

## پهنه بندی خطر زمین لغزش های کم عمق با استفاده از روش های آماری دو متغیره و GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گلندرود)

علی گیلانی پور<sup>۱</sup>، صدرالدین متولی\*<sup>۲</sup>

### چکیده

امروزه زمین لغزشها بعنوان یک تهدید برای اکوسیستم های خشکی و ساکنان موجود در آن مبدل شده است که در منطقه مورد مطالعه بطور محسوسی مشاهده می شود. هدف از تحقیق حاضر دستیابی به مهمترین علل وقوع زمین لغزش های کم عمق در ارتفاعات شمالی البرز (شهرستان نور) است. ابتدا نقاط لغزشی با استفاده بازدیدهای میدانی مشخص و متعاقب آن نقشه پراکنش زمین لغزش منطقه تهیه گردید. سپس هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه در ۱۵ لایه اطلاعاتی شامل عوامل ژئومورفولوژیک و عوامل خاکی در محیط نرم افزار Arc GIS9.3 رقومی گردید. جهت تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش از ۳ مدل شاخص لغزش، نسبت فراوانی و فاکتور اطمینان استفاده گردید. به منظور ارزیابی مدل از روش منحنی ROC استفاده شد. نتایج بررسی عوامل ایجاد لغزش های کم عمق در این منطقه نشان داد عوامل مربوط به هیدرولوژی خاک نظیر رطوبت خاک، نفوذپذیری خاک و بافت خاک، بیشترین ارتباط را در وقوع این نوع لغزش ها دارند. نتایج ارزیابی مدل نشان داد که نقشه پهنه بندی زمین لغزش با مدل نسبت فراوانی دارای بیشترین دقت و صحت در منطقه مورد مطالعه بوده است.

**واژه های کلیدی:** زمین لغزش کم عمق، شاخص لغزش، فاکتور، حوضه آبخیز گلندرود

<sup>۱</sup> - کارشناسی ارشد جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور، ایران

<sup>۲</sup> - دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور، ایران نویسنده مسئول: s\_motevalli@iaounor.ac.ir

مربوط به خاک نظیر عمق و بافت خاک Jia et al., 2012) ایجاد می شود. فعالیت های انسانی نظیر قطع بی رویه جنگل ها، جاده سازی، چرای بیش از حد دام و تخریب مراتع به همراه ساخت و سازهای نامتعارف در این مناطق منجر به تشدید زمین لغزش ها شده است. پدیده زمین لغزش پیچیده تر از سایر بلاهای طبیعی مثل سیل، زلزله و نظایر آن است و تحت تاثیر عوامل مختلفی قرار دارد، لذا کمی کردن بعضی از آنها دشوار و تعیین احتمال وقوع آن به صورت درصد مشکل است (Althuwaynee et al., 2012; Choi et al., 2012) و از آنجا که پیش بینی زمان رخداد زمین لغزش ها از توان علم و دانش فعلی بشر خارج می باشد (Ercanoglu & Candan, 2004)، لذا با شناسایی مناطق حساس به زمین لغزش و رتبه بندی آن می توان تا حدودی از خطر ناشی از بروز زمین لغزش جلوگیری نمود. مبنای پهنه بندی خطر زمین لغزش در روش های کیفی بر اساس ویژگی های ذاتی و طبیعی لغزش ها است. این روش ها تا دهه ۱۹۷۰ در سطح وسیعی توسط زمین شناسان و ژئومورفولوژیست ها مورد استفاده قرار می گرفت (Zare et al., 2012). اما با گذشت زمان و پیشرفت در تکنیک های بررسی و همچنین نیاز برنامه ریزی های ناحیه ای هماهنگ با ویژگی های محیطی همراه با کمترین ریسک، تحقیقات در رابطه با پدیده زمین لغزش به ابعاد جدیدی سوق داده شد و بدین ترتیب محققین با تکیه

## مقدمه

زمین لغزش ها یکی از بزرگترین خطرات طبیعی در مناطق کوهستانی محسوب شده که زندگی ساکنین این مناطق و اکولوژی محیط زیست را مورد تهدید قرار می دهد (Liu et al., 2013). غالب لغزش های رخ داده سبب خسارات زیادی در بخش های اقتصادی و اجتماعی جوامع شده و در بسیاری موارد زندگی انسان ها را در معرض خطر قرار داده است (Lee et al., 2012). زمین لغزش ها در ایران از میان سایر بلاهای طبیعی بیشترین فراوانی را دارا می باشد (Heshmati et al., 2011) به طوری که هر ساله ۶۰۰ میلیون دلار خسارت برجای می گذارد (Jaada, 2009).

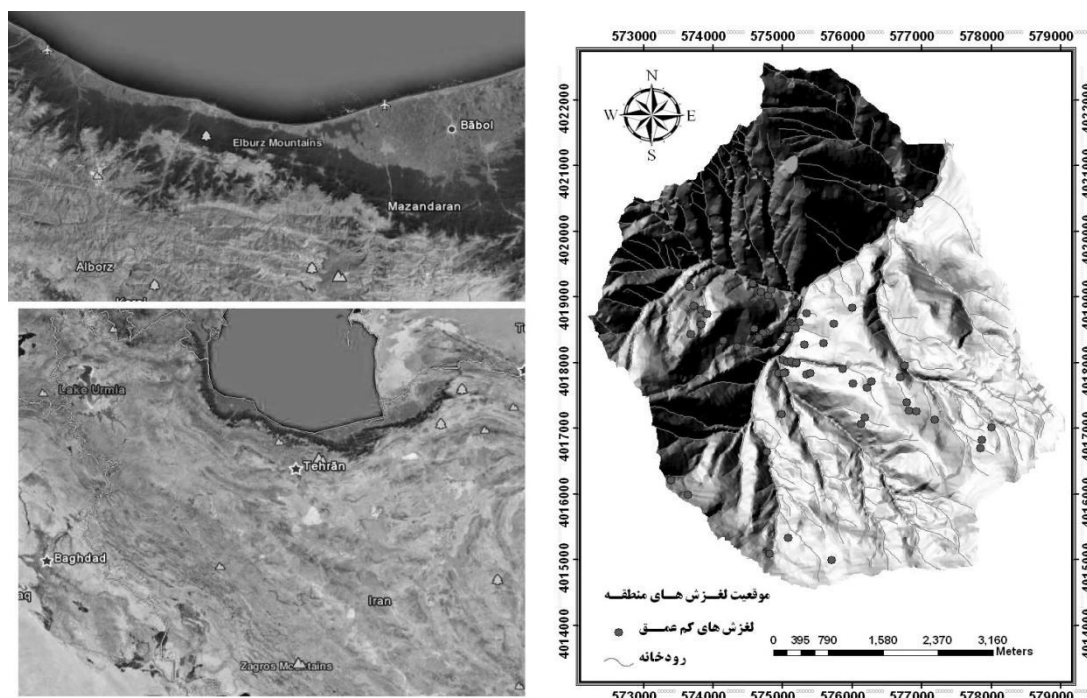
پدیده زمین لغزش به طور معمول در اثر عواملی نظیر بارندگی (Crosta, 2004; Iverson, 2000)، زلزله (Keefer, 1994)، عوامل فرسایشی به خصوص در شیب یا ترکیبی از این عوامل (Dadson et al., 2004) آغاز شده و بر اساس مطالعات بسیاری از محققان، تحت تاثیر عوامل مختلفی نظیر زمین شناسی و گسل (Heshmati et al., 2011; Pavel et al., 2011; Mohammadi et al., 2010) توپوگرافی شامل شیب، جهت و ارتفاع (Marjanovic et al., 2011; Yalcin et al., 2011)، رودخانه و شاخص قدرت رودخانه (Oh et al., 2011)، کاربری اراضی (Choi et al., 2011)، جاده (Bui et al., 2012)، بارندگی (Bui et al., 2012) و عوامل

بر امکانات سامانه داده‌های مکانی<sup>۱</sup> (GIS) مناطق وسیعی را از نظر حساسیت به وقوع زمین‌لغزش پهنه‌بندی کرده‌اند ( Bayati, 2006).

### مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه در استان مازندران و جنوب شهرستان نور، در بخش مرکزی سلسله جبال البرز قرار دارد که بخشی از زیر حوزه آبخیز گلندرود از حوزه بزرگ آبخیز هراز می باشد. مساحت منطقه مورد مطالعه ۳۵۲۴ هکتار می باشد و دارای مختصات عرض شمالی ۳۶° ۲۰' ۴۷" تا ۳۶° ۱۶' ۱۶" و طول شرقی ۵۱° ۴۸' ۱۸" تا ۵۲° ۵۶' ۵۲" درجه قرار گرفته است. در ابتدای منطقه مورد مطالعه روستای کپ قرار داشته و ۴ روستای هلوپشته، بیمک، لس و ونگزیار از دیگر مناطق زندگی ساکنین این حوضه می باشند. ارتفاع بیشینه و کمینه حوضه به ترتیب ۳۳۶۰ و ۱۵۴۳ متر است.

<sup>۱</sup>- Geographic Information System



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

ارتفاع از سطح دریا، شکل انحناى زمین، شاخص رطوبت پذیری توپوگرافی (TWI)، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، بارندگی، شاخص قدرت رودخانه (SPI)، تراکم زهکشی، سنگ شناسی، فاصله از گسل، شاخص NDVI، کاربری اراضی، عمق خاک، نفوذپذیری آب در خاک، بافت خاک، رطوبت خاک.

