

پهنه بندی خطر سیلاب شهر کرج با استفاده از منطق فازی

عزت الله قنواتی<sup>۱</sup> - دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۲۲ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۴/۹

## چکیده

در این مطالعه، خطر سیلاب (سیل خیزی و سیل گیری) در محدوده شهر کرج و نواحی پیرامون آن، با استفاده از منطق فازی با درجات مختلف معین شده است. در پهنه بندی سیلاب از لایه‌های شیب، خاک، ژئومورفولوژی، کاربری اراضی، انحنای طولی (تغییرات شیب در امتداد جریان)، انحنای عرضی (واگرایی و همگرایی جریان)، بارش، تراکم زهکشی، فاصله از رود و زمین شناسی استفاده شده است. سپس به هر یک از لایه‌ها با توجه به نوع روابطشان با پدیده سیل خیزی و سیل گیری و بر اساس توابع تعیین شده، مقدار عضویت تعیین و وارد مدل گردیدند. نتایج این تحقیق نشان داد مدل فازی با وجود پیچیدگی‌هایی که دارد، دارای مزایای بسیاری در مطالعه پدیده‌های مختلف مرتبط با سطح زمین است. با توجه به نقشه نهایی بدست آمده، در سیل خیزی پهنه‌های با خطر بسیار زیاد در بخش شمالی، شمال شرقی و شرقی منطقه مورد مطالعه واقع گردیده‌اند. نواحی با خطر کم نیز اغلب در دشت‌ها، دره‌ها و خط القعرها که شیب کمتری دارند، واقع گردیده‌اند. با توجه به نقشه نهایی بدست آمده سطوح سیل گیر با خطر بسیار زیاد اغلب در قسمت‌های جنوب غربی و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه واقع شده‌اند. پهنه‌های با خطر زیاد نیز اغلب در قسمت‌های مرکزی و غربی قرار دارند.

کلید واژه‌ها: ژئومورفولوژی، سیلاب، کرج، منطق فازی.

## ۱. مقدمه

سیلاب از جمله بلایای طبیعی شناخته شده است که طبق گزارش جهانی برنامه عمران سازمان ملل در مورد خطر بلایای طبیعی، همراه با زلزله و خشکسالی، بالاترین رتبه را از لحاظ خسارت مالی و جانی به همراه دارد (بهشتی و دیگران، ۱۳۸۸: ۲۱). عوامل زیادی در وقوع سیلاب دخالت دارند. علاوه بر شرایط محیط طبیعی، فعالیت‌های انسانی و عدم برنامه ریزی صحیح نیز باعث ایجاد و افزایش فراوانی و حجم و همچنین خسارات مالی و جانی ناشی از

سیلاب می‌شود. بنابراین لازم است قبل از گسترش بی رویه شهرها و تغییر کاربری اراضی، تمهیدات لازم برای جلوگیری و یا کاهش خسارات ناشی از سیلاب اندیشیده شود (طاهری بهبهانی، ۱۳۷۵: ۴: ۵).

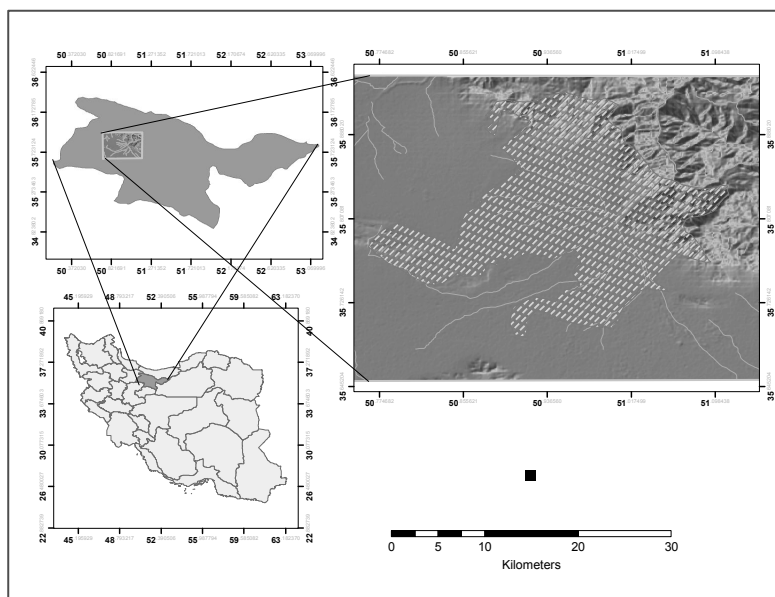
سیلاب‌ها نه تنها در کشورهای در حال توسعه، بلکه در کشورهای توسعه یافته و پیشرفته نیز باعث ایجاد خسارات مالی و جانی می‌شوند و آمارها نیز گویای روند رو به رشد چنین حوادثی می‌باشند. نمونه چنین رخدادهایی را می‌توان در سیلاب‌های ناشی از طوفان‌های حاره ای مشاهده نمود؛ نظیر طوفان کاترینا که در سال ۲۰۰۵ خسارات سنگینی را به ایالات متحده وارد نمود. در کرج نیز رخداد چندین سیلاب که در برخی موارد با خسارات جانی و مالی همراه بوده است، نشان دهنده ضرورت مطالعه جامع در زمینه سیلاب در بخش‌های بالادست شهر کرج می‌باشد. از جمله می‌توان به سیلاب ۲۶ فروردین ۱۳۸۶ اشاره کرد که منجر به ورود سیلاب به ایستگاه گلشهر مترو کرج و مسدود شدن آن گردید (خبرگزاری فارس، ۱۳۸۶/۱/۲۶). سیلاب ۱۰ اردیبهشت ۱۳۸۶ که در منطقه کلاک رخ داد و منجر به کشته و زخمی شدن ۲۰ نفر، تخریب ۸ واحد مسکونی و آبگرفتگی ۲۶ واحد مسکونی دیگر شد (روزنامه کیهان، ۱۳۸۶/۲/۱۰). علاوه بر موارد فوق سیلاب‌های مهم دیگری نیز در کرج رخ داده است.

مطالعات بسیاری در ارتباط با سیلاب در سطح ایران و جهان صورت گرفته است. برای تهیه نقشه سیلاب حوضه هلمند در افغانستان از مدل مهندسی معکوس سیلاب استفاده شده است (هاگن و همکاران، ۲۰۱۰: ۹). مطالعات دیگری در زمینه سیلاب بوسیله سیناکودن<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۳: ۱۲۵)، هودسن<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۳: ۲۴۳)، والسکی<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۶: ۷۱)، مروید<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۸: ۱۳۰۹)، بالدزار<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۹: ۲۷۹) انجام گردیده است. در ایران نیز کارهای بسیاری در زمینه سیلاب انجام شده که از جمله می‌توان به کارهای زیر اشاره نمود: وهابی (۱۳۷۶: ۱۳۵) جهت مدل سازی سیلاب از نرم افزار HEC-1 استفاده نموده است. قناتی و دیگران (۱۳۹۰: ۲۷۰) نیز پهنه های سیل خیز حوضه فرحزاد تهران را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی مشخص نمودند. همچنین حسین زاده و جهادی (۱۳۸۶: ۱۵۷) تاثیر گسترش شهر مشهد را بر الگوی زهکشی طبیعی و تشدید سیلاب های شهری مطالعه کرده اند و به این نتیجه رسیده اند که گسترش شهر بطور مستقیم و غیر مستقیم موجب تشدید سیل خیزی در این شهر گردیده است. امیر احمدی و همکاران (۱۳۸۸: ۱۷۱) با استفاده از روش شبیه سازی هیدرولوژیکی HEC-HMS سیلاب را در دشت کرون مورد بررسی قرار داده اند. نتایج نشان می‌دهد که مشارکت زیر حوضه‌ها در سیل خروجی لزوماً متناسب با دبی اوج زیر حوضه ها نمی‌باشد. در این پژوهش سعی شده است بر اساس عوامل موثر بر سیل خیزی و سیل گیری و با استفاده از منطق فازی، پهنه‌های سیل گیر و سیل خیز منطقه کرج مشخص گردند.

