



## تحلیل سیل خیزی زیر حوضه‌ها بر پایه‌ی مدل WASPAS

مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز الندچای، شمال غرب ایران

محمدحسین رضائی مقدم<sup>1\*</sup>، سید اسداله حجازی<sup>2</sup>، خلیل ولیزاده کامران<sup>3</sup>، توحید رحیم پور<sup>4</sup>

1- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

2- دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

3- دانشیار گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

4- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تأیید نهایی مقاله: 1399/09/20

وصول مقاله: 1399/02/28

### چکیده

حوضه‌ی آبریز الندچای واقع در شمال غرب ایران همه‌ساله با شروع فصل بهار شاهد وقوع سیلاب‌های مخرب می‌باشد. هدف از این تحقیق بررسی و تحلیل نقش شاخص‌های هیدروژئومورفیک در حساسیت سیل‌خیزی این حوضه است. جهت نیل به این هدف ابتدا منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی 12/5 متر به 15 زیرحوضه تقسیم شده است. در مرحله‌ی بعد با استفاده از قوانین ژئومورفولوژیکی هورتن، شوم و استرالر خصوصیات ژئومورفولوژیکی هر یک از زیرحوضه‌ها از سه جنبه خصوصیات شبکه‌ی زهکشی، خصوصیات شکلی و خصوصیات برجستگی در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شدند. جهت تعیین وزن پارامترها از مدل تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره SWARA استفاده شد. نتایج وزن‌دهی پارامترها نشان داد که پارامترهای هیدروژئومورفیک شامل بافت زهکشی، نسبت بافت و تراکم زهکشی با مقادیر 0/273، 0/273 و 0/156 بیشترین وزن و تأثیر را در سیل‌خیزی منطقه‌ی مورد مطالعه دارند. به منظور اولویت‌بندی 15 زیرحوضه‌ی الندچای از مدل تصمیم‌گیری WASPAS استفاده شد. نتایج این مدل نشان داد که زیرحوضه‌های 1، 3 و 2 به ترتیب با وزن 0/858، 0/907 و 0/818 بیشترین وزن را داشته و از حساسیت سیل‌خیزی بالایی برخوردار هستند. در مقابل زیرحوضه‌های 6 و 13 با وزن 0/250 و 0/374 کمترین مقادیر را داشته‌اند که نشان‌دهنده‌ی حساسیت بسیار پایین این زیرحوضه‌ها به سیل‌خیزی است.

**کلمات کلیدی:** سیل، شاخص‌های هیدروژئومورفیک، GIS، مدل WASPAS، حوضه‌ی آبریز الندچای

## 1- مقدمه

سیل یک فاجعه‌ی طبیعی عمومی است که سالانه خسارت‌های زیادی به محیط طبیعی و ساخت‌وساز در سراسر جهان وارد می‌سازد. در سرتاسر جهان، بیش از یک‌سوم سطح زمین در معرض سیلاب‌ها قرار دارد، جایی که بیش از 70 درصد از جمعیت در آن سکونت دارند (آکسوی و همکاران<sup>1</sup>، 2016). خصوصیات ژئومورفومتریکی حوضه آبریز و شرایط اقلیمی غالب مسئول ایجاد سیلاب‌های ناگهانی هستند (هو<sup>2</sup>، 2016). روش‌های کمی و کیفی متعددی در ادبیات علمی برای مدل‌سازی سیلاب در داخل حوضه آبریز وجود دارد (محمود و رحمان<sup>3</sup>، 2019: 2). تحلیل ژئومورفومتریکی یک تکنیک کمی برای ارزیابی خصوصیات زیرحوضه می‌باشد (هورتن<sup>4</sup>، 1945). ویژگی‌های حوضه‌ی آبریز نقش اساسی در بیان کمی و تحلیل پارامترهای ژئومورفومتریکی برای پیش‌بینی سیلاب و میزان فرسایش و رسوب دارند (گاردینر<sup>5</sup>، 1990). در روش تحلیل مورفومتریکی، خصوصیات فیزیوگرافیکی و مورفولوژیکی حوضه آبریز بر اساس مدل رقومی ارتفاعی (DEM) بررسی می‌شود (گرومان<sup>6</sup>، 2004). اولویت‌بندی حوضه‌ها یک طبقه‌بندی از زیرحوضه‌ها بر اساس شرایط منابع موجود و شدت فرسایش و سیل است که در نهایت منجر به حفاظت و مدیریت عملیات آبخیزداری در زیرحوضه‌های حساس می‌شود (سورش و همکاران<sup>7</sup>، 2005).

بررسی پیشینه‌ی تحقیق نشان می‌دهد که تحقیقات کمی در داخل کشور در رابطه با اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بر پایه رویکردهای هیدروژئومورفیک صورت گرفته است. اما در خارج از کشور مطالعات خوبی در این زمینه انجام شده که در ادامه به برخی از تازه‌ترین این تحقیقات اشاره می‌شود. حلبیان و عسگری (1396)، به پهنه‌بندی شدت سیل‌خیزی در حوضه آبریز میشخاص واقع در ایلام با استفاده از روش تحلیل عاملی - خوشه‌ای پرداختند. در این تحقیق ابتدا حوضه آبریز میشخاص به 12 زیر حوضه تقسیم شده و سپس برای هر زیرحوضه 28 پارامتر ژئومتری، اقلیمی، نفوذپذیری و فیزیوگرافی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شد. نتایج تحقیق نشان داد که زیرحوضه‌های 9 و 8، 5، 3 در عامل شکل، زیرحوضه‌های 11 و 6، 1 در عامل شیب، زیرحوضه‌های 7 و 2 در عامل زهکشی و زیرحوضه‌های 12 و 10، 4 در عامل رواناب از شدت سیل‌خیزی زیادی برخوردار هستند. امیری و همکاران (1397)، در پژوهشی به اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز مهارلو در استان فارس با استفاده از پارامترهای مورفومتریکی و مدل

1- Aksoy et al.,

2- Hu

3- Mahmood and Rahman

4- Horton

5- Gardiner

6- Grohmann

7- Suresh et al.,

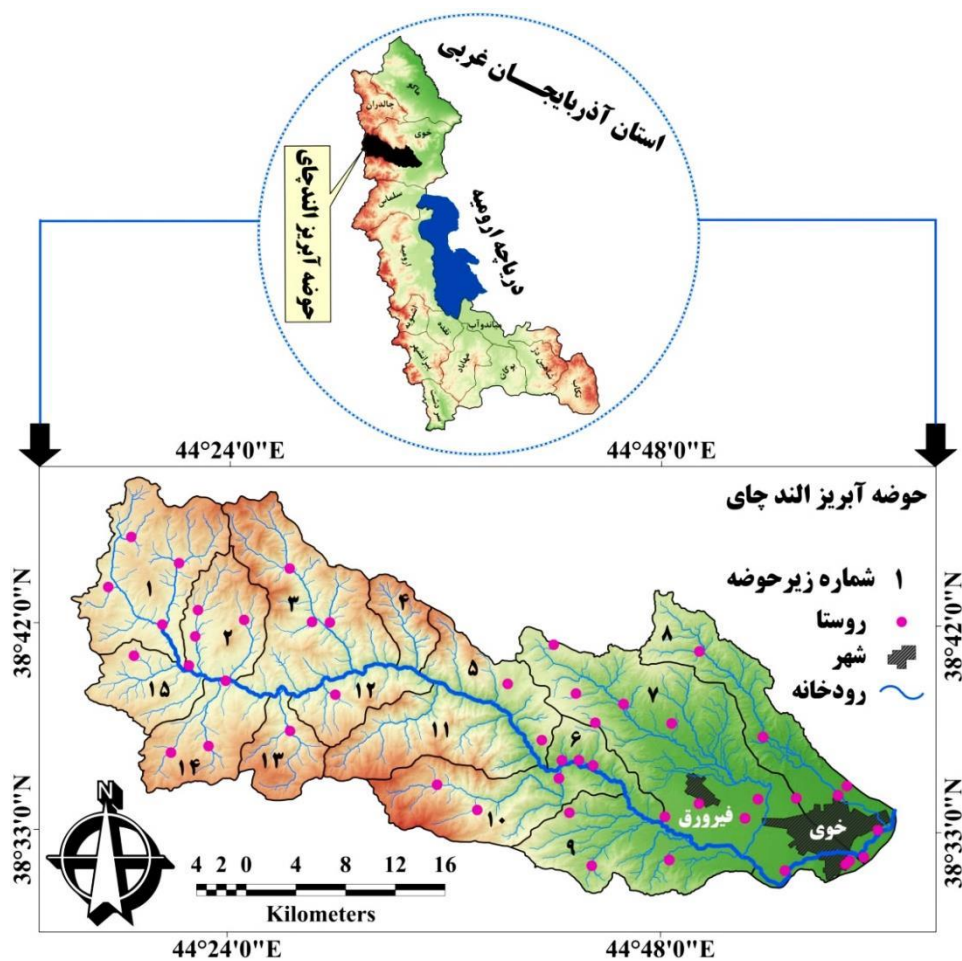
تصمیم‌گیری VIKOR پرداختند. به منظور وزن‌دهی پارامترها از مدل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و جهت اولویت‌بندی 53 زیرحوضه از مدل تصمیم‌گیری VIKOR استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که زیرحوضه 34 بر اساس اولویت‌بندی سیل‌خیزی رتبه‌ی اول، زیرحوضه 31 رتبه‌ی دوم و زیرحوضه 12 رتبه‌ی سوم را به خود اختصاص داده‌اند که باید برای انجام عملیات مدیریتی در اولویت قرار بگیرند. زیرحوضه 42 نیز از نظر اولویت‌بندی در حساسیت خطر وقوع سیل، آخرین رتبه را داشته است. فروتن و همکاران (1398)، در پژوهشی با استفاده از روش NRCS-CN به بررسی تغییرات رواناب سیلاب شهری در شهر اسدآباد استان همدان پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش مساحت کاربری شهری حجم رواناب افزایش یافته که در نتیجه خطر سیل را به دنبال دارد. محمود و رحمان (2019)، با استفاده از رویکردهای ژئومورفومتریکی به مدل‌سازی حساسیت خطر سیل در حوضه آبریز یوشایری واقع در کشور پاکستان پرداختند. در این تحقیق حوضه مورد مطالعه به 17 زیرحوضه تقسیم شد. نتایج این تحقیق نشان داد که 55 درصد از منطقه مورد مطالعه از حساسیت بسیار بالایی از نظر خطر وقوع سیل برخوردار می‌باشد.

