Archive of SID.ir

Journal of Amphibious Science and Technology
نشریه علوم و فنون آبخاکی
Journal of Amphibious Science and Technology
Online ISSN: 2783-2651

# Spatial simulation of flood-prone areas upstream of reservoir dams using combined multi-criteria models with satellite images (Case study: Upstream basin of Karun Third Dam)

**Amin Zoratipour*[1], Parviz Pavandmehr[2]**

*1- Associate Professor, Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran*
*2- M.Sc. Graduate, Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran*

**Amphibious Science and Technology, 2025, 6(2), 41-56**

## ARTICLE INFO

***Article type:***
Research article

***Article history:***
Received 24 June 2025
Accepted 4 August 2025
Available online 1 September 2025

***Keywords:***
Simulation, flood, fuzzy AHP, VIKOR, TOPSIS, Khuzestan.

***Citation:***
Zoratipour, A., Pavandmehr, P. (2025). Spatial simulation of flood-prone areas upstream of reservoir dams using combined multi-criteria models with satellite images (Case study: Upstream basin of Karun Third Dam). *Amphibious Science and Technology*, 6(2), 41-56.

***DOI:***
10.22034/JAMST.2025.544628.1213

## ABSTRACT

Flooding is a complex phenomenon and one of the most destructive natural disasters compared to other disasters, which threatens the socio-economic conditions and human lives, property and assets of the society. This study aimed to spatially simulate flood-prone areas upstream of large reservoir dams in Khuzestan province, which was carried out using multi-criteria models combined with satellite images from three combined methods: TOPSIS, Fuzzy AHP and VIKOR in one of the sub-basins upstream of Karun Se Dam. The criteria used were classified into three large groups: hydrological criteria, edaphic criteria and remote sensing criteria. The results of the sensitivity analysis showed that out of the fifteen evaluated criteria, three criteria of land cover (NDVI), curve number and distance from the watercourse accounted for 48% of the sensitivity of the models in total (19% of the vegetation cover and NDVI criteria, 15% of the curve number criterion and 14% of the distance from the watercourse criterion). Finally, the assessment of the accuracy of the simulated maps of flood-prone areas of the basin with the three models VIKOR, fuzzy AHP and TOPSIS showed that the fuzzy AHP model, due to the use of the fuzzy method in prioritizing the criteria and their pairwise comparison and weighting, showed the highest agreement with the ground observation data (twenty-four ground observation points) with an overall accuracy of 0.93 and a kappa coefficient of 0.89 compared to the VIKOR and TOPSIS models, and is recommended as the optimal model for determining the map of flood-prone areas in the region. The results of the fuzzy AHP method (optimal method) indicated that in the spatial simulation of flood-prone areas in the entire basin, 73 percent of the basin area is in the very low and low flood risk range, 16 percent is in the medium flood risk range, and 11 percent is in the high and very high flood risk range. Therefore, ultimately, watershed management measures can be managed and implemented only in areas with high flood risk at lower cost.

***Publisher:***
Imam Khomeini Maritime University

CC BY NC

* **Corresponding author e-mail:** Zoratipour@asnrukh.ac.ir

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

نشریه علوم و فنون آبخاکی

شاپای الکترونیکی: 2783-2651

Journal of Amphibious Science and Technology

نشریه علوم و فنون آبخاکی

# شبیه‌سازی مکانی مناطق مستعد سیلاب در بالادست سدهای مخزنی با استفاده از مدل‌های چندمعیاره ترکیبی با تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: حوضه بالادست سد کارون سه)

**امین ذرتی‌پور*[1]، پرویز پاوندمهر[2]**

۱- *دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران*

۲- *کارشناس ارشد اکوهیدرولوژی، گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران*

**علوم و فنون آبخاکی، ۱٤۰٤، ٦(۲)، ٤۱-٥٦**

**مشخصات مقاله**

***نوع مقاله:***

پژوهشی

***تاریخچه مقاله:***

دریافت ۳ تیر ۱۴۰۴

پذیرش ۱۳ مرداد ۱۴۰۴

دسترسی آنلاین ۱۰ شهریور ۱۴۰۴

***کلیدواژه‌ها:***

تاپسیس، سیل‌خیزی، شبیه‌سازی، AHP فازی، ویکور، خوزستان.

***استناد:***

ذرتی‌پور، امین.، پاوندمهر، پرویز (۱۴۰۴). شبیه‌سازی مکانی مناطق مستعد سیلاب در بالادست سدهای مخزنی با استفاده از مدل‌های چندمعیاره ترکیبی با تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: حوضه بالادست سد کارون سه). *علوم و فنون آبخاکی*، ۶(۲)، ۴۱-۵۶.

***DOI:***

10.22034/JAMST.2025.544628.1213

**چکیده**

سیل پدیده‌ای پیچیده و یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی نسبت به بلایای دیگر، که شرایط اقتصادی- اجتماعی و جان، مال و اموال انسانی جامعه را تهدید می‌کند. این مطالعه با هدف، شبیه‌سازی مکانی مناطق مستعد سیلاب در بالادست سدهای بزرگ مخزنی در استان خوزستان که با استفاده از مدل‌های چندمعیاره ترکیبی با تصاویر ماهواره‌ای از سه روش ترکیبی تاپسیس، AHP فازی و ویکور در یکی از زیرحوضه‌های بالادست سد کارون سه اجرا گردید. معیارهای مورد استفاده به سه گروه بزرگ معیارهای هیدرولوژیکی، معیارهای ادافیکی و معیارهای سنجش از دوری طبقه‌بندی گردید. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد از پانزده معیار ارزیابی شده، سه معیار پوشش زمین (NDVI)، شماره منحنی و فاصله از آبراهه به‌طور مجموع، ۴۸ درصد حساسیت مدل‌ها را به خود اختصاص دادند (۱۹درصد معیار پوشش‌گیاهی و NDVI، ۱۵ درصد معیار شماره منحنی و ۱۴ درصد معیار فاصله از آبراهه). در نهایت ارزیابی دقت نقشه‌های شبیه‌سازی شده مناطق مستعد سیلاب حوضه با سه مدل ویکور و AHP فازی و تاپسیس نشان داد که مدل AHP فازی، به‌دلیل استفاده از روش فازی در اولویت‌بندی معیارها و مقایسه زوجی و وزن‌دهی آن‌ها، با دقت کلی ۰/۹۳ و ضریب کاپای ۰/۸۹ نسبت به مدل ویکور و تاپسیس بیش‌ترین مطابقت با داده‌های مشاهده زمینی (۲۴ نقاط مشاهده زمینی) را نشان داد و به‌عنوان مدل بهینه تعیین نقشه مناطق مستعد سیلاب در منطقه پیشنهاد می‌شود. نتایج روش AHP فازی (روش بهینه)، مشخص نمود که در شبیه‌سازی مکانی مناطق مستعد سیلاب در کل حوضه، ۷۳ درصد مساحت حوضه در محدوده خطر سیل‌خیزی خیلی کم و کم، ۱۶ درصد خطر سیل‌خیزی متوسط و ۱۱ درصد خطر سیل‌خیزی زیاد و خیلی زیاد قرار دارد، لذا در نهایت می‌توان با هزینه کم‌تر، اقدامات آبخیزداری در تنها در مناطق با خطر سیلاب بالا مدیریت و اجرا نمود.

***ناشر:***

دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)

