



سال نهم، شماره‌ی ۲۷
پاییز ۱۳۸۸، صفحات ۵۵-۷۸

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
مجله علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی

ابوالفضل بهنیافر^۱

هادی قنبرزاده^۲

محمد رضا منصوری دانشور^۳

پنهانه بندی خطر زمین لغزش و ناپایداری دامنه‌ای به روش‌های AHP و احتمال «مطالعه موردنی: حوضه آبریز رودخانه کنگ، دامنه‌های شمالی بیانلود»

تاریخ دریافت مقاله: ۸۷/۰۳/۰۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۷/۰۹/۰۶

چکیده

زمین لغزش‌ها^۱ و دیگر انواع حرکات توده‌ای^۲ دامنه‌ی یکی از مخاطرات محیطی عمده محسوب می‌گردند که غالباً در عرصه‌های کوهستانی کشور، سکونتگاه‌های شهری و روستایی و دیگر سازه‌های عمرانی را مورد تهدید قرار داده‌اند. سازوکارهای وقوع لغزش‌ها و مکانیزم‌های اصلی آنها علاوه بر اثر فعالیت‌های درونی و بیرونی (اقلیم) متاثر از فعالیت‌های انسانی (عوامل

۱- استادیار ژئومورفولوژی گروه جغرافیای دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد.

E-mail: a.behniafar@yahoo.com

۲- استادیار جغرافیای طبیعی گروه جغرافیای دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد.

E-mail: h.ganbarzadeh@yahoo.com

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی در برنامه ریزی محیطی)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد.

E-mail: m.mansori@yahoo.com

4- Landslides

5- Mass Movement

آنتروپوزنیک^۱) نیز می‌باشد. این عامل اخیر همراه با دیگر متغیرهای محیطی از جمله سازند زمین‌شناسی، توپوگرافی و شبیب در تحریک دامنه‌های شمالی زون بینالود نقش مهمی داشته و سالانه خسارات مالی و جانی قابل توجهی را در این منطقه کوهستانی به بار می‌آورد. در این مقاله سعی گردیده که پهنه بندی خطر وقوع لغزش و دیگر حرکات توده‌ای مشابه آن در حوضه آبریز کنگ به عنوان یکی از حوضه‌های کوهستانی متراکم به روش‌های تحلیل سلسله مراتب زوجی (AHP)^۲ و احتمال^۳، مورد سنجش و مقایسه تطبیقی قرار گیرد. نتایج این پژوهش به صورت نقشه‌های نواحی مستعد لغزش ارایه گردیده است که می‌تواند برای برنامه ریزان محلی و منطقه‌ای قابل استفاده باشد. نتیجه نهایی آشکار نمود که روش AHP در مقایسه با روش احتمال انطباق پذیری مطلوب‌تری در تطابق با یافته‌های میدانی و برداشت‌های زمین لغزش‌ها با GPS از حوضه دارد. در بین معیارهای تاثیرگذار بر وقوع زمین لغزش‌ها و دیگر حرکات توده‌ای دامنه‌ای مشابه، متغیرهای سازند زمین‌شناسی، کاربری زمین، توپوگرافی و شبیب و تراکم زهکشی، بیشترین وزن را دارا بوده‌اند. در مجموع از مساحت کل حوضه ۲۱/۹ درصد آن در پهنه خطر لغزش بسیار زیاد (شدید) و ۳۱/۳ درصد آن در پهنه خطر زمین لغزش زیاد واقع شده که با توجه به واقع شدن در قطب گردشگری منطقه غرب مشهد، خطراتی جدی را برای ساکنان به دنبال دارد.

کلید واژه‌ها: خطر زمین لغزش، ناپایداری دامنه‌ای، سلسله مراتب زوجی AHP، مدل احتمال، کنگ، بینالود شمالی.

مقدمه

پهنه بندی خطر زمین لغزش و دیگر حرکات توده‌ای دامنه‌ای که خود جزو مخاطرات ژئومورفیک محسوب می‌گردند، از طریق ابزارهایی چون AHP و احتمال یا آنالالگان^۴

- 1- Anthropogenic Factors
- 2- Analytic Hierarchy Process (AHP)
- 3- Probability
- 4- Anbalagan