1 Sinnakaudan  
2 Hudson  
3 Wolski  
4 Merwade  
5 Baldassarre

## ۲. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در عرض  $35^{\circ} 39'$  تا  $35^{\circ} 56'$  شمالی و طول  $50^{\circ} 43'$  تا  $51^{\circ} 10'$  شرقی در استان البرز واقع گردیده است و ۱۳۱۱ کیلومتر مربع وسعت دارد. این ناحیه شامل دامنه‌های جنوبی البرز و دشت کرج می باشد. کلانشهر کرج و حومه ی آن در این محدوده واقع گردیده است. این منطقه دارای حداقل ارتفاع ۱۱۰۸ متر و حداکثر ارتفاع ۳۲۳۹ متر می باشد (شکل شماره ۱). مهم ترین رودهای دائمی منطقه رودخانه‌های کرج و کردان می باشند.



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه

## ۳. مواد و روش

در این تحقیق برای پهنه بندی خطر سیل خیزی و سیل گیری منطقه کرج از لایه‌های شیب، انحنای طولی و عرضی، بارش، تراکم زهکشی، فاصله از رود، زمین شناسی، ژئومورفولوژی، کاربری اراضی و خاک استفاده شده است (شکل شماره ۲).

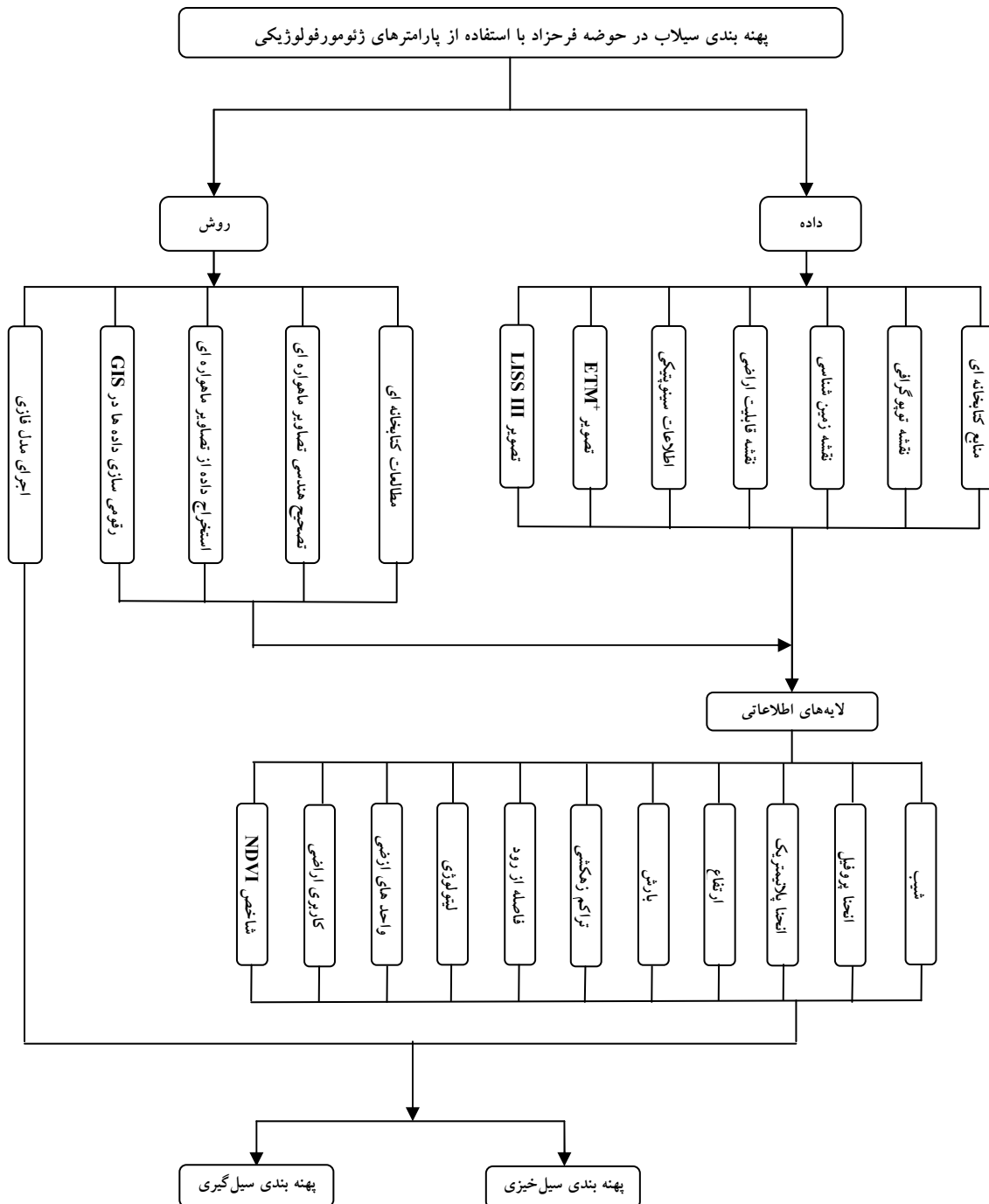
رابطه نمایی تغییرات بارش با ارتفاع بر اساس داده‌های مربوط به این ایستگاه‌های شمال تهران، چیتگر، کرج و امین آباد بدست آمده است (رابطه ۱) که مقدار ضریب همبستگی آن  $0/87$  می باشد.

رابطه (۱)

$$y = 0.545X - 425.01$$

$$R^2 = 0.87$$

با استفاده از رابطه (۱) و DEM منطقه لایه بارش بدست آمده است. بر اساس این نقشه حداقل بارش سالانه حوضه ۱۷۸ میلیمتر در خروجی حوضه و حداکثر آن ۱۳۴۰ میلیمتر در مرتفع‌ترین بخش حوضه می باشد.



شکل ۲ داده‌ها، روش و مراحل اجرای تحقیق

با توجه به این که پدیده‌هایی نظیر سیلاب تحت تاثیر عوامل بسیاری قرار دارند و این عوامل قطعی و صد در صدی نیستند، بنابراین بهتر است در مطالعه چنین پدیده‌هایی به جای استفاده از مدل بولین که لازمه آن داده‌های دقیق و کمی است، از مدل فازی استفاده شود. با استفاده از نظریه فازی می‌توان متغیرهای نادقیق و مبهم را به شکل ریاضی در آورد (مومنی، ۱۳۸۷: ۱۸۷). منطق فازی شیوه‌های مرسوم برای طراحی و مدل سازی یک سیستم را که نیازمند ریاضیات پیشرفته و نسبتاً پیچیده است با استفاده از مقادیر و شرایط زبانی و یا به عبارتی دانش فرد خبره و با هدف ساده سازی و کارآمدتر شدن طراحی سیستم، جایگزین و یا تا حد زیادی تکمیل می‌نماید (سلامی، ۱۳۸۹: ۲۰). این نظریه در الگو کردن پدیده‌های فیزیکی، نقشه برداری و طبقه بندی بطور گسترده استفاده شده است (رستمی، ۱۳۸۷: ۴۲). در مدل فازی هر عضو همزمان در مجموعه‌های مختلف ولی به درجات متفاوت عضویت دارد. درجات عضویت مقادیر بین صفر و یک و نیز خود این دو حد را می‌پذیرد. در نظریه مجموعه‌های دقیق اگر یک مجموعه را در نظر بگیریم، هر عضو مجموعه مرجع یا در مجموعه هست یا نیست و می‌توان برای هر مجموعه  $A$  تابع زیر را تعریف کرد (مومنی، ۱۳۸۷: ۱۹۷):

رابطه (۲)

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & , \text{If } x \in A \\ 0 & , \text{If } x \notin A \end{cases}$$

این تابع به هر عضو مجموعه  $A$  عدد (۱) و به هر عضو خارج از مجموعه  $A$  عدد (۰) نسبت می‌دهد. برای اجرای تکنیک فازی به عملگرهایی نظیر OR (اجتماع)، AND (اشتراک) Product (ضرب جبری)، Sum (جمع جبری) و Gamma (گاما) نیاز می‌باشد. در عملگر OR پیکسلی که فقط از نظر یک نقشه مناسب بوده و ارزش یک داشته باشد و از لحاظ سایر لایه‌های اطلاعاتی دارای ارزش صفر باشد، در نقشه خروجی تلفیق یافته و ارزش یک می‌گیرد و مناسب تشخیص داده می‌شود. عملگر AND فقط پیکسلی که در تمامی نقشه‌های پایه ارزش یک دارد، در نقشه نهایی ارزش یک خواهد داشت و جزء مناطق مناسب قرار می‌گیرد. عملگر Product موجب می‌شود تا اعداد مجموعه‌ها کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل کنند. اما عملگر Sum بر خلاف عملگر Product موجب می‌گردد تا اعداد به سمت یک میل نمایند. جهت تعدیل حساسیت خیلی بالایی عملگر Product و دقت خیلی کم عملگر Sum عملگر دیگری به نام Gamma تعریف شده است. مقدار گاما تعدیل کننده بین صفر و یک است و از طریق قضاوت کارشناسانه تعیین می‌شود. گامای صفر معادل ضرب فازی و گامای یک معادل جمع فازی است (دادرسی سبزواری، ۱۳۸۷: ۸۷). در این مطالعه از عملگرهای Sum، Product و Gamma استفاده گردیده است.

