تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال پانزدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸
Volume 15, No. 3, Fall 2019 (IR-WRR)
۳۳۹-۳۴۳

یادداشت فنی

روشی نوین برای پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی در بستر GIS (مطالعه موردی: حوضه‌های آبریز استان مازندران)

شیما رحمانی[۱]، اصغر عزیزیان[۲*] و امیر صمدی[۳]

چکیده

در حال حاضر روش‌های مختلفی برای اولویت‌بندی و تعیین پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز وجود دارد که استفاده از دیدگاه توزیعی مبتنی بر GIS از اقبال بیشتری در بین محققین برخوردار می‌باشد. به همین منظور، در پژوهش حاضر از یک روش توزیعی نوین برای محاسبه وزن لایه‌های مؤثر در تعیین وضعیت سیل‌خیزی حوضه (که در آن اندرکنش بین فاکتورهای مورد استفاده نیز در نظر گرفته می‌شود)، استفاده شده است. پس از محاسبه ضرائب تأثیر هر کدام از عوامل ورودی و بدست آمدن وزن نهایی آنها، از ترکیب خطی لایه‌های ورودی برای ساخت نقشه وضعیت سیل‌خیزی محدوده مطالعاتی در پنج دسته با خطر سیل‌خیزی خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم، استفاده بعمل آمد. نتایج بدست آمده حاکی از عملکرد بالای این روش به ویژه در شناسایی مناطق با قابلیت سیل‌خیزی زیاد و خیلی زیاد دارد. به عنوان نمونه، نتایج بدست آمده از روش توزیعی حاکی از آن است که وضعیت سیل‌خیزی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری شیرگاه-تالار، رزن-نور، سلیمان تنگه، قرآن-تالار و دوآب-چالوس در دسته با خطر سیل‌خیزی زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند که کاملاً با نتایج حاصل از سیلاب‌های مشاهداتی منطبق می‌باشد.

کلمات کلیدی: پتانسیل سیل‌خیزی، دیدگاه توزیعی، سیلاب، مدیریت بحران.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۲/۴
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۸/۹

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین.
۲- عضو هئیت علمی گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین.
۳- عضو هئیت علمی گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

Technical Note

New Method for Flood Hazard Mapping in GIS (Case Study: Mazandaran Province Sub-Basins)

Sh. Rahmani [1], A. Azizian [2], and A. Samadi[3]*

Abstract

There are several approaches for flood hazard mapping and prioritization, but the distributed and GIS-based methods are amongst the best and widely used. On this basis, in this study a new distributed method is applied which considers the interaction between the effective factors. By using a linear combination the flood hazard map is created for the study area and divided into five classes including very high, high, moderate, low and very low flooding hazard potential. Verification of this approach by using recorded destructive floods at different hydrometric stations indicated that the performance of this method, especially on identifying areas with very high and high hazard levels, is very remarkable. For example, the results of distributed approach in Shirgah-Talar, Razan-Noor, SoleimanTange, Ghoran-Talar and Doab-Challos hydrometric stations are fully matched with recorded historical floods most of them have over 50-year and 100-year return periods.

Keywords: Flood Potential, Distributed Approach, Flood, Risk Management, Flood Hazard Level.

Received: February 23, 2018
Accepted: October 31, 2018

1- M.Sc. of Hydraulic Structures, Water Engineering Deptment, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
2- Assistant Professor, Water Engineering Deptment, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: Azizian@eng.ikiu.ac.ir
3- Assistant Professor, Water Engineering Deptment, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