CC BY NC

* **رایانامه نویسنده مسئول:** Zoratipour@asnrukh.ac.ir

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



## ۱- مقدمه

به‌طور کلی بررسی آمار و اطلاعات سیل‌های ایران از سال ۱۳۰۰ نشان می‌دهد که تعداد سیل‌ها همواره سیر صعودی داشته و از نظر سیل‌خیزی رتبه ششم دنیا را به خود اختصاص داده است. از علل این رویداد، ایجاد اختلال در تعادل هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز کشور می‌باشد. در حقیقت با برهم خوردن تعادل هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز، رودخانه نمی‌تواند رواناب تولید شده در حوضه را به خوبی انتقال دهد؛ از این‌رو شرایطی پیش می‌آید که آب به زمین‌های پیرامونی سرازیر می‌شود و سیل رخ می‌دهد و از آن‌جایی که هر قسمتی ازحوضه پتانسیل معینی را در تولید رواناب و سیل دارد (قنواتی و همکاران، ۲۰۱۳)، لذا تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت به سیلاب و شناسایی مناطق مستعد، برای پیشگیری و مدیریت این پدیده بسیار ضروری است (تینکو، ۲۰۱۸). البته پدیده‌ی سیل علی‌رغم همه پیچیدگی‌هایش قابل بررسی و مطالعه بوده و می‌توان در جهت مهار و کاهش خسارات آن و حتی بهره‌برداری اقتصادی از سیل راه‌حل‌های مناسبی جستجو کرد. یکی از راهکارهایی که جهت شناسایی خطر سیلاب و تهیه نقشه‌های مناطق مستعد به‌کار گرفته می‌شود، استفاده از مدل‌های آماری دو و چندمتغیره، و یادگیری ماشین و استفاده از مدل‌های شبکه عصبی و مدل‌های درخت تصمیم‌گیری می‌باشد. که‌در این میان، ترکیب مدل‌های آماری و احتمالاتی با ترکیب تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌دلیل بالا بردن توانایی مدل در پیش‌بینی، بسیار مورد توجه محققین بوده است (بدری و همکاران، ۲۰۱۶). نسرین‌نژاد و همکاران (۲۰۱۳) در زمینه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در حوزه آبخیز باغان واقع در استان بوشهر روش تحلیل سلسله مراتبی فازی چندمعیاره (FAHP) را در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی بکار بردند و توانستند با این روش و شاخص‌های مورفومتری و ده زیرحوزه، نسبت به اولویت‌بندی سیل‌خیزی منطقه مورد مطالعه (حوزه آبریز باغان) اقدام نمایند. کریمی‌مفرح و قوام (۲۰۱۶) در مطالعه خود روش تصمیم‌گیری نوینی را که بر پایه فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی در تولید نقشه خطر سیلاب حوضه است را کارآمد و مؤثر دانستند. به‌طوری‌که برای ارزیابی یک مدل فیزیکی با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، اولین قدم تعریف شکل مناسبی از معیارها است. دومین مرحله انجام محاسبات و یا اجرای مدل ریاضی بررسی اثر هر گزینه روی معیار مربوطه و در مرحله آخر کمی‌سازی به‌صورت عدد و رقم پارامترها بوده که با داشتن جدولی از گزینه‌ها و ارقام معیارها اولویت‌بندی می‌شود. صابرفر و همکاران (۲۰۱۷) با دو مدل HEC-RAS و FESWMS، ویژگی‌های توپوگرافی و ژئومورفومتریک رودخانه‌های استرودز درکارولینای شمالی و برزس درتگزاس آمریکا را مقایسه وتأثیر هریک از این عوامل را درنقشه پهنه‌بندی سیلاب به‌دست آوردند. موسوی و همکاران (۲۰۱۷) نقشه وسعت محدوده‌های سیلابی در سواحل را با استفاده از تصاویر لندست TM و داده‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM) درکارولینای شمالی، مناطق با پتانسیل سیل‌خیزی بالا را شناسایی کردند. حسنلو و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از عوامل مؤثر بر سیلاب از جمله مدل رقومی ارتفاع، شیب، شاخص پوشش‌گیاهی، تراکم زهکشی، شاخص موقعیت توپوگرافی، شاخص رطوبت توپوگرافی و شماره منحنی به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز پرداخت، که نتایج به‌دست آمده از مطالعه آن‌ها نشان داد حدود ۶۰ درصد منطقه در گروه کم خطر و بسیار کم خطر قرار گرفته است. در این رابطه سینک و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای به ارزیابی آسیب‌پذیری و شبیه‌سازی ساختمان‌ها و ابنیه‌ها در محدوده‌های سیلابی شهر دیکات فیلیپین، بااستفاده از روش‌های تصمیم‌گیری AHP و TOPSIS پرداختند. در این مطالعه به شناسایی ساختمان‌های آسیب‌پذیر جهت آگاهی‌بخشی به برنامه‌ریزان شهری و آمادگی در برابر بلایای طبیعی در مناطق مستعد سیل، انجام گرفت. براساس نتایج بررسی‌های میدانی از ارزیابی ۵۵۵ حوزه آبخیز شهری مشخص شد با روشAHP، حدود ۹۳ درصد اراضی را به‌عنوان خطر متوسط تا بسیار بالا طبقه‌بندی کرد، در حالی که روش TOPSIS نزدیک ۶۸ درصد اراضی را مستعد خطر سیلاب برآورد نمود. دووتا و دووکا (۲۰۲۴) نیز در مطالعه‌ای، تعداد شانزده معیار چندخطی در مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره و تحلیل سلسله مراتبی مبتنی بر GIS با روش-(MCDM AHP)، به‌منظور شناسایی مناطق مستعد سیلاب و مناطق آسیب‌پذیر سیل که در صورت ادغام، مناطق خطر سیلاب نهایی (FRZ) را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که بیش از ۲۸ درصد از مساحت کل منطقه براهماترا هند تحت خطر سیل زیاد تا بسیار زیاد قرار دارد، نقشه FHZ ( Flood

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



Hazard Zoning) منطقه را با قابلیت اطمینان بیش از ۹۰ درصد ROC-AUC و مجذورخطای باقیمانده (RMSE)، حدود۴۰ درصد و ضریب تبیین ($R^2$)، ۰/۶ در هر تابع را نشان دادند.

با توجه به کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری درسطح زیرحوضه‌ها بخصوص بالادست سدها وکم بودن آمار و اطلاعات ثبت شده از سیل درحوضه‌های آبخیز کشور، به‌طور دقیق نمی‌توان شدت سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها را به تنهایی از تجزیه وتحلیل داده‌های موجود استنتاج نمود. بنابراین نقش مدل‌های آماری-هیدرولوژیکی در تعیین مناطق مستعد حوضه‌ها، بسیار آشکار است. در مطالعات معمول در ایران برای بررسی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها، نه تنها تعریف مشخص و کمی از سیل‌خیزی ارائه نشده است، بلکه کل آبخیز به‌صورت یکپارچه در نظر گرفته شده و به اثرات روندیابی سیل دررودخانه وموقعیت مکانی زیرحوضه‌ها توجهی نشده است. به‌طور کلی وجه تمایز این مطالعه با مطالعات قبلی، استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و شاخص‌های سنجش از دوری به‌صورت همزمان در درجه آسیب‌پذیری خطر سیل‌خیزی حوزه آبخیز در حوضه کوهستانی استان خوزستان و آنالیز حساسیت عوامل تعیین‌کننده در این پدیده می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی تحقیق از زیرحوضه‌های استراتژیک در بالادست سد کارون سه می‌باشد، دارای مختصات جغرافیایی ۰۶ً ۰۸َ ۵۰۰ تا ۰۳ً ۲۰َ ۵۰۰ طول شرقی و ۳۴ً ۳۹َ ۳۱۰ تا ۶۰ً ۵۰َ ۳۱۰ عرض شمالی در محدوده جغرافیایی شمال شرق شهرستان دزپارت در استان خوزستان واقع شده است. مساحت حوزه ۱۶۴/۵ کیلومترمربع با محیط ۳۸/۵ کیلومتر می‌باشد و از نظر تقسیمات حوضه‌های آبریز کشوری، از زیرحوضه‌های سد مخزنی کارون سه می‌باشد.

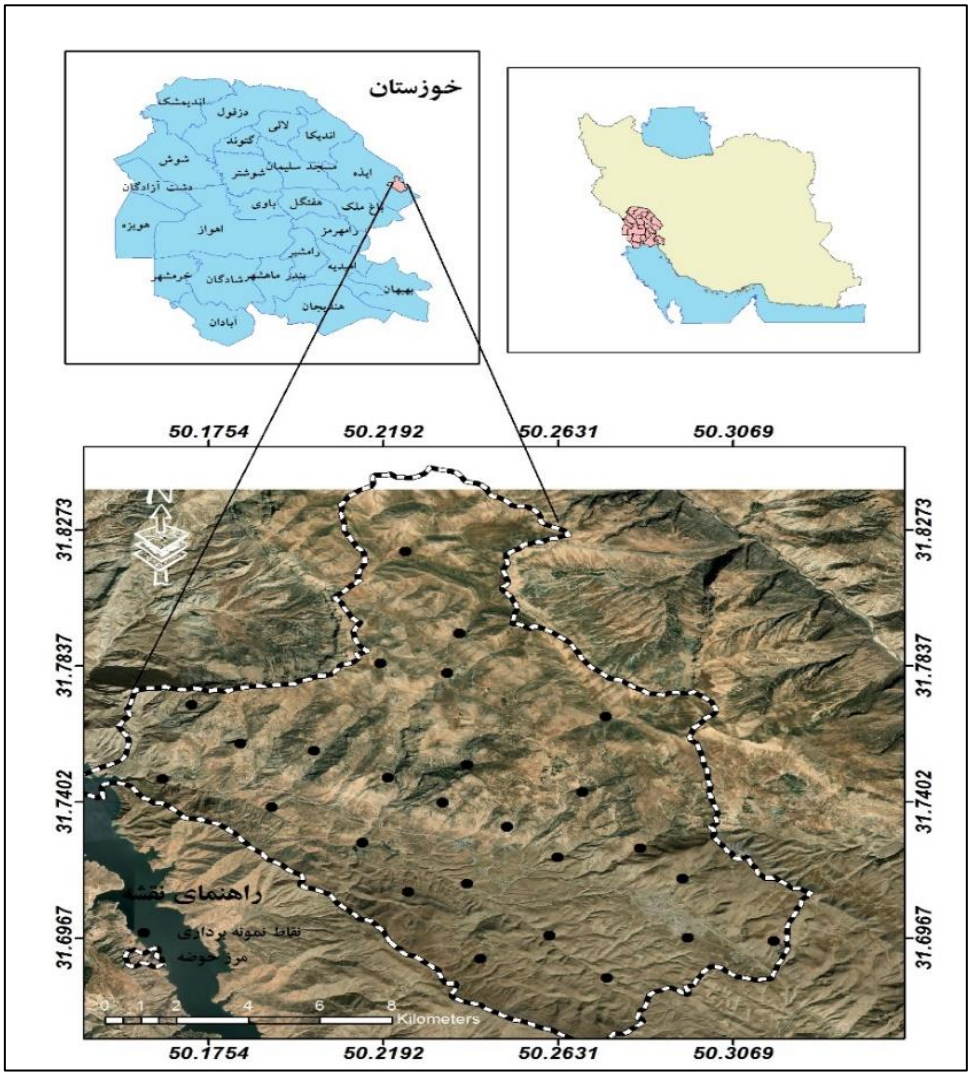
نوع کاربری‌های حوضه نظیر جنگل، مرتع مشجر، مرتعی به همراه اراضی دیم و رخنمون سنگی در منطقه طبقه‌بندی گردید (شکل ۱). بیش‌ترین ارتفاع منطقه ۳۰۰۰ متر و کم‌ترین ارتفاع منطقه ۷۱۰ متر از سطح دریا می‌باشد. همچنین شیب متوسط حوضه حدود ۳۶ درصد بوده و بارش متوسط حوضه حدود ۵۴۰ میلیمتر می‌باشد. حوزه آبخیز مطالعاتی از حوزه‌های آبخیز مرتفع کوهستانی در استان خوزستان می‌باشد که به‌دلیل کوهستانی بودن، پستی و بلندی‌های فراوان و پوشش‌گیاهی کم و همچنین ریزش‌های جوی قابل ملاحظه، ویژگی‌های طبیعی و تشکیلات زمین‌شناسی مختلف یکی از مناطق مستعد به پدیده سیل می‌باشد. غالب سازندهای زمین‌شناسی حوضه آهکی بوده همراه با فرسایش انحلالی و سازندهای دوره کواترنری همراه با فرسایش سطحی، شیاری و آبراهه‌ای دیده می‌شود (پاوندمهر، ۱۴۰۰).

