

## اولویت‌بندی حوضه‌های آبخیز از نظر خطر بروز سیل براساس مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (تئوری سیستم‌های خاکستری - TOPSIS-ELECTRE)

پروین محمدی<sup>۱</sup>، آرش ملکیان<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۱۰/۱۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۲/۲۵)

### چکیده

در سال‌های اخیر پروژه‌های کنترل سیلاب در کشور گسترش زیادی داشته است. با توجه به هزینه اجرا، اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها اهمیت زیادی دارد و تصمیم‌گیری در خصوص سیلاب و مدیریت یکپارچه آبخیز را ضروری کرده است. اولین و مهم‌ترین قدم در انجام پروژه‌های مدیریت رواناب سیل، اولویت‌بندی مناطق لازم برای انجام پروژه‌های مهار سیلاب است. روش‌های تصمیم‌گیری ابزار مؤثری را برای برخورد با مسائلی فراهم می‌کنند که بیش از یک هدف دارند. در این تحقیق حوضه آبخیز پارچین بررسی و مطالعه شد. سپس با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (Grey-ELECTRE، TOPSIS) زیرحوضه‌ها اولویت‌بندی شدند. نتایج به‌دست‌آمده از روش تحلیل خاکستری مشخص و بر اساس آن امتیاز برای نه زیرحوضه بررسی شد. حوضه ۷ با بیشترین امتیاز (۰/۷۱۹۴۴۳) در اولویت اول، حوضه ۱ با (۰/۴۶۶۱۱۹) اولویت دوم و حوضه ۴ با کمترین مقدار امتیاز (۰/۳۳۱۴۹۳) در اولویت آخر قرار گرفت. در روش تاپسیس با استفاده از محاسبه نزدیکی به راه حل ایده‌آل مثبت و منفی رتبه‌بندی انجام شد. حوضه ۷ با بیشترین مقدار ضریب نزدیکی (۰/۸۴۳۷۲۱) در اولویت اول قرار گرفت. نتایج رتبه‌بندی نشان داد هر سه روش در اولویت اول یکسان ارزیابی شدند. در سایر اولویت‌ها سه روش نتایج متفاوتی ارائه دادند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده یادشده روش تاپسیس و تحلیل خاکستری بیشتر به هم شبیه بودند و نسبت به روش الکترو دقت بیشتری داشتند.

**کلیدواژگان:** آنتروپی شانون، تصمیم‌گیری چندمعیاره، Grey, ELECTRE, TOPSIS.



شکل ۱. مفهوم تئوری سیستم خاکستری [۷]

تحلیل سلسله‌مراتبی، ابزاری است که به‌طور گسترده در تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شد و نخستین بار توسط ساعتی مطرح شد [۸]. روش تاپسیس نیز از مفیدترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در بررسی مسائل جهان واقعی است که نخستین بار توسط هوآنگ و یون مطرح شد [۹]. تاوانا در تشریح گام‌های روش حل تاپسیس بیان می‌دارد که قدم اول یک ماتریس تصمیم‌گیری برای  $n$  گزینه و  $m$  معیار بنا می‌شود [۱۰]. منطق زیربنایی روش تاپسیس (روش منظم کردن ترجیحات با تشابه به راه حل ایده‌آل)، تعریف راه حل‌های ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی بوده است [۱۱] و مبنای آن بر این است که گزینه منتخب کوتاه‌ترین فاصله را تا راه حل ایده‌آل داشته باشد. راه حل ایده‌آل مثبت و منفی، راه حلی فرضی است که در آن همه ارزش‌های شاخص، به ترتیب مشابه ارزش‌های شاخص ماکزیمم و مینیمم در پایگاه داده باشد [۱۲]. مفهوم تاپسیس بیان‌کننده این مطلب است که ایده‌آل‌ترین گزینه فقط گزینه‌ای نیست که کوتاه‌ترین فاصله را از راه حل ایده‌آل مثبت دارد، بلکه بیشترین فاصله را از راه حل ایده‌آل منفی نیز داراست [۱۳].

روش الکر توسط بنایون<sup>۱</sup> مطرح و سپس توسط وان دلف<sup>۲</sup>، نیجکامپ<sup>۳</sup>، روی<sup>۴</sup> و سایر همکارانش گسترش داده شد. در روش الکر از مفهوم تسلط به‌صورت ضمنی استفاده می‌شود. در این روش، گزینه‌ها به‌صورت زوجی با یکدیگر مقایسه، گزینه‌های مسلط و ضعیف (یا غالب و مغلوب) شناسایی و سپس گزینه‌های ضعیف و مغلوب حذف می‌شوند [۱۴]. در این روش به‌جای رتبه‌بندی گزینه‌ها از مفهومی به نام غیررتبه‌ای استفاده می‌شود. بدین‌صورت که مثلاً  $A_k \rightarrow A_l$  بیان‌کننده آن است که اگر گزینه‌های  $k$  و  $l$  هیچ ارجحیتی از نظر ریاضی بر یکدیگر ندارند، اما تصمیم‌گیرنده ریسک

## مقدمه

محدودیت منابع آب و ثابت‌بودن مقدار کل آن، افزایش جمعیت و رشد روند صنعتی‌شدن شهرها و متعاقب آن روند روزافزون رشد تقاضا در زمینه‌های مختلف، مجموعه‌ای از عوامل مرتبط به هم به وجود می‌آورد که مسئله بحران آب در آینده‌ای نه‌چندان دور را در ذهن متبلور می‌سازد. بدین‌منظور مدیریت کارا و بهره‌برداری از امکانات موجود اهمیت ویژه‌ای دارد [۱]. از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌توان تخصیص خطی، روش اولویت‌بندی براساس تشابه به راه حل ایده‌آل، تئوری مطلوبیت چندمعیاره و تحلیل سلسله‌مراتبی را بیان کرد [۲]. تکنیک‌های یادشده در زمینه‌های گوناگونی مانند اقتصاد، مهندسی، کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست به‌کار گرفته شده‌اند [۳].