اولویت بندی عوامل موثر در وقوع لغزش های کم عمق منطقه:

پس از بررسی عوامل موثر در وقوع لغزش های کم عمق و تهیه نقشه های مربوط به آن، وزن-دهی به هر عامل و تهیه نقشه ای که مناطق مختلف خطر را در آن نشان دهد در اولویت کار قرار می گیرد. لذا در این بخش بررسی انواع روش های اولویت بندی عوامل موثر در وقوع این پدیده پرداخته می شود:

### روش تحقیق

تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش:

لازمه تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش، تهیه نقشه پراکنش لغزش های منطقه می باشد. لذا در تحقیق حاضر تمامی لغزش های کم عمق موجود با استفاده از GPS Extra vista ثبت و وارد نرم افزار ArcGIS v.9.3 گردید. در کل منطقه مورد مطالعه ۷۲ زمین لغزش کم عمق شناسایی و ثبت گردید و نقشه پراکنش زمین لغزش های منطقه تهیه شد (شکل ۳). از این تعداد ۳۰ درصد از کل لغزش ها وارد مرحله ارزیابی شده و مابقی در پهنه بندی قرار می گیرد. در مرحله بعد تمامی نقشه پراکنش زمین لغزش ها به صورت لایه رستری در آمده و بر روی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش اعمال می گردد. در این تحقیق از ۱۸ عامل مؤثر در وقوع لغزش های کم عمق استفاده گردید که عبارتند از: شیب، جهت دامنه،

#### ۱- روش شاخص لغزش<sup>۱</sup>

روش شاخص لغزش معیاری جهت تعیین تراکم لغزشها است (van Westen, 1993) و بر اساس لگاریتم طبیعی (ln) تراکم لغزشها در هر کلاس به تراکم لغزشهای کل نقشه می پردازد ( Rautela & Lakhera, 2000). رابطه آن به صورت زیر است:

---

<sup>1</sup> Landslide index

$$W_i = \ln \frac{\text{Densclass}}{\text{Densmap}} \ln \frac{\frac{N_{pix}(S_i)}{SN_{pix}(S_i)}}{\frac{N_{pix}(N_i)}{SN_{pix}(N_i)}} \quad (7)$$

این ارتباط کمتر است. برای محاسبه نسبت فراوانی هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش مشخص، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی درصد پیکسل های لغزشی و فاقد لغزش منطقه مورد مطالعه تعیین و نهایتاً نسبت فراوانی برای هر یک از عوامل و کلاس های مرتبط با آن از تقسیم نسبت مناطق لغزش (درصد پیکسل هایی که در آن لغزش رخ داده) به مناطق فاقد لغزش (درصد پیکسل های فاقد لغزش) محاسبه گردید. سپس شاخص حساسیت به خطر لغزش بر اساس رابطه محاسبه شد (Lee, 2007).

$$LSI = \sum Fr$$

(۸)

LSI: شاخص حساسیت به خطر زمین لغزش، Fr: وزن هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش می باشد. در این رابطه اگر  $Fr > 1$  باشد همبستگی عامل موثر با لغزش بسیار زیاد و اگر  $Fr < 1$  باشد این همبستگی بسیار ضعیف است.

۳- مدل فاکتور اطمینان<sup>۲</sup>

این مدل جزو جدیدترین مدل های پهنه بندی زمین لغزش بوده و تفاوت اصلی این مدل با دیگر مدل های دو متغیره نحوه تلفیق نقشه ها در آن است. بدینسان که ابتدا نقشه ها کلاسه بندی شده، سپس با استفاده از رابطه ۹ وزن هر پیکسل بدست می آید. حال برای

که در آن،  $W_i$ : وزن هر یک از کلاس ها در نقشه؛ Densclass: تراکم زمین لغزش در هر یک از کلاس ها؛ Densmap: تراکم زمین لغزش در کل نقشه؛  $N_{pix}(N_i)$ : تعداد کل پیکسل ها در یک کلاس مشخص؛  $SN_{pix}(S_i)$ : تعداد کل پیکسل های لغزشی نقشه؛  $SN_{pix}(N_i)$ : تعداد کل پیکسل های نقشه؛ با توجه به رابطه ۱ هر طبقه دارای وزن مخصوصی شده است. هرچه میزان وزن اکتسابی به هر طبقه بیشتر باشد نشان دهنده ارتباط بهتر آن عامل در وقوع لغزش های کم عمق می باشد. در مرحله بعد تمام طبقات در محیط ArcGIS روی هم قرار گرفته و وزن آن ها جمع شدند. سپس از طریق میانگین تجمعی وزن های بدست آمده توسط این روش به ۴ طبقه خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم گردید.

۲- روش نسبت فراوانی<sup>۱</sup>

نسبت احتمال رخداد یک پدیده به عدم رخداد آن پدیده را نسبت فراوانی می نامند. اگر تعداد زمین لغزش های رخ داده در یک منطقه را A معرفی کنیم و عوامل موثر در پدیده زمین لغزش را D بنامیم آن وقت نسبت فراوانی برای D همان احتمال وقوع معرفی می شود. حال اگر این نسبت بزرگتر از ۱ باشد ارتباط بزرگتری میان وقوع زمین لغزش با عوامل موثر در وقوع آن داشته و اگر کوچکتر از ۱ باشد

<sup>2</sup> Certainly Factor<sup>1</sup> Frequency Ratio

ترکیب نقشه ها یکی X و دیگری Y در نظر گرفته می شود، سپس از رابطه ۱۰ جهت ترکیب وزن ها استفاده می گردد که سه (Lan et al., 2004).

$$CF = \begin{cases} \frac{PP_a - PP_s}{PP_a(1 - PP_s)} & \text{if } PP_a \geq PP_s \\ \frac{PP_a - PP_s}{PP_s(1 - PP_a)} & \text{if } PP_a < PP_s \end{cases} \quad (9)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{x + y - xy}{x + y} & \text{If } x, y \geq 0 \\ \frac{1 - \min(|x|, |y|)}{x + y + xy} & \text{If } x, y \text{ opposite sign} \\ \frac{x + y - xy}{x + y + xy} & \text{If } x, y < 0 \end{cases} \quad (10)$$

که در آن

$PP_a$ : نسبت تعداد پیکسل های لغزشی یک طبقه یا کلاس به کل پیکسل های کلاس مربوطه .

$PP_s$ : نسبت کل پیکسل های لغزشی منطقه به کل پیکسل های منطقه

### نتایج

ارتباط عوامل موثر با لغزش های کم عمق: به منظور تهیه نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از روش های گفته شده و همچنین نتایج حاصل از ارتباط بین عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش و لغزش های رخ داده در منطقه مورد مطالعه برای هر یک از عوامل تاثیرگذار بر لغزش جدول ۱ ارائه شده است. در این جدول مقادیر شاخص لغزش، نسبت فراوانی و فاکتور اطمینان قرار نشان داده شده است. همچنین نقشه هریک از عوامل موثر در وقوع لغزش های کم عمق قرار داده شده است.

نقشه ترکیبی دوباره به عنوان X در نظر گرفته شده و نقشه سوم Y است. دوباره نقشه X و Y جدید بر اساس رابطه ۲ ترکیب می شوند. به این ترتیب تا آخرین نقشه این تلفیق انجام شده و وزن نهایی محاسبه می گردد که مقدار آن بین ۱- تا ۱ است. ( Binaghi et al., 1998). از ویژگی های مدل فاکتور اطمینان ترکیب مجدد لایه ها پس از وزن دهی می باشد و نقشه نهایی از ترکیب وزن ها با شروط ۳ گانه تهیه می شود.

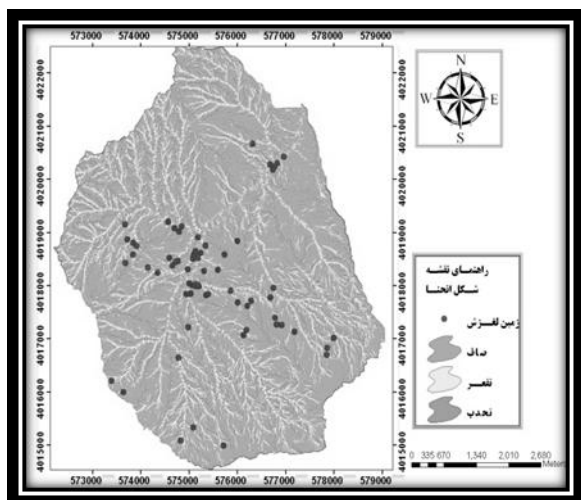
جدول ۱: مقادیر حاصل از ارتباط عوامل موثر در وقوع با لغزش ها

