

ارزیابی کارایی مدل‌های عامل اطمینان، ارزش اطلاعاتی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (بررسی موردی: بخشی از حوزه آبخیز هراز)^۱

مجید محمدی^۲، حمیدرضا مرادی^{۳*}، سادات فیض‌نیا^۴ و حمیدرضا پورقاسمی^۲

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران

^۳ استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران

^۴ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۸۶/۱۲/۲۰، تاریخ تصویب: ۸۸/۶/۳۱)

چکیده

حوزه آبخیز هراز در شمال کشور قابلیت و توان بالایی برای رخداد زمین لغزش دارد. با این وجود، اطلاعات موجود در مورد زمین لغزش‌های هراز اندک است. هدف از این پژوهش تهیه نقشه خطر زمین لغزش با بهره‌گیری از روش‌های عامل اطمینان، ارزش اطلاعاتی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS، در بخشی از حوزه آبخیز هراز است. به منظور تهیه نقشه خطر زمین لغزش در آغاز با بررسی‌های میدانی، نقشه پراکنش زمین لغزش حوزه و سپس نقشه عامل‌های موثر بر زمین لغزش تهیه شد. سپس اولویت‌بندی عامل‌های موثر با بهره‌گیری از AHP انجام شد. بررسی‌ها نشان داد که ویژگی‌های سنگ‌شناسی، فاصله از جاده، شیب، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، ارتفاع و برای شیب عامل‌های اصلی کنترل‌کننده زمین لغزش در منطقه هستند. در مرحله بعد با بهره‌گیری از این عامل‌ها و مدل‌های عامل اطمینان، AHP و ارزش اطلاعاتی نقشه خطر زمین لغزش تهیه شد. ارزیابی مدل‌ها نشان داد که مدل‌های عامل اطمینان، AHP و ارزش اطلاعاتی به ترتیب بیشترین دقت در تهیه نقشه خطر زمین لغزش در منطقه را دارند.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، ارزش اطلاعاتی، عامل اطمینان، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، هراز

* نویسنده مسئول:

تلفن: ۰۱۲۲-۶۲۵۳۱۰۱

فاکس: ۰۱۲۲-۶۲۵۳۴۹۹

E-mail: morady5hr@yahoo.com

۱- این پژوهش در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری با نام تحلیل خطر حرکات توده‌ای و ارائه مدل منطقه‌ای مناسب با بهره‌گیری از GIS در سال ۱۳۸۶ انجام گرفته است.

مقدمه

نقشه پهنه‌بندی خطر با بهره‌گیری از عامل‌های زمین-شناسی، ساختار سنگی، فاصله از گسل، نقشه شیب، برای شیب و ارتفاع بدست آمد.

Komac (2006) با بهره‌گیری از تجزیه و تحلیل آماری چند متغیره و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اقدام به پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها و توزیع آنها در مرکز اسلوونی نمودند. نتایج نشان داد که شیب، سنگ‌شناسی و نوع پوشش نقش مهمی را در حساسیت منطقه به رخداد زمین‌لغزش بازی می‌کنند.

Yalcin (2008) نقشه خطر زمین‌لغزش را در ترکیه با بهره‌گیری از مدل ارزش اطلاعات، تراکم سطح و AHP تهیه نمود. وی زمین‌شناسی، برای شیب، پوشش گیاهی، فاصله از آبراهه و فاصله از جاده را به عنوان عامل‌های موثر در زمین‌لغزش معرفی کرد. ارزیابی مدل‌ها نشان داد که مدل AHP نسبت به مدل‌های دیگر در منطقه دقت بیشتری دارد.

Mosaffaei (2007) اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین-لغزش در حوزه الموت با بهره‌گیری از مدل‌های مورار-وارسون، تراکم سطح، AHP و رگرسیون چند متغیره نمود. ارزیابی مدل‌ها با بهره‌گیری از ضریب جمع کیفی، مدل رگرسیون چندگانه را به عنوان مدل مناسب برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش در منطقه معرفی کرد.

منطقه مورد بررسی در این پژوهش دارای قابلیت زیادی برای رخداد زمین‌لغزش است و همواره در معرض بروز زمین‌لغزش قرار دارد. این منطقه دارای ارزش اقتصادی زیادی است، یکی از مهم‌ترین جاده‌های ارتباطی تهران-شمال از این حوزه می‌گذرد و بیش از ۳۵ کارگاه پرورش ماهی در این مسیر وجود دارد که توجه به زمین‌لغزش در این مسیر را ضروری می‌کند. هدف از این پژوهش مقایسه دقت مدل‌های عامل اطمینان، ارزش اطلاعاتی و AHP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است.

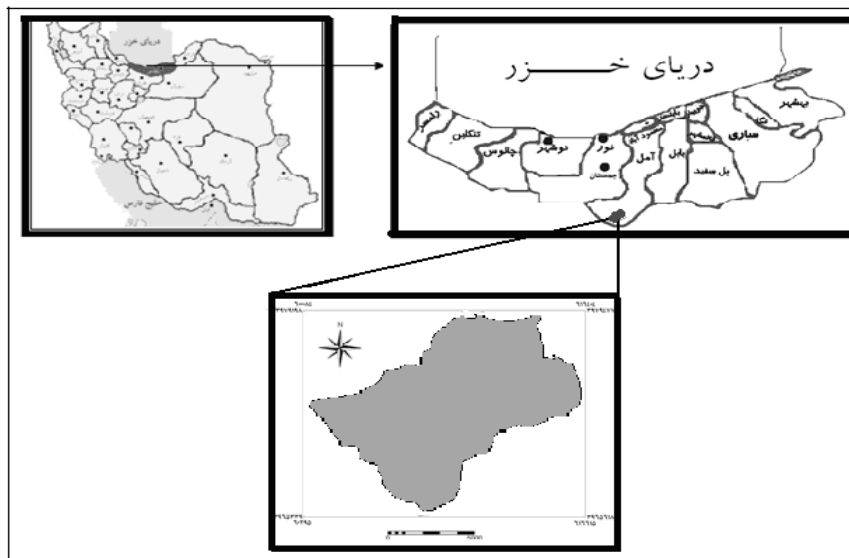
مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی بخشی از مسیر جاده ارتباطی هراز با مساحتی در حدود ۱۱۴ کیلومتر مربع در دو طرف جاده