گسترش روزافزون جوامع بشری (به ویژه در حاشیه رودخانه‌ها)، افزایش ساخت و سازها در حواشی رودخانه‌ها، تغییر کاربری سطح حوضه و نیز تغییر اقلیم موجب افزایش احتمال وقوع سیل و خسارت‌های ناشی از آن می‌شود و لذا تعیین مناطق مستعد سیل‌خیزی و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر پروژه‌های کنترل سیل و مدیریت جامع آبخیزها از ضرورت اساسی برخوردار می‌باشد (Thieken et al., 2007; Wang et al., 2011; Morelli et al., 2014). تاکنون روش‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی مختلف برای تعیین پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز مورد استفاده قرار گرفته است که نیازمند حجم زیادی داده به عنوان ورودی می‌باشند. در طول دو دهه اخیر مطالعات زیادی در زمینه تعیین مناطق در خطر سیل با استفاده از تحلیل‌های چند معیاره در نقاط مختلف دنیا به انجام رسیده است که نتایج بسیاری از آنها حاکی از عملکرد بسیار بالای چنین تحلیل‌هایی می‌باشد (Liu et al., 2003; Van Der Veen and Logtmeijer, 2005; Kourgialas and Karatzas, 2011; Chau et al., 2013; Kazakis et al., 2015). وابسته به نظرات کارشناسی بودن روشهای مذکور و نیز پیچیدگی تکنیک‌های مورد استفاده در آنها برای تعیین وزن لایه‌های مؤثر در سیل‌خیزی، از جمله مهمترین مشکلات آنها بشمار می‌آید. با توجه به توضیحات فوق، هدف پژوهش حاضر ارائه یک دیدگاه توزیعی مبتنی بر GIS برای تعیین وضعیت سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز واقع در استان مازندران می‌باشد. در این دیدگاه، از یک روش کاربردی که کاملاً مبتنی بر مستندات علمی حاصل از محققین برجسته در زمینه‌های هیدرولوژی، محیط‌زیست، هیدرولیک سیلاب و سنجش از دور می‌باشد، برای محاسبه میزان تأثیر و وزن هر کدام از عوامل مؤثر در شکل‌گیری سیلاب استفاده شده است. این روش نسبت به روشهای مرسوم تعیین پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز مانند روشهای مبتنی بر تحلیل سلسله مراتبی[1] و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی[2] دارای این مزیت است که خطای ناشی از نظرات کارشناسان در خروجی هیچ تأثیری ندارد. همچنین برای اعتبارسنجی و ارزیابی عملکرد دیدگاه مذکور نیز از سیلاب‌های خسارت‌زای ثبت شده در ۲۷ ایستگاه هیدرومتری واقع در محدوده مطالعاتی استفاده بعمل آمده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مشخصات حوضه مطالعاتی

استان مازندران در شمال کشور بین طول‌های جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۴ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۷ درجه شمالی قرار گرفته و با وسعتی معادل ۲۳۷۵۶/۴ کیلومتر مربع حدود ۱/۴۶ درصد از مساحت کشور را دربر داشته است. آمارهای رسمی نشان می‌دهد که از یک دهه پیش تاکنون این استان شاهد وقوع سیلاب‌های متعددی بوده که خسارت‌های سنگینی بر بخش زیرساخت‌ها، ابنیه، تأسیسات زیربنایی و واحدهای مسکونی بر جای گذاشته‌اند و همین امر ایجاب می‌کند به این رودخانه توجه ویژه‌ای شود و اقدامات لازم برای پیش‌بینی و جلوگیری از سیلاب و خسارت‌های ناشی از آن انجام شود. در این پژوهش و با در نظر گرفتن ایستگاه‌های هیدرومتری موجود، ۲۷ زیرحوضه مختلف حاصل گردید که موقعیت جغرافیایی آنها در شکل ۱ نشان داده شده است.

