

Dor: [20.1001.1.2008921.1399.11.22.8.9](https://doi.org/10.1001.1.2008921.1399.11.22.8.9)

## ارزیابی اثر زیرساخت‌های جاده‌ای در میزان سیل‌خیزی حوضه آبخیز مادرسو استان گلستان

الهام ابراهیمی\*<sup>۱</sup>، نغمه مبرقی دینان<sup>۲</sup>، مصطفی کشتکار<sup>۳</sup>

۱ دانشجوی دکتری، گروه تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم‌ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، ایران  
۲ دانشیار، گروه برنامه‌ریزی محیط‌زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، ایران  
۳ دانشجوی دکتری، گروه برنامه‌ریزی محیط‌زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۰؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸)

### چکیده

سیل به عنوان یکی از بلایای طبیعی در حوضه آبخیز گلستان موجب پیامدهای منفی اقتصادی-اجتماعی و محیط‌زیستی زیادی شده است. در این پژوهش، به منظور ارزیابی اثر زیرساخت‌های جاده‌ای در میزان سیل‌خیزی حوضه آبخیز مادرسو استان گلستان، از روش تحلیل سلسله مراتبی و آنالیز حساسیت متغیرهای اثرگذار بر وقوع سیل استفاده شد. ابتدا لایه‌های رقومی تاثیر گذار بر وقوع سیل شامل شیب زمین، بارندگی، فاصله از پل‌های احداث شده، تراکم زهکشی و ارتفاع زمین در محیط نرم افزار ArcGIS10.2 تهیه شد. مقایسات زوجی در قالب پرسش‌نامه و براساس نظرات کارشناسان مختلف انجام و وزن هر یک از معیارها در نرم افزار Expert choice به دست آمد. سپس نقشه مناطق مستعد سیل تهیه و براساس وقایع سیل‌های گذشته و با استفاده از منحنی ROC در نرم افزار SPSS 19 اعتبارسنجی شد. نتایج نشان داد متغیر فاصله از پل‌های احداث شده و ارتفاع از سطح دریا به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین وزن را دارند. اعتبارسنجی نقشه نیز دقت ۸۸٪ را نشان داد. آنالیز حساسیت مدل نیز اثبات کرد متغیر فاصله از پل‌های احداث شده بیشترین تاثیر را بر سیل‌خیزی منطقه داشته است. بنابراین، احداث پل‌های غیراستاندارد به عنوان یکی از زیرساخت‌های جاده‌ای مؤثر بر رژیم جریان و مهندسی رودخانه، می‌تواند به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل دخیل در وقوع سیل‌های حوضه آبخیز مادرسو در نظر گرفته شود.

**کلید واژه‌ها:** وقوع سیل، زیرساخت‌های جاده‌ای، پل‌های غیراستاندارد، آنالیز حساسیت، حوضه آبخیز مادرسو

## سرآغاز

کشور ایران یکی از کشورهای درحال توسعه در خاورمیانه است که از جهات مختلف از جمله گسترش راه‌های ارتباطی، طراحی و احداث پل‌های استاندارد نیازمند برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار است. هیدرولوژی حوضه آبخیز و مولفه‌های مختلف بیلان از جمله میزان رواناب و سیل‌خیزی آن‌ها بشدت تحت تاثیر کاربری‌های مختلف و خصوصیات فیزیکی حوضه آبخیز است (Saghafian et al., 2008). عوامل انسانی می‌توانند به شدت سیل‌خیزی حوضه آبخیز را افزایش داده و موجب وقوع سیل‌های بسیار سهمگین و خطرناک شود. به عنوان مثال گسترش شهرسازی و مناطق نفوذناپذیر در یک حوضه آبخیز می‌تواند درصد تولید رواناب سطحی را افزایش داده و به تبع آن احتمال سیلابی شدن جریان رودخانه‌ها افزایش یابد (Sharifi et al., 2012; Kia et al., 2008). یکی از دخالت‌های انسانی مهم در زمینه اثرگذاری بر میزان سیل‌خیزی و خسارت‌های ناشی از آن، طراحی و ساخت پل‌های غیراستاندارد و نامناسب است که موجب کاهش سیل‌گذری رودخانه و مسدود کردن تقریبی مسیر جریان می‌گردند. تاثیر این مورد در حوضه‌های آبخیز جنگلی دوچندان می‌شود؛ زیرا در زمان وقوع سیل تنه درختان و درختچه‌هایی که سیل به همراه دارد، در مجرای پل‌های احداث شده به دام افتاده و بخاطر مسود شدن نسبی جریان رودخانه و سیل‌گرفتنی، خسارت‌های زیادی به اراضی مجاور، جاده‌های اطراف، پل‌های احداث شده و مناطق مسکونی وارد می‌شود (Bates, 2012).

با توجه به اینکه حوضه آبخیز مادرسو استان گلستان یکی از حوضه‌های آبخیز جنگلی کشور بوده و سابقه طولانی در وقوع سیل‌های خطرناک و ویرانگر دارد، لزوم توجه هرچه بیشتر به این حوضه آبخیز و عوامل موثر بر وقوع سیل را می‌طلبند (Rahmati et al., 2015b). یکی از سیل‌های مهیب این حوضه آبخیز مربوط به سال ۱۳۸۰ بوده که موجب تلفات سنگین انسانی و خسارت‌های جدی اقتصادی شد که براساس اعلام ستاد حوادث مترقبه کشور این سیل از نظر خسارات اقتصادی رتبه پانزدهم و از نظر تلفات جانی رتبه اول را در ایران به خود اختصاص داده است (پناهی و علیجانی، ۱۳۹۲). در مطالعه‌ای دیگر شریفی و همکاران به بررسی عوامل و اثرات سیلاب‌های این حوضه آبخیز پرداختند و نتایج نشان داد که حساسیت حوضه آبخیز نسبت به وقوع سیل بسیار بالاست و دخالت‌های انسانی