تئوری سیستم‌های خاکستری در اوایل دهه ۱۹۸۰ توسط دنگ معرفی شد [۴ و ۵]. سیستم‌های خاکستری برپایه رنگ موضوعات بررسی شده، نام‌گذاری شده است. به‌گونه‌ای که میزان روشن رنگ‌ها نشان‌دهنده میزان وضوح اطلاعات و داده‌ها است. بر این اساس سیستم‌هایی با اطلاعات کاملاً معلوم را سیستم سفید، سیستم‌هایی با اطلاعات ناشناخته و یا بدون داده را سیستم سیاه، و سیستم‌هایی که بخشی از اطلاعات آن معلوم و بخش دیگر ناشناخته است را سیستم خاکستری می‌نامند [۶]. اسم سیستم خاکستری براساس رنگ موضوعات بررسی شده نام‌گذاری شد. از بهترین این نمونه‌ها «جعبه سیاه» است. در اینجا کلمه سیاه بیان‌کننده ناشناخته‌بودن اطلاعات است. «سفید» برای اطلاعات کاملاً شناخته‌شده و «خاکستری» برای اطلاعاتی به‌کار می‌رود که قسمتی از آن معلوم و قسمتی نامعلوم است. بنابراین، اساس سیستم‌هایی با اطلاعات کاملاً معلوم را سیستم سفید، سیستم با اطلاعات ناشناخته را سیستم سیاه و سیستم با اطلاعات بخشی معلوم و بخشی نامعلوم را سیستم خاکستری نامیدند. لی و همکارانش [۷] با استفاده از شکل ۱ مفهوم تئوری سیستم خاکستری را نمایش داده‌اند.

1. Benayoun  
2. Van Delft  
3. Nijkamp  
4. Roy

هکتار در شمال شرق شهرستان پاکدشت در استان تهران واقع شده است. پارچین از شمال به پارک ملی سرخه‌حصار و دماوند و از جنوب به پاکدشت منتهی می‌شود. پارچین منطقه‌ای کوهستانی و نسبتاً برف‌گیر است و در پایین‌دست مناطق مسکونی و کارخانه‌ها قرار دارد. بیشترین ارتفاع منطقه ۲۰۵۶ متر و کمترین ارتفاع ۱۱۵۰ متر است. محدوده جغرافیایی منطقه مطالعه شده بین ۲۰.۲' و ۴۱' و ۵۱" تا ۲۶.۸' و ۴۷' و ۵۱" طول شرقی و ۴۳.۳' و ۲۹' و ۳۵" تا ۸.۵' و ۳۸' و ۳۵" است. نه زیرحوضه منطقه غرب پارچین براساس هشت معیار تأثیرگذار روی مدیریت حوضه آبخیز شامل محیط، شیب متوسط وزنی، ضریب شکل حوضه، زمان تمرکز، متوسط CN، تراکم آبراهه، بارندگی سالانه، ارتفاع متوسط وزنی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری اولویت‌بندی می‌شود (شکل ۲).

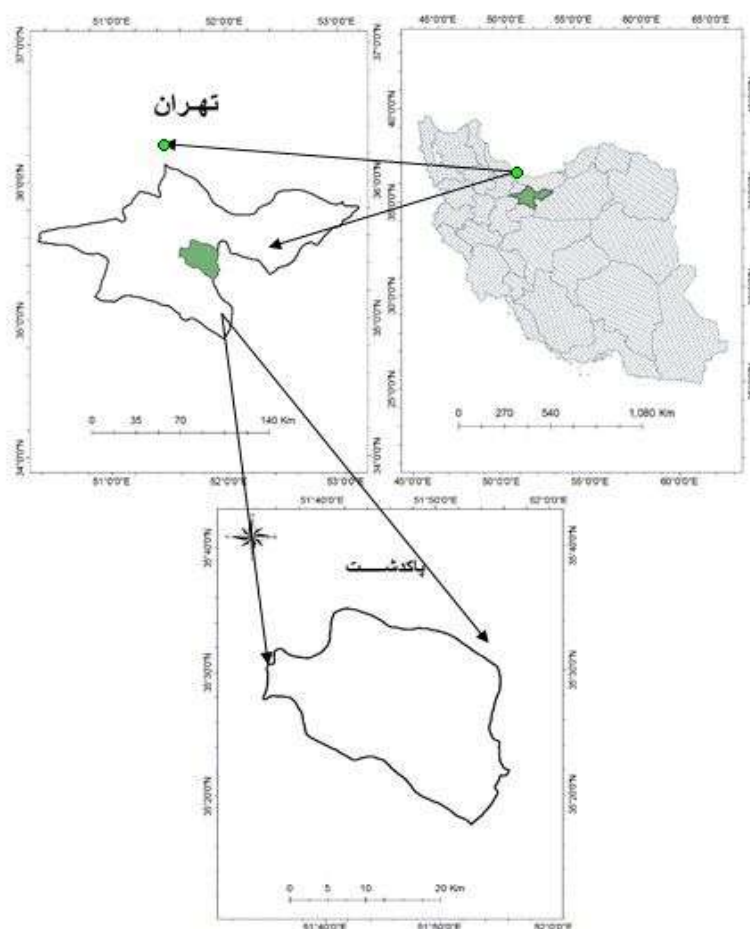
بهبودن  $A_k$  را بر  $A_l$  می‌پذیرد. در این روش کلیه گزینه‌ها با استفاده از مقایسات غیررتبه‌ای ارزیابی می‌شوند و از این راه گزینه‌های غیرمؤثر حذف می‌شوند. مقایسات زوجی براساس درجه توافقی از وزن‌ها و درجه اختلاف از مقادیر ارزیابی استوار است و هم‌زمان برای ارزیابی گزینه‌ها آزموده می‌شوند. اهمیت شاخص‌ها توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود [۱۵].