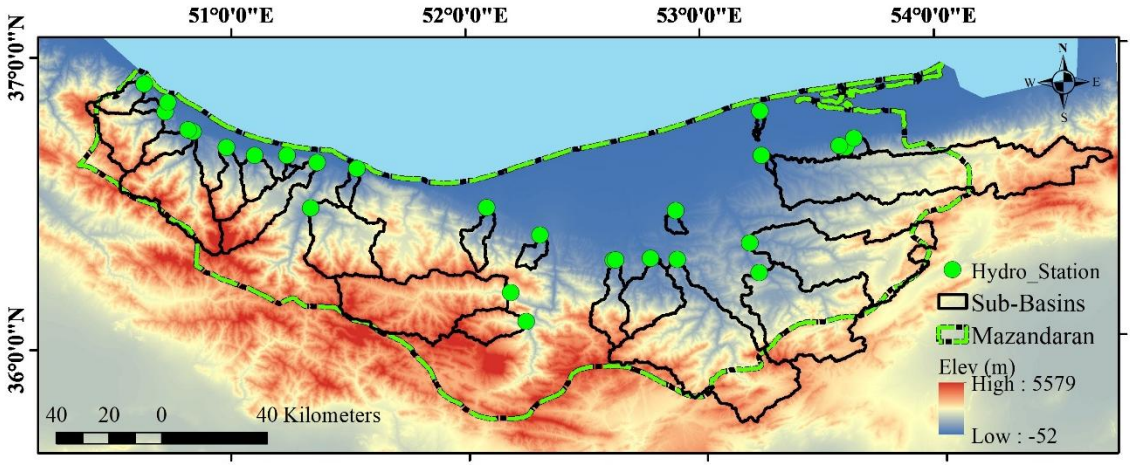

Fig. 1- The geographic location of hydrometric stations and their upstream catchments in Mazandaran Province

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری و حوضه‌های آبریز واقع در بالادست آنها

۲-۲- ساختار دیدگاه توزیعی در تعیین وضعیت سیل‌خیزی حوضه‌ها

در این پژوهش برای تعیین وضعیت سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز استان مازندران از شش فاکتور (متغیر) مختلف مانند: نقشه رستری انباشت جریان، نقشه رستری شیب، نقشه رستری مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، نقشه رستری شدت بارش، نقشه کاربری اراضی و نقشه زمین‌شناسی استفاده بعمل آمد. از میان فاکتورهای مورد استفاده، شبکه انباشت جریان، شبکه شیب، ارتفاع و شدت بارش دارای مقادیر عددی هستند در حالی‌که نقشه‌های کاربری اراضی و زمین‌شناسی به صورت کیفی می‌باشند. لذا برای همسان‌سازی لایه‌های مزبور، تأثیر هر فاکتور به پنج دسته خطر سیل‌خیزی: الف) بسیار زیاد (Very High)، ب) زیاد (High)، ج) متوسط (Moderate)، د) کم (Low) و ه) بسیار کم (Very Low) تقسیم گردید. از آنجایی که همه فاکتورها دارای درجه تأثیر یکسانی نمی‌باشند، بایستی از روش وزن‌دهی که در آن برای هر فاکتور یک ضریب وزنی متفاوت در نظر گرفته می‌شود، استفاده نمود. در این پژوهش از متدولوژی ارائه شده توسط Shaban et al. (2001) که در آن تأثیر هر فاکتور بر فاکتورهای دیگر نیز لحاظ می‌گردد، استفاده شده است. در نهایت با تجمیع وزن نهایی هر فاکتور و تقسیم آن بر جمع کل وزن‌های تمامی پارامترها می‌توان درصد تأثیر هر پارامتر را بدست آورد. پس از مشخص شدن درصد تأثیر هر کدام از فاکتورها می‌توان از رابطه (۱) استفاده و نقشه نهایی مناطق مستعد سیل‌خیزی را بدست آورد (Gemitzi et al., 2006):

$$FHL = \sum w_i x_i \qquad (۱)$$

در رابطه فوق، FHL: درجه سیل‌خیزی هر سلول، w_i: وزن مربوط به هر فاکتور (درصد) و x_i: لایه مربوط به هر فاکتور می‌باشند. همچنین لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر از محیط Model Builder در بستر GIS استفاده گردید تا فرآیند روی هم‌گذاری فاکتورها انجام و نقشه نهایی سیل‌خیزی حاصل گردد. در نهایت با مقایسه خروجی روش توزیعی با تعداد سیلابهای خسارت‌زای ثبت شده در هر ایستگاه هیدرومتری، نتایج صحت‌سنجی گردید.