می‌تواند میزان سیل‌خیزی را کنترل و یا تشدید کند (Sharifi et al., 2012). براساس نتایج محمدی استادکلایه و همکاران سیلاب مزبور تاثیر زیادی بر مورفولوژی رودخانه (طول قوس، طول موج، ضریب مئاندری) و اراضی اطراف داشته است که این تغییرات مورفولوژی رودخانه نیز به نوبه خود در آینده موجب تغییر رژیم هیدرولوژیکی حوضه آبخیز و خصوصیات جریان آن می‌شود (محمدی استادکلایه و همکاران، ۱۳۸۶). یوسفی و همکاران وقوع سیل در حوضه آبخیز جده عربستان را با استفاده از روش‌های آماری دومتغیره و چندمتغیره شبیه‌سازی کرده و عوامل موثر بر آن را نیز تحلیل نمودند. نتایج ایشان نشان داد که وقوع سیلاب‌های این حوضه آبخیز ناشی از عوامل طبیعی بوده ولی عوامل انسانی بصورت چشمگیری خسارت ناشی از آن را تشدید می‌کند (Youssef and Pradhan, 2016). رحمتی و همکاران بر اساس موقعیت سیلاب‌های گذشته به بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز گلستان پرداختند. نتایج این تحقیق نان داد بخش اعظمی از حوضه آبخیز گلستان مستعد سیلاب‌های خطرناک است و نیازمند نگاه مدیریتی ویژه‌ای است (Rahmati et al., 2015b). سقفیان و همکاران پس از بررسی تغییرات کاربری اراضی و شرایط هیدرولوژیک حوضه آبخیز گلستان به این نتیجه رسیدند پتانسیل سیل‌خیزی در این حوضه به میزان حداکثری بوده و برنامه‌ریزی‌های توسعه نیازمند دقت و مدیریت ویژه است (Saghafian et al., 2008). تهرانی و همکاران با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) مناطق مستعد وقوع سیل حوضه آبخیز Terengganu را شناسایی نموده و بیان کردند که متغیرهای انسانی ازجمله طراحی و ساخت جاده‌ها و مدیریت کاربری اراضی تاثیر فراوانی در تشکیل رواناب، تغییر رژیم جریان رودخانه‌ها و وقوع سیل‌های مرگبار دارد (Tehrany et al., 2015).

بنابراین با توجه به اهمیت تعیین میزان اثرگذاری پل‌های احداث شده (به عنوان مهم‌ترین زیرساخت جاده‌ای تاثیر گذار بر شرایط جریان رودخانه)، ارائه روشی نوین مبتنی بر تجزیه و تحلیل حساسیت متغیرها نسبت به وقوع سیلاب در حوضه آبخیز مادرسو و اعتبارسنجی نتایج براساس وقوع سیل و آبرگرفتنی‌های گذشته بسیار حائز اهمیت است. هدف اصلی این پژوهش ارزیابی کارایی فرایند تحلیل سلسه مراتبی<sup>(۱)</sup> (AHP) در ارزیابی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز مادرسو و تعیین

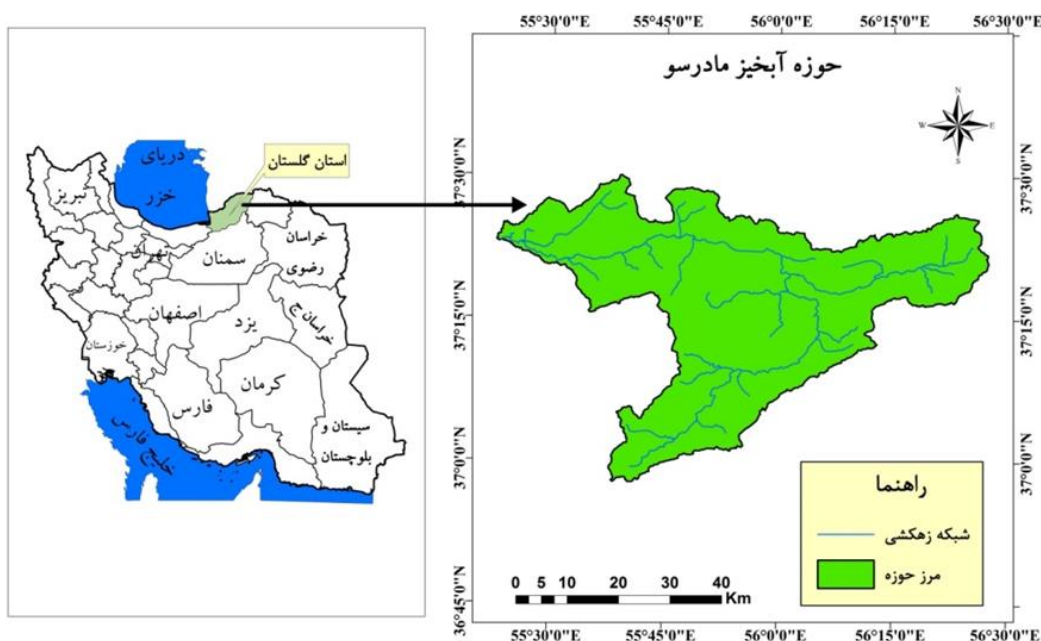
درجه و ۳۰ دقیقه شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). این حوزه آبخیز با مساحتی بیش از ۲۴۰۰ کیلومتر مربع، مهم‌ترین حوزه آبخیز استان گلستان از نظر سیل‌خیزی است. متوسط بارش این حوزه آبخیز بر اساس آمار بارندگی ایستگاه‌های منطقه ۶۵۰ میلی‌متر، متوسط دمای حداقل سالانه و متوسط دمای حداکثر سالانه به ترتیب برابر ۵/۵- و ۳۳ درجه سانتی‌گراد است.

