

# تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از ترکیب روش نسبت فراوانی و

## تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

سید وحید رضوی ترمه

دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات مکانی - دانشکده ی مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

vrazavi70@gmail.com

کریم سلیمانی

استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه آبان هراز

فاطمه علی دادگان فرد

دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه آبان هراز

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۲

### چکیده

هدف از تحقیق حاضر تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از ترکیب روش نسبت فراوانی و تحلیل سلسله مراتبی در استان لرستان است. در روش ترکیبی به جای استفاده از نظر کارشناسان در وزن دهی به معیارها در روش تحلیل سلسله مراتبی از وزنهای به دست آمده در روش نسبت فراوانی به عنوان ورودی در روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده می گردد. به این منظور با استفاده از نقاط لغزشی بانک اطلاعات زمین لغزش کشور (۱۷۶ نقطه لغزشی) نقشه پراکنش زمین لغزشهای منطقه تهیه گردید. لایه های اطلاعاتی درجه شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، طبقه ارتفاعی، بارندگی، کاربری اراضی و لیتولوژی به عنوان عوامل مؤثر بر زمین لغزش شناسایی و نقشه های مذکور در محیط GIS آماده گردیدند. ارزیابی مدل مذکور با استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) و ۳۰ درصد نقاط لغزشی (۵۳ لغزش) صورت گرفت. نتایج ارزیابی نشان داد که دقت مدل تهیه شده با استفاده از مدل نسبت فراوانی ۷۴ درصد و دقت مدل ترکیبی نسبت فراوانی با تحلیل سلسله مراتبی ۸۰ درصد برآورد گردید. نتایج ارزیابی نشان دهنده دقت خوب برای مدل نسبت فراوانی و دقت خیلی خوب برای مدل ترکیبی می باشد.

واژگان کلیدی: زمین لغزش، روش نسبت فراوانی، روش تحلیل سلسله مراتبی، سیستم اطلاعات مکانی

## مقدمه

زمین لغزش به عنوان یکی از مهم ترین بلایای طبیعی در نظر گرفته می شود که باعث خسارات مالی و جانی زیادی در سرتاسر جهان می شود (Kelarestaghi & Ahmadi, 2009:95). بلایای طبیعی به طور مستقیم و غیرمستقیم روی مسائل اقتصادی، اجتماعی انسان ها تأثیرگذار بوده و خسارات ناشی از آن در کشورهای در حال توسعه جدی تر است. نظر به اهمیت موضوع، شناخت عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش و پهنه بندی خطرات ناشی از آن امری ضروری به نظر می رسد. مهندسی زمین شناسی و ژئوتکنیک بسیار پیچیده بوده و دلیل آن نیز به خاطر همگونی آن با محیط زیست و طبیعت می باشد. وجود عواملی همچون مستعد بودن شرایط ناهمواری ها، بهره برداری های بی رویه از جنگل ها، رعایت نکردن اصول فنی احداث و نگهداری جاده های جنگلی و روستایی، عدم اعمال مدیریت صحیح و بهره برداری غیر اصولی از منابع موجود باعث تشدید آن شده است. خسارات حاصل از زمین لغزش در ایران تا شهریور سال ۱۳۸۶، ۱۲/۷ میلیارد ریال با استفاده از ۴۹۰۰ نقطه زمین لغزش تخمین زده شده است (Pourghasemi et al., 2013:2351). تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش می تواند به عنوان یکی از اقدامات اولیه برای کاهش این خسارت ها باشد (Regmi et al., 2014:725). تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش یک فرآیند مهم برای پیش بینی و مدیریت این فاجعه ی طبیعی است. سه رویکرد اصلی جهت تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش وجود دارد که شامل روش های کیفی، نیمه کیفی و کمی می باشد (Lee & Jones, 2004:89). روش های کمی بر اساس منطق ریاضی هستند که وابستگی بین معیارها و وقوع زمین لغزش را نشان می دهند که شامل آنالیزهای رگرسیون (Nandi & Shakoor, 2009:11, Youssef, 2015: 14)، رگرسیون لجستیک (Dou et al., 2015:10)، مدل فاکتور اطمینان (Dou et al., 2014:419)، الگوریتم ژنتیک (Dou et al., 2015: 4318)، منطق فازی (Pourghasemi et al., 2012: 965) و شبکه عصبی مصنوعی هستند (Polykretis et al., 2014: 27). روش های کیفی بر اساس نظر کارشناسان متخصص می باشد (Rahman & Saha, 2008:2161). روش های کیفی با استفاده از رویکردهای وزن دهی و رتبه بندی به عنوان روش های نیمه کمی می شناسیم (Yalcin, 2008:1). مثال هایی از این روش ها تحلیل سلسله مراتبی (AHP)<sup>۱</sup> (Pourghasemi et al., 2012:965)، ترکیب وزنی خطی (Pourghasemi et al., 2014: 1857) و تکنیک های داده کاوی است (Youssef, 2015:14). اخیراً مطالعات بسیاری با استفاده از مدل های آماری مانند

---

<sup>1</sup> Analytical hierarchy process

نسبت فراوانی (FR)<sup>۲</sup> برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش استفاده شده است (Pradhan & Youssef, 2010: 319).

هدف از انجام این تحقیق تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در استان لرستان با استفاده از یک روش ترکیبی جدید بر اساس ترکیب روش نسبت فراوانی و تحلیل سلسله مراتبی می باشد. که در این روش به جای استفاده از نظر کارشناسان در روش تحلیل سلسله مراتبی از وزن های به دست آمده در روش نسبت فراوانی استفاده می گردد. جهت ارزیابی نتایج و دقت مدل مورد استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC)<sup>۳</sup> و مساحت سطح زیر منحنی (AUC)<sup>۴</sup> استفاده می شود.