۳- نتایج

۳-۱- محاسبه ضرائب وزنی فاکتورهای مورد استفاده در دیدگاه توزیعی

نتایج حاصل از اندرکنش بین ۶ فاکتور تأثیرگذار در وضعیت سیل‌خیزی حوضه مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه گردیده است. همانطور که عنوان شد، ارتباط بین فاکتورها می‌تواند به صورت اصلی (مستقیم) یا فرعی (غیر مستقیم) باشد. به عنوان مثال، نقشه ارتفاع به ترتیب دارای تأثیر مستقیم و فرعی بر نقشه شدت بارش و نقشه شیب می‌باشد. بدین صورت که می‌توان گفت با افزایش و کاهش ارتفاع میزان شدت بارندگی نیز به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. در نتیجه ارتفاع با شدت بارندگی رابطه مستقیم (اصلی) دارد در صورتی که افزایش و کاهش ارتفاع حتماً به معنای افزایش و یا کاهش شیب نمی‌باشد. هرچند در مناطق با ارتفاع زیاد مقدار شیب زیاد و در مناطق کم ارتفاع مقدار شیب کمی می‌باشد. هرچند این ارتباط یک امر مسلم و قطعی نمی‌باشد و در مناطق کم ارتفاع ممکن شیب زیادی رؤیت شود و یا برعکس. لذا رابطه بین ارتفاع با شیب یک رابطه غیر مستقیم (فرعی) می‌باشد. همین مساله برای دیگر فاکتورهای نیز قابل تفسیر و بیان می‌باشد که در این بخش و جهت رعایت اختصار از ارائه آنها صرفه‌نظر شده است. به منظور کمی‌سازی دو تأثیر مذکور، مقدار ۱ و ۰/۵ به ترتیب برای اندرکنش‌هایی که دارای تأثیر مستقیم و فرعی هستند در نظر گرفته شد. سپس با تجمیع تمامی مقادیر عددی تأثیرات اصلی و فرعی مربوط به هر فاکتور، شدت تأثیر فاکتور موردنظر حاصل گردید. پس از بررسی اندرکنش فاکتورها و محاسبه شدت تأثیر هر فاکتور، مقدار شدت تاثیر در وزن‌های پیشنهادی در نظر گرفته شده (منظور اعداد ۱۰، ۸، ۵، ۲ و ۱ می‌باشند) ضرب شد تا وزن نهایی هر فاکتور بدست آید و در نهایت با تجمیع وزن نهایی هر فاکتور و تقسیم آن بر جمع کل وزن‌های تمامی پارامترها، درصد تأثیرگذاری هر پارامتر در تعیین وضعیت سیل‌خیزی بدست آمد. طبق محاسبات صورت گرفته (جدول ۱)، فاکتور ارتفاع با درصد وزنی ۰/۲۹ بیشترین تأثیر و فاکتورهای شدت بارندگی و انباشت جریان با دارا بودن درصد وزنی کمتر از ۱۰ درصد، کمترین تأثیر را در تعیین وضعیت سیل‌خیزی حوضه در بر دارند.

۳-۲- تهیه نقشه وضعیت سیل‌خیزی محدوده مطالعاتی و اعتبارسنجی آن

پس از آماده شدن لایه‌های مذکور و اعمال درصد تأثیر مربوط به هر فاکتور (جدول ۱)، با استفاده از رابطه (۱) نقشه نهایی وضعیت سیل‌خیزی بخش‌های مختلف محدوده مطالعاتی، حاصل گردید که نتایج آن در شکل ۲ قابل مشاهده می‌باشد. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، مناطق با خطر سیل‌خیزی زیاد عمدتاً در بخش‌های شمالی (اراضی با ارتفاع و شیب کم) و نیز محدوده‌های واقع در اطراف رودخانه‌های اصلی و همچنین محدوده‌های شهری رخ داده است. بخش‌های جنوبی و تا حدی مرکزی حوضه نیز از وضعیت سیل‌خیزی به مراتب کمتری برخوردار هستند. بررسی نتایج بدست آمده از روش توزیعی حاکی از آن است که وضعیت سیل‌خیزی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری شیرگاه–تالار، رزن–نور، سلیمان‌تنگه، قرآن–تالار و دوآب–چالوس در دسته با خطر سیل‌خیزی زیاد و خیلی