بنابراین، در پژوهش حاضر به‌منظور دستیابی به تصمیمات کارتر از ترکیب سه رویکرد تاپسیس، گری و الکتیر استفاده می‌شود که ضعف‌های هر یک با قوت‌های دیگری جبران می‌شود. با کاربرد تحلیل چندمعیاره به‌عنوان ابزاری مناسب در مدیریت سیلاب آبخیز پارچین بررسی و با استفاده از روش تحلیل چندمعیاره اولویت‌بندی شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعه شده

محدوده مطالعاتی غرب پارچین به مساحت ۴۸۴۴/۱۱



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه شده

## روش تحقیق

## روش تئوری خاکستری

تئوری خاکستری روشی بسیار مؤثر در مواجهه با مشکلات عدم اطمینان همراه با اطلاعات ناشناخته و ناکامل است. عموماً، اطلاعات مربوط به ترجیحات تصمیم‌گیرندگان درباره معیارها و به دلایل مختلف براساس قضاوت کیفی آنها، بیان می‌شود و همچنین در عمل نیز قضاوت تصمیم‌گیرندگان اغلب مطمئن نیست و به وسیله مقادیر

(۱)

	$X_1$	$X_2$	...	$X_n$
$A_1$	$X_{11}$	$X_{12}$	...	$X_{1n}$
$A_2$	$X_{21}$	$X_{22}$	...	$X_{2n}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$A_m$	$X_{m1}$	$X_{m2}$	...	$X_{mn}$

گام پنجم: رتبه رابطه خاکستری از رابطه ۶ استفاده می‌شود:

$$\Gamma_i = \sum_{j=1}^n \gamma(r_i - r_j) \quad (6)$$

## روش تاپسیس

در این روش تصمیم‌گیری تعدادی گزینه و تعدادی معیار برای تصمیم‌گیری وجود دارد که باید با توجه به معیارها، گزینه‌ها رتبه‌بندی شوند، و یا اینکه به هر یک از آنها یک نمره کارایی اختصاص داده شود. در این تکنیک گزینه انتخابی، باید کمترین فاصله را با راه حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد.

گام ۱: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری که این ماتریس شامل  $m$  گزینه در سطر ماتریس و  $n$  معیار در ستون ماتریس است. عنصر  $x_{ij}$  ماتریس، مقدار عددی برتری گزینه  $i$ -ام با توجه به معیار  $j$ -ام است.

گام ۲: نرمال‌سازی، بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری از رابطه زیر به دست می‌آید. در این رابطه،  $m$  تعداد گزینه‌ها،  $x_{ij}$  امتیاز کارایی  $i$ -امین گزینه بر حسب  $j$ -امین ضابطه است.

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (7)$$

گام دوم: نرمال‌سازی یا بی‌مقیاس‌کردن، نرمالیزه کردن سبب می‌شود عددهای خاکستری نرمالیزه شوند و در فاصله (۱ و ۰) قرار گیرند. اگر معیار مربوطه از نوع معیار سود (بیشتر-بهرتر) باشد، از رابطه ۲ استفاده می‌شود:

$$r_{ij} = \left[ \frac{x_{ij}}{x_{ij}}, \frac{\overline{x_{ij}}}{x_{ij}} \right] \quad (2)$$

$x_j^{\max} = \max_{1 \leq i \leq m} \{ \overline{x_{ij}} \}$   
اگر معیار مربوطه از نوع معیار زیان (کمتر-بهرتر) باشد، از رابطه ۳ استفاده می‌شود:

$$r_{ij} = \left[ \frac{x_j^{\min}}{x_{ij}}, \frac{x_j^{\min}}{x_{ij}} \right] \quad (3)$$

$x_j^{\min} = \min_{1 \leq i \leq m} \{ \underline{x_{ij}} \}$   
گام سوم: تعریف سری‌های هدف مرجع، به معنای انتخاب بهترین گزینه را می‌توان از طریق زیر محاسبه کرد:  
 $\Delta_{ij} = (r_i - r_j), i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$   
گام چهارم: تأثیر ضریب رابطه خاکستری از رابطه ۵ استفاده می‌شود:

$$\gamma(r_i - r_j) = \frac{\min_i \min_j \Delta_{ij} + \zeta \max_i \max_j \Delta_{ij}}{\Delta_{ij} + \zeta \max_i \max_j \Delta_{ij}} \quad (5)$$

می‌سازد، بنابراین باید به روشی آنها را مستقل از واحد اندازه‌گیری کرد تا بتوان عمل مقایسه را انجام داد.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum a_{ij}^2}} \quad (13)$$

$n_{ij}$  مقدار بی‌مقیاس گزینه  $i$  از شاخص  $j$  است.

گام سوم: وزن‌دهی به ماتریس نرمال‌شده با استفاده از آنتروپی شانون، روش یادشده بر این اصل استوار است که هر چه پراکندگی در مقادیر یک شاخص بیشتر باشد، آن شاخص اهمیت بیشتری دارد. بنابراین، برای محاسبه وزن‌های شاخص‌ها به صورت زیر عمل می‌کنیم ( $m$  تعداد گزینه‌هاست).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (14)$$

$$k = \frac{1}{\ln m} \quad (15)$$

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m (r_{ij} \ln r_{ij}) \quad (16)$$

$$d_j = 1 - E_j \quad (17)$$

$$w = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (18)$$

$E_j$  مقدار آنتروپی شاخص  $j$  را نشان می‌دهد.