## ۳,۱. تعیین عضویت لایه‌ها در مدل سیل خیزی

تابع عضویت هر یک از لایه‌ها در مدل بر اساس نوع رابطه ای که هر پارامتر با پدیده سیل خیزی در حوضه کرج دارد، تعیین گردیده است. در زیر به این روابط اشاره شده است. همچنین این روابط برای هر یک از پارامترها در شکل (۳) ارائه گردیده است.

شیب: این پارامتر با سیل خیزی رابطه مستقیم دارد و از یک رابطه خطی افزاینده جهت تعیین عضویت این لایه استفاده شده است (شکل ۳ الف)).

Membership Function: Linear

Maximum: 20

Minimum: 5

خاک: منطقه مورد مطالعه از پنج نوع خاک متفاوت تشکیل گردیده است. به هر یک از انواع خاکها امتیازی تعلق گرفته است. موثرترین خاک در تولید رواناب امتیاز ۵ و کم تاثیرترین نوع خاک در ایجاد رواناب امتیاز ۱ گرفته است (شکل ۳ ب)).

Membership Function: Large

Midpoint: 3

Spread: 2

ژئومورفولوژی: این لایه از ۵ طبقه تشکیل شده است که به موثرترین طبقه در سیل خیزی امتیاز ۵ و کم تاثیرترین طبقه امتیاز ۱ داده شده است. بنابراین رابطه این لایه با سیل خیزی مستقیم می باشد (شکل ۳ ج)).

Membership Function: Large

Midpoint: 3

Spread: 2

انحنای طولی: با توجه به رابطه معکوس انحنای طولی با سیل خیزی از رابطه ای خطی و کاهنده جهت تعیین عضویت این لایه استفاده شده است (شکل ۳ د)).

Membership Function: Small

Midpoint: 0

Spread: 3

انحنای عرضی: جهت تعیین عضویت لایه انحنای عرضی به دلیل رابطه مستقیم آن با سیل خیزی از رابطه ای خطی و افزاینده استفاده شده است (شکل ۳ ه)).

Membership Function: Large

Midpoint: 0

Spread: 2

**کاربری اراضی:** در منطقه پنج نوع کاربری تعیین شده است، به نحوی که کاربری‌هایی که مرتبط با ساخت و ساز های شهری در منطقه بوده و به علت نفوذ پذیری کمتر، نقش بیشتری در تولید رواناب و در نتیجه سیل خیزی داشته اند، امتیاز بیشتری تعلق گرفته و کاربری‌هایی که پوشش گیاهی بیشتر داشته یا بصورت باغات و زمین‌های بایر بوده اند به علت نفوذ پذیری بیشتر، رواناب کمتری تولید نموده و در سیل خیزی اهمیت کمتری داشته اند، در نتیجه امتیاز کمتری به آنها تعلق گرفته است (شکل ۳(و)).

Membership Function: Large

Midpoint: 3

Spread: 2

**بارش:** رابطه بارش با سیل خیزی مستقیم است؛ پس از رابطه‌ای خطی و افزایش یافته استفاده شده است (شکل ۳(ز)).

Membership Function: Large

Midpoint: 580

Spread: 2

**تراکم زهکشی:** این پارامتر با سیل خیزی رابطه معکوس دارد، بنابراین از رابطه‌ای خطی و کاهنده در تعیین عضویت این لایه استفاده شده است (شکل ۳(ح)).

Membership Function: Small

Midpoint: 1.25

Spread: 5

**فاصله از رود:** افزایش فاصله از رود خطر سیل خیزی را در این منطقه افزایش می دهد. بنابراین از تابع زیر جهت تعیین عضویت لایه، که یک رابطه مستقیم می باشد، استفاده شده است (شکل ۳(ط)).

Membership Function: Large

Midpoint: 580

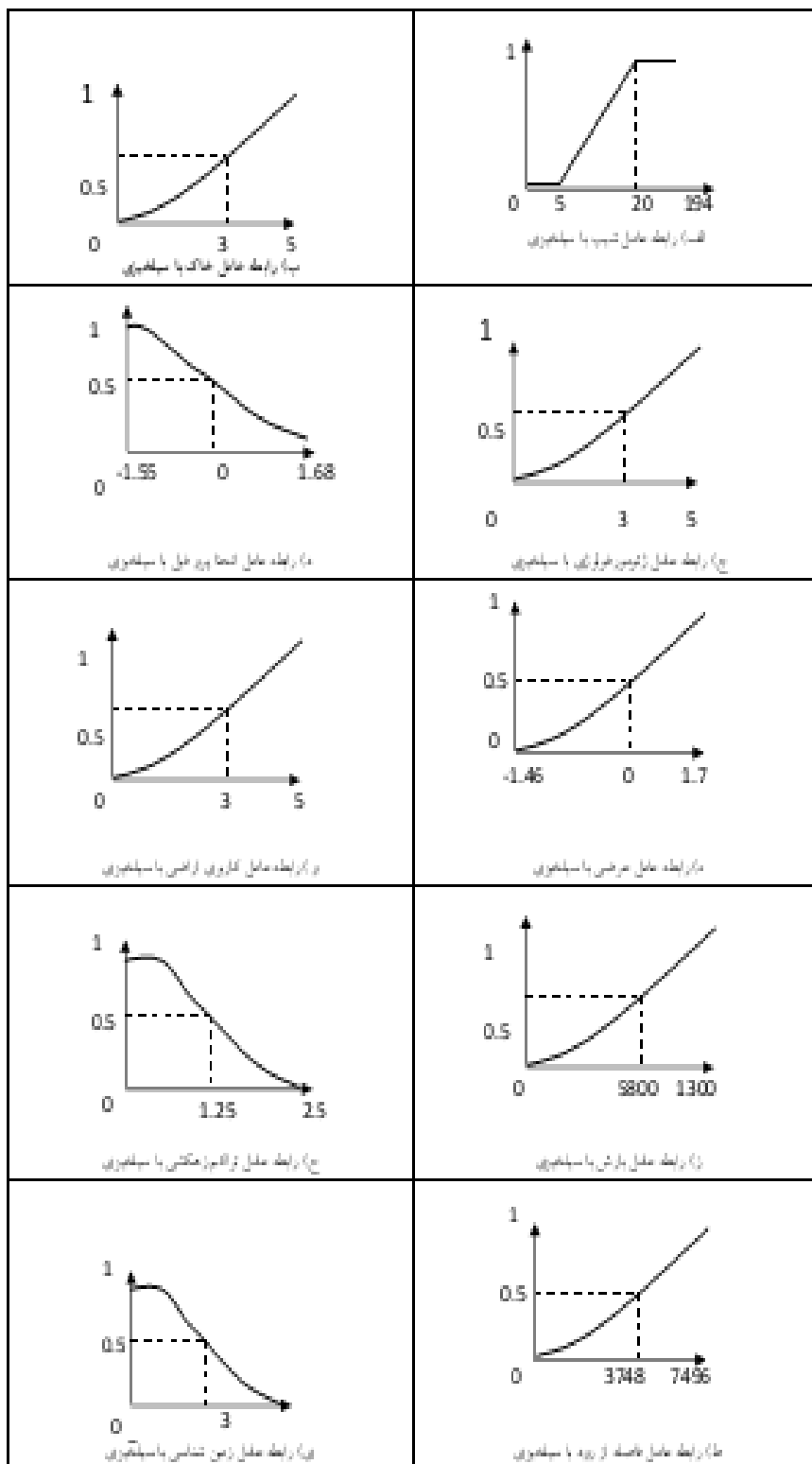
Spread: 2

**زمین شناسی:** این لایه از ۷ طبقه تشکیل شده است. امتیاز دهی به واحدهای زمین شناسی بر اساس چگونگی نفوذ پذیری آنها انجام شده است. به گونه ای که به واحدهایی که نفوذ پذیری بیشتری داشته اند، برای سیل خیزی امتیاز کمتری به آنها تعلق گرفته است و برعکس (شکل ۳(ی)).