در حوضه‌ی آبریز ال‌ندچای واقع در شمال غرب ایران (شهرستان خوی، استان آذربایجان غربی) به دلیل زهکشی زیرحوضه‌های متعدد، گستردگی مساحت، شرایط زمین‌شناسی و توپوگرافیکی خاص و برخورداری از بارش مناسب در فصل زمستان و بهار همه‌ساله شاهد طغیانی شدن رودخانه ال‌ندچای و سیل‌گرفتگی زمین‌های اطراف آن هستیم. خسارت‌های زیادی از طغیانی شدن این رودخانه به زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی اطراف آن وارد می‌شود. بنابراین تحقیق حاضر تلاش کرده است که زیرحوضه‌های حوضه‌ی آبریز ال‌ندچای را از نظر حساسیت سیل‌خیزی و با استفاده از خصوصیات ژئومورفومتریکی و مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره<sup>1</sup> WASPAS و با بهره‌گیری از توانایی‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ارزیابی و اولویت‌بندی کند. با بررسی پیشینه تحقیق مشخص شد که تاکنون تحقیقی در مورد سیلاب و فرسایش در سطح حوضه آبریز ال‌ندچای کار نشده است. لذا با توجه به وقوع سیلاب‌های متعدد در این منطقه، نویسندگان این مقاله لازم دانستند که در مورد این مخاطره در حوضه‌ی آبریز ال‌ندچای به مطالعه بپردازند.

## 2- مواد و روش

### 2-1- منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز الندچای با مساحت 1147/30 کیلومترمربع در شمال غرب ایران و در استان آذربایجان غربی قرار گرفته است (شکل 1). این حوضه از نظر موقعیت جغرافیایی بین مختصات  $38^{\circ} 30' 14''$  تا  $48' 22''$  عرض شمالی و  $44^{\circ} 15' 13''$  تا  $45^{\circ} 01' 02''$  طول شرقی قرار دارد. حداقل ارتفاع منطقه 1093 متر و حداکثر ارتفاع آن 3638 متر می‌باشد. این حوضه یکی از زیرحوضه‌های حوضه‌ی آبریز ارس محسوب می‌شود که پس از پیوستن به رودخانه‌ی بزرگ قطورچای به رود ارس می‌ریزد.



شکل (1): موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

Fig (1): The geographical location of the study area

تحقیق حاضر از نوع تحقیقات تحلیلی و کاربردی می‌باشد که نتایج آن در مدیریت زیرحوضه‌هایی که از حساسیت بالایی نسبت به سیل خیزی برخوردارند حائز اهمیت می‌باشد. به منظور تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز تحقیق از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی 12/5 متر و نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده است. از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره WASPAS به منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر حساسیت سیل خیزی استفاده شده که در ادامه به تشریح این مدل پرداخته شده است.

## 2-2- مدل WASPAS

این مدل یکی از تکنیک‌های نوین تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM<sup>1</sup>) است که ترکیبی از نتایج دو مدل مختلف یعنی مدل مجموع وزنی (WSM<sup>2</sup>) و مدل حاصل ضرب وزنی (WPM<sup>3</sup>) می‌باشد که توسط زاوادسکاس و همکاران در سال 2012 ارائه شده است (زاوادسکاس و همکاران<sup>4</sup>، 2012). مراحل اجرای این مدل به صورت زیر می‌باشد:

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم / ارزیابی

گام دوم: نرمالیزه کردن ماتریس تصمیم با استفاده از معادلات زیر:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad (1) \text{ برای معیارهای مثبت}$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad (2) \text{ برای معیارهای منفی}$$

که در آن  $\bar{x}_{ij}$  مقدار نرمالیزه شده  $x_{ij}$  نشان دهنده ارزش گزینه  $i$  طبق معیار  $j$ ؛  $j$  مجموعه گزینه‌ها  $(1, \dots, n)$  و  $i$ ، مجموعه معیارها  $(1, \dots, m)$  می‌باشد.

گام سوم: محاسبه مقادیر مدل‌های  $WSM (Q_i^{(1)})$  و  $WPM (Q_i^{(2)})$  با استفاده از رابطه‌های زیر:

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n w_j \bar{x}_{ij} \quad (3)$$

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad (4)$$

1- Multiple Criteria Decision Making

2- weighted sum model

3- weighted product model

4- Zavadskas et al

که در آن  $Q_i^{(1)}$  اهمیت نسبی گزینه‌ها بر اساس مدل WSM؛  $Q_i^{(2)}$  اهمیت نسبی گزینه‌ها بر اساس مدل WPM؛  $n$  تعداد معیارها و  $w_j$  وزن معیار  $j$ .

گام چهارم: مقادیر واریانس  $Q_i^{(1)}$  و  $Q_i^{(2)}$  با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه می‌شوند:

$$\sigma^2(Q_i^{(1)}) = \sum_{j=1}^n w_j^2 \sigma^2(\bar{x}_{ij}) \quad (5)$$

$$\sigma^2(Q_i^{(2)}) = \sum_{j=1}^n \left[ \frac{\prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \times w_{ij}}{(\bar{x}_{ij})^{w_j} (\bar{x}_{ij})^{(1-w_j)}} \right]^2 \sigma^2(w_{ij}) \quad (6)$$

گام پنجم: پس از محاسبه مقادیر واریانس  $Q_i^{(1)}$  و  $Q_i^{(2)}$  مقدار بهینه  $\lambda$  را از طریق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\lambda = \frac{\sigma^2(Q_i^{(2)})}{\sigma^2(Q_i^{(1)}) + \sigma^2(Q_i^{(2)})} \quad (7)$$

گام ششم: محاسبه مقادیر ترکیب شده از روش WASPAS برای هر معیار:

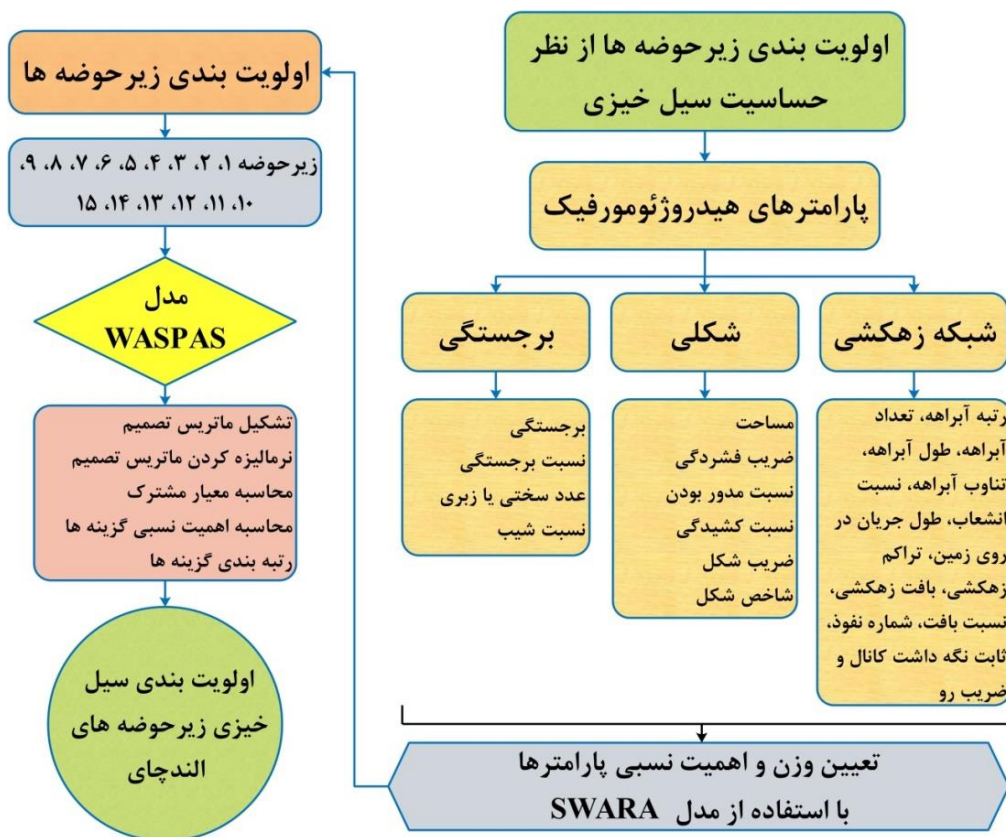
$$Q_i = 0.5Q_i^{(1)} + 0.5Q_i^{(2)} = 0.5 \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} w_j + 0.5 \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad (8)$$