در این مطالعه داده‌های اصلی منطقه نظیر نقشه‌های توپوگرافی، خاک، سازندها و زمین‌شناسی جمع‌آوری گردید. با بررسی مرور منابع انجام شده، پارامترهای مورفومتریکی که تأثیر بیش‌تری در اولویت‌بندی و وضعیت سیل‌خیزی منطقه دارند، انتخاب و سپس مقادیر آن‌ها با استفاده از داده‌ها و نقشه‌های پایه محاسبه و کمی‌سازی گردید. پارامترها شامل درصد شیب و جهت شیب حوضه، تراکم زهکشی، طول جریان آبراهه، فاصله از آبراهه، فاکتور شکل حوزه، سازندهای زمین‌شناسی، کاربری اراضی، شاخص شماره منحنی، شاخص بارندگی و خصوصیات خاک، تغییرات ارتفاعی، شاخص توان آبراهه و شاخص رطوبت توپوگرافی و در نهایت پوشش‌گیاهی در این مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفتند. پس از انجام تصحیحات لازم روی تصاویر ماهواره سنتینل ۲ منطقه، شاخص گیاهی NDVI ، منطقه استخراج گردید. سپس با استفاده از سه تکنیک آماری چندمعیاره – (FAHP، TOPSIS و VIKOR) نسبت به وزن‌دهی شاخص‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها در سیل‌خیزی زیر حوضه‌ها اقدام گردید.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir






**شکل ۱: موقعیت حوضه بالادست سد به همراه نقاط نمونه‌برداری آن در استان خوزستان**

### ۲-۲- شاخص Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

شاخص سلامتی و سبزینگی گیاه بوده و مقدار کلرفیل گیاه را اندازه‌گیری می‌کند. استفاده از ساختار اختلاف نرمال‌سازی شده در این شاخص به همراه باندهایی که از بیش‌ترین و کم‌ترین میزان بازتاب در ارتباط با گیاه برخوردار هستند استفاده از آن در هر شرایط و منطقه‌ای را میسر ساخته است. با این حال این شاخص در مناطقی که پوشش‌گیاهی بسیار متراکم است افزایشی می‌گردد.

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \qquad (۱)$$

### ۲-۳- شاخص توان آبراهه (SPI)[1]

یکی از فاکتورهای وابسته به رواناب، شاخص توان آبراهه می‌باشد، که نشان‌دهنده مقدار جریان تجمعی مربوط به یک نقطه از حوضه آبریز است که تحت‌تأثیر نیروی گرانش، تمایل به حرکت به سمت نواحی پست‌تر حوضه دارد. شاخص توان آبراهه نشان‌دهنده قدرت فرسایش رواناب سطحی نیز هست که از رابطه (۲) به‌دست می‌آید، (عرب عامری و همکاران، ۱۳۹۷).

$$SPI = A_S \times \tan\beta \qquad (۲)$$

که در آن: As نشان‌دهنده‌ی مساحت حوضه (کیلومترمربع) و $\beta$ زاویه شیب (درجه) می‌باشد.

1 Stream Power Index

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



### ٢-٤- شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)[1]

شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص ترکیب پستی و بلندی‌های حوضه بوده که نسبت تغییرات بین کل شیب‌ها را در حوضه نشان می‌دهد و شاخصی از توزیع مکانی رطوبت خاک در طول چشم‌انداز زمین است که از رابطه (٣) به‌دست می‌آید (افتخاری و همکاران، ٢٠١٠).

$$TWI = \ln\left(\frac{A_s}{\tan\beta}\right) \qquad (٣)$$

### ٢-٥- مدل FAHP[2] (روش AHP فازی)

به‌منظور استفاده از مزایای هر دو مدل تکنیک فازی و AHP و نیز غلبه بر نقاط ضعف‌ها، (ژانگ و همکاران، ١٩٩٢)، روش فازی تحلیل سلسله مراتبی (FAHP) را پیشنهاد نمود، که به‌طور خلاصه شامل مراحل زیر است:

مرحله ١) رسم نمودار سلسله مراتبی

مرحله ٢) تعریف اعداد فازی به‌منظور انجام مقایسه‌های زوجی (جدول ١)

**جدول ١: متغیرهای زبانی و فازی و مقیاس‌های آن‌ها جهت اولویت‌بندی شاخص‌ها**

| عدد قطعی | تعریف | مقیاس فازی مثلثی |
|---|---|---|
| ١ | دقیقا مساوی | (١ , ١ , ١) |
| ٢ | اهمیت یکسان | (١/٢ , ١ , ٣/٢) |
| ٣ | اهمیت ضعیف | (١ , ٣/٢ , ٢) |
| ٤ | اهمیت قوی | (٣/٢ , ٢ ,٥/٢) |
| ٥ | اهمیت خیلی قوی | (٢ , ٥/٢ , ٣) |
| ٦ | اهمیت مطلق | (٥/٢ , ٣ , ٧/٢) |

مرحله ٣) تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با به کارگیری اعداد فازی (رابطه ۴)

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & a\sim 12 & & \widetilde{a_{1n}} \\ \widetilde{a_{21}} & 1 & \dots & \widetilde{a_{2n}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \widetilde{a_{n1}} & \widetilde{a_{n2}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \qquad (۴)$$

در صورتی‌که گروه تصمیم‌گیر دارای چندین تصمیم‌گیر باشند، درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی جامع که در روش تحلیلی سلسله مراتبی فازی وارد می‌شوند، یک عدد فازی مثلثی است که فاکتور اول آن حداقل نظرسنجی‌ها می‌باشد.

مرحله ۴) محاسبه $S_i$ برای هریک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی.

$S_i$ که خود یک عدد فازی مثلثی است از رابطه (۵) برآورد می‌شود.

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \times \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1} \qquad (۵)$$

دراین رابطه i بیانگر شماره سطر و j بیان کننده شماره ستون و $M_{gi}^{j}$ اعداد فازی مثلثی ماتریس‌های مقایسه زوجی هستند. (۶)

$$\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} = \left(\sum_{j=1}^{m} l_j . \sum_{j=1}^{m} m_j . \sum_{j=1}^{m} u_j\right)$$
$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} = \left(\sum_{i=1}^{n} l_i . \sum_{i=1}^{n} m_i . \sum_{i=1}^{n} u_i\right)$$
$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i} . \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i} . \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i}\right)$$

در این روابط li و mi و ui به‌ترتیب مولفه‌های اول تا سوم اعداد فازی است. در نهایت Si با رابطه (٧) محاسبه می‌شود. (٧)

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \times \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i} . \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i} . \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i}\right) = \left(\frac{\sum_{j=1}^{m} l_j}{\sum_{i=1}^{n} u_i} . \frac{\sum_{j=1}^{m} m_j}{\sum_{i=1}^{n} m_i} . \frac{\sum_{j=1}^{m} u_j}{\sum_{i=1}^{n} l_i}\right)$$

مرحله ۵) محاسبه درجه بزرگی Siها نسبت به همدیگر به‌طور کلی درجه بزرگی Si نسبت به Sj از معادله (٨) محاسبه می‌گردد:

$$V(S_i \geq S_j) = \mathrm{hgt}(S_i \cap S_j) = \qquad (٨)$$

$$\mu_{S_i}(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_i \geq m_j \\ 0 & \text{if } l_j \geq u_i \\ \frac{l_j - u_i}{(m_i - u_i) - (m_j - u_j)} & \text{otherwise} \end{cases}$$

مرحله ۶) محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس‌های مقایسه زوجی

برای محاسبه وزن نرمال نشده معیار باید میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی با سایر اعداد فازی مثلثی مقایسه شوند و در نهایت حداقل میزان بزرگی، نشان‌دهنده وزن نرمال نشده معیار ($W$) می‌باشد. بدین منظور از رابطه ٩ برآورد می‌شوند (افتخاری، ٢٠١٠):

$$d'(A_i) = \mathrm{MinV}(S_i \geq S_k)\ k = 1.2.\dots.n\ .\ k \neq i \qquad (٩)$$

$$W = \left(d(A_1).d(A_2).\dots.d(A_n)\right)^t$$

1 Topography Wetness Index

2 Fuzzy Analytical Hierarchy Process

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



## ۲-۶- مدل VIKOR[1] (ویکور)

روش ویکور از یک عبارت صربستانی به معنای راه‌حل توافقی و بهینه‌سازی چندمعیاره معادل عبارت انگلیسی (Multi-criteria optimization and compromise solution) است که توسط آپروکوویچ (۱۹۸۴) پیشنهاد شد.