می تواند در شناسایی و تعیین حدود مناطق پرخطر و یا نواحی با پتانسیل حرکات توده‌ای برای برنامه ریزان محلی مفید باشد. دامنه‌های شمالی زون بینالود به دلیل شرایط مساعد لیتوژئیکی و بسترهاست مستعد ژئومورفوژئیکی از لحاظ وقوع حرکات توده‌ای دامنه‌ای دارای پتانسیل نسبتاً بالایی هستند. معمولاً میزان ریزش‌های جوی بویژه بارش‌های ۲۴ ساعته و ۴۸ ساعته این منطقه کوهستانی به دو برابر مقدار ریزش‌های جوی در مقایسه با دشت مشهد می‌رسد. (بهنیافر و قنبرزاده، ۱۳۸۶، ص ۴۹) پنهانه بندی ناپایداری دامنه‌ها معمولاً بر اساس خطر وقوع قطعی آن یا میزان خطر آفرینی (بالفعل) و یا احتمال وقوع خطر (بالقوه) و نحوه آسیب پذیری صورت می‌گیرد (رجایی، ۱۳۸۲، ص ۲۴۹). با استفاده از مدل‌ها و تکنیک‌های جدید از جمله AHP، احتمال، مدل GUEST^۱ و یا مدل PSIAC^۲ می‌توان ارزیابی بسیار دقیق تری از خطر وقوع لغزش انجام داد، بویژه در روش سلسه مراتب زوجی یا AHP معیارهای ژئومورفوژئیکی موثر در ناپایداری دامنه‌ها توسط یک ماتریس زوجی امتیازبندی و وزن گذاری می‌شوند. هرچند شناخت و تشخیص انواع حرکات توده‌ای به سال‌های ۱۸۶ میلادی در چین بازمی‌گردد (مقیمی و همکاران، ۱۳۸۷، ص ۵۳) ولی درباره فرایندها و نحوه حرکات توده‌ای مواد در دامنه‌ها، طبقه بندی‌های متعددی صورت گرفته است. شاید کارسون و کربای^۳ (۱۹۷۲) بهترین طبقه بندی را از حرکات توده‌ای مواد روی دامنه‌ها ارائه کرده باشند که حداقل در مورد دامنه‌های شمالی بینالود نیز این طبقه بندی صادق می‌باشد. بر اساس این طبقه بندی حرکات توده‌ای روی دامنه در سه طبقه لغزشی، جریانی و خزشی صورت می‌گیرد (چورلی و همکاران، ۱۳۷۹، ص ۳۶۴). در لغزش کامل سرعت حرکت مواد واریزهای در تمام پنهانه لغزشی از بالا به پایین یکسان و از نوع انتقالی است. در جریان‌ها، سرعت حرکت مواد در بخش بالایی توده جریانی بیشتر از بخش زیرین و از نوع انتقالی است ولی در خرش، حرکت به صورت آرام و رو به پایین انجام می‌گیرد. در طبقه بندی وارنس^۴ (۱۹۸۷) مبنای تقسیم بندی انواع

1- Griffith University Erosion System Template

2- Pacific Southwest Inter - Agency Committee

3- Carson and Kirkby

4- Varnes

گوناگون حرکت دامنه بر اساس نوع حرکت مانند ریزش‌ها، واژگونی‌ها، لغزش‌ها، انبساط‌های جانبی، جریان‌ها و لغزش‌های مرکب شناسایی شده‌اند (کوک و دورکمپ، ۱۳۷۷، ص ۲۰۵). در واقع در همه طبقه بندی‌ها یکی از انواع حرکات توده‌ای مواد روی دامنه لغزش‌ها یا زمین لغزش‌ها می‌باشد. زمین لغزش‌ها معمولاً در دامنه‌های شمالی بینالود بر اثر تلفیقی از فرایندهای مختلف (مانند توپوگرافی، سازند زمین شناسی، شبیب، کاربری زمین، بارش ۲۴ ساعته و غیره) به وقوع می‌پیوندد. بدین ترتیب بررسی هر یک از این معیارها در متند AHP مورد بررسی قرار گرفته و به عنوان متغیرهای تاثیرگذار در ناپایداری دامنه و یا حرکات توده ای دامنه قلمداد می‌شوند. در این تحقیق، حوضه آبریز کنگ به عنوان یک ناحیه کوهستانی بسیار متراکم که دارای دیرینه لغزش‌های زیادی نیز می‌باشد، از طریق مدل AHP پهنه بندی شده قرار گرفته است تا پهنه‌های پرخطر و شدیداً پرخطر آن تعیین گردیده و در برنامه ریزی‌های محلی و آمایش ناحیه‌ای مورد نظر قرار گیرند. تاکنون چندین پژوهش محدود به روش آنالاگان جهت پهنه بندی خطر لغزش در برخی از حوضه‌های بینالود جنوبی و شمالی صورت گرفته است (از جمله حوضه‌های کوهستانی بوژان، خروین و درود نیشابور) ولی روش آنالاگان یک مدل تجربی بوده و در مورد لغزش‌های ناحیه کوهستانی هیمالیا در کشور هند صورت گرفته و در این روش متغیرهای لیتوژوژی، ساختار زمین شناسی و شبیب و کاربری زمین مهم ترند و با ۲ امتیاز بالاترین نقش را دارا می‌باشند. بنابراین در مناطق کوهستانی کشور ما از خطاهایی برخوردار است ولی در مدل‌های AHP و احتمال هر یک از متغیرهای اثرگذار در حرکات توده‌ای دامنه، امتیازبندی و با مدل‌های ریاضی و آماری اولویت بندی می‌شوند. پژوهشگران در موضوع شناسایی و پهنه بندی لغزش از فیلترهای خطی، میانگین و واریانس، هندسی، فازی و ژئومورفولوژیک استفاده کرده‌اند (شیرانی و همکاران، ۱۳۸۴). ناگارجان^۱ و همکاران (۲۰۰۰) برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در نواحی حاره‌ای هند با در نظر گرفتن فراوانی لغزش در کلاس عوامل، از روش وزن دهی کارشناسانه برای