$d_j$  مقدار اطمینان یا درجه انحراف را برای شاخص  $j$

بیان می‌کند.

$$r'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (19)$$

گام چهارم: تشکیل ماتریس هماهنگی، در این مرحله همه گزینه‌ها دوبه‌دو با هم مقایسه می‌شوند و سپس شاخص‌هایی که گزینه  $i$  را با  $j$  برتری دارد در مجموعه هماهنگی قرار می‌گیرد و بقیه را در مجموعه ناهماهنگی می‌نویسیم.

$$c_{ij} = \sum w_j \quad (20)$$

گام پنجم: تشکیل ماتریس ناهماهنگی، این ماتریس فاقد عناصر قطر اصلی است و عناصر دیگر از مجموع وزن‌های اعضای مجموعه هماهنگ تشکیل شده است.

$$d_{ij} = \frac{\max |V_j - V_j|}{\max |V_i - V_j|} \quad (21)$$

گام ششم: تشکیل ماتریس بولینی هماهنگی، این

ماتریس گزینه‌هایی که مطلوبیت آنها پایین‌تر از حد

گام ۳: تشکیل ماتریس نرمال‌سازی‌شده وزن‌دهی از رابطه زیر به دست می‌آید.  $w_j$  وزن معیار  $j$ -ام در بردار  $w$  است. به هر معیار باید وزنی داده شود.

$$WY = w_j y_{ij} \quad (8)$$

گام ۴: تعیین راه حل ایده‌آل مثبت ( $S_j^+$ ) و ایده‌آل منفی ( $S_j^-$ ) از رابطه زیر محاسبه می‌شوند.

$$S_j^+ = \max(w_j y_{ij}), S_j^- = \min(w_j y_{ij}) \quad (9)$$

$$i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$$

گام ۵: تعیین اندازه فاصله ایده‌آل مثبت و منفی گزینه‌ها، در این مرحله اندازه فاصله ایده‌آل هر یک از گزینه‌ها از  $S_j^-$  و  $S_j^+$  به صورت جداگانه محاسبه و در  $D_i^+$  و  $D_i^-$  درج می‌شود.

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (s_j^+ - w_j y_{ij})^2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (w_j y_{ij} - s_j^-)^2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

گام ۶: محاسبه نزدیکی به راه حل ایده‌آل مثبت و منفی و رتبه‌بندی گزینه‌ها، نزدیکی نسبی  $i$ -امین گزینه از راه حل ایده‌آل با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \quad (12)$$

### روش الکتور

این روش همانند دیگر مدل‌های تصمیم‌گیری برای انتخاب گزینه برتر بین چند گزینه کاربرد دارد. کارکرد این روش مشابه با مدل تاپسیس است و به دنبال اولویت‌بندی یا رتبه‌بندی گزینه‌ها از طریق معیارهای مختلف است. در روش الکتور هم باید وزن معیارها قبلاً از طریق روش‌های دیگر و سپس با داده‌های معیارها برای هر گزینه محاسبه شود.

گام اول: ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری، هرگاه دسته‌ای از اعداد یا متغیرها یا عبارات با آرایش سطری و ستونی در جدول مستطیل شکل قرار داده شود. آرایش به دست آمده یک ماتریس نامیده می‌شود. در این روش ماتریسی متشکل از گزینه‌ها و شاخص‌ها تشکیل می‌شود که معمولاً گزینه‌ها در سطر و شاخص‌ها در ستون آن قرار می‌گیرند.

گام دوم: نرمال‌سازی یا بی‌مقیاس‌سازی ماتریس، شاخص‌های کمی مقیاس اندازه‌گیری مخصوص به خود را دارند که این کار مقایسه آنها با همدیگر را غیرممکن

می‌شود. ماتریس تصمیم‌گیری به ابعاد  $m \times n$  که درایه‌هایی حقیقی و خاکستری دارد (جدول ۱)، با استفاده از رابطه ۱ تشکیل می‌شود. ماتریس تصمیمی که برای این منطقه در نظر گرفته شده شاخص‌هایی است که بتواند اعداد خاکستری و حقیقی را هم‌زمان مطالعه کند.

#### - امتیاز نهایی بر حسب رتبه رابطه خاکستری:

امتیاز رابطه تحلیل خاکستری بین هر گزینه و گزینه مرجع و از رابطه ۶ به دست می‌آید، امتیاز رابطه خاکستری در واقع بیان‌کننده شباهت میان هر یک از گزینه‌ها با گزینه ایده‌آل است. هر چه امتیاز رابطه خاکستری محاسبه شده برای هر یک از گزینه‌ها بیشتر باشد، آن گزینه ایده‌آل‌تر (برتر) است. نتایج در شکل ۳ نمایش داده شده است.

#### روش تاپسیس

- ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری: با توجه به تعداد حوضه‌ها (نه حوضه) و تعداد معیارها (هشت معیار) ماتریس تصمیم‌گیری را تشکیل داده، جدول ۲ و در هر ردیف آن مقادیر کمی مرتبط با معیارهای هر یک از حوضه‌ها درج می‌شود. در این ماتریس شاخصی که مطلوبیت مثبت دارد، شاخص سود و شاخصی که مطلوبیت منفی دارد، شاخص هزینه است.

مشخص است را به صفر و باقی را به یک تبدیل می‌کنیم. این حد آستانه از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\dot{C} = \frac{\sum c}{m*(m-1)} \quad \begin{matrix} C \geq \dot{C} & B=1 \\ C < \dot{C} & B=0 \end{matrix} \quad (22)$$

گام هفتم: تشکیل ماتریس بولینی ناهماهنگی، همان طور که گفته شد گزینه‌هایی که مطلوبیت آنها کمتر از حد مشخص است را به صفر و باقی را به یک تبدیل می‌کنیم. این حد آستانه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$d' = \frac{\sum d}{m*(m-1)} \quad \begin{matrix} d \geq d' & h=0 \\ d < d' & h=1 \end{matrix} \quad (23)$$

گام هشتم: تشکیل ماتریس چیرگی نهایی، ماتریس نهایی از ضرب ماتریس بولین B و ماتریس بولین H به دست می‌آید. ماتریس کلی Z نشان‌دهنده ترتیب ارجعیت نسبی از گزینه‌هاست.