کلاس	زیر کلاس	حوزه آبخیز گلندرود				شاخص لغزش	نسبت فراوانی	فاکتور اطمینان
		پیکسل های فاقد لغزش		پیکسل های لغزشی				
		مقدار	نسبت	مقدار	نسبت			
جهت شیب	F	۲۶۶۹	۰/۷۵	۰	۰	-۲/۵۶	۰	-۰/۹۲
	N	۱۰۶۳۵۶	۳۰/۱۷	۱۸	۳۹/۱۳	۰/۲۵	۱/۳	۰/۲۲
	NE	۴۸۸۴۸	۱۳/۸۶	۱۰	۲۱/۷۳	۰/۴۵	۱/۵۶	۰/۳۶
	E	۴۵۴۳۳	۱۲/۹	۳	۶/۵۲	-۰/۶۸	۰/۵	۰/۰۵
	SE	۳۸۱۵۲	۱۰/۸۲	۰	۰	-۲/۵۶	۰	-۰/۹۲
	S	۲۱۲۲۱	۶/۰۲	۰	۰	-۲/۵۶	۰	-۰/۹۲
	SW	۱۵۸۸۳	۴/۵	۰	۰	-۲/۵۶	۰	-۰/۹۲
	W	۳۶۱۱۴	۱۰/۲۴	۸	۱۷/۴	۰/۵۲	۱/۷	۰/۴۱
	NW	۳۷۷۵۲	۱۰/۷۱	۷	۱۵/۲۱	۰/۳۵	۱/۴۲	۰/۳
فاصله از آغل (m)	۰ - ۵۰۰	۱۶۱۴۶۵	۴۵/۸۱	۳۸	۸۲/۶	۰/۵۸	۱/۸	۰/۴۴
	۵۰۰ - ۱۵۰۰	۱۸۳۸۸۱	۵۲/۱۷	۸	۱۷/۴	-۱/۰۹	۰/۳۳	-۰/۶۶
	>۱۵۰۰	۷۰۸۲	۲	۰	۰	-۲/۵۶	۰	-۰/۹۲
تراکم زهکش (m/km2)	خیلی زیاد	۷۰۹۶۷	۲۰/۱۳	۱۵	۳۲/۶	۰/۴۸	۱/۶۱	۰/۳۸
	زیاد	۹۳۶۰۹	۲۶/۵۶	۱۱	۲۳/۹۱	-۰/۱۰۵	۰/۹	-۰/۱
	متوسط	۱۱۴۳۵۳	۳۲/۴۴	۱۳	۲۸/۲۶	-۰/۱۳۸	۰/۸۷	-۰/۱۲
	کم	۶۱۵۶۴	۱۷/۴۶	۵	۱۰/۸۶	-۰/۴۷	۰/۶۲	-۰/۳۷
	خیلی کم	۱۱۹۳۵	۳/۳۸	۱	۲/۱۷	-۰/۴۴	۰/۶۴	-۰/۳۵
ارتفاع (m)	۱۸۰۰ >	۱۸۱۰۵	۵/۱۳	۲	۴/۳۴	-۰/۱۶	۰/۸۴	-۰/۱۵
	۲۱۰۰ - ۱۸۰۰	۶۳۱۰۷	۱۷/۹	۳۲	۶۹/۵۶	۱/۳۵	۳/۸۸	۰/۷۴
	۲۴۰۰ - ۲۱۰۰	۱۰۶۶۹۰	۳۰/۲۷	۸	۱۷/۴	-۰/۵۵	۰/۵۷	-۰/۴۲
	۲۷۰۰ - ۲۴۰۰	۹۰۳۷۷	۲۵/۶۴	۴	۸/۷	-۱/۰۸	۰/۳۳	-۰/۶۶
	۳۰۰۰ - ۲۷۰۰	۵۷۷۲۴	۱۶/۳۷	۰	۰	-۲/۵۶	۰	-۰/۹۲
	۳۰۰۰ <	۱۶۴۲۵	۴/۶۶	۰	۰	-۲/۵۶	۰	-۰/۹۲
نفوذپذیری آب در خاک (cm/h)	آرام	۸۷۲۳۲	۲۴/۷۵	۴	۸/۷	-۱/۰۴	۰/۳۵	-۰/۶۴
	متوسط	۱۹۹۲۷۱	۵۶/۵۴	۴	۸/۷	-۱/۸۷	۰/۱۵	-۰/۸۴
	سریع	۵۲۰۹۲	۱۴/۷۸	۱۰	۲۱/۷۳	۰/۳۸	۱/۴	۰/۳۲
	خیلی سریع	۱۳۸۳۳	۳/۹۲	۲۸	۶۰/۸۶	۲/۷۴	۱۵/۵	۰/۹۳
عمق خاک (cm)	۲۰-۰	۲۴۳۸	۰/۷	۰	۰	-۲/۵۶	۰	-۰/۹۲
	۴۰-۲۰	۲۱۸۶۹	۶/۲	۵	۱۰/۸۶	۰/۵۶	۱/۷۵	۰/۷۵
	۶۰-۴۰	۱۴۶۱۸۴	۴۱/۴۸	۵	۱۰/۸۶	-۱/۳۳	۰/۲۶	-۰/۷۳
	۸۰-۶۰	۱۰۹۲۷۵	۳۱	۱۰	۲۱/۷۳	-۰/۳۵	۰/۷	-۰/۳

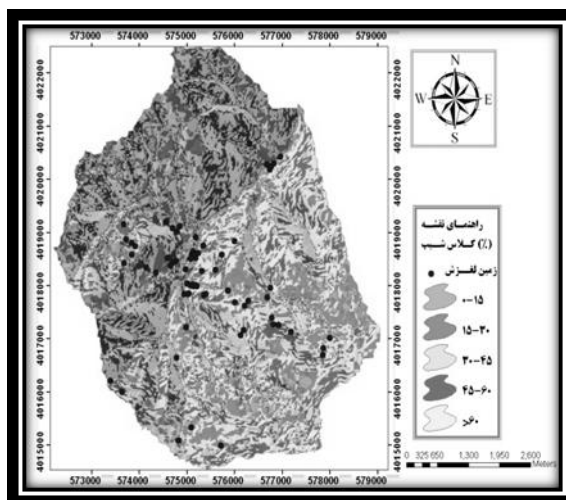


	۱۰۰-۸۰	۴۷۳۳۹	۱۳/۴۳	۲۱	۴۵/۶۵	۱/۲۲	۳/۴	۲/۴
	۱۰۰<	۲۵۳۱۱	۷/۱۸	۵	۱۰/۸۶	۰/۴۱	۱/۵۱	۰/۵۱
رطوبت خاک	خیلی کم	۸۷۶۶	۲۶/۹	۳	۶/۵۲	-۱/۴۲	۰/۲۴	-۰/۷۵
	کم	۱۵۲۷۸	۴۶/۸۸	۵	۱۰/۸۶	۰/۲۳	۰/۲۳	-۰/۷۷
	متوسط	۴۹۵۱	۱۵/۱۹	۹	۱۹/۵۶	۰/۲۴	۱/۲۷	۰/۲۱
	زیاد	۲۶۳۸	۸/۱	۷	۱۵/۲۱	۰/۶۲	۱/۸۶	۰/۴۶
	خیلی زیاد	۷۵۰	۲/۳	۲۳	۵۰	۳/۰۷	۲۱/۵۸	۰/۹۵
بافت خاک	رس	۱۱۲۴۷۹	۳۱/۹۱	۲۴	۵۲/۱۷	۰/۴۹	۱/۶۳	۰/۳۸
	رسی - لومی	۱۳۹۶۲	۳/۹۶	۱	۲/۱۷	-۰/۰۶	۰/۵۴	-۰/۴۵
	لومی	۹۳۴	۰/۲۶	۰	۰	-۲/۵۶	۰	-۰/۹۲
	رسی - شنی	۴۰۲۸۰	۱۱/۴۲	۰	۰	-۲/۵۶	۰	-۰/۹۲
	لومی - رسی - شنی	۳۴۶۲	۰/۹۸	۳	۶/۵۲	۱/۸۹	۶/۶۳	۰/۸۴
	رسی - سیلتی	۱۱۷۰۸۷	۳۳/۲۲	۵	۱۰/۸۶	-۱/۱۱	۰/۳۲	-۰/۶۷
	لومی - سیلتی	۶۴۱۲۳	۱۸/۱۹	۱۲	۱۲/۰۸	۰/۳۶	۱/۴۳	۰/۳
	لومی - رسی - سیلتی	۱۰۱	۰/۰۲	۰	۰	-۲/۵۶	۰	-۰/۹۲
کاربری اراضی	جنگ تنک	۱۷۵۳۳	۴/۹۷	۰	۰	-۲/۵۸	۰	-۰/۹۲
	مرتع	۳۲۲۷۷۹	۹۱/۵۸	۴۰	۸۶/۹۵	-۰/۰۵۱	۰/۹۴	-۰/۰۵
	مناطق مسکونی	۱۲۱۱۶	۳/۴۳	۶	۱۳/۰۴	۱/۳۳	۳/۸	۰/۷۳
NDVI	خیلی زیاد	۷۷۸	۱/۸	۰	۰	-۴/۶۶	۰	-۰/۹۲
	زیاد	۳۰۹۸	۷/۱۳	۲	۴/۳۴	-۰/۰۵	۰/۰۶	-۰/۰۴
	متوسط	۸۶۵۹	۱۹/۹۴	۵	۱۰/۸۶	-۰/۰۶	۰/۵۴	-۰/۴۵
	ضعیف	۱۷۰۲۴	۳۹/۲۲	۲۷	۵۸/۷	۰/۰۴	۱/۵	۰/۳۳
	خیلی ضعیف	۱۳۸۴۷	۳۱/۹	۱۲	۲۶/۰۸	-۰/۰۲	۰/۸۱	-۰/۱۸
شکل انحنای	مقعر	۵۴۲۴۶	۱۵/۵۳	۲۱	۴۵/۶۵	۱/۰۷	۲/۹۳	۰/۶۶
	محدب	۶۵۸۰۲	۱۸/۸۴	۷	۱۵/۲۱	-۰/۵۱	۰/۰۶	-۰/۰۴
	صاف	۲۲۹۱۴۷	۶۵/۶۲	۱۸	۳۹/۱۳	-۰/۲۱	۰/۰۸	-۰/۰۲
بارندگی (mm)	۵۰۰>	۲۸۱۸۴	۸	۰	۰	-۲/۵۸	۰	-۰/۹۲
	۶۰۰-۵۰۰	۲۵۲۶۷۲	۷۱/۷	۴۴	۹۵/۶۵	۰/۲۸	۱/۳۳	۰/۲۵
	۷۰۰-۶۰۰	۷۱۵۷۲	۲۰/۳	۲	۴/۳۴	-۱/۵۴	۰/۲۱	-۰/۷۸
فاصله از گسل (m)	۱۰۰-۰	۶۰۳۳۳	۱۷/۱۱	۲۳	۵۰	۱/۰۷	۲/۹	۰/۶۵
	۲۰۰-۱۰۰	۵۸۳۵۶	۱۶/۵۵	۱۲	۲۶/۰۸	۰/۴۵	۱/۵۷	۰/۳۶
	۳۰۰-۲۰۰	۵۳۶۲۳	۱۵/۲۱	۶	۱۳/۰۴	-۰/۱۵	۰/۸۵	-۰/۱۴
	۴۰۰-۳۰۰	۴۷۰۴۱	۱۳/۳۴	۳	۶/۵۲	-۰/۷۱	۰/۴۸	-۰/۵۱
	۴۰۰<	۱۳۳۰۷۵	۳۷/۷۵	۲	۴/۳۴	-۲/۱۶	۰/۱۱	-۰/۸۸