سهم اثرگذاری پل‌های احداث‌شده در وقوع سیلاب است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز مادرسو در جنوب شرقی دریای خزر و بین طول‌های جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۸ دقیقه و ۵۶ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه و ۳۷



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز مادرسو

لایه رقومی شبکه جریان حوزه آبخیز گلستان در نرم افزار ArcGIS 10.2 (با استفاده از ابزار Line density) تهیه شد. نقشه حاصل به سه کلاس کمتر از ۰/۱۶، ۰/۱۶-۰/۴۴ و بزرگتر از ۰/۱۶ کیلومتر بر کیلومتر مربع گروه‌بندی شد. همچنین به منظور تهیه نقشه عامل بارندگی داده‌های بارندگی ۱۲ ایستگاه باران‌سنج در دوره زمانی ۱۳۸۳-۱۳۹۲ جمع‌آوری شد. پس از بررسی دقت روش‌های مختلف درون‌یابی در نرم افزار ArcGIS 10.2، نقشه توزیع میانگین بارندگی سالانه حوزه آبخیز مادرسو بر اساس روش کریجینگ معمولی (به دلیل وجود کمترین خطا) تهیه شد و به سه کلاس کمتر از ۲۵۰، ۲۵۰-۳۵۰، ۳۵۰-۴۵۰ و بیشتر ۴۵۰ میلی‌متر گروه‌بندی شد. نقشه ارتفاع از سطح دریا منطقه مورد مطالعه بر اساس مدل رقومی ارتفاع (با قدرت تفکیک ۳۰ متر) و نرم افزار ArcGIS 10.2 تهیه شد. در نهایت

## روش

### انتخاب عوامل مؤثر در وقوع سیل و سیل‌گرفتگی

از آنجائی‌که عوامل زیادی از جمله پل‌های احداث‌شده، تراکم زهکشی رودخانه‌ها، بارندگی، شیب و ارتفاع زمین بر شرایط هیدرولیکی رودخانه و وقوع سیل تاثیر گذارند (Bates et al., 2012)، در این پژوهش این متغیرها برای پیش‌بینی مکانی پتانسیل وقوع سیل و تعیین سهم هر یک از این متغیرها در سیل‌خیزی حوزه آبخیز مادرسو انتخاب شدند. براساس اطلاعات موجود درخصوص موقعیت مکانی پل‌های احداث‌شده در مسیر رودخانه‌های حوزه آبخیز مادرسو و استفاده از نرم افزار Google Earth pro، نقشه فاصله از پل‌های احداث‌شده بوسیله ابزار Multi Buffer در نرم‌افزار ArcGIS10.2 تهیه شد. نقشه تراکم زهکشی رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه براساس

اثرگذاری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد در سیل خیزی حوضه آبخیز است.

### تعیین شاخص پتانسیل سیل خیزی و وقوع آب گرفتگی

به منظور تعیین شاخص پتانسیل سیل خیزی حوضه آبخیز از روش ترکیب خطی وزنی<sup>(۴)</sup> (WLC) که رایج‌ترین تکنیک در تحلیل ارزیابی چندمعیاری است، استفاده شد (Rahmati et al., 2015c). شاخص پتانسیل سیل خیزی حوضه آبخیز مطابق رابطه (۳) برای هر پیکسل محاسبه شد.

$$FPI = (Db_w \times Db_R) + (Dd_w \times Dd_R) + (Rf_w \times Rf_R) + (A_w \times A_R) + (S_w \times S_R) \quad (3)$$

که در آن FPI، Db، Dd، Rf، A و S به ترتیب عبارتند از شاخص پتانسیل سیل خیزی، فاصله از پل‌های احداث شده، تراکم زهکشی، تراکم زهکشی، بارندگی، ارتفاع و شیب زمین. همچنین اندیس‌های W و R به ترتیب بیانگر وزن پارامتر و نرخ تاثیر کلاس مربوطه است. در نهایت نقشه پیش‌بینی پتانسیل سیل خیزی حوضه آبخیز مادرسو در نرم افزار ArcGIS10.2 تهیه شد.

### تعیین سهم اثرگذاری پل‌های احداث شده در سیل خیزی

آنالیز حساسیت متغیرهای ورودی یکی از روش‌های تعیین میزان اثرگذاری آن‌ها بر سیل خیزی حوضه آبخیز است. به منظور تعیین اثرگذاری پل‌های احداث شده در سیل خیزی حوضه آبخیز مادرسو، آنالیز حساسیت متغیرهای ورودی مدل پیش‌بینی پتانسیل سیل خیزی براساس روش حذفی انجام شد. در طی آنالیز حساسیت مدل پیش‌بینی، در هر مرحله یکی از متغیرهای ورودی مدل (فاصله از پل‌های احداث شده، تراکم زهکشی، بارندگی، ارتفاع و شیب زمین) حذف شده و نقشه پیش‌بینی پتانسیل سیل خیزی بر پایه فقط چهار پارامتر باقی‌مانده تهیه شد. دقت پیش‌بینی مدل در هر حالت با روش منحنی ROC<sup>(۵)</sup> در نرم‌افزار SPSS 19 تعیین شد (Tehrany et al., 2014a). مساحت زیر این منحنی (AUC)<sup>(۶)</sup> معیار کمی مناسبی برای ارزیابی دقت مدل در هر مرحله از آنالیز حساسیت است (Oh et al., 2011).

این نقشه به پنج کلاس کمتر از ۵۰۰ متر، ۵۰۰-۱۰۰۰، ۱۰۰۰-۱۵۰۰، ۱۵۰۰-۲۰۰۰ و بیشتر از ۲۰۰۰ متر گروه‌بندی شد. به منظور تهیه نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاع<sup>(۲)</sup> (با قدرت تفکیک ۳۰ متر) و نرم افزار ArcGIS 10.2 استفاده شد.

