



## Preparation of flood sensitivity map and probability of its occurrence using Shannon's entropy model (case study of Firoozabad river watershed)

Mohammad Ebrahim Afifi

Associate Professor of Geomorphology, Department of Geography, Islamic Azad University, Larestan, Iran  
Email: [Afifi.ebrahim6353@gmail.com](mailto:Afifi.ebrahim6353@gmail.com)

| Article Info                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | ABSTRACT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Article type:</b><br/>Research Article</p> <p><b>Article history:</b><br/>Received<br/>2019/05/01<br/>Received in revised<br/>2021/03/15<br/>Accepted<br/>2021/06/06<br/>Published<br/>2021/06/14<br/>Published online<br/>2024/01/21</p> <p><b>Keywords:</b><br/>Shannon Entropy Model,<br/>Flood Susceptibility,<br/>Watershed,<br/>Firoozabad River.</p>                                   | <p>Among the natural hazards, without a doubt, the flood is known as a natural disaster. In this research, Shannon entropy model was used to prepare a flood sensitivity map. In this research, the Shannon entropy model was used to create a flood sensitivity map. Initially, 34 flood watersheds were selected from the Firoozabad basin, then these 34 points were classified into two groups. Out of the 34 points, 22 points (65 percent) were used for training and modeling, while the remaining 12 points (35 percent) were not used in the modeling process and were reserved for validation. First, a map depicting the flood status was developed. Then, ten factors, including slope, aspect, lithology, land use, NDVI, SPI, TWI, altitude, rainfall, and distance from the river, were selected as flood factors. Prioritizing the factors that have an impact on flood occurrence based on the Shannon entropy index revealed that the NDVI layers (2.03), rainfall (2.00), distance from the river (1.89), SPI (1.385), elevation classes (0.999), gradient with weight (0.932), lithology (0.478), TWI (0.379), land use (0.280) and aspect (0.184) had the highest and lowest impacts on flood events, respectively The results of the ROC curve showed that the predicted surface area under the curve with the validation data (35 percent) was equal to 91.42 percent, and the success rate with the training data (65 percent) was equal to 92.53 percent.</p> |
| <p><b>Cite this article:</b> Afifi, Mohammad Ebrahim. (2025). Preparation of flood sensitivity map and probability of its occurrence using Shannon's entropy model (case study of Firozabad river watershed). <i>Journal of Applied Researches in Geographical Sciences</i>, 75 (24), 378-391. DOI: <a href="http://dx.doi.org/10.61186/jgs.24.75.2">http://dx.doi.org/10.61186/jgs.24.75.2</a></p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <div>  <p>© The Author(s). Publisher: Kharazmi University.<br/>DOI: <a href="http://dx.doi.org/10.61186/jgs.24.75.2">http://dx.doi.org/10.61186/jgs.24.75.2</a></p> </div>                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |



## Extended Abstract

### Introduction

Among the natural hazards, without a doubt, floods are known as natural disasters (Afifi, 2017). In this research, the Shannon entropy model was used to prepare a flood sensitivity map. First, 34 flood watersheds were selected from the Firoozabad basin, and then these 34 points were classified into two groups. 22 points, accounting for 65 percent of the points, were used for training and modeling, and 12 points, accounting for 35 percent of the locations, were not used in the modeling and were used for validation. First, a map of the flood status was developed. Then, 10 factors - slope, tilt, lithology, land use, NDVI, SPI, TWI, altitude, rainfall, and distance from the river - were selected as flood factors in the Firoozabad basin. Prioritizing the effective factors in flood occurrence using the Shannon entropy index showed that the NDVI layers (2.03), rainfall (0.00), distance from the river (1.89), SPI (385.1), elevation classes (999 (0.19), gradient with weight (0.932), lithology (478.0), TWI (379.0), and land use (280.0) had the highest to least impact on flood events, respectively (0.184). Based on the results of the ROC curve, the predicted surface area under the curve with 35% of the validation data was equal to 91.42%, and for the success rate with 65% of the training data, it was equal to 92.53%.

### Material and Methods

The most important factors affecting the occurrence of floodwaters in Firoozabad include slope, slope direction, distance from the river, elevation classes, rainfall, topographic humidity (TWI), land use, vegetation cover (NDVI), and river power index (SPI). The form of these factors has been prepared. One of the important factors that directly affects the floods of different basins is the slope of the earth. The greater the gradient of the ground, the less influence the runoff has and the runoff is more powerful and faster. The second factor considered in this study is flood and its effects. The figure is based on the Digital Elevation Model and the ArcGis software, which has ten classes. To determine the distance from the river, the multiring buffer command in ArcGis software was used, and it was classified into five classes. To analyze the effective factor of elevation classes, a digital elevation model was used in ArcGis software, classified into five classes. Two important factors, SPI and TWI, are known as significant factors in connection with water. TWI represents the amount of flow accumulation in each location in the catchment area and the flow trend downstream by gravity.

### Results and Discussion

An entropy index is a measure of equality in which groups are distributed evenly and uniformly among organizational units. It defines an entropy index as the measure of the average difference between the share of unit groups in a system as a whole. Entropy is one of the management approaches used to deal with irregularities, instability, turmoil, and uncertainties in a system.



## Conclusion

One of the primary approaches for mitigating flood damage and financial losses is through the establishment of a flood susceptibility model. Thus, this research focuses on evaluating the Shannon and Fuzzy entropy model to assess the sensitivity and probability of flood occurrence in the Firoozabad River basin. The initial step involved delineating the flood conditions within the studied catchment area. Subsequently, ten flood factors were selected for the Firoozabad basin, which included slope, aspect, lithology, land use, NDVI, SPI, TWI, elevation, rainfall, and distance from the river. Evaluating the significance of these factors in flood occurrence using the Shannon entropy index revealed that the NDVI layers (2.03), rainfall (0.00), distance from the river (1.89), SPI (385.1), elevation classes (999 (0.19), weighted gradient (0.932), lithology (478.0), TWI (379.0), and land use (280.0) possessed the most and least considerable influence on flood events, respectively (0.184). According to the results obtained from the ROC curve, the projected area under the curve was found to be 35%.

**Keywords:** Shannon Entropy Model, Flood Susceptibility, Watershed, Firoozabad River.

## References

Afifi mohammad,. Ebrahim ( 2017). Application of GIS for Flood Zoning Hazard in Shiraz International Journal of Ecology & Development number 22.

## تهیه نقشه حساسیت سیلاب و احتمال وقوع آن با استفاده از مدل آنتروپی شانون (مطالعه موردی حوضه آبخیز رودخانه فیروزآباد)

محمد ابراهیم عفیفی

نویسنده مسئول، دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران.

رایانامه: [Afifi.ebrahim6353@gmail.com](mailto:Afifi.ebrahim6353@gmail.com)