### منطقه مورد مطالعه

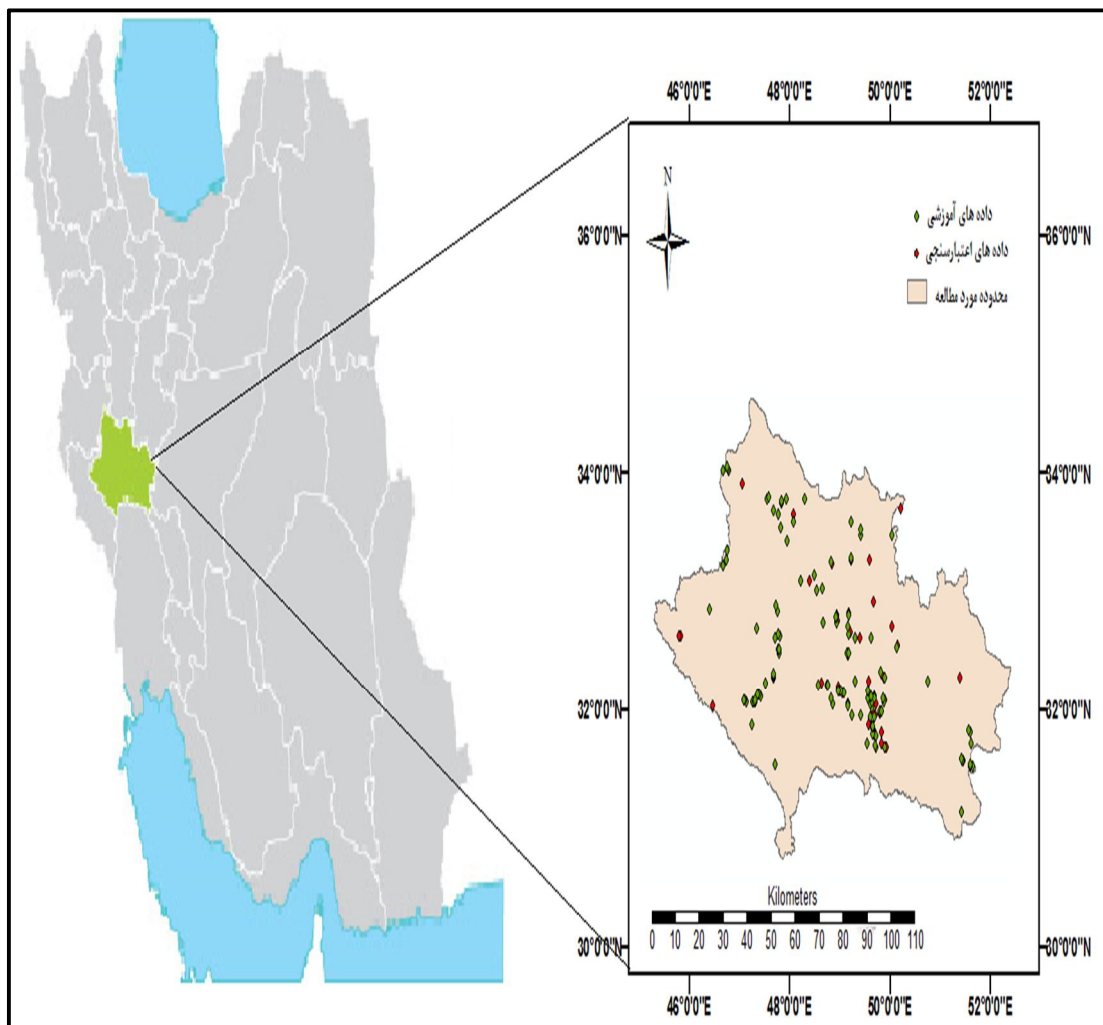
استان لرستان با مساحتی حدود ۲۸۱۵۷ کیلومتر مربع، در ناحیه ی جنوب غربی ایران بین ۴۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۳ دقیقه عرض شمالی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است. میانگین ارتفاع آن بیش از ۲۲۰۰ متر از سطح دریاست و پست ترین نقطه ی استان با ارتفاع ۲۳۹ متر در دشت های استان و بلندترین قله ی آن اشترانکوه با ارتفاع ۴۰۸۰ متر از سطح دریا در میان رشته کوه زاگرس قرار دارد. این استان با حدود ۱/۷۲ درصد از مساحت کل کشور در رتبه ی ۱۶ استان ها به لحاظ وسعت در کشور قرار دارد. استان لرستان از شمال به استان همدان، از شمال شرقی به استان مرکزی، از شرق به استان اصفهان، از جنوب شرقی به استان چهارمحال و بختیاری، از جنوب به استان خوزستان، از غرب به استان ایلام و از شمال غربی به استان کرمانشاه محدود است. منطقه مورد مطالعه در کشور به همراه نقاط لغزشی در شکل ۱ نشان داده شده است.

---

<sup>۲</sup> Frequency ratio

<sup>۳</sup> Receiver operating characteristic

<sup>۴</sup> Area under curve



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

### روش تحقیق

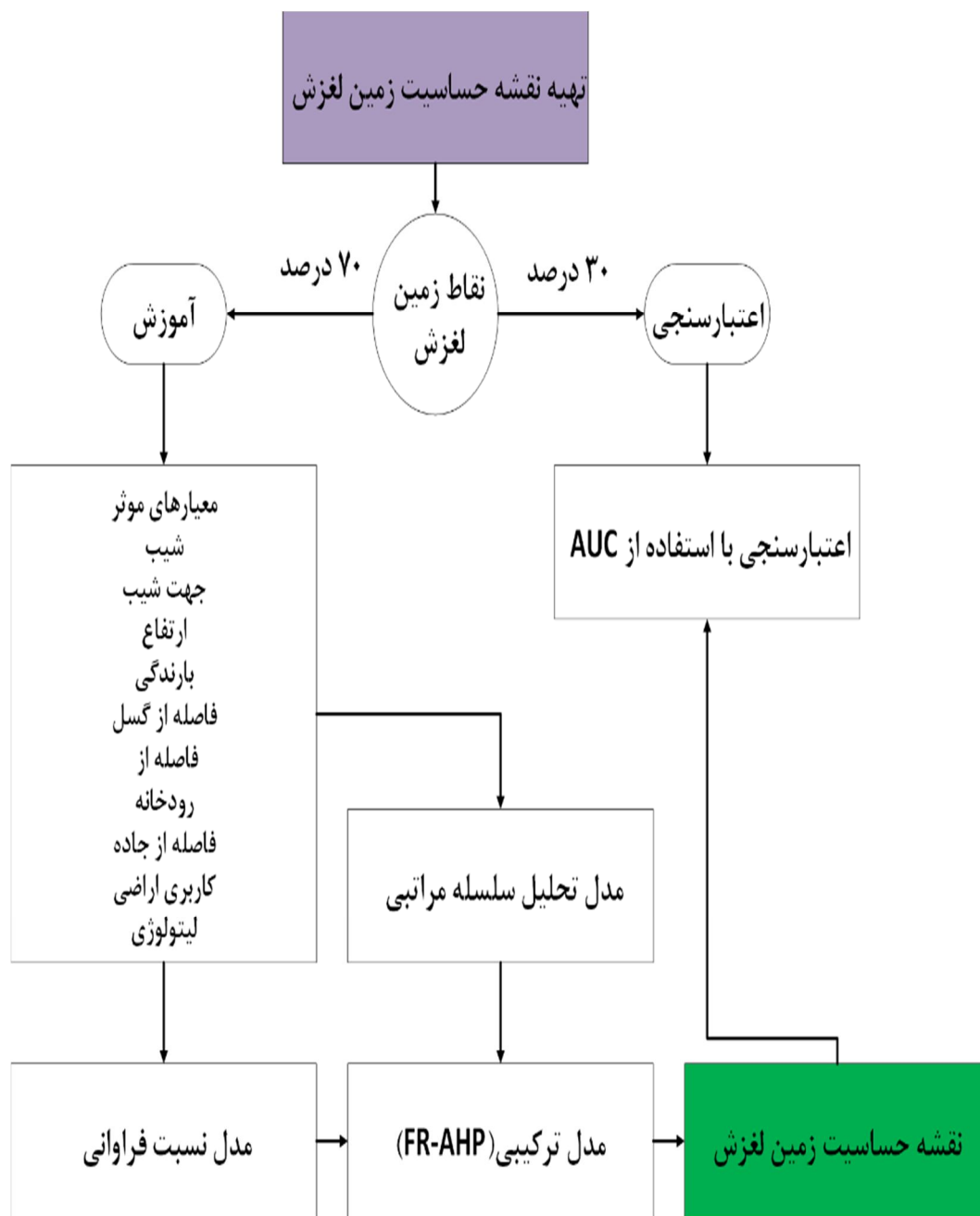
روش کلی انجام تحقیق در شکل ۲ نشان داده شده است. ابتدا جهت تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش، نقشه پراکنش زمین لغزش تهیه و ۷۰ درصد این نقاط (۱۲۳ لغزش) به عنوان نقاط آموزشی تهیهی نقشه حساسیت و ۳۰ درصد (۵۳ لغزش) از این نقاط برای اعتبارسنجی مدل های تهیهی نقشه حساسیت به کار گرفته می شود. پس از تهیهی نقشه پراکنش زمین لغزش، معیارهای تأثیرگذار شناسایی و آماده سازی می گردند. سرانجام با استفاده از روش نسبت فراوانی وزن های مربوط به هر طبقه از معیارها به دست آمده و این وزن ها در مقایسات زوجی روش تحلیل سلسله مراتبی به کار گرفته می شود و نقشه نهایی حساسیت زمین لغزش به دست می آید.

در ابتدا با استفاده از بانک اطلاعات زمین لغزش کشور، ۱۷۶ نقطه لغزشی واقع در منطقه مورد مطالعه شناسایی و نقشه پراکنش زمین لغزش آماده گردید. به منظور شناسایی عوامل مؤثر بر زمین لغزش به ارزیابی مقالات مورد نظر در این زمینه از سال ۲۰۰۵ پرداخته شد. لایه‌های اطلاعاتی درجه شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، لیتولوژی، طبقه ارتفاعی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه به عنوان عوامل مؤثر بر زمین لغزش شناسایی و لایه‌های مذکور در محیط GIS آماده گردیدند. لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر بر زمین لغزش در شکل ۳ نشان داده شده است. نقشه‌های پایه مورداستفاده در این تحقیق عبارت‌اند از نقشه‌های توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ می‌باشد.

