنترل سیلاب با سیل طراحی T سال هیچگونه خسارتی از سیلاب‌های کمتر از دوره بازگشت T سال (با احتمال  $\frac{1}{T}$ )، به منطقه پتانسیل خطر وارد نمی‌شود. روندیابی رودخانه از روش ماسکینگام انجام گرفت. مدل قادر به دریافت n بازه جهت روندیابی در رودخانه است (فاصله ابتدای حوضه تا محل احداث گوره). شرایط مقطع آبگذری به صورت استاتیک در نظر گرفته شد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، مقطع آبگذری امن منطقه پتانسیل خطر به صورت یک مقطع دوزنقه‌ای معادل در مدل وارد می‌شود که در ادامه در مورد شکل و پارامترهای آن توضیحات بیشتری ارائه خواهد شد. مدل تنها قادر به دریافت یک مقطع در کل منطقه پتانسیل خطر می‌باشد. در شرایطی این فرض قابل قبول است که تغییرات قابل توجهی در عرض رودخانه در کل منطقه پتانسیل خطر رخ ندهد. طراحی گوره و میزان عقب‌نشینی آن بر اساس حداکثر دبی سیل هیدروگراف سیل طراحی که در ابتدای منطقه پتانسیل خطر تعیین می‌شود، صورت گرفت. برای محاسبه جریان عبوری از مقاطع از فرمول مانینگ استفاده شد. از نشست رودخانه به آبهای زیرزمینی صرف نظر گردید.

### ۳- فرمول‌بندی مدل

شکل ۲ هندسه مقطع تیپ رودخانه و گوره را در منطقه پتانسیل خطر به همراه پارامترهای مربوطه نشان می‌دهد. اگرچه این شکل فرم ساده شده‌ای از مقطع واقعی است اما در مقایسه با مطالعات پیشین دقت به مراتب بیشتری دارد. 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.

۱۹۸۱، وریز در سال ۱۹۸۳ و جف و سندرز در سال ۲۰۰۱، ژو و لاند در سال ۲۰۰۹ صورت گرفته است [۱۷-۲۱].

داننده مهر در سال ۱۳۸۳ به توضیح و تبیین روشهای کاهش خسارات سیل، نحوه تعیین خسارات سیل با رویکرد USACE و اصول ابتدایی بهینه‌سازی پرداخته است. اما در مطالعه موردی بر روی حوضه رودخانه آجی چای عبوری از شهر تبریز به جای بهینه‌سازی از شبیه‌سازی روش ترکیبی سد-ساماندهی رودخانه به منظور طرح کنترل سیلاب منطقه مورد مطالعه استفاده شده است [۲۲].

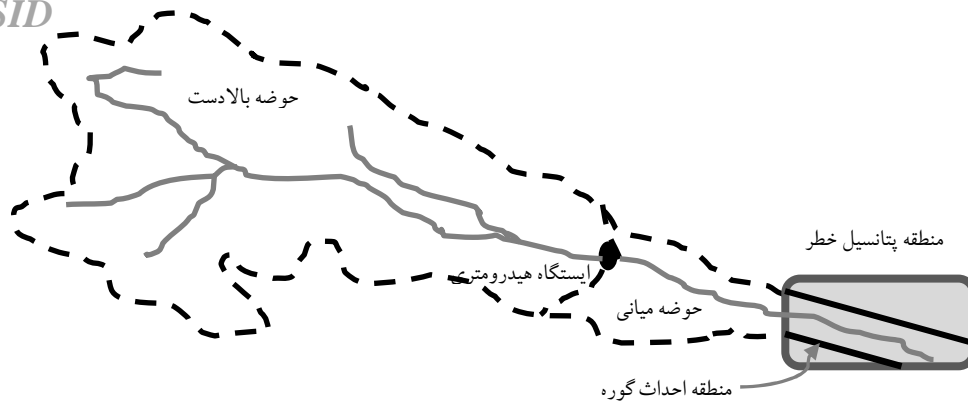
سرابندی در سال ۱۳۸۷ به شناخت مبانی، ابزار و ملزومات یک طرح کنترل سیلاب، روشهای کاهش خسارات سیل و نحوه تحلیل اقتصادی طرح‌های کنترل سیلاب پرداخته است. در یک مطالعه موردی نیز که بر روی رودخانه خشک معالی‌آباد شیراز انجام گرفته است، به استفاده از مدل بهینه ترکیبی سد-گوره برای اجرای طرح کنترل سیلاب در منطقه پتانسیل خطر با تحلیل اقتصادی سود-هزینه پرداخته شده است [۳].

در این مقاله با بررسی مطالعات انجام شده قبلی، به توسعه مدلی با جزئیات بیشتر و دقت مناسب اقدام گردید.

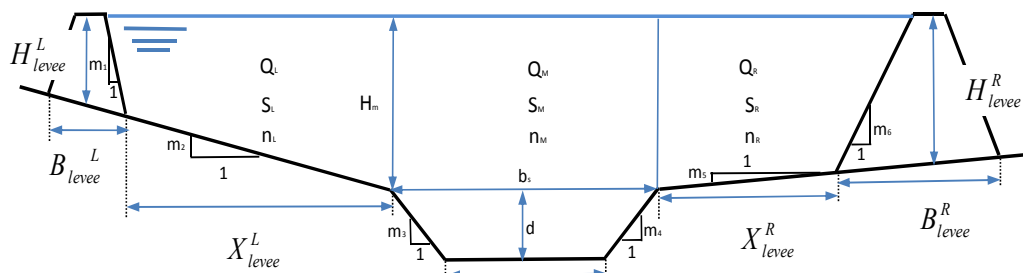
### ۲- مبانی نظری

از آنجایی که مهار کامل سیلاب منطقی و مقرون به صرفه نیست، بنابراین تنها می‌توان با مدیریت آن، خسارات را حداقل نمود. روشهای مختلفی را که به این منظور به کار گرفته می‌شوند، می‌توان در چهار دسته طبقه‌بندی کرد: تلاش در جهت کاهش سیلاب، تلاش در جهت کاهش آسیب‌پذیری در مقابل سیلاب، تلاش در جهت کاهش خسارات و ایجاد آمادگی برای تحمل خسارات [۲۳]. اولین دسته روشهای سازه‌ای نامیده شده و سه دسته دیگر در گوره روشهای غیرسازه‌ای قرار دارند. اما روشهای سازه‌ای از جمله رویکردهای مرسوم برای کاهش خسارات سیلاب بوده و گوره که در این جا به آن پرداخته شده، بند خاکی کوتاهی است که در فواصل مختلف از کناره دو طرف رودخانه و در امتداد آن ساخته می‌شود تا به عنوان کناره‌های مصنوعی، در دوره‌های سیلابی که آب رودخانه از کناره‌های طبیعی خود بیرون می‌رود، زمین‌های اطراف رودخانه را از آب‌گرفتگی محافظت نماید [۲۴].

شکل ۱ شمایی از سیستم مورد نظر در این مطالعه را با اجزای آن نمایش می‌دهد. چنانچه در این شکل ملاحظه می‌شود اجزای اصلی سیستم عبارت‌اند از: گوره، منطقه پتانسیل خسارت، حوضه آبریز بالادست، حوضه میانی، رودخانه و ایستگاه هیدرومتری که برای به دست آوردن هیدروگراف‌های سیلاب ورودی به ابتدای منطقه پتانسیل خسارت، از مجموع هیدروگراف‌های سیلاب حوضه



شکل ۱- شمایی از سیستم مورد مطالعه [۲۵]



شکل ۲- مقطع آبگذری در منطقه پتانسیل خسارت

تفاضل آن با EAD اولیه، سود حاصل از اجرای طرح کنترل سیلاب برای هر یک از دوره‌های بازگشت تعیین می‌شود.

### ۱-۳- تابع هدف

تابع هدف مدل بهینه‌سازی ابعاد گوره، حداکثرسازی سود خالص سالانه<sup>۳</sup> (Max ANB) حاصل از اجرای سازه گوره در منطقه پتانسیل خطر می‌باشد و با توجه به آن سیل طراحی انتخاب می‌گردد.

$$\text{MAX ANB} = \text{ABEN} - \text{ACOST} \quad (1)$$

که در این رابطه

ANB سود خالص سالانه، ABEN سود سالانه و ACOST هزینه سالانه است.

### ۲-۳- محدودیت‌ها

#### ۱-۲-۳- محدودیت‌های مربوط به اجزای تابع هدف

همان‌طور که در رابطه ۱ مشاهده می‌شود، سود خالص سالانه از تفاضل سود سالانه با هزینه سالانه به شرح زیر به دست می‌آید [۲۶]

همان‌طور که ذکر شد، در ابتدا به منظور به دست آوردن هیدروگراف سیل ورودی به ابتدای منطقه پتانسیل خطر، باید کلیه هیدروگراف‌های سیلاب حوضه آبریز اصلی از ابتدای حوضه تا ایستگاه هیدرومتری روندیابی شوند. سپس این سیلاب‌های روندیابی شده با هیدروگراف‌های سیلاب با دوره بازگشت‌های یکسان از حوضه آبریز میانی جمع می‌شوند تا هیدروگراف‌های سیلاب کل در ابتدای منطقه پتانسیل خطر مشخص گردند. سپس بر اساس نمودارهای احتمال-دبی<sup>۱</sup>، دبی-اشل و اشل-خسارت<sup>۲</sup> در منطقه پتانسیل خطر، منحنی خسارت-احتمال تعیین می‌شود که سطح زیر این نمودار، خسارت قابل انتظار سالانه سیل در شرایط بدون انجام طرح (EAD اولیه) را مشخص می‌نماید.