حرکت‌های توده‌ای و زمین‌لغزش در مناطق شیب‌دار یکی از خطرناک‌ترین نوع فرسایش است که می‌تواند علاوه بر خطرهای جانی فراوان، دارای زیان‌های اقتصادی زیادی نیز باشد (Ahmadi & Mohammadchan, 2003). به هم خوردن تعادل بین آب و خاک در طبیعت، تخریب جاده‌ها، مناطق مسکونی، زمین‌های کشاورزی و افزایش نرخ رسوب‌زایی در پهنه طبیعت، از پیامدهای ناشی از این پدیده طبیعی است (Binaghi et al., 1998). ارزیابی خطرهای این پدیده مانند بسیاری از موضوع‌های زمین-شناسی محیطی به دلیل گوناگونی عامل‌های موثر در رخداد آن مساله‌ای پیچیده است. نداشتن قطعیت که ناشی از گنگ بودن، ناکامل و مبهم بودن شرایط و مفاهیم مرتبط با مشخصه‌هایی مانند زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، تکتونیکی، پوشش گیاهی، بارندگی، فرسایش، نوسان دما و غیره در بروز ناپایداری دامنه‌ای، می‌باشد لزوم بهره‌گیری از روش‌های دقیق و مناسب را در بررسی ناپایداری‌های دامنه‌ای، منطقی می‌کنند (Fatemi Aghda et al., 2006). روش‌های بیشماری در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش وجود دارد که بیشتر آنها برای مناطقی با شرایط ویژه ارائه شده‌اند. Fatemi Aghda et al., 2002 & Feiznia et al., 2005؛ Binaghi et al., 2006؛ Shadfar et al., 2006؛ Naji, 2007؛ et al., 1998 و Lan et al., 2004 از مدل‌های دو متغیره و Ahmadi et al., 2006 و Komac, 2006 از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بهره‌گیری نمودند. در سالهای اخیر روش‌ها از حالت کیفی و تجربی خارج شده و به سمت روش‌های آماری و کمی سوق یافته‌اند. در این روش‌ها، بر پایه شرایط موجود در منطقه و پراکنش زمین‌لغزش‌ها، رابطه‌ای بین عامل‌های موثر و رخداد زمین‌لغزش‌ها پیدا شده و منطقه بر پایه رابطه به دست آمده از نظر حساسیت به زمین‌لغزش پهنه‌بندی می‌شود (Feiznia et al., 2002). Lan et al. (2004) با تجزیه مکانی خطر لغزش و بررسی عامل‌های موثر بر لغزش با بهره‌گیری از مدل عامل اطمینان، نقشه پایداری لغزش را برای وضعیت‌های مختلف بارش تهیه نمودند.

واقع شده است. ارتفاع بیشینه و کمینه در منطقه به ترتیب ۳۲۹۰ و ۱۲۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد (شکل ۱).

این منطقه در دو ورقه نقشه پستی و بلندی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به نام‌های شنگله و رینه قرار دارد. و بین طول‌های جغرافیایی $۳۸^{\circ}۶'۵۲''$ تا $۲۴^{\circ}۱۷'۵۲''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $۳۹^{\circ}۴۹'$ تا $۵۷^{\circ}۱۱'$ شمالی



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد بررسی

فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، ارتفاع، برای شیب، گسل و میزان بارش به عنوان عامل‌های نخستین در نظر گرفته شدند، سپس با بهره‌گیری از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی از بین این عامل‌های ۷ عامل به عنوان عامل‌های اصلی موثر در رخداد زمین‌لغزش انتخاب شدند. به این صورت که در آغاز مقایسه‌های دوتایی بین عامل‌ها با بهره‌گیری از جدول ۱ انجام شد. سپس نتایج این مقایسه‌ها به صورت یک ماتریس به نرم‌افزار Expert Choice وارد شد که در این ماتریس وزن هر عامل نسبت به عامل دیگر آورده می‌شود. در نرم‌افزار وزن هر یک از عامل‌ها محاسبه و بر پایه این وزن، عامل‌های موثر اولویت‌بندی شدند (شکل ۲). همچنین این نرم‌افزار ضریب ناسازگاری^۱ را محاسبه می‌کند که کمتر از ۰/۱ قابل قبول است (Ghodsipour, 2006). ضریب ناسازگاری در این پژوهش ۰/۰۵ به دست آمد. از

مراحل این پژوهش به صورت زیر انجام گرفته است:

تعیین عامل‌های موثر بر زمین لغزش

نقشه پستی و بلندی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه از سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه کاربری اراضی منطقه از سازمان جنگل‌ها و مراتع و نقشه عناصر خطی شامل گسل، جاده و شبکه آبراهه‌ها از روی نقشه زمین‌شناسی و پستی و بلندی منطقه تهیه شد. نقشه خطوط هم‌بارش منطقه نیز از میانمایی ایستگاه‌های درون و مجاور حوزه به دست آمد. نقشه‌های بالا رقومی و نقشه شیب، برای شیب و طبقه‌های ارتفاعی از روی نقشه پستی و بلندی تهیه شد. در بازدیدهای میدانی موقعیت و مساحت لغزش‌های رخ داده در منطقه با بهره‌گیری از GPS، ثبت و نقشه پراکنش زمین‌لغزش تهیه شد. در بازدیدهای اولیه از منطقه ۹ عامل شامل زمین‌شناسی، فاصله از جاده، شیب،

۱- Inconsistency Ratio

تلفیق نقشه عامل‌های موثر با نقشه پراکنش لغزش‌ها

پس از رقومی کردن و کلاسه‌بندی نقشه‌های عامل‌های، هر یک از این نقشه‌ها با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها در محیط ILWIS تلفیق و مساحت لغزش‌ها در هر واحد کاری محاسبه شد. واحدهای کاری از تلفیق نقشه‌های عامل به دست آمد که هر واحد وزن مخصوص به خود را دارد. در مرحله بعد با بهره‌گیری از مدل‌های مختلف نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش به دست آمد.