مدل نسبت فراوانی به عنوان یک مدل آماری دومتغیره می‌تواند به عنوان یک ابزار ساده مکانی جهت محاسبه رابطه احتمالی بین متغیرهای مستقل و وابسته استفاده می‌شود که شامل چندین نقشه‌ی کلاسه‌بندی شده می‌باشد (Ozdemir et al., 2011:158). این روش جهت تهیه نقشه‌ی پتانسیل آب زیرزمینی توسط Ozdemir استفاده شده است. در واقع نسبت فراوانی احتمال وقوع یک ویژگی خاص است. رویکرد نسبت فراوانی بر اساس رابطه‌ی مشاهده شده بین توزیع محل‌های وقوع زمین لغزش و معیارهای وابسته به زمین لغزش است. نسبت فراوانی هر کلاس طبق معادله ۱ محاسبه می‌شود.

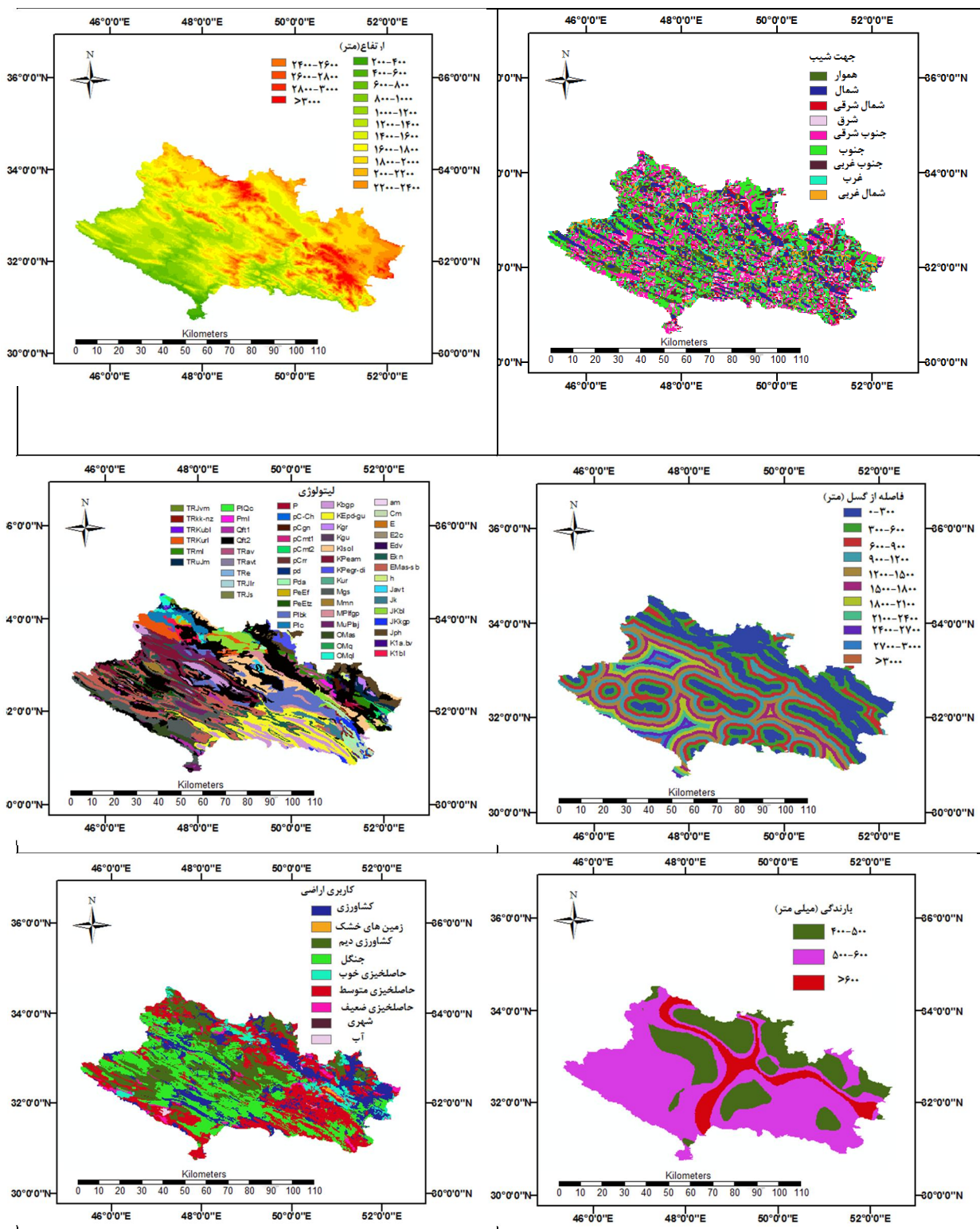
$$FR = A/B \quad (1)$$

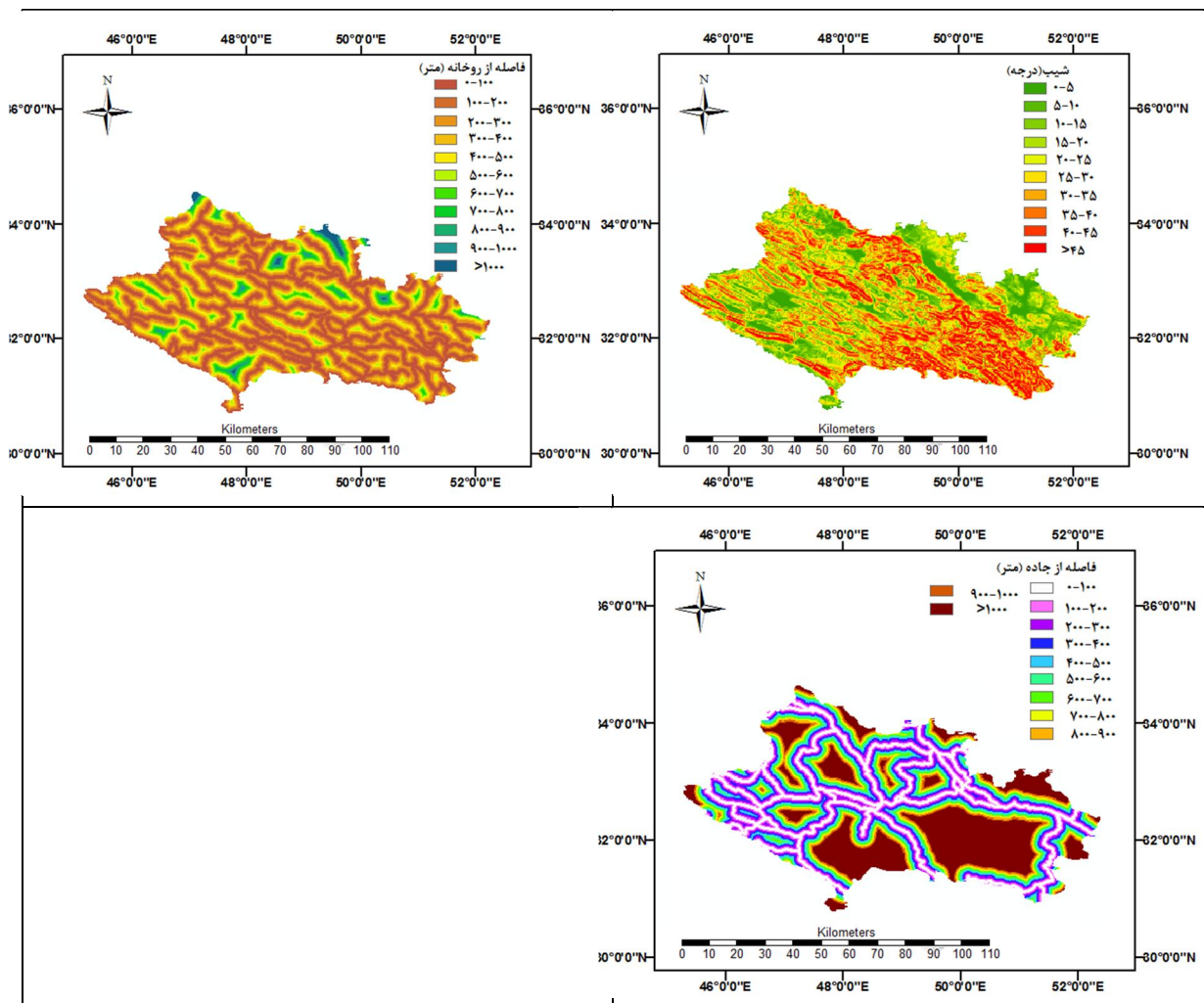
که در این رابطه FR نسبت فراوانی، A درصد پیکسل‌های لغزشی، B درصد پیکسل‌های فاقد لغزش است.