برای به دست آوردن خسارت قابل انتظار سالانه ناشی از سیل در شرایط انجام طرح (EADwith) نیز در این مقاله فرض شد که در صورت انجام طرح کنترل سیلاب با سیل طراحی T ساله هیچ‌گونه خسارتی از سیلاب‌های کمتر از دوره بازگشت T سال (با احتمال  $\frac{1}{T}$ ) به منطقه پتانسیل خطر وارد نمی‌شود. به این صورت می‌توان EADwith را در شرایط انجام طرح نیز به دست آورد که از

<sup>1</sup> Probability - Discharge

<sup>2</sup> Stage - Damage

<sup>3</sup> Annual Net Benefit (ANB)

$$AOMR = \beta \times Clevee \quad (15)$$

$$(16)$$

$$CR_{levee} = \sum_{j=K}^n Clevee \times [F(Q_{j+1,max}^{Pda}) - F(Q_{j,max}^{Pda})]$$

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

که در روابط بالا

$i$  نرخ بهره،  $n$  عمر مفید طرح کنترل سیلاب به سال،  $C_{levee}^R$  و  $C_{levee}^L$  به ترتیب هزینه احداث گوره در ساحل چپ و راست رودخانه،  $UPRC_{levee}$  هزینه واحد حجم ساخت گوره،  $L_{levee}$  طول منطقه پتانسیل خطر،  $C_{Set}^R$  و  $C_{Set}^L$  هزینه تملک اراضی بین گوره و رودخانه به ترتیب در ساحل چپ و راست،  $C_{LB}^R$  و  $C_{LB}^L$  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،  $X_{levee}^R$  و  $X_{levee}^L$  به ترتیب فاصله پای گوره تا لب رودخانه در ساحل چپ و راست رودخانه،  $B_{Levee}^R$  و  $B_{Levee}^L$  به ترتیب اندازه قاعده گوره در سمت چپ و راست رودخانه،  $\beta$  ضریب هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری گوره (به صورت ضریبی از هزینه‌های اجرایی)،  $A_{Levee}^R$  و  $A_{Levee}^L$  مساحت سطح مقطع گوره به ترتیب در ساحل چپ و راست رودخانه می‌باشد که از روش زیر محاسبه می‌گردند:

$$A_{levee}^L = (B_{levee}^L - (H_{levee}^L / m_1)) \times H_{levee}^L \quad (17)$$

$$A_{levee}^R = (B_{levee}^R - (H_{levee}^R / m_6)) \times H_{levee}^R \quad (18)$$

که در آن

$H_{levee}^R$  و  $H_{levee}^L$  به ترتیب ارتفاع گوره در ساحل چپ و راست رودخانه،  $m_1$  و  $m_6$  به ترتیب شیب کناره‌های گوره در کرانه چپ و راست رودخانه می‌باشند. لازم به ذکر است که پارامترهای مربوط به هندسه رودخانه و گوره در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. برای محاسبه  $B_{Levee}$  نیز باید به ترتیب زیر عمل نمود:

$$B_{levee}^L = B_L + 2(H_{levee}^L / m_1) \quad (19)$$

$$B_{levee}^R = B_R + 2(H_{levee}^R / m_6) \quad (20)$$

که در آن

$$ABEN = EAD_{without} - EAD_{with} \quad (2)$$

$$EAD_{without} = \sum_{j=1}^n \left[ \frac{D(Q_{j,max}^{Pda,natural}) + D(Q_{j+1,max}^{Pda,natural})}{2} \right] \times [F(Q_{j+1,max}^{Pda,natural}) - F(Q_{j,max}^{Pda,natural})] \quad (3)$$

$$\text{for } Q_c = Q_{1,max}^{pda,natural} \leq Q_{2,max}^{pda,natural} \leq \dots \leq Q_{n,max}^{pda,natural} \leq \infty \quad (4)$$

$$EAD_{with} = \sum_{j=K}^n \left[ \frac{D(Q_{j,max}^{Pda}) + D(Q_{j+1,max}^{Pda})}{2} \right] \times [F(Q_{j+1,max}^{Pda}) - F(Q_{j,max}^{Pda})]$$

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

که در این روابط

$EAD_{without}$  خسارت مورد انتظار سالانه ناشی از سیل در شرایط طبیعی (بدون طرح)،  $EAD_{with}$  خسارت مورد انتظار سالانه ناشی از سیل پس از اجرای طرح کنترل سیلاب،  $D(Q_{j,max}^{pda,natural})$  خسارت ناشی از سیل با دوره برگشت  $j$  در منطقه پتانسیل خطر و  $F(Q_{j,max}^{pda,natural})$  احتمال عدم وقوع سیل با دوره برگشت  $j$  می‌باشد.  $(F = 1 - p = 1 - 1/T)$  حاصل می‌گردد:

$$COST = CRF \times (Clevee + LPRC + AOMR + CR_{Levee}) \quad (5)$$

که در آن

$CRF$  ضریب بازگشت سرمایه،  $Clevee$  هزینه احداث گوره،  $LPRC$  هزینه تملک اراضی مجاور رودخانه،  $AOMR$  هزینه بهره‌برداری و نگهداری گوره و  $CR_{Levee}$  هزینه احداث مجدد گوره بعد از تخریب است.

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

$$Clevee = C_{levee}^L + C_{levee}^R \quad (7)$$

$$C_{levee}^L = UPRC_{levee}^L \times A_{levee}^L \times L_{levee} \quad (8)$$

(9)

$$C_{levee}^R = UPRC_{levee}^R \times A_{levee}^R \times L_{levee}$$

$$LPRC = C_{set}^L + C_{set}^R + C_{LB}^L + C_{LB}^R \quad (10)$$

$$C_{set}^L = UPRC_{land}^L \times X_{levee}^L \times L_{levee} \quad (11)$$

$$C_{set}^R = UPRC_{land}^R \times X_{levee}^R \times L_{levee} \quad (12)$$

$$C_{LB}^L = UPRC_{land}^L \times B_{levee}^L \times L_{levee} \quad (13)$$

$$C_{LB}^R = UPRC_{land}^R \times B_{levee}^R \times L_{levee} \quad (14)$$

که در این روابط

$Q_{T,max}^{Pda}$  بیشینه دبی هیدروگراف ورودی به ابتدای منطقه پتانسیل خطر،  $Q_M, Q_R, Q_L$  به ترتیب دبی عبوری از سیلابدشت در سمت چپ و راست و دبی عبوری از رودخانه،  $S_M, S_R, S_L$  به ترتیب شیب طولی سیلابدشت در سمت چپ و راست و رودخانه،  $n_R, n_L, n_M$  به ترتیب ضریب مانینگ سیلابدشت در سمت چپ و راست و رودخانه،  $m_1$  و  $m_6$  به ترتیب شیب کناره‌های گوره در کرانه چپ و راست رودخانه،  $m_2$  و  $m_5$  به ترتیب شیب متوسط سیلابدشت در منطقه پتانسیل خطر در سمت چپ و راست رودخانه،  $m_3$  و  $m_4$  به ترتیب شیب کناره‌های رودخانه در سمت چپ و راست،  $b_0$  عرض کف رودخانه،  $b_S$  عرض فوقانی مقطع رودخانه،  $d$  عمق رودخانه،  $H_m$  فاصله لبه رودخانه تا بالای گوره می‌باشد.

#### ۴- 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 نهر اعظم 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 [۲۷]. موقعیت اتصال دو شاخه نهر اعظم و خشک معالی آباد و تشکیل رودخانه خشک شیراز در شکل ۳ به نمایش درآمده است. بر روی شاخه خشک معالی آباد قبل از اتصال به شاخه نهر اعظم، طرح کنترل سیلاب پیش‌بینی شده است، زیرا در این بازه از رودخانه به دلیل کم بودن ظرفیت آبگذری کانال، پتانسیل خسارت‌پذیری در برابر سیلاب‌ها نمود بیشتری دارد [۳]. موقعیت رودخانه خشک، منطقه پتانسیل خطر (محل پیشنهادی احداث گوره) و مسیر رودخانه در شکل ۴ به نمایش درآمده است.

$B_R$  و  $B_L$  به ترتیب اندازه عرض فوقانی گوره در سمت چپ و راست رودخانه می‌باشند.

#### ۳-۲- محدودیت‌های مربوط به هندسه رودخانه و گوره

در این مرحله با توجه به شکل ۲ به بررسی هندسه رودخانه و گوره پرداخته شد. طراحی گوره بر اساس حداکثر دبی هیدروگراف سیل طراحی  $T$  ساله، ورودی به منطقه پتانسیل خطر صورت می‌گیرد. بنابراین باید مجموع دبی عبوری از مقطع میانی و کرانه‌های چپ و راست را برابر با دبی پیک حاصل از روندیابی رودخانه قرار داد و رابطه بین آن‌ها را به صورت رابطه ۲۱ نوشت

$$Q_{T,max}^{Pda} = Q_L + Q_M + Q_R \quad (21)$$

روابط زیر نحوه مدل‌سازی طراحی گوره و میزان عقب‌نشینی آن در منطقه پتانسیل خطر را با توجه به شکل ۲ نشان می‌دهند.