Table 1- The weight of the effective factors in determining flood risk levels

جدول ۱- محاسبه وزن نهایی فاکتورهای مؤثر در تعیین وضعیت سیل‌خیزی

Factor	Range of Variation	Flood Risk Level	Proposed Weight (a)	Effect Rate (b)	Weighted Rate (a×b)	Total Weight	Percentage (%)
Flow Accumulation (Pixel)	3100000-5000000	Very High	10	1.5	15	39	9.68
	1650000-3100000	High	8		12		
	750000-1650000	Moderate	5		7.5		
	200000-750000	Low	2		3		
	0-200000	Very Low	1		1.5		
Slope (Degree)	0-7.3	Very High	10	2.0	20	52	12.90
	7.3-16.4	High	8		16		
	16.4-25.6	Moderate	5		10		
	25.6-35.9	Low	2		4		
	35.9-77.6	Very Low	1		2		
Rainfall Intensity (MFI unit)	123-153	Very High	10	1.5	15	39	9.68
	93-123	High	8		12		
	67-93	Moderate	5		7.5		
	44-67	Low	2		3		
	20-44	Very Low	1		1.5		
Landuse	area Urban & bare	Very High	10	3.0	30	78	19.35
	Scrub, herbaceous, annual crops	High	8		24		
	Fruit trees Permanent crops, areas, Pastures Agro-forestry	Moderate	5		15		
	Mixed forest	Low	2		6		
	-39-422	Very Low	1		3		
Elevation (m)	422-1133	Very High	10	4.5	45	117	29.03
	1133-1920	High	8		36		
	1920-2749	Moderate	5		22.5		
	2749-4350	Low	2		9		
		Very Low	1		4.5		
Geology	Impermeable layer & flysch	Very High	10	3.0	30	78	19.35
	Clays	High	8		24		
	Sands & fine grain content	Moderate	5		15		
	Gravels & conglomerates	Low	2		6		
	Karstic area & limestones	Very Low	1		3		
Sum						403	100

زیاد قرار می‌گیرند که کاملاً با نتایج حاصل از سیلاب‌های مشاهداتی منطبق می‌باشد.

همانطور که ملاحظه می‌گردد، در ایستگاه‌های وارن و کانگسر وضعیت سیل‌خیزی طبق روش توزیعی در دسته زیاد قرار دارد که کاملاً با نتایج حاصل از داده‌های مشاهداتی منطبق می‌باشد. همچنین در ایستگاه‌های پنجاب و چشمه‌کیله نیز که وضعیت سیل‌خیزی (طبق روش توزیعی) به ترتیب در دسته‌های متوسط و خیلی زیاد قرار دارد، نتایج با داده‌های مشاهداتی کاملاً منطبق می‌باشد. بر خلاف موارد مذکور، در ایستگاه نهر آبلو وضعیت سیل‌خیزی بر اساس داده‌های مشاهداتی در دسته بسیار کم قرار می‌گیرد و این در حالیست که طبق دیدگاه توزیعی این محدوده در دسته با سیل‌خیزی زیاد قرار می‌گیرد که کاملاً با نتایج مشاهداتی متفاوت می‌باشد.

با توجه به توضیحات فوق می‌توان چنین عنوان نمود که روش توزیعی مورد استفاده در این پژوهش از توانایی لازم برای تعیین مناطق با اولویت زیاد و خیلی زیاد که در مبحث مدیریت سیل و نیز اقدامات آبخیزداری از اهمیت بسیار بالایی برخوردار هستند، می‌باشد.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

روش‌های مختلفی برای اولویت‌بندی و تعیین پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز وجود دارد که در این پژوهش از دیدگاه توزیعی مبتنی بر GIS استفاده و وزن مربوط به هر کدام از لایه‌های ورودی بدست آمد. پس از مشخص شدن ضرائب تأثیر هر کدام از فاکتورها و بدست آمدن وزن نهایی آنها، از ترکیب خطی لایه‌های ورودی (با لحاظ نمودن وزن‌ها) برای ساخت نقشه وضعیت سیل‌خیزی محدوده مطالعاتی استفاده بعمل آمد. . اعتبارسنجی نتایج حاصل از این روش توزیعی با سیلاب‌های مشاهداتی خسارت‌زا (جانی و مالی) بدست آمده از ایستگاه‌های هیدرومتری مقایسه گردید که نتایج حاصله حاکی از عملکرد بالای این روش در شناسایی مناطق با قابلیت سیل‌خیزی زیاد و خیلی زیاد دارد.