شکل ۲- روش کلی تحقیق

## تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از ترکیب روش نسبت فراوانی و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)





شکل ۳- لایه های اطلاعاتی

### مدل تحلیل سلسله مراتبی

مدل تحلیل سلسله مراتبی یک مدل نیمه کمی است (Pourghasemi et al., 2012: 965) و یکی از تکنیک‌هایی است که به صورت مکرر در تصمیم‌گیری‌های چند معیاره استفاده می‌شود و لایه‌های مؤثر به نسبت تأثیری که دارند وزن دهی می‌شوند (Adiat et al., 2012:75). این تکنیک در رشته‌های مختلف علوم زمینی و بلایای طبیعی از جمله مناطق خطرپذیری سیل (Rahmati et al., 2015: 315)، نقشه حساسیت زمین‌لغزش (Pourghasemi et al., 2012:965)، و تعیین مناطق بالقوه آب زیرزمینی استفاده می‌شود (Rahmati et al., 2014:123). به‌طور کلی در مدل AHP از دو روش پرسشنامه و غیر پرسشنامه برای وزن دهی استفاده می‌شود. در روش پرسشنامه، برای به دست آوردن وزن هر فاکتور، ده پرسشنامه به



متخصص در حوضه‌ی موردنظر داده می‌شود که بر اساس جدول وزن دهی ساعتی به هر یک از معیارها وزنی اختصاص می‌دهند. روش AHP بر مبنای مقایسات زوجی بنانهاده شده، که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید. همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد (Pourghasemi et al., 2012: 965).

### روش ترکیبی

بسیاری از تحقیقات در زمینه سیلاب و زمین‌لغزش برای تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت از تکنیک‌های ترکیبی مختلفی مانند ترکیب نسبت فراوانی با ماشین بردار پشتیبان، نسبت فراوانی با رگرسیون خطی و مدل وزنی شاهد با ماشین بردار پشتیبان استفاده کرده‌اند (Tehrany et al., 2015:76). هنگامی که یک مدل به‌تنهایی استفاده می‌شود، محدودیت‌های بسیاری به دلیل فرضیات آماری وجود دارد (Althuwaynee et al., 2014: 21)، علاوه بر این روش‌های ترکیبی را به‌منظور کاهش این محدودیت‌ها ارائه می‌دهند. جهت ترکیب روش نسبت فراوانی با تحلیل سلسله مراتبی (FR-AHP)، روش بدون پرسشنامه AHP به کار گرفته می‌شود. در این تحقیق برای روش بدون پرسشنامه، وزن‌ها از مدل نسبت فراوانی به دست می‌آید که به‌عنوان داده‌های ورودی برای مقایسات زوجی بین معیارها به‌جای نظر کارشناسان در نظر گرفته می‌شود، که این فرآیند در سه مرحله به‌صورت زیر انجام می‌شود (Althuwaynee et al., 2014:21). در مرحله اول با استفاده از معادله ۲، رتبه دهی هر فاکتور مکانی با مجموعه داده‌های آموزشی انجام می‌گردد.

$$PR = (SA_{max} - SA_{min})_{min} / (SA_{min})_{(2)}$$

که در این معادله SA شاخص وابستگی مکانی (FR) از فاکتورهای مکانی و زمین‌لغزش است و PR نرخ پیش‌بینی کننده است. اختلاف بین مقادیر حداقل و حداکثر SA به حداقل اختلاف از کلیه فاکتورها تقسیم می‌گردد که در جدول ۱ نشان داده شده است. مقادیر PR رابطه بین وزن‌های نسبی واقعی فاکتورها نسبت به تراکم واقعی وقوع زمین‌لغزش را نشان می‌دهد. در مرحله سوم اعداد موجود در هر ستون به

جمع کل ستون تقسیم می‌گردد و مقادیر بردار ویژه به دست می‌آید (جدول ۲). مقادیر صحیح<sup>۵</sup> بیشتر جهت رتبه‌بندی قابل استفاده هستند که از تقسیم وزن کسری<sup>۶</sup> به کوچک‌ترین وزن در بین آن‌ها به دست می‌آید (Althuwaynee et al., 2014: 21).

سرانجام وزن نهایی و نرخ سازگاری<sup>۷</sup> (CR) با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice به دست می‌آید. جهت محاسبه‌ی نرخ سازگاری در ابتدا شاهد سازگاری<sup>۸</sup> (CI) به صورت معادله ۳ محاسبه می‌گردد.

$$(۳) CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

در این رابطه n تعداد معیارها و  $\lambda_{max}$  بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس می‌باشد. سپس نرخ سازگاری به صورت معادله ۴ محاسبه می‌گردد.

$$(۴) CR = \frac{CI}{RI}$$

مقادیر RI نیز ساعتی در سال ۱۹۹۱ برای ماتریس‌ها در ابعاد مختلف آماده کرده‌اند (Saaty, T.L., 1980: 437). اگر مقدار CR کوچک‌تر از ۰/۱ باشد، در این صورت در مقایسات زوجی سازگاری وجود دارد و می‌توان کار را ادامه داد، در غیر این صورت، تصمیم‌گیرنده باید در مقایسات زوجی بازنگری کند (Ying et al., 2007: 97).

## نتایج

### نتایج حاصل از روش نسبت فراوانی

مقادیر نسبت فراوانی برای ۹ فاکتور تأثیرگذار بر زمین‌لغزش و نقاط زمین‌لغزش محاسبه گردید و نتایج حاصل در جدول ۱ نشان داده شده است. مقادیر بالای نسبت فراوانی نشان‌دهنده‌ی یک رابطه قوی بین