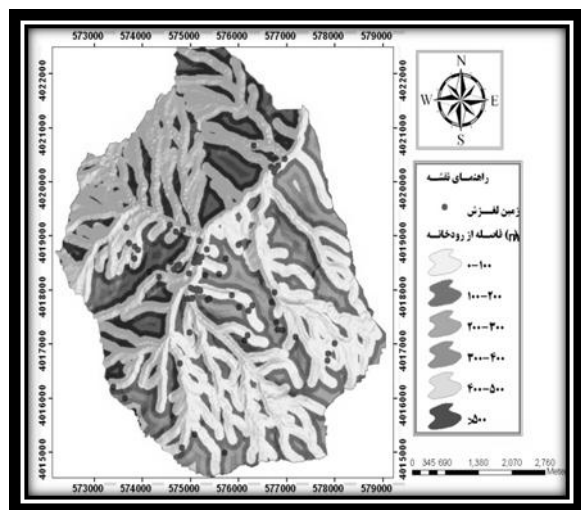
فاصله از جاده (m)	۰-۱۰۰	۳۴۴۸۴	۹/۷۸	۲۴	۵۲/۱۷	۱/۶۷	۵/۳۳	۰/۸۱
	۱۰۰-۲۰۰	۲۳۶۲۸	۶/۷	۷	۱۵/۲۱	۰/۸۱	۲/۲۶	۰/۵۵
	۲۰۰-۳۰۰	۲۰۹۲۵	۵/۹۳	۴	۸/۷	۰/۳۸	۱/۴۶	۰/۳۱
	۳۰۰-۴۰۰	۱۹۶۲۶	۵/۵۶	۷	۱۵/۲۱	۰/۴۴	۱/۵۶	۰/۳۵
	>۴۰۰	۲۵۳۷۶۵	۷۲	۱۴	۳۰/۴۳	-۱/۵۵	۰/۲۱	۰/۱۲
شیب	۰-۱۵	۱۱۹۳۵	۳/۳۸	۰	۰	-۲/۵۶	۰	-۰/۹۲
	۱۵-۳۰	۶۱۵۶۴	۱۷/۴۶	۵	۱۰/۸۶	-۰/۴۷	۰/۶۲	-۰/۳۷
	۳۰-۴۵	۱۱۴۳۵۳	۳۲/۴۴	۲۵	۵۴/۳۴	۰/۵۱	۱/۶۷	۰/۴
	۴۵-۶۰	۹۳۶۰۹	۲۶/۵۶	۱۱	۲۳/۹۱	-۰/۱	۰/۹	-۰/۱
	<۶۰	۷۰۹۶۷	۲۰/۱۳	۵	۱۰/۸۶	-۰/۶۱	۰/۵۴	-۰/۴۶
SPI	>۱۳	۲۸۵۷۲	۸/۱	۲	۴/۳۴	-۰/۶۲	۰/۵۳	-۰/۴۶
	-۱۳--۴	۱۰۲۴۰۱	۲۹/۰۵	۸	۱۷/۴	-۰/۵۱	۰/۶	-۰/۴
	-۴-۱	۱۴۴۹۹۰	۴۱/۱۴	۲۰	۴۳/۴۷	-۰/۰۵	۱/۰۵	۰/۰۵
	-۱-۱۲	۷۶۴۶۵	۲۱/۷	۱۶	۳۴/۷۸	۰/۴۷	۱/۶	۰/۳۷
TWI	<۴	۹۷۹۶۲	۲۷/۸	۷	۱۵/۲۱	-۰/۶	۰/۵۴	-۰/۴۵
	۴-۸	۱۱۹۴۱۳	۳۳/۸۸	۱۰	۲۱/۷۳	-۰/۴۴	۰/۶۴	-۰/۳۵
	۸-۱۱	۱۲۱۰۷۷	۳۴/۳۵	۲۷	۵۸/۷	۰/۵۳	۱/۷	۰/۴۱
	۱۱-۱۹	۱۳۹۷۶	۳/۹۶	۲	۴/۳۴	۰/۱	۱/۰۹	۰/۰۸
سنگ شناسی	لایه های یخچالی	۱۱۱۲۰	۳/۱۵	۰	۰	-۴/۸۶	۰	-۰/۹۲
	ماسه سنگ - سیلت	۲۰۰۸۰۵	۵۷/۰۲	۱۷	۳۶/۹۵	-۰/۴۳	۰/۶۴	-۰/۳۵
	شیل	۱۴۱۲۰۴	۴۰/۱	۲۹	۶۳/۰۴	۰/۴۵	۱/۵۷	۰/۳۶



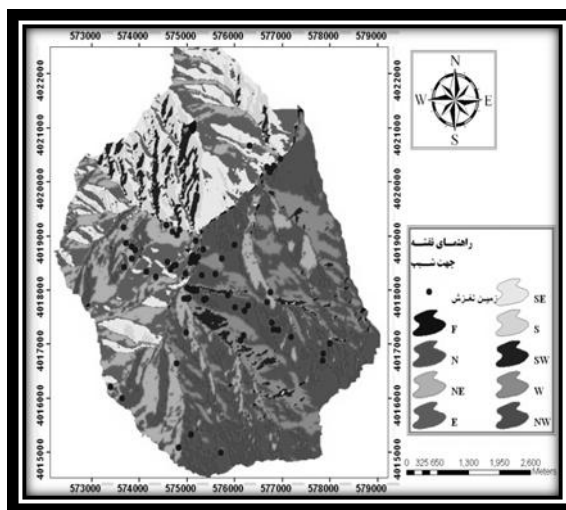
شکل ۴- نقشه شکل انحنا منطقه مورد مطالعه



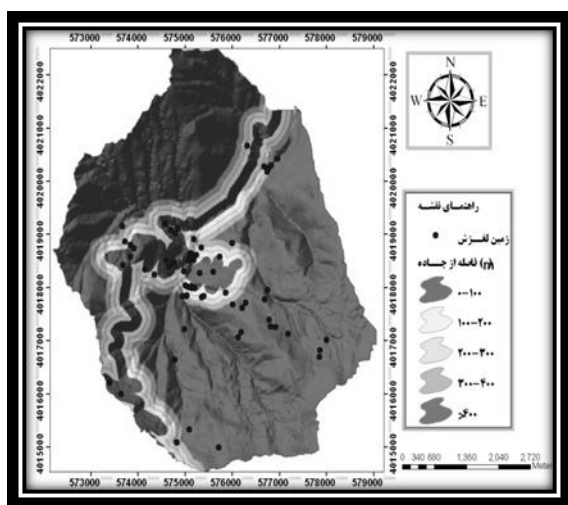
شکل ۱- نقشه شیب منطقه مورد مطالعه



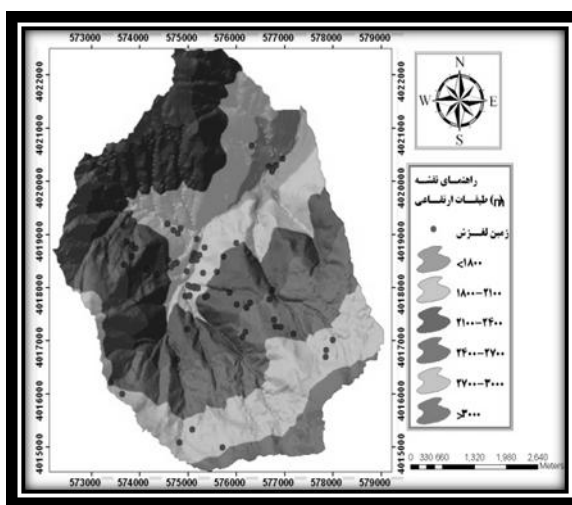
شکل ۵- نقشه فاصله از رودخانه منطقه مورد مطالعه