اگر در یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره، n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، به‌منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از این روش، به‌ترتیب زیر انجام می‌دهیم.

مرحله ۱) تعریف معیارها و ایجاد ماتریس (رابطه ۱۰) (ماتریس تصمیم در روش ویکور)

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{22} & \dots & x_{1n} \\ x_{r1} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \qquad (۱۰)$$

مرحله ۲) نرمال‌سازی ماتریس

یک نکته مهم در شاخص‌های تصمیم‌گیری، وجود شاخص مثبت و منفی با هم در یک ماتریس است. به‌منظور تطبیق مقیاس‌های گوناگون اندازه‌گیری و نرمال‌کردن آن‌ها، از بی‌مقیاس‌سازی (رابطه ۱۱) بهره جست:

$$Rij = \frac{X_{ij}}{\sum_1^M X_{ij}} \qquad (۱۱)$$

مرحله ۳) تعیین بردار وزن معیار

دراین مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، بردار به‌صورت رابطه زیر تعریف گردید.

$W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$

به این منظور از فرایند تجزیه و تحلیل سلسه مراتبی (AHP) استفاده می‌گردد. در این روش معمولا از مقایسه زوجی یا دو به دو استفاده می‌شود. در واقع این روش مقایسه‌ای، زمینه‌ای برای محاسبه اهمیت و وزن معیارها است. از مزیت‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی، امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام شده می‌باشد، برای تعیین اهمیت معیارها و زیر معیارهاست. زیرا وقتی اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر محاسبه می‌شوند، احتمال ناهماهنگی در قضاوت‌ها بوجود می‌آید. چنانچه مقدار ضریب سازگاری مساوی یا کوچک‌تر از ۰/۱ باشد، نشان می‌دهد سازگاری لازم در قضاوت‌ها ایجاد شده است.

مرحله ۴) در این مرحله پس از اینکه ماتریس موجود بر اساس رابطه بالا نرمال گردید، در وزن هریک از شاخص‌های به‌دست آمده از مدل AHP ضرب و سپس ماتریس نرمال شده از رابطه ۱۲حاصل می‌گردد.

$$V = R_{ij} \times W_j \qquad (۱۲)$$

که درآن $R_{ij}$ ماتریس نرمال شده و $W_j$ وزن معیارهاست که با AHP است.

مرحله ۵) تعیین بهترین و بدترین مقدار از میان مقادیر موجود برای هر معیار

بهترین مقدار ($f_j^*$) برابر با $\max f_{ij}$ و بدترین مقدار ($f_j^-$) برابر با $\min f_{ij}$ بود.

مرحله ۶) محاسبه بیش‌ترین مطلوبیت (S) و مقدار عدم مطلوبیت (R)

در این مرحله مقدار $S_i$ و $R_i$ با روابط ۱۳ و ۱۴ محاسبه می‌شود.

$$R_i = \text{Max}\{R_{ij}\} W_i \frac{fj* - fij}{fj* - fj^-} \qquad (۱۳)$$

$$S_i = \sum_{i=1}^{n} Wi \frac{fj^* - fij}{fj^* - fj^-} \qquad (۱۴)$$

که $W_i$ مقدار وزن برای معیار j و $f_{ij}$ هر معیار است.

مرحله ۷) محاسبه شاخص VIKOR (مقدار Q) که درآن است (رابطه ۱۵).

$$Q_i = V^*[S_i - S^-/S^* - S^-] + (1 - V)^*(R_i - R^-)/(R^* - R^-) \qquad (۱۵)$$

$$R^* = \text{Max}R_i gR^- = \text{Min}R_i S^* = \text{Max}S_i \cdot S = \text{Min}S_i$$

مرحله ۸) مرتب کردن گزینه‌ها بر اساس مقادیر R ، S و Q

در این مرحله با توجه به مقادیر R، S و Q گزینه‌ها در سه گروه از کوچک‌تر به بزرگ‌تر مرتب می‌شوند و در نهایت گزینه ای به‌عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود که در هر سه گروه، گزینه برتر مشخص می‌شود (کاظمی‌نیا، ۲۰۱۶). روش ویکور یک تصمیم‌گیری چندمعیاره برای حل یک مساله تصمیم‌گیری با معیارهای نامناسب و واحدهای اندازه‌گیری مختلف و متعارض می‌باشد. روش VIKOR بر تمرکز بر رتبه‌بندی و انتخاب از بین یک مجموعه راه کار در مساله‌ای با داشتن معیارهای مخالف هدف‌گذاری شده است. نتایج نشان داده شده در روش ویکور لیست رتبه‌بندی توافقی به اضافه یک یا چند راه‌حل توافقی خواهد بود.

1 Vlse Kriterijumsk Optimizacija Kompromisno Resenje

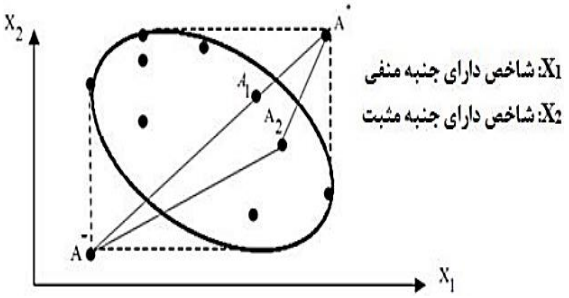
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



### ۲-۷- مدل TOPSIS[1]

تاپسیس یکی از معروف‌ترین روش‌های آماری چندمعیاره است که بطور گسترده ای در موقعیت‌های تصمیم واقعی به کارگرفته شده است. تاپسیس یکی از مدل‌های زیر گروه سازشی می‌باشد که زیر گروه سازشی نیز خود زیر گروه مدل جبرانی است. در مدل جبرانی، مبادله بین شاخص‌ها مجاز است یعنی به‌طور مثال ضعف یک شاخص ممکن است توسط امتیاز شاخص دیگری جبران شود. در مدل تاپسیس بهترین گزینه یک گزینه ذهنی خواهد بود که ارجح‌ترین ارزش یا مطلوبیت هر مشخصه را تأمین می‌کند. این تکنیک که توسط هوانگ و یون (۱۹۸۱) ارائه شده است، برترین پیشنهاد از راه مشابه راه‌حل ایده‌آل را ارائه می‌دهد. به این مفهوم که انتخاب گزینه باید کوتاه‌ترین مسافت را از راه‌حل ایده‌آل مثبت و در عین حال دورترین مسافت را از ایده‌آل منفی داشته باشد. فرض کنید مطلوبیت هر شاخص به‌طور یکنواخت افزایشی (یا کاهشی) باشد یا به‌عبارتی دیگر شاخص‌ها تنها جنبه مثبت یا منفی دارند. شاخصی که جنبه مثبت دارد سود و شاخصی که جنبه منفی دارد هزینه است. بنابراین به راحتی می‌توان راه‌حل ایده‌آل را مشخص نمود.




**شکل ۲: فاصله اقلیدسی راه‌حل ایده‌آل و راه‌حل ایده‌آل منفی در فضای دوبعدی**

تاپسیس یک روش تصمیم‌گیری قوی با استفاده از معیارهای کمی و کیفی برای اولویت‌بندی بوسیله شباهت و نزدیکی به جواب ایده‌آل می‌باشد. بر این اساس گزینه انتخابی باید کوتاه‌ترین فاصله را از جواب ایده‌آل داشته باشد. این روش هنگامی مفید است که با چندین فاکتور کمی و کیفی روبرو باشد. همچنین همپوشی پاره‌ای از معیارها در این روش در منطق برنامه و نتیجه‌گیری خللی به‌وجود نمی‌آورد. تاپسیس اطلاعات معیارها را در نظر می‌گیرد به نحوی که مجموعه‌ای از وزن‌ها نیز برای معیارها مورد نظر است. جواب، وابسته به طرح وزنی است که به وسیله تصمیم گیرنده داده می‌شود. خوشبختانه بعضی از روش‌های قابل اطمینان برای ارزیابی وزن‌ها شناسایی شده‌اند که مطلوبیت روش تاپسیس را افزایش خواهد داد. که طبق مراحل زیر اجرا می‌شود:

مرحله ۱) نرمال کردن ماتریس تصمیم

این فرآیند سعی می‌کند مقیاس‌های موجود در ماتریس تصمیم را بدون مقیاس نماید. به این ترتیب که هر کدام از مقادیر بر اندازه بردار مربوطه به همان شاخص تقسیم می‌شود. هر درایه $r_{ij}$ از ماتریس تصمیم نرمال شده R از معادله ۱۶به‌دست می‌آید :

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} X_{ij}^2}} \qquad (۱۶)$$

مرحله ۲) وزن دادن به ماتریس تصمیم نرمال شده

مجموعه‌ای از وزن‌ها ( W=(w1,w2,…wn که $\sum_j^n wj = 1$ توسط تصمیم گیرنده برای هر شاخص در نظر گرفته می‌شود. با ضرب کردن ستون j ام از ماتریس R در وزن مربوطه (wj) ماتریس تصمیم نرمال شده وزن دار V به‌دست می‌آید.