$$Z = H * B \quad (24)$$

گام نهم: محاسبات چیرگی نهایی

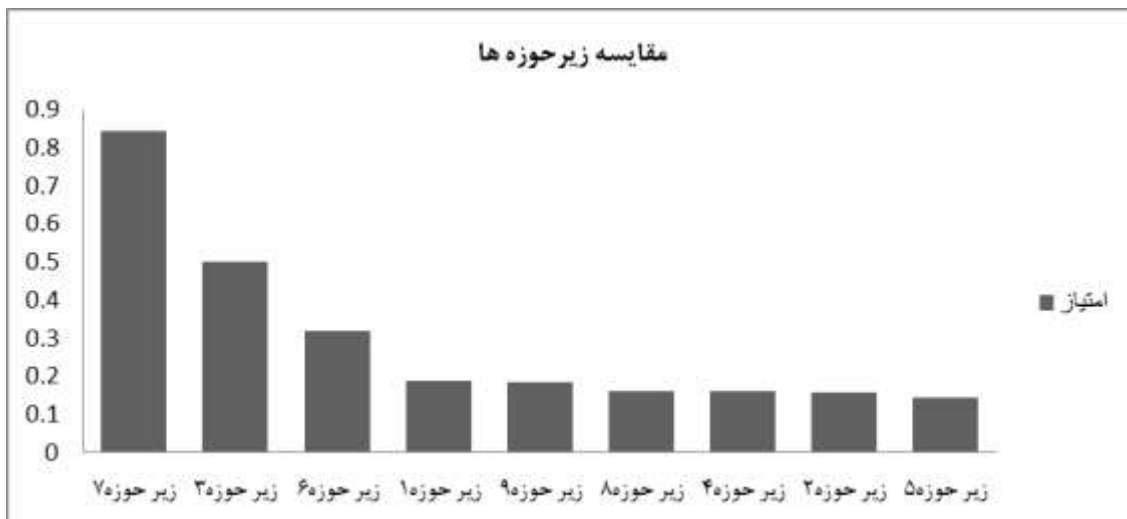
#### نتایج

##### روش خاکستری

- ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری: برای ارزیابی هر یک از زیرحوضه‌ها از نظر شاخص‌های کمی از اعداد قطعی استفاده می‌شود که در مجموعه اعداد حقیقی بیان

جدول ۱. ماتریس تصمیم‌گیری تئوری خاکستری

گزینه‌ها	معیار	نسب متوسط	وزنی	ضرب شکل حوضه	زمان تقریبی کربنج	متوسط CN	تراکم آب‌راه‌ها	بارندگی سالانه	ارتفاع متوسط
زیرحوضه ۱	۳/۳۷۶۵۷۹۳	۱۲/۶۲۵۳۶۴۸	۰/۲	۰/۱۷۵۶۳۴۱	۸۰/۱۲۸۵۱	۱۰/۶۷	۲۴۰/۷۶۷۰۲	۱۲۳۵/۲۲۰	
زیرحوضه ۲	۵/۱۴۹۲۶۳۵	۹/۹۱۸۴۴۵۶۱	۰/۱۶	۰/۲۸۰۹۲۸۸	۸۱/۷۲۱۹۵	۸/۲۱	۲۴۴/۷۰۵۶۹	۱۲۴۹/۲۳۷	
زیرحوضه ۳	۲۱/۲۷۶۱۳۸	۳/۴۲۳۲۹۹۵۳	۰/۳۷	۰/۶۹۱۰۹۰۷	۸۰/۱۲۸۵۱	۵/۹۷	۲۴۲/۲۲۳۴۵	۱۲۴۰/۴۰۳	
زیرحوضه ۴	۷/۲۹۶۰۸۴۷	۲/۹۴۰۶۳۴۵۷	۰/۱۸	۰/۶۱۱۰۴۳۰	۸۱/۷۲۱۹۵	۴/۹۱	۲۴۰/۵۰۰۳۲	۱۲۳۴/۲۷۱	
زیرحوضه ۵	۶/۸۲۲۴۵۲۵	۳/۶۲۲۲۷۰۰	۰/۲۴	۰/۵۵۲۶۷۲۶	۷۹/۷۰۲۱۲	۶/۳۲	۲۴۵/۰۲۱۸۱	۱۲۵۰/۳۶۲	
زیرحوضه ۶	۱۱/۷۷۰۶۷۹	۲/۷۸۰۳۹۴۸۷	۰/۱۳	۱/۰۶۸۸۴۲۹	۷۷/۴۳۹۲۲	۷/۷۹	۲۵۴/۹۹۲۰۲	۱۲۸۵/۸۴۳	
زیرحوضه ۷	۳۷/۹۵۸۷۹۱	۷/۱۱۲۴۴۰۲۳	۰/۲۶	۰/۶۵۲۶۴۸۴	۷۷/۷۸۰۷۹	۸/۵۴	۲۷۶/۲۸۲۶۵	۱۳۶۱/۶۱۰	
زیرحوضه ۸	۳/۷۸۴۶۸۵۸	۱۰/۷۳۳۴۲۲۷	۰/۲۷	۰/۳۳۵۹۲۲	۷۷/۸۴۱۳۱	۷/۳۲	۲۵۶/۱۶۱۴۸	۱۲۹۰/۰۰۵	
زیرحوضه ۹	۶/۲۷۴۵۱۶۵	۱۰/۲۸۲۴۳۹۲	۰/۲۴	۰/۳۴۵۲۳۳۴	۷۸/۹۲۷۴۵	۱۰/۸۴	۲۸۴/۱۴۳۰۲	۱۳۸۹/۵۸۳	
جهت معیار	بزرگ‌تر بهتر	بزرگ‌تر بهتر	بزرگ‌تر بهتر	بزرگ‌تر بهتر	کوچک‌تر بهتر	بزرگ‌تر بهتر	بزرگ‌تر بهتر	بزرگ‌تر بهتر	بزرگ‌تر بهتر
وزن معیار	۰/۴۹۰۲۵۷	۰/۲۰۷۹۷۹	۰/۰۶۱۱۶۴	۰/۱۹۴۵۰۶	۰/۰۰۰۲۶۵	۰/۰۴۲۰۴۱	۰/۰۲۵۲۶	۰/۰۰۱۲۶۱	