$$(22)$$

$$Q_L = (S_L)^{\frac{1}{2}} \frac{\left( X_{levee}^L \times H_{levee}^L + \frac{1}{2} \times H_{levee}^L{}^2 \times (1/m_1) + \frac{1}{2} \times X_{levee}^L{}^2 \times m_2 \right)^{\frac{5}{3}}}{n_L \left( H_{levee}^L \sqrt{1 + (1/m_1)^2} + X_{levee}^L \sqrt{1 + m_2^2} \right)^{\frac{2}{3}}} \quad (23)$$

$$Q_M = (S_M)^{\frac{1}{2}} \frac{\left( \frac{b_0 + b_S}{2} \times d + H_m \times b_S \right)^{\frac{5}{3}}}{n_M \left( b_0 + d \times \left( \sqrt{1 + (1/m_3)^2} + \sqrt{1 + (1/m_4)^2} \right) + 2 \times H_m \right)^{\frac{2}{3}}} \quad (24)$$

$$Q_R = (S_R)^{\frac{1}{2}} \frac{\left( X_{levee}^R \times H_{levee}^R + \frac{1}{2} \times H_{levee}^R{}^2 \times (1/m_6) + \frac{1}{2} \times X_{levee}^R{}^2 \times m_5 \right)^{\frac{5}{3}}}{n_R \left( H_{levee}^R \sqrt{1 + (1/m_6)^2} + X_{levee}^R \sqrt{1 + m_5^2} \right)^{\frac{2}{3}}} \quad (25)$$

$$b_S = b_0 + d(1/m_3 + 1/m_4)$$

$$H_m = H_{levee}^L + x_{levee}^L / m_2 \quad (26)$$

$$\text{or } H_m = H_{levee}^R + x_{levee}^R / m_5$$



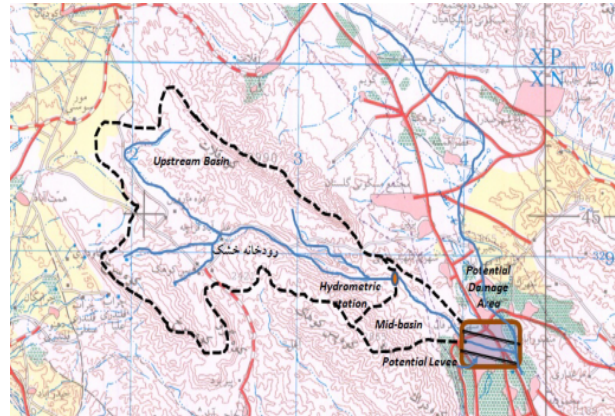
شکل ۳- موقعیت اتصال دو شاخه نهر اعظم و خشک معالی آباد و تشکیل رودخانه خشک شیراز [۳]

جدول ۱- دبی‌های پیک در ابتدای منطقه پتانسیل خطر

PMF	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲	T (year)
Qpeak(m <sup>3</sup> /s)	۷۸۲/۷	۵۰۷/۲	۴۰۰/۵	۳۶۶/۴	۳۲۶/۱	۲۹۳/۹	۱۹۸/۸	۱۶۷/۰	۱۴۴/۵	۱۲۰/۷	۸۳/۰



شکل ۵- دو بانده شدن بخشی از رودخانه خشک شیراز



شکل ۴- موقعیت رودخانه، منطقه پتانسیل خطر، حوضه آبریز اصلی، میان حوضه و ایستگاه هیدرومتری

مشخصات هندسی گوره و رودخانه و داده‌های ورودی هزینه‌های اجرایی است. به‌منظور محاسبه EADwithout نیاز به داده‌های دبی- اشل و اشل- خسارت است و در این زمینه لازم به‌ذکر است که پهنه‌بندی سیلاب در ناحیه پتانسیل خطر به ازای دبی‌های مختلف مطابق جدول ۲ توسط نرم‌افزار Hec-Ras انجام گردیده و بر اساس نتایج این کار خسارت‌ها برآورد شده‌اند.

جدول ۲- داده‌های دبی- اشل و اشل- خسارت

Q(m <sup>3</sup> /s)	H(m)	D
۱۰۱/۳	۱/۵۹	۲۹۶/۵۲۰
۱۴۷/۶	۱/۸۴	۴۰۹/۰۱۳
۱۷۶/۶	۱/۹۸	۴۷۳/۰۹۴
۲۰۴/۱	۲/۰۹	۵۳۳/۲۵۱
۲۴۳/۱	۲/۲۴	۶۱۵/۱۵۲
۳۶۰/۴	۲/۶۲	۸۳۷/۱۵۶
۳۹۹/۴	۲/۷۳	۹۰۵/۱۵۲
۴۴۸/۶	۲/۸۵	۹۸۸/۹۲۴
۴۹۰/۶	۲/۹۶	۱۰۵۹/۸۳۴
۶۲۰/۹	۳/۲۵	۱۲۶۴/۲۱۲
۹۹۱/۳	۳/۹۱	۱۷۶۹/۶۳۱

### ۵- محاسبه منحنی اشل- خسارت

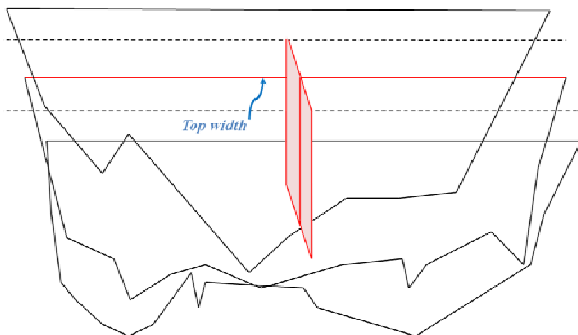
به‌منظور تعیین اعداد مربوط به منحنی اشل- خسارت، لازم است که ابتدا مقاطعی را برای محاسبه خسارت تعیین نموده و میزان خسارت را برای آن‌ها محاسبه کرد. لازم به‌ذکر است که در این‌جا فرض شده است تمامی اراضی مورد نظر برای تعیین خسارت دارای کاربری شهری می‌باشند. هر چند قسمتی از آن‌ها در حقیقت دارای

اما آنچه که در خصوص رودخانه خشک در حال حاضر حائز اهمیت است، تغییراتی است که در بستر آن به وجود آورده‌اند. در حال حاضر بخشی از رودخانه خشک شیراز دو بانده شده است تا از بستر آن برای تسهیل در ترافیک شهر به‌صورت مقطعی استفاده کنند. چند سال پیش شهرداری شیراز برای تسهیل در ترافیک این شهر طرحی را اجرا کرد که بر اساس آن در امتداد رودخانه خشک و در کنار بستر آن کنارگذرهای ایجاد می‌شد. این کنارگذرها که بعدها نیز بر طول آن اضافه شد از ابتدای بلوار چمران در بستر رودخانه شروع می‌شود و تا چندین کیلومتر به سمت جنوب شهر در امتداد رودخانه ادامه دارد.

کارشناسان محیط زیست همواره اعتقاد دارند که زمانی که عرصه‌ای از محیط زیست در دست راهسازی قرار گیرد ویژگی‌های اکولوژیکی منطقه نیز دستخوش تخریب خواهد شد و در آینده نیز به نظر می‌رسد اثرات منفی این پروژه بر روی رودخانه خشک شیراز مشهود و نمایان شود. اقداماتی که در رودخانه خشک انجام می‌شود باید با در نظرگیری فصل پاییز و زمستان و احتمال بارندگی‌های شیراز صورت گیرد. اگر در این فصلها بارندگی نرمال شیراز شروع شود، مشکلاتی ایجاد خواهد شد [۲۸]. شکل ۵ بخشی از رودخانه خشک شیراز را که دو بانده شده است نشان می‌دهد.

در جدولهای ۱ تا ۴ داده‌های ورودی مورد نیاز مدل ملاحظه می‌شود که شامل دبی‌های پیک در ابتدای منطقه پتانسیل خطر (همان‌گونه که در فرضیات اشاره شد)، داده‌های دبی- اشل و اشل- خسارت برای محاسبه خسارت قابل انتظار سالانه،





شکل ۶- تعیین سطح غرقاب شده اراضی

در ستون ششم این اعداد منهای یک شده‌اند، زیرا فرض شده است که تشکیلات و ساختمان‌ها تا ۱ متر در معرض آسیب نبوده و به این ترتیب ارتفاع در معرض خسارت بر حسب متر به دست آمده است. در ستون هفتم واحد این اعداد به فوت (ft) تبدیل شده و با توجه به این که کل ارزش اراضی در اثر غرقاب شدن از دست نمی‌رود، در ادامه لازم است که درصد خسارت ناشی از غرقاب شدن اراضی محاسبه شود. به این منظور اخیراً نشریه‌ای توسط US Army Corps به عنوان راهنما منتشر شده است، ولی با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات محلی، در این جا از گرافی که توسط کوری ارائه شده، استفاده گردید (شکل ۷). بنابراین با استفاده از رابطه ۲۷ که معادله منحنی موجود در شکل ۷ است، درصد خسارت به دست می‌آید. در ستون آخر نیز از حاصل ضرب ارزش اراضی در درصد خسارت آن‌ها میزان خسارت مقطع به ازای دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شد

$$P = 12.54 + 5.3d - 0.144d^2 \quad (27)$$

که در این رابطه

P درصد خسارت و d ارتفاع در معرض خسارت بر حسب ft است. همان‌طور که ذکر شد، جدول ۵ خسارت یکی از مقاطع را به ازای دبی‌های مختلف نشان می‌دهد. با تکرار این مراحل برای سایر مقاطع، در نهایت میانگین خسارت برای تمام مقاطع محاسبه گشته است که این خسارت برابر با اعداد موجود در جدول ۲ است.