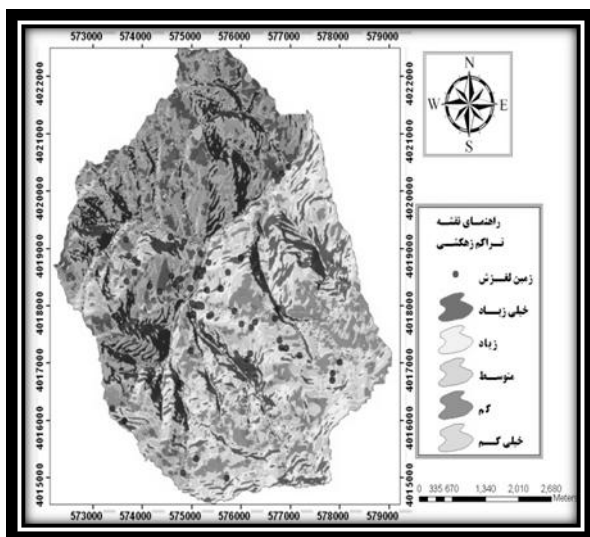
شکل ۲- نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه



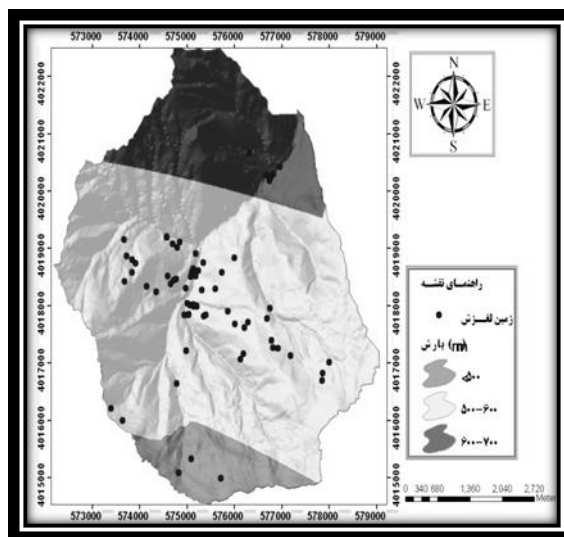
شکل ۶- نقشه فاصله از جاده منطقه مورد مطالعه



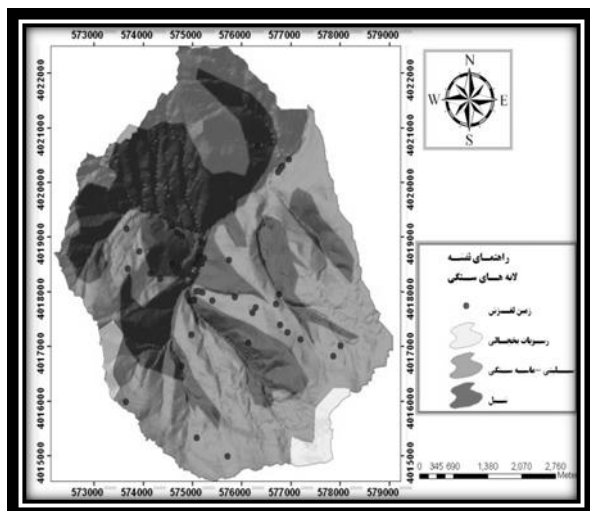
شکل ۳- نقشه طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه



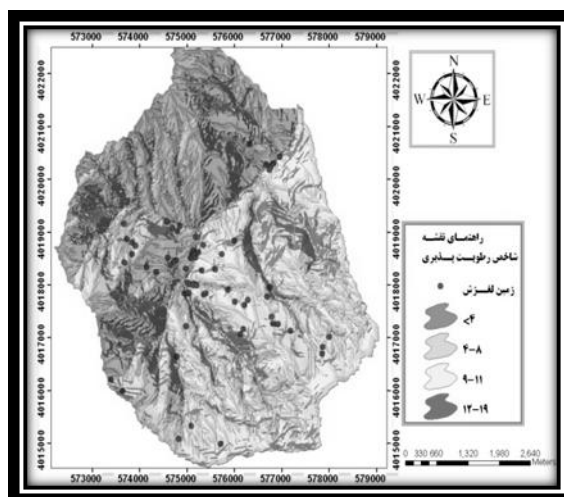
شکل ۱۰- تراکم زهکشی منطقه مورد مطالعه



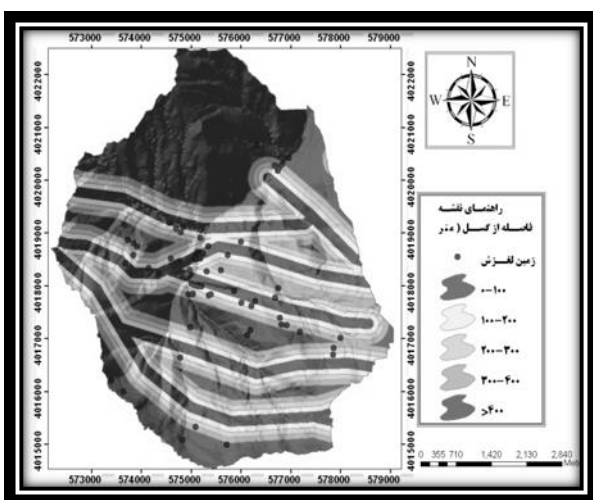
شکل ۷- نقشه همباران منطقه مورد مطالعه



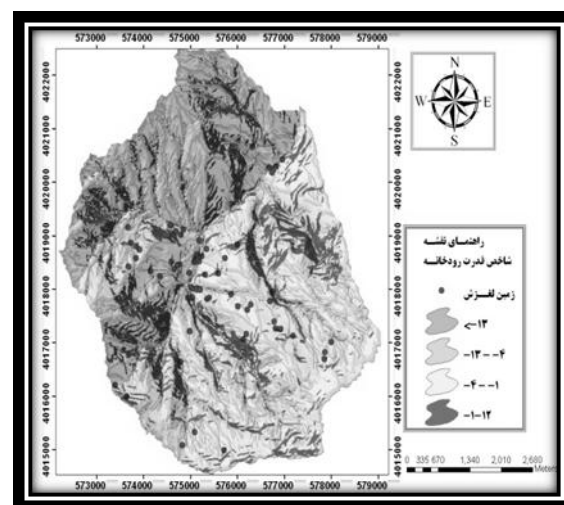
شکل ۱۱- نقشه سنگ شناسی منطقه مورد مطالعه



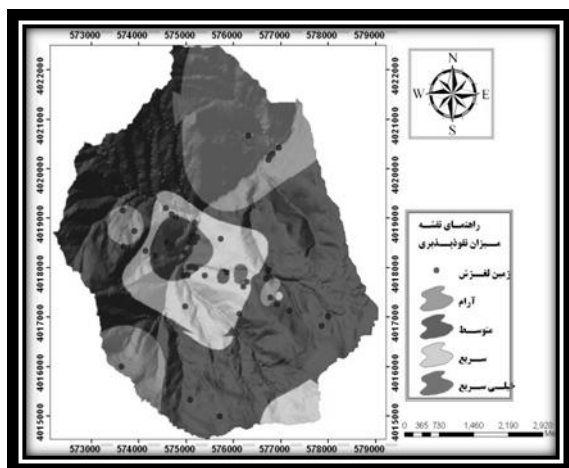
شکل ۸- شاخص رطوبت پذیری توپوگرافی



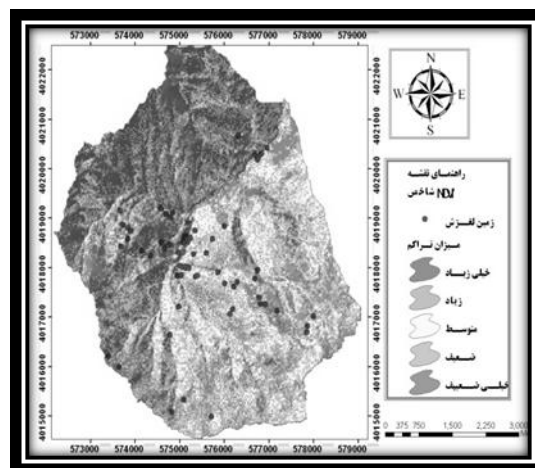
شکل ۱۲- نقشه فاصله از جاده منطقه مورد مطالعه



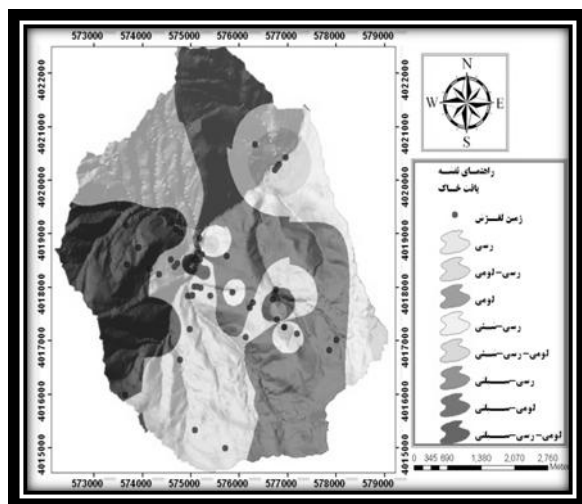
شکل ۹- شاخص قدرت رودخانه منطقه مورد مطالعه