شکل ۳. نمودار مقایسه زیرحوضه‌ها با روش تحلیل خاکستری

جدول ۲. ماتریس تصمیم‌گیری تاپسیس

گزینه‌ها	محیط	شیب متوسط	ضریب شکل	زمان تمرکز	متوسط CN	تراکم آبراهه‌ها	بارندگی سالانه	ارتفاع متوسط
زیرحوضه ۱	۳.۳۷۶	۱۲/۶۲۵	۰/۲	۰/۱۷۵۶	۸۰/۱۲۸	۱۰/۶۷	۲۴۰/۷۶۷	۱۲۳۵/۲۲
زیرحوضه ۲	۵.۱۴۹	۹/۹۱۸۴	۰/۱۶	۰/۲۸۰۹	۸۱/۷۲۱	۸/۲۱	۲۴۴/۷۰۵	۱۲۴۹/۲۳
زیرحوضه ۳	۲۱.۲۷	۳/۴۲۳۲	۰/۳۷	۰/۶۹۱۰	۸۰/۱۲۸	۵/۹۷	۲۴۲/۲۲۳	۱۲۴۰/۴۰
زیرحوضه ۴	۷.۲۹۶	۲/۹۴۰۶	۰/۱۸	۰/۶۱۱۰	۸۱/۷۲۱	۴/۹۱	۲۴۰/۵۰۰	۱۲۳۴/۲۷
زیرحوضه ۵	۶.۸۲۲	۳/۶۲۲۲	۰/۲۴	۰/۵۵۲۶	۷۹/۷۰۲	۶/۳۲	۲۴۵/۰۲۱	۱۲۵۰/۳۶
زیرحوضه ۶	۱۱.۷۷۰	۲/۷۸۰۳	۰/۱۳	۱/۰۶۸۸	۷۷/۴۳۹	۷/۷۹	۲۵۴/۹۹۲	۱۲۸۵/۸۴
زیرحوضه ۷	۳۷.۹۵	۷/۱۱۲۴	۰/۲۶	۰/۶۵۲۶	۷۷/۷۸۰	۸/۵۴	۲۷۶/۲۸۲	۱۳۶۱/۶۱
زیرحوضه ۸	۳.۷۸۴	۱۰/۷۳۲	۰/۲۷	۰/۲۳۳۵	۷۷/۸۴۱	۷/۳۲	۲۵۶/۱۶۱	۱۲۹۰/۰۰
زیرحوضه ۹	۶.۲۷۴	۱۰/۲۸۲	۰/۲۴	۰/۳۴۵۲	۷۸/۹۲۷	۱۰/۸۴	۲۸۴/۱۴۳	۱۳۸۹/۵۸
نوع معیار	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	منفی	مثبت	مثبت	مثبت
وزن معیار	۰.۴۹۰	۰/۲۰۷	۰/۰۶۱	۰/۱۹۴	۰/۰۰۲۶	۰/۰۴۲۰	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۱۲

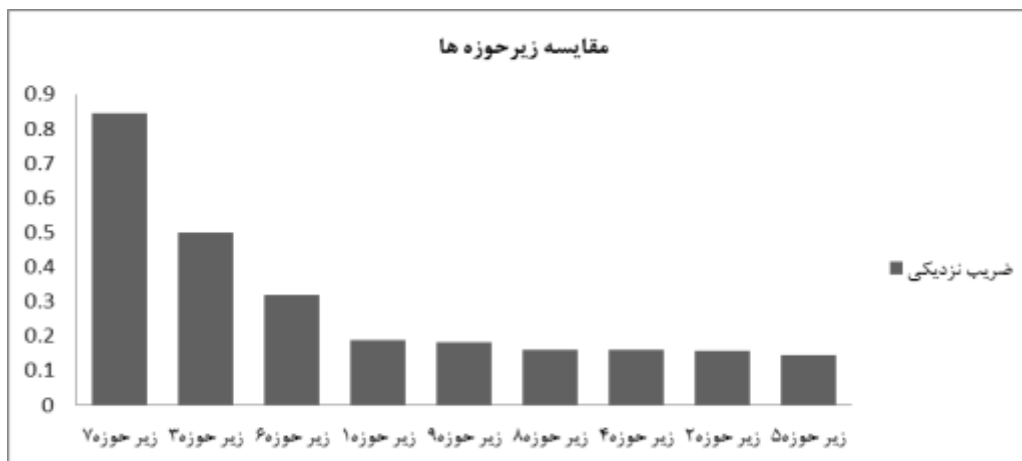
شده است. هشت معیار برای اولویت‌بندی نه زیرحوضه برای اولویت‌بندی براساس رواناب برای مدیریت سیلاب ارزیابی شده و نوع شاخص‌های مثبت و منفی را تعیین کرده و با توجه به تعداد معیارها و تعداد گزینه‌ها، ماتریس تصمیم به صورت یک ماتریس ۹\*۸ جدول ۳ تشکیل می‌شود.

– محاسبه تعداد چیرگی: در این ماتریس تعداد دفعاتی که گزینه‌ها در ماتریس چیرگی نهایی تسلط داشته جمع می‌زنیم. نتایج در شکل ۵ نمایش داده شده است. گزینه‌ای که بیشترین مقدار چیرگی را دارد، اولویت برتری دارد.

– محاسبه نزدیکی به راه حل ایده‌آل مثبت و منفی همچنین رتبه‌بندی گزینه‌ها: در این گام برای محاسبه فاصله هر گزینه با توجه به ایده‌آل‌ترین یا بدترین با روش اقلیدسی و در نهایت با استفاده از شاخص نزدیکی نسبی برای هر زیرحوضه با استفاده از روابط ۱۲ محاسبه می‌شود، نتایج در شکل ۴ نمایش داده شده است.