Membership Function: Small

Midpoint: 3

Spread: 3



شکل ۳ روابط پارامترها با سیل مخیزی در عدلی



بر اساس روابط فوق برای هر لایه، عضویت تعیین شده است و بدین ترتیب به پیکسل‌ها ارزشی در بازه [۰،۱] تعلق گرفته است. پس از تعیین عضویت، نقشه نهایی سیل خیزی بر اساس گامای ۰/۹، ۰/۷ و ۰/۵ بدست آمده است.

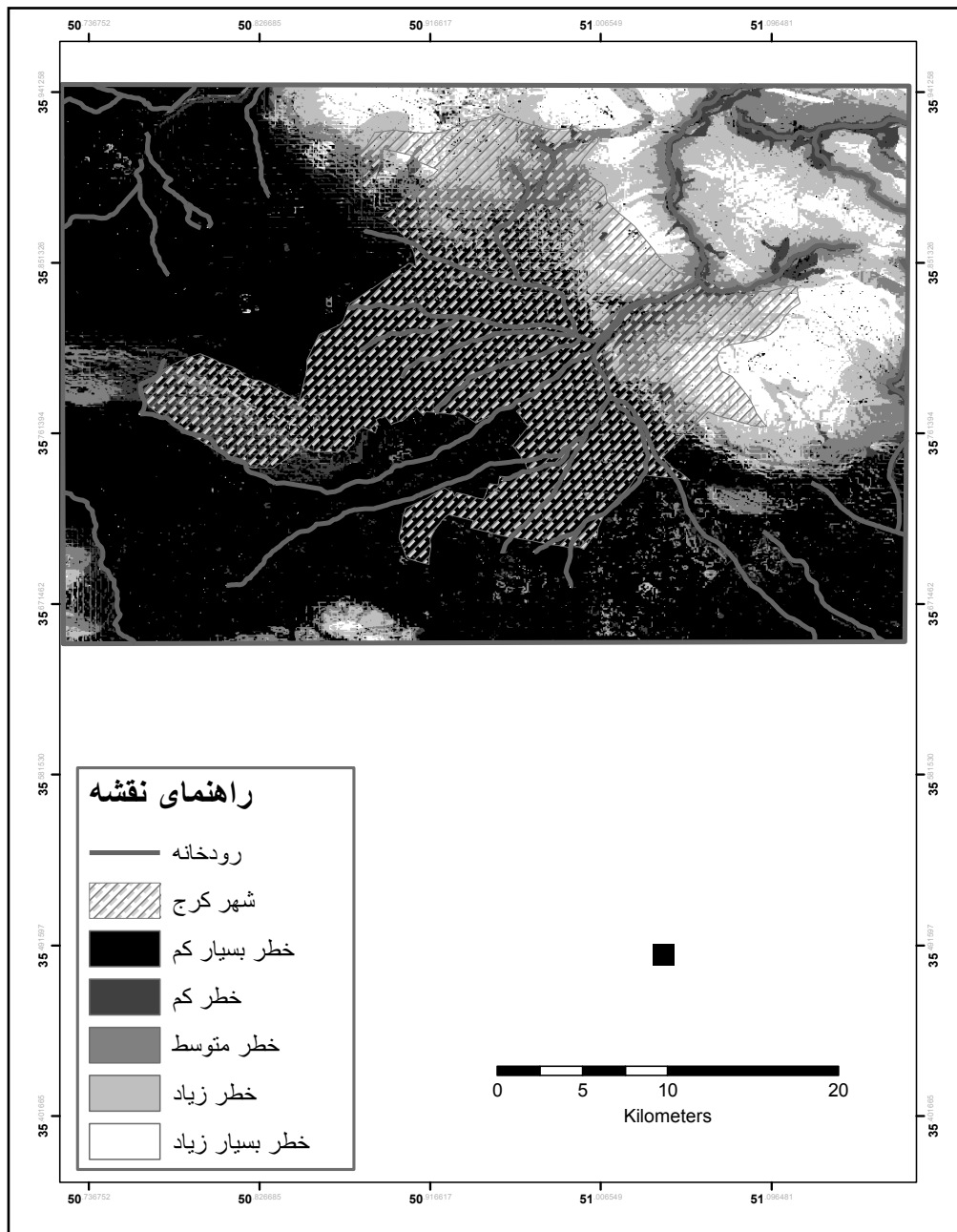
#### ۴. بحث و نتایج

پس از تعیین عضویت برای هر یک از لایه‌های وابسته به پارامترهای موثر بر روی سیل خیزی در منطقه مورد مطالعه و اجرای مدل سیل خیزی، نقشه نهایی پهنه بندی خطر سیل خیزی بر اساس گامای ۰/۹، ۰/۷ و ۰/۵ بدست آمده است. جهت تعیین مناسب ترین گاما در پهنه بندی سیل خیزی، مقدار همبستگی بین لایه های اولیه و نقشه های نهایی گاما های مختلف در محیط ArcGIS بدست آمد (جدول شماره ۱).

جدول ۱ نتایج همپوشانی هر یک از لایه‌ها با نقشه پهنه بندی خطر سیل خیزی گاما (۰/۹، ۰/۷، ۰/۵)

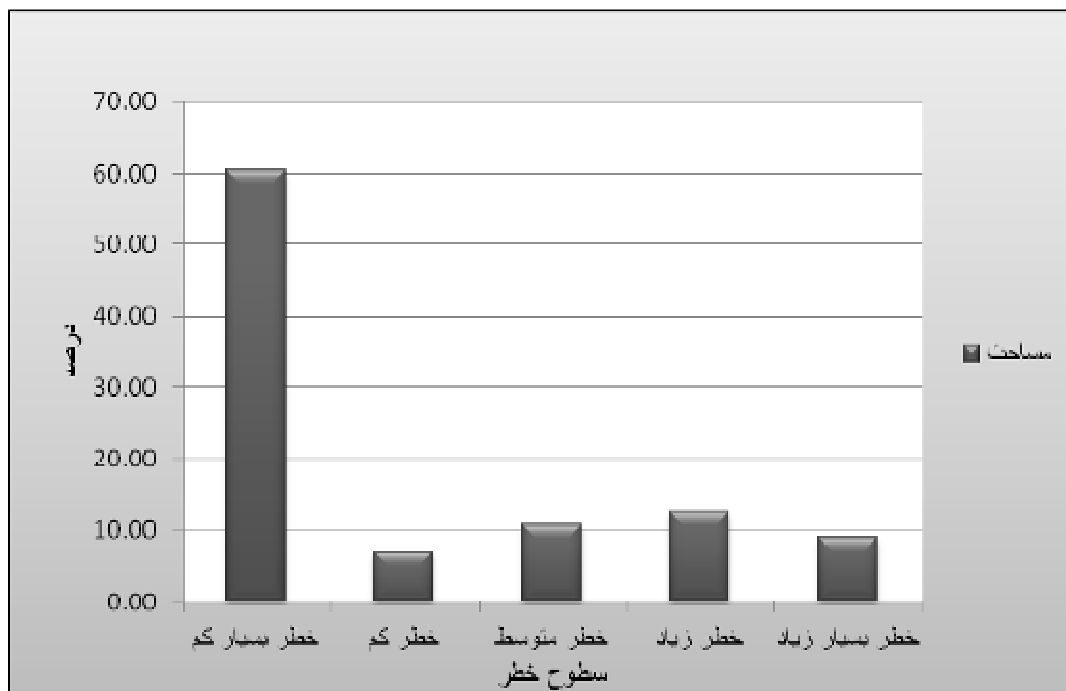
زمین شناسی	فاصله از رود	تراکم زهکشی	بارش	انحنای عرضی	انحنای طولی	کاربری	ژئومورفولوژی	خاک	شیب	
گامای ۰/۹	۰/۷۴	۰/۰۵	۰/۸۲	۰/۱	-۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۷۸	-۰/۲	۰/۲۶	-۰/۶۹
گامای ۰/۷	۰/۶۷	۰/۰۳	۰/۷۲	۰/۱۱	-۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۷۶	-۰/۲۴	۰/۳۴	-۰/۶۸
گامای ۰/۵	۰/۵۶	۰/۰۲	۰/۶	۰/۱	-۰/۱	۰/۱۱	۰/۶۷	-۰/۲۱	۰/۳۳	-۰/۶۳