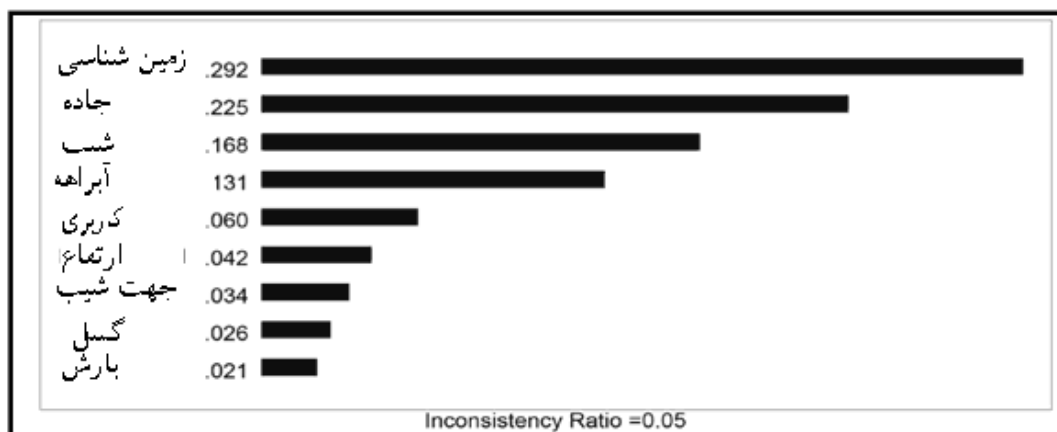
بین عامل‌های موجود گسل و میزان بارش به خاطر وزن کمی که دارند در پهنه‌بندی زمین لغزش بهره‌گیری نشدند.

جدول ۱- میزان ترجیح‌ها و قضاوت کارشناسی

میزان عددی	ترجیح‌ها
۹	به طور کامل مهم‌تر یا مطلوب‌تر
۷	اهمیت خیلی قوی
۵	اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مطلوب‌تر یا کمی مهم‌تر
۱	اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۸، ۶، ۴، ۲	اولویت بین فاصله‌ها

Compare the relative PREFERENCE with respect to: GOAL								
	ROAD	SLOPE	DRAINAGE	LANDUSE	ELVATION	ASPECT	FAULT	RAIN
GEOLOGY	2.0	3.0	3.0	6.0	6.0	6.0	7.0	8.0
ROAD		2.0	3.0	5.0	6.0	6.0	6.0	7.0
SLOPE			3.0	4.0	5.0	4.0	5.0	6.0
DRAINAGE				4.0	5.0	5.0	6.0	6.0
LANDUSE					2.0	3.0	3.0	4.0
ELVATION						2.0	3.0	2.0
ASPECT							2.0	2.0
FAULT								2.0

Row element is _ times more than column element unless enclosed in ()



شکل ۲- اولویت‌بندی عامل‌های موثر در نرم افزار Expert Choice

مدل عامل اطمینان^۱

برای نخستین بار است که این مدل در کشور بهره‌گیری می‌شود و تفاوت اصلی این مدل با دیگر مدل‌های دو متغیره چگونگی تلفیق نقشه‌ها می‌باشد. بدینسان که در آغاز نقشه‌ها کلاسه‌بندی شده، سپس با بهره‌گیری از رابطه (۱) وزن هر واحد کاری به دست می‌آید که برای وضعیت‌های مختلف pp_a و pp_s دو رابطه مختلف وجود دارد. حال برای ترکیب نقشه‌ها یکی X و دیگری Y در نظر گرفته می‌شود، سپس از رابطه (۲) برای ترکیب وزن‌ها بهره‌گیری می‌شود که برای حالت‌های مختلف X و Y سه فرمول دارد.

$$CF = \begin{cases} \frac{pp_a - pp_s}{pp_a \cdot (1 - pp_s)} & \text{If } pp_a \geq pp_s \\ \frac{pp_s - pp_a}{pp_s \cdot (1 - pp_a)} & \text{If } pp_s \geq pp_a \end{cases} \quad (1)$$

$$Z = \begin{cases} x + y - xy, & \text{If } X, Y \geq 0 \\ \frac{x + y}{1 - \min(|x|, |y|)} & \text{If } X, Y \text{ opposite sign} \\ x + y + xy, & \text{If } X, Y < 0 \end{cases} \quad (2)$$

که در آن:

pp_a : نسبت لغزش‌ها در یک واحد کاری به مساحت آن واحد.

pp_s : نسبت لغزش‌های منطقه به مساحت کل منطقه.

نقشه ترکیبی دوباره به عنوان X و نقشه سوم Y در نظر گرفته شده می‌شود. دوباره نقشه X و Y جدید بر پایه رابطه (۲) ترکیب می‌شوند. به این ترتیب تا آخرین نقشه این تلفیق انجام شده و وزن نهایی محاسبه می‌شود که میزان آن بین ۱- تا ۱ است. پس از تلفیق آخرین نقشه عامل ۳۵۵۰ واحد کاری به دست آمد که هر واحد وزن مخصوص به خود را دارد. در مرحله بعد نقشه نهایی به رده‌های مختلف خطر تقسیم شد (Binaghi et al., 1998) و (Lan et al., 2004)

مدل ارزش اطلاعاتی^۲

پس از محاسبه تراکم سطح لغزش‌ها در کلاسه‌های مختلف عوامل، وزن دهی به هر یک از کلاسه‌ها با بهره‌گیری از رابطه ۳ انجام شد:

$$Winf = \ln[(A/B)/(C/D)] \quad (3)$$

که در آن:

$Winf$: وزن هر کلاسه، A : مساحت لغزش در هر کلاسه، B : مساحت هر کلاسه، C : مساحت کل لغزش‌ها و D : مساحت کل منطقه است (Fatemi Aghda et al., 2004) ، (Shadfar et al., 2006 & Feiznia et al., 2003) ، (Yalcin, 2008).

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

در این مدل برای محاسبه وزن کلاسه‌های هر یک از عامل‌ها، از تراکم سطح لغزش‌ها در کلاسه مورد نظر طبق رابطه (۴) بهره‌گیری می‌شود.

$$W = [(A/B)/(C/D)] \quad (4)$$

در مرحله بعد وزن هر عامل که از ماتریس وزن‌دهی به دست آمده است در وزن کلاسه‌های آن عامل ضرب شد و وزن نهایی هر کلاسه و معادله نهایی پهنه‌بندی به دست آمد (رابطه ۵). سپس این معادله در کلیه واحدهای نقشه اعمال شد و نقشه پهنه‌بندی به دست آمد (Ahmadi et al., 2006).