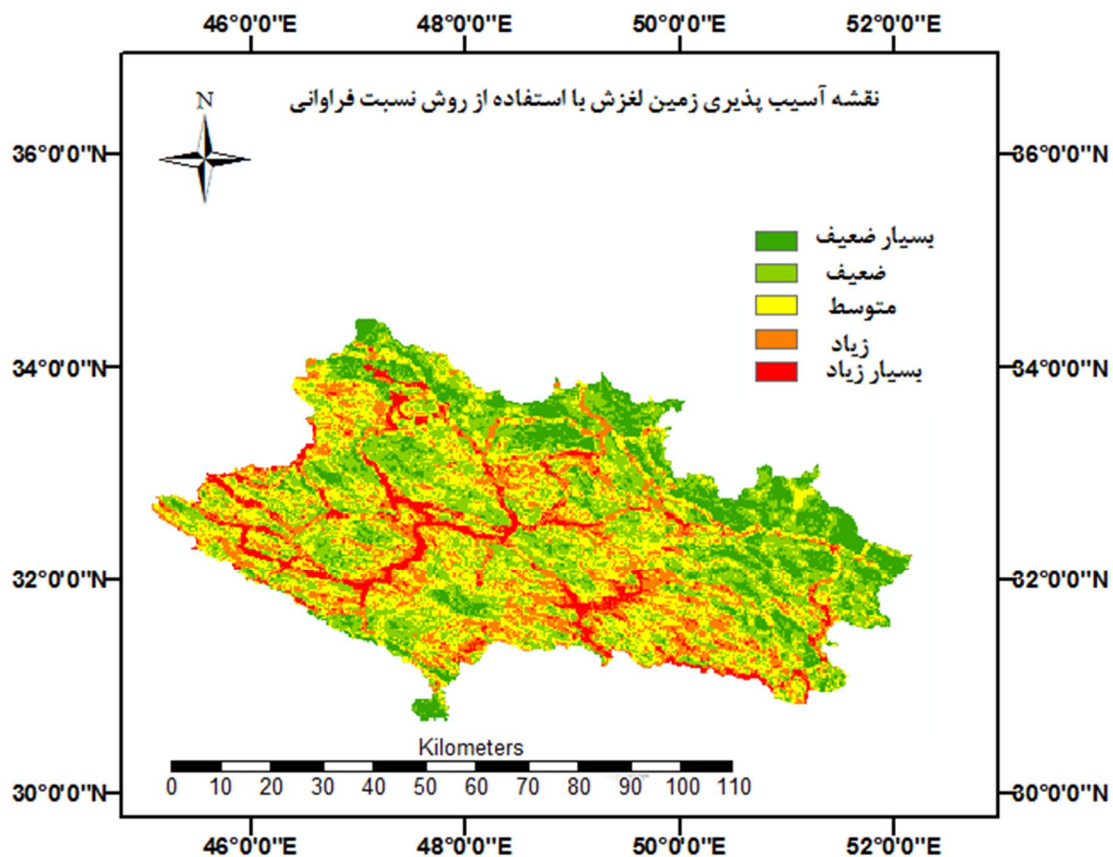
<sup>۵</sup> Integer value

<sup>۶</sup> Fractional weight

<sup>۷</sup> consistency ratio

<sup>۸</sup> consistency index

فاکتورهای تأثیرگذار و وقوع زمین لغزش است (Tehrany et al., 2013: 45). علاوه بر این مقادیر بزرگ تر و کوچک تر از یک به ترتیب نشان دهنده ی یک رابطه ی قوی و ضعیف است (Pradhan et al., 2011: 4075). خروجی نهایی روش نسبت فراوانی در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- نقشه آسیب پذیری حاصل از روش نسبت فراوانی

### نتایج حاصل از روش ترکیبی

در ترکیب روش نسبت فراوانی با روش تحلیل سلسله مراتبی، از وزن های به دست آمده در روش نسبت فراوانی جهت مقایسات زوجی روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده می شود. نتایج حاصل از مقایسات زوجی در جدول ۲ نشان داده شده است. از تقسیم وزن های هر ستون بر مجموع هر ستون، مقادیر بردار

ویژه به دست می‌آید. بردار مقادیر ویژه در جدول ۳ نشان داده شده است. و سرانجام وزن‌های حاصله از روش ترکیبی در شکل ۵ نشان داده شده است.

جدول ۱- رابطه مکانی بین معیارهای تأثیرگذار و محل وقوع زمین لغزش

PR	Max-Min	نسبت فراوانی (FR)	تعداد زمین لغزش	تعداد پیکسل	طبقه	معیار
۸/۶۶	۱/۶۲۵	۱/۶۲۵	۵۳	۱۲۹۵۶	۰-۱۰۰	فاصله از رودخانه
		۱/۰۹۴	۲۷	۹۸۰۱	۱۰۰-۲۰۰	
		۰/۷۸۴	۱۹	۹۶۱۷	۲۰۰-۳۰۰	
		۰/۳۲۵	۵	۶۱۰۴	۳۰۰-۴۰۰	
		۰/۶۷۱	۷	۴۱۴۱	۴۰۰-۵۰۰	
		۱/۱۴۶	۸	۲۷۷۲	۵۰۰-۶۰۰	
		۰/۵	۲	۱۵۸۷	۶۰۰-۷۰۰	
		۰	۲	۷۸۸	۷۰۰-۸۰۰	
		۰	۰	۴۸۱	۸۰۰-۹۰۰	
		۰	۰	۲۶۸	۹۰۰-۱۰۰۰	
۰	۰	۳۴۵	بیشتر از ۱۰۰۰			
۱۴/۲	۲/۶۷	۲/۸۶	۴۷	۶۵۱۹	۰-۱۰۰	فاصله از جاده
		۰/۵۸۴	۷	۴۷۵۹	۱۰۰-۲۰۰	
		۰/۵۵۱	۷	۵۰۴۵	۲۰۰-۳۰۰	
		۰/۹۸۴	۹	۳۶۳۰	۳۰۰-۴۰۰	
		۰/۷۳۳	۶	۳۲۲۸	۴۰۰-۵۰۰	
		۰/۴۸۴	۴	۳۲۸۳	۵۰۰-۶۰۰	
		۰/۸۲۶	۶	۲۸۸۴	۶۰۰-۷۰۰	
		۰/۶۷۱	۴	۲۳۶۷	۷۰۰-۸۰۰	
		۰/۱۸۶	۱	۲۱۳۰	۸۰۰-۹۰۰	
		۰/۳۷۱	۲	۲۱۳۹	۹۰۰-۱۰۰۰	
۰/۹۲۵	۳۰	۱۲۸۷۷	بیشتر از ۱۰۰۰			

ادامه جدول ۱- رابطه مکانی بین معیارهای تأثیرگذار و محل وقوع زمین لغزش

PR	Max-Min	نسبت فراوانی (FR)	تعداد زمین لغزش	تعداد پیکسل	طبقه	معیار
۹/۳۳	۱/۷۴۹	۰/۷۳۹	۲۴	۱۲۵۸۷	۰-۳۰۰	فاصله از گسل
		۰/۸۲۴	۱۸	۸۴۶۸	۳۰۰-۶۰۰	
		۱/۳۴	۲۵	۷۲۱۸	۶۰۰-۹۰۰	
		۱/۲۷	۱۹	۵۷۹۶	۹۰۰-۱۲۰۰	
		۱/۵۵	۱۹	۴۷۴۰	۱۲۰۰-۱۵۰۰	
		۱/۷۴	۱۵	۳۳۲۵	۱۵۰۰-۱۸۰۰	
		۰/۴۹۸	۳	۲۳۳۴	۱۸۰۰-۲۱۰۰	

تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از ترکیب روش نسبت فراوانی و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

		۰	۰	۱۷۲۸	۲۱۰۰-۲۴۰۰	
		۰	۰	۹۹۴	۲۴۰۰-۲۷۰۰	
		۰	۰	۳۹۰	۲۷۰۰-۳۰۰۰	
		۰	۰	۱۲۶	بیشتر از ۳۰۰۰	
۴/۸۷۴	۰/۹۱۳	۰/۷۵۴	۸	۳۴۱۲	هموار	جهت شیب
		۰/۷۸۷	۱۳	۵۳۰۹	شمال	
		۱/۳۶	۱۱	۲۵۹۵	شمال شرقی	
		۰/۷۹	۷	۲۸۵۰	شرق	
		۱/۰۷۹	۲۴	۷۱۵۴	جنوب شرقی	
		۱/۰۹	۳۰	۸۸۵۱	جنوب	
		۰/۶	۷	۳۷۳۴	جنوب غربی	
		۱/۱۵۵	۱۲	۳۳۴۱	غرب	
		۱/۱۵۱	۱۱	۲۳۳۳	شمال غربی	
۱	۰/۱۸۷۵	۰/۸۷	۳۱	۱۴۵۱۶	۴۰۰-۵۰۰	بارندگی
		۱/۰۶	۸۰	۳۰۸۷۱	۵۰۰-۶۰۰	
		۰/۹۴۵	۱۲	۵۲۲۵	بیشتر از ۵۰۰	