مرحله ۳) تعیین راه‌حل ایده‌آل و راه‌حل ایده‌آل منفی

دو گزینه مجازی A° و $A^-$ را به‌صورت رابطه ۱۷ و ۱۸ تعریف می‌کنیم.

$$A^\circ = \{(\mathrm{Max}_i v_{ij} \mid j \in J).(\mathrm{Max}_i \mid j \in J')i = 1.2.\ldots.m\} = \{v_1^*.v_2^*.\ldots.v_j^*.\ldots.v_n^*\} \qquad (۱۷)$$

گزینه ایده‌آل مثبت

$$A^- = \{(\mathrm{Max}_i v_{ij} \mid j \in J).(\mathrm{Max}_i \mid j \in J')i = 1.2.\ldots.m\} = \{v_1^-.v_2^-.\ldots.v_j^-.\ldots.v_n^-\} \qquad (۱۸)$$

گزینه ایده‌آل منفی مربوط به شاخص سود J

$$\mapsto J = \{j = 1.2.3.\ldots.n\}$$

دو گزینه مجازی ایجاد شده Ao و A- به‌ترتیب برترین گزینه (راه‌حل ایده‌آل) و کم اثرترین گزینه (راه‌حل ایده‌آل منفی) است.

مرحله ۴) محاسبه اندازه فاصله

فاصله بین هر گزینه n بعدی را می‌توان به روش اقلیدسی سنجید. فاصله گزینه i ام از ایده‌آل مثبت با رابطه ۱۹ و ۲۰ به‌دست می‌آید.

1 Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



$$S_{i*} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^*\right)^2} \quad i = 1.2.3. \ldots . m \qquad (۱۹)$$

به طور مشابه، فاصله گزینه i ام از ایده‌آل منفی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود :

$$S_{i-} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^-\right)^2} \quad i = 1.2.3. \ldots . m \qquad (۲۰)$$

مرحله ۵) محاسبه نزدیکی نسبی Ai نسبت به Ao که به‌صورت رابطه ۲۱ تعریف می‌شود

$$0 < C_{i*} < 1 \qquad (۲۱)$$

$$C_{i*} = \frac{S_{i-}}{S_{i*} + S_{i-}} \quad i = 1.2.3. \ldots . m$$

ملاحظه می‌شود که اگر $A^{\circ} = A_i$ آنگاه $C_{i*} = 1$ و اگر $A^{-} = A_i$ آنگاه $C_{i*} = 0$ است. پس هر چه قدر فاصله گزینه Ai به راه‌حل ایده‌آل Ao نزدیک‌تر باشد $C_{i*}$ به واحد نزدیکتر خواهد بود.

مرحله ۶) رتبه‌بندی گزینه‌ها

بر اساس ترتیب نزولی $C_{i*}$ می‌توان گزینه‌های موجود را رتبه‌بندی نمود.

### ۲-۸- اعتبارسنجی و ارزیابی مدل‌ها و معیارها

در نهایت پس از استخراج ۱۵ شاخص مورفومتری موثر در وضعیت سیل‌خیزی حوضه، با استفاده از سه تکنیک آماری چندمعیاره FAHP، VIKOR و TOPSIS، نسبت به وزندهی شاخص‌ها و اولویت‌بندی سیل‌خیزی حوضه اقدام شد. به‌منظور اعتبارسنجی و ارزیابی مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، با پیماش‌های میدانی تعداد بیست و چهار نقطه مستعد سیلاب در سه طبقه ارتفاعی، بطور تصادفی در کل حوضه (در سه منطقه مستعد سیلاب شامل مناطق بالادست، میانی و پایین‌دست حوضه) انتخاب و جانمایی گردید. سپس با استفاده از معیارهای صحت کلی و ضریب کاپا که از ماتریس خطا به‌دست می‌آیند، خروجی مدل‌ها اعتبارسنجی گردید. ماتریس خطا، بیانگر تطابق هر کلاس طبقه‌بندی شده با واقعیت زمینی است. معیار صحت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا (نقاطی که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند) تقسیم بر تعداد کل نقاط و طبق رابطه ۲۲ محاسبه می‌گردد.

$$A = \frac{\Sigma m_{ii}}{N} \qquad (۲۲)$$

که در این رابطه A دقت کلی، N تعداد کل نقاط و $\Sigma m_{ii}$ جمع تعداد نقاطی که درست طبقه‌بندی شده‌اند (معادله ۲۲)، می‌باشد. ضریب کاپا دقت طبقه‌بندی تصویر را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملا تصادفی محاسبه می‌کند. دامنه ضریب کاپا صفر تا یک می‌باشد که عدد یک بیانگر توافق صددرصد طبقه‌بندی با واقعیت زمینی است. شاخص کاپا از رابطه ۲۳ محاسبه می‌شود (دوتا و دکا، ۲۰۲۴):

$$K = \frac{(N * \sum_{i=1}^{n} m_{ii}) - \sum_{i=1}^{n} G_i C_i}{N^2 - \sum_{i=1}^{n} G_i C_i} \qquad (۲۳)$$

که در این رابطه K ضریب کاپا (معادله ۲۳)، $m_{ii}$ تعداد نمونه‌هایی که در واقعیت زمینی کلاس i بوده و در مقادیر اختصاص یافته نیز همان کلاس را دارند، Gi تعداد نمونه‌های واقعیت زمینی در کلاس i، Ci تعداد نمونه‌های اختصاص داده شده به کلاس i، n تعداد کلاس‌ها و N تعداد کل نمونه‌ها است.

## ۳- نتایج

در این مطالعه ۱۵ شاخص موثر بر سیل‌خیزی که عبارتند از شاخص درصد شیب و جهت حوضه، میزان تراکم زهکشی (کیلومتر به کیلومترمربع) ، طول جریان (کیلومتر)، فاصله از آبراهه (کیلومتر)، شکل حوزه، زمین‌شناسی و سازندها، کاربری اراضی، شاخص شماره منحنی، مقدار بارندگی و خاک حوضه، شاخص توان آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص تغییرات ارتفاعی منطقه و در نهایت پوشش‌گیاهی و شاخص NDVI بررسی گردید (پاوندمهر و همکاران، ۲۰۲۲). نتایج هر کدام از شاخص‌ها و وزن نهایی معیارها به شرح زیر در جدول (۲) ارائه شد. همچنین نقشه معیارهای مختلف موثر بر سیل حوضه به‌صورت طبقه‌بندی ارائه شده است (شکل۳).

فاصله از آبراهه (شکل۳)، نقش کلیدی در پهنه‌بندی سیلاب دارد به طوری که مناطق هموار و دشت سیلابی مسیل‌ها و آبراهه، نسبت به سایر مناطق ریسک سیل‌خیزی بالاتری خواهند داشت (بدری و همکاران، ۲۰۱۶). به همین دلیل در نقشه استانداردسازی شده فاصله از رودخانه برای ورود به مدل‌ها، به نقاط نزدیک به رودخانه بیش‌ترین امتیاز داده شده است. سازندهای زمین‌شناسی منطقه شامل آسماری، آغاجاری، ایلام- سروک، بختیاری، داریان، گورپی و

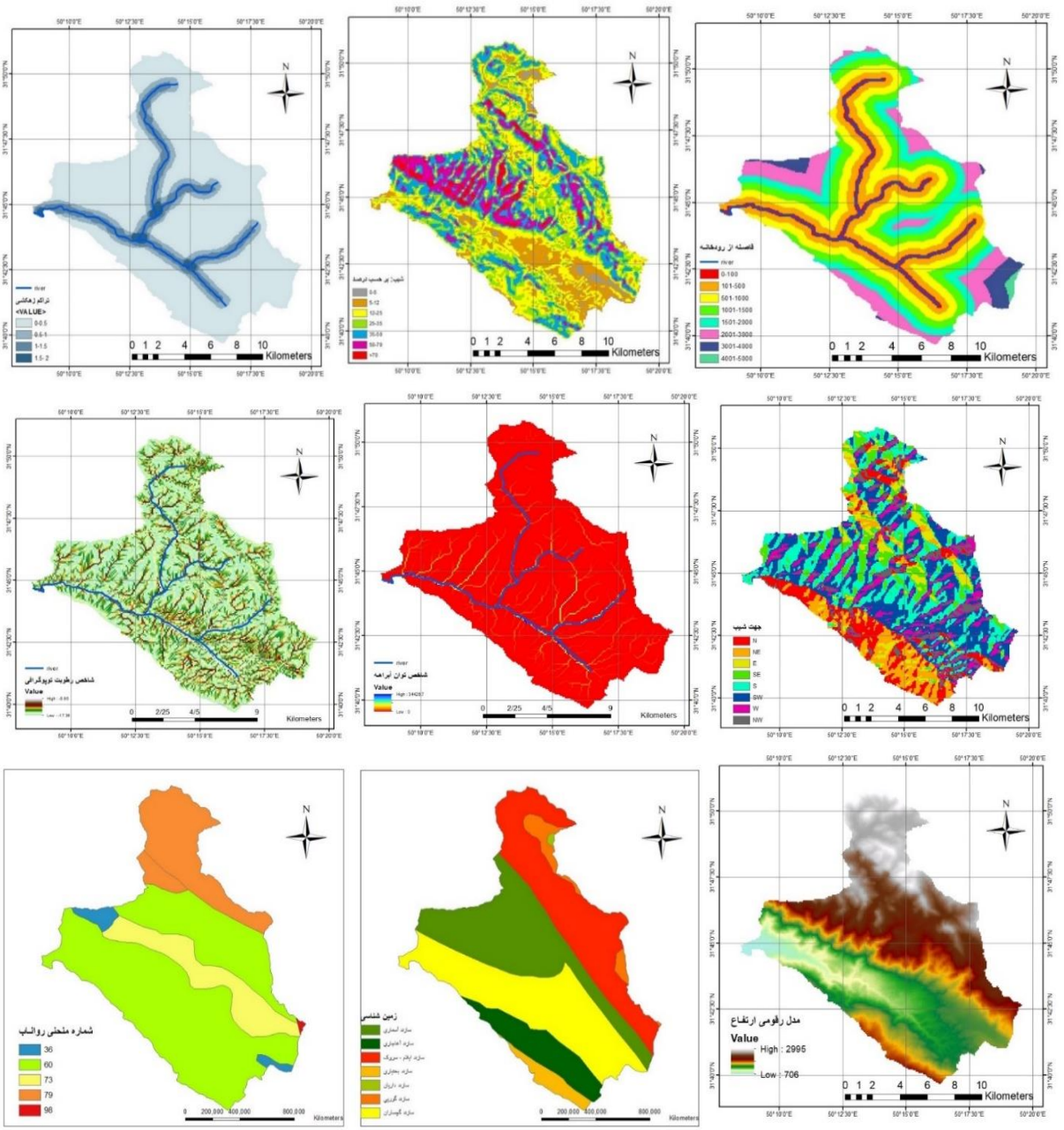
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