### تعیین وزن متغیرهای اثرگذار بر وقوع سیل

برای تعیین وزن معیارها از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (Saaty, 1980) استفاده شد. این وزن‌دهی بر اساس اهمیت نسبی هر پارامتر در پتانسیل آب زیرزمینی انجام گرفت. برای انجام مقایسه‌های جفتی از روش Saaty استفاده شد (جدول ۱). در این فرایند هر دو پارامتر با توجه به اهمیت نسبی آن‌ها در پتانسیل منابع آب زیرزمینی، در قالب یک پرسش‌نامه، دو به دو مقایسه شد. (Rahmati, 2015a) در نهایت ماتریس مقایسات جفتی و وزن نرمال شده پارامترها براساس نظرهای ده (۱۰) کارشناس خبره و با استفاده از نرم افزار Expert Choice 11 به دست آمد.

جدول (۱): مقیاس انجام مقایسه‌های زوجی

درجه اهمیت	تعریف
۱	اهمیت مساوی
۳	نسبتاً مهمتر
۵	اهمیت زیادتر
۹	اهمیت فوق العاده زیادتر
۲، ۴، ۶، ۸	ارزش‌های بینابینی

همچنین مقایسات انجام شده زمانی قابل قبول است که نرخ سازگاری<sup>(۳)</sup> (CR) آن‌ها کمتر از ۰/۱ باشد (Saaty, 1980). مقدار نرخ سازگاری بر اساس رابطه‌های (۱) و (۲) به دست می‌آید.

$$CI = (\lambda - n) / (n - 1) \quad (1)$$

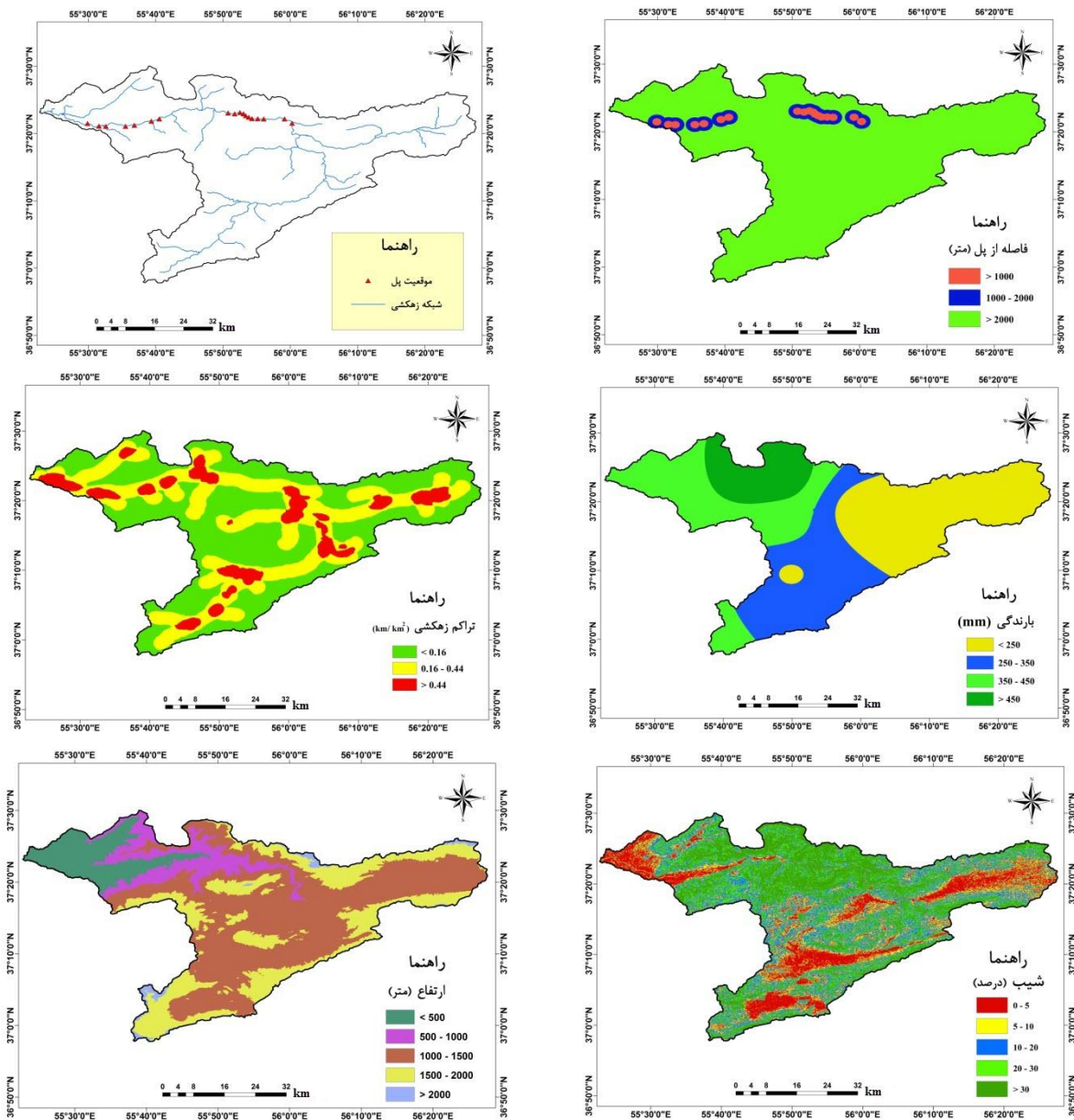
$$CR = CI / RI \quad (2)$$

که در این رابطه‌ها، CI،  $\lambda$ ، n و RI به ترتیب عبارتند از نسبت سازگاری، میانگین بردار سازگاری، تعداد پارامترها و شاخص تصادفی که مقدار آن به تعداد پارامترها بستگی دارد. نرخ تاثیر (R) بر اساس اثر نسبی کلاس‌های هر پارامتر در پتانسیل سیل خیزی و از طریق جمع‌آوری نظر ده کارشناس تعیین شد. این نرخ‌ها عبارتند از ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ و به ترتیب بیانگر پتانسیل