(۵)

$$M = /۲۹۲x_۱ + /۲۲۵x_۲ + /۱۶۸x_۳ + /۱۳۱x_۴ + /۰۶x_۵ + /۰۴۲x_۶ + /۰۳۴x_۷$$

که در آن M : عامل حساسیت و $x_۱$ تا $x_۷$ به ترتیب عامل‌های زمین‌شناسی، فاصله از جاده، درصد شیب، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، ارتفاع و برای شیب می‌باشد.

ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی

با توجه به اینکه برای پهنه‌بندی خطر از زمین‌لغزش‌های منطقه بهره‌گیری شد لذا نمی‌توان برای ارزیابی نقشه پهنه‌بندی، از همان زمین‌لغزش‌ها بهره‌گیری کرد (Remendo et al., 2003). برای حل این مشکل شماری از لغزش‌ها (حدود یک سوم نقاط) در پهنه‌بندی بهره‌گیری نشد و برای ارزیابی مدل بهره‌گیری شد (Komac, 2006). برای مقایسه رده‌های مختلف خطر از تراکم زمین‌لغزش‌ها یا نسبت تراکمی^۱ (Dr) در هر یک از رده‌های خطر بهره‌گیری شد. نسبت تراکم با تقسیم نمودن تراکم زمین‌لغزش در رده خطر ویژه به تراکم میانگین زمین‌لغزش‌ها محاسبه شد. در صورتی که در منطقه‌ای چند نقشه خطر تهیه شده باشد، با بهره‌گیری از میزان جمع کیفی^۲ (Qs) نقشه‌های درست‌تر و با دقت بیشتر را می‌توان شناسایی نمود به طوری که نقشه‌ای که دارای Qs بالاتر باشد بیشینه دقت را نیز خواهد داشت. جمع کیفی (Qs) به صورت رابطه (۶) تعریف می‌شود (Feiznia et al., 2003 و Gee, M.D., 1991).

$$Qs = \sum_{i=1}^n (Dr - 1)^2 * S \quad (6)$$

که در آن:

n: شمار رده‌های خطر

s: مساحت رده خطر به درصد در منطقه است.

نتایج

نقشه پراکنش لغزش‌ها، با نقشه‌های عامل‌های تاثیرگذار بر رخداد زمین‌لغزش تلفیق شده و تراکم سطح لغزش‌ها در هر یک از طبقه‌های عامل‌های تاثیرگذار به دست آمد. سپس وزن هر یک از کلاس‌ها با بهره‌گیری از مدل‌های ارزش اطلاعاتی (W_{IV})، عامل اطمینان (W_{CF}) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (W_{AHP}) به دست آمد. نتایج بدست

آمده در جدول‌های ۲ تا ۸ ارائه شده است. مساحت لغزش‌ها و مساحت طبقه‌ها بر حسب متر مربع است. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شد، محاسبه تراکم سطح لغزش‌ها در کلاس‌های مختلف زمین‌شناسی نشان داد که، سازند شمشک (متشکل از ماسه‌سنگ، سیلتستون، شیل و رس سنگ) و پادگانه‌های آبرفتی بیشترین حساسیت به رخداد زمین‌لغزش را دارند. در حالی که سنگ آهک بالاترین مقاومت به رخداد زمین‌لغزش را در هر سه مدل مورد بررسی نشان می‌دهد.

پس از محاسبه وزن هر کلاس نقشه‌های وزنی ترکیب شده و نقشه پهنه‌بندی با بهره‌گیری از هر مدل به دست آمد که در شکل‌های ۳ تا ۵ نشان داده شده است.

مدل عامل اطمینان پس از ارزیابی، بالاترین میزان جمع کیفی (۱/۳۴۱۹) را به خود اختصاص داد که نشان‌دهنده مناسب بودن این مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه است. مدل‌های AHP و ارزش اطلاعات به ترتیب با جمع کیفی ۰/۱۵۱۷ و ۰/۱۲۱۹ برای ارزیابی خطر منطقه در درجه‌های بعدی قرار گرفتند.

۱- Density ratio

۲- Quality sum

جدول ۲- پراکنش لغزش در سازند های مختلف بر حسب متر مربع

ردیف	واحد زمین شناسی	مساحت لغزش (m ²)	مساحت طبقه ها (m ²)	W _{IV}	W _{CF}	W _{AHP}
۱	A	۲۵۰	۱۴۷۵۲۷۶۱	-۱/۶۵۴	-۰/۸۰۸	۰/۰۰۰۰۰۴۸۹
۲	B	۰	۱۱۲۸۸۴۹۷	-۷/۰۱	-۰/۹۹۹	۰/۰۰۰۰۰۰۰۲
۳	C	۴۷۹۰	۱۸۶۲۹۸۴۵	۱/۰۶۵	۰/۶۵۵	۰/۰۰۰۰۰۷۴۳
۴	D	۲۰۵	۶۵۰۰۶۱۰	-۱/۰۳۳	۰/۶۴۴	۰/۰۰۰۰۰۹۱۱
۵	E	۰	۲۹۴۶۲۸	-۳/۲۶۳	-۰/۹۶۱	۰/۰۰۰۰۰۰۹۸
۶	F	۰	۱۹۷۵۲۹۴	-۵/۱۵۷	-۰/۹۹۴	۰/۰۰۰۰۰۰۱۵
۷	G	۲۸۵	۱۵۳۱۹۰۶۸	-۱/۵۶۱	-۰/۷۹	۰/۰۰۰۰۰۵۳۷
۸	H	۳۱۰۰	۱۱۹۹۰۶۰۳	۱/۰۷۱	۰/۶۵۷	۰/۰۰۰۰۰۷۴۷۲
۹	I	۱۵۰۸	۳۳۶۶۶۷۹۲	-۰/۶۸۲	-۰/۴۹۴	۰/۰۰۰۰۰۱۲۹۴

A: سنگ‌های آذر آواری شامل توف های سبز، توف‌های شیشه‌ای و خاکستر توف، B: آهک‌های مارنی و مطبق، آهک دولومیتی نازک لایه خاکستری و به ندرت قرمز و زرد، C: سنگ‌های آواری به رنگ قهوه‌ای زیتونی از نوع ماسه سنگ و شیلهای سیلتی و رسی، D: سنگ‌های آهکی دانه ریز و متراکم به رنگ روشن، E: سازند ماسه سنگی با ضخاکت کم، F: متشکل از کنگلومرای پلی ژنیک، ماسه سنگ قرمز و مارن ماسه‌ای و سنگ‌های آهکی نولومیت دار، G: سنگ‌های آذرین کواترنر، H: پادگانه‌های آبرفتی، I: واریزه‌ها.