گچساران بوده که در نقشه استانداردسازی شده زمین‌شناسی باتوجه به درجه نفوذپذیری آن‌ها، به سازندهای نفوذناپذیری مثل آغاجاری و گورپی بیش‌ترین امتیاز در پدیده سیل، پس از آن سازند آسماری و سپس سازند بختیاری، ایلام سروک، داریان قرار گرفتند و سازند گچساران کم‌ترین امتیاز را دریافت نمودند.

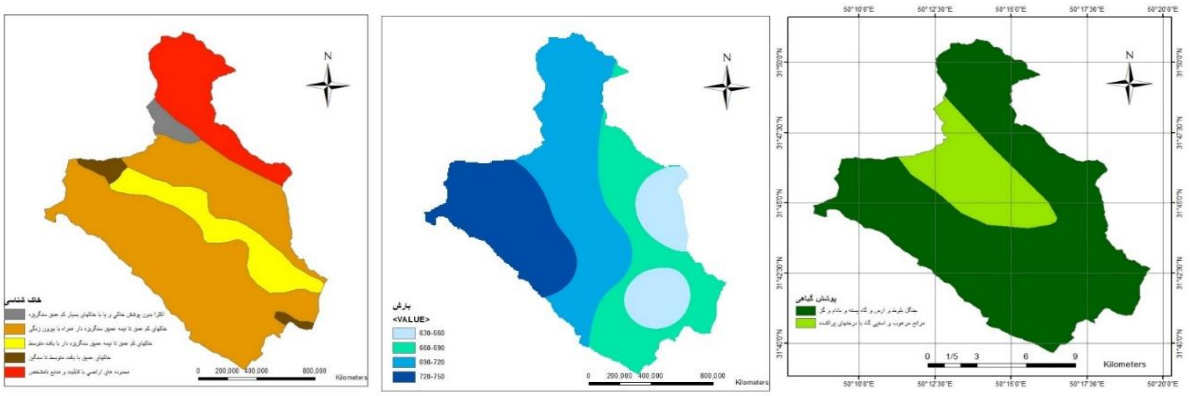
معیار تراکم زهکشی (شکل۳)، از پارامترهای مهم و با تاثیرگذاری مثبت بر سیل‌خیزی حوضه بوده که در منطقه مطالعاتی بین ۰ تا ۲ به‌دست آمد. البته هر چه حوضه بزرگتر باشد تراکم زهکشی بالاتری را نشان می‌دهد، با مشاهده نقشه معیار تراکم زهکشی حوضه مشخص شد که نقاط ارتفاعی و کوهستانی بالادست حوضه تراکم کم و در نقاط پست‌تر و دشتی میانی، تراکم آبراهه‌ای بیش‌تر شده که در سیل‌خیزی نقش بیش‌تری داشته است. نقشه درصد شیب نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان شیب به نواحی غربی و کم‌ترین میزان شیب به نواحی شرقی حوضه اختصاص دارد. در نـواحی با شیب بین ۱۰ تا ۳۰ درصد امکان وقوع سیل افزایشی است و بیش‌ترین امتیاز را نشان داد. در صورتی که در نواحی با شیب زیاد به علت افزایش سرعت رواناب، انباشت آب کم شده و امتیاز پایین‌تری در سیل‌خیزی حوزه آبخیز دارند.




Archive of SID.ir

Archive of SID.ir





**شکل ۳: نتایج نقشه رقومی معیارهای موثر بر سیلاب حوضه بالادستی سد کارون سه، به‌ترتیب: فاصله از آبراهه (کیلومتر)، درصد شیب، تراکم زهکشی (کیلومتر به کیلومترمربع)، جهت حوضه، توان آبراهه، رطوبت توپوگرافی، شاخص تغییرات ارتفاعی منطقه، زمین‌شناسی و سازندها، کاربری اراضی، شماره منحنی، منحنی بارندگی حوضه و خاک حوضه، و پوشش‌گیاهی حوضه**

معیار شماره منحنی رواناب، یک پارامتر هیدرولوژیکی برای پیش بینی مقادیر رواناب و نفوذ در هر واقعه بارش است. شماره منحنی بالاتر به معنای رولناب بیش‌تر و نفوذپذیری کم‌تر می‌باشد. حوزه آبخیز مذکور دارای شماره منحنی بین ۳۶ تا ۹۸ برآورد شد (شکل ۳). در مناطق ارتفاعی حوضه که از سازندهای نفوذناپذیر تشکیل شده است و متعاقب آن پوشش‌گیاهی مناسب ندارد و پوشش تنکی داشته، شماره منحنی بالاتر بوده و مناطق جنوبی حوضه که نفوذپذیر، دشتی و دشت‌های سیلابی منطقه را تشکیل داده، رواناب کم‌تری تولید می‌کند شماره منحنی پایین‌تری می‌گیرد. شاخص توان آبراهه که اثر توپوگرافی در تولید رواناب با فرض پایداری و یکنواختی شرایط خاک بیان می‌کند. مقادیر بالاتر در این شاخص، امتیاز سیل‌خیزی بیش‌تری دارند. شاخص رطوبت توپوگرافی که از دیگر پارامترهای مؤثر بر وقوع سیلاب می‌باشد، بیانگر مقدار انباشت جریان در هر مکان و روند قدرت جریان آب به پایین‌دست (بر اثر نیروی گرانش است) و رابطه مثبت و معنی‌داری بین افزایش خطر ریسک سیلاب با افزایش مقادیر این شاخص وجود دارد (سامانتا و همکاران، ۲۰۱۸)، بر این اساس با افزایش مقدار شاخص رطوبت توپوگرافی، احتمال وقوع سیل بیش‌تر خواهد شد و امتیاز بالاتری به شاخص تعلق می‌گیرد.

حوزه آبخیز مذکور دارای تغییرات ارتفاعی ۷۱۰ تا ۲۹۹۵ متر از سطح دریا است (شکل ۳). این حوضه به لحاظ مورفولوژیکی چین‌خوردگی‌های نسبتاً شدیدی در نواحی ارتفاعی شمالی دارد و در جهت‌های شرقی و غربی تپه ماهورهای کم ارتفاع و دشت‌های سیلابی هموار واقع شده است. بنابراین مناطق مرتفع‌تر پتانسیل بیش‌تری در تولید رواناب و سیلاب‌های فصلی دارند. لذا به مناطقی که دارای ارتفاع بیش‌تری بودند، ارزش بالاتری گرفتند. معیار پوشش‌گیاهی منطقه از عوامل کاهش‌دهنده سیل‌خیزی حوضه است. با توجه به مرور منابع صورت گرفته، پوشش مرتع و بیشه قابلیت جذب آب بیش‌تری نسبت به مابقی کاربری‌ها داشته (حسنلو، ۲۰۱۹)، با توجه به شکل خروجی، بیش‌تر مناطق حوضه از مرتع و بیشه زار تشکیل شده و مناطق بدون کاربری، کم‌ترین وسعت منطقه را دارند. در مناطق بدون کاربری به‌دلیل لخت بودن زمین، ضریب نفوذ کم و میزان تولید رواناب بیش‌تر می‌باشد و بالاترین امتیاز را گرفتند. از نظر بستر خاک، بخش اعظم حوزه آبخیز دارای خاکهای کم عمق تا نیمه عمیق سنگریزه دار همراه با بیرون زدگی است (شکل ۳). مشخصات سایر تیپ‌ها عبارتند از: خاک‌های کم عمق تا نیمه عمیق سنگریزه‌دار با بافت متوسط، خاک‌های عمیق با بافت متوسط تا سنگین، محدوده‌های ارضی با قابلیت و منابع نامشخص و اکثرا بدون پوشش خاکی و با خاک‌های بسیار کم‌عمق سنگریزه‌دار. بر اساس نقشه خاک حوزه مطالعاتی، نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک تهیه شد و به‌عنوان یکی از لایه‌های ورودی مدل‌ها استفاده شد. نتایج آنالیز وزن نهایی معیارها و شاخص‌های سیل‌خیزی در حوضه (جدول ۲) نشان داد از ۱۵ معیار ارزیابی شده، سه معیار پوشش زمین (NDVI)، شماره منحنی و فاصله از آبراهه به‌طور مجموع، ۴۸ درصد حساسیت مدل‌ها را به خود اختصاص دادند (۱۹درصد معیار پوشش زمین و NDVI، ۱۵ درصد معیار شماره منحنی و ۱۴ درصد معیار فاصله از آبراهه).