ادامه جدول ۱- رابطه مکانی بین معیارهای تأثیرگذار و محل وقوع زمین‌لغزش

PR	Max-Min	نسبت فراوانی (FR)	تعداد زمین‌لغزش	تعداد پیکسل	طبقه	معیار
۱۲/۴۹۶	۲/۳۴	۰	۰	۱۷۵	۲۰۰-۴۰۰	ارتفاع
		۰	۰	۴۲۰	۴۰۰-۶۰۰	
		۲/۳۴	۶	۸۲۴	۶۰۰-۸۰۰	
		۱/۹۸	۱۲	۱۹۴۸	۸۰۰-۱۰۰۰	
		۲/۱۵	۲۳	۳۴۳۳	۱۰۰۰-۱۲۰۰	
		۰/۸	۱۱	۴۴۱۸	۱۲۰۰-۱۴۰۰	
		۰/۸۲	۱۴	۵۴۹۰	۱۴۰۰-۱۶۰۰	
		۰/۸۳	۱۴	۵۳۸۸	۱۶۰۰-۱۸۰۰	
		۱/۰۳	۲۰	۶۲۳۹	۱۸۰۰-۲۰۰۰	
		۱/۱۱	۱۶	۴۶۱۶	۲۰۰۰-۲۲۰۰	
		۰/۲۱۲	۲	۳۰۲۲	۲۲۰۰-۲۴۰۰	
		۰/۷۹۸	۴	۱۶۱۱	۲۴۰۰-۲۶۰۰	
		۰/۳۴۷	۱	۹۲۵	۲۶۰۰-۲۸۰۰	
		۰	۰	۵۱۸	۲۸۰۰-۳۰۰۰	
۰	۰	۵۲۲	بیشتر از ۳۰۰۰			
۹/۵	۱/۷۸۲	۰/۷۶	۳	۱۲۶۱	۰-۵	
		۰/۱۶	۱	۱۹۳۰	۵-۱۰	
		۰/۵۷	۴	۲۲۳۹	۱۰-۱۵	
		۰/۷۷	۶	۲۵۰۶	۱۵-۲۰	
		۰/۸۶	۷	۲۶۱۰	۲۰-۲۵	

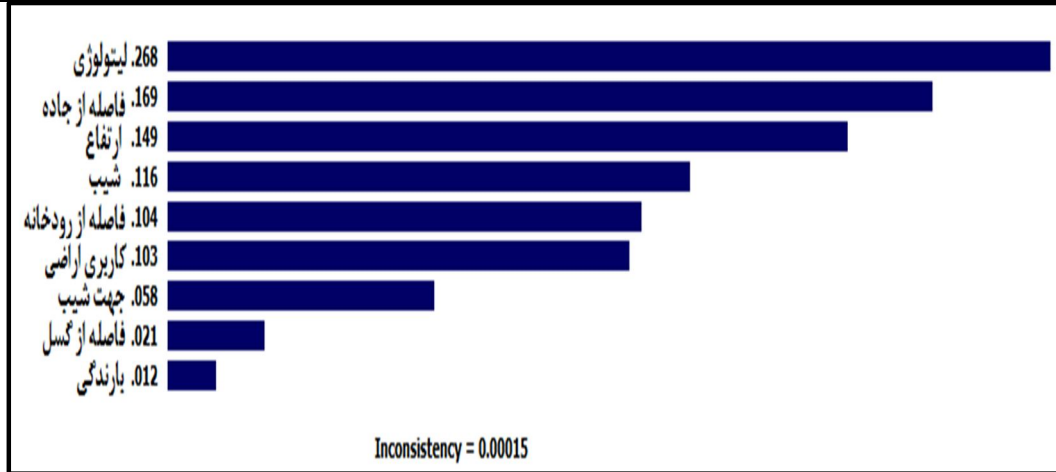
		۰/۸	۷	۲۷۸۱	۲۵-۳۰	شیب
		۰/۵۹	۵	۲۶۹۰	۳۰-۳۵	
		۱/۰۷۶	۹	۲۶۹۱	۳۵-۴۰	
		۱/۹۴	۱۷	۲۸۰۶	۴۰-۴۵	
		۱/۱۳	۶۴	۱۸۰۶۵	بیشتر از ۴۵	

ادامه جدول ۱- رابطه مکانی بین معیارهای تأثیرگذار و محل وقوع زمین لغزش

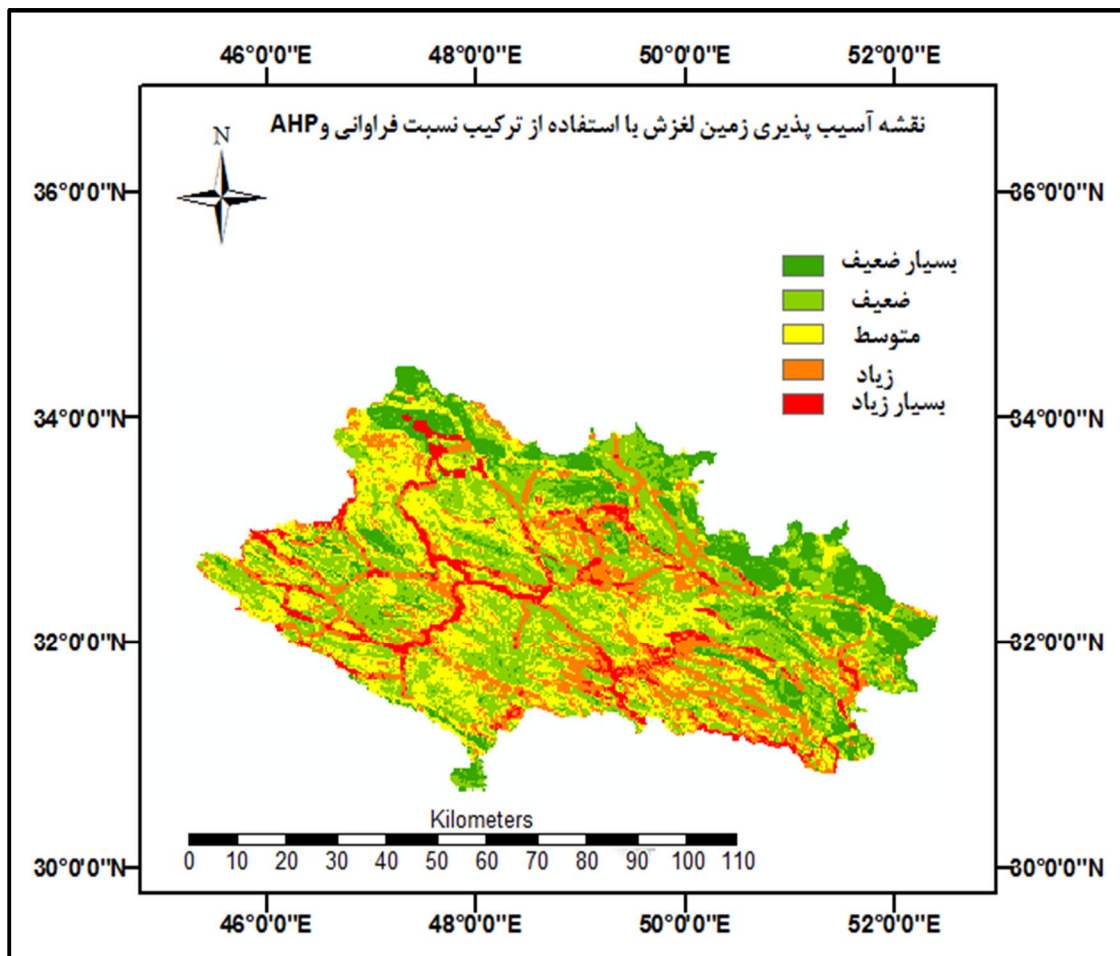
PR	Max-Min	نسبت فراوانی (FR)	تعداد زمین لغزش	تعداد پیکسل	طبقه	معیار
۲۲/۷۲	۴/۲۶	۰/۹۷۸	۲۷	۱۰۹۳۱	Qft2	لیتولوژی
		۰/۶۳۷	۴	۲۴۸۵	Kbgbp	
		۱/۵۲	۴	۱۰۳۷	TRKurl	
		۱/۳۵	۱۰	۲۹۱۸	Kpeam	
		۱/۶۲	۹	۲۱۹۵	Ekn	
		۲/۲	۱۲	۲۱۵۲	Kltd	
		۰/۸۴	۱	۴۷۰	Qft1	
		۴/۲۶	۳	۲۷۹	K1bl	
		۰/۸	۱	۴۹۰	Kpegr-di	
		۱/۲۳	۳	۹۶۵	Kgu	
		۰/۷۸	۸	۴۰۳۶	Emas-sb	
		۰/۵۶	۲	۱۴۰۷	Jkbl	
		۰/۸	۲	۹۸۶	Muplaj	
		۰/۹۴	۶	۲۵۲۷	Pibk	
		۱/۴	۱	۲۸۲	TRkk-nz	
		۰/۹۱	۱	۴۳۴	Pda	
		۰/۶	۴	۲۶۰۳	Mgs	
		۲/۸۵	۵	۶۹۵	MPlfgp	
		۰/۶۱	۱	۶۴۵	oMas	
		۱/۸۶	۱۷	۳۶۰۷	KEpd-gu	
۲/۱۳۶	۲	۳۷۱	Jkkgp			
۰	۰	۷۲۳۱	غیره			
۸/۵۹	۱/۶۱	۱/۰۶۱	۲۸	۸۱۵۸	کشاوری	کاربری اراضی
		۱/۰۲	۲۱	۱۰۷	زمین های خشک	
		۰/۷۸۱	۲۶	۱۰۴۴۹	کشاوری دیم	
		۰	۰	۱۳۰۴۲	جنگل	
		۰/۶۴	۲	۲۱۹۴	حاصلخیزی خوب	
		۱/۳۳	۴۴	۱۳۱۸۲	حاصلخیزی متوسط	
		۱/۶۱	۱	۱۲۳۸	حاصلخیزی ضعیف	
		۰/۱۸	۱	۲۴۶	شهری	
۰	۰	۱۲۹	آب			