#### روش الکتور

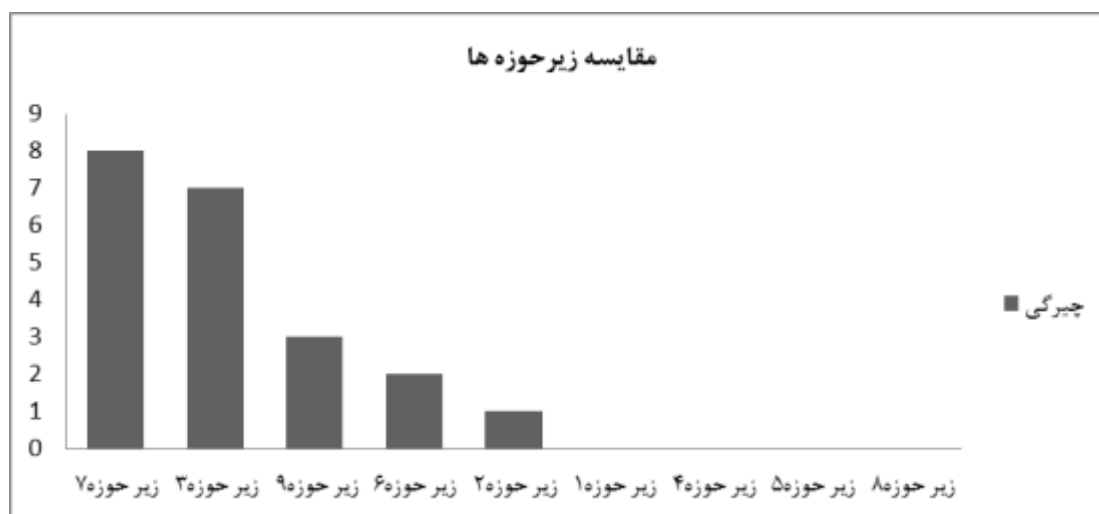
– ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری: معیارها و گزینه‌ها ارزیابی



شکل ۴. نمودار مقایسه زیرحوضه‌ها با روش تاپسیس

جدول ۳. ماتریس تصمیم‌گیری الکترونیک

گزینه‌ها	مساحت	شیب متوسط	ضریب شکل	زمان تمرکز	CN	تراکم آبراهه	بارندگی سالانه	ارتفاع متوسط
زیرحوضه ۱	۳/۳۸	۱۲/۶۳	۰/۲	۰/۱۸	۸۰۰/۱۳	۱۰/۶۷	۲۴۰/۷۷	۱۲۳۵/۲۲
زیرحوضه ۲	۵/۱۵	۹/۹۲	۰/۱۶	۰/۲۸	۸۱/۷۲	۸/۲۱	۲۴۴/۷۱	۱۲۴۹/۲۴
زیرحوضه ۳	۲۱/۲۸	۳/۴۲	۰/۳۷	۰/۶۹	۸۰/۱۳	۵/۹۷	۲۴۲/۲۲	۱۲۴۰/۴
زیرحوضه ۴	۷/۳	۲/۹۴	۰/۱۸	۰/۶۱	۸۱/۷۲	۴/۹۱	۲۴۰/۵	۱۲۳۴/۲۷
زیرحوضه ۵	۶/۸۲	۳/۶۲	۰/۲۴	۰/۵۵	۷۹/۷	۶/۳۲	۲۴۵/۰۲	۱۲۵۰/۳۶
زیرحوضه ۶	۱۱/۷۷	۲/۷۸	۰/۱۳	۱/۰۷	۷۷/۴۴	۷/۷۹	۲۵۴/۹۹	۱۲۸۵/۸۴
زیرحوضه ۷	۳۷/۹۶	۷/۱۱	۰/۲۶	۰/۶۵	۷۷/۷۸	۸/۵۴	۲۷۶/۲۸	۱۳۶۱/۶۱
زیرحوضه ۸	۳/۷۸	۱۰/۷۳	۰/۲۷	۰/۲۳	۷۷/۸۴	۷/۳۲	۲۵۶/۱۶	۱۲۹۰/۰۱
زیرحوضه ۹	۶/۲۷	۱۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۳۵	۷۸/۹۳	۱۰/۸۴	۲۸۴/۱۴	۱۳۸۹/۵۸
نوع شاخص	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	منفی	مثبت	مثبت	مثبت
وزن شاخص	۰/۴۹۰۷	۰/۲۰۸۳۰	۰/۰۶۱۲۱	۰/۱۹۳۶۲	۰/۰۰۰۲۶	۰/۰۴۲۰۷	۰/۰۰۲۵۲	۰/۰۰۱۲۶



شکل ۵. نمودار مقایسه زیرحوضه‌ها با روش الکترونیک



### بحث و نتیجه‌گیری

در مدیریت منابع آب و آبخیزداری با توجه به وجود اجزای متفاوت در سیستم و تأثیرات ناشی از اعمال روش‌های مدیریتی لازم است یکپارچه در نظر گرفته شود. در این مقاله اهمیت استفاده از روش‌های تحلیل چندمعیاره برای مدیریت بهتر و ارزیابی مقایسه‌ای یا به‌بیان دیگر اولویت‌بندی زیرحوضه‌های پارچین براساس سیلاب تأکید شد. نتایج این تحقیق نشان داد از میان گزینه‌های مختلف حوضه آبخیز کدام یک از زیرحوضه‌ها در وضعیت بدتری قرار دارند و در اولویت اول برای انجام کارهای مدیریتی و سازه‌ای هستند. در این پژوهش برای مدیریت سیلاب در حوضه پارچین با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره الکترونیکی، خاکستری و تاپسیس برای اولویت‌بندی استفاده شده است. هدف پژوهش حاضر تعیین اولویت‌بندی هر یک از زیرحوضه‌های آبخیز پارچین و شناسایی مناطق بحرانی به‌منظور عملیات کنترلی و حفاظتی و استفاده از منابع آب و کاهش خطر سیل در این مناطق بود. رواناب یکی از عوامل مهم تخریب و فرسایش و تأمین‌کننده آب در یک منطقه است. در منطقه مطالعه‌شده اولویت‌بندی حوضه آبخیز پارچین و زیرحوضه‌های آن بر اساس رواناب برای تأمین آب ساکنان آبخیز و جلوگیری از فرسایش و خطرات سیل انجام شد. براساس تحقیقات انجام‌شده در منطقه نتایج به‌دست‌آمده از روش تحلیل خاکستری، امتیاز نهایی بر حسب رابطه خاکستری برای نه زیرحوضه بررسی شد. از این بررسی نتایج به‌دست‌آمده از شکل ۳ بیان می‌کند که زیرحوضه ۷ با بیشترین امتیاز (۰/۷۱۹۴۴۳) در اولویت اول و حوضه ۱ با (۰/۴۶۶۱۱۹) اولویت دوم و زیرحوضه ۴ با کمترین مقدار امتیاز (۰/۳۳۱۴۹۳) در اولویت آخر قرار دارد. در روش تاپسیس با استفاده از محاسبه نزدیکی به راه حل ایده‌آل مثبت و منفی رتبه‌بندی گزینه‌ها انجام شده است. در این روش با استفاده از نتایج تحقیق، حوضه ۷ با بیشترین مقدار ضریب نزدیکی (۰/۸۴۳۷۲۱) در اولویت اول و حوضه ۳ با ضریب نزدیکی (۰/۵۰۰۲۰۶) دارای اولویت دوم و حوضه ۵ با ضریب نزدیکی (۰/۱۴۳۶۲۹) در اولویت آخر قرار دارد. نتایج مقایسه زیرحوضه‌ها با استفاده از روش تاپسیس در شکل ۴ نمایش داده شده است. در روش الکترونیکی میزان چیرگی هر گزینه برای اولویت‌بندی