| اطلاعات مقاله                                                                                                                                                                                                          | چکیده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| نوع مقاله:<br>مقاله پژوهشی                                                                                                                                                                                             | در بین مخاطرات طبیعی بدون شک سیلاب به عنوان یک بلای طبیعی شناخته شده است. در این تحقیق از مدل آنتروپی شانون جهت تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل استفاده شده است که ابتدا ۳۴ نقطه سیلابی حوضه آبخیز فیروزآباد انتخاب گردید و سپس این ۳۴ نقطه به دو گروه طبقه بندی گردیده اند؛ که ۲۲ نقطه، ۶۵ درصد از موقعیت نقاط برای آموزش و مدل سازی و ۱۲ نقطه، ۳۵ درصد از موقعیت نقاط که در مدل سازی به کار گرفته نشده اند برای اعتبار سنجی مورد استفاده قرار گرفته اند؛ که ابتدا به تهیه نقشه موقعیت سیل ها پرداخته شد و سپس ۱۰ فاکتور، شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، SPI، NDVI، TWI، طبقات ارتفاعی، بارندگی و فاصله از رودخانه به عنوان عوامل مؤثر در وقوع سیل در حوضه آبخیز فیروزآباد انتخاب شدند. اولویت بندی عوامل مؤثر در وقوع سیل توسط شاخص آنتروپی شانون نشان داد که لایه های NDVI (۰/۳)، بارندگی (۰/۰۰)، فاصله از رودخانه (۸۹/۱)، SPI (۳۸۵/۱)، طبقات ارتفاعی (۹۹۹/۰)، شیب با وزن (۹۳۲/۰)، لیتولوژی (۴۷۸/۰)، TWI (۳۷۹/۰) و کاربری اراضی (۲۸۰/۰)، جهت شیب (۱۸۴/۰) به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین تأثیر بر وقوع سیل می باشند. بر اساس نتایج منحنی ROC برای میزان پیش بینی مقدار سطح زیر منحنی با ۳۵ درصد داده های اعتبارسنجی برابر (۴۲/۹۱ درصد) و برای میزان موفقیت با ۶۵ درصد داده های آموزش برابر (۵۳/۹۲ درصد) می باشد. |
| تاریخ دریافت:<br>۱۳۹۸/۰۲/۱۱                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| تاریخ بازنگری:<br>۱۳۹۹/۱۰/۲۵                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| تاریخ پذیرش:<br>۱۴۰۰/۰۳/۱۶                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| تاریخ انتشار:<br>۱۴۰۰/۰۳/۲۴                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| تاریخ انتشار آنلاین:<br>۱۴۰۲/۱۱/۰۱                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| کلیدواژه ها:<br>مدل آنتروپی شانون،<br>حساسیت به وقوع سیل،<br>حوضه آبخیز،<br>رودخانه فیروزآباد.                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| استناد: عفیفی، نام؛ محمد ابراهیم. (۱۴۰۳). تهیه نقشه حساسیت سیلاب و احتمال وقوع آن با استفاده از مدل آنتروپی شانون (مطالعه موردی حوضه آبخیز رودخانه فیروزآباد). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۷۵ (۲۴)، ۳۷۸-۳۹۱. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <a href="http://dx.doi.org/10.61186/jgs.24.75.2">http://dx.doi.org/10.61186/jgs.24.75.2</a>                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.                                                                                                                                                                                           | © نویسندگان.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |



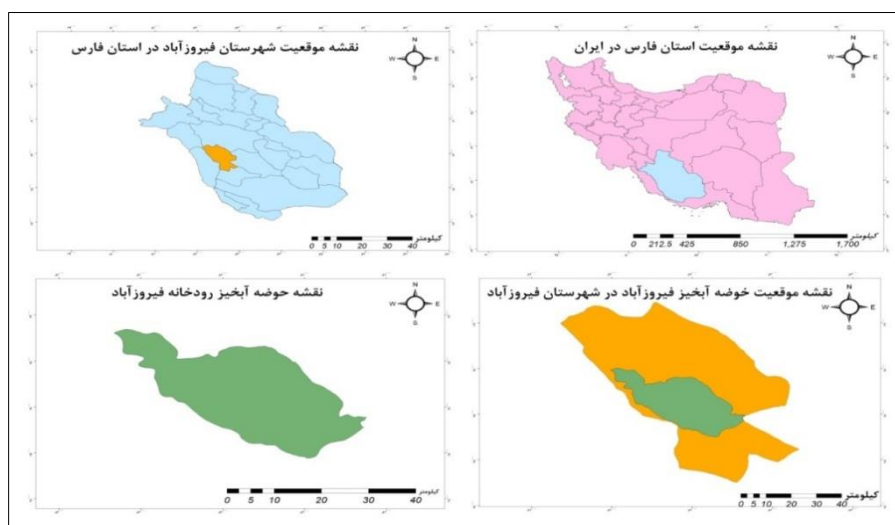
## مقدمه

سیل یکی از پدیده‌های پیچیده و مخرب طبیعی است که هر ساله خسارات فراوانی را به دنبال دارد. (عفیفی ۱۳۹۴:۵۰) به‌منظور برنامه‌ریزی جهت بهره‌برداری بهینه و کنترل پدیده‌های طبیعی سیل که از مسائل موجود در کره زمین و از جمله کشور ما نیز می‌باشد، مطالعات و تحقیقات زیادی موردنیاز است. (قنواتی ۱۳۹۲:۱۱۳) در کشور ایران، در طی چند سال اخیر ۱۲۶۰ سیل با میانگین ۳۰ سیل در سال رخ داده است که این آمار حاکی از رشد وقوع سیل در سال‌های اخیر به میزان ۴۰٪ می‌باشد. (پورخسروانی و همکاران ۱۳۹۶:۱۶) آمارها حاکی از آن است که سیلاب چه از نظر تلفات جانی و چه از نظر تلفات مالی مقام اول را در میان حوادث دیگر داراست. این امر کشور ایران را به لحاظ سیل‌خیزی در رتبه هفتمین کشور دنیا قرار داده است (قهرودی ۱۳۹۱:۵۲). وقوع سیل و خسارات ناشی از آن در ایران طی سال‌های اخیر روند افزایشی داشته است، حال آنکه به آن توجه زیادی نشده است. (یمانی ۱۳۸۴:۵۴) از سال ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۷ حدود ۳۹۰۰۰۰ نفر در اثر بلایای طبیعی در جهان کشته شدند که ۵۸ درصد مربوط به سیلاب، ۲۶ درصد در اثر زلزله ۱۶ درصد در اثر طوفان و بلایای دیگر بوده است. (پورقاسمی ۱۳۹۲:۱۸۱) خسارات کل در این ۱۰ سال حدود ۷۰۰ میلیارد دلار بوده است که به ترتیب ۳۳، ۲۹، ۲۸ درصد مربوط به سیلاب طوفان و زلزله بوده است. (عفیفی ۱۳۹۲:۱۵) در این رابطه نکته نگران کننده، روند افزایشی تلفات و خسارات سیلاب در جهان در دهه‌های اخیر بوده است. (موسوی ۱۳۹۵:۸۹) به ارزیابی و پهنه‌بندی سیل‌خیزی با استفاده از منطق فازی TOPSIS در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهر باغ‌ملک) پرداختند نتایج نشان داد ۸۶ / ۱۷ درصد از محدوده در منطقه با خطر بسیار بالا ۱۵ / ۲۴ درصد در پهنه با خطر بالا قرار دارد. (نوحانی ۱۳۹۵:۲۰) به ارزیابی مدل آنتروپی شانون در تهیه شکل حساسیت و احتمال وقوع به سیل در حوضه آبریز هراز پرداختند که نتایج نشان داد سطح زیر منحنی با موقعیت‌های نقاط آموزش برای مدل آنتروپی شانون برابر با ۵۳ / ۹۲٪ با صحت پیش‌بینی ۴۲ / ۹۱٪ می‌باشد، پس صحت بالای این مدل حاکی از قابل‌اعتماد بودن، جهت تهیه شکل حساسیت به وقوع سیل می‌باشد. افزایش جمعیت و دارایی‌ها در سیلاب دشت‌ها تغییرات هیدرو سیستم‌ها و اثرات مخرب فعالیت‌های انسانی از دلایل عمده این روند افزایش بوده است. (شریفی پیجون ۱۳۹۷:۱۵) به ارزیابی و تحلیل فضایی سیل‌گیری رودخانه قره بسو با استفاده از منطق فازی در GIS پرداختند که بر اساس نتایج خروجی مدل فازی و همپوشانی شکل سیل‌گیری، مؤثرترین سطوح در ایجاد پهنه‌های سیل گیر اغلب شیب بین ۰ تا ۵۰ درجه، سطوح ارتفاعی ۱۲۴۰ تا ۱۲۵۰، تراکم زهکشی ۴ / ۰ تا ۱، بارش ۶۵۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر، انحنای پروفیل ۴ / ۰ و انحنای پلانیمتری ۶ / ۰ و کاربری اراضی شهری و فاصله ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متری از آبراهه می‌باشد. (مصطفی زاده ۱۳۹۷:۸۹) به بررسی تحلیل الگو و شرایط وقوع بارش‌های منجر به سیل در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ در شهرستان گرمی استان اردبیل پرداختند که بر اساس نتایج تحقیق عامل مؤثر در ایجاد بارش‌های سنگین در زمان و مکان مورد مطالعه وجود مرکز کم‌فشار حرارتی بر فراز منطقه مورد مطالعه و همچنین شکل‌گیری دو موج همراه با هسته بلوکی‌نگ شده بر فراز دریای مدیترانه و وجود دو منطقه کم‌فشار می‌باشد. (Tehrani 72:2014). توسط تکنیک svm چهار تابع Liner Radial Basis Function, Polynomial و Sigmoid به بررسی پهنه‌بندی مناطق حساس به وقوع سیل در مالزی پرداختند. آن‌ها بیان نمودند که مساحت سطح زیر منحنی به ترتیب برای توابع فوق برابر با ۶۳ / ۸۴، ۹۲ / ۸۳، ۹۶ / ۸۴، ۸۸ / ۸۱ می‌باشد (Tehrani 72:2015). در تحقیقی تحت عنوان شکل حساسیت به وقوع سیل توسط ترکیب مدل‌های آماری دو متغیره و چند متغیره در کره پرداختند. نتایج نرخ موفقیت و نرخ پیش‌بینی برابر با ۷ / ۹۲ و ۳ / ۸۲ درصد می‌باشد. (khosravi 656:2016) به بررسی سه مدل آماری دو متغیره، شامل آنتروپی شانون، شاخص آماری و فاکتور وزن دهی جهت تهیه شکل‌های حساسیت به وقوع سیل در استان مازندران پرداختند و بیان نمودند که روش شاخص آماری با مساحت زیر منحنی ۷ / ۹۸ درصد دارای بیشترین صحت جهت پهنه‌بندی مناطق حساس به وقوع سیل بوده و پس از آن مربوط به روش‌های فاکتور وزن دهی و آنتروپی شانون با مساحت زیر منحنی ۶ / ۹۷ و ۴ / ۹۲ درصد می‌باشد هدف از این تحقیق استفاده از مدل آنتروپی شانون جهت تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوضه آبخیز فیروزآباد است.