نتایج

تهیه نقشه‌های اولیه پیش‌بینی سیل‌خیزی حوضه آبخیز نقشه‌های فاصله از پل‌های احداث‌شده، تراکم زهکشی، بارندگی،

ارتفاع و شیب زمین منطقه مورد مطالعه در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲): نقشه متغیرهای ورودی مدل پیش‌بینی سیل‌خیزی حوضه آبخیز مادرسو

سازگاری، ۰/۰۹ به دست آمد که سازگاری مقایسه‌های جفتی و وزن‌های به دست آمده را تایید می‌نماید (Rahmati et al., 2015c). نقشه نهایی پیش‌بینی سیل‌خیزی حوضه آبخیز مادرسو در شکل (۴) نشان داده شده است.

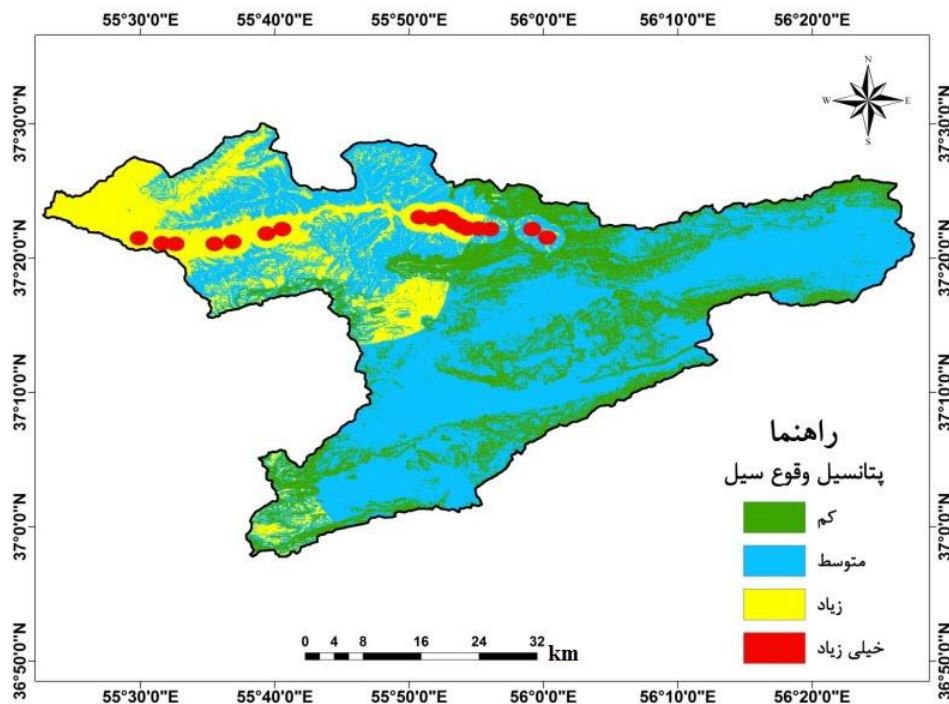
وزن نرمال شده متغیرهای ورودی پیش‌بینی سیل‌خیزی و نقشه نهایی

ماتریس مقایسه‌های زوجی و وزن نرمال شده متغیرهای مورد نظر در شکل (۳) نشان داده شده است. همچنین مقدار نرخ سازگاری (CR) پس از محاسبه نسبت سازگاری و میانگین بردار

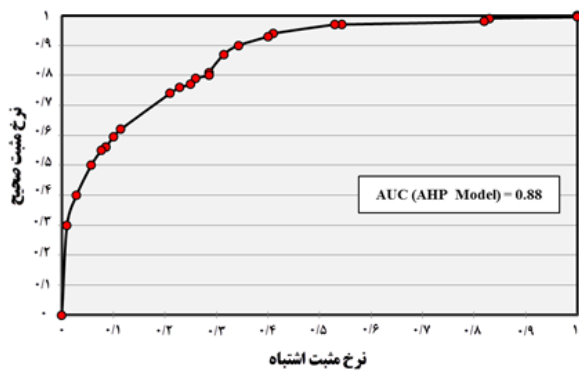
Priorities with respect to:  
Goal: Flood Hazard Potential

Fasele az Pol /521  
Tarakom Zehkeshi /228  
Shib /134  
Barabdegi /086  
Ertefa /031  
Inconsistency = 0/09

شکل (۳): وزن نرمال شده هر یک از متغیرهای ورودی روش AHP



شکل (۴): نقشه پتانسیل سیل خیزی حوضه آبخیز مادرسو



شکل (۵): منحنی ROC حاصل از اعتبارسنجی نقشه پتانسیل وقوع سیل

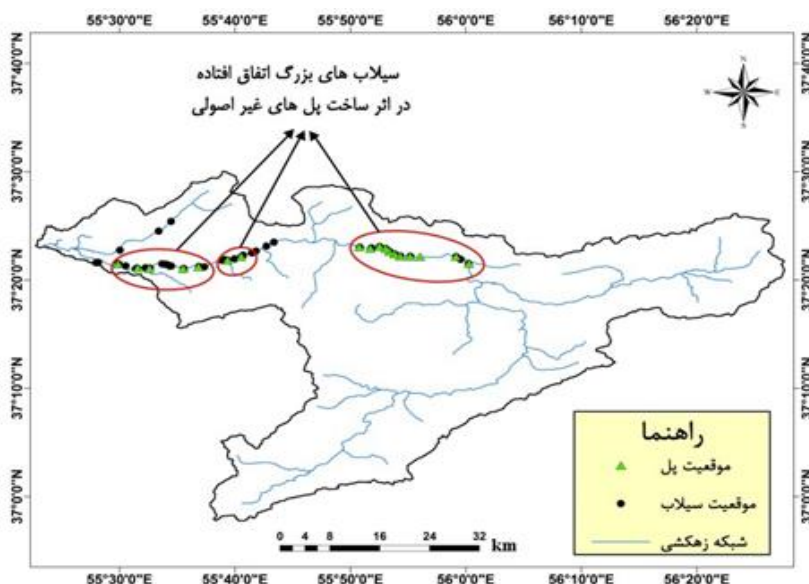
علاوه بر معیار کمی مساحت زیر منحنی و آنالیز حساسیت