## ۶- نتایج حاصل از اجرای مدل

### ۶-۱- خسارت سیلاب

با استفاده از داده‌های جدول ۲ و در پی اجرای مدل، خسارت مورد انتظار سالانه (EAD) در محدوده منطقه پتانسیل خسارت مطابق جدول ۶ حاصل می‌آید که در آن خسارت پیش‌بینی شده به ازای دوره بازگشت‌های مختلف و بر اساس رابطه ۳ ارائه شده است. لازم به ذکر است که در این جا تنها خسارت‌های محسوس ناشی از

جدول ۳- داده‌های ورودی هزینه‌های اجرایی

واحد	هزینه‌ها	
ریال	۱۶۰۰۰۰۰	$UPRC_{lev}^L$
ریال	۱۶۰۰۰۰۰	$UPRC_{lev}^R$
ریال	۱۰۰۰۰۰۰	$UPRC_{land}^L$
ریال	۱۰۰۰۰۰۰	$UPRC_{land}^R$
-	۰/۰۸	i
-	۵۰	n
-	۰/۳	$\beta$

جدول ۴- مشخصات هندسی گوره و رودخانه

واحد	مشخصات گوره	
m	۱۶	$b_0$
m	۱/۲۳	d
m	۲۱۰۰	$L_{levee}$
m	۲	$B_L$
m	۲	$B_R$
-	۰/۰۳۵	$N_L$
-	۰/۰۳۵	$N_R$
-	۰/۰۳۵	$N_M$
-	۰/۰۰۲	$S_L$
-	۰/۰۰۲	$S_R$
-	۰/۰۰۲	$S_M$
-	۲	$m_1$
-	۰/۰۵	$m_2$
-	۱/۵	$m_3$
-	۱/۵	$m_4$
-	۰/۰۵	$m_5$
-	۲	$m_6$

کاربری کشاورزی هستند، ولی به علت محدود بودن آن‌ها از این مقادیر چشم‌پوشی شده است. پس از تعیین مقاطع، فاصله بین خطوط آن‌ها اندازه‌گیری شد که این اندازه‌گیری در راستای مسیر رودخانه بود و در ادامه برای تعیین مساحت مقاطع به روش نصف مقطع عمل شد که نمونه‌ای از آن در شکل ۶ نشان داده شده است. مطابق این روش و همان‌گونه که در شکل ملاحظه می‌شود، لازم است تا نصف مجموع فاصله بین یک مقطع با مقطع قبل و بعد آن در عرض فوقانی<sup>۱</sup> مقطع میانی ضرب گردد. با محاسبه مساحت مقاطع و با فرض ارزش فعلی واحد سطح اراضی به میزان ۵۰ میلیون ریال، ارزش دارایی به دست می‌آید.

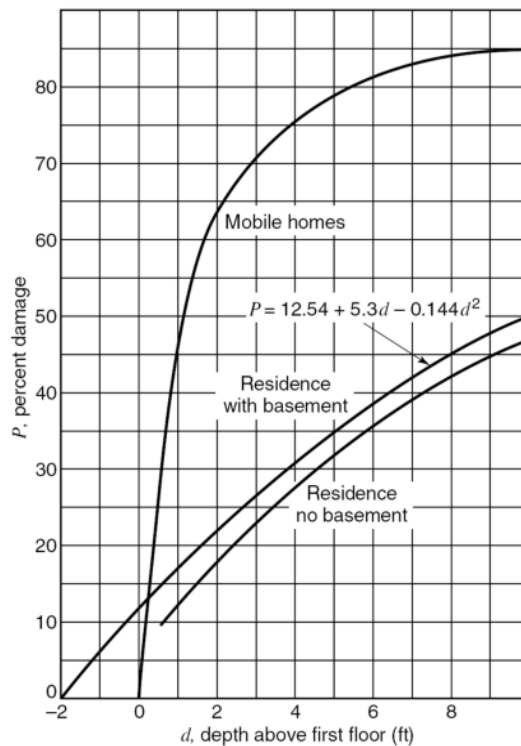
جدول ۵ خسارت به دست آمده برای یکی از مقاطع را نشان می‌دهد. ستون اول از این جدول مقادیر دبی‌های موجود را نشان داده و در ستون دوم نیز مقادیر عرض فوقانی مقاطع به تصویر کشیده شده است. دو ستون بعد نیز مقادیر مساحت و ارزش دارایی‌ها را که در بالا توضیح داده شد، نشان می‌دهند. ستون پنجم از این جدول اختلاف ترازهای موجود از تراز مبنا را نشان داده و

<sup>۱</sup> Top Width



جدول ۵- محاسبه خسارت مقطع به ازای دبی های مختلف

مختصات	P	H_above	H_above	H(water)	ارزش دارایی	A	Top width	Q
(میلیارد ریال)	%	(ft)	(m)	(m)	(میلیارد ریال)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m <sup>3</sup> /s)
2.3E+02	۱۵/۹۶	۰/۶۶	۰/۲	۱/۲	1.4E+03	۲۸۷۲۵/۴	۶۹/۰۱	۱۰۱/۳۱
3.2E+02	۱۹/۰۹	۱/۲۸	۰/۳۹	۱/۳۹	1.7E+03	۳۳۳۶۶/۶	۸۰/۱۶	۱۴۷/۶۲
3.7E+02	۲۰/۶۹	۱/۶۱	۰/۴۹	۱/۴۹	1.8E+03	۳۵۸۹۳/۲	۸۶/۲۳	۱۷۶/۵۶
4.2E+02	۲۲/۱۰	۱/۹۰	۰/۵۸	۱/۵۸	1.9E+03	۳۷۹۷۸/۷	۹۱/۲۴	۲۰۴/۰۶
4.9E+02	۲۳/۹۵	۲/۳۰	۰/۷	۱/۷	2.0E+03	۴۰۷۷۵/۹	۹۷/۹۶	۲۴۳/۱۳
6.8E+02	۲۸/۲۴	۳/۲۵	۰/۹۹	۱/۹۹	2.4E+03	۴۷۸۴۳/۸	۱۱۴/۹۴	۳۶۰/۳۶
7.3E+02	۲۹/۳۷	۳/۵۱	۱/۰۷	۲/۰۷	2.5E+03	۴۹۶۷۵/۳	۱۱۹/۳۴	۳۹۹/۴۳
8.0E+02	۳۰/۷۶	۳/۸۴	۱/۱۷	۲/۱۷	2.6E+03	۵۲۰۸۵/۴	۱۲۵/۱۳	۴۴۸/۶۴
8.6E+02	۳۱/۸۵	۴/۱۰	۱/۲۵	۲/۲۵	2.7E+03	۵۳۹۸۳/۵	۱۲۹/۶۹	۴۹۰/۶۱
1.0E+03	۳۴/۷۵	۴/۸۲	۱/۴۷	۲/۴۷	3.0E+03	۵۹۲۹۴/۸	۱۴۲/۴۵	۶۲۰/۸۵
1.5E+03	۴۱/۰۰	۶/۵۳	۱/۹۹	۲/۹۹	3.6E+03	۷۱۹۴۴/۷	۱۷۲/۸۴	۹۹۱/۳۴



شکل ۷- منحنی های درصد خسارت، مناطق مسکونی [۲۹]

خسارت های مربوط به هر دبی ورودی بر حسب میلیارد ریال می باشد که مجدداً از طریق درون یابی از اعداد جدول ۲ حاصل گشته اند. در این خصوص لازم به ذکر است که از آن جا که خسارت های موجود در جدول ۲ به ازای ارزش فعلی اراضی محاسبه شده اند، بنابراین به منظور تبدیل این اعداد به صورت ارزش سالانه از ضریب بازگشت سرمایه استفاده شده است. اعداد ستون پنجم نشانگر مقدار خسارت های سالانه می باشد که از ضرب اعداد

سیل نظیر خسارت وارد بر یک منزل مسکونی در اثر غرقاب شدن آن تا یک تراز مشخص یا غرقاب شدن یک مزرعه و از بین رفتن محصولات آن در نظر گرفته شده اند. در جدول ۶ ستون اول نشانگر دوره های بازگشت بوده و در ستون دوم دبی های پیک مربوط به هر دوره بازگشت در ابتدای منطقه پتانسیل خطر نشان داده شده است. ستون سوم از این جدول مختص اعداد اشل درون یابی شده از جدول ۲ که مربوط به دبی های پیک است، می باشد. اعداد ستون ۴

منطقه پتانسیل خطر، ارتفاع گوره در دو طرف یکسان خواهد بود. سیل طراحی برای دوره بازگشتی انتخاب می شود که دارای بیشترین سود خالص سالانه (ANB) باشد و همان طور که در جدول ۸ نیز نشان داده شده است، مقدار این سود برای دوره بازگشت ۲۰ سال بیشینه بوده و این دوره بازگشت به عنوان سیل طراحی بهینه انتخاب می گردد.

### ۳-۶- تحلیل حساسیت نتایج

تحلیل حساسیت نتایج، بر اساس نتایج حاصل از اجرای مدل برای دوره بازگشت ۲۰ سال (سیل طراحی) انجام شد. در شکلهای ۸ تا ۱۲ درصد تغییرات پارامترهای مختلف به ازای تغییر قیمت واحد زمین نشان داده شده است. محور قائم نمودارهای این شکلها نمایانگر درصد تغییرات پارامترها بوده، و از آنجایی که قیمت واحد زمین در کرانه چپ ثابت می باشد، محور افقی این نمودارها قیمت واحد زمین در منطقه پتانسیل خطر را به صورت لگاریتمی و برای کرانه راست نشان می دهد. با دقت در شکل ۸ که مربوط به دبی های سه مقطع چپ، راست و وسط می باشد، می توان دریافت که با افزایش قیمت زمین در سمت راست، میزان تغییرات دبی در سمت چپ افزایش یافته و این مقدار در سمت راست کاهش می یابد. علت این امر آن است که از آنجا که هدف مدل

ستون چهارم در ضریب بازگشت سرمایه حاصل شده اند. ستون ششم خسارت میانگین را نشان داده و در ستون هفتم نیز مقدار احتمال عدم وقوع سیل محاسبه شده است. سپس از تفاضل اعداد این ستون، اعداد موجود در ستون هشتم حاصل می شوند. در نهایت در صورتی که اعداد ستون ششم و هشتم در هم ضرب گردیده و مجموع آن ها محاسبه شود، خسارت مورد انتظار سالانه در شرایط بدون طرح و بر اساس رابطه ۳ به دست می آید.