## روش‌شناسی

## موقعیت منطقه مورد مطالعه

شهرستان فیروزآباد یکی از شهرستان‌های استان فارس بوده که با مساحت ۱۱۹۱۷ کیلومتر در غرب است واقع شده و مرکز آن شهر فیروزآباد است. شهر فیروزآباد در محدوده‌ی جنوب غربی استان فارس در عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی و طول ۵۲ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی و در ارتفاع ۱۳۲۵ متری از سطح آب‌های آزاد واقع شده است. حوضه آبخیز فیروزآباد یکی از زیرحوضه‌های آبخیز مند می‌باشد که حوضه آبخیز مند با مساحت ۴ میلیون و ۷۸۵ هزار و ۴۰۰ هکتار می‌باشد و در قلمرو سه استان فارس، بوشهر و هرمزگان گسترده شده است. حدود این حوضه از بلندای ۳۱۶۵ متری خرمکوه در زاگرس جنوبی تا سواحل خلیج فارس ادامه دارد (عفیفی ۱۳۹۱: ۳۵) شکل (۱).



شکل (۱). موقعیت حوضه آبخیز فیروزآباد

۱ - استفاده از مدل آنتروپی شانون و فازی جهت تهیه شکل حساسیت به وقوع سیل.

۲ - بررسی و ارزیابی و اعتبار سنجی مدل آنتروپی شانون و فازی

## فهرست وقوع سیل‌های گذشته

به‌منظور بررسی و ارزیابی پتانسیل سیل در حوضه آبریز رودخانه فیروزآباد، ابتدا به بررسی و تجزیه و تحلیل سیل‌های ثبت شده در این حوضه پرداخته شد. چون صحت وقایع سیلابی گذشته تأثیر بسیار بالایی بر روی صحت شکل حساسیت به وقوع سیل دارد. حوضه آبخیز رودخانه فیروزآباد در دهه‌های ۵۰ تا ۷۰ به‌شدت تحت تأثیر سیل‌های خطرناک بوده است. شکل ۲ موقعیت ۳۴ نقطه سیلابی در حوضه آبخیز رودخانه فیروزآباد را نشان می‌دهد. این ۳۴ نقطه به دو گروه طبقه‌بندی گردیده‌اند؛ که ۲۲ نقطه، ۶۵ درصد از موقعیت نقاط برای آموزش و مدل‌سازی و ۱۲ نقطه، ۳۵ درصد از موقعیت نقاط که در مدل‌سازی به کار گرفته نشده‌اند برای اعتبار سنجی مورداستفاده قرار گرفته‌اند (0.afifi 22:2017).

## انتخاب پارامترهای مؤثر در وقوع سیلاب

مهم‌ترین عوامل و فاکتورهایی که در وقوع سیل حوضه آبخیز فیروزآباد تأثیر دارند شامل شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، طبقات ارتفاعی، بارندگی، رطوبت توپوگرافی (TWI)، کاربری اراضی، پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص توان رودخانه (SPI) انتخاب و سپس به تهیه شکل این فاکتورها اقدام گردیده است. یکی از عوامل مهمی که تأثیر مستقیم بر وقوع سیل‌های حوضه‌های مختلف دارد شیب زمین می‌باشد. هر چه شیب زمین بیشتر باشد قدرت نفوذ رواناب کمتر و رواناب تشکیل‌شده دارای سرعت و قدرت بیشتری می‌باشد. دومین عامل در نظر گرفته شده در این تحقیق که بر وقوع

سیل و سیل گیری مؤثر می باشد جهت شیب می باشد؛ که شکل مزبور با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و نرم افزار ArcGis تهیه شده که در ده کلاس می باشد. برای تهیه شکل فاصله از رودخانه از توسط دستور multiring buffer در نرم افزار ArcGis استفاده شد و در ۵ کلاس تقسیم بندی گردید. جهت تهیه فاکتور مؤثر طبقات ارتفاعی از مدل رقومی ارتفاع در نرم افزار ArcGis استفاده شد که به ۵ کلاس طبقه بندی شد. دو فاکتور مهم (SPI) و (TWI) به فاکتورهای مهم در ارتباط با آب مشهور و شناخته شده هستند. TWI مقدار تجمع جریان در هر مکان در حوضه آبخیز و روند جریان به سمت پایین دست توسط نیروی ثقل تعریف می گردد. جهت تعیین شاخص رطوبت توپوگرافی از رابطه (۱) استفاده می گردد.

$$\text{TWI} = 1n(AS / \tan \beta) \quad \text{رابطه (۱)}$$

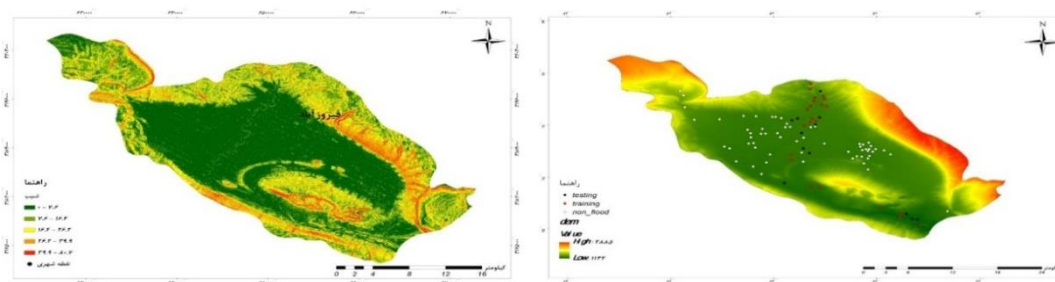
و سپس شکل TWI تهیه و سپس کلاس بندی شد. شاخص SPI نیز توسط رابطه (۲) تهیه و طبقه بندی شد.