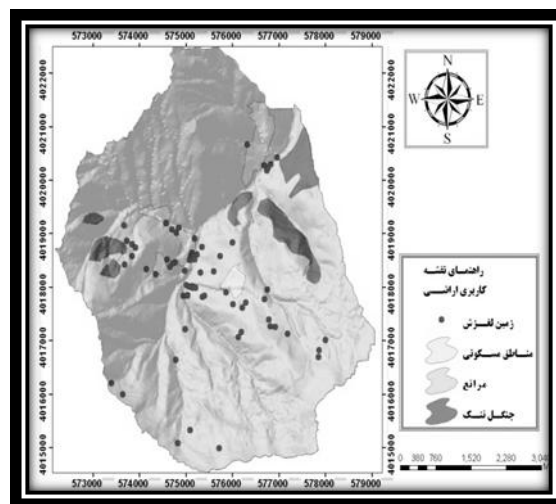
شکل ۱۶- نقشه میزان نفوذپذیری آب در خاک



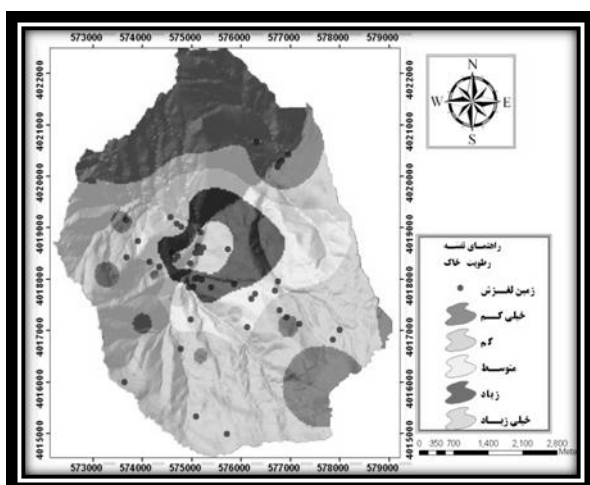
شکل ۱۳- شاخص NDVI در منطقه مورد مطالعه



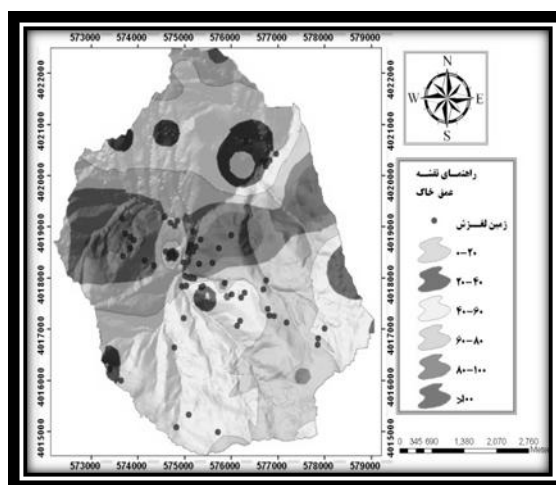
شکل ۱۷- نقشه بافت خاک منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۴- نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۸- نقشه میزان رطوبت خاک

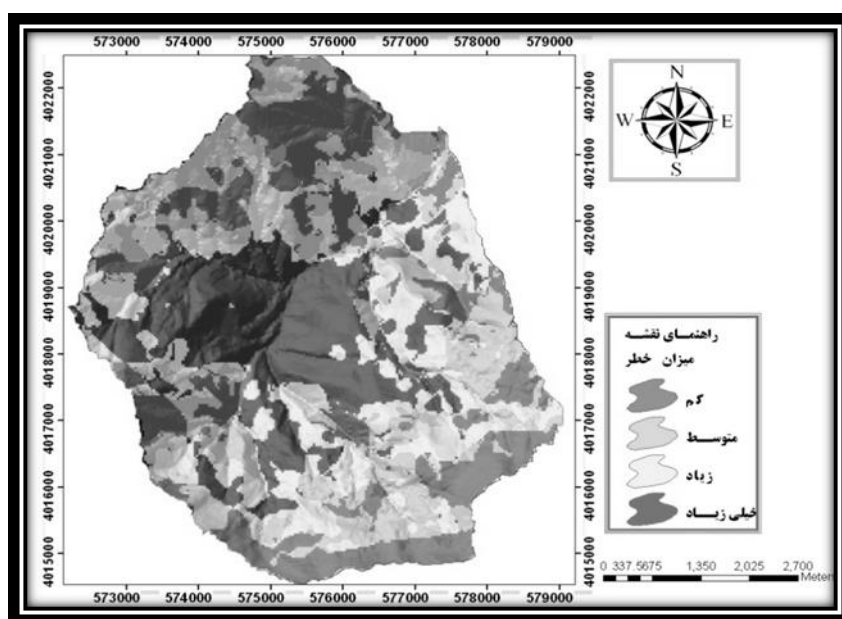


شکل ۱۵- نقشه عمق خاک منطقه مورد مطالعه

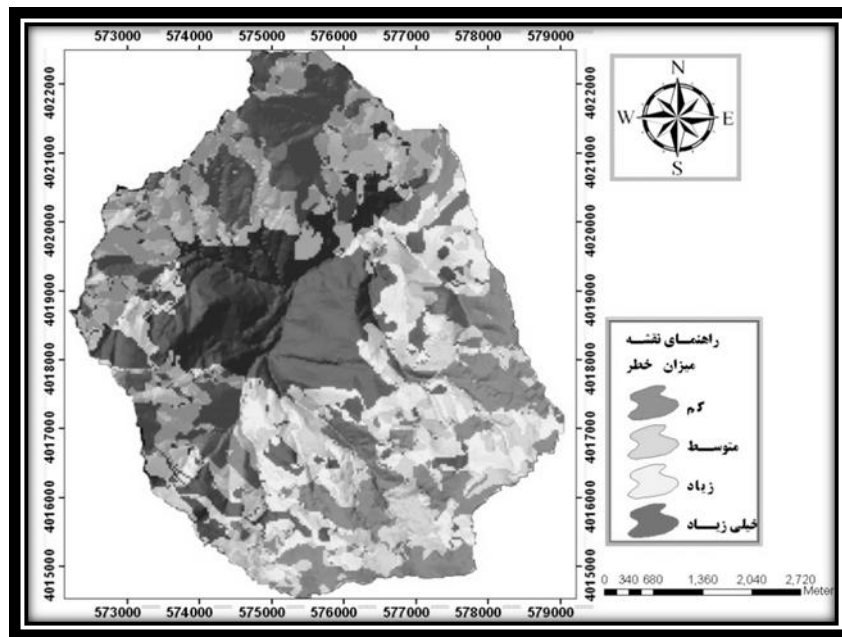
### تهیه نقشه حساسیت خطر لغزش های کم عمق

پس از انجام محاسبات مربوط به هر یک از روش های مختلف پهنه بندی حساسیت خطر، وزن هایی از هر روش برای هر عامل بدست آمد. وزن های بدست آمده از هر عامل در نرم

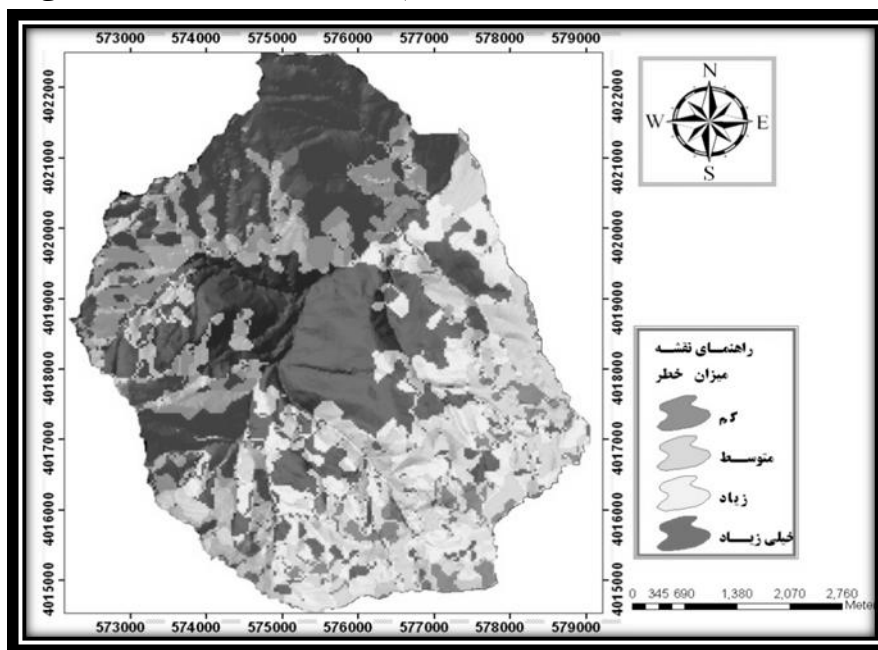
افزار ArcGIS9.3 با هم جمع شده و وزن نهایی هر روش بدست آمد. در نهایت طبقات خطر در ۴ کلاس کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد بدست آمد. در شکل زیر نقشه هر یک از روش های بدست آمده قرار داده شده است.