در صورت اجرای طرح (گوره) نیز به منظور محاسبه خسارت مورد انتظار سالانه مشابه مراحل ذکر شده برای EADwithout عمل می شود، با این تفاوت که مجموع اعداد ستون هفتم از جدول ۶ فقط به ازای دوره بازگشت های بزرگ تر از سیل طراحی محاسبه می گردد. نتایج حاصل برای تمامی دوره بازگشت ها در جدول ۷ نشان داده شده است.

### ۲-۶- بهینه سازی ابعاد گوره

نتایج حاصل از اجرای مدل برای به دست آوردن ابعاد بهینه گوره برای سری سیلاب های طراحی با دوره بازگشت های مختلف، در جدول ۸ ارائه شده است. با توجه به پارامترهای مشخص شده در جدولهای ۳ و ۴، به دلیل یکسان بودن شیب دو طرف رودخانه و در نظر گرفتن ارزش یکسان زمین های کرانه چپ و راست رودخانه در

جدول ۶- محاسبه خسارت مورد انتظار سالانه برای دوره بازگشت های مختلف (بدون طرح)

نتایج حاصل از محاسبه EAD								
T	Q(m <sup>3</sup> /s)	Hp	Damage	ADamage	Dave	F=1-(1/T)	ΔF	ΔF*Dave
۲	۸۳/۰	۱/۳	۲۴۲/۸۱۹	۱۹/۸۴۹	۲۳/۹۷۳	۰/۵	۰/۳	۷/۱۹۲
۵	۱۲۰/۷	۱/۷	۳۴۳/۷۳۳	۲۸/۰۹۸	۳۰/۴۵۱	۰/۸	۰/۱	۳/۰۴۵
۱۰	۱۴۴/۵	۱/۸	۴۰۱/۳۱۹	۳۲/۸۰۵	۳۴/۸۷۳	۰/۹	۰/۰۵	۱/۷۴۴
۲۰	۱۶۷/۰	۱/۹	۴۵۱/۹۲۷	۳۶/۹۴۲	۳۹/۷۹۴	۰/۹۵	۰/۰۳	۱/۱۹۴
۵۰	۱۹۸/۸	۲/۱	۵۲۱/۷۱۸	۴۲/۶۴۷	۵۰/۳۹۴	۰/۹۸	۰/۰۱	۰/۵۰۴
۱۰۰	۲۹۳/۹	۲/۴	۷۱۱/۲۶۴	۵۸/۱۴۱	۶۰/۶۳۷	۰/۹۹	۰/۰۰۵	۰/۳۰۳
۲۰۰	۳۲۶/۱	۲/۵	۷۷۲/۳۴۲	۶۳/۱۳۳	۶۶/۲۱۳	۰/۹۹۵	۰/۰۰۳	۰/۱۹۹
۵۰۰	۳۶۶/۴	۲/۶	۸۴۷/۶۹۸	۶۹/۲۹۳	۷۱/۷۱۸	۰/۹۹۸	۰/۰۰۱	۰/۰۷۲
۱۰۰۰	۴۰۰/۵	۲/۷	۹۰۷/۰۲۷	۷۴/۱۴۳	۸۱/۴۵۲	۰/۹۹۹	۰/۰۰۰۹	۰/۰۷۳
۱۰۰۰۰	۵۰۷/۲	۳/۰	۱۰۸۵/۸۵۸	۸۸/۷۶۱	۱۰۵/۰۷۳	۰/۹۹۹۹	1E-04	۰/۰۱۱
PMF	۷۸۲/۷	۳/۵	۱۴۸۴/۹۵۵	۱۲۱/۳۸۴	۰	۱	۰	۰

EADwithout =  
14.336

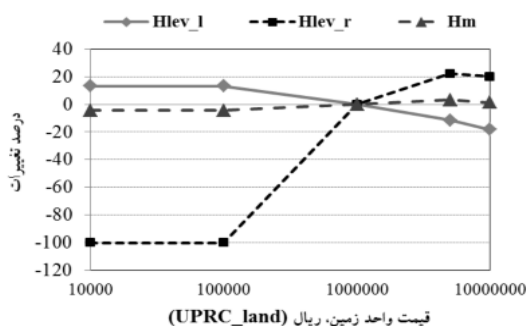
جدول ۷- خسارت مورد انتظار سالانه برای دوره بازگشت های مختلف (اجرای طرح) بر حسب میلیارد ریال

PMF	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲	T
EADwith	۰	۰	۰/۰۱۱	۰/۰۸۴	۰/۱۵۶	۰/۳۵۴	۰/۶۵۷	۱/۱۶۱	۲/۳۵۵	۴/۰۹۹	۷/۱۴۴

جدول ۸- نتایج حاصل از اجرای مدل و تعیین سیل طراحی

مقایسه نتایج دوره بازگشت های مختلف											واحد	
PMF	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲	year	T
۷۸۲/۷	۵۰۷/۲	۴۰۰/۵	۳۶۶/۴	۳۲۶/۱	۲۹۳/۹	۱۹۸/۸	۱۶۷/۰	۱۴۴/۵	۱۲۰/۷	۸۳/۰	m <sup>3</sup> /s	QPEAK
۲۵۶/۸	۱۴۳/۱	۱۰۱/۲	۸۸/۲	۷۳/۲	۶۱/۶	۲۹/۱	۱۹/۵	۱۳/۵	۷/۹	۰/۲	m <sup>3</sup> /s	QL
۲۵۷/۱	۱۴۳/۳	۱۰۱/۴	۸۸/۴	۷۳/۴	۶۱/۷	۲۹/۲	۱۹/۶	۱۳/۵	۷/۹	۰/۲	m <sup>3</sup> /s	QR
۲۶۸/۸	۲۲۰/۸	۱۹۷/۹	۱۸۹/۸	۱۷۹/۵	۱۷۰/۷	۱۴۰/۵	۱۲۷/۹	۱۱۷/۵	۱۰۵/۰	۸۲/۶	m <sup>3</sup> /s	QM
۴/۷	۴/۴	۴/۳	۴/۲	۴/۱	۴/۰	۳/۸	۳/۷	۳/۶	۳/۴	۳/۲	m	BlevL
۴/۷	۴/۴	۴/۳	۴/۲	۴/۱	۴/۰	۳/۸	۳/۷	۳/۶	۳/۴	۳/۲	m	BlevR
۹/۲	۷/۸	۷/۰	۶/۸	۶/۵	۶/۲	۵/۲	۴/۷	۴/۳	۳/۸	۳/۱	m <sup>2</sup>	AlevL
۹/۲	۷/۷	۷/۰	۶/۸	۶/۵	۶/۲	۵/۲	۴/۷	۴/۳	۳/۸	۳/۱	m <sup>2</sup>	AlevR
۲/۷	۲/۴	۲/۳	۲/۲	۲/۱	۲/۰	۱/۸	۱/۷	۱/۶	۱/۴	۱/۲	m	HlevL
۲/۷	۲/۴	۲/۳	۲/۲	۲/۱	۲/۰	۱/۸	۱/۷	۱/۶	۱/۴	۱/۲	m	HlevR
۲۷/۱	۱۹/۷	۱۶/۳	۱۵/۱	۱۳/۶	۱۲/۳	۷/۸	۶/۱	۴/۸	۳/۵	۰	m	X <sub>L</sub>
۲۷/۱	۱۹/۸	۱۶/۳	۱۵/۱	۱۳/۶	۱۲/۳	۷/۸	۶/۱	۴/۹	۳/۵	۰	m	X <sub>R</sub>
۱۷/۶	۱۷/۶	۱۷/۶	۱۷/۶	۱۷/۶	۱۷/۶	۱۷/۶	۱۷/۶	۱۷/۶	۱۷/۶	۱۷/۶	m	bs
۴/۱	۳/۴	۳/۱	۲/۹	۲/۸	۲/۷	۲/۲	۲/۰	۱/۸	۱/۶	۱/۲	m	Hm
۳۰/۸۳۹	۲۶/۰۴۰	۲۳/۶۶۴	۲۲/۸۰۳	۲۱/۶۹۲	۲۰/۷۰۹	۱۷/۴۱۱	۱۵/۸۷۹	۱۴/۵۲۶	۱۲/۸۰۱	۱۰/۲۵۱	میلیارد ریال	Clev <sub>L</sub>
۳۰/۸۲۳	۲۶/۰۲۶	۲۳/۶۵۱	۲۲/۷۹۰	۲۱/۶۸۰	۲۰/۶۹۷	۱۷/۴۰۱	۱۵/۸۷۰	۱۴/۵۱۷	۱۲/۷۹۲	۱۰/۲۵۱	میلیارد ریال	Clev <sub>R</sub>
۵۶/۸۹۵	۴۱/۴۵۸	۳۴/۱۹۷	۳۱/۶۴۷	۲۸/۴۷۱	۲۵/۷۸۲	۱۶/۳۴۹	۱۲/۷۸۹	۱۰/۱۷۱	۷/۲۹۶	۰	میلیارد ریال	Cset <sub>L</sub>
۵۶/۹۳۸	۴۱/۴۹۸	۳۴/۲۳۶	۳۱/۶۸۶	۲۸/۵۰۸	۲۵/۸۱۹	۱۶/۳۸۴	۱۲/۸۲۲	۱۰/۲۰۴	۷/۳۲۹	۰	میلیارد ریال	Cset <sub>R</sub>
۹/۹۲۹	۹/۲۷۳	۸/۹۳۱	۸/۸۰۳	۸/۶۳۶	۸/۴۸۵	۷/۹۵۹	۷/۷۰۲	۷/۴۶۸	۷/۱۵۸	۶/۶۷۴	میلیارد ریال	Cib <sub>L</sub>
۹/۹۲۷	۹/۲۷۱	۸/۹۲۹	۸/۸۰۱	۸/۶۳۴	۸/۴۸۳	۷/۹۵۷	۷/۷۰۰	۷/۴۶۶	۷/۱۵۷	۶/۶۷۴	میلیارد ریال	Cib <sub>R</sub>
۶۱/۶۶۲	۵۲/۰۶۶	۴۷/۳۱۵	۴۵/۵۹۳	۴۳/۳۷۲	۴۱/۴۰۶	۳۴/۸۱۲	۳۱/۷۴۹	۲۹/۰۴۳	۲۵/۵۹۳	۲۰/۵۰۱	میلیارد ریال	Clevee
۰	۰/۰۰۵	۰/۰۴۷	۰/۰۹۱	۰/۲۱۷	۰/۴۱۴	۰/۶۹۶	۱/۵۸۷	۲/۹۰۴	۵/۱۱۹	۱۰/۲۵۱	میلیارد ریال	CR <sub>levee</sub>
۱۸/۴۹۹	۱۵/۶۲۰	۱۴/۱۹۴	۱۳/۶۷۸	۱۳/۰۱۲	۱۲/۴۲۲	۱۰/۴۴۴	۹/۵۲۵	۸/۷۱۳	۷/۶۷۸	۶/۱۵۰	میلیارد ریال	AOMR
۱۳۳/۶۸۹	۱۰۱/۵۰۱	۸۶/۲۹۳	۸۰/۹۳۸	۷۴/۲۵۰	۶۸/۵۷۰	۶۸/۶۴۹	۴۱/۰۱۳	۳۵/۳۰۹	۲۸/۹۴۰	۱۳/۳۴۹	میلیارد ریال	LPRC
۱۷/۴۸۱	۱۳/۸۳۰	۱۲/۰۸۶	۱۱/۴۶۹	۱۰/۶۹۶	۱۰/۰۳۹	۷/۷۳۳	۶/۸۵۶	۶/۲۱۰	۵/۵۰۴	۴/۱۰۸	میلیارد ریال	ACOST
۱۴/۳۳۶	۱۴/۳۳۶	۱۴/۳۲۵	۱۴/۲۵۲	۱۴/۱۸۰	۱۳/۹۸۲	۱۳/۶۷۹	۱۳/۱۷۵	۱۱/۹۸۱	۱۰/۲۳۷	۷/۱۹۲	میلیارد ریال	ABEN
-۳/۱۴۵	۰/۵۰۶	۲/۲۴۰	۲/۷۸۴	۳/۴۸۴	۳/۹۴۳	۵/۹۴۶	۶/۳۱۸	۵/۷۷۱	۴/۷۳۳	۳/۰۸۴	میلیارد ریال	ANB