جدول ۳- پراکنش لغزش در طبقه‌های مختلف فاصله از جاده بر حسب متر

ردیف	فاصله از جاده	مساحت لغزش (m ²)	مساحت طبقه‌ها (m ²)	W _{IV}	W _{CF}	W _{AHP}
۱	۰-۳۰۰	۴۵۲۰	۳۳۸۸۲۱۲۸	۰/۴۰۹	۰/۳۳۶	۰/۰۰۰۰۰۲۹۸۸
۲	۳۰۰-۵۰۰	۲۱۶۰	۱۵۹۶۴۰۲۱	۰/۴۲۳	۰/۳۴۵	۰/۰۰۰۰۰۳۰۳۱
۳	>۵۰۰	۳۴۵۸	۶۴۵۷۲۴۸۰	-۰/۵۰۳	-۰/۳۹۷	۰/۰۰۰۰۰۱۱۹۹

جدول ۴- پراکنش لغزش در طبقه‌های مختلف شیب

ردیف	طبقه‌های شیب	مساحت لغزش (m ²)	مساحت طبقه‌ها (m ²)	W _{IV}	W _{CF}	W _{AHP}
۱	۰-۵	۰	۱۶۲۳۲۲۰	-۴/۹۷۸	-۰/۹۹۳	۰/۰۰۰۰۰۰۱
۲	۵-۱۵	۱۵۰	۶۸۷۰۱۷۲	-۱/۳۹۳	-۰/۷۵۱	۰/۰۰۰۰۰۰۳۶۷
۳	۱۵-۳۰	۱۸۵۵	۱۳۹۳۰۸۶۵	۰/۴۱۴	۰/۳۳۹	۰/۰۰۰۰۰۰۲۲۴
۴	۳۰-۵۰	۵۱۳۰	۲۷۶۴۵۶۴۵	۰/۷۴۲	۰/۵۲۴	۰/۰۰۰۰۰۰۳۱
۵	۵۰-۷۰	۱۳۷۸	۳۰۳۵۶۰۵۱	-۰/۶۵۸	-۰/۴۸۲	۰/۰۰۰۰۰۰۷۷
۶	>۷۰	۱۶۲۵	۳۳۹۸۰۵۰۴	-۰/۶۱۴	-۰/۴۵۹	۰/۰۰۰۰۰۰۷

جدول ۵- پراکنش لغزش در طبقه‌های مختلف فاصله از آبراهه

ردیف	فاصله از آبراهه	مساحت لغزش (m ²)	مساحت طبقه‌ها (m ²)	W _{IV}	W _{CF}	W _{AHP}
۱	۰-۲۰۰	۵۴۰۰	۴۶۸۹۶۳۴۲	۰/۲۶۲	۰/۲۳۰	۰/۰۰۰۰۱۵
۲	۲۰۰-۴۰۰	۲۸۰۳	۲۹۰۸۸۰۰۸	۰/۰۸۳	۰/۰۸	۰/۰۰۰۰۱۳۶
۳	>۴۰۰	۱۹۳۵	۳۸۴۳۴۲۷۹	-۰/۵۶۵	-۰/۴۳۱	۰/۰۰۰۰۰۶۵

جدول ۶- پراکنش لغزش در طبقه‌های مختلف کاربری

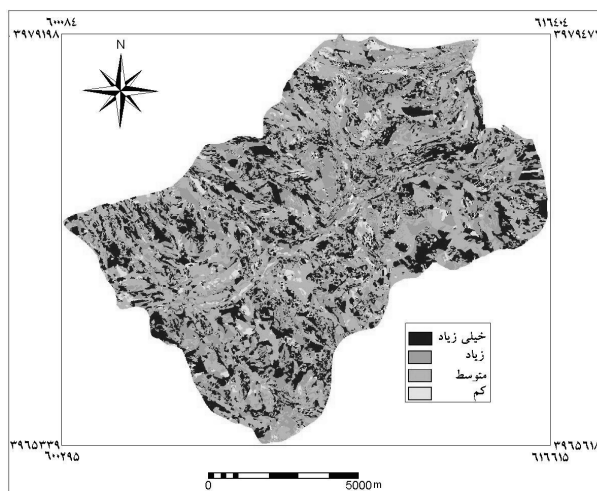
ردیف	کاربری	مساحت لغزش (m ²)	مساحت طبقات (m ²)	W _{IV}	W _{CF}	W _{AHP}
۱	مرتع خوب	۲۶۴۰	۲۴۹۹۳۵۲۴	۰/۱۷۵	۰/۱۶۱	۰/۰۰۰۰۰۶۲
۲	مرتع متوسط	۳۸۵۳	۷۳۳۷۶۲۴۴	-۰/۵۲۳	-۰/۴۰۷	۰/۰۰۰۰۰۳
۳	باغ- کشاوری	۲۲۳۵	۱۵۳۷۲۰۵۲	۰/۴۹۵	۰/۳۹۰	۰/۰۰۰۰۰۸۵
۴	مسکونی	۱۴۱۰	۳۳۷۴۵۳	۰/۸۵۳	۰/۹۷۸	۰/۰۰۰۰۲۴۶۵