با توجه به داده های جدول شماره ۱، نقشه گامای ۰/۹ بالاترین مقدار همبستگی را با لایه های اولیه داشته است. بنابراین گامای ۰/۹ به عنوان نقشه نهایی در پهنه بندی سیل خیزی انتخاب گردید (شکل شماره ۴). این نقشه بر اساس روش شکستگی های طبیعی در پنج سطح طبقه بندی شده است. بر اساس این نقشه سطوح با خطر بسیار زیاد در بخش شمالی، شمال شرقی و شرقی منطقه مورد مطالعه واقع گردیده است. این نواحی بیشتر کوهستانی بوده و دارای شیب زیادی هستند. نواحی با خطر کم نیز اغلب در دشت‌ها، دره‌ها و خط القعرها که شیب کمتری دارند، واقع گردیده اند. در نقشه فوق محدوده‌های با خطر بسیار زیاد با رنگ قرمز نشان داده شده است. مشخصات مربوط به هر یک از طبقات خطر در نقشه پهنه بندی خطر سیل خیزی در شکل شماره ۵ ارائه شده است.



شکل ۴ نقشه پهنه بندی خطر سیل خیزی در حوضه کرج (گامای ۰/۹)

بر اساس شکل شماره ۵ بیشتر مساحت منطقه مربوط به نواحی با خطر بسیار کم و خطر زیاد با مساحت به ترتیب ۷۸۴/۷۴ کیلومتر مربع (۶۰/۵۲ درصد) و ۱۶۵/۸۲ کیلومتر مربع (۱۲/۵۴ درصد) می باشد. کمترین مساحت نیز مربوط به سطوح با خطر کم (۹۵/۲۳ کیلومتر مربع) و بسیار زیاد (۱۲۰/۲۸ کیلومتر مربع) است.



شکل ۵: مساحت سطوح خطر در منطقه مورد مطالعه (بر حسب درصد)

#### ۴.۱. تعیین عضویت لایه‌ها در مدل سیل‌گیری

در مدل سیل‌گیری نیز بر اساس نوع رابطه پارامتر با سیل‌گیری برای لایه مورد نظر عضویت تعیین شده است. در زیر به این روابط اشاره شده و همچنین این روابط برای هر یک از پارامترها در شکل (۶) ارائه گردیده است.

**ژئومورفولوژی:** در این لایه ۵ واحد ژئومورفولوژیکی تعیین گردیده که به آنها امتیازی از ۱-۵ داده شده است. به موثرترین واحد در سیل‌گیری امتیاز ۱ و کم‌تأثیرترین واحد امتیاز ۵ تعلق گرفته است. بنابراین رابطه این لایه با سیل‌گیری معکوس می‌باشد (شکل ۶ الف)).

Membership Function: Small

Midpoint: 3

Spread: 5

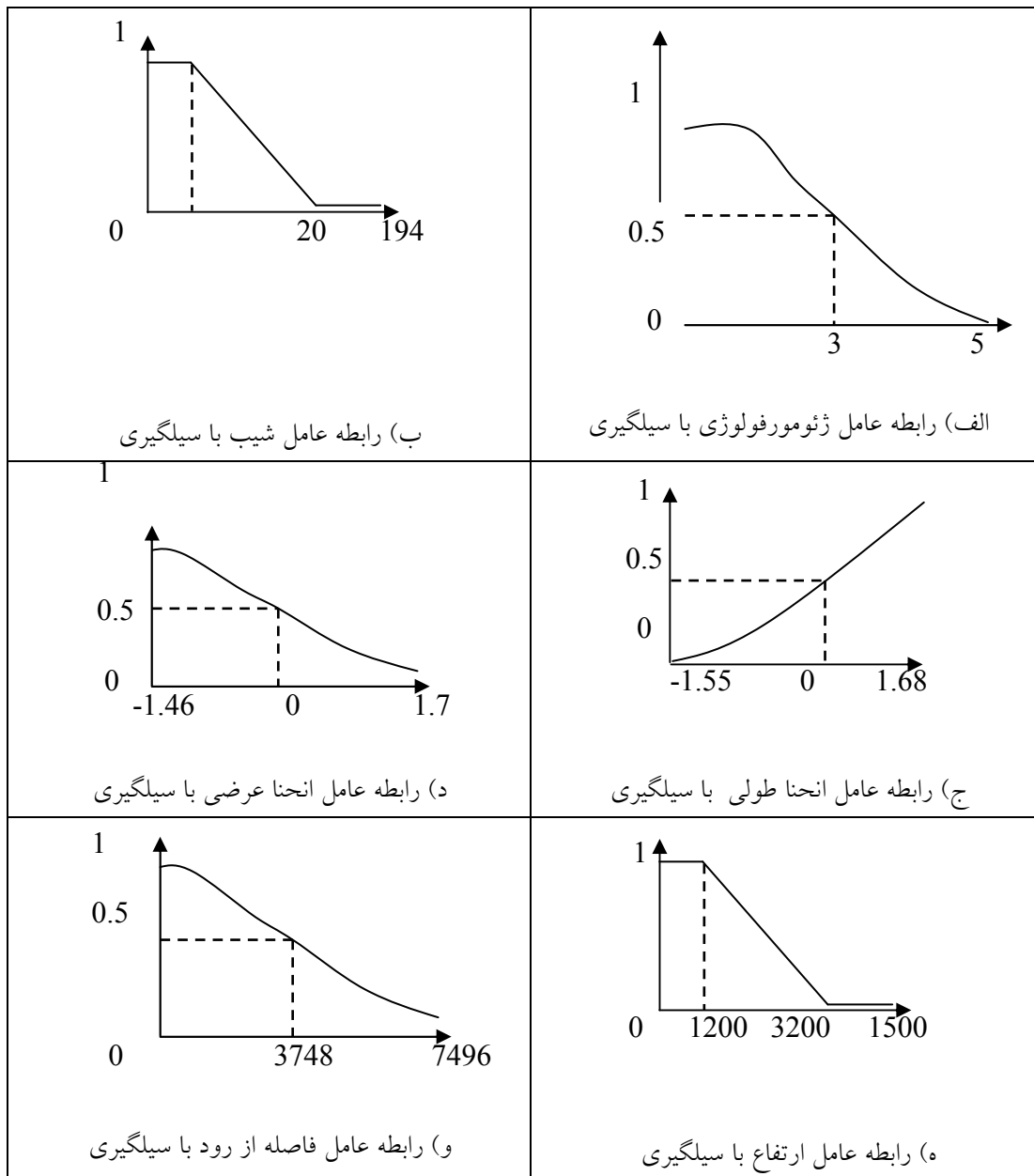
**شیب:** شیب با سیل‌گیری رابطه معکوس دارد، بنابراین جهت تعیین عضویت این لایه در مدل تابع زیر که یک

رابطه خطی کاهنده و شکسته می‌باشد استفاده شده است (شکل ۶ ب)).