$$\text{SPI} = (AS \times \tan \beta) \quad \text{رابطه (۲)}$$

از دیگر عامل های مهم در وقوع سیل عامل بارندگی می باشد که در ارزیابی پتانسیل سیل حوضه های آبخیز دارای اهمیت فراوانی است. زمین شناسی به طور کلی به علت داشتن سازندهای مختلف نقش مهمی را در وقوع سیل بازی می کند. این لایه با فرمت shp از اداره آب شهرستان فیروزآباد تهیه گردید و کلاس بندی گردید. تهیه شکل کاربری اراضی و NDVI با استفاده از تصویر سنجنده مربوط به ماهواره لندست تهیه شد. این شکل که نشان دهنده پوشش سطحی گیاهان و تراکم آنها در تصاویر می باشد تهیه و در کلاس هایی طبقه بندی شد این شاخص بین ۱- تا ۱+ می باشد؛ که با افزایش پوشش گیاهی، میزان ارزش حاصل از این نسبت گیری نیز افزایش می یابد که از طریق رابطه (۳) محاسبه می شود (massey 281:1988)

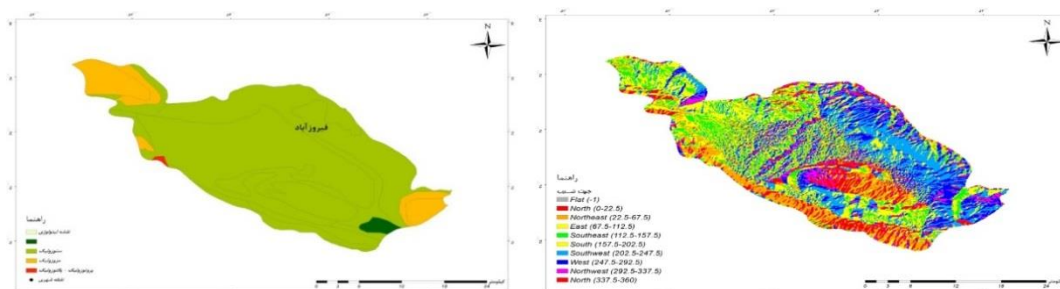
$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{VIS}) / (\text{NIR} + \text{VIS}) \quad \text{رابطه (۳)}$$

که VIS و NIR به ترتیب اندازه گیری بازگشت طیف نور مرئی و مادون قرمز نزدیک می باشد.



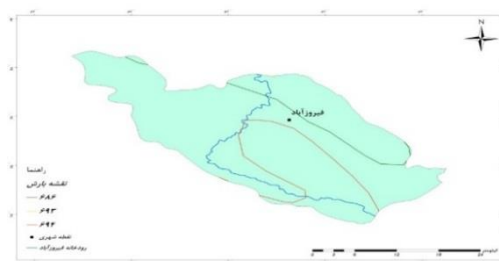
شکل (۲). موقعیت نقاط سیلابی در حوضه آبخیز رودخانه فیروزآباد

شکل (۳). شیب حوضه آبخیز رودخانه فیروزآباد

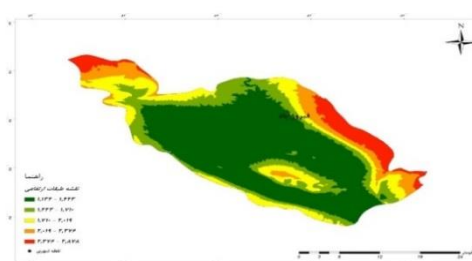


شکل (۴). جهت شیب حوضه آبخیز فیروزآباد

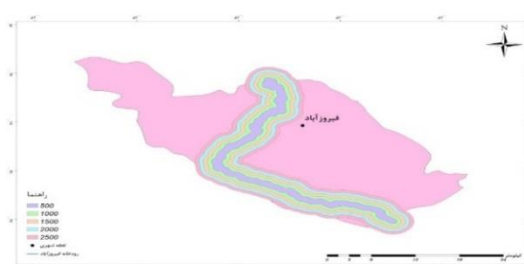
شکل (۵). لیتولوژی حوضه آبخیز فیروزآباد



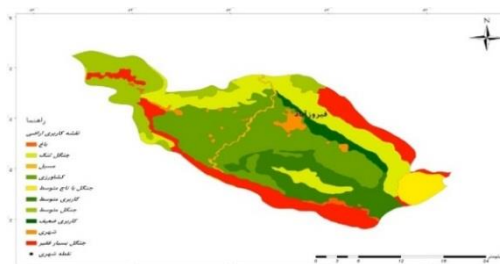
شکل (۷). بارش حوضه آبخیز فیروزآباد



شکل (۶). ارتفاع حوضه آبخیز فیروزآباد



شکل (۹). فاصله از رودخانه حوضه آبخیز فیروز آباد



شکل (۸). کاربری اراضی حوضه آبخیز فیروز آباد

### مدل آنتروپی شانون جهت تهیه شکل حساسیت به وقوع سیل

شاخص آنتروپی مقیاسی از مقدار برابری است که در آن گروه‌ها به‌طور مساوی و یکنواخت در بین واحدهای سازمانی توزیع شده‌اند (Massey DS, Nancy AD, 1988) تیل<sup>۱</sup> (۱۹۷۲) شاخص آنتروپی را به‌عنوان اندازه‌گیری اختلاف متوسط بین سهم گروه‌های واحد از سیستم‌ها به‌عنوان یک کل تعریف می‌کند. آنتروپی یکی از رویکردهای مدیریتی است که به‌منظور برخورد با بی‌نظمی، بی‌ثباتی اغتشاش و عدم یقین‌های موجود در یک سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. (Naghibi 100:2014)

## نتایج

## بررسی نرخ تأثیر کلاس پارامترهای مؤثر در وقوع سیل

تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای بین موقعیت وقوع سیل‌های گذشته و پارامترهای محیطی مؤثر بر وقوع سیل توسط روش نسبت فراوانی (FR) و آنتروپی شانون انجام گرفت و بر اساس آن، وزن هر یک از پارامترها به دست آمد. وزن‌های مؤثر هر یک از پارامترها برای مدل آنتروپی شانون جهت تهیه شکل حساسیت به وقوع سیل در جدول (۱ تا ۱۰) مشاهده می‌گردد. فاکتور شیب همان‌طور که جدول (۱) نشان می‌دهد به ۵ کلاس تقسیم گردیده که کلاس‌های ۷/۶ - ۰ و ۱۶/۴ - ۷/۶ دارای بیشترین تأثیر بر وقوع سیل می‌باشند، زیرا دارای Eij بیشتری می‌باشند.

جدول (۱). ارتباط بین سیلاب، شیب و تعیین میزان آن‌ها با استفاده از مدل آنتروپی شانون

| پارامتر | کلاس        | پیکسل   | وقوع سیل | FR     | Eij     | Hj      | Hjmax   | Ij     | Vj      |
|---------|-------------|---------|----------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|
| شیب     | ۰ - ۷/۶     | ۷ / ۷۴  | ۴۱ / ۱۸  | ۶ / ۸۹ | ۰ / ۶۵۴ | ۱ / ۵۳۰ | ۲ / ۶۸۹ | ۰ / ۵۸ | ۰ / ۹۳۲ |
|         | ۷/۶ - ۱۶/۴  | ۱۹ / ۵۲ | ۳۱ / ۵۹  | ۲ / ۴۲ | ۰ / ۲۴۰ |         |         |        |         |
|         | ۱۶/۴ - ۲۶/۲ | ۳۰ / ۲۹ | ۱۷ / ۳۸  | ۱ / ۲۰ | ۰ / ۱۸۴ |         |         |        |         |
|         | ۲۶/۲ - ۳۹/۹ | ۲۶ / ۰۶ | ۱۴ / ۶۳  | ۰ / ۹۳ | ۰ / ۰۷۳ |         |         |        |         |
|         | ۳۹/۹ - ۸۰/۷ | ۱۶ / ۶۴ | ۷ / ۷۴   | ۰ / ۴۸ | ۰ / ۰۵۶ |         |         |        |         |

<sup>1</sup> Theil

جدول (۲) نشان دهنده ارتباط بین سیلاب حوضه آبخیز فیروزآباد و جهت شیب آن می‌باشد که به چهار کلاس تقسیم گردیده همچنان که ملاحظه می‌شود جهت شمال دارای بیشترین تأثیر بر وقوع سیل‌ها می‌باشد چون دارای  $E_{ij}$  بیشتری می‌باشد. وزن لایه مورد مطالعه در مدل آنتروپی حوضه فیروزآباد ۰/۱۸۴ می‌باشد.