ارتفاع	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۱/۳۴	۰/۱۵	۱۳/۶
کاربری اراضی	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۹۲	۰/۱	۹/۰۹
جمع	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱		۱	۸۹/۸۱



شکل ۵- وزن نهایی معیارها از روش ترکیبی

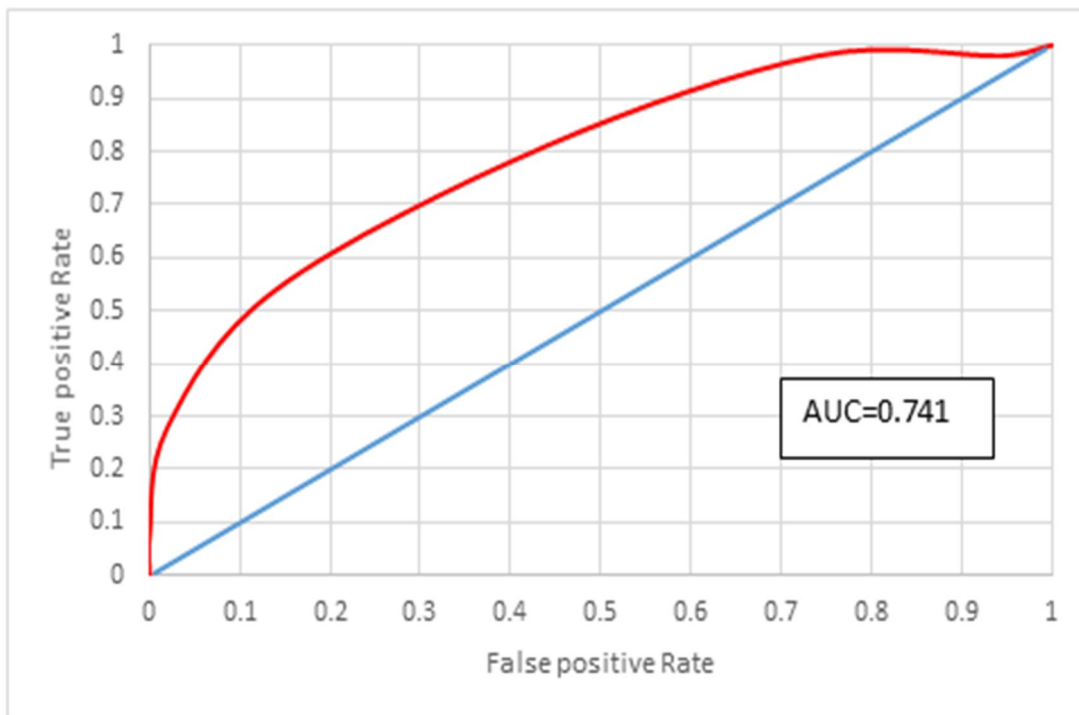


شکل ۶- نقشه آسیب پذیری زمین لغزش به روش ترکیبی (FR-AHP)

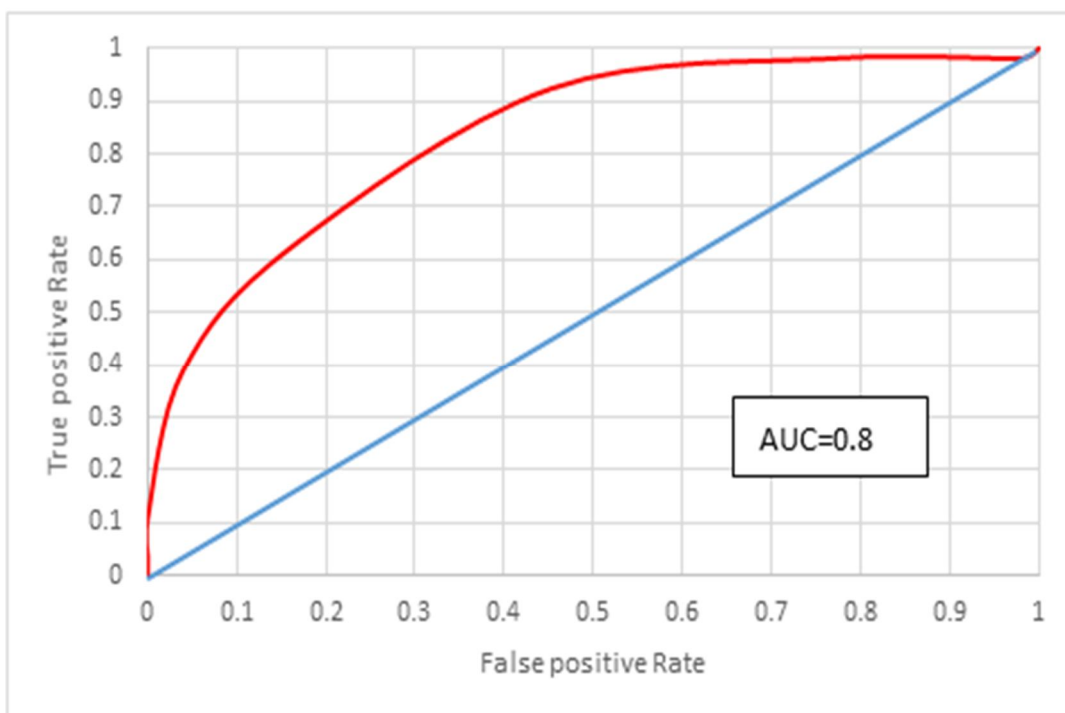


## ارزیابی نتایج

پس از تهیه‌ی نقشه نهایی حاصل از دو روش، نقشه نهایی در پنج کلاس بسیار ضعیف تا بسیار زیاد طبقه‌بندی شدند. جهت ارزیابی نقشه‌های موردنظر و تعیین دقت آن‌ها نمی‌توان از نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه استفاده کرد (Komac,2006:17). جهت حل این مشکل، تعدادی از زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه مورد مطالعه برای مدل‌سازی و بخشی از آن نیز برای ارزیابی مدل مذکور (به ترتیب ۷۰ درصد و ۳۰ درصد) مورد استفاده قرار گرفت (Clerici,2006:941; Constantin,2010:36). آنگاه با استفاده از منحنی ROC (Regmi,2010:172) صحت نقشه‌های تهیه‌شده مورد تأیید قرار گرفت. منحنی ROC یکی از مفیدترین و کارآمدترین روش‌ها در ارائه خصوصیت تعیینی، شناسایی احتمالی و پیش‌بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند. در حقیقت منحنی ROC یک نمایش گرافیکی از موازنه بین نرخ خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی از خطای برش‌هاست. سطح زیر منحنی ROC که AUC نامیده می‌شود، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخداد (وقوع زمین‌لغزش) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع زمین‌لغزش) آن است. ایده آل‌ترین مدل، بیشترین سطح زیر منحنی را دارد و مقادیر AUC از ۰/۵-۱ متغیر است. چنانچه مدلی نتواند رخداد زمین‌لغزش را بهتر از دیدگاه احتمالی (تصادفی) تخمین بزند مقدار AUC آن ۰/۵ است و زمانی که منحنی ROC، سطح زیر منحنی برابر یک داشته باشد بیانگر بهترین دقت از نقشه پهنه‌بندی تهیه‌شده است. همبستگی کیفی-کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین به صورت زیر است (۰/۹-۱) عالی، ۰/۸-۰/۹ خیلی خوب، ۰/۷-۰/۸ خوب، ۰/۶-۰/۷ متوسط و ۰/۵-۰/۶ ضعیف (Zhu et al,2009:342). سطح زیر منحنی مربوط به روش نسبت فراوانی برابر ۷۴ درصد که نشان‌دهنده‌ی دقت خوب این روش می‌باشد و همچنین سطح زیر منحنی روش ترکیبی برابر ۸۰ درصد که نشان‌دهنده‌ی دقت خیلی خوب این مدل می‌باشد. نمودار ROC مربوط به روش نسبت فراوانی و روش ترکیبی به ترتیب در شکل ۷ و ۸ نشان داده شده است.