جدول ۷- پراکنش لغزش در طبقه‌های مختلف ارتفاع بر حسب متر

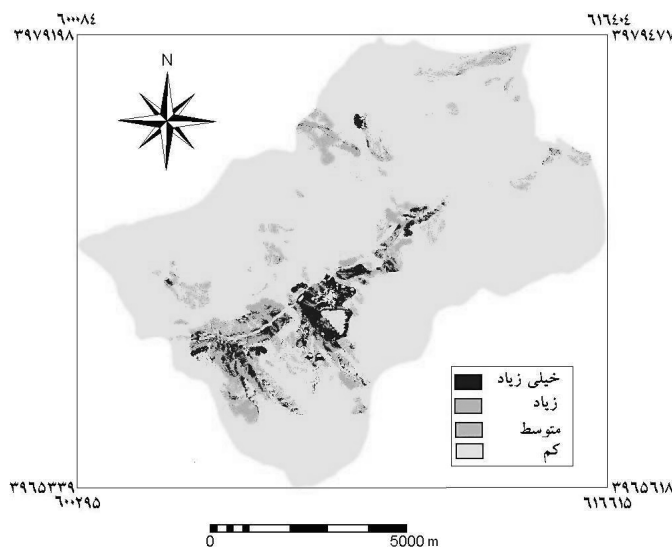
ردیف	طبقه‌های ارتفاع	مساحت لغزش (m ²)	مساحت طبقات (m ²)	W _{IV}	W _{CF}	W _{AHP}
۱	۱۲۰۰-۱۵۰۰	۰	۲۸۰۸۷۴۷	-۵/۵۰۵	-۰/۹۹۵	۰/۰۰۰۰۰۰۲
۲	۱۵۰۰-۱۸۰۰	۲۸۳۰	۱۵۶۷۲۵۹۰	۰/۷۱۱	۰/۵۰۹	۰/۰۰۰۰۰۹۲
۳	۱۸۰۰-۲۱۰۰	۴۲۸۵	۳۰۲۷۳۷۶۷	۰/۴۶۸	۰/۳۷۴	۰/۰۰۰۰۰۷۲
۴	۲۱۰۰-۲۴۰۰	۲۲۰۰	۳۰۵۸۴۶۶۷	-۰/۲۰۸	-۰/۱۸۸	۰/۰۰۰۰۰۳۶
۵	۲۴۰۰-۲۷۰۰	۷۸۵	۲۰۸۹۲۲۸۱	-۰/۸۵۷	-۰/۵۷۶	۰/۰۰۰۰۰۱۹
۶	۲۷۰۰-۳۰۰۰	۳۸	۱۲۵۵۵۲۱۰	-۳/۳۷۵	-۰/۹۶۵	۰/۰۰۰۰۰۱۵
۷	>۳۰۰۰	۰	۱۶۳۱۳۶۶	-۴/۹۷۸	-۰/۹۹۳	۰/۰۰۰۰۰۰۳

جدول ۸- پراکنش لغزش در طبقه‌های مختلف برای شیب

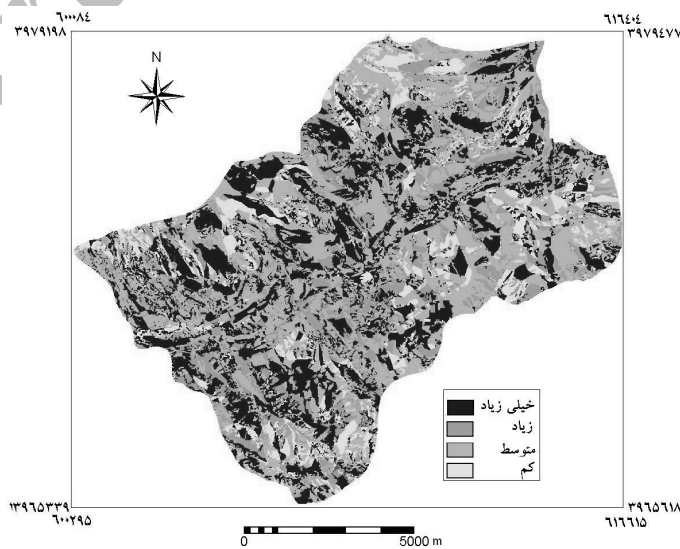
ردیف	برای شیب	مساحت لغزش (m ²)	مساحت طبقه‌ها (m ²)	W _{IV}	W _{CF}	W _{AHP}
۱	N	۲۶۹۰	۳۲۶۹۱۹۸۱	-۰/۰۷۸	-۰/۰۷۵	۰/۰۰۰۰۰۲۷
۲	E	۱۶۹۰	۳۰۲۱۸۲۱۵	-۰/۴۶۵	-۰/۳۷۲	۰/۰۰۰۰۰۱۸۳
۳	S	۲۵۷۵	۲۹۵۸۲۹۸۷	-۰/۰۲۳	-۰/۰۲۳	۰/۰۰۰۰۰۳۸۶
۴	W	۳۱۸۰	۲۰۳۲۳۶۲۸	۰/۵۵۸	۰/۴۲۸	۰/۰۰۰۰۰۵۱۱
۵	F	۰	۱۶۲۳۲۲۰	-۴/۹۷۸	-۰/۹۹۳	۰/۰۰۰۰۰۰۱



شکل ۳- نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با بهره‌گیری از مدل ارزش اطلاعات



شکل ۴- نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با بهره‌گیری از مدل عامل اطمینان



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با بهره‌گیری از مدل AHP

بحث و نتیجه‌گیری

محاسبه تراکم سطح لغزش‌ها در کلاسه‌های مختلف هر یک از عامل‌ها نشان داد که، سازند شمشک (متشکل از ماسه‌سنگ، سیلتستون، شیل و رس سنگ) و پادگانه‌های آبرفتی بیشترین حساسیت به رخداد زمین‌لغزش را دارند. این نتایج با بررسی‌های (Naji et al., 2007) و (Yamagishi et al., 2005) و (Terhorst و Neuhauser, 2006) همخوانی دارد. علت اصلی حساس بودن سازند شمشک به رخداد زمین‌لغزش به دلیل ماهیت سنگ‌های تشکیل دهنده این سازند است که بسیار حساس بوده و با جذب آب حالت ارتجاعی یافته و باعث سر خوردن لایه‌های بالایی به صورت پدیده زمین‌لغزش می‌شود. در منطقه مورد بررسی بیشترین میزان لغزش در کلاسه‌های شیب ۳۰-۱۵ و ۵۰-۳۰ درصد رخ داده است. در شیب‌های کم به طور معمول نیروهای مقاوم مانند اصطکاک خاک و دیگر مواد دامنه‌ای بیشتر از نیروهای محرک مانند نیروی ثقل است. در شیب‌های خیلی زیاد نیز خاک در حدی تجمع نمی‌یابد که منجر به رخداد زمین‌لغزش شود، در نتیجه در شیب‌های متوسط بیشترین میزان زمین‌لغزش دیده شده است که با نتایج (Ahmadi et al., 2006) و (Feiznia et al., 2005) و (Chau و Chan, 2005) و (Dymond et al., 2006) و (Terhorst و Neuhauser, 2006) همخوانی دارد. در منطقه مورد بررسی بیشترین میزان لغزش در فاصله ۵۰۰ متری از جاده و ۴۰۰ متری از آبراهه‌ها دیده شد. جاده‌ها وضعیت طبیعی و به عبارت دیگر شیب تعادل منطقه را بهم زده و بریدگی‌های عمودی به وجود می‌آورند و بر بخش پایین جاده فشار اضافی وارد می‌کنند و باعث افزایش زمین‌لغزش در نزدیکی جاده‌ها می‌شوند. آبراهه‌ها نیز بر اثر فرسایش رودخانه‌ای و سایش دیواره کنار رودخانه باعث به هم خوردن تعادل شیب و در نتیجه ناپایداری دامنه‌های مشرف به رودخانه می‌شود. (Fatemi Aghda et al., 2006) و (Lee, 2007) و (Yalcin, 2008) نیز به نتایج همانندی در این زمینه رسیدند. بررسی ارتباط کاربری اراضی و زمین‌لغزش نشان داد که بیشتر لغزش‌های منطقه در کاربری مسکونی و مخلوط باغ-کشاورزی رخ داده