1 -Nagarajan

پنهانه بندی خطر زمین لغزش استفاده کرد. تیه ری^۱ و همکاران (۲۰۰۷) نیز برای فعالیتی که در زمینه ارزیابی لغزش در محیط‌های کوهستانی جنوب شرقی فرانسه انجام داده، از تلفیق الگوهای احتمال و GIS برای ارزیابی استفاده کرد. در کارهای لی^۲ و همکاران (۲۰۰۰)، آیالیو^۳ و همکاران (۲۰۰۴) و گوئیناثو^۴ و همکاران (۲۰۰۵) شاهد استفاده گسترده از روش‌های آماری رگرسیونی می‌باشیم (کرمی و همکاران، ۱۳۸۵). در ایران تحقیقات نیک اندیش (۱۳۸۰، ۱۵۲) در وقوع حرکات تودهای حوضه کارون میانی، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و بر اساس تحلیل‌های آماری از سایر پژوهش‌های دیگر از لحاظ وسعت قلمرو و نیز توزیع مکانی مناسب تر بوده است. استفاده از روش‌های AHP و احتمال که در حوضه کوهستانی کنگ در زون بینالود به کار گرفته شد، نیز آشکار ساخت که ضمن تطبیق سازی با برداشت‌های میدانی حرکات تودهای دامنه توسط GPS از حوضه، از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد.

موقعیت و قلمرو تحقیق

حوضه آبریز کنگ با مساحت ۴۰۷۰ هکتار در دامنه‌های شمالی بینالود و در مختصات جغرافیایی ۱۳° تا ۳۶° عرض شمالی و ۵۹° تا ۱۹° طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). از لحاظ تقسیمات سیاسی این حوضه در غرب بخش طرقبه از شهرستان مشهد قرار دارد و دارای دو نقطه سکونتگاهی روستایی (نغندر و کنگ) و شبکه‌ای از سکونتگاه‌های ویلایی در مسیر دره اصلی است. بلند ترین نقطه ارتفاعی حوضه ۳۰۹۰ متر و پایین ترین نقطه ارتفاعی آن در خروجی حوضه ۱۴۹۰ متر می‌باشد که به این ترتیب ارتفاع متوسط این حوضه کوهستانی ۱۶۰۰ متر از سطح دریا است. جمعیت حوضه اعم از نقاط

1 -Thiery

2 -Lee

3 -Ayalew

4 -Guinau

روستایی و مناطق ویلایی مستقر در محل ۳۲۷۱ نفر در سال ۱۳۸۷ بوده است (پختداری طرقه، ۱۳۸۷). اگرچه به دلیل کوهستانی بودن و عرض کم دره کنگ و محدودیت زمین هموار (مطیعی لنگرودی و همکاران، ۱۳۸۵، ص ۳۵) احداث سکونتگاه‌های جدید و ویلایی با مشکلات عدیدهای روبه روست، ولی به دلیل جاذبه‌های گردشگری حوضه و واقع شدن منطقه در قطب گردشگری کشور طی دو دهه اخیر، اقدامات وسیعی در زمینه احداث سازه‌های عمرانی و ویلاسازی و رستوران سازی، این منطقه را مستعد حرکات توده‌ای ساخته است.

مواد و روش‌ها

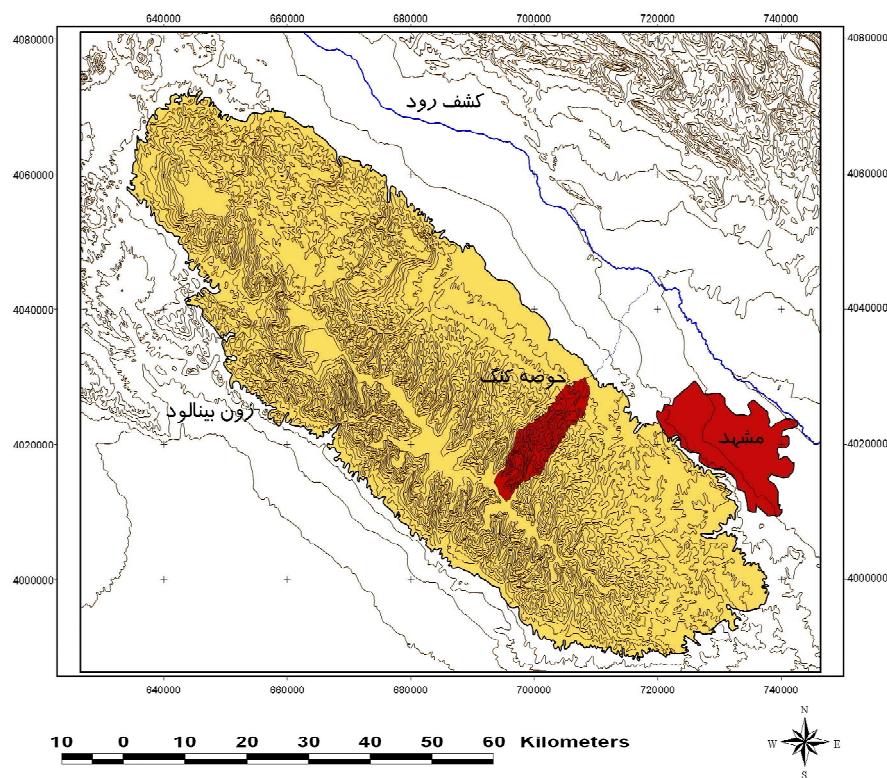
در پژوهش حاضر برای پنهان بندی لغزش از دو تکنیک AHP و احتمال در انطباق با یافته‌های میدانی استفاده شده است. به منظور برداشت زمین لغزش‌های دیرینه و فعل از GPS دستی مدل مازلان استفاده گردیده است. روش کار طبق شکل «۲» به حالت زیر صورت گرفته است:

الف: ابتدا به منظور شناسایی و اولویت بندی معیارهای موثر در وقوع ناپایداری دامنه‌ای، نقشه‌های پایه و نقشه‌های عامل در محیط ArcView-GIS تهیه شدند و تشکیل بانک نقشه‌های محیطی صورت گرفت. با استفاده از این لایه‌های اطلاعاتی در مقیاس‌های ۱/۵۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰ می‌توان به سهولیت معیارهای موثر در وقوع لغزش (مانند سازند زمین شناسی، توپوگرافی، شبیب، کاربری اراضی و...) را سطح بندی و از لحاظ وسعت اولویت گذاری کرد.

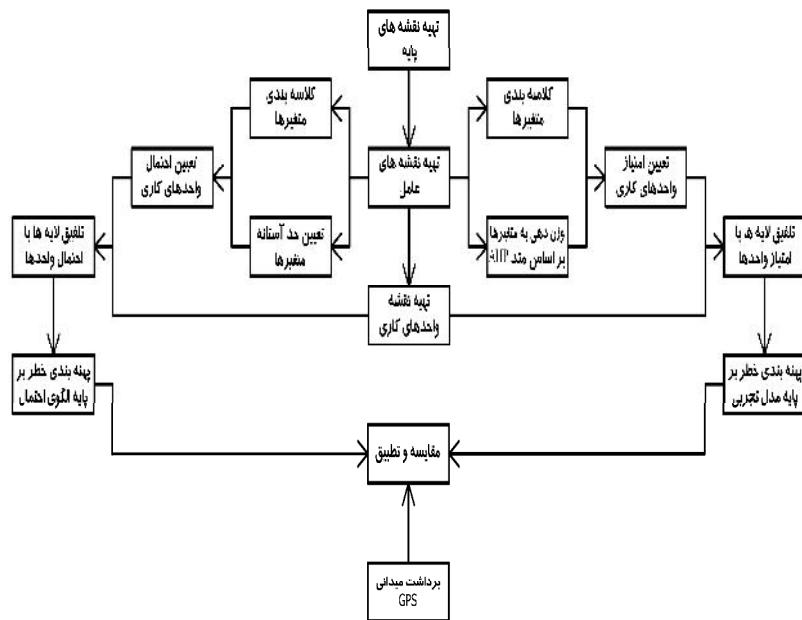
ب: در این مرحله معیارهای موثر در وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای کلاسه بندی گردیده و طبق مدل AHP به صورت یک ماتریس زوجی برای اولویت بندی تفکیک شدند. معیارهای موثر در وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای بویژه لغزش در جدول «۱» آورده شده‌اند. انتخاب این معیارها بر مبنای تاثیر مستقیم یا غیرمستقیم آنها در ایجاد لغزش‌ها و نیز آزمودن آنها در طی عملیات صحراایی در حوضه صورت گرفته است.

ج: تشکیل واحدهای کاری در حوضه کنگ بر مبنای زیرحوضه‌های هیدرولوژیک و بر طبق نقشه پایه ۱/۲۵۰۰۰ توپوگرافی که در نتیجه دقت مطالعات را در سطح مطلوبی حفظ نمود. با بررسی مرزهای واحدهای کاری در انطباق با نقشه‌های محیطی در محیط Autocad و

ArcView، اولویت بندی و وزن گذاری معیارها با دقت بالایی صورت می‌گیرد. در مجموع ۴۷ واحد کاری در حوضه مشخص و تفکیک شد (شکل ۳).



شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز کنگ در دامنه‌های شمالی زون بینالود



شکل ۲: مراحل کار در پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبریز کنگ با مدل‌های AHP و احتمال

د: معیارهای تاثیرگذار در وقوع لغزش و ناپایداری‌ها دامنه‌ای در هر یک از واحدهای کاری وزن گذاری شدند. این وزن بر اساس روابط ریاضی در مدل AHP از مجموع نسبت های دو به دوی معیارها به دست آمد و سپس نسبت استاندارد شده وزن هر معیار و نسبت پایندگی^۱ آن محاسبه شد. نسبت پایندگی ماتریس معیارهای موثر در وقوع حرکات توده‌ای و ناپایداری دامنه از رابطه $CR=CI/RI$ به دست آمد که در آن CI معرف شاخص پایندگی^۲ و مشخص کننده اندازه انحراف معیار از پایندگی است، RI شاخص تصادفی است که از جداول استاندارد استخراج می شود، CR نسبت پایندگی است (مالچفسکی، ۱۳۸۵، ص ۳۱۹-۳۱۸) که مقدار آن

1 -Consistency Ratio
2 -Consistency Index

در ماتریس تحقیق در سطح قابل قبولی بوده است ($CR=0/09$). پس از وزن گذاری متغیرها، طبقه بندی واحدهای کاری از لحاظ خطر وقوع لغزش صورت گرفت و نقشه پنهانه بندی خطر زمین لغزه تهیه شد.

هنر برای تهیه نقشه پنهانه بندی خطر زمین لغزش به روش احتمال، از همان متغیرهای جدول «۱» استفاده شد، ولی بر اساس مدل احتمال، ابتدا تعیین حد آستانه عمل^۱ برای کلاسه بندی معیارهای موثر در وقوع زمین لغزش‌ها تعیین و سپس بر اساس الگوی برنولی جدول تعداد حالات پیروزی و احتمال نهایی برای ۴۷ واحد کاری محاسبه و تعیین شد. در نهایت با طبقه بندی تعداد حالاتی که معیارها در هر واحد کاری از حد آستانه گذر کرده‌اند یا به عبارتی تعداد حالاتی که $[1 - F_x(x) = p^x \cdot q^{1-x}]$ می‌باشد با انجام تغییر متغیر زیر، توزیع حاصل جمعهای به دست آمده (x) برای هر واحد کاری در فرم استاندارد زیر تعریف شد تا احتمال تصادفی (P) (ساداتی، ۱۳۸۲، ص ۶۷) محاسبه شود.

$$z = (x - \mu) / \delta$$

در رابطه فوق (μ) میانگین ارقام حاصل جمع (x) می‌باشد و (δ) انحراف معیار ارقام مذکور است. (z) تغییر متغیر (x) در هر واحد کاری و ($P(z)$) معرف احتمال وقوع خطر لغزش در هر واحد کاری است که از جدول اعداد تصادفی برای توزیع نرمال (ساداتی، ۱۳۸۲، ص ۱۸۰) به صورت امتیازاتی برای هر لایه اطلاعاتی استخراج شده و پس از طبقه بندی و تلفیق لایه‌ها با این امتیازات در واحدهای کاری، نقشه پنهانه بندی خطر لغزش تهیه گردید.

۱ Threshold Saturation -1: یکی از تکنیک‌های بررسی و مطالعه شرایط تعادل و یا گذر از سیستم‌های ژیومورفیکی، بررسی حداکثر عملکرد یا گذر از حد آستانه است (بهنیافر، ۱۳۸۱، ص ۳۸۱).

جدول ۱: متغیرها و معیارهای تاثیرگذار در لغزش و ناپایداری دامنه‌ای برای روش‌های AHP و احتمال در حوضه آبریز کنگ (بینالود شمالی)

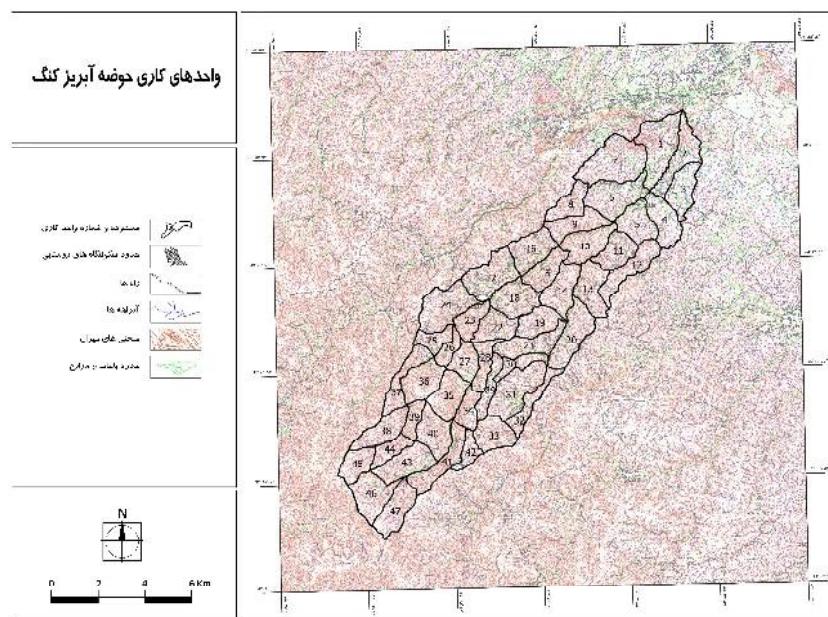
ردیف	نام متغیر	علامت	نوع سنجش
۱	تراکم زهکشی	ΣL	تراکم (کیلومتر در کیلومتر مربع از مساحت حوضه)
۲	پوشش گیاهی	VD	تراکم پوشش گیاهی در واحد سطح
۳	میزان شیب	S	به درصد
۴	سازند زمین شناسی	Fr	مقاومت در برابر فرسایش و نوع لیتولوژی
۵	خاک و فرم زمین	SG	ژئومورفولوژی و بافت خاک
۶	گسل	F	نزدیکی و دوری از گسل فعال
۷	توپوگرافی	T	اختلاف ارتفاع
۸	کاربری ارضی	Lu	نوع کاربری
۹	جهت شیب	Gs	جهات جغرافیایی شیب دامنه