گام هفتم: بر اساس مقدار  $Q_i$  می‌توان گزینه‌ها را رتبه‌بندی کرد. اما به منظور افزایش دقت رتبه‌بندی و تأثیرگذاری روش WASPAS در تعیین اهمیت نسبی گزینه  $i$  ام از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda)Q_i^{(2)} = \lambda \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} w_j + (1 + \lambda) \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad (9)$$

$(\lambda = 0, 0.1, \dots, 1)$

حال می‌توان گزینه‌ها را بر اساس مقادیر  $Q_i$  رتبه‌بندی کرد. در این رتبه‌بندی بهترین گزینه این است که بالاترین مقدار  $Q_i$  را داشته باشد. زمانی که مقدار  $\lambda$  برابر صفر است روش WASPAS به WPM تبدیل می‌شود، و زمانی که  $\lambda$  برابر یک باشد WASPAS به مدل WSM تبدیل می‌شود (زاوادسکاس و همکاران، 2012). شکل (2) مراحل انجام کار را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.



شکل (2): فلوجارت اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل خیزی با استفاده از مدل WASPAS  
 Fig (2): Flowchart of sub-basins prioritization in terms of flooding using WASPAS model

### 3- یافته‌ها و بحث

تحلیل ژئومورفولوژیکی حوضه‌های آبریز نقش مهمی در تحلیل رفتار هیدرولوژیکی حوضه‌ها دارد. در واقع این نوع تحلیل یک ابزار مهم برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بدون در نظر گرفتن نقشه‌های خاک می‌باشد (بیسواس<sup>1</sup> و همکاران، 2002). در تحقیق حاضر 22 پارامتر هیدروژئومورفیک از سه جنبه خصوصیات شبکه-ی زهکشی، پارامترهای شکلی و خصوصیات برجستگی حوضه‌ی آبریز به‌منظور بررسی نقش این پارامترها در حساسیت سیل خیزی حوضه‌ی آبریز النداچای مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

#### 3-1- بررسی نقش پارامترهای شبکه‌ی زهکشی در حساسیت سیل خیزی

رتبه‌ی آبراهه: این پارامتر شاخص مهمی است که نشان‌دهنده اندازه رودخانه، دبی و مساحت زهکشی است (استرالر<sup>1</sup>، 1964). بنابراین رتبه‌های بزرگ‌تر دارای دبی بیشتر و در نتیجه از حساسیت سیل‌خیزی بالاتری برخوردار هستند. در منطقه‌ی مورد مطالعه بزرگ‌ترین رتبه‌ی آبراهه با رتبه‌ی 6 برای زیرحوضه‌های 1، 7 و 8 به دست آمده است.

تعداد آبراهه: تعداد آبراهه‌های بیشتر نشان‌دهنده‌ی کم‌تر بودن میزان تخلخل و نفوذپذیری حوضه است (کومار رای<sup>2</sup> و همکاران، 2017). زیرحوضه‌های 3 و 7 به ترتیب با 295 و 316 آبراهه بیشترین تعداد آبراهه را دارند.

طول آبراهه: طول آبراهه مقداری از سیمای هیدرولوژیکی سنگ بستر و وسعت زهکشی است (کومار رای و همکاران، 2017). زیرحوضه‌ی 7 با طول آبراهه 321/9 کیلومتر بیشترین مقدار را داشته است.

تناوب آبراهه: مقادیر بالاتر تناوب آبراهه نشان می‌دهد که حوضه‌ی آبریز زمین‌های سنگی دارد و از ظرفیت نفوذپذیری خیلی کمی برخوردار هست (الطاف<sup>3</sup> و همکاران، 2014). زیرحوضه 4 با مقدار 2/429 بالاترین تناوب آبراهه را نشان می‌دهد.

نسبت انشعاب: نسبت انشعاب کم‌تر با خطر سیل‌گیری بالا مرتبط است. دلیل آن این است که احتمالاً آب به‌جای این‌که آزادانه پراکنده شود، در یک کانال جمع می‌شود (ابوزید<sup>4</sup> و همکاران، 2016). زیرحوضه‌ی شماره 1 کمترین نسبت انشعاب (2/88) را دارد.

طول جریان در روی زمین: مقدار این پارامتر برای شیب‌های تند، کم و برای شیب‌های ملایم بیشتر می‌باشد (الطاف و همکاران، 2014). در منطقه مورد مطالعه کم‌ترین مقدار طول جریان زمینی مربوط به زیرحوضه 1 با مقدار 1/04 می‌باشد.

تراکم زهکشی: تراکم زهکشی یک شاخص ریخت‌سنجی مهم برای حوضه‌هایی است که آبراهه‌های آن، بیانگر فرآیندهای حاکم بر حفر چشم‌اندازها است (شوم، 1997). به طور کلی مقادیر کم تراکم زهکشی در مناطق بسیار مقاوم و دارای مواد نفوذپذیر زیر خاک، دارای پوشش گیاهی زیاد بوده و در مناطقی که برجستگی کم است مشاهده می‌شود، اما مقادیر بالای تراکم زهکشی نشان‌دهنده‌ی این است که منطقه شامل واحدهای

1- Strahler  
2- Kumar Rai  
3- Altaf  
4- Abuzied



سنگی با مقاومت کم یا نفوذناپذیر، با پوشش گیاهی اندک و پستی و بلندی زیاد است (خلج، 1399). زیرحوضه شماره 1 با مقدار 1/91 بیشترین تراکم زهکشی را نشان می‌دهد.

بافت زهکشی: سنگ‌های نرم و ضعیف بدون پوشش گیاهی یک بافت ریز و نرم را نشان می‌دهد، درحالی‌که سنگ‌های بزرگ و مقاوم بافتی درشت و خشن ایجاد می‌کنند (سوجاتا<sup>1</sup> و همکاران، 2015). زیرحوضه 3 با 4/87 بیشترین مقدار بافت زهکشی را دارد.

نسبت بافت: نسبت بافت یک فاکتور مهم در تحلیل مورفومتریک شبکه زهکشی است که به لیتولوژی زیرین، ظرفیت نفوذپذیری و جنبه‌های برجستگی زمین وابسته است (سینگ و سینگ، 2017). کمترین مقدار نسبت بافت در منطقه مورد مطالعه مربوط به زیرحوضه 6 با مقدار 0/86 و بیشترین مقدار نیز با 3/71 مربوط به زیرحوضه 3 بوده است.

شماره نفوذ: هر چه شماره نفوذ بیشتر باشد، میزان نفوذپذیری کمتر بوده و در مقابل میزان رواناب بیشتر خواهد بود (کومار رای و همکاران، 2017). زیرحوضه‌های 3 و 4 با مقدار 4/51 بیشترین مقادیر شماره‌ی نفوذ را نشان می‌دهند.

ثابت نگه داشت کانال: مقادیر کم ثابت نگه‌داشت کانال نشان‌دهنده‌ی وجود خاک‌های نامقاوم، پوشش گیاهی پراکنده و زمین‌های کوهستانی است (شولیت<sup>2</sup>، 1968). در منطقه‌ی مورد مطالعه زیرحوضه‌های 1 و 3 با مقدار 0/52 کمترین مقدار ثابت نگه‌داشت کانال را دارند.