سهم اثرگذاری پل‌های احداث شده در سیل خیزی حوضه مورد مطالعه

نتیجه اعتبارسنجی دقت مدل حاصل از مشارکت پنج متغیر ورودی اثرگذار بر سیل خیزی حوضه مادرسو که براساس روش منحنی ROC و وقوع سیلاب‌های گذشته به دست آمده، در شکل (۵) نشان داده شده است. براساس معیار مساحت زیر منحنی، دقت مدل پیش‌بینی سیل خیزی ۸۸ درصد به دست آمد. پس از انجام آنالیز حساسیت مدل پیش‌بینی سیل خیزی، نتایج نشان داد که متغیر فاصله از پل‌های احداث‌شده (به عنوان مهم‌ترین زیرساخت جاده ای مرتبط با مهندسی رودخانه) دارای بیش‌ترین تاثیر بر وقوع سیل در حوضه آبخیز مادرسو است.

پل‌های احداث شده در این حوضه تاثیر زیادی بر تشدید سیل‌خیزی حوضه آبخیز مادرسو دارد (شکل ۶).

متغیرهای ورودی مدل پیش‌بینی سیل‌خیزی، براساس تحلیل‌های مکانی موقعیت‌های ثبت شده سیل‌های گذشته و موقعیت پل‌های احداث شده نیز می‌توان به این نتیجه رسید که



شکل (۶): تحلیل ارتباط مکانی موقعیت پل‌های احداث شده و وقوع سیلاب‌های گذشته

### بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر پل‌های احداث شده در حوضه آبخیز گلستان به عنوان مهم‌ترین زیرساخت جاده‌ای که ارتباط تنگاتنگ با مهندسی رودخانه و رژیم جریان دارد، بررسی شد. بررسی تاثیر سازه‌های احداثی در مسیر جریان از مهم‌ترین مباحث مطرح در مهندسی و ساماندهی رودخانه‌ها است که در اغلب موارد و در بازه‌های مختلف آن، کاهش عرض در مقاطع رودخانه و به تبعیت از آن کاهش ظرفیت عبور جریان را در پی دارد. پل‌ها به‌عنوان مهم‌ترین و پرکاربردترین سازه‌های رودخانه‌ای هستند که دارای نقش استراتژیک و اهمیت بالایی هستند. اما همه‌ساله با بروز سیل، تعداد کثیری از پل‌ها تخریب می‌شوند، یکی از دلایل تخریب پل‌ها را می‌توان عدم جدی گرفتن مباحث هیدرولیکی و هیدرولوژیکی توسط مهندسين طراح پل مربوط دانست (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۶) به‌طوری که با بررسی هیدرولیک جریان، رفتار رودخانه و انجام اقدامات مهندسی به‌جا می‌توان ضمن ایمن‌سازی مناطق مورد نظر و پیش‌بینی رفتار رودخانه‌ها، از صرف هزینه‌های بسیار زیاد نیز جلوگیری نمود (شهربانیان، ۱۳۹۲). یافته‌های این تحقیق نشان داد که سیل‌خیزی حوضه آبخیز مادرسو استان گلستان تحت

نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که عوامل فاصله از پل‌های احداث شده و تراکم زهکشی بیش‌ترین تاثیر را بر دقت مدل پیش‌بینی سیل‌خیزی دارند؛ زیرا با حذف هر یک از آن‌ها از فرایند مدل‌سازی، دقت پیش‌بینی مدل به ترتیب ۱۵/۳ و ۵/۴ درصد افت نمود (جدول ۲). متغیر تراکم زهکشی، یک عامل طبیعی بوده که تحت تاثیر خصوصیات فیزیکی حوضه آبخیز و زمین‌شناسی منطقه تغییر می‌کند. این درحالی است که متغیر فاصله از پل‌های احداث شده یک عامل انسانی است که در برنامه‌ریزی‌ها و طرح‌های اجرایی حوضه‌های آبخیز قابل ارزیابی است.

### جدول (۲): نتایج آنالیز حساسیت متغیرهای ورودی مدل

#### پیش‌بینی سیل‌خیزی

متغیر ورودی	میزان افت دقت (%) به ازای حذف متغیر مربوطه
فاصله از پل‌های احداث شده	۱۵/۳
تراکم زهکشی	۵/۴
بارندگی	۲/۵
شیب زمین	۵/۱
ارتفاع	۳/۹