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



جدول ۲: وزن نهایی معیارها و شاخص‌های استفاده شده در مطالعه حوضه بالادست سد

| ردیف | معیار | وزن‌دهی | ردیف | معیار | وزن‌دهی |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | درصد شیب | ۰/۰۷ | ۹ | شاخص شماره منحنی | ۰/۱۵ |
| ۲ | جهت حوضه | ۰/۰۲ | ۱۰ | مقدار بارندگی (میلی‌متر) | ۰/۰۳ |
| ۳ | زمین‌شناسی و سازندها | ۰/۰۵ | ۱۱ | خاک حوضه | ۰/۰۴ |
| ۴ | طول جریان (کیلومتر) | ۰/۰۳ | ۱۲ | توان آبراهه | ۰/۰۳ |
| ۵ | فاصله از آبراهه (کیلومتر) | ۰/۱۴ | ۱۳ | رطوبت توپوگرافی | ۰/۰۳ |
| ۶ | شکل حوضه | ۰/۰۴ | ۱۴ | تغییرات ارتفاعی منطقه (متر) | ۰/۰۵ |
| ۷ | میزان تراکم زهکشی (کیلومتر به کیلومترمربع) | ۰/۰۴ | ۱۵ | پوشش‌گیاهی حوضه و NDVI | ۰/۱۹ |
| ۸ | کاربری اراضی | ۰/۱ | * | مجموع معیارها | ۱ |

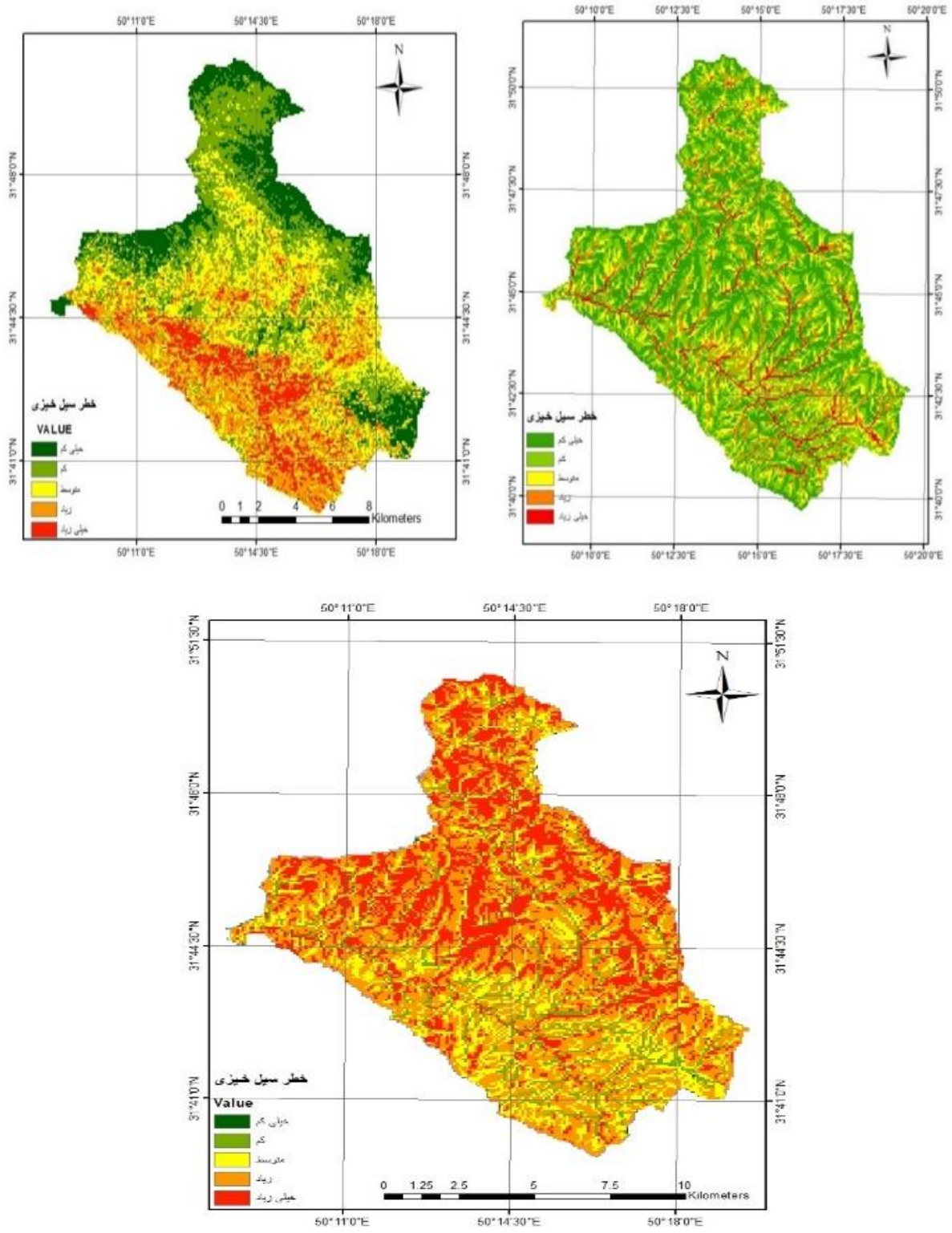
### ۳-۱- نتایج شبیه‌سازی خطر سیلاب در حوضه بر اساس سه مدل AHP فازی، ویکور و تاپسیس

نتایج شبیه‌سازی خطر سیلاب حوزه آبخیز بالادست سد کارون سه، با استفاده از سه مدل آماری و ترکیبی با شاخص پوشش‌گیاهی NDVI، با روش‌های AHP فازی، ویکور و تاپسیس در شکل (۴) نمایش داده شده است. بر این اساس، نتایج روش AHP فازی، مشخص شد که ۷۳ درصد مساحت حوضه در محدوده خطر سیل‌خیزی خیلی کم و کم، ۱۶ درصد خطر سیل‌خیزی متوسط و ۱۱ درصد خطر سیل خیزی زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. نتایج مدل ویکور نشان داد، ۲۷ درصد منطقه در طبقه با خطر سیل‌خیزی بسیار کم و کم، ۵۰ درصد خطر سیل‌خیزی متوسط و ۲۳ درصد منطقه در طبقه سیل‌خیزی با خطر زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است. همچنین نتایج روش چندمعیاره تاپسیس درصد مساحت طبقه با خطر سیل‌خیزی کم و بسیار کم را ۸ درصد، درصد خطر سیل‌خیزی مناطق متوسط را ۱۸درصد و ۷۴ درصد منطقه در طبقه سیل‌خیزی با خطر زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است. در نهایت به‌منظور ارزیابی دقت نقشه استخراج شده از سه روش شبیه‌سازی مکانی AHP فازی، ویکور و تاپسیس، از ماتریس خطا و معیارهای دقت بر اساس ۲۴ نقطه مستعد سیل حوضه که در بازدیدهای میدانی به‌دست آمده بودند، استفاده گردید. نتایج در جدول (۳) نشان داده شده است. بر این اساس، نقشه به‌دست آمده از روش AHP با دقت کلی ۰/۹۳ و ضریب کاپای ۰/۸۹ نسبت به دو روش دیگر از دقت بالاتری برخوردار بوده و روش قابل قبولی است. همچنین باتوجه به مشاهده نتایج روش‌های شبیه‌سازی مکانی، مشخص گردید به‌ترتیب روش AHP فازی نسبت به روش ویکور و روش ویکور نسبت به روش تاپسیس، از درصد مناطق با سیل‌خیزی کم کاسته می‌شود و به درصد مناطق با سیل‌خیزی بالا اضافه شده است. به کلام دیگری روش AHP فازی نسبت به روش ویکور و روش ویکور نسبت به روش تاپسیس، شبیه‌سازی مکانی (مناطق مستعد سیلاب) واقعی و محسوس‌تری را برآورد نموده است.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir






شکل ٤ : نقشه شبیه‌سازی سیلاب روش‌های چندمعیاره آماری AHP فازی (راست)، VIKOR (چپ) و TOPSIS (پایین)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



جدول ۳: نتایج ارزیابی دقت روش‌های شبیه‌سازی مناطق خطر سیلاب

| مدل‌های ترکیبی | دقت کلی | ضریب کاپا |
|---|---|---|
| AHP فازی | ۰/۹۳ | ۰/۸۹ |
| VIKOR | ۰/۸۹ | ۰/۸۵ |
| TOPSIS | ۰/۷۵ | ۰/۷۱ |