تشکیل واحدهای کاری و وزن دهی متغیرها براساس روش AHP

تفکیک واحدهای کاری یا واحدهای ارضی^۱ در سطح حوضه کنگ بر اساس دو معیار اصلی زیرواحدهای هیدرولوژیک و توپوگرافی صورت گرفته است. ابتدا بر اساس نقشه ۱/۲۵۰۰۰ توپوگرافی حوضه که جزیات شبکه‌های زهکشی در آن مشخص بود، واحدهای هیدرولوژیک مشخص و با پهنگهای بین خط الراس‌ها و خط القعرها مطابقت داده شدند. به علاوه با تصاویر هوایی حوضه نیز همپوشانی داده شدند تا خطاهای احتمالی حذف گردند. نتیجه آنکه از

^۱- واحدهای ارضی (Land units) جزو کوچک تری از سیستم‌های ارضی (Land systems) می‌باشند که بر اساس تیپ‌های فیزیوگرافیک هر منطقه انتخاب می‌شوند و از نظر ژیومورفولوژی همسان تلقی می‌شوند (مخدم، ۱۳۸۵، ص ۵۹). در تعریفی دیگر واحد ارضی شامل بخشی از اراضی است که دارای خصوصیات و ویژگی‌های نسبتاً یکسانی بوده و به عنوان واحدهای مدیریتی و تضمیم‌گیری شناخته شوند (ایوبی و جلالیان، ۱۳۸۵، ص ۱۱).

خروجی حوضه در محل روستای نگندر تا بالا دست آن ۴۷ واحد کاری برای پهنه بندی لغزش تفکیک و مشخص شد (شکل ۳).



شکل ۳: نقشه واحدهای کاری حوضه کنگ بر مبنای معیار زیرواحدهای هیدرولوژیک و توپوگرافی

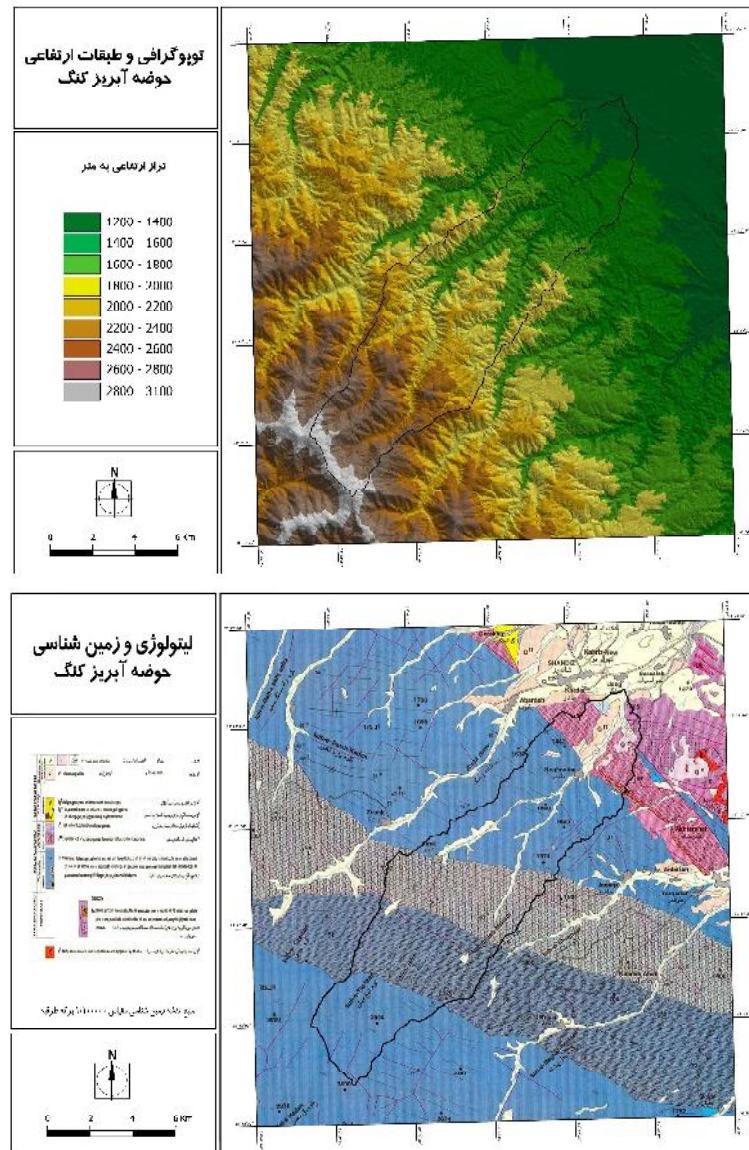
بررسی متغیرهای لغزش‌های حوضه و نیز اولویت بندی آنها بر اساس مدل آنالیز سلسله مراتب زوجی AHP و اطلاعات جدول «۲» بر مبنای استخراج اطلاعات محیطی از نقشه‌های مبنا و عامل و عملیات صحرایی، حاصل گردیده است. در این روش مقایسه‌های دو به دوی متغیرها به عنوان ورودی و وزن‌های نسبی به عنوان خروجی تولید می‌شوند. هر عامل یا متغیر موثر در موقع ناپایداری دامنه‌ها پس از مقایسه دو به دو در ماتریس و نیز مطابقت با یافته‌های صحرایی در هر واحد کاری در قالب مدل AHP بررسی گردید. مثلاً از نظر سازندگان زمین شناسی مشخص است دامنه‌هایی که مواد تشکیل دهنده آنها از سنگ و مواد سخت یا از خاک