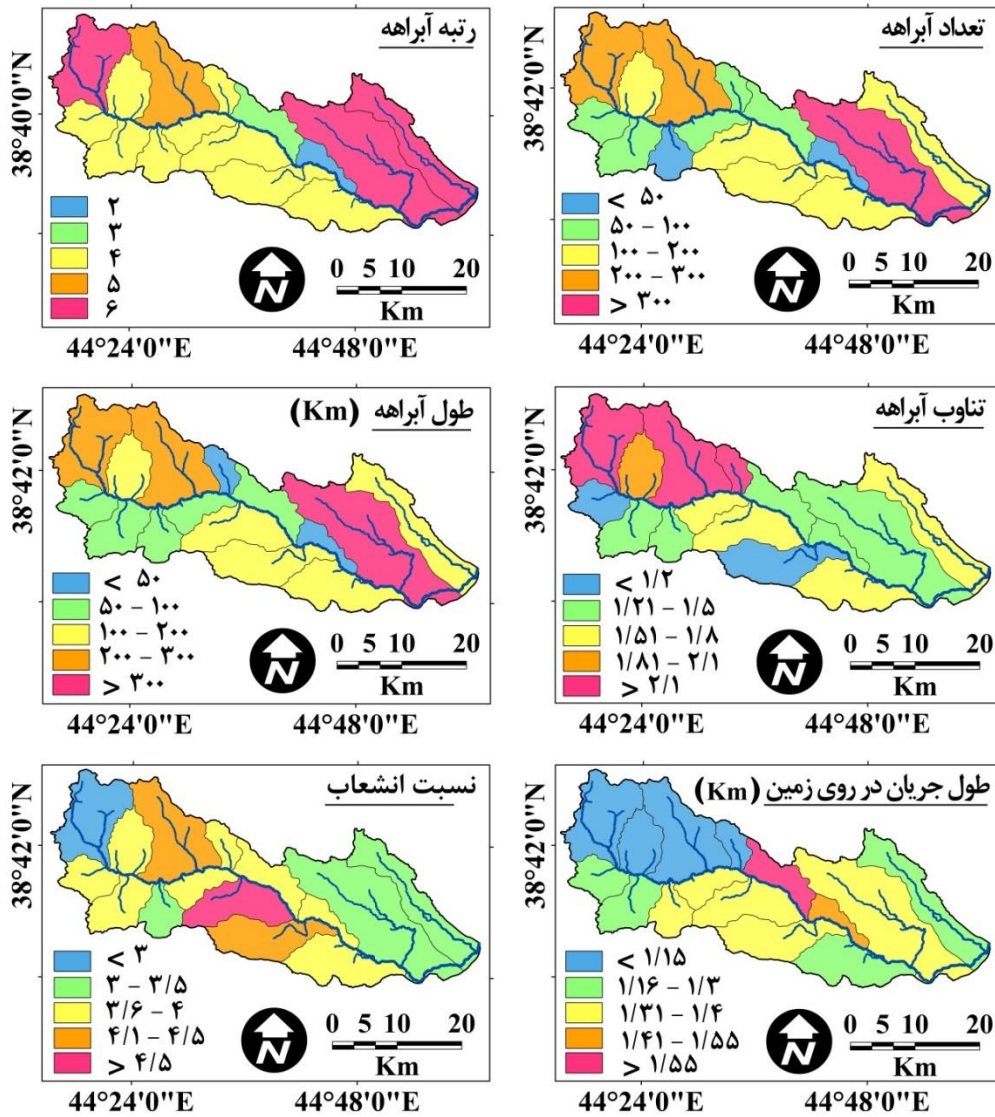
ضریب رو: ضریب رو نشان‌دهنده‌ی تراکم زهکشی و توسعه‌ی حوضه‌ی آبریز می‌باشد. این فاکتور امکان ارزیابی ظرفیت ذخیره‌ی شبکه‌ی زهکشی را فراهم می‌آورد (هورتن، 1945). این فاکتور تحت تأثیر عوامل اقلیمی، زمین‌شناسی، بیولوژیکی، ژئومورفیک و انسانی می‌باشد (مزا<sup>3</sup>، 2006). مقادیر ضریب رو بالا نشان‌دهنده‌ی ظرفیت هیدرولیک بالا و کاهش اثرات فرسایش در طول دبی بزرگ‌تر می‌باشد (رامانی سوجاتا<sup>4</sup> و همکاران، 2015). زیرحوضه‌ی 1 با 0/34 بیشترین مقدار را نشان می‌دهد. شکل (3) نقشه پارامترهای شبکه‌ی زهکشی منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

1- Sujatha

2- Shulits

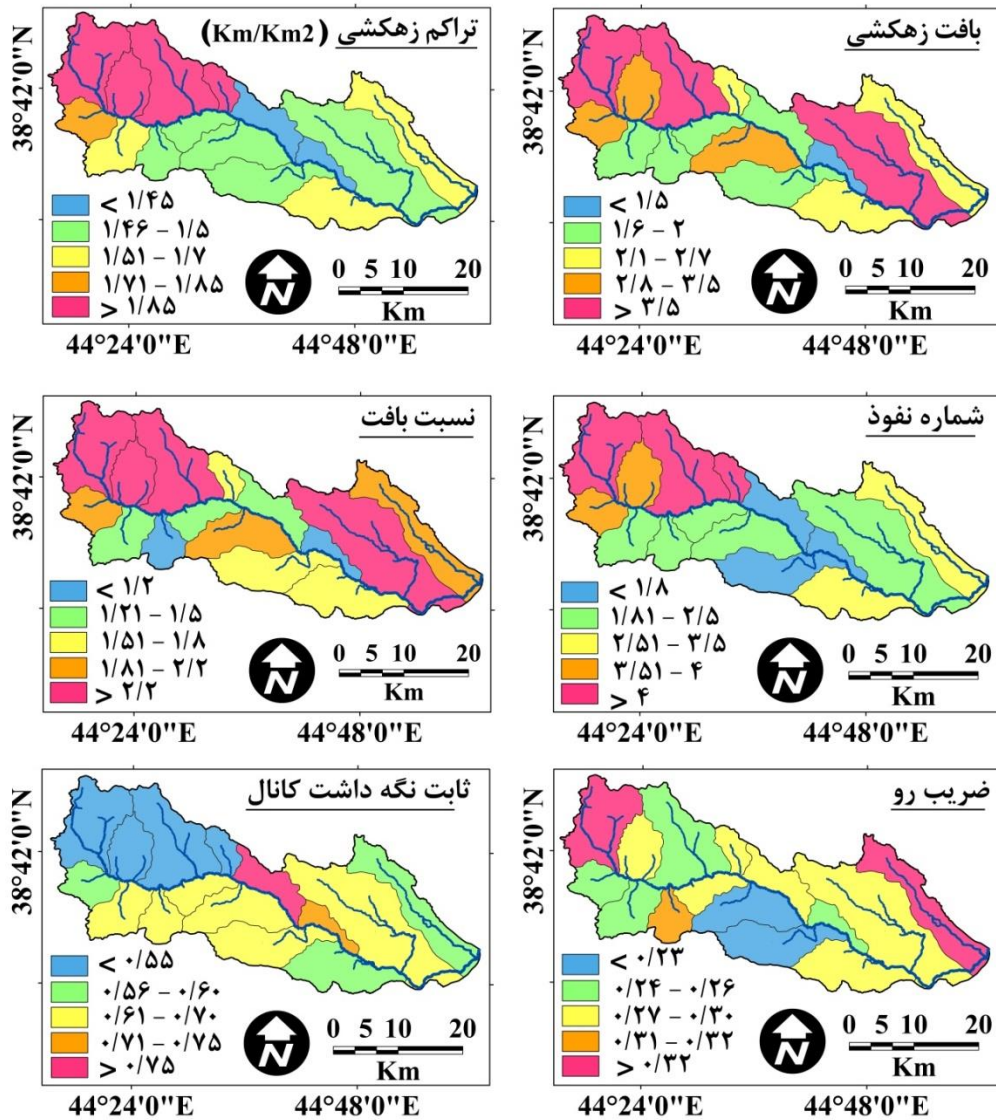
3- Mesa

4- Ramani Sujatha



شکل (3): نقشه‌ی پارامترهای شبکه‌ی زهکشی حوضه‌ی آبریز

Fig (3): Map of basin drainage network parameters



ادامه‌ی شکل (3): نقشه‌ی پارامترهای شبکه‌ی زهکشی حوضه‌ی آبریز  
 Continues Fig (3): Map of basin drainage network parameters

### 2-3- بررسی نقش پارامترهای شکلی حوضه‌ی آبریز در حساسیت سیل‌خیزی

مساحت: مساحت بزرگ‌تر و اختلاف ارتفاعی بیشتر (برجستگی) منجر به دبی بزرگ‌تر می‌شود (سوجاتا و همکاران، 2015). در منطقه‌ی مورد مطالعه زیرحوضه 7 با  $219/5$  کیلومتر مربع بیشترین مساحت را دارا می‌باشد.

ضریب فشردگی: اگر مقدار ضریب فشردگی 1 باشد نشان می‌دهد که حوضه دایره‌ی کامل است. مقدار بزرگ‌تر از 1 نشان‌دهنده‌ی کشیدگی حوضه است. حوضه دایره‌ای از حساسیت سیل‌خیزی بالایی برخوردار هست. کمترین مقدار ضریب فشردگی با  $1/24$  مربوط به زیرحوضه 2 می‌باشد.