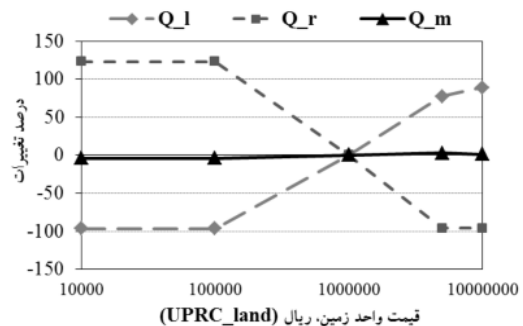
در کرانه راست کاهش پیدا می‌کند. به همین ترتیب می‌توان گفت که با افزایش قیمت زمین در سمت راست، اقتصادی تر آن است که مساحت بیشتری از زمین‌های سمت چپ که دارای قیمت کمتری هستند مورد استفاده قرار گیرند، بنابراین با افزایش مساحت



شکل ۹- درصد تغییرات ارتفاع به ازای قیمت‌های واحد مختلف

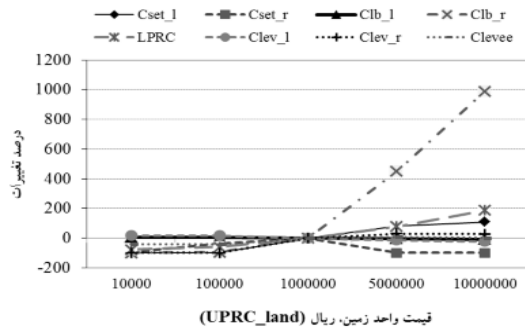
برای زمین

حداکثر کردن سود خالص سالانه و در نتیجه کاهش هزینه‌های سالانه می‌باشد، بنابراین افزایش قیمت زمین‌های بین‌گوره و رودخانه در سمت راست موجب می‌شود تا فاصله بین‌گوره تا رودخانه کاهش یابد. با کاهش این فاصله و با توجه به معادله ۲۴ که نشان می‌دهد این فاصله با مقدار دبی رابطه مستقیم دارد، میزان دبی

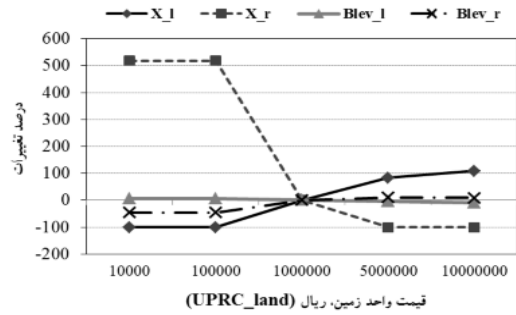


شکل ۸- درصد تغییرات جریان‌های عبوری به ازای قیمت‌های

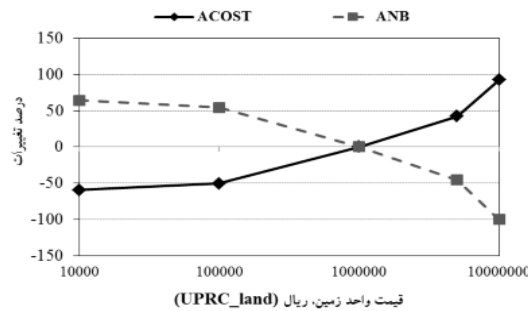
واحد مختلف برای زمین



شکل ۱۱- درصد تغییرات هزینه‌های اجرایی به ازای قیمت‌های واحد مختلف برای زمین



شکل ۱۰- درصد تغییرات قاعده گوره و عقب‌نشینی آن به ازای قیمت‌های واحد مختلف برای زمین



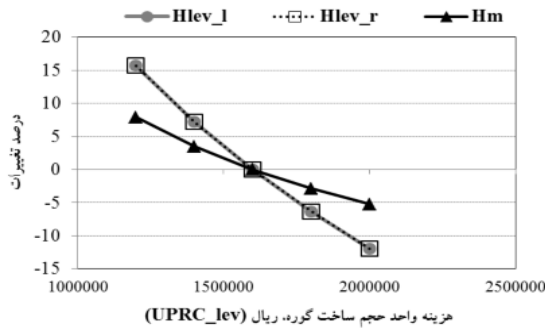
شکل ۱۲- درصد تغییرات سود و هزینه سالانه به ازای قیمت‌های واحد مختلف برای زمین

برای ساخت گوره متناسب با تغییرات اندازه قاعده گوره می‌باشد (شکل ۱۱). با توجه به افزایش هزینه تملک اراضی و همین‌طور هزینه ساخت گوره، همان‌طور که در شکل ۱۲ ملاحظه می‌شود، هزینه سالانه افزایش یافته و در نتیجه سود خالص سالانه کاهش می‌یابد.

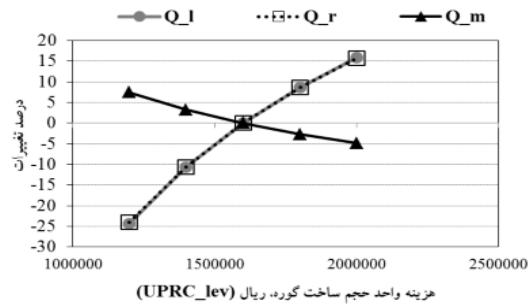
در شکل‌های ۱۳ تا ۱۷ درصد تغییرات متغیرهای مختلف به ازای تغییر هزینه واحد حجم ساخت گوره نشان داده شده است. محورهای عمودی همان‌طور که ذکر شد درصد تغییرات پارامترها را نشان داده و در محورهای افقی هزینه واحد حجم ساخت گوره (UPRC\_Levee) بر حسب ریال برای کرانه‌های چپ و راست نشان داده شده است. با دقت در شکل ۱۳ می‌توان دریافت که به علت تقارن موجود در داده‌ها، تغییرات دبی عبوری از سواحل چپ و راست رودخانه یکسان بوده و با افزایش هزینه واحد حجم ساخت گوره میزان این تغییرات در سمت چپ و راست افزایش می‌یابد. علت این امر آن است که افزایش این هزینه‌ها موجب کاهش قاعده گوره و در نتیجه ارتفاع آن شده و در نتیجه فاصله پای گوره تا رودخانه افزایش می‌یابد (شکل ۱۵). همین افزایش موجب افزایش دبی عبوری در کرانه‌های چپ و راست می‌گردد. با کاهش ارتفاع گوره و با توجه به رابطه  $H_m$  نیز کاهش یافته و در

زمین‌ها در این بخش میزان دبی نیز افزایش پیدا خواهد کرد. تغییر قیمت زمین در این نواحی به‌طور مستقیم تأثیری روی دبی مقطع رودخانه ندارد، ولی از آنجایی که این دبی متأثر از میزان دبی در کرانه‌های چپ و راست می‌باشد تغییرات ناچیزی در آن مشاهده می‌شود. طبق رابطه ۲۱ مجموع دبی در این سه قسمت برابر با مقدار ثابت دبی در ابتدای منطقه پتانسیل خطر است، بنابراین با تغییر میزان جریان در کرانه‌های راست و چپ، دبی بخش میانی نیز تغییر می‌نماید. نوسان مشاهده شده در این نمودار متناسب با تغییرات مجموع دبی در کرانه راست و چپ می‌باشد.