شکل ۱۹- نقشه حساسیت زمین لغزش های کم عمق با استفاده از مدل شاخص لغزش



شکل ۲۰- نقشه حساسیت زمین لغزش های کم عمق با استفاده از مدل نسبت فراوانی



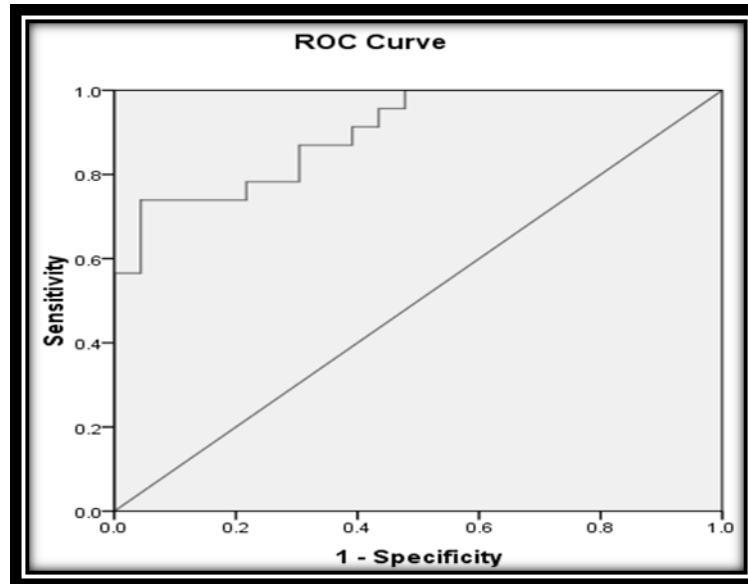
شکل ۲۱- نقشه حساسیت زمین لغزش های کم عمق با استفاده از مدل فاکتور اطمینان

ROC هر چه سطح زیر منحنی بیشتر باشد دقت مدل بیشتر است که میزان آن بین ۰/۵ تا ۱ متغیر است. به طور کلی تقسیم بندی ۰/۹- ۱، عالی، ۰/۹ - ۰/۸، خیلی

ارزیابی مدل های پهنه بندی حساسیت زمین لغزش: به منظور دستیابی به مدل منطقه ای مناسب برای مناطق شبه آلبی از دو روش ROC و جمع کیفی استفاده شد. در ارزیابی به روش

پهنه بندی خطر زمین لغزش های کم عمق با استفاده از روش های آماری..... ۷۲

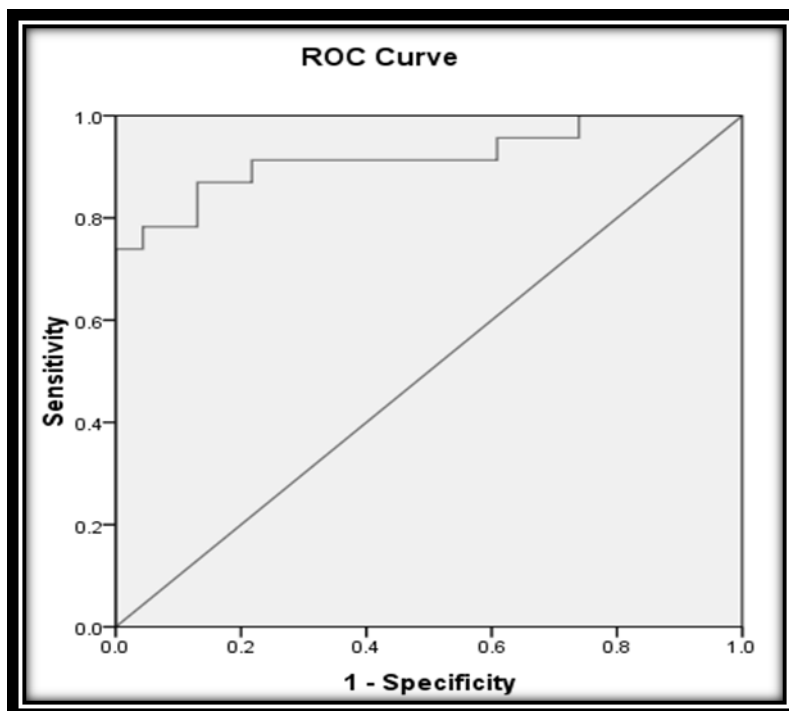
خوب، ۰/۸ - ۰/۷، خوب، ۰/۷ - ۰/۶، متوسط و ۰/۶ - ۰/۵، ضعیف را برای آن ارائه کرده‌اند. همین طور در روش جمع کیفی هرچه مقدار آن بیشتر باشد نشان دهنده دقت بیشتر مدل می باشد.



شکل ۲۲- منحنی ROC و سطح زیر منحنی مربوط به پهنه بندی خطر زمین لغزش مدل شاخص لغزش جدول ۲- خروجی محاسبه منحنی ROC در مدل شاخص لغزش

مساحت زیر منحنی	انحراف معیار <sup>a</sup>	درجه اهمیت مجانبی <sup>b</sup>	فواصل اطمینان مجانبی ۹۵٪	
			حد پایینی	حد بالایی
۰/۹	۰/۰۴۳	۰/۰۰۰	۰/۸۱۵	۰/۹۸۵
a: فرض غیر پارامتریک بودن داده‌ها				
b: فرض صفر: صحت مساحت زیر منحنی = 0.5				

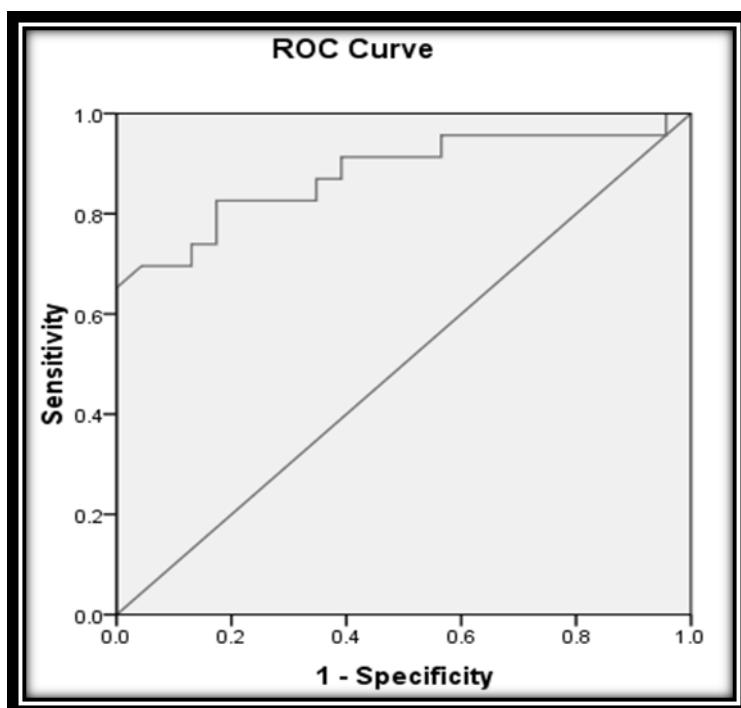




شکل ۲۳- منحنی ROC و سطح زیر منحنی مربوط به پهنه بندی خطر زمین لغزش مدل نسبت فراوانی

جدول ۳- خروجی محاسبه منحنی ROC در مدل نسبت فراوانی

مساحت زیر منحنی	انحراف معیار <sup>a</sup>	درجه اهمیت مجانبی <sup>b</sup>	فواصل اطمینان مجانبی ۹۵٪	
			حد پایینی	حد بالایی
۰/۹۱۹	۰/۰۴۳	۰/۰۰۰	۰/۸۳۴	۱
a: فرض غیر پارامتریک بودن داده‌ها				
b: فرض صفر: صحت مساحت زیر منحنی=0.5				



شکل ۲۴- منحنی ROC و سطح زیر منحنی مربوط به پهنه بندی خطر زمین لغزش مدل فاکتور اطمینان

جدول ۴- خروجی محاسبه منحنی ROC در مدل فاکتور اطمینان

مساحت زیر منحنی	انحراف معیار <sup>a</sup>	درجه اهمیت مجانبی <sup>b</sup>	فواصل اطمینان مجانبی ۰.۹۵٪	
			حد پایینی	حد بالایی
۰/۸۸	۰/۰۵۳	۰/۰۰۰	۰/۷۷۵	۰/۹۸۵
a: فرض غیر پارامتریک بودن داده‌ها				
b: فرض صفر: صحت مساحت زیر منحنی=0.5				

### بحث و نتیجه گیری

ها را فراهم نماید. به طوری که در بافت خاک رسی بیشترین لغزش ها مشاهده شده (۵۲/۱۷٪) زیرا حضور رطوبت در بافت رسی سبب افزایش حجم این نوع بافت شده و با توجه به وجود شیل در سازند شمشک و حساس بودن این نوع سازند به رطوبت، ساختار شیل تخریب شده (Ingram, 1953) و نهایتاً لغزش های کم عمق را ایجاد نموده است که با نتایج Ohlmacher و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت داشته است. نتایج نفوذپذیری آب در

در این تحقیق نشان داده شده بین عوامل مربوط به هیدرولوژی خاک و وقوع زمین لغزش های کم عمق ارتباط تنگاتنگی وجود دارد. نتایج آزمایشات رطوبت خاک که در سراسر حوضه انجام گرفت نشان داد هرچه میزان رطوبت خاک بیشتر باشد، لغزش های کم عمق بیشتری اتفاق افتاده است. زمانی تاثیر این عامل بیشتر می گردد که عواملی توپوگرافی، بافت خاک و نوع سازند پتانسیل ایجاد لغزش

پوشش گیاهی به سمت گونه های مهاجم و یا یکساله پیش می روند و به لحاظ خاک، بافت خاک آنها به شدت دگرگون شده و خلل و فرج سطحی خاک جهت نفوذ در آنها گرفته می شود.