تأثیر متغیرهای چندگانه طبیعی و انسانی است که با یافته‌های رحمتی و همکاران (Rahmati et al., 2015c) و ثقفیان و همکاران (Saghafian et al., 2008) مطابقت دارد. همچنین از بین متغیرهای ورودی مدل پیش‌بینی، بر اساس آنالیز حساسیت آن‌ها می‌توان اظهار کرد که طراحی و اجرای پل‌های منطقه مورد مطالعه نادرست و نامناسب است. پل‌هایی که براساس اصول مهندسی رودخانه و بدون در نظر گرفتن شرایط جریان رودخانه ساخته شده‌اند، موجب تجمع جریان در بالادست این پل‌ها و تخریب اراضی مجاور و فرسایش و تخریب شدید در پایین دست می‌شود. حوضه آبخیز مادر سو یکی از حوضه‌های جنگلی بوده که بصورت طبیعی از لحاظ فیزیوگرافی دارای پتانسیل سیل‌خیزی بالایی است؛ با این وجود در زمان وقوع سیل تنه درختان که توسط سیل حمل می‌شود، در مجرای پل‌ها به دام افتاده و مسیر جریان را مسدود می‌نماید. این عامل موجب جلوگیری از تخلیه سیل در بالا دست پل و به تبع آن افزایش توان تخریب جریان می‌شود. بنابراین برنامه‌های توسعه‌ای که در حوضه‌های آبخیز انجام می‌گیرد، بایستی مطابق بر شرایط طبیعی و پتانسیل منطقه باشد. در غیراینصورت توسعه صورت گرفته، توسعه‌ای ناپایدار خواهد بود که خسارت‌های جبران‌ناپذیری برای جامعه انسانی و اکوسیستم خواهد داشت (Tehrany et al., 2014a).

در دهه اخیر سیل‌های زیادی در حوضه آبخیز مادر سو اتفاق افتاده که خسارت‌های جبران‌ناپذیر جانی و مالی به دنبال داشته است. از آنجا که سیل در طول دهه‌های گذشته شایع‌ترین فاجعه طبیعی در سراسر جهان به حساب می‌آید و بسیاری از پیامدهای محیطی و اجتماعی و اقتصادی را در دشت سیلابی آسیب دیده ایجاد می‌کند (Marchand et al., 2009; Pradhan and Youssef, 2011; Taylor et al. 2011; Dawod et al., 2012; Vorogushyn et al., 2012; Heidari, 2014;

برنامه‌ریزی برای توسعه حوضه‌های آبخیز، اثرات و پیامدهای آن را به صورت جدی مورد ارزیابی قرار داد. در راستای تکمیل این تحقیق، به محققان و علاقمندان توصیه می‌شود با استفاده از ابزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌های سنجش از دور (RS) که سهم قابل توجهی در تجزیه و تحلیل خطرات طبیعی دارند (Vahidnia et al. 2010; Haq et al. 2012; Patel and Srivastava 2013; Pourghasemi et al. 2013; Jaafari et al. 2014; Moel et al. 2014) به تولید نقشه‌های خطر سیل پرداخته و از آنها در برنامه‌ریزی مسیر آینده رشد شهرها استفاده نمایند. همچنین پیشنهاد می‌شود علاوه بر رویکردهای سلسله‌مراتبی از دیگر رویکردهای رایج در مدل‌سازی خطرهای طبیعی همچون نرخ تناوب (FR) (Pradhan et al. 2011; Lee et al. 2012; ) (Tehrany et al. 2015) منطقه فازی (Perera and Lahat 2014) رگرسیون لجستیک (LR) (Pradhan 2010; Tehrany et al. 2014a) شبکه عصبی مصنوعی (ANN) (Varoonchotikul, 2003; Kia et al., 2012; Lohani et al. 2014) و مدل وزن شواهد (WoE) (Dahal et al. 2008; Tehrany et al. 2014b) نیز استفاده شود و از این قبل از هر گونه اقدام توسعه‌ای آثار و پیامدهای آن را در نظر گرفته و از توسعه زیرساخت‌های زیان‌بار و دارای اثرات منفی جلوگیری نمایند.

#### یادداشت‌ها

1. Analytic Hierarchy Process
2. Digital Elevation Model
3. Consistency Ratio
4. Weighted Linear Composition
5. Receiver Operating Characteristic
6. Area Under Curve

#### فهرست منابع

پناهی، ع. و علیجانی، ب. ۱۳۹۲. پیش‌بینی دبی اوج سیلابی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره مطالعه موردی (حوضه آبریز مادر سو استان گلستان). فصلنامه بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران، ۳۸: ۱۱۳-۱۳۲.

محمدی استادکلایه، ا.؛ مساعدی، ا.، علاقمند، س. ۱۳۸۶. بررسی اثرات سیل مرداد ۱۳۸۰ شرق گلستان بر مرفولوژی رودخانه مادر سو. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴: ۹-۱۷.



شهربانیان، ا. ۱۳۹۲. بررسی تاثیر سازه‌های احداثی بر پهنه‌های سیلابی رودخانه با استفاده از مدل‌های تحلیل هیدرولیکی در رودخانه پسیخان-استان گیلان. کنفرانس ملی تکنیک‌های نوین محاسباتی و بهینه‌سازی در مهندسی عمران. اردیبهشت ۱۳۹۲.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، انتشارات وزارت نیرو، معاونت امور آب و آبفا. دفتر مهندسی معیارهای فنی آب و آبفا. ۱۳۸۶.

انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. راهنمای مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه‌ها، نشریه ۳۸۳.

Bates, P.D. 2012. Integrating remote sensing data with flood inundation models: how far have we got? *Hydrological Process*. 26: 2515–2521.

Dahal, R.K.; Hasegawa, S.; Nonomura, A.; Yamanaka, M.; Masuda, T. & Nishino K. 2008. GIS-based weights-of-evidence modelling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping. *Environ Geol*. 54:311-324.

Dawod, G.M.; Mirza, M.N. & Al-Ghamdi, K.A. 2012. GIS-based estimation of flood hazard impacts on road network in Makkah city, Saudi Arabia. *Environ Earth Sci*. 67:2205-2215.

flooded area susceptibility mapping using GIS. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*; Munich; pp: 895-898.

Foudi, S.; Os-es-Eraso, N. & Tamayo, I. 2015. Integrated spatial flood risk assessment: the case of Zaragoza. *Land Use Policy*. 42:278-292.