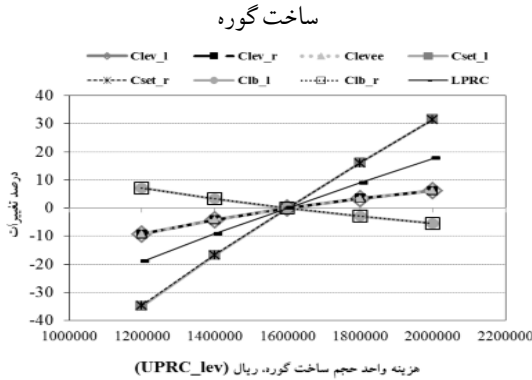
در شکل ۹ تغییرات ارتفاع گوره بر حسب ارزش زمین‌ها به تصویر کشیده شده است. واضح است که تغییرات ارتفاع گوره در سمت چپ و راست مخالف تغییرات فاصله بین گوره و رودخانه (Setback) می‌باشد که در توضیح شکل ۸ ذکر شد. زیرا هر چقدر گوره به رودخانه نزدیک‌تر شود، ارتفاع آن باید افزایش یابد تا از خسارت سیل جلوگیری به‌عمل آورد.  $H_m$  نیز طبق معادله ۲۶ متأثر از Setback و ارتفاع گوره است. با توجه به شکل ۱۰ و طبق معادلات ۱۹ و ۲۰، اندازه قاعده گوره در سمت راست و چپ نیز متناسب با تغییرات ارتفاع گوره می‌باشد. هزینه تملک اراضی بین گوره و رودخانه نیز متناسب با Setback بوده و هزینه تملک اراضی



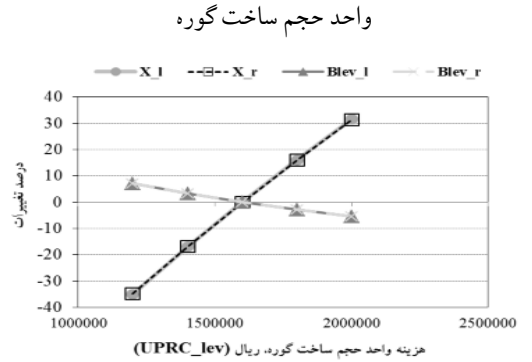
شکل ۱۳- درصد تغییرات جریان‌های عبوری به ازای تغییر هزینه واحد حجم



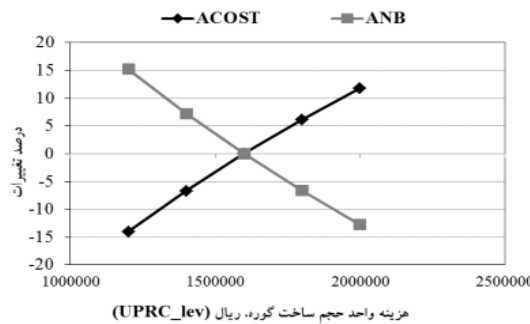
شکل ۱۴- درصد تغییرات جریان‌های عبوری به ازای تغییر هزینه واحد حجم ساخت گوره



شکل ۱۵- درصد تغییرات هزینه‌های اجرایی به ازای تغییر هزینه واحد حجم ساخت گوره



شکل ۱۶- درصد تغییرات قاعده گوره و عقب‌نشینی آن به ازای تغییر هزینه واحد حجم ساخت گوره

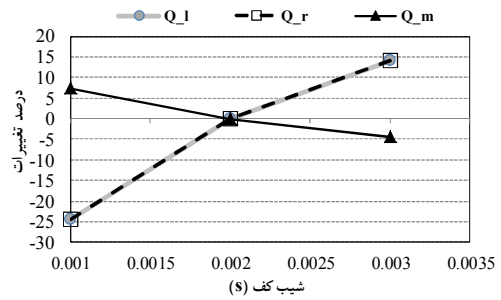
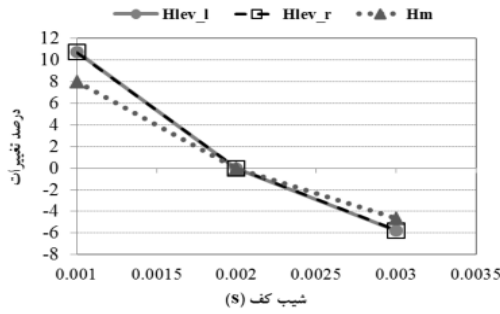


شکل ۱۷- درصد تغییرات سود و هزینه سالانه به ازای تغییر هزینه واحد حجم ساخت گوره

نتیجه دبی عبوری از مقطع رودخانه کاهش پیدا می‌کند. مسائل ذکر شده در خصوص کاهش ارتفاع گوره در کرانه‌ها و نیز کاهش ارتفاع آب در مقطع رودخانه در شکل ۱۴ نشان داده شده است. از آن جایی که حجم گوره در سواحل چپ و راست کاهش یافته و هزینه واحد حجم ساخت گوره افزایش می‌یابد، در نتیجه هزینه احداث گوره تابع تغییرات این دو پارامتر نسبت به هم بوده و در حال نوسان است. در صورتی که به دلیل افزایش فاصله پای گوره تا رودخانه، هزینه تملک اراضی بین گوره و رودخانه نیز با افزایش هزینه واحد حجم ساخت گوره زیادتر شده‌اند. همچنین با توجه به کاهش اندازه مقطع گوره، از میزان هزینه‌های تملک اراضی برای

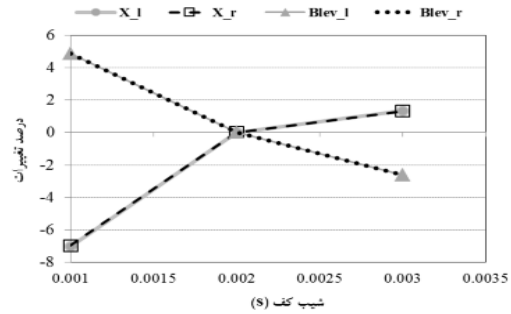
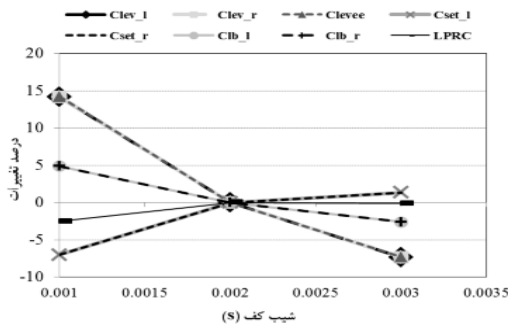
ساخت گوره کاسته شده است و این تغییرات در شکل ۱۶ هویدا است. افزایش هزینه واحد حجم ساخت گوره موجب افزایش هزینه سالانه شده و از سود خالص سالانه می‌کاهد که در شکل ۱۷ نشان داده شده است. یکی دیگر از متغیرهایی که در این جا به بررسی تغییرات آن پرداخته شد، شیب کف (S) است که نتایج آن در شکل‌های ۱۸ تا ۲۲ نشان داده شده است. با افزایش این پارامتر و طبق روابط ۲۲ و ۲۴ میزان دبی عبوری از کرانه‌های چپ و راست نیز افزایش می‌یابد زیرا این دو با هم رابطه مستقیم دارند. در نتیجه با توجه به ثابت بودن میزان کل دبی عبوری، میزان جریان در مقطع میانی رودخانه

ساخت گوره کاسته شده است و این تغییرات در شکل ۱۶ هویدا است. افزایش هزینه واحد حجم ساخت گوره موجب افزایش هزینه سالانه شده و از سود خالص سالانه می‌کاهد که در شکل ۱۷ نشان داده شده است. یکی دیگر از متغیرهایی که در این جا به بررسی تغییرات آن پرداخته شد، شیب کف (S) است که نتایج آن در شکل‌های ۱۸ تا ۲۲ نشان داده شده است. با افزایش این پارامتر و طبق روابط ۲۲ و ۲۴ میزان دبی عبوری از کرانه‌های چپ و راست نیز افزایش می‌یابد زیرا این دو با هم رابطه مستقیم دارند. در نتیجه با توجه به ثابت بودن میزان کل دبی عبوری، میزان جریان در مقطع میانی رودخانه



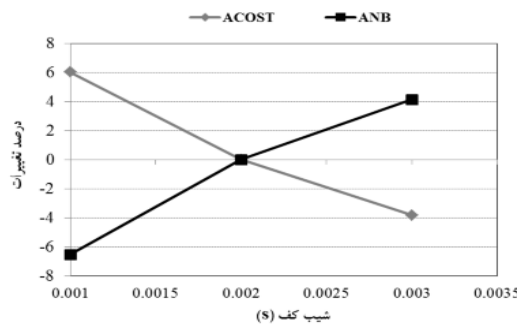
شکل ۱۸- درصد تغییرات جریان‌های عبوری به ازای تغییر شیب کف

شکل ۱۹- درصد تغییرات ارتفاع به ازای تغییر شیب کف



شکل ۲۰- درصد تغییرات هزینه‌های اجرایی به ازای تغییر شیب کف

شکل ۲۱- درصد تغییرات قاعده گوره و عقب‌نشینی آن به ازای تغییر شیب کف



شکل ۲۲- درصد تغییرات سود و هزینه سالانه به ازای تغییر شیب کف

اراضی بین گوره و رودخانه نیز بیشتر شده است. با کاهش ارتفاع گوره و طبق رابطه ۱۹ و ۲۰ اندازه قاعده گوره و در نتیجه سطح آن نیز کم می‌شود و این مسئله کاهش هزینه احداث گوره و تملک زمین‌های اشغال شده توسط گوره را در پی دارد. منحنی‌های شکل ۲۱ تغییرات این هزینه‌ها را نسبت به افزایش شیب کف نشان می‌دهد. با توجه به تغییرات ذکر شده در مورد هزینه‌های اجرایی، هزینه سالانه نیز کاهش یافته و سود خالص سالانه افزایش می‌یابد (شکل ۲۲).