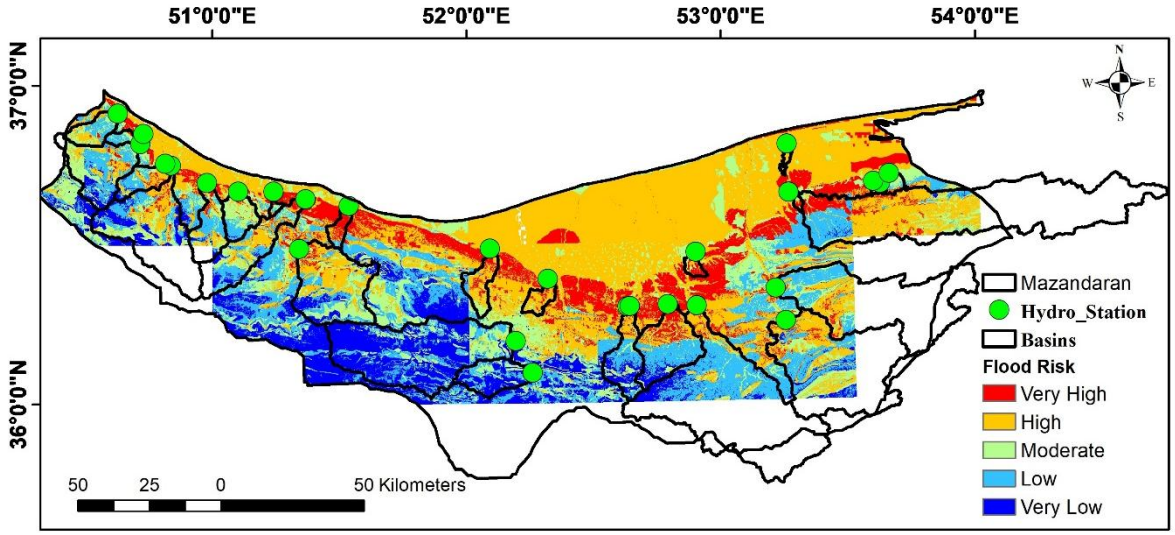

Fig. 2- Final flood risk map for the study area

شکل ۲- نقشه نهایی مناطق مستعد سیل‌خیزی در محدوده مطالعاتی

به عنوان نمونه، بررسی نتایج بدست آمده از روش توزیعی حاکی از آن است که وضعیت سیل‌خیزی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری شیرگاه–تالار، رزن–نور، سلیمان تنگه، قرآن–تالار و دوآب–چالوس در دسته با خطر سیل‌خیزی زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند که کاملاً با نتایج حاصل از سیلاب‌های مشاهداتی منطبق می‌باشد. یکی از ویژگی‌های قابل توجه دیدگاه توزیعی این است که در این دیدگاه تغییرات مکانی مناطق در خطر سیل بدست می‌آید و با استفاده از آن می‌توان مناطق پر خطر را بهتر و با دقت بیشتری شناسایی نمود.

پی‌نوشت‌ها

1- Analytical Hierarchy Process (AHP)
2- Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)

۵- مراجع

Chau VN, Holland J, Cassells S, Tuohy M (2013) Using GIS to map impacts upon agriculture from extreme floods in Vietnam. Applied Geography 41:65-74

Gemitzi A, Petalas C, Tzihrintzis VA, Pisinaras V (2006) Assessment of groundwater vulnerability to pollution: A combination of GIS, fuzzy logic and decision making techniques. Environmental Geology 49(5):653-673

Kourgialas NN, Karatzas GP (2011) Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas: a case study. Hydrological Science Journal 56(2):212-225

Liu YB, Gebremeskel S, De Smedt F, Hoffmann L, Pfister L (2003) A diffusive transport approach for flow routing in GIS-based flood modeling. Journal of Hydrology 283(1-4):91-106

Morelli S, Battistini A, Catani F (2014) Rapid assessment of flood susceptibility in urbanized rivers using digital terrain data: Application to the Arno river case study (Firenze, northern Italy). Applied Geography 54:35-53

Shaban A, Khawlie M, Abdallah C (2006) Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon. Journal of Hydrogeology 14(4):433-443

Thieken AH, Kreibich H, Müller M, Merz B (2007) Coping with floods: preparedness, response and recovery of flood-affected residents in Germany in 2002. Hydrological Science Journal 52:1016-1037

Van Der Veen A, Logtmeijer C (2005) Economic hotspots: visualizing vulnerability to flooding. Natural Hazards 36(1-2):65-80

Wang Y, Zhongwu L, Zhenghong T, Guangming Z (2011) A GIS-based spatial multi-criteria approach for flood risk assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. Water Resources Management 25(13):3465-3484