محاسبه شده، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از روش الکترونیکی در شکل ۵ زیرحوضه ۷ با بیشترین میزان چیرگی (۸) دارای اولویت اول و حوضه ۳ با تعداد چیرگی (۷) اولویت دوم را دارد و حوضه‌های ۱، ۴، ۵ و ۸ با تعداد چیرگی (صفر) اولویت آخر را در رتبه‌بندی با استفاده از روش الکترونیکی دارند. نتایج رتبه‌بندی توسط سه مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره الکترونیکی، تحلیل خاکستری و تاپسیس نشان می‌دهد به‌رغم اینکه در هر سه روش در اولویت‌بندی اولویت اول یکسان ارزیابی شده‌اند، در سایر اولویت‌ها سه روش نتایج متفاوتی ارائه داده‌اند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از سه روش یادشده روش تاپسیس و تحلیل خاکستری شباهت بیشتری به هم دارند و نسبت به روش الکترونیکی دقت بیشتری در اولویت‌بندی برخوردارند. سیلاب خطری است که مردم بسیاری از کشورها با آن روبه‌رو هستند و به‌عنوان یکی از بلایای طبیعی شدید شناخته شده است. برای مدیریت و کاهش خسارت‌های سیل از روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای استفاده می‌شود. هدف روش‌های غیرسازه‌ای کاهش آسیب‌پذیری و خسارت‌ها در مقابل سیلاب و آمادگی تحمل خسارت‌هاست [۱۶] با توجه به این موضوع که انجام کارهای سازه‌ای کنترل سیلاب هزینه زیادی دارد، انتخاب زیرحوضه‌ها برای عملیات اجرایی ترتیب اولویت زیرحوضه‌ها برای انجام عملیات کنترل سیلاب گرفت یک تصمیم درست و ضروری است. از طرفی، حوضه آبخیز معیارهای متنوع اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی برای ارزیابی تأثیرات فعالیت‌های مدیریتی سیلاب دارد. بر این اساس انتخاب رویکردی بهینه در مدیریت سیلاب ضروری است. بدین‌منظور از مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود.

### منابع

- [1]. Wurbs RA. Reservoir- System Simulation and Optimization Models. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE. 1993; 119(4): 455 - 472.
- [2]. Ghassemi SA, Danesh Sh. Application of fuzzy analytical hierarchy process in determining the optimum alternative of brackish water desalination. Journal of Water and Soil. 2012; 26(4): 999-1009.

- [3]. Vivien YC. Fuzzy MCDM approach for selecting the best environment-watershed plan. *Journal of applied soft computing*. 2011; 11(1): 265-275.
- [4]. Deng JL. Control problems of grey systems. *Systems and Control Letters*. 1982; 1(5): 288-294.
- [5]. Deng JL. Introduction to grey system theory. *Journal of Grey System*. 1989; 1(1): 1-24.
- [6]. Li Q X, Liu SF. The foundation of the grey matrix and the grey input-output analysis. *Applied Mathematical Modelling*. 2008; 32: 267-291.
- [7]. Li GD, Yamaguchi D, Nagai M. A grey-based decision-making approach to the supplier selection problem. *Mathematical and Computer Modelling*. 2007; 46(3-4): 573-81.
- [8]. Saaty TL. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York. 1980.
- [9]. Hwang CL, Yoon K. *Multiple Attributes Decision Making Methods and Applications*. Berlin: Springer; 1981.
- [10]. Tavana M, Marbini AH. A Group AHP-TOPSIS Framework for Human Spaceflight Mission Planning at NASA. *Expert System Applications*. 2011; 38: 13588-13603.
- [11]. Wang YJ. Applying FMCDM to Evaluate Financial Performance of Domestic Airlines in Taiwan. *Expert Systems with Applications*. 2008; 34(3): 1837-1845.
- [12]. Rao RV, Davim JP. A Decision-Making Framework Models for Material Selection Using a Combined Multiple Attribute Decision-Making Method. *Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2008; 35: 751-760.
- [13]. Deng H, Yeh CH, Willis RJ. Inter-company Comparison Using Modified TOPSIS with Objective Weights. *Comput & Oper Res*. 2000; 27(10), 963-973.
- [14]. Roy B. The Outranking Approach and the Foundation of ELECTRE Methods. *Theory and Decision*. 1991; 31(1): 49-73.
- [15]. Bogardi JJ, Nachtnebel HP. Multicriteria decision analysis in water resources management. Organized by the International Training Centre (PHLO) and the Department of Water Resources of the Wageningen Agricultural University: The Netherlands; 1991.
- [16]. McLuckie D. Strategic Flood Risk Management. department of infrastructure planning & natural resources. 2002.