ضخیم لایه تشکیل شده باشد، پتانسیل لغزش دارند (دریو، ۱۳۸۲، ص ۲۵). همچنین اگر سازنده‌ای از طبقات سخت و سست تشکیل شده باشند، نفوذ آب در لایه سست حجم عظیمی از سنگ‌های سخت و یکپارچه فوکانی را جایه جا می‌کند (محمودی، ۱۳۸۶، ص ۳۸).

جدول ۲: کلاسه‌بندی متغیرها بر مبنای نقشه‌های پایه و عامل و امتیازات و وزن گذاری نهایی آنها در AHP

امتیاز	پارامتر	وزن	لایه اطلاعاتی
۱	بیشتر از ۱۵ کیلومتر در کیلومترمربع	۲.۱۹	تراکم زهکشی
.۰۶	بین ۵ تا ۱۵ کیلومتر در کیلومترمربع		
.۰	کمتر از ۵ کیلومتر در کیلومترمربع		
.۰۵	زراعی - مرتعی	۱.۸۲	پوشش گیاهی
.۰۸	باغی		
.۰	بدون پوشش خاص		
.۰۲۵	کمتر از ۵ درصد	۱.۵۳	میزان شبی
.۰۵	بین ۵ تا ۳۰ درصد		
۱	بیشتر از ۳۰ درصد		
.۰۸	شیل و فیلیت خاکستری	۱.۴۷	زمین شناسی
.۰۵	ماسه سنگ، شیل و کنگلومرا و سنگ‌های رسوبی آهکی و کوارتزیت		
.۰۶	مخروط افکنهای دره‌ای و آبرفت‌های بادبزنی با فرسایش آبی زیاد	.۰۹۱	خاک شناسی
.۰۸	فالات‌ها و تراس‌های فوکانی با فرسایش آبی کم		
.۰۵	تپه‌ها و کوههای با قلل مدور مشکل از سنگ‌های آهکی دگرگونی و کنگلوماری		
.۰۲۵	تپه‌های با قلل تیز مشکل از سنگ‌های سخت آهکی و دولومیتی		
.۰۸	متاثر از گسل	۱.۱۲	گسل
.۰	بدون گسل		
.۰۲۵	تا ۲۰۰ متر	.۰۳۷	اختلاف ارتفاع
.۰۵	از ۲۰۰ تا ۴۰۰ متر		
.۰۸	بیشتر از ۴۰۰ متر		
.۰۶	متاثر از جاده و سکونتگاه	.۰۳۹	کاربری ارضی
.۰	بدون کاربری خاص		
.۰۲۵	دامنه‌های جنوبی تا شرقی	.۰۲	جهت شبی
.۰۶	دامنه‌های شمالی تا غربی		