کاهش پیدا می‌نماید که این تغییرات در شکل ۱۸ نشان داده شده‌اند. در رابطه با سایر شکلها نیز لازم به ذکر است که با توجه به کاهش این جریان و افزایش شیب طولی، فاصله لبه رودخانه تا بالای گوره ( $H_m$ ) نیز کاهش می‌یابد. شیب زمین‌های بین گوره و رودخانه ثابت است و به همین دلیل ارتفاع گوره در کرانه‌های چپ و راست کم می‌شود (شکل ۱۹). با کاهش ارتفاع گوره، فاصله بین پای گوره تا رودخانه نیز افزایش پیدا می‌کند زیرا این دو پارامتر با یکدیگر رابطه عکس دارند و این افزایش فاصله در شکل ۲۰ نشان داده شده است. با توجه به افزایش فاصله setback، هزینه تملک

سود بازگشت، مقدار عقب‌نشینی یا setback برابر با ۶/۱ و ارتفاع گوره

خالص سالانه در دوره بازگشت ۲۰ سال رخ می‌دهد و در این دوره ۱/۷ متر حاصل گردید.

۴- در پی تحلیل حساسیت مدل نتیجه می‌شود که تغییر هزینه واحد حجم ساخت گوره، تأثیر قابل توجهی روی ارتفاع گوره و setback آن داشته و درصد تغییراتی در حدود ۳۰ درصد را برای ارتفاع گوره و بیش از ۶۰ درصد را برای setback با خود به همراه دارد.

۵- تغییر قیمت واحد زمین بیشترین تأثیر را روی ارتفاع گوره و فاصله آن تا لبه رودخانه گذاشته و میزان این حساسیت بیش از ۱۰۰ درصد می‌باشد.

۶- با توجه به تحلیل حساسیت مطالعه موردی می‌توان گفت که متغیرهای ارتفاع گوره و setback کمترین میزان حساسیت را نسبت به تغییر شیب جانبی مقطع رودخانه، تغییر شیب کف و تغییر ضریب زبری مانینگ نشان می‌دهند.

۷- با توجه به بررسی‌های انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که سود خالص سالانه بیشترین حساسیت را نسبت به تغییر قیمت واحد زمین و همچنین تغییر هزینه واحد حجم ساخت گوره نشان می‌دهد.

۸- از تحلیل حساسیت مدل می‌توان دریافت که تغییر شیب جانبی گوره، شیب جانبی مقطع رودخانه، شیب کف و ضریب زبری مانینگ تأثیر قابل توجهی روی سود خالص سالانه ندارند.

واکنش متغیرهای مختلف نسبت به درصد تغییرات پارامترهای دیگر از جمله، تغییر شیب‌های جانبی گوره، تغییر شیب زمین‌های بین گوره و رودخانه، شیب جانبی مقطع رودخانه و همین‌طور ضریب زبری مانینگ بررسی گردیده است که برای آن‌ها نیز می‌توان تحلیل‌های مشابهی داشت.

## ۷- نتیجه‌گیری

برخی نتایج حاصل از این مطالعه به شرح زیر است:

۱- روش معمول مطالعه چنین سیستم‌هایی، روش شبیه‌سازی است که مبتنی بر تولید تعداد زیادی گزینه (با ابعاد کاملاً مشخص)، تحلیل و آنالیز آنها و نهایتاً انتخاب یک گزینه است 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 به راحتی تعیین می‌شود.

۲- در مطالعه صورت گرفته رودخانه به صورت ذوزنقه‌ای در نظر گرفته شده است که در دو طرف دارای شیب متفاوت بوده و فاصله گوره‌ها و هندسه آنها در دو طرف یکسان نیست. هیدرولیک رودخانه و سیلابدشت نیز در طرفین متفاوت است.

۳- با توجه به تابع هدف در نظر گرفته شده برای مدل، هزینه ساخت در دوره‌های بازگشت بالاتر بیشتر است، در صورتی که حداکثر

## ۸- مراجع

- 1- Ministry of Energy. (2007). *Design, construction and operation of flood diversion systems guide*, 315-A, Tehran. (In Persian)
- 2- Management and Planning Organization of Iran. (2001). *Guidance of river flood control (structural methods)*, Technical Affairs, Water Resources Management Organization of Iran, Tehran. (In Persian)
- 3- Sarabandi, A. (2008). "Optimum sizing of complex (dam - levee) flood control systems." M.A. Thesis, Water & Power University of Technology, Tehran. (In Persian)
- 4- Mays, L. W., and Tung, Y. Y. (1992). *Hydrosystems engineering and management*, McGraw-Hill, NY.
- 5- Linsley, R. K., Franzini, F., and Tchobanoglous, C. (1992). *Water resources engineering*, 4<sup>th</sup> Ed., McGraw-Hill, N. Y.
- 6- Ganoulis, J. (1995). "The 1994 flood of the Giofyros basin on the Crete island: A case study of risk-based floodplain management." *U.S.- Italy Research Workshop on the Hydrometeorology, Impacts, and Management of Extreme Floods*, Greece.
- 7- Goldman, D. (1997). "Estimating expected annual damage for levee retrofits." *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 123, 89-94.
- 8- Olsen, J. R., Beling, P. A., Lambert, J. H., and Haines, Y. Y. (1998). "Input-output economic evaluation of system of levees." *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 124 (5), 273-245.
- 9- Olsen, J. R., Beling, P. A., Lambert, J. H. (2000). "Dynamic models for floodplain management." *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 126 (3), 167-175.



- 10- Zhu, T. (2004). "Climate change and water resources management: Adaptations for flood control and water supply." Ph.D. Thesis, Davis, USA.
- 11- Pingel, N., and Ford, D. (2004). "Interior floodplain flood-damage reduction study." *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 130 (2), 123-130.
- 12- Loucks, D. P., and Van Beek, E. (2005). *Water resources system planning and management*, UNESCO, Netherlands.
- 13- Shafiei, M., and Bozorg Haddad, O., (2005). "Optimization of levee's setback by genetic algorithm." *Proceeding of 13th Multi-Disciplinary Iranian Researchers Conference*, Leeds, England.
- 14- Mays, L.W., (2005). *Water resources engineering*, John Wiley and Sons.
- 15- Zhu, T., Lund, J.R., Jenkins, M. W., Marques, G.F., and Ritzema, R.S. (2007). "Climate change, urbanization, and optimal long-term floodplain protection." *Water Resources Research*, 43 (6), DOI : 10. 1029/2004 WR 003516.
- 16- Pingel, N., and Watkins, D. (2010). "Multiple flood source expected annual damage computations." *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 136 (3), 319-326.
- 17- Davis, D. R., Kisiel, C. C., and Duckstein, L. (1972). "Bayesian decision theory applied to design in hydrology." *Water Resour. Res.*, 18(1), 33-41.
- 18- Tung, Y. Y., and Mays, L. W. (1981). "Optimal risk-based design of flood levee systems." *Water Resour. Res.*, 17 (4), 843-852.
- 19- Wurbs, R. A. (1983). "Economic feasibility of flood control improvements." *J. Water Resou. Plann. Manage.*, 109 (1), 29-47.
- 20- Jaffe, D. A., and Sanders, B. F. (2001). "Engineered levee breaches for flood mitigation." *J. Hydraulic Eng.*, 127 (6), 471-479.
- 21- Zhu, T., and Lund, J.R. (2009). "Up or Out?-economic-engineering theory of flood levee height and setback." *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 135 (2), 90-95.
- 22- Danande Mehr, A. (2004). "Measurement and assessment of damages caused by floods." M.Sc. Thesis, Water & Power University of Technology, Tehran. (In Persian)
- 23- Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. (2000). *Manual of nonstructural methods for flood management*, Scientific Reports, Iranian National Committee on Irrigation and Drainage & National Committee to Reduce the Effects of Natural Disasters, Tehran. (In Persian)
- 24- Management and Planning Organization of Iran. (2001). *Guidance of design, construction and maintenance of levees*, Technical Affairs, Management and Planning Organization of Iran, Tehran. (In Persian)
- 25- Alimohammadi, S., Majdzadeh Tabatabaie M., and Sarabandi, A. (2009). "Optimum sizing of complex (dam - levee) flood control systems." M.A. Thesis, Water & Power University of Technology, Tehran. (In Persian)
- 26- Chow, V. T., Maidment, D. R., and Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*, McGraw-Hill, New York, USA.
- 27- Abfan Consulting Engineers. (2004). *Studies of Tange Sorkh dam and water resources reports*, Design Report, Tehran. (In Persian)
- 28- <www.mehrnews.com> (May 2000)
- 29- U.S. Department of Transportation, (1980). *The design of encroachments of floodplain using risk analysis; Hydraulic engineering circular No.17*, Federal Highway Administration, Washington D.C.