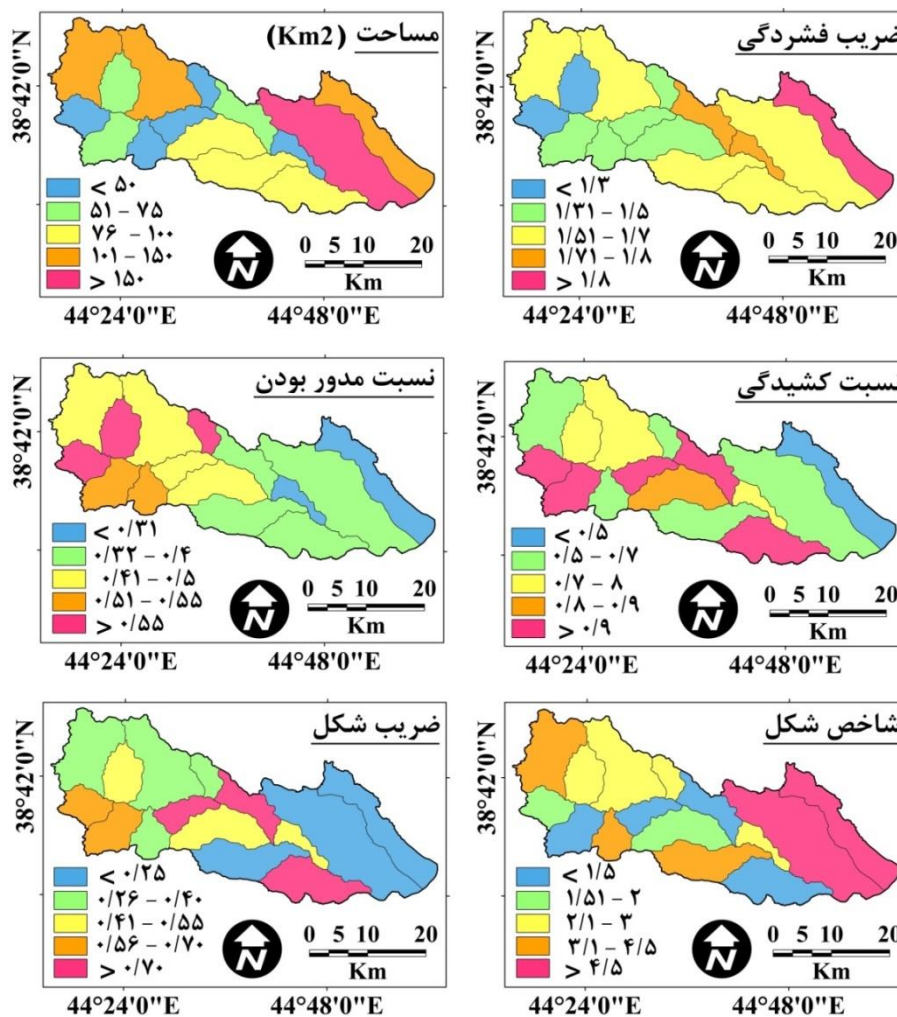
نسبت مدور بودن: نسبت مدور بودن عبارت است از نسبت مساحت حوضه به مساحت دایره‌ای که محیط آن مساوی محیط حوضه می‌باشد (میلر<sup>1</sup>، 1953). هر چه مقادیر این پارامتر به یک نزدیک‌تر باشد حساسیت سیل‌خیزی حوضه بیشتر خواهد بود. بیشترین مقدار این پارامتر مربوط به زیرحوضه 2 با  $0/63$  می‌باشد.

نسبت کشیدگی: نسبت کشیدگی یک فاکتور مهم برای تحلیل شکل حوضه آبریز است. دبی جریان در یک حوضه دایره‌ای بیشتر از حوضه کشیده می‌باشد (سینگ و سینگ<sup>2</sup>، 1997). مقادیر نسبت کشیدگی از صفر برای شکل خیلی کشیده تا یک برای شکل دایره‌ای کامل متغیر است. زیرحوضه‌ی 12 با  $0/99$  بیشترین مقدار نسبت کشیدگی را نشان می‌دهد.

ضریب شکل: این فاکتور شکل حوضه را تعیین می‌کند که مقادیر آن از صفر برای حوضه کشیده تا 1 برای حوضه‌ی دایره‌ای کامل متغیر است. در حوضه کشیده، جریان سیل نسبت به حوضه‌ی دایره‌ای به‌راحتی می‌تواند مدیریت شود (بیش<sup>3</sup> و همکاران، 2018). زیرحوضه‌ی 8 با مقدار  $0/13$  کمترین مقدار ضریب شکل را دارا می‌باشد.

شاخص شکل: هر چه مقدار این پارامتر بیشتر باشد، دبی اوج سیلاب کمتر خواهد بود و برعکس (پراساد و پانی<sup>4</sup>، 2017). زیرحوضه 8 با  $7/40$  بیشترین مقدار این پارامتر را دارد که نشان می‌دهد از حساسیت سیل‌خیزی کمتری برخوردار می‌باشد. شکل (4) نقشه‌ی پارامترهای شکلی منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

1- Miller  
2- Singh and Singh  
3- Bisht  
4- Prasad and Pani



شکل (4) نقشه‌ی پارامترهای شکلی حوضه‌ی آبریز

Fig (4) Map of basin shape parameters

### 3-3- بررسی نقش پارامترهای برجستگی حوضه‌ی آبریز در حساسیت سیل خیزی

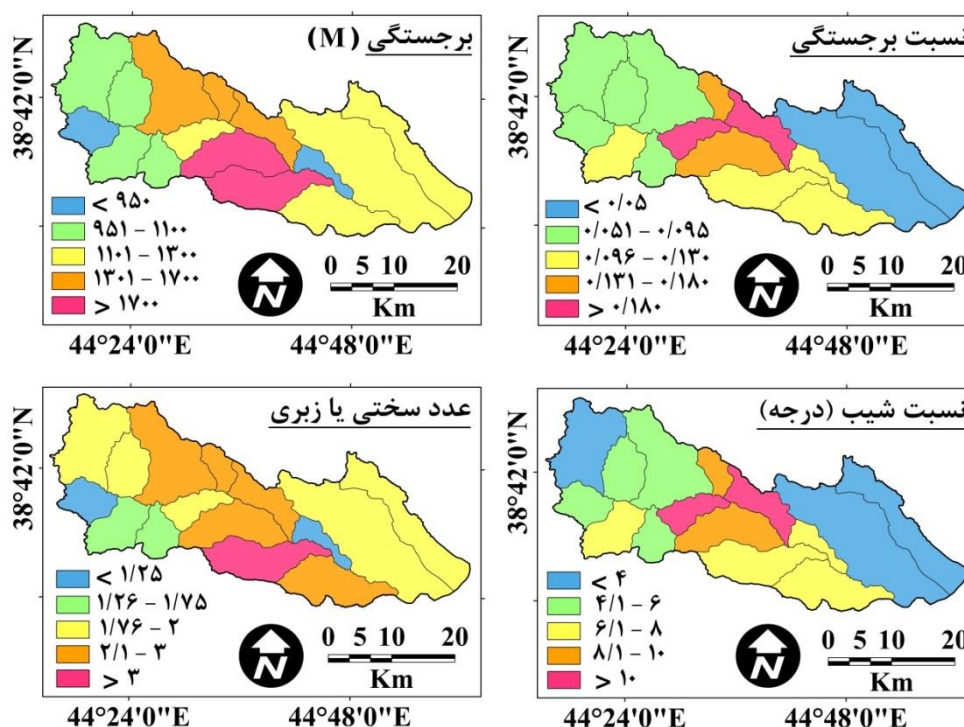
برجستگی: این پارامتر شیب آبراهه را کنترل می‌کند، در نتیجه بر مقدار حمل رسوب و الگوهای سیل تأثیر می‌گذارد (هدلی و شوم، 1961). زیرحوضه‌هایی که مقادیر بالاتری از برجستگی را نشان می‌دهند از حساسیت سیل خیزی بالایی برخوردار هستند. بیشترین مقدار برجستگی با 2191 متر مربوط به زیرحوضه‌ی

10 می‌باشد.

نسبت برجستگی: همبستگی قوی بین خصوصیات هیدرولوژیکی و برجستگی حوضه‌ی زهکشی وجود دارد (شوم، 1956). معمولاً رواناب در حوضه‌های با نسبت برجستگی بالا و شیب تندتر، سریع‌تر جریان می‌یابد. زیرحوضه 5 با 0/206 بیشترین مقدار این پارامتر را دارا می‌باشد.

عدد سختی یا زبری: این پارامتر برای اندازه‌گیری پتانسیل سیل آبراهه‌ها استفاده می‌شود (پاتون و بیکر<sup>1</sup>، 1976). زیرحوضه 15 با 0/94 کمترین مقدار زبری را داشته است.

نسبت شیب: شیب‌های تند از رواناب سطحی بالاتر و میزان نفوذپذیری کمی برخوردار هستند (ورستاپین<sup>2</sup>، 1983). زیرحوضه‌های 5 و 12 به ترتیب با 12/3 و 11/04 بیشترین مقادیر نسبت شیب را در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهند. شکل (5) نقشه‌ی پارامترهای برجستگی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (5): نقشه‌ی پارامترهای برجستگی حوضه‌ی آبریز

Fig (5): Map of basin relief parameters

1- Patton and Baker

2- Verstappen

## 3-4- وزن‌دهی معیارهای اصلی و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها

با تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی جهت اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از مدل WASPAS استفاده شده است. این مدل به‌منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها نیاز به وزن معیارهای اصلی دارد. در این تحقیق جهت وزن‌دهی معیارها از روش وزن‌دهی نوین SWARA استفاده شده است (جدول 1). وزن‌دهی معیارها با استفاده از تجربیات کارشناسان متخصص در مورد موضوع مورد مطالعه انجام شده است. نتایج وزن‌دهی معیارها با استفاده از این مدل نشان می‌دهد که معیارهای بافت زهکشی، نسبت بافت، تراکم زهکشی و نسبت انشعاب بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند که بیانگر اهمیت این پارامترها در حساسیت سیل خیزی زیرحوضه‌ها می‌باشد.