Membership Function: Linear

Maximum: 5

Minimum: 20



شکل ۶ روابط پارامترها با سیلگیری در مدل

**انحنای طولی:** رابطه این پارامتر با سیلگیری مستقیم می باشد؛ بنابراین از رابطه ای خطی و افزایشنده در تعیین عضویت لایه انحنای طولی استفاده شده است (شکل ۶ ج).

Membership Function: Large  
Midpoint: 0  
Spread: 2

**انحنای عرضی:** با توجه به رابطه معکوس انحنای عرضی با سیل گیری از رابطه ای خطی کاهنده جهت تعیین عضویت این لایه استفاده شده است (شکل ۶(د)).

Membership Function: Small

Midpoint: 0

Spread: 3

**ارتفاع:** با کاهش ارتفاع احتمال خطر سیل گیری افزایش می یابد؛ یعنی ارتفاع با سیل گیری رابطه معکوس دارد، بنابراین جهت تعیین عضویت این لایه از رابطه ای خطی و کاهنده استفاده شده است (شکل ۶(ه)).

Membership Function: Linear

Maximum: 1200

Minimum: 1500

**فاصله از رود:** کاهش فاصله از رود خطر سیل گیری را افزایش می دهد و از رابطه ای خطی و کاهنده استفاده شده است (شکل ۶(و)).

Membership Function: Small

Midpoint: 3748

Spread: 3

پس از تعیین عضویت برای هر یک از لایه ها، به پیکسل های این لایه ها عضویتی در بازه [۰-۱] تعلق گرفته و سپس وارد مدل گردیده و نقشه نهایی سیل گیری بر اساس گامای ۰/۹، ۰/۷ و ۰/۵ بدست آمد.

پس از تعیین عضویت برای هر یک از لایه های وابسته به پارامتر های موثر بر سیل گیری در حوضه کرج و اجرای مدل، نقشه نهایی پهنه بندی خطر سیل گیری بر اساس گامای ۰/۹، ۰/۷ و ۰/۵ بدست آمده است. برای تعیین مناسب ترین گاما در پهنه بندی، ضریب همبستگی بین هر یک از لایه های پارامتر های موثر و نقشه های نهایی گاما در محیط ArcGIS بدست آمد (جدول شماره ۲)

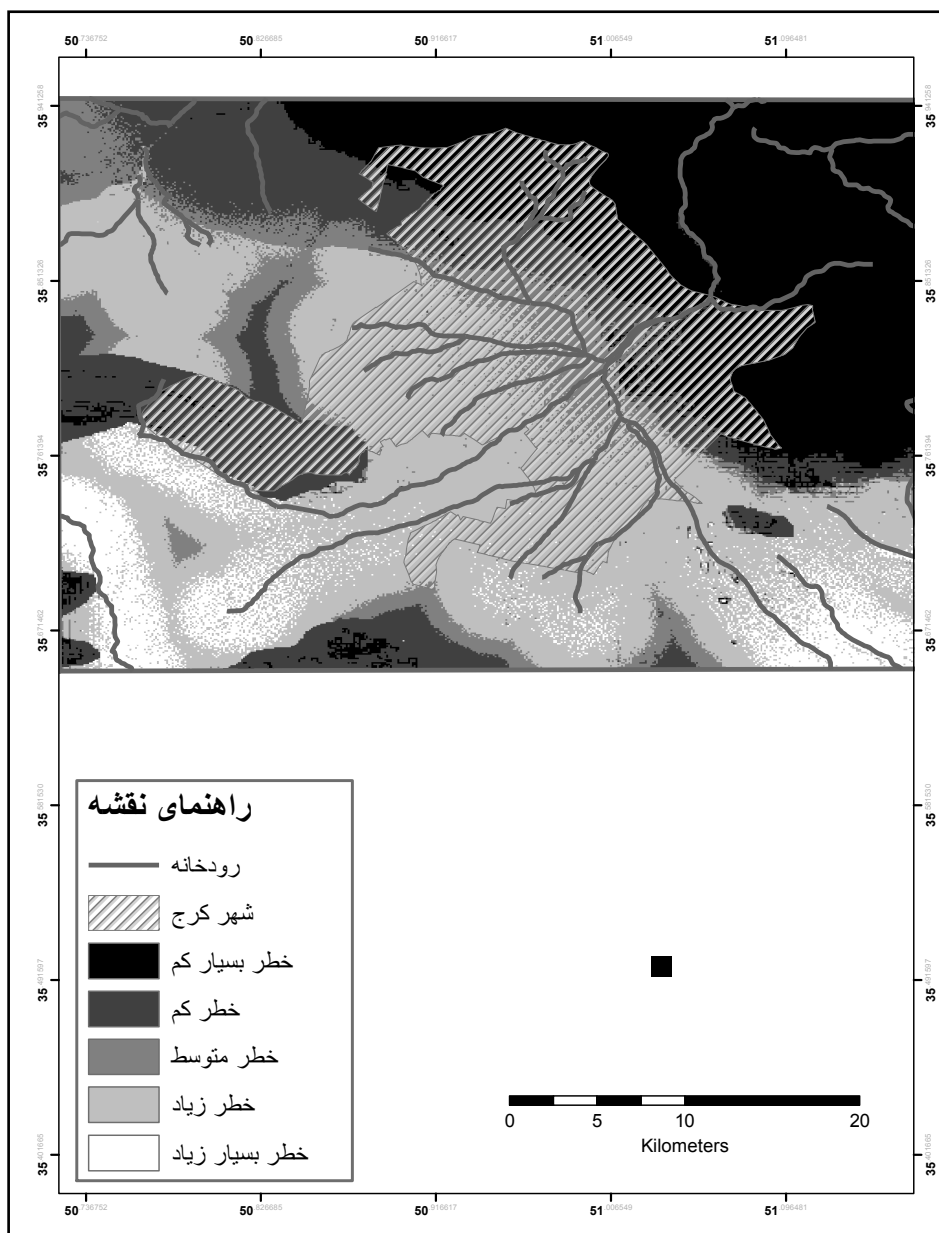
**جدول ۲** نتایج همپوشانی هر یک از لایه ها با نقشه پهنه بندی خطر سیل گیری

فاصله از رود	ارتفاع	انحنای عرضی	انحنای طولی	شیب	ژئومورفولوژی	
-۰/۲	-۰/۸۵	-۰/۰۴	-۰/۰۳	-۰/۶۸	-۰/۹۲	Gamma 0.9
-۰/۲۶	-۰/۸۲	-۰/۰۴	-۰/۰۲	-۰/۶۵	-۰/۹۴	Gamma 0.7
-۰/۲۹	-۰/۷۸	-۰/۰۵	-۰/۰۲	-۰/۶۱	-۰/۹۳	Gamma 0.5

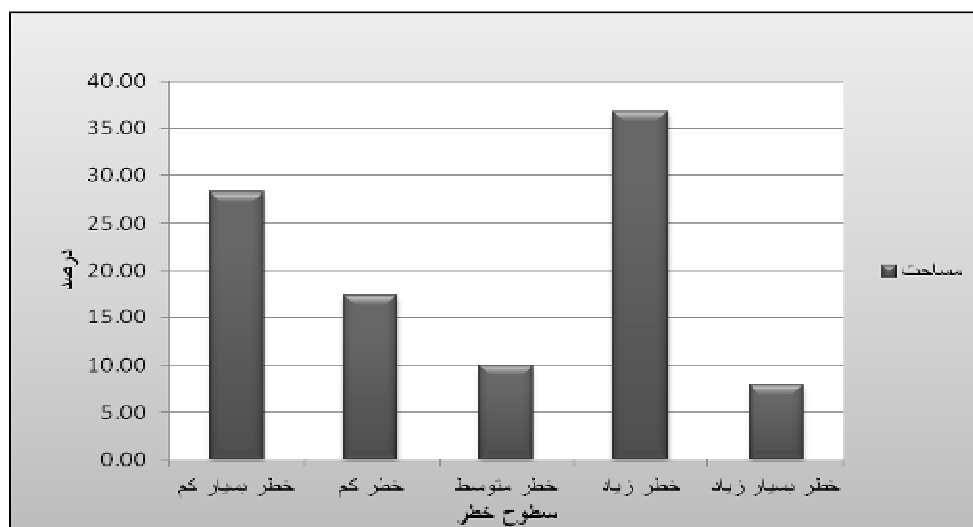
با توجه به داده های جدول شماره ۲ نقشه گامای ۰/۹ بالاترین مقدار همبستگی را با لایه های اولیه داشته است. بنابراین گامای ۰/۹ به عنوان نقشه نهایی در پهنه بندی خطر سیل گیری انتخاب گردید (شکل شماره ۷). با توجه به شکل شماره ۵، پهنه های با خطر سیل گیری بسیار زیاد اغلب در قسمت های جنوب غربی و جنوب شرقی منطقه

مورد مطالعه واقع گردیده اند. پهنه های با خطر زیاد نیز اغلب در قسمت های مرکزی و غربی قرار دارند. پهنه های با خطر بسیار زیاد و زیاد که با رنگ قرمز مشخص شده اند، منطبق بر دشت ها می باشند. مشخصات مربوط به هر یک از طبقات خطر در نقشه پهنه بندی خطر سیل گیری در شکل (۸) ارائه شده است.