است که با نتایج پژوهش‌های (Shadfar et al., 2006) و (Ercanoglu و Gokceoglu, 2004) همخوانی دارد. بررسی طبقه‌های ارتفاع نشان داد که طبقه‌های ۱۸۰۰-۱۵۰۰ و ۲۱۰۰-۱۸۰۰ متر بیشترین حساسیت را نسبت به زمین‌لغزش دارند. همچنین شیب‌های غربی و شمالی به ترتیب دارای بیشترین میزان زمین‌لغزش می‌باشند. در منطقه مورد بررسی برای بادهای باران‌آور غربی تا شمال غربی است که باعث می‌شود تا بیشترین رطوبت در برای غربی دامنه‌ها دریافت شود. به این ترتیب، حضور رطوبت افزایش پدیده خاکزایی و ضخامت خاک و در نتیجه افزایش زمین‌لغزش را در این برای‌ها به دنبال دارد. اولویت‌بندی عامل‌ها با بهره‌گیری از AHP نشان داد که ویژگی‌های زمین‌شناسی و جاده بیشترین تاثیر را بر رخداد زمین‌لغزش دارند. به خاطر وجود سازندهای حساس به فرسایش مانند سازندهای رسی، مارن و پادگانه‌های آبرفتی رخداد زمین‌لغزش به شدت به ویژگی‌های زمین‌شناسی وابسته است و در بسیاری از بخش‌های منطقه تاثیر عامل‌های دیگر را پوشش داده‌اند. (Ahmadi et al., 2006) و (Yamagishi et al., 2005) و (Terhorst و Neuhauser, 2006) و (Davis و Ohlmacher, 2003) نیز به نتایج همانندی مبنی بر اهمیت زمین‌شناسی بر رخداد زمین‌لغزش دست یافتند. همچنین فاصله از جاده نیز پس از زمین‌شناسی به عنوان عاملی مهم شناخته شد. عرصه مورد بررسی این پژوهش در حاشیه جاده اصلی تهران-آمل قرار دارد. راه‌های اصلی و فرعی ارتباطی تهران-آمل در بسیاری از وقت‌ها، دارای تردد سنگین بوده و فشار زیادی را به سازندهای زیرین جاده وارد می‌کند که این امر منجر به افزایش تاثیر جاده بر رخداد لغزش می‌شود. مدل عامل اطمینان پس از ارزیابی، بالاترین میزان جمع کیفی (۱/۳۴۱۹) را به خود اختصاص داد که نشان‌دهنده مناسب بودن این مدل برای پهنه بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه است که با نتایج (Binaghi et al., 1998) و (Lan et al., 2004) همخوانی دارد. مدل AHP با جمع کیفی ۰/۱۵۱۷ در درجه بعدی قرار می‌گیرد. پژوهشگران دیگری نیز به نتایج همانندی مبنی بر مناسب بودن این مدل برای تهیه

مدل AHP به خاطر اینکه اهمیت عامل‌ها را یکسان در نظر نمی‌گیرد و آنها را اولویت‌بندی می‌کند نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد (Komac, 2006 و Ayalew & Yamagishi, 2005). در این پژوهش نیز این مدل نتایج قابل قبولی ارائه داده است. برای افزایش دقت مدل می‌توان در وزن‌دهی به عامل‌ها یا کلاسه‌های هر یک از عامل‌ها تجدید نظر کرد و دقت مدل را افزایش داد. با توجه به اینکه این مدل بر پایه نظر کارشناسی است و ضریب ناسازگاری مدل نیز کمتر از حد مجاز است (۰/۰۵) برای افزایش دقت می‌توان سامانه وزن دهی به کلاسه‌های عامل‌ها را تغییر داد به این ترتیب که در آغاز کلاسه‌های هر یک از عامل‌ها را با بهره‌گیری از مدل تراکم سطح وزن‌دهی کرده، سپس وزن هر عامل را که با AHP به دست آمده در وزن هر کلاسه ضرب و معادله به دست آمده را در نقشه ضرب کرده و نقشه خطر زمین لغزش تهیه شد. همچنین بیشتر بودن دقت این مدل نسبت به مدل تراکم سطح بیانگر مناسب بودن روش اولویت‌بندی در منطقه است.

نقشه خطر زمین لغزش دست یافتند Karam (2002)، Yamagishi و Ayalew (2003)، Klarestaghi (2005) و Komac (2006). همچنین جمع کیفی مدل ارزش اطلاعاتی ۰/۱۲۱۹ به دست آمد. بالا بودن دقت AHP نسبت به مدل ارزش اطلاعاتی نشان می‌دهد اولویت‌بندی عامل‌های موثر بر زمین‌لغزش دقت نقشه پهنه‌بندی را بالا برده که بیانگر مناسب بودن این روش برای تعیین عامل‌های موثر بر زمین‌لغزش است.