به لحاظ ارتفاعی نیز، بیشترین وزن مربوط به روش های نسبت فراوانی و شاخص لغزش در ارتفاع ۱۸۰۰ تا ۲۱۰۰ بوده است (۳/۸۸، ۱/۲۸). این روند همان طور که در نتایج نشان داده شده نشان دهنده نقش بارش در وقوع زمین لغزش می باشد زیرا با افزایش ارتفاع میزان بارش بیشتر شده و حساسیت وقوع لغزش ها بیشتر می شود اما این روند در ارتفاعات بالا به علت اینکه بارش معمولاً به صورت برف بوده و غالب بودن پدیده یخبندان در بخش بزرگی از سال باعث کندی پدیده خاکزایی شده و همچنین عدم وجود آب کافی برای اشباع سازندها و کاهش دخالت های انسانی در طبیعت و در ارتفاعات بالا از دلایل کاهش زمین لغزش ارتفاعات می باشد (ارتفاع بیش از ۲۱۰۰).

علیرغم مرتعی بودن منطقه، اما بعلمت داشتن خاکهای حساس در این عرصه مرتعی، نقاط زیادی به عنوان سکونتگاههای فصلی نیز وجود دارد. متأسفانه جاده سازیهای غیرعلمی و نیز رساندن جاده ها حتی به آغلهای دامداری در ارتفاعات بسیار بالا، باعث شده است که ساخت و بافت اصلی خاکهای منطقه دچار سستی و شکنندگی شوند. بررسی فاصله از گسل نشان می دهد بیشترین ارتباط لغزش های کم عمق با نزدیک ترین گسل های منطقه می باشد. به

خاک نشان داد مناطقی که دارای نفوذ پذیری سریعتری نسبت به عبور آب هستند دارای لغزش های بیشتری می باشند و زمانی که بافت خاک رسی در پروفیل خاک قرار گیرد باعث نگهداشت آب در خاک شده و منجر به ناپایداری در دامنه ها می گردد که با نتایج Kitutu و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت داشت. نتایج عمق خاک نشان داد هرچه عمق خاک بیشتر گردد میزان لغزش ها نیز بیشتر می شود به طوری که بیشترین وزن مربوط به روش نسبت فراوانی و شاخص لغزش در عمق ۸۰ تا ۱۰۰ سانتی متری اتفاق افتاده است (۳/۴) و (۱/۲۲). عمق خاک تحت تاثیر تنش برشی و مقاومت برشی است و هر چه عمق خاک بیشتر باشد وزن بیشتری را خواهد داشت .

جهت غربی و نیز شمال شرقی مهمترین جهاتی بودند که در آن بیشترین حضور زمین لغزش به وقوع پیوسته است. از بین تمام جهات جغرافیایی، بیشترین رویش گیاهی به ترتیب شیب شمالی، غربی، شرقی و جنوبی است اما به لحاظ امر مرتعداری برای کیفیت علوفه، دقیقاً عکس حالت فوق صادق است. اما در مناطق که شیبهای شمالی غالبیت دارند، مسلم است که پوشش گیاهی غنی تری (ولی کیفیت علوفه پایین تر) دارند. از آنجمله منطقه مورد مطالعه است که دارای شیب شمالی بیشتری است. اما با توجه به حضور اکثر آغلهای دامداری در شیب شمال غربی، این مناطق بیشتر به سمت قهقرا پیش رفته و دارای زمین لغزش بالاتری نسبت به نقاط دیگر است. مؤید این گفته، فاصله از آغل است. بنابراین به لحاظ

لایه های زیرین بسیار مستعد در ایجاد این پدیده هستند. این عوامل به همراه عوامل ژئومورفولوژیک ارتباط تنگاتنگی با وقوع لغزش ها داشتند نتایج نشان داد نیمی از کل منطقه دارای خاک ناپایدار بوده و در صورت ایجاد فشار مازاد بر روی آن به راحتی انسجام خود را از دست داده و لغزش های کم عمق را ایجاد می کند. در بین مدل های بکار رفته در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش های کم عمق مناطق شبه آلی، مدل نسبت فراوانی بهترین عملکرد را داشته و کاربرد آن در مناطقی که شرایط نسبتا مشابهی با منطقه مورد مطالعه دارند، پیشنهاد می شود.

طوری که بیشترین امتیاز روش های نسبت فراوانی و شاخص لغزش به فاصله ۰ تا ۱۰۰ متر از گسل اختصاص یافته (۲/۹ و ۱/۰۷) و هر چه این فاصله بیشتر می گردد، شمار لغزش ها کاهش می یابد که نشان دهنده نقش مستقیم گسل های منطقه در وقوع زمین لغزش می باشد.

### نتیجه گیری

وقوع زمین لغزش های کم عمق ارتباط بسیار نزدیکی با هیدرولوژی خاک منطقه دارد به طوری که این لغزش ها در مناطق با رطوبت زیاد همراه با نفوذپذیری مناسب و بافت ریز در

## References

1. Althuwaynee, O., B. Pradhan, and S. Lee, 2012. Application of an evidential belief function model in landslide susceptibility mapping, *Computers & Geosciences* 44: 120-135.
2. Bayati, M. 2006. The slope of determine potential susceptibility to landslides in mountainous basins, Using determine special agent, *Human Sciences MODARES journal*, 53(4):29-55
3. Binaghi, E., Luzi, L., Madella, P., Pergalani F., Rampini, A., 1998. Slope instability zonation: a comparison between certainty factor and fuzzy dempster.shafer approaches, *Natural Hazards*, 17: 77-97.
4. Bui, D. T., B. Pradhan, O. Lofman, I. Revhaug, and O. Dick, 2012. Landslide susceptibility assessment in the HoaBinh province of Vietnam: A comparison of the Levenberg-Marquardt and Bayesian regularized neural networks, *Geomorphology*, 171-172(1): 12-29.
5. Choi, J., H. Oh, H. Lee, C. Lee, and S. Lee, 2012. Combining landslide susceptibility maps obtained from frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models using ASTER images and GIS, *Engineering Geology*. 124(1): 12-23.
6. Crosta, G.B., 2004. Introduction to the special issue on rainfall-triggered landslides and debris flows. *Engineering Geology* 73: 191-192.
7. Dadson, S., Hovius, N., Chen, H., Dade, W.B., Lin, J.C., Hsu, M.L., Lin, C.W., Horng, M.J., Chen, T.C., Miliman, J., Stark, C.P., 2004. Earthquake-triggered increase in sediment delivery from an active mountain belt. *Geology* 32: 373-376.
8. Ercanoglu. M., Candan. G. P., 2004. Use of fuzzy relation to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area(West Black Sea Region, Turkey), *Engineering Geology* 75: 229-250.
9. Heshmati, M., Shamshuddin, J., Majid, N. M., Ghaituri, M. 2011. Factors affecting landslides occurrence in agro-ecological zones in the Merek catchment, Iran, *Journal of Arid Environments*. 75(11): 1072-1082.
10. Ingram, R. L. 1953. Fissility of mudrocks: *Geological Society of America, Bulletin* 64: 869-878.
11. Jaada, M. 2009. Landslides Hazard Analysis Using Frequency Ratio Model. *Universiti Putra Malaysia, Serdang*. 181 pp.

12. Keefer, D.K. 1994. The importance of earthquake-induced landslides to long-term slope erosion and slope-failure hazards in seismically active regions. *Geology* 10:265–284.
13. Kitutu, M.G., Muwanga, A., Poesen, J., Deckers, J.A. 2009. Influence of soil properties on landslide occurrences in Bududa district, Eastern Uganda, *African Journal of Agriculture Research*, 4(7): 611-620.
14. Marjanovic, M., M.Kovacevic, B. Bajat, and V. Vozenilek. 2011. Landslide susceptibility assessment using SVM machine learning algorithm, *Engineering Geology*. 123: 225-234.
15. Mohammadi, M., H. Moradi, S. Feiznia, and H. Porghasemi. 2010. Comparison of the Efficiency of Certainty Factor, Information Value and AHP Models in Landslide Hazard Zonation (Case study: Part of Haraz Watershed), *Iranian Journal of Natural Resources*. 62(4): 539-551.
16. Oh, H.J. and B., Pradhan. 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area, *Computers and Geosciences*. 37: 1264-1276.
17. Ohlmacher, G.C. Davis, J.C. 2003. Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in Northeast Kansas, USA, *Engineering Geology*, 69: 331-343.
18. Rautela, P., Lakhera, R.C. 2000. Landslide risk analysis between Giri and Ton Rivers in Himalaya (India). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2: 153–160.
19. Van Westen, C. J. 1993. Application of Geographic Information Systems to Landslide Hazard Zonation, Ph-D Dissertation Technical University Delft. ITC Publication Number 15, ITC, Enschede, The Netherlands, 245 pp.
20. Yalcin, A. 2011. A geotechnical study on the landslides in the Trabzon Province, NE, Turkey, *Applied clay science*, 52: 11-29.
21. Zare, M., H.R., Pourghasemi, M., Vafakhah, B., Pradhan. 2012. Landslide susceptibility mapping at Vaz Watershed (Iran) using an artificial neural network model: a comparison between multilayer perceptron (MLP) and radial basic function (RBF) algorithms. *Arabian Journal of Geosciences*. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-012-0610-x>.