حال بر اساس لایه زمین شناسی منطقه (شکل ۴) مشخص گردید که حوضه کنگ دارای چهار نوع سازند زمین شناسی متفاوت می باشد (الف) سری مایان شامل لیتولوژی شیل و فیلیت همراه با ماسه سنگ که با واحدهای کاری ۴۳ تا ۴۷ مطابقت دارد. (ب) کنگلومرای کنگ که شامل لیتولوژی شیل، کنگلومرا و ماسه سنگ درشت دانه می باشد و در قسمت‌های پایین دست حوضه (واحدهای کاری ۵ تا ۱۱) واقع است. (ج) سازند فیلیت مشهد که شامل ماسه سنگ اسلیتی و نیز فیلیت شیلی می باشد و در قسمت‌های میانی حوضه واقع شده است. (د) آبرفت‌های کواترنری شامل تراس‌ها و پادگانه‌های آبرفتی در بخش پایین دست حوضه و در حاشیه رودخانه اصلی واقع شده‌اند. بیشتر زمین لغزش‌های قدیمی و فعلی عمدتاً در سازندهای مایان (فیلیت و شیل)، فیلیت مشهد و کنگلومرای کنگ رخ داده‌اند. این زمین لغزش‌ها توسط GPS برداشت گردید و با واحدهای کاری روی نقشه زمین شناسی مطابقت داده شدند و مشخص گردید در قسمت‌های پایین دست حوضه (واحدهای کاری ۱ تا ۳۴) فراوانی وقوع انواع ناپایداری‌های دامنه بیشتر بوده است.



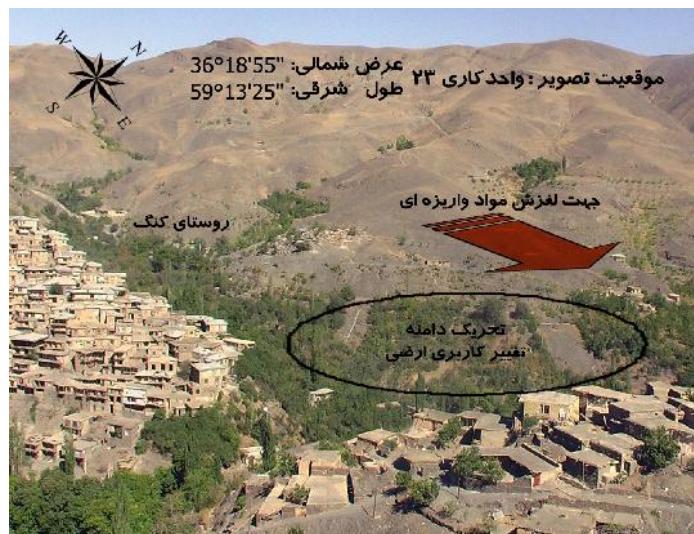
شکل ۴: لایه‌های محیطی زمین‌شناسی و توبوگرافی حوضه آبریز کنگ

سایر متغیرهای گذار در وقوع لغزش مانند شب، گسل، توپوگرافی، کاربری اراضی و... به همین روش بررسی و امتیازدهی و وزن گذاری گردیدند. در جدول «۳» امتیازات نهایی هر واحد کاری از حوضه کنگ بر اساس مدل سلسله مراتب زوجی آورده شده است.

جدول ۳: نتایج امتیازات نهایی متغیرهای موثر در ناپایداری دامنه در واحدهای کاری حوضه کنگ بر اساس AHP

امتیاز	واحد								
۵,۲۷	۴۱	۶,۲۶	۳۱	۲,۵۵	۲۱	۰,۳۵	۱۱	۰,۷۱	۱
۴,۶۷	۴۲	۳,۷۸	۳۲	۳,۶۲	۲۲	۰,۰۵	۱۲	۴,۲۵	۲
۴,۰۹	۴۳	۶,۲۸	۳۳	۴,۱۳	۲۳	۴,۹۳	۱۳	۵,۳۴	۳
۲,۷۰	۴۴	۲,۸۲	۳۴	۳,۶۵	۲۴	۰,۴۱	۱۴	۴,۲۱	۴
۲,۶۳	۴۵	۴,۹۶	۳۵	۰,۲۲	۲۵	۴,۱۶	۱۵	۰,۲۲	۵
۲,۸۱	۴۶	۳,۵۸	۳۶	۰,۸۲	۲۶	۶,۱۷	۱۶	۴,۶۵	۶
۶,۳۵	۴۷	۴,۰۶	۳۷	۰,۰۷	۲۷	۴,۸۶	۱۷	۰,۹۸	۷
		۲,۷۴	۳۸	۰,۹۶	۲۸	۴,۲۵	۱۸	۰,۱۲	۸
		۳,۵۸	۳۹	۰,۶۰	۲۹	۴,۶۳	۱۹	۳,۶۳	۹
		۴,۲۰	۴۰	۳,۸۰	۳۰	۳,۲۸	۲۰	۳,۸۴	۱۰

در مجموع، متغیرهای سازند زمین شناسی، شب، کاربری اراضی و توپوگرافی از ارزش بالاتری در ایجاد ناپایداری دامنه‌های حوضه برخوردار بوده‌اند. شواهد میدانی موجود حاکی از نقش موثر دخالت مردم مانند آبیاری غرقابی باعث در جهت عمود بر شب توپوگرافی و تخریب دامنه‌ها توسط عملیات عمرانی و توسعه ساخت و سازها بوده است (شکل ۵).



شکل ۵: تحریک دامنه‌ها در حوضه کنگ به واسطه تغییر کاربری ارضی

تهیه نقشه پنهانه بندی خطر زمین لغزش بر پایه مدل AHP