بر اساس شکل (۷)، بیشتر مساحت منطقه مربوط به نواحی با خطر زیاد با مساحت  $480/82$  کیلومتر مربع ( $337$  درصد) می باشد. در شکل شماره ۸ مساحت هر یک از این سطوح بر حسب درصد نشان داده شده است.



شکل ۷ نقشه پهنه بندی خطر سیل گیری در حوضه کرج، گامای ۰/۹



شکل ۸ مساحت سطوح خطر (بر حسب درصد)

## ۵. نتیجه گیری

در این تحقیق خطر سیلاب (سیل خیزی و سیل گیری) در محدوده شهر کرج و نواحی پیرامون آن، با استفاده از منطق فازی با درجات مختلف معین شده است. در پهنه بندی سیل خیزی لایه‌های شیب، خاک، ژئومورفولوژی، کاربری اراضی، انحنای طولی، انحنای عرضی، بارش، تراکم زهکشی، فاصله از رود و زمین شناسی استفاده شده است. سپس به هر یک از لایه‌ها با توجه به نوع روابط شان با پدیده سیل خیزی و سیل گیری و بر اساس توابع تعیین شده مقدار عضویت تعیین و وارد مدل گردیدند. با توجه به نقشه نهایی بدست آمده (گامای ۰/۹) در سیل خیزی، پهنه‌های با خطر بسیار زیاد در بخش شمالی، شمال شرقی و شرقی منطقه مورد مطالعه واقع گردیده‌اند. نواحی با خطر کم نیز اغلب در دشت‌ها، دره‌ها و خط القعرها که شیب کمتری دارند، واقع شده‌اند. در جدول شماره ۳ پهنه‌های موثر هر پارامتر در ایجاد سطوح سیل خیز در حوضه بطور خلاصه ارائه شده است. در این جدول موثرترین و کم تاثیرترین سطوح در ایجاد پهنه‌های سیل خیز در حوضه کرج و مساحت این سطوح در حوضه را به درصد نشان می‌دهد. بر اساس این جدول موثرترین سطوح در ایجاد پهنه‌های سیل خیز اغلب شیب بین ۳۰ تا ۷۵ درصد و بارش بین ۶۰۰ تا ۹۰۰ میلی‌متر دارند و در فاصله ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متری از آبراهه‌ها قرار گرفته‌اند. تراکم زهکشی این پهنه‌ها در بیشتر موارد بین ۰ تا ۰/۵ است و در واحد سازند کرج می‌باشند که یک واحد کوهستانی با شیب زیاد را بوجود آورده است. پهنه‌های موثر در سیل خیزی بیشتر از نوع مراتع درجه دو می‌باشند. همچنین کم تاثیرترین سطوح در ایجاد سیل خیزی اغلب شیب بین ۱ تا ۵ درصد و بارش کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر دارند و در فاصله ۰ تا ۱۵۰۰ متری از آبراهه‌ها قرار گرفته‌اند. تراکم زهکشی این پهنه‌ها مانند پهنه‌های با خطر زیاد بین ۰ تا ۰/۵ است که نشان دهنده رابطه ضعیف این پارامتر با سیل خیزی می‌باشد.

باشد. این پهنه‌ها از لحاظ زمین شناسی در واحد سازند قرمز فوقانی و از لحاظ ژئومورفولوژیکی در دشت‌ها واقع گردیده‌اند. کاربری این سطوح اغلب باغداری می باشد.

جدول ۳ جمع بندی نتایج همپوشانی هر یک از لایه‌ها با نقشه پهنه بندی خطر سیل خیزی

ردیف	معیار	موثرترین سطوح	مساحت به درصد	کم تاثیر ترین سطوح	مساحت به درصد
۱	شیب	۳۰ تا ۷۵ درصد	۵۶/۵۳	۱ تا ۵ درصد	۸۰/۰۶
۲	انحنای طولی	دامنه‌های محدب	۵۳/۵۸	دامنه‌های با انحنای کم	۴۹/۰۸
۳	انحنای عرضی	میان آب‌ها	۵۶/۷۸	دامنه‌های با انحنای کم	۴۷/۰۹
۴	بارش	۶۰۰ تا ۹۰۰ میلیمتر	۵۹/۶۸	کمتر از ۳۰۰ میلیمتر	۹۱/۶۳
۵	تراکم زهکشی	تراکم ۰ تا ۰/۵	۹۹/۹۵	تراکم ۰ تا ۰/۵	۷۷/۳۷
۶	فاصله از رود	۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر	۴۱/۹۶	۰ تا ۱۵۰۰ متر	۵۸/۷۱
۷	زمین شناسی	سازند کرج	۷۲/۴۴	سازند قرمز فوقانی	۷۸/۴۹
۸	ژئومورفولوژی	کوهستان	۹۷/۶۶	دشت	۸۰/۳۸
۹	کاربری اراضی	مرتع درجه دو	۵۹	باغ داری	۵۶/۰۷
۱۰	خاک	خاک لیتوسل نیمه مرطوب	۹۳/۷۶	خاک آبرفتی غیر نمکی	۵۳/۴۶

با توجه به نقشه نهایی بدست آمده سطوح سیل گیر با خطر بسیار زیاد اغلب در قسمت‌های جنوب غربی و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه واقع گردیده‌اند. پهنه‌های با خطر زیاد نیز اغلب در قسمت‌های مرکزی و غربی قرار دارند. نواحی و بخش‌های کوهستانی در منطقه نیز اغلب سطوح با خطر بسیار کم سیل گیری را بو جود آورده‌اند. این نواحی در قسمت‌های شمالی، شمال شرقی و شرقی منطقه واقع شده‌اند. در نقشه پهنه بندی خطر سیل گیری بیشترین مساحت مربوط به نواحی با خطر زیاد با مساحت ۴۸۰/۸۲ کیلومتر مربع (۳۶/۷ درصد) و کمترین مساحت نیز مربوط به سطوح با خطر بسیار زیاد با مساحت ۱۰۳/۲ کیلومتر مربع (۷/۸۸ درصد) می باشد.

جدول ۴ جمع بندی نتایج همپوشانی هر یک از لایه‌ها با نقشه پهنه بندی سیل گیری

ردیف	معیار	موثرترین سطوح	مساحت به درصد	کم تاثیر ترین سطوح	مساحت به درصد
۱	شیب	۱ تا ۵ درصد	۷۳/۳	۳۰ تا ۷۵ درصد	۵۰/۷۲
۲	انحنای طولی	دامنه با انحنای کم	۴۷/۰۵	دامنه مقعر	۴۸/۹۸
۳	انحنای عرضی	دره‌ها	۴۵/۶۴	میان آب‌ها	۴۷/۸۴
۴	ارتفاع	۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ متر	۱۰۰	۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ متر	۴۱/۶۹
۵	فاصله از رود	۰ تا ۱۵۰۰ متر	۷۵/۴	۰ تا ۱۵۰۰ متر	۴۵/۷۵
۶	ژئومورفولوژی	دشت	۸۶/۴۲	کوهستان	۹۳/۴۸



در جدول شماره ۴ پهنه‌های موثر در ایجاد سطوح سیل گیر بطور خلاصه ارائه شده است. موثرترین و کم تاثیرترین سطوح در ایجاد پهنه‌های سیل گیر در منطقه مورد مطالعه و مساحت این سطوح به درصد را نشان می دهد. بر اساس این جدول موثرترین سطوح در ایجاد پهنه‌های سیل گیر اغلب شیب بین ۱ تا ۵ درصد و ارتفاع بین ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ متر دارند و در فاصله ۰ تا ۱۵۰۰ متری از آبراهه‌ها قرار گرفته اند. این سطوح به لحاظ ژئومورفولوژیکی در دشت‌ها واقع گردیده اند. همچنین کم تاثیرترین سطوح در ایجاد خطر سیل گیری اغلب شیب بین ۳۰ تا ۷۵ درصد و ارتفاع بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ متر دارند و در فاصله ۰ تا ۱۵۰۰ متری از آبراهه‌ها قرار گرفته اند. این سطوح اغلب در واحدهای کوهستانی با شیب زیاد واقع گردیده اند.