جدول (1): وزن پارامترهای هیدروژئومورفیک حوضه‌ی آبریز

Table (1): Weight of Hydrogeomorphic parameters of the basin

وزن	معیار	وزن	معیار	وزن	معیار	وزن	معیار	وزن	معیار
0/0024	Rn	0/006	Er	0/0016	C	0/0016	Lof	0/011	So
0/016	G	0/006	Ff	0/0016	$\rho$	0/156	Dd	0/011	Nu
		0/006	Sw	0/051	A	0/273	Dt	0/003	Lu
		0/016	Bh	0/029	Cc	0/273	Rt	0/003	Fs
		0/0024	Rr	0/029	Rc	0/0016	If	0/092	Rb

So رتبه آبراهه، Nu تعداد آبراهه، Lu طول آبراهه، Fs تناوب آبراهه، Rb نسبت انشعاب، Lof طول جریان در روی زمین، Dd تراکم هکشی، Dt بافت زهکشی، Rt نسبت بافت، If شماره نفوذ، C ثابت نگه داشت کانال،  $\rho$  ضریب رو، A مساحت به کیلومتر مربع، Cc ضریب فشردگی، Rc نسبت مدور بودن، Er نسبت کشیدگی، Ff ضریب شکل، Sw شاخص شکل، Bh برجستگی، Rr نسبت برجستگی، Rn عدد سختی یا زبری، G نسبت شیب

همانطور که در بخش روش تحقیق گفته شد گام اول در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در مدل WASPAS تشکیل ماتریس تصمیم است. در این تحقیق جهت تشکیل ماتریس تصمیم از طیف 5 امتیازی لیکرت<sup>1</sup> (امتیاز 1: حساسیت سیل خیزی خیلی کم، 2: کم، 3: متوسط، 4: زیاد و 5: خیلی زیاد) استفاده شده است (جدول 2). در این ماتریس 15 زیرحوضه (در ستون) و 22 پارامتر هیدروژئومورفیک (در سطر) با توجه به تأثیرشان در سیل خیزی زیرحوضه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است.

جدول (2): ماتریس تصمیم معیارها (پارامترهای هیدروژئومورفیک) و گزینه‌ها (زیرحوضه‌ها)

**Table (2):** Decision matrix of criteria (hydrogeomorphic parameters) and options (sub-basins)

معیار	زیرحوضه														
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Dt	4	2	2	2	4	2	3	3	5	1	2	3	5	4	5
RT	4	2	1	2	4	3	3	4	5	1	2	3	5	5	5
Dd	4	3	2	2	2	2	3	3	2	1	1	5	5	5	5
Rb	3	3	4	3	1	2	3	4	4	3	3	3	2	3	5
A	1	2	1	1	3	3	3	4	5	1	2	1	4	2	4
Cc	5	4	4	4	4	3	3	1	3	2	2	4	3	5	3
Rc	5	4	4	3	3	2	2	1	2	1	2	5	3	5	3
Bh	1	2	2	3	5	5	3	3	3	1	4	4	4	2	2
G	2	3	2	5	4	3	3	1	1	3	5	4	2	2	1
So	3	3	3	3	3	3	3	5	5	1	2	3	4	3	5
Nu	2	2	1	2	3	3	3	3	5	1	2	2	4	3	4
Er	5	5	2	5	4	2	5	1	2	3	5	2	3	3	2
Ff	4	4	2	5	3	1	5	1	1	3	5	2	2	3	2
Sw	4	5	2	5	4	2	5	1	1	3	5	3	3	3	2
Lu	2	2	2	2	3	3	3	3	5	1	2	1	4	3	4
Fs	1	2	2	3	3	1	3	3	2	2	2	5	5	4	5
Rn	5	4	4	3	2	1	2	3	3	5	2	2	2	3	3
Rr	2	3	2	5	4	3	3	1	1	3	5	4	2	2	2
Lof	4	4	3	3	3	3	4	4	3	2	1	5	5	5	5
If	4	2	2	2	2	1	3	3	2	1	1	5	5	4	5
C	4	3	3	3	3	3	4	4	3	2	1	5	5	5	5
ρ	4	4	2	3	5	5	3	1	3	4	3	3	4	3	1

پس از تشکیل ماتریس ارزیابی و مشخص کردن امتیاز هر یک از زیرحوضه‌ها نسبت به 22 پارامتر مورد بررسی، اقدام به نرمالیزه کردن ماتریس تصمیم طبق رابطه‌های 1 و 2 گردید (جدول 3).



جدول (3): نرمالیزه کردن ماتریس تصمیم

Table (3): Normalizing the decision matrix

زیرحوضه															معیار
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
0/8	0/4	0/4	0/4	0/8	0/4	0/6	0/6	1	0/2	0/4	0/6	1	0/8	1	Dt
0/8	0/4	0/2	0/4	0/8	0/6	0/6	0/8	1	0/2	0/4	0/6	1	1	1	RT
0/8	0/6	0/4	0/4	0/4	0/4	0/6	0/6	0/4	0/2	0/2	1	1	1	1	Dd
0/6	0/6	0/8	0/6	0/2	0/4	0/6	0/8	0/8	0/6	0/6	0/6	0/4	0/6	1	Rb
0/2	0/4	0/2	0/2	0/6	0/6	0/6	0/8	1	0/2	0/4	0/2	0/8	0/4	0/8	A
1	0/8	0/8	0/8	0/8	0/6	0/6	0/2	0/6	0/4	0/4	0/8	0/6	1	0/6	Cc
1	0/8	0/8	0/6	0/6	0/4	0/4	0/2	0/4	0/2	0/4	1	0/6	1	0/6	Rc
0/2	0/4	0/4	0/6	1	1	0/6	0/6	0/6	0/2	0/8	0/8	0/8	0/4	0/4	Bh
0/4	0/6	0/4	1	0/8	0/6	0/6	0/2	0/2	0/6	1	0/8	0/4	0/4	0/2	G
0/6	0/6	0/6	0/6	0/6	0/6	0/6	1	1	0/2	0/4	0/6	0/8	0/6	1	So
0/4	0/4	0/2	0/4	0/6	0/6	0/6	0/6	1	0/2	0/4	0/4	0/8	0/6	0/8	Nu
1	1	0/4	1	0/8	0/4	1	0/2	0/4	0/6	1	0/4	0/6	0/6	0/4	Er
0/8	0/8	0/4	1	0/6	0/2	1	0/2	0/2	0/6	1	0/4	0/4	0/6	0/4	Ff
0/8	1	0/4	1	0/8	0/4	1	0/2	0/2	0/6	1	0/6	0/6	0/6	0/4	Sw
0/4	0/4	0/4	0/4	0/6	0/6	0/6	0/6	1	0/2	0/4	0/2	0/8	0/6	0/8	Lu
0/2	0/4	0/4	0/6	0/6	0/2	0/6	0/6	0/4	0/4	0/4	1	1	0/8	1	Fs
1	0/8	0/8	0/6	0/4	0/2	0/4	0/6	0/6	1	0/4	0/4	0/4	0/6	0/6	Rn
0/4	0/6	0/4	1	0/8	0/6	0/6	0/2	0/2	0/6	1	0/8	0/4	0/4	0/4	Rr
0/8	0/8	0/6	0/6	0/6	0/6	0/8	0/8	0/6	0/4	0/2	1	1	1	1	Lof
0/8	0/4	0/4	0/4	0/4	0/2	0/6	0/6	0/4	0/2	0/2	1	1	0/8	1	If
0/8	0/6	0/6	0/6	0/6	0/6	0/8	0/8	0/6	0/4	0/2	1	1	1	1	C
0/8	0/8	0/4	0/6	1	1	0/6	0/2	0/6	0/8	0/6	0/6	0/8	0/6	0/2	p

با تشکیل ماتریس تصمیم و نرمال‌سازی آن اقدام به محاسبه مقادیر WPM، WSM، لاندای بهینه و وزن نسبی گزینه‌ها گردید (جدول 4). با استفاده از مقادیر ستون وزن نسبی می‌توان گزینه‌ها (زیرحوضه‌ها) را رتبه‌بندی کرد. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که زیرحوضه‌های 1، 3 و 2 به ترتیب بیشترین وزن نسبی را دارند. در مقابل زیرحوضه‌های 13 و 6 نیز کم‌ترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند که بیانگر این مطلب است که این زیرحوضه‌ها از حساسیت سیل‌خیزی خیلی کمی نسبت به سایر زیرحوضه‌ها برخوردار هستند. با بررسی معیارها و نقش آن‌ها در سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها مشخص شد که زیرحوضه‌هایی که