شکل ۷- نمودار ROC روش نسبت فراوانی



شکل ۸- نمودار ROC روش ترکیبی

## نتیجه گیری

هدف از تحقیق حاضر تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از ترکیب روش نسبت فراوانی با تحلیل سلسله مراتبی در استان لرستان است. به این منظور پس از تهیه نقشه های پراکنش زمین لغزش های منطقه، لایه های اطلاعاتی درجه شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، طبقه ارتفاعی و بارندگی به عنوان عوامل مؤثر بر زمین لغزش شناسایی گردید. ۱۷۶ زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه وجود دارد، که ۲۳ از زمین لغزش (۷۰ درصد) جهت تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش و ۵۳ زمین لغزش (۳۰ درصد) جهت ارزیابی مدل تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفت. جهت ارزیابی مدل های مورد نظر از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) و سطح زیر منحنی (AUC) استفاده گردید. ارزیابی مدل های مورد نظر نشان دهنده دقت خیلی خوب، برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از روش ترکیبی است. دقت به دست آمده از روش ترکیبی ۸۱ درصد است. بنابراین به عنوان پیشنهاد می توان گفت که نقشه های مذکور، می تواند نقش به سزایی در تصمیم گیری های آتی، مدیریت دامنه های خطرناک و آمایش سرزمین در منطقه مورد مطالعه داشته باشد.

## منابع

1. Adiat, K., Nawawi, M., & Abdullah, K. (2012). Assessing the accuracy of GIS-based elementary multi criteria decision analysis as a spatial prediction tool—A case of predicting potential zones of sustainable groundwater resources. *Journal of Hydrology*, 440, 75-89.
2. Althuwaynee, O. F., Pradhan, B., Park, H.-J., & Lee, J. H. (2014). A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping. *Catena*, 114, 21-36.
3. Chenini, I., Mammou, A. B., & El May, M. (2010). Groundwater recharge zone mapping using GIS-based multi-criteria analysis: a case study in Central Tunisia (Maknassy Basin). *Water Resources Management*, 24(5), 921-939.
4. Constantin, M., Bednarik, M., Jurchescu, M. C., & Vlaicu, M. (2011). Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania). *Environmental earth sciences*, 63(2), 397-406.
5. Dou, J., Oguchi, T., Hayakawa, Y. S., Uchiyama, S., Saito, H., & Paudel, U. (2014). GIS-based landslide susceptibility mapping using a certainty factor model and its validation in the Chuetsu Area, Central Japan *Landslide Science for a Safer Geoenvironment* (pp. 419-424): Springer.
6. Dou, J., Bui, D. T., Yunus, A. P., Jia, K., Song, X., Revhaug, I., . . . Zhu, Z. (2015). Optimization of causative factors for landslide susceptibility evaluation using remote sensing and GIS data in parts of Niigata, Japan. *PloS one*, 10(7), e0133262.
7. Dou, J., Chang, K.-T., Chen, S., Yunus, A. P., Liu, J.-K., Xia, H., & Zhu, Z. (2015). Automatic case-based reasoning approach for landslide detection: integration of object-oriented image analysis and a genetic algorithm. *Remote Sensing*, 7(4), 4318-4342.
8. Kelarestaghi, A., & Ahmadi, H. (2009). Landslide susceptibility analysis with a bivariate approach and GIS in Northern Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 2(1), 95-101.
9. Komac, M. (2006). A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology*, 74(1), 17-28.
10. Klose, M. (2015). *Landslide databases as tools for integrated assessment of landslide risk*: Springer.
11. Nandi, A., & Shakoor, A. (2010). A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. *Engineering Geology*, 110(1), 11-20.
12. Ozdemir, A., & Altural, T. (2013). A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 64, 180-197.
13. Polykretis, C., Ferentinou, M., & Chalkias, C. (2015). A comparative study of landslide susceptibility mapping using landslide susceptibility index and artificial neural networks in the Krios River and Krathis River catchments (northern Peloponnesus, Greece). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74(1), 27-45.
14. Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., & Gokceoglu, C. (2012). Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Natural Hazards*, 63(2), 965-996.
15. Pourghasemi, H. R., Moradi, H. R., Aghda, S. F., Gokceoglu, C., & Pradhan, B. (2014). GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 7(5), 1857-1878.

16. Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., Gokceoglu, C., Mohammadi, M., & Moradi, H. R. (2013). Application of weights-of-evidence and certainty factor models and their comparison in landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(7), 2351-2365.
17. Pradhan, B., & Youssef, A. M. (2010). Manifestation of remote sensing data and GIS on landslide hazard analysis using spatial-based statistical models. *Arabian Journal of Geosciences*, 3(3), 319-326.
18. Pradhan, B., Mansor, S., Pirasteh, S., & Buchroithner, M. F. (2011). Landslide hazard and risk analyses at a landslide prone catchment area using statistical based geospatial model. *International Journal of Remote Sensing*, 32(14), 4075-4087.
19. Rahman, R., & Saha, S. (2008). Remote sensing, spatial multi criteria evaluation (SMCE) and analytical hierarchy process (AHP) in optimal cropping pattern planning for a flood prone area. *Journal of Spatial Science*, 53(2), 161-177.
20. Rahmati, O., Samani, A. N., Mahdavi, M., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2015). Groundwater potential mapping at Kurdistan region of Iran using analytic hierarchy process and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(9), 7059-7071.
21. Rahmati, O., Zeinivand, H., & Besharat, M. (2016). Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(3), 1000-1017.
22. Regmi, N. R., Giardino, J. R., & Vitek, J. D. (2010). Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA. *Geomorphology*, 115(1), 172-187.
23. Regmi, A. D., Devkota, K. C., Yoshida, K., Pradhan, B., Pourghasemi, H. R., Kumamoto, T., & Akgun, A. (2014). Application of frequency ratio, statistical index, and weights-of-evidence models and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(2), 725-742.
24. Thomas, S. (1980). The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. *Pittsburgh PA: University of Pittsburgh*.
25. Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N. (2013). Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS. *Journal of Hydrology*, 504, 69-79.
26. Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N. (2015). Flood susceptibility analysis and its verification using a novel ensemble support vector machine and frequency ratio method. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29(4), 1149-1165.
27. Yalcin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. *Catena*, 72(1), 1-12.
28. Ying, X., Zeng, G.-M., Chen, G.-Q., Tang, L., Wang, K.-L., & Huang, D.-Y. (2007). Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of eco-environment quality—a case study of Hunan Province, China. *Ecological modelling*, 209(2), 97-109.
29. Youssef, A. M. (2015). Landslide susceptibility delineation in the Ar-Rayth area, Jizan, Kingdom of Saudi Arabia, using analytical hierarchy process, frequency ratio, and logistic regression models. *Environmental earth sciences*, 73(12), 8499-8518.
30. Zhu, C., & Wang, X. (2009). *Landslide susceptibility mapping: a comparison of information and weights-of-evidence methods in Three Gorges Area*. Paper presented at the Environmental Science and Information Application Technology, 2009. ESIAT 2009. International Conference on.