## ٤- نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف، شبیه‌سازی مکانی مناطق مستعد سیلاب در بالادست سدهای بزرگ مخزنی در استان خوزستان که با استفاده از مدل‌های چندمعیاره ترکیبی با تصاویر ماهواره‌ای از سه روش ترکیبی تاپسیس، AHP فازی و ویکور در یکی از زیرحوضه‌های بالادست سد کارون سه اجرا گردید. علاوه برآن پانزده معیار مختلف مؤثر بر شناسایی مناطق مستعد سیلاب حوضه در مدل‌های چندمتغیره ترکیبی-آماری مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. در نهایت از بین شاخص‌های انتخاب شده حساسیت‌سنجی صورت پذیرفت و حساس‌ترین شاخص‌ها به پدیده سیل حوضه انتخاب گردید. از بین کلیه شاخص‌ها، معیار شماره منحنی رواناب (۱۵ درصد)، معیار پوشش‌گیاهی و NDVI (۱۹درصد) و معیار فاصله از آبراهه (۱۴درصد)، حدود ۴۸ درصد از کل سهم سیل‌خیزی حوضه را به خود اختصاص داده و دارای بیش‌ترین تأثیر بر سیل‌خیزی حوضه می‌باشند. مشخص گردید شاخص (NDVI)، شاخص تراکم و سبزینگی گیاه نقش مستقیم و معنی‌داری در تغییرات رواناب تولیدی در واحدهای هیدرولوژیکی دارد و لذا به‌عنوان یک معیار کمکی به همه مدل‌ها وارد شد. نتایج نشان داد این معیار در قالب معیار پوشش‌گیاهی و کاربری اراضی نقش مهمتری نسبت به سایر معیارهای استفاده شده در مطالعه داشت. این نتایج با نتایج (نسرین‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۳)، (کریمی‌مفرح و قوام، ۲۰۱۷)، (سینگ و همکاران، ۲۰۲۴)، مطابقت دارد. همچنین جهت دامنه شیب و شاخص بارندگی (با توجه به یکنواختی شاخص در سطح حوضه) دارای کم‌ترین تأثیر (در مجموع کم‌تر از ۵ درصد) در بین پارامترهای مورد بررسی هستند. از آنجایی‌که نقشه شماره منحنی تأثیر پارامترهای کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، پوشش‌گیاهی و بارش حوضه را همزمان درنظر می‌گیرید، بنابراین معیار هیدرولوژیکی در تعیین مناطق سیلاب حوضه می‌باشد که با نتایج نوری (۲۰۱۹)، بدری و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. پوشش‌گیاهی و کاربری‌اراضی با ارزش وزنی ۱۹درصد دیگر پارامتر تأثیرگذار در سیل‌خیزی منطقه مورد مطالعه است. کاربری‌های اراضی منطقه شامل کشاورزی، مراتع متوسط، جنگل بلوط و مراتع مرغوب است که به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین سهم در وقوع سیلاب را به خود اختصاص می‌دهند. فاصله از آبراهه نیز با ارزش وزنی حدود ۱۵ درصد، پارامتر تأثیرگذار بعدی بوده که رابطه کاملاً معکوس با سیل‌خیزی منطقه دارد که با مطالعه قنواتی (۲۰۱۳)، بدری و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. در نهایت مشخص شد در روش AHP فازی، به‌دلیل استفاده از روش فازی در اولویت‌بندی معیارها، مقایسه زوجی و وزن‌دهی آن‌ها، سپس معیارها در هر گروه، مورد مقایسه زوجی قرار گرفته و تعیین وزن می‌شوند نسبت به دو روش دیگر از دقت بالاتری برخوردار است. در نهایت وزن هر معیار محاسبه شده و بهترین گزینه انتخاب می‌شود. لذا بهترین گزینه آن است که از بیش‌ترین وزن برخوردار باشد. لذا نقشه به‌دست آمده از روش AHP با دقت کلی ۰/۹۳ و ضریب کاپای ۰/۸۹ نسبت به دو روش دیگر از دقت بالاتری برخوردار بوده و روش قابل قبول‌تری است. همچنین با توجه به مشاهده نتایج روش‌های شبیه‌سازی مکانی، مشخص گردید به‌ترتیب روش AHP فازی نسبت به روش ویکور و روش ویکور نسبت به روش تاپسیس، از درصد مناطق با سیل‌خیزی کم کاسته می‌شود و به درصد مناطق با سیل‌خیزی بالا اضافه شده است و این روش بیش‌ترین تطابق را با مشاهدات میدانی داشته است، که با مطالعات موسوی و همکاران (۲۰۱۶)، سامنتا و همکاران (۲۰۱۸)، مطابقت دارد. بنابراین مدل تصمیم‌گیری AHP فازی با استفاده از شاخص NDVI به‌عنوان مدل بهینه در این منطقه پیشنهاد می‌شود. هم‌چنین مشخص گردید روش تاپسیس نسبت به ویکور و روش ویکور نسبت به AHP فازی

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



با بیش برآوردی مناطق مستعد سیلاب همراه بودند. لذا پیشنهاد می‌گردد جهت شبیه‌سازی مکانی دقیق‌تر مناطق مستعد سیلابی حوضه‌ها از شاخص‌های سنجش از دوری، شاخص‌های پوشش‌گیاهی، دمای سطح زمین و شاخص‌های حرارتی و هم‌چنین از سنجنده‌های حرارتی استفاده گردد.

## سپاسگزاری

در این بخش از همکاری و مساعدت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در مراحل مختلف انجام پژوهش به‌ویژه در اختیار قرار دادن وسیله نقلیه به‌منظور بازدیدهای میدانی تشکر و قدردانی می‌گردد.

## ۵- مراجع

پاوندمهر، پ. (۱۴۰۰). استفاده توأم از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و شاخص‌های سنجش از دور در پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی حوزه آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز رکعت خوزستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد اکوهیدرولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، دانشکده منابع طبیعی، ۸۸ ص.

صابرفر، ر.، فلاحتکار، س.، کیا، س.ح. (۱۳۹۷). تحلیل تغییرات شاخص‌های پوشش‌گیاهی در سنجنده‌های ماهواره لندست. اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۹ (۱)، ۹۱-۷۱.

کاظمی‌نیا، ع. ( ۱۳۹۶). کاربرد سنجش از دور و GIS در بررسی پوشش‌گیاهی. مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، ۹ (۱)، ۸۵-۷۵.

کریمی‌مفرح، ب.، قوام، م. (۱۳۹۶). مقایسه شاخص‌های NDVI و EVI در بررسی پوشش‌گیاهی شهرستان دماوند. چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، تهران. ص ۱۸.

نسرین‌نژاد، ن.، رنگزن، کاظم.، کلانتری، ن.، صابری، ع. (۱۳۹۳). پهنه‌بندی ظرفیت سیلابی حوزه آبخیز باغان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) مجله سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در مناطق طبیعی، ۵(۴)، ۳۳-۱۵.

## References

Badri, B., Zare, R., Honarbakhsh, A., Atashkhar, F. (2016). Prioritization of flood potential Beheshtabad Sub-watershed. Journal of Geographical Studies, 48(1), 143-158, (In Persian)

Dutta, P., Deka, S. (2024). A novel approach to flood risk assessment: Synergizing with geospatial based MCDM-AHP model, multi-collinearity, and sensitivity analysis in the Lower Brahmaputra Floodplain, Assam, Journal of Cleaner Production, Volume467,https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142985.

Eftekhari, A.R., Sadeghloo, T., Ahmadabadi, A., Qidari Sojasi, H. (2010). Zoning of rural regions in flood hazard with use of Hec-GeoRAS model in GIS sphere, Journal of Rural Development, 1 (1), 156-182.

Ghanavati, E., Karam, A., Aghaalikhani, M. (2013). Flood risk zonation in the farahzad basin (Tehran) using Fuzzy model, Geography and Environmental Planning, 23(4), 121-138.

Karimi Mofarah, B., Qavam, M. (2016). Comparison of NDVI and EVI indices in the investigation of vegetation in Damavand city, The 4th International Conference on Environmental Planning and Management, Tehran. 20.1001 .1. 26453851.1401.5.1.12.1.(In Persian)

Kazeminia, A. (2016). The application of remote sensing and GIS in vegetation survey, Mapping and Geospatial Information Engineering, 9(1), 75-85. (In Persian)

Mohammadi, A., Ahmadi, H. (2011). Prioritizing Sub watershed to aim present management Watershed Reduction Programs (case study: Marof watershed). Journal of Geography of the land. 2011; 29: 69.

Mosavi, S.M., Negahban, S., Rakhasni Moghadam, H., Hossinzadeh, S.M., (2017). Assessment and zoning flood risk by using Fuzzy logic TOPSIS in GIS (Case study: Baghmalek urban catchment). Environmental Hazards, 5(10), 79-98.

Nasrin Nejad, N., Rangzen, K., Kalantari, N., Saberi, A. (2013). Zoning of flood capacity of Baghan watershed using Fuzzy Hierarchy Analysis (FAHP) method. Journal of Remote Sensing and Geographical Information System in Natural Areas, 5th, 4, 15-33. (In Persian)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



Nouri, H., Shahedi, K., Habibnezhad roshan, M., Kavian, A., Faramarzi, M. (2019). Susceptibility to flooding in the Razavar Watershed using analytical hierarchy process method, Journal of Natural Environmental Hazards (JNEH), 8(19), 35-50.

Pavandmehr, P. (2022). Combined use of multi-criteria decision-making techniques and remote sensing indicators in watershed flood risk zoning (Case study: Rakat watershed of Khuzestan). Master's thesis in ecohydrology, Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Faculty of Natural Resources, 88 p. (In Persian)

Saberfar, R., Falahatkar, S., Kia, S.H. (2017). Analysis of vegetation index changes in Landsat satellite gauges. Natural Ecosystems of Iran, 9(1), 71-91, (In Persian)

Samanta, R., Bhunia G., Shit, P., Pourghasemi, H. R. (2018). Flood susceptibility mapping using geospatial frequency ratio technique: a case study of Subarnarekha River Basin, India. Modeling Earth Systems and Environment, 4(1), 395-408.

Singh, S.R., Harirchian, E., Edward C., Monjardin, F., Lahmer, T. (2024). GIS-Based risk assessment of building vulnerability in flood zones of Naic, Cavite, Philippines Using AHP and TOPSIS, GeoHazards, 5, 1040-1073.

Tincu, R., Lazar, G., Lazar, I. (2018). Modified flash flood potential index in order to estimate areas with predisposition to water accumulation, Open Geosciences, 10(1), 593-606.

Archive of SID.ir