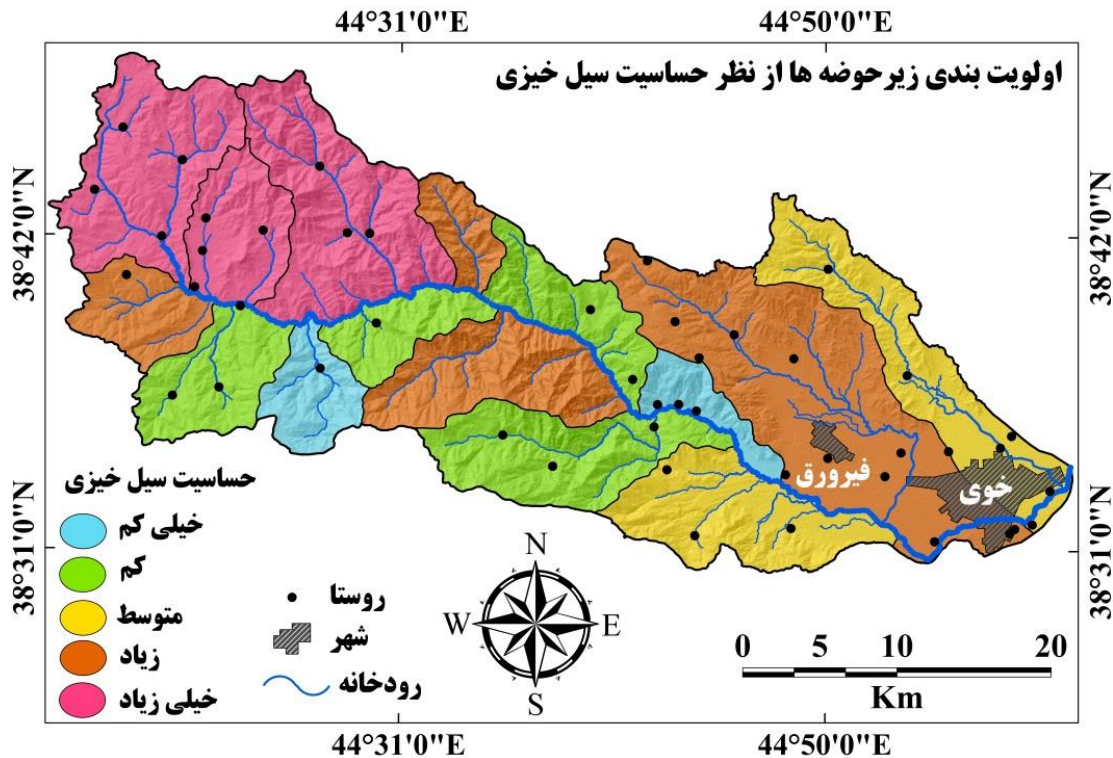
حساسیت بالایی را از نظر سیل خیزی نشان می دهند مقادیر بالاتری را از نظر معیارهای بافت زهکشی، نسبت بافت، تراکم زهکشی و نسبت انشعاب دارا می باشند (زیرحوضه های 1، 2، 3، 4 و 15) که علت سیل خیز بودن این زیرحوضه ها می باشد.

جدول (4): مقادیر محاسبه شده WPM، WSM، لاندای بهینه و وزن نسبی گزینه ها

Table (4): Calculated values of WSM, WPM, optimal  $\lambda$  and relative weight of options

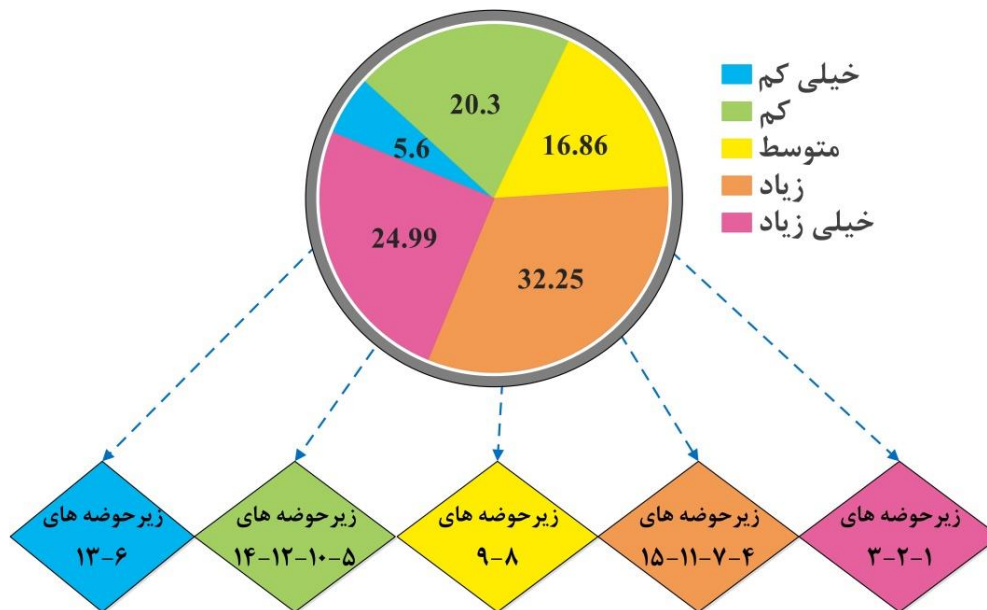
رتبه	وزن نسبی	لاندای بهینه	WPM	WSM	زیرحوضه
1	0/907778	0/450177	0/898492	0/91912	1
3	0/818645	0/446573	0/809612	0/82984	2
2	0/858988	0/430878	0/84747	0/8742	3
6	0/644226	0/473386	0/631449	0/65844	4
13	0/401418	0/495768	0/391329	0/41168	5
15	0/250252	0/509273	0/240426	0/25972	6
4	0/78008	0/399975	0/759308	0/81124	7
8	0/628229	0/438153	0/615025	0/64516	8
9	0/598847	0/501051	0/600822	0/59688	9
11	0/480795	0/481576	0/477112	0/48476	10
7	0/629895	0/407866	0/61285	0/65464	11
12	0/444953	0/52583	0/437405	0/45176	12
14	0/374716	0/482658	0/357023	0/39368	13
10	0/483491	0/533613	0/478653	0/48772	14
5	0/714283	0/441808	0/700671	0/73148	15

در گام آخر با استفاده از نتایج به دست آمده در جدول (4) نقشه ی اولویت بندی زیرحوضه ها از نظر حساسیت سیل خیزی تهیه شد (شکل 6). نتایج تحقیق نشان می دهد که زیرحوضه های 1، 2 و 3 از حساسیت سیل خیزی خیلی زیادی برخوردار هستند. مساحت این زیرحوضه ها حدود 286/67 کیلومتر مربع می باشد که 24/99 درصد از کل مساحت حوزه ی مورد مطالعه را شامل می شود. همچنین 4 زیرحوضه نیز (زیرحوضه های 4، 7، 11 و 15) نیز در طبقه زیاد از نظر حساسیت سیل خیزی قرار دارند. زیرحوضه های 6 و 13 نیز کم ترین حساسیت را از نظر سیل خیزی نشان می دهند. زیرحوضه های 6 و 13 به دلیل داشتن مساحت کمتر و به دنبال آن تعداد آبراهه های کمتر و تراکم زهکشی پایین تر از حساسیت سیل خیزی پایینی برخوردار هستند.



شکل (6): اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر حساسیت سیل خیزی  
 Fig (6): Prioritization of sub-basins in terms of flood sensitivity

شکل (7) درصد مساحت طبقات حساسیت سیل خیزی و زیرحوضه‌های هر طبقه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده است فقط حدود 26 درصد از مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه از حساسیت سیل خیزی کم و خیلی کمی برخوردار هست، در حالی که 57 درصد از مساحت حوضه حساسیت بالایی را از این نظر نشان می‌دهد. این مطلب نشان‌دهنده‌ی سیل خیز بودن حوضه‌ی آبریز الندچای می‌باشد. با توجه به اینکه روستاهای زیادی در مسیر رودخانه‌ی اصلی منطقه (الندچای) قرار دارند و همچنین قرار گرفتن شهر خوی در پایین‌دست حوضه و عبور رودخانه‌ی الندچای از داخل این شهر، ضرورت انجام اقدامات پیشگیرانه در زیرحوضه‌های حساس جهت جلوگیری از وقوع سیل در پایین‌دست حوضه و وارد آمدن خسارت‌های احتمالی بیش از پیش احساس می‌شود.