Haq, M.; Akhtar, M.; Muhammad, S.; Paras, S. & Rahmatullah, J. 2012. Techniques of remote sensing and GIS for flood monitoring and damage assessment: a case study of Sindh province, Pakistan. *Egypt J Remote Sens Space Sci*. 15:135-141.

Heidari, A. 2014. Flood vulnerability of the Karun river system and short-term mitigation measures. *Flood Risk Manag*. 7:65-80.

Jaafari, A.; Najafi, A.; Pourghasemi, H.R.; Rezaeian, J. & Sattarian A. 2014. GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran. *Int J Environ Sci Technol*. 11:909-926.

Kia, M.B.; Pirasteh, S.; Pradhan, B.; Rodzi Mahmud, A.; Sulaiman, W.N.A. & Moradi, A. 2012. An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia. *Environ Earth Sci*. 67:251-264.

Kia, M.B.; Pirasteh, S.; Pradhan, B.; Mahmud, A.R.; Sulaiman, W.N.A. & Moradi, A. 2012. An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia. *Environ. Earth Sci*. 67: 251–264.

Lee, M.J.; Kang, J E. & Jeon, S. 2012. Application of frequency ratio model and validation for predictive

Lohani, A.K.; Goel, N.K. & Bhatia, K.K.S. 2014. Improving real time flood forecasting using fuzzy inference system. *J Hydrol*. 509:25-41.

Marchand, M.; Buurman, J.; Pribadi, A. & Kurniawan, A. 2009. Damage and casualties modelling as part of a vulnerability assessment for tsunami hazards: a case study from Aceh, Indonesia. *Flood Risk Manag*. 2:120-131.

Moel, H.D.; Vliet, M.V. & Aerts, J.C.J.H. 2014. Evaluating the effect of flood damage-reducing measures: a case study of the unembanked area of Rotterdam, the Netherlands. *Reg Environ Change*. 14:895-908.

Oh, H.J.; Kim, Y.S.; Choi, J.K.; Park, E. & Lee, S. 2011. GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea. *J. Hydrol*. 399: 158–172.

Patel, D.P. & Srivastava, P.K. 2013. Flood hazards mitigation analysis using remote sensing and GIS: correspondence with town planning scheme. *Water Resour Manag*. 27:2353-2368.

- Perera, EDP. & Lahat, L. 2014. Fuzzy logic based flood forecasting model for the Kelantan River basin, Malaysia. *J Hydro-Environ Res.* doi:10.1016/j.jher.2014.12.001.
- Pourghasemi, HR.; Moradi, HR. & Aghda, SMF. 2013. Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Nat Hazards.* 69:749-779.
- Pradhan, B. & Youssef, A. 2011. A 100-year maximum flood susceptibility mapping using integrated hydrological and hydrodynamic models: Kelantan River Corridor, Malaysia. *Flood Risk Manag.* 4:189-202.
- Pradhan, B. 2011. Use of GIS-based fuzzy logic relations and its cross application to produce landslide susceptibility maps in three test areas in Malaysia. *Environ Earth Sci.* 63:329-349.
- Rahmati, O.; Haghizadeh, A. & Stefanidis, S. 2015a. Assessing the Accuracy of GIS-Based Analytical Hierarchy Process for Watershed Prioritization; Gorganrood River Basin, Iran. *Water Resour Manage.* DOI: 10.1007/s11269-015-1215-4.
- Rahmati, O.; Pourghasemi, H.R. & Zeinivand, H. 2015b. Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. *Geocarto International.* doi:10.1080/10106049.2015.1041559.
- Rahmati, O.; Zeinivand, H. & Besharat, M. 2015c. Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multicriteria decision analysis. *Geomatics, Natural Hazards Risk.* doi:10.1080/19475705.2015.1045043.
- Saaty, TL .1980. *The Analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation.* McGraw-Hill, New York press.
- Saghafian, B.; Farazjoo, H.; Bozorgy, B. & Yazdandoost, F. 2008. Flood intensification due to changes in land use. *Water Resour Manage* 22:1051–1067.
- Sharifi, F.; Samadi, S.Z. & Wilson, C.A.M.E. 2012. Causes and consequences of recent floods in the Golestan catchments and Caspian Sea regions of Iran. *Nat Hazards* 61:533–550.
- Taylor, J.; Davies, M.; Clifton, D.; Ridley, I. & Biddulph, P. 2011. Flood management: prediction of microbial contamination in largescale floods in urban environments. *Environ Int.* 37:1019—1029.
- Tehrany, MS.; Lee, MJ.; Pradhan, B.; Jebur, MN. & Lee, S. 2014a. Flood susceptibility mapping using integrated bivariate and multivariate statistical models. *Environ Earth Sci.* 72:4001-4015.
- Tehrany, MS.; Pradhan, B. & Jebur, MN. 2014b. Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. *J Hydrol.* 512:332-343.
- Tehrany, M.S.; Pradhan, B.; Mansor, S. & Ahmad, N. 2015. Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. *Catena* 125: 91–101.
- Vahidnia, MH.; Alesheikh, AA.; Alimohammadi, A. & Hosseinali, F. 2010. A GIS-based neurofuzzy procedure for integrating knowledge and data in landslide susceptibility mapping. *Comput Geosci.* 36: 1101-1114.
- Varoonchotikul, P. 2003. *Flood forecasting using artificial neural networks.* Rotterdam: Balkema.
- Vorogushyn, S.; Lindenschmidt, KE.; Kreibich, H.; Apel, H. & Merz, B. 2012. Analysis of a detention basin impact on dike failure probabilities and flood risk for a channel dike floodplain system along the river Elbe, Germany. *J Hydrol.* 436:120-131.
- Youssef, A.M.; Pradhan, B. & Sefry, S.A. 2016. Flash flood susceptibility assessment in Jeddah city (Kingdom of Saudi Arabia) using bivariate and multivariate statistical models. *Environ Earth Sci.* doi:10.1007/s12665-015-4830-8.