جدول (۲). ارتباط بین سیلاب، جهت شیب و تعیین میزان آن‌ها با استفاده از مدل آنتروپی شانون

| پارامتر | کلاس | پیکسل | وقوع سیل | FR   | $E_{ij}$ | Hj    | Hjmax | Ij    | Vj    |
|---------|------|-------|----------|------|----------|-------|-------|-------|-------|
| جهت شیب | شمال | ۱۷/۶۵ | ۴۲/۶۰    | ۱/۶۵ | ۰/۵۲۱    | ۱/۸۳۹ | ۱/۹۸۸ | ۰/۱۶۸ | ۰/۱۸۴ |
|         | جنوب | ۲۱/۴۷ | ۱۵/۸۷    | ۱/۰۹ | ۰/۱۶۵    |       |       |       |       |
|         | شرق  | ۱۸/۲۶ | ۱۹/۲۸    | ۰/۴۷ | ۰/۰۵۹    |       |       |       |       |
|         | غرب  | ۴۲/۶۲ | ۲۲/۲۵    | ۱/۳۲ | ۰/۲۷۸    |       |       |       |       |

جدول (۳) نشان دهنده ارتباط بین سیلاب حوضه آبخیز فیروزآباد و فاصله از رودخانه می‌باشد که به ۵ کلاس تقسیم گردیده همچنان که ملاحظه می‌شود کلاس ۵۰۰ – ۰ دارای بیشترین سیل‌های اتفاق افتاده می‌باشد و کلاس ۲۵۰۰ دارای کمترین تعداد سیل می‌باشد بنابراین تأثیر کلاس ۵۰۰ – ۰ در وقوع سیل بیشتر از بقیه کلاس‌ها بوده چون دارای  $E_{ij}$  بیشتری می‌باشد؛ و وزن لایه فاصله از رودخانه نیز ۱/۸۹ می‌باشد.

جدول (۳). ارتباط بین سیلاب، فاصله از رودخانه و تعیین میزان آن‌ها با استفاده از مدل آنتروپی شانون

| پارامتر          | کلاس        | پیکسل | وقوع سیل | FR   | $E_{ij}$ | Hj    | Hjmax | Ij    | Vj   |
|------------------|-------------|-------|----------|------|----------|-------|-------|-------|------|
| فاصله از رودخانه | ۰ – ۵۰۰     | ۷/۹۴  | ۹۰/۵۹    | ۹/۰۲ | ۰/۸۲۰    | ۰/۸۴۳ | ۲/۹۷۳ | ۰/۷۱۲ | ۱/۸۹ |
|                  | ۵۰۰ – ۱۰۰۰  | ۷/۵۲  | ۴/۶۷     | ۰/۶۳ | ۰/۰۸۶    |       |       |       |      |
|                  | ۱۰۰۰ – ۱۵۰۰ | ۷/۳۲  | ۲/۳۱     | ۰/۲۸ | ۰/۰۴۲    |       |       |       |      |
|                  | ۱۵۰۰ – ۲۰۰۰ | ۷/۰۰  | ۱/۵۷     | ۰/۰۵ | ۰/۰۰۸    |       |       |       |      |
|                  | ۲۰۰۰ – ۲۵۰۰ | ۷۰/۶۷ | ۰/۸۶     | ۰/۰۲ | ۰/۰۰۴    |       |       |       |      |

طبقات ارتفاعی از دیگر فاکتورهای مهم و مؤثر بر وقوع سیل می‌باشد که تأثیر بسیار زیادی بر وقوع سیل دارد. معمولاً سیل در طبقات پایین رخ می‌دهد. با توجه به جدول (۴) حدود ۹۱ / ۴۸ سیل‌ها در حوضه آبخیز فیروزآباد در کلاس اول یعنی در ارتفاع ۱۴۴۳ – ۱۱۳۴ متری اتفاق افتاده است. وزن لایه طبقات ارتفاعی طبق مدل آنتروپی شانون ۰ / ۹۹۹ می‌باشد.

جدول (۴). ارتباط بین سیلاب، طبقات ارتفاعی و تعیین میزان آن‌ها با استفاده از مدل آنتروپی شانون

| پارامتر       | کلاس        | پیکسل | وقوع سیل | FR    | $E_{ij}$ | Hj    | Hjmax | Ij    | Vj    |
|---------------|-------------|-------|----------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
| طبقات ارتفاعی | ۱۱۳۴ – ۱۴۴۳ | ۵۱/۲۶ | ۹۱/۴۸    | ۱۳/۶۹ | ۰/۹۶۸    | ۱/۸۰۳ | ۳/۸۶۲ | ۰/۷۴۹ | ۰/۹۹۹ |
|               | ۱۴۴۳ – ۱۷۱۰ | ۱۰/۴۳ | ۷/۲۸     | ۲/۲۶  | ۰/۴۰۱    |       |       |       |       |
|               | ۱۷۱۰ – ۲۰۱۹ | ۱۵/۳۹ | ۱/۲۴     | ۰/۰۸  | ۰/۱۹۳    |       |       |       |       |
|               | ۲۰۱۹ – ۲۳۷۶ | ۱۳/۶۹ | ۰/۰۰     | ۰/۰۰  | ۰/۰۰۰    |       |       |       |       |
|               | ۲۳۷۶ – ۲۸۱۸ | ۹/۲۳  | ۰/۰۰     | ۰/۰۰  | ۰/۰۰۰    |       |       |       |       |

جدول (۵) شاخص رطوبت توپوگرافی حوضه آبخیز فیروزآباد می‌باشد، طبق جدول هر چه مقدار این فاکتور بیشتر گردد، تأثیر آن در وقوع سیل بیشتر است. با توجه به جدول کلاس ۷ / ۶۹ – ۶ / ۷۴ دارای کمترین تأثیر و کلاس ۱۲ / ۵۸ – ۱۱ / ۴۱ بیشترین تأثیر در وقوع سیل را دارا می‌باشند؛ که وزن لایه TWI در وقوع سیل ۰/۳۹ می‌باشد.

جدول (۵). ارتباط بین سیلاب، TWI و تعیین میزان آن‌ها با استفاده از مدل آنتروپی شانون

| پارامتر | کلاس        | پیکسل | وقوع سیل | FR   | Eij   | Hj    | Hjmax | Ij    | Vj    |
|---------|-------------|-------|----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TWI     | ۳/۳۸-۶/۷۴   | ۱۷/۱۸ | ۱/۶۸     | ۰/۳۷ | ۰/۰۰۶ |       |       |       |       |
|         | ۶/۷۴-۷/۶۹   | ۲۰/۱۲ | ۱/۲۶     | ۰/۱۲ | ۰/۰۰۲ |       |       |       |       |
|         | ۷/۶۹-۸/۵۷   | ۲۱/۷۱ | ۱/۴۲     | ۰/۲۶ | ۰/۰۰۴ | ۲/۹۳۱ | ۳/۷۵۳ | ۰/۲۳۹ | ۰/۳۷۹ |
|         | ۸/۵۷-۹/۴۴   | ۱۶/۵۹ | ۳/۱۲     | ۱/۴۲ | ۰/۰۱۸ |       |       |       |       |
|         | ۹/۴۴-۱۰/۳۹  | ۱۴/۱۰ | ۱۵/۵۸    | ۵/۸۵ | ۰/۱۶۴ |       |       |       |       |
|         | ۱۰/۳۹-۱۱/۴۱ | ۵/۹۲  | ۱۵/۴۲    | ۵/۴۳ | ۰/۱۶۳ |       |       |       |       |
|         | ۱۱/۴۱-۱۲/۵۸ | ۲/۳۷  | ۱۶/۲۲    | ۶/۵۱ | ۰/۱۹۶ |       |       |       |       |

جدول (۶) نشان دهنده ارتباط بین سیلاب و SPI در حوضه آبخیز فیروزآباد می‌باشد. طبق جدول هر چه مقدار این فاکتور کمتر باشد تأثیر آن در وقوع سیل بیشتر است با توجه به جدول کلاس ۶۰۰۰۰ - ۴۰۰۰۰ دارای بیشترین تأثیر در وقوع سیل در حوضه آبخیز فیروزآباد می‌باشد چون دارای Eij بیشتری می‌باشد. وزن لایه هم ۱/۳ می‌باشد.