شکل (7): درصد طبقات حساسیت سیل خیزی و شماره ی زیرحوضه ها  
Fig (7): Percentage of flood sensitivity classes and number of sub-basins

#### 4- نتیجه گیری

سیلابها از عمده ترین مخاطرات طبیعی هستند که سالانه خسارت های زیادی در سرتاسر جهان بر جای می گذارند. در شمال غرب کشور نیز با شروع فصل بهار و آغاز بارندگی های بهاره سیلاب های متعددی اتفاق می افتد که در بیشتر موارد با خسارت های سنگینی همراه می شود. تحقیق حاضر تلاشی بوده است به منظور بررسی و ارزیابی نقش شاخص های هیدروژئومورفیک در حساسیت سیل خیزی زیرحوضه های الوندچای که با استفاده از مدل های تصمیم گیری چند معیاره SWARA و WASPAS انجام شده است. به منظور اولویت بندی زیرحوضه ها از نظر حساسیت سیل خیزی ابتدا با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی 12/5 متر حوضه ی آبریز الوندچای به 15 زیرحوضه تقسیم شد. در مرحله بعد 22 پارامتر هیدروژئومورفیک از سه جنبه خصوصیات شبکه ی زهکشی، خصوصیات شکلی و خصوصیات برجستگی حوضه ی آبریز برای هر یک از زیرحوضه ها در محیط نرم افزار ArcGIS تهیه شدند. وزن دهی پارامترها با استفاده از مدل SWARA نشان داد که پارامترهای شبکه ی زهکشی شامل بافت زهکشی، نسبت بافت و تراکم زهکشی از اهمیت بالایی نسبت به سایر پارامترها در وقوع سیل در منطقه ی مورد مطالعه دارند. نتایج اولویت بندی زیرحوضه ها نیز با استفاده از مدل WASPAS نشان داد که زیرحوضه 1 با ضریب 0/907، زیرحوضه 3 با ضریب 0/858 و زیرحوضه 2 با ضریب 0/818 از حساسیت بالایی نسبت به سیل خیزی

برخوردار هستند. همچنین نتایج نشان داد که زیرحوضه‌های 4، 7، 11 و 15 در طبقه زیاد، زیرحوضه‌های 8 و 9 در طبقه متوسط، زیرحوضه‌های 5، 10، 12 و 14 در طبقه کم و زیرحوضه‌های 6 و 13 در طبقه خیلی کم از نظر حساسیت سیل‌خیزی قرار دارند. مجموع مساحت زیرحوضه‌هایی که در طبقات زیاد و خیلی زیاد از نظر حساسیت سیل‌خیزی قرار دارند 656/72 کیلومترمربع هست که 57/24 درصد از کل مساحت حوضه‌ی آبریز الندیچای را شامل می‌شود. لذا با توجه به نتایج تحقیق که بیانگر سیل‌خیز بودن منطقه مورد مطالعه می‌باشد، ضرورت دارد که اقدامات حفاظتی از قبیل طرح‌های آبخیزداری و احداث سیل‌بند در زیرحوضه‌هایی که از حساسیت بالایی برخوردارند به‌منظور جلوگیری از وقوع سیل یا کاهش خسارت‌های احتمالی در صورت وقوع سیل صورت بگیرد. بررسی نتایج تحقیق حاضر با نتایج پژوهشگرانی همچون پرساد و پانی (2017) در حوضه‌ی آبریز یوهی واقع در کشور هند، محمود و رحمان (2019) در حوضه‌ی آبریز پنجکورا واقع در کشور پاکستان و محمود و رحمان (2019) در حوضه‌ی آبریز یوشایری واقع در شرق هندوکش مطابقت دارد. پژوهشگران نام برده استفاده از خصوصیات ژئومورفومتریکی حوضه‌ی آبریز و رتبه‌بندی آن‌ها را بر اساس اهمیت‌شان در سیل‌خیزی، روشی مناسب به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت سیل‌خیزی پیشنهاد کرده بودند که نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نیز بیانگر تائید نتایج محققین مذکور می‌باشد.

5- منابع

- Abuzied, S., Yuan, M., Ibrahim, S., Kaiser, M., & Saleem, T. (2016). Geospatial risk assessment of flash floods in Nuweiba area, Egypt. *Journal of Arid Environments*, 133, 54-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.06.004>
- Aksoy, H., Kirca, V.S.O., Burgan, H.I., & Kellecioglu, D. (2016). Hydrological and hydraulic models for determination of flood-prone and flood inundation areas. *The 7th International Water Resources Management Conference of ICWRS*, 373, 137-141. DOI: 10.5194/piahs-373-137-2016
- Altaf, S., Meraj, G., & Romshoo, A. A. (2014). Morphometry and land cover based multi-criteria analysis for assessing the soil erosion susceptibility of the western Himalayan watershed. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(12), 8391-8412. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4012-2>
- Amiri, M., Pourghasemi, H., & Arabameri, A. (2018). Prioritization of Flood Inundation sub-watersheds of Maharlo Watershed in Fars Province Using Morphometric Parameters and VIKOR Decision Making Model. *Eco Hydrology*, 5(3), 813-827.
- Bisht, S., Chaudhry, S., Sharma, S., & Soni, S. (2018). Assessment of flash flood vulnerability zonation through Geospatial technique in high altitude Himalayan watershed, Himachal Pradesh India. *Remote Sensing Applications: Society and Environmen*, 12, 35-47. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.09.001>
- Biswas, S., Sudhakar, S., & Desai, V. R. (2002). Remote sensing and geographic information system based approach for watershed conservation. *Survey Engineering*, 128, 108-124.
- Forotan, S., Ildoromi, A., Nouri, H., & Safari Shad, M. (2019). Urban Sprawl and Landuse Change Effects on Surface Runoff Using NRCS-CN Method (Case Study: Asadabad City). *Hydrogeomorphology*, 5(20), 1-20.
- Gardiner, V. (1990). Drainage basin morphometry; In: Geomorphological techniques (ed.) Goudie A. *Unwin Hyman, London*, 71-81.
- Grohmann, C.H. (2004). Morphometric analysis in geographic information systems: Applications of free software GRASS and R Star. *Computer and Geoscience*, 30(10), 1055-1067.
- Hadely, R.F., & Schumm, S.A. (1961). Sediment sources and drainage basin characteristics in upper Cheyenne River basin. *United States Geological Survey water-supply paper*, 1531-B. Washington, DC: US Government Printing Office, 137-196.
- Halabian, A.H., & Asgari, sh. (2017). Flood Hazard Intensity Zoning in Myshkhas Watershed Using Factor- Cluster Analysis. *Hydrogeomorphology*, 3(12), 153-177.

- Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol. Soc. Am. Bull.* 56(3), 275–370.
- Hu, H. (2016). Rainstorm flash flood risk assessment using genetic programming: A case study of risk zoning in Beijing. *Nat. Hazards*, 83(1), 485–500. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2325-x>
- Khalaj, M. (2020). Seismic Hazard in Babolrud and Talar Basins based on Morphometric Indices, *Geography and Environmental Hazards*, 33, 1-16.
- Kumar Rai, P., Narayan Mishra, V., & Mohan, K. (2017). A study of morphometric evaluation of the Son basin, India using geospatial approach. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 7: 9-20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsase.2017.05.001>
- Kundzewicz, Z.W., Pińskwar, I., & Brakenridge, G.R. (2013). Large floods in Europe, 1985–2009. *Hydrological Sciences Journal*, 58 (1), 1–7. <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.745082>
- Mahmood, Sh., & Rahman, A. (2019). Flash flood susceptibility modelling using geomorphometric approach in the Ushairy Basin, eastern Hindu Kush. *J. Earth Syst. Sci.* 128(97), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s12040-019-1111-z>
- Mesa, L.M. (2006). Morphometric analysis of a subtropical Andean basin (Tucuman, Argentina), *Environ. Geol.* 50 (8), 1235–1242.
- Miller, V.C. (1953). A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee. *Technical Report (3)*, Dept. of Geol. New York: Columbia University, 389–402.
- Patton, P.C., & Baker, V.R. (1976). Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls. *Water Resour Res.* 12, 941–952.
- Prasad, R.N., & Pani, P. (2017). Geo-hydrological analysis and sub watershed prioritization for flash flood risk using weighted sum model and Snyder's synthetic unit hydrograph. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(4), 1491–1502. <https://doi.org/10.1007/s40808-017-0354-4>.
- Ramani Sujatha, E., Selvakumar, R., Rajasimman, U.A.B., Victor, R.G. (2015). Morphometric analysis of sub-watershed in parts of Western Ghats, South India using ASTER DEM, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6, 326-341. <http://dx.doi.org/10.1080/19475705.2013.845114>.
- Schumm, S.A (1997). Drainage density: problems of prediction'. In: Stoddart, D.R. (Ed.), *Process and Form in Geomorphology*. Routledge, London, pp. 15- 45.

- Schumm, S.A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin*, 67(5), 597–646. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2)
- Shulits, S. (1968). Quantitative formulation of stream and watershed morphology. *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology*, 3, 201–207.
- Singh, N., & Singh, K.K. (2017). Geomorphological analysis and prioritization of sub-watersheds using Snyder's synthetic unit hydrograph method. *Applied Water Science*, 7(1), 275–283. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0243-1>
- Strahler, A.N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks. *Handbook of applied hydrology*.
- Sujatha, E.R., Selvakumar, R., Rajasimman, U.A.B., & Victor, R. (2015). Morphometric analysis of sub-watershed in parts of Western Ghats, South India using ASTER DEM. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6(4), 326-341. <https://doi.org/10.1080/19475705.2013.845114>
- Suresh, M., Sudhakar, S., Tiwari, K. N., & Chawdary, V. M. (2005). Prioritization of watershed using morphometric parameters and assessment of surface water potential using RS. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 32, 111.
- Verstappen, H. (1983). The applied geomorphology. Enschede (The Netherlands). *International Institute for Aerial Survey and Earth Science (ITC)*.
- Zavadskas, E.K., Turskis, Z., Antucheviciene, J., & Zakarevicius, A. (2012). Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Electronics and electrical engineering*, 122(6), 3-6. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.eee.122.6.1810>.