مدل‌های AHP و ارزش اطلاعات به ترتیب با جمع کیفی ۰/۱۵۱۷ و ۰/۱۲۱۹ برای ارزیابی خطر منطقه در درجه‌های بعدی قرار گرفتند. در مجموع مقایسه لغزش‌های کنار گذاشته شده برای ارزیابی با نقشه خطر، بیانگر مناسب بودن این مدل‌ها برای تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش در منطقه است. این مدل‌ها به خاطر تحلیل آسان‌تر و بهره‌گیری از عامل‌های بیشتر نسبت به مدل‌های چند متغیره به عنوان مدل‌های مناسب برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش معرفی شدند.

منابع

- 1-Ahmadi, H., Mohammadchan, S., 2003. Investigation of some parameters of mass movements, Case study: Taleghn watershed, Iranian J. natural Resources, 55, 455-436.
- 2- Ahmadi, H., Mohammadchan, S., Feiznia S., ghodosi, J., 2006. The made area model mass movements hazard using quality characteristics and AHP systems, Case study: Taleghn watershed, Iranian J. natural Resources, 58, 3-14.
- 3- Ayalew, L., Yamagishi, H., 2005. The Application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, central Japan. Geomorphology, 65, 15-31.
- 4- 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.
- 5- Chau, K. T., Chan, J. E., 2005. Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression: Case of Hong Kong Island. Landslides, 2, 280-290.
- 6- Dymond, J. R., Ausseeil, A. G., Shepherd J. D., Buettner, L., 2006. Validation of a Region-Wide Model of Landslide Susceptibility in the Manawatu- Wanganui Region of New Zealand. Geomorphology, 74, 70-79.
- 7- Ercanoglu, M., Gokceoglu, C., 2004. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey), Engineering Geology, 75, 229-250.

- 8- Fatemi Aghda, M., Ghiomian J., Eshgheli Farahani, A., 2004. Evaluation efficiency statistics methods in determined Landslide hazard potential. *J. Geosciences*, 11(47-48), 28-47.
- 9- Fatemi Aghda, M., Ghiomian J., Eshgheli Farahani, A., 2006. Investigation Landslide hazard using Fuzzy logic (Case study: Roudbar area), *J. science Tehran university*, 31(1), 43-64.
- 10- Feiznia, S., Ahmadi H., Hassanzadeh Nafoti, M., 2002. Landslide hazard zoning Shalmanroud watershed in Golestan province, *Iranian J. natural Resources*, 54 (3), 207-219.
- 11- Feiznia, S., Klarestaghi, A., Ahmadi, H., Safaei, M., 2003. Investigation effective parameters in Landslide occurs and Landslide hazard zoning (Case study: Tejen dam watershed), *Iranian J. natural Resources*, 57 (1), 3-20.
- 12- Gee, M.D., 1991. Classification of landslide hazard zonation methods and a test of predictive capability, *Landslides*, Bell (ed.), Balkema, Rotterdam. pp. 947- 952.
- 13- Ghodsipour, H., 2006. Discussion about multi criteria decision and AHP, publication Amir Kabir Industry University, 220 pp.
- 14- Karam, A., 2002. The quantity modeling and Landslide hazard zoning in folded of Zagros (Case study: Sorkhon watershed in Charmahal& Bachtari province), Ph.D thesis natural geography, Tarbiat Modares university, 354 pp.
- 15- Klarestaghi, A., 2003. Investigation effective parameters in Landslide occurs and Landslide hazard zoning in Shirinroud of Sari, Ms.C thesis watershed management, natural resources faculty of Tehran university, 141 pp.
- 16- Komac, M. 2006. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in prialpine Slovenia, *Geomorphology*, 74-17-28.
- 17- Lan, H. X., Zhou, C. H., Wang, L. J., Zhang, H. Y., Li, R. H., 2004. Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang Watershed, Yunnan, China. *Engineering Geology* 76, 109-128.
- 18- Lee, S., 2007. Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping, *Environmental Geology*, 52, 615-623.
- 19- Naji, S., 2007. Landslide hazard zoning in Sari-Kiasar road, Ms.C thesis environmental geology, Shahroud Industry University, 86 pp.
- 20- Neuhauser, B., Terhorst, B., 2006. Landslide Susceptibility Assessment Using Weights-of-Evidence Applied to a Study Area at the Jurassic Escarpment (SW-Germany), *Geomorphology*, 1-13
- 21- 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.
- 22- Remendo, J., Gonzales, A., Teran, J., Cendrero, A., Fabbri, A., Chung, C., 2003. Validation of landslide susceptibility maps, examples and applications from a case study in northern Spain, *Natural Hazard*, 437-449.
- 23- Shadfar, S., Yamani, M., Namaki, M., 2006. Landslide hazard zoning using information value, area intensity and LNRE models in Chalakrood watershed, *J. water and watershed*, 3, 62-68.
- 24- Shariat Jafari, M., 1997. Landslide (principal and basic of natural slopes stable) Sazeh publication, 218pp.
- 25- 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, 1-12.

Comparison of the Efficiency of Certainty Factor, Information Value and AHP Models in Landslide Hazard Zonation (Case study: Part of Haraz Watershed)

M. Mohammadi¹, H. R. Moradi^{*2}, S. Feiznia³ and H. R. Pourghasemi¹

¹ M.Sc. Graduate, College of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modarres University, Noor, I.R. Iran

² Assistant Professor, College of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modarres University, Noor, I.R. Iran

³ Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

(Received: 11 March 2008, Accepted: 22 September 2009)

Abstract

Haraz watershed located in the north of Iran has high landslide capacity. However, the available information on landslides in this watershed is still limited. The purpose of this research is landslide hazard mapping using certainty factor, information value and AHP models in GIS environment in a part of Haraz watershed. For landslide susceptibility mapping, at first, landslides distribution map and effective factors map were supplied by field study, and then prioritization of effective factors was carried out using AHP. The investigation indicates that lithology, distance from road, slope, distance from drainage network, land use, elevation and aspect are the main landslide controlling factors in the area. In the next stage, landslide hazard map was provided using these factors as well as certainty factor, AHP and information value models. Evaluation of these models showed that certainty factor, AHP and information value models have the highest accuracy for landslide hazard mapping, respectively.

Key words: Landslide, Hazard zoning, Information value, Certainty factor, AHP, Haraz

*Corresponding author: Tel: +98 122 6253101 , Fax: +98 122 6253499 , E-mail: morady5hr@yahoo.com