### کتابنامه

- اشقلی فراهانی، ع؛ ۱۳۸۰. ارزیابی خطر نا پایداری دامنه های طبیعی در منطقه رود بار با استفاده از تئوری فازی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم. رشته زمین شناسی مهندسی. دانشگاه تربیت معلم تهران.
- امیر احمدی، ا؛ شیران، م؛ ۱۳۸۸. کاربرد مدل HEC-HMS در تحلیل حساسیت متغیرهای ژئومورفولوژی مؤثر بر سیلاب دشت کرون. جغرافیا و توسعه. شماره ۱۶. صص ۱۵۳-۱۷۳. زاهدان.
- بهشتی، م؛ فیض نیا، س؛ سلاجقه، ع؛ احمدی، ح؛ ۱۳۸۸. بررسی کارایی پهنه بندی زمین لغزش فاکتور اطمینان: مطالعه موردی حوزه آبخیز معلم کلایه. فصلنامه جغرافیایی طبیعی. شماره ۵. صص ۲۰-۳۲. لارستان.
- پورتال خبری تحلیلی البرز؛ ۱۳۸۸. ۱۰ اسفند.
- تصویر ماهواره ای ETM+ لندست. تهیه شده از سازمان فضایی.
- تصویر ماهواره ای IRS. تهیه شده از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
- حسین زاده، س. ر؛ جهادی طوقی، م؛ ۱۳۸۶. اثرات گسترش شهر مشهد بر الگوی زهکشی طبیعی و تشدید سیلاب‌های شهری. پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۶۱. صص ۱۴۵-۱۵۹. تهران.
- خبرگزاری فارس؛ ۱۳۸۶. ۲۶ فروردین.
- دادرسی سبزواری، ا؛ ۱۳۸۷. مقایسه مدل منطق فازی با سایر مدل های مفهومی سازگار با GIS در مکان یابی مناطق مستعد سیلاب با کاربرد اطلاعات ماهواره ای سنجنده ETM+. چاپ در مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک ۸۷ تهران.
- رستمی، ف؛ ۱۳۸۷. اصلاح مدل برآورد رسوب ام پسیاک با بکارگیری تکنیک فازی در حوضه سد زاگرس. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده ادبیات. رشته جغرافیا. دانشگاه تربیت معلم.
- روزنامه کیهان؛ ۱۳۸۶. ۱۰ اردیبهشت.
- سلامی، م؛ ۱۳۸۹. تحلیل پارامترهای کیفی آب تالاب انزلی با استفاده از روش ریاضی فازی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم.

سمعیان، ج؛ ۱۳۸۵. پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: زیر حوضه لاجیم از حوضه آبخیز تجن ساری). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم زمین. رشته جغرافیا. دانشگاه شهید بهشتی.

طاهری بهبهانی، م، بزرگ زاده، م؛ ۱۳۷۵. سیلاب‌های شهری. تهران: مرکز مطالعات و تحقیقات شهر سازی و معماری ایران. قنوتی، ع. کرم، ا. علیخانی، م؛ ۱۳۹۰. کارایی روش تحلیل سلسله مراتبی در مطالعات سیل خیزی. جغرافیا، نشریه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران. شماره ۳۱، صص ۲۵۵-۲۷۵.

مومنی، م؛ ۱۳۷۸. مباحث نوین تحقیق در عملیات. چاپ دوم. تهران: دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.

نقشه ارزیابی منابع و قابلیت اراضی ۱:۲۵۰۰۰۰ استان تهران. تهیه شده از موسسه تحقیقات خاک و آب.

نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ کرج. تهیه شده از سازمان زمین شناسی ایران.

نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استان تهران. تهیه شده از سازمان زمین شناسی ایران.

وهایی، ج؛ ۱۳۷۶. پهنه بندی خطر سیل با بکارگیری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه آبخیز طالقان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم انسانی. رشته جغرافیا طبیعی. دانشگاه تربیت مدرس.

Alborz analytical portal news, Feb.2010.

Amirahmadi, A., Shiran, M., 2010. Application of HEC- HMS model for sensibility analysis geomorphology variables that affect flood in Karon plain, geography and development, 16, 153-173.

Beheshti, M., faznia, S., Slajeghe E., Ahmadi, H., 2010. Efficiency of landslide zoning base on factor coefficient: Moalem Klayeh basin, physical geography quarterly 5, 20-32.

Ashgali Farahani, E., 2002. Hazard evaluation of instability of natural slopes in Rod bar area using Fuzzy theory. M.A thesis, science faculty, Tarbiat Moalem University.

Baldassarre, G.Di., Guy, S., Paul, D.B., 2009. A technique for the calibration of hydrolic models using uncertain satellite observation of flood extent. Journal of Hydrology, 367, 276-282.

Dadrasi Sabzevari, A., 2009. Comparison of Fuzzy logic model with other conceptual models that compatible with GIS to identifying flooding area. Geomatic Conference 2009, Tehran.

Ghanavati, E., Karam, A., Alikhani, M., 2012. efficiency of analytical hierarchy process for flooding study. geography, the journal of Iranian geographical association.

Hagen E., J.F. Shrodr Jr., X.X.Lu, John F.T., 2010. Reverse engineered flood hazard mapping in Afghanistan: A parsimonious flood map model for developing Countries. Quaternary International XXX, 1-10.

Hosainzadeh, S. R., Jahadi Toroghi, M., 2008. The effects of expansion of Mashhad metropolise on the natural drainage network and increasing of urban floods. Geographical research, 61, 145-159.

Hudson P. F., Hans M, Esther S., 2003. Flood management along the Lower Mississippi and Rhine Rivers (the Netherlands) and the continuum of geomorphic adjustment. Geomorphology 101, 1-2, 209-236.

IRS and ETM<sup>+</sup> satellite imagery.

- Merwade V., Aaron C., Julie C., 2008. GIS Technigues for creating river terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping. *Environment Modeling & Software* 23, 1300-1311.
- Moemeni, M., 1999. *New Discussions for research on operations*, second edition. management faculty, Tehran University.
- Rostami,F., 2009. adjustment of M PSIAC sediment estimation model using Fuzzy technique for Zagros fuzzy dam basin. MA thesis, Tarbiat Moalem University.
- Samia, j., 2007. landslide hazard zonation using RS and GIS for Tajan basin. MA thesis, Shahid Beheshti University.
- Sinnakaudan, F.K, Aminuddin, Ab G, Mohd Sanusis, A., Nor Azizi Z., 2003. Flood risk mapping for Pari River incorporating sediment transport. *Environment Modelling & Software* 18, 119-130.
- Slami, M., 2011. analysis of quality parameters Anzali marsh water, using fuzzy mathematic method. MA thesis, Tarbiat Moalem University.
- Taheri Behbahani, M., Bozorgzadeh, M., 1997. *Urban floods*. Architectural and urbanism research center of Iran.
- Vahabi, J., 1998. flood risk mapping for Taleghan basin using RS and GIS. MA thesis, Tarbiat Modares University.
- Wolski P., H.H.G. Savenije, M., Murray, Hudson, T.G., 2006. Modelling of the flooding in the Dkavango Delta, Botswana, using a hybrid reservoir GIS model. *Journal of Hydrology* 331, Issues 1-2, 58-72.