جدول (۶). ارتباط بین سیلاب، SPI و تعیین میزان آن‌ها با استفاده از مدل آنتروپی شانون

| پارامتر | کلاس         | پیکسل | وقوع سیل | FR    | Eij   | Hj    | Hjmax | Ij    | Vj    |
|---------|--------------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SPI     | ۲۹-۵۰۰۰      | ۷۸/۳۹ | ۶۲/۸۴    | ۰/۵۸  | ۰/۰۳۸ |       |       |       |       |
|         | ۵۰۰۰-۳۰۰۰۰   | ۹/۴۸  | ۱۸/۲۰    | ۲/۴۹  | ۰/۰۷۲ | ۲/۲۱۰ | ۳/۲۴۶ | ۰/۴۲۸ | ۱/۳۸۵ |
|         | ۳۰۰۰-۱۰۰۰۰۰  | ۵/۷۵  | ۹/۶۱     | ۷/۷۲  | ۰/۱۶۳ |       |       |       |       |
|         | ۱۰۰۰۰-۲۰۰۰۰۰ | ۳/۰۷  | ۵/۴۷     | ۵/۶۱  | ۰/۱۵۰ |       |       |       |       |
|         | ۲۰۰۰۰-۴۰۰۰۰۰ | ۱/۷۸  | ۱/۳۲     | ۳/۱۸  | ۰/۰۸۲ |       |       |       |       |
|         | ۴۰۰۰۰-۶۰۰۰۰۰ | ۰/۹۵  | ۲/۸۶     | ۱۴/۹۸ | ۰/۳۹۲ |       |       |       |       |

جدول (۷) نشان دهنده ارتباط بین سیلاب و کاربری اراضی حوضه آبخیز فیروزآباد می‌باشد. برای فاکتور کاربری اراضی خاک‌های لخت، مناطق مسکونی و مسیل‌ها دارای تأثیر بیشتری در وقوع سیل می‌باشند. مناطق مسکونی به دلیل اینکه در نزدیک رودخانه و مناطق با شیب کم احداث می‌شوند و همچنین دارای سطح نفوذناپذیر هستند دارای پتانسیل قابل توجهی جهت وقوع سیل می‌باشند. وزن لایه هم ۰/۲۸ می‌باشد.

جدول (۷). ارتباط بین سیلاب، کاربری اراضی و تعیین میزان آن‌ها با استفاده از مدل آنتروپی شانون

| پارامتر      | کلاس    | پیکسل | وقوع سیل | FR    | Eij   | Hj    | Hjmax | Ij   | Vj    |
|--------------|---------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| کاربری اراضی | کشاورزی | ۸۲/۵۸ | ۸۳/۳۲    | ۱/۷۶  | ۰/۱۶۴ |       |       |      |       |
|              | خاک لخت | ۰/۸۱  | ۸/۶۹     | ۷/۸۵  | ۰/۲۸۵ |       |       |      |       |
|              | جنگل    | ۱۰/۵۴ | ۶/۰۴     | ۰/۷۴  | ۰/۰۳۵ | ۱/۶۹۵ | ۲/۵۹۳ | ۰/۷۳ | ۰/۲۸۰ |
|              | باغ     | ۵/۵۲  | ۰/۰۰۰    | ۰/۰۰  | ۰/۰۰  |       |       |      |       |
|              | مسکونی  | ۰/۴۵  | ۰/۴۵     | ۳/۰۷  | ۰/۰۸۷ |       |       |      |       |
|              | مسیل‌ها | ۰/۲۴  | ۱/۲۳     | ۴۲/۶۴ | ۰/۷۳۲ |       |       |      |       |

با توجه به جدول (۸) پارامتر سنگ‌شناسی به سه گروه تقسیم‌بندی گردیده است که فقط سنوزوئیک در وقوع سیلاب‌های حوضه آبخیز فیروزآباد تأثیرگذار است؛ و وزن لایه هم ۰/۴۷ می‌باشد.

جدول (۸). ارتباط بین سیلاب، لیتولوژی و تعیین میزان آن‌ها با استفاده از مدل آنتروپی شانون

| پارامتر  | کلاس       | پیکسل   | وقوع سیل | FR      | Eij     | Hj      | Hjmax   | Ij      | Vj      |
|----------|------------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| لیتولوژی | سنوزوئیک   | ۹۰ / ۵۲ | ۱۰۰      | ۱۰ / ۰۰ | ۰ / ۹۸۹ | ۱ / ۶۹۰ | ۲ / ۷۶۱ | ۰ / ۴۰۲ | ۰ / ۴۷۸ |
|          | مزوزوئیک   | ۷ / ۷۳  | ۰ / ۰۰   | ۰ / ۰۰  | ۰ / ۰۰  |         |         |         |         |
|          | پالئوزوئیک | ۱ / ۷۵  | ۰ / ۰۰   | ۰ / ۰۰  | ۰ / ۰۰  |         |         |         |         |

شاخص NDVI یا شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده از دیگر فاکتورهای مؤثر در وقوع سیل می‌باشد که جدول (۹) نشان دهنده این شاخص در حوضه آبخیز فیروزآباد می‌باشد که همچنان که ملاحظه می‌شود این شاخص به ۱۰ کلاس تقسیم گردیده و وزن لایه هم ۰/۰۳۷ می‌باشد.

جدول (۹). ارتباط بین سیلاب، NDVI و تعیین میزان آن‌ها با استفاده از مدل آنتروپی شانون

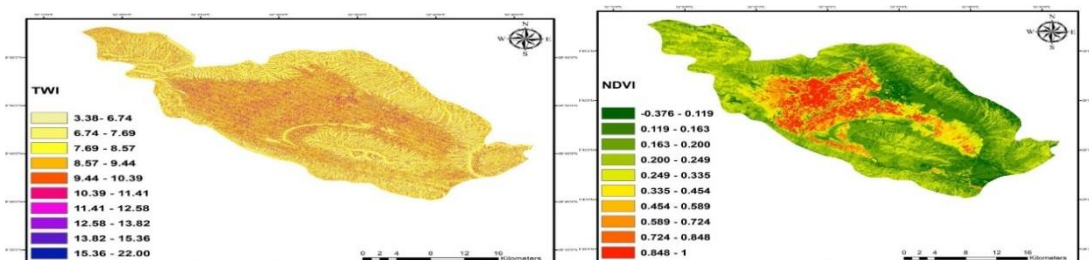
| پارامتر | کلاس               | پیکسل   | وقوع سیل | FR      | Eij     | Hj      | Hjmax   | Ij      | Vj      |
|---------|--------------------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| NDVI    | -۰ / ۱۱۹ - ۰ / ۳۷۶ | ۰ / ۱۱  | ۳ / ۳۱   | ۲۹ / ۳۵ | ۰ / ۶۱۷ | ۱ / ۹۰۰ | ۳ / ۳۲۲ | ۰ / ۴۲۸ | ۲ / ۰۳۷ |
|         | ۰ / ۱۶۳ - ۰ / ۱۱۹  | ۲ / ۴۷  | ۴ / ۶۴   | ۱ / ۸۸  | ۰ / ۰۴۰ |         |         |         |         |
|         | ۰ / ۲۰۰ - ۰ / ۱۶۳  | ۱۵ / ۱۸ | ۱۱ / ۲۶  | ۰ / ۷۴  | ۰ / ۰۱۶ |         |         |         |         |
|         | ۰ / ۲۴۹ - ۰ / ۲۰۰  | ۳۱ / ۸۰ | ۹ / ۹۳   | ۰ / ۳۱  | ۰ / ۰۰۷ |         |         |         |         |
|         | ۰ / ۳۳۵ - ۰ / ۲۴۹  | ۲۸ / ۳۰ | ۲۱ / ۱۹  | ۰ / ۷۵  | ۰ / ۰۱۶ |         |         |         |         |
|         | ۰ / ۴۵۴ - ۰ / ۳۳۵  | ۱۰ / ۶۳ | ۱۴ / ۵۷  | ۱ / ۳۷  | ۰ / ۰۲۹ |         |         |         |         |
|         | ۰ / ۵۸۹ - ۰ / ۴۵۴  | ۳ / ۳۲  | ۹ / ۹۳   | ۳ / ۰۰  | ۰ / ۰۶۳ |         |         |         |         |
|         | ۰ / ۷۲۴ - ۰ / ۵۸۹  | ۲ / ۳۹  | ۱۳ / ۲۵  | ۵ / ۵۵  | ۰ / ۱۱۷ |         |         |         |         |
|         | ۰ / ۸۴۸ - ۰ / ۷۲۴  | ۱ / ۵۱  | ۱۰ / ۶۰  | ۴ / ۲۲  | ۰ / ۰۸۹ |         |         |         |         |
|         | ۰ / ۸۴۸ - ۱        | ۳ / ۲۹  | ۱ / ۳۲   | ۰ / ۴۰  | ۰ / ۰۰۸ |         |         |         |         |

جدول (۱۰) نمایانگر ارتباط بین سیلاب و بارندگی در حوضه آبخیز مورد مطالعه می‌باشد که این پارامتر به سه کلاس تقسیم گردیده و تعداد پیکسل‌ها در هر کلاس و تأثیر هر یک از کلاس‌ها در وقوع سیل محاسبه گردیده که وزن لایه هم ۲ / ۰۰ می‌باشد.

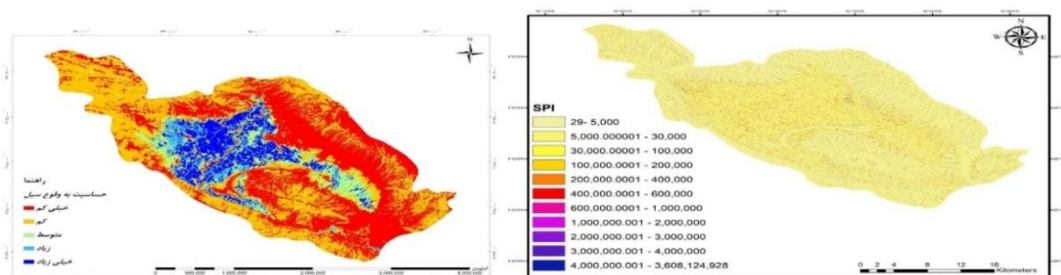
جدول (۱۰). ارتباط بین سیلاب، بارندگی و تعیین میزان آن‌ها با استفاده از مدل آنتروپی شانون

| پارامتر | کلاس  | پیکسل   | وقوع سیل | FR     | Eij     | Hj      | Hjmax  | Ij      | Vj     |
|---------|-------|---------|----------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|
| بارندگی | > ۶۸۶ | ۱۷ / ۵۸ | ۲۵ / ۸۵  | ۶ / ۷۰ | ۰ / ۵۰۲ | ۲ / ۳۱۹ | ۳ / ۸۱ | ۰ / ۳۰۵ | ۲ / ۰۰ |
|         | ۶۹۳   | ۱۸ / ۱۳ | ۳۸ / ۳۱  | ۳ / ۲۹ | ۰ / ۴۱۷ |         |        |         |        |
|         | ۶۹۴ < | ۶۴ / ۲۹ | ۳۵ / ۸۴  | ۰ / ۹۵ | ۰ / ۰۷۹ |         |        |         |        |

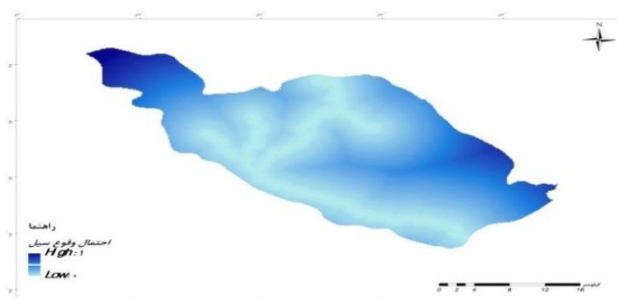
بعد از بررسی ارتباط بین هر یک از پارامترها با سیلاب حوضه مورد مطالعه و وزن آن‌ها مشخص گردید که شاخص NDVI دارای بیشترین وزن (۲ / ۰۳۷) و شاخص جهت شیب دارای کمترین وزن (۰ / ۱۸۴) بودند. پس NDVI از دیدگاه آنتروپی شانون مهم‌ترین فاکتور در وقوع سیل می‌باشد. به منظور تهیه شکل حساسیت به وقوع سیل ۱۰ فاکتور فوق تهیه شدند پس از وزن نهایی هر عامل توسط مدل آنتروپی شانون و ضرب آن در کلاس‌های عامل مذکور، شکل‌های وزنی با هم جمع شدند و شکل نهایی حساسیت به وقوع سیل تهیه گردید. سپس شکل نهایی به ۵ کلاس حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی تقسیم‌بندی گردید که در شکل (۱۳) نشان داده شده است. با توجه به شکل قسمت‌های مرکزی حوضه آبخیز بیشتر در معرض حساسیت به وقوع سیل قرار دارند.



شکل (۱۰). شاخص NDVI حوزه آبخیز فیروزآباد. شکل (۱۱). رطوبت توپوگرافی (TWI) در حوزه آبخیز فیروزآباد



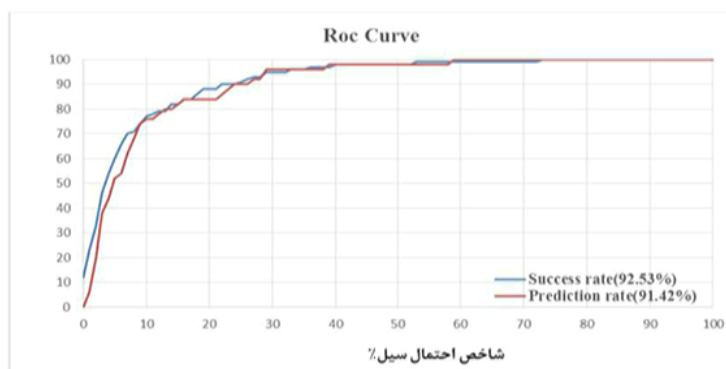
شکل (۱۲). SPI حوزه آبخیز فیروزآباد. شکل (۱۳). حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیز فیروزآباد



شکل (۱۴). احتمال به وقوع سیل در حوزه آبخیز فیروزآباد طبق مدل آنتروپی شانون

### ارزیابی شکل

برای اطمینان از صحت و اعتبار سنجی شکل‌های تهیه شده در این مطالعه از محاسبه شاخص ویژگی‌های نسبی یا منحنی ROC استفاده می‌شود (عقیقی ۱۳۹۵: ۱۰). در این روش مساحت زیر منحنی دارای مقادیر بین ۰/۵ تا ۱ می‌باشد و از آن برای ارزیابی مدل استفاده می‌شود. بهترین مدل دارای سطح زیر منحنی نزدیک به ۱ دارد. درحالی‌که مقادیر نزدیک به ۰/۵ نشان دهنده عدم صحت مدل است. برای ترسیم نمودار ROC باید محورهای افقی و عمودی تعریف شوند. محور X در این نمودار عبارت است شاخص احتمال وقوع سیل و محور Y درصد تجمعی رخداد سیل است. اساس نتایج منحنی ROC برای حوزه آبخیز فیروزآباد، برای میزان پیش‌بینی مقدار سطح زیر منحنی با ۳۵ درصد داده‌های اعتبارسنجی برابر با ۴۲ / ۹۲ درصد و برای میزان موفقیت با ۶۵ درصد داده‌های آموزش برابر با ۵۳ / ۹۲ درصد می‌باشد شکل (۱۵). پس مدل آنتروپی شانون دارای صحت قابل قبولی در تهیه شکل حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیز فیروزآباد می‌باشد.



شکل (۱۵). منحنی ROC حوزه آبخیز فیروزآباد

### نتیجه‌گیری

یکی از راهکارهای اساسی جهت کاهش خسارت ناشی و مالی سیل تهیه شکل حساسیت به وقوع سیل می‌باشد لذا در این تحقیق به ارزیابی مدل آنتروپی شانون و فازی در تهیه شکل حساسیت و احتمال وقوع سیلاب در حوزه آبخیز رودخانه فیروزآباد پرداخته می‌شود؛ که ابتدا به تهیه شکل موقعیت سیل‌ها در حوزه آبخیز مورد مطالعه پرداخته شد؛ و سپس ۱۰ فاکتور، شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، NDVI، SPI، TWI، طبقات ارتفاعی، بارندگی و فاصله از رودخانه به‌عنوان عوامل مؤثر در وقوع سیل در حوزه آبخیز فیروزآباد انتخاب شدند. اولویت‌بندی عوامل مؤثر در وقوع سیل توسط شاخص آنتروپی شانون نشان داد که لایه‌های NDVI (۰/۹۳۲)، لیتولوژی (۰/۴۷۸)، TWI (۰/۳۷۹) و کاربری اراضی (۱/۳۸۵)، طبقات ارتفاعی (۰/۹۹۹)، شیب با وزن (۰/۹۳۲)، لیتولوژی (۰/۴۷۸)، TWI (۰/۳۷۹) و کاربری اراضی (۰/۲۸۰)، جهت شیب (۰/۱۸۴) به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین تأثیر بر وقوع سیل می‌باشند. بر اساس نتایج منحنی ROC برای میزان پیش‌بینی مقدار سطح زیر منحنی با ۳۵ درصد داده‌های اعتبارسنجی برابر (۹۱/۴۲ درصد) و برای میزان موفقیت با ۶۵ درصد داده‌های آموزش برابر (۹۲/۵۳ درصد) می‌باشد. پس مدل آنتروپی شانون دارای صحت قابل قبولی در تهیه شکل حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیز فیروزآباد می‌باشد. بر طبق شکل نهایی حساسیت به وقوع سیل اطراف رودخانه فیروزآباد دارای حساسیت به وقوع سیل بالایی می‌باشند، پس باید از ساخت اراضی مسکونی و باغ و اراضی کشاورزی در اطراف رودخانه خودداری شود. با توجه به نتایج تحقیق تهیه شکل حساسیت به وقوع بلایای طبیعی نظیر سیل و ... جهت مدیریت و برنامه‌ریزی‌های آتی لازم و واجب بوده تا از وارد آمدن خسارات جانی و مالی به این بخش‌ها جلوگیری شود.

### منابع

- پورخسروانی، محمد. پرمار، زهرا. مغتنی رحیمی، بهرام (۱۳۹۶) ارزیابی مکان‌های بهینه جهت دفن زباله‌های شهری، فصلنامه پژوهش‌های برنامه‌ریزی شهری دانشگاه تهران، شماره ۲، ص ۳۳۷ – ۳۵۶.
- پور قاسمی، حسن. مرادی، حسین. فاطمی عقدا، مژگان (۱۳۹۲) اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی حساسیت آن، مجله علوم آب‌و خاک، دوره ۱۸، شماره ۷۰، صفحات ۱۸۱ – ۱۹۲.
- شریفی پیچون، مصطفی. پرنون، پروین (۱۳۹۷) ارزیابی و تحلیل فضایی سیل‌گیری رودخانه قره بسو با استفاده از منطق فازی در GIS، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۵، ۳۰ – ۱۷.

- قهرودی، منیژه (۱۳۹۱) ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در شهر تهران، فصلنامه علمی امداد و نجات، سال چهارم، شماره ۳.
- قنوتی، علی (۱۳۹۲) پهنه‌بندی سیلاب شهر کرج با استفاده از منطق فازی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۸، ۱۳۱ - ۱۱۳.
- طاهری بهبهانی، محسن. بزرگ‌زاده، مرضیه (۱۳۷۵) سیلاب‌های شهری، انتشارات مرکز تحقیقات مسکن و معماری ایران، تهران. مصطفی زاده، وحید. صفریان زنگور، وحید. حاجی، خلیل (۱۳۹۷) تحلیل الگو و شرایط وقوع بارش‌های منجر به سیل در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ در شهرستان گرمی استان اردبیل، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۵، ۱۰۶ - ۸۹.
- موسوی، محمد. نگهبان، سعید. رخشانی مقدم، حسن. حسین زاده، مریم (۱۳۹۵) ارزیابی و پهنه‌بندی سیل‌خیزی با استفاده از منطق فازی TOPSIS در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهر باغ‌ملک)، مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال پنجم، شماره دهم، ۷۹ - ۹۸.
- نوحانی ابراهیم دارابی فریبا معروفی نیا ادریس ۱۳۹۵ ارزیابی مدل آنتروپی شانون در تهیه شکل اساسی و احتمال وقوع سیل در حوضه آبخیز هراز مجله مخاطرات محیط طبیعی سال پنجم شماره دهم زمستان ۱۳۹۵
- عقیفی محمدابراهیم ۱۳۹۵ ارزیابی پتانسیل فرونشست زمین و عوامل مؤثر بر آن مطالعه موردی دشت سیدان فاروف مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی شماره ۱۲ سال ۱۳۹۵
- عقیفی محمدابراهیم ۱۳۹۱ هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز دشت گرو استان هرمزگان مجله فصلنامه جغرافیایی سرزمین شماره ۳۵ سال ۱۳۹۱
- عقیفی محمدابراهیم ۱۳۹۲ مخاطرات ژئومورفولوژیک محور شیراز کازرون و پهنه‌بندی خطر با استفاده از GIS همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار سال اول ۱۳۹۲
- عقیفی محمدابراهیم ۱۳۹۴ بحران‌های محیط طبیعی ایران انتشارات پیروز ۱۳۹۴
- یمانی، مجتبی. عنایتی، محمد (۱۳۸۴) ارتباط ویژگی‌های ژئومورفولوژیک حوضه‌ها و قابلیت سیل‌خیزی (تجزیه و تحلیل داده‌های سیل از طریق مقایسه ژئومورفولوژیک حوضه‌های فشد و بهجت‌آباد). پژوهش‌های جغرافیایی شماره ۵۴، زمستان.
- Afifi mohammad., Ebrahim ( 2017) Application of GIS for Flood Zoning Hazard in Shiraz International Journal of Ecology & Development number 22.
- Khosravi, K., Pourghasemi, H.R., Chapi, K. Bahri, M (2016). Environ Monit Assess, 188: 656. doi:10.1007/s10661-016-5665-9.
- Tehrany, M.S., Lee, M.J., Pradhan, B., Jebur, M.N., Lee, S.( 2014b). Flood susceptibility mapping using integrated bivariate and multivariate statistical models. Environ. Earth sci. 72(10): 4001-4015.
- Tehrany, M.S., Pradhan, B., Jebur, M.N., (2015b). Flood susceptibility analysis and its verification using a novel ensemble support vector machine and frequency ratio method. Stoch Environ Res Risk Assess 29:1149-1165.
- Massey DS, Nancy AD (1988) The Dimensions of Residential. Social Forces 67(2):281-315
- Naghbi.S.A., Pourghasemi, H.R., Pourtaghi, Z.S., Rezaei A. (2014). Groundwater qanat potential mapping using frequency ratio and Shannon's entropy models in the Moghan watershed, Iran. Earth Sci Inform, DOI 10.1007/s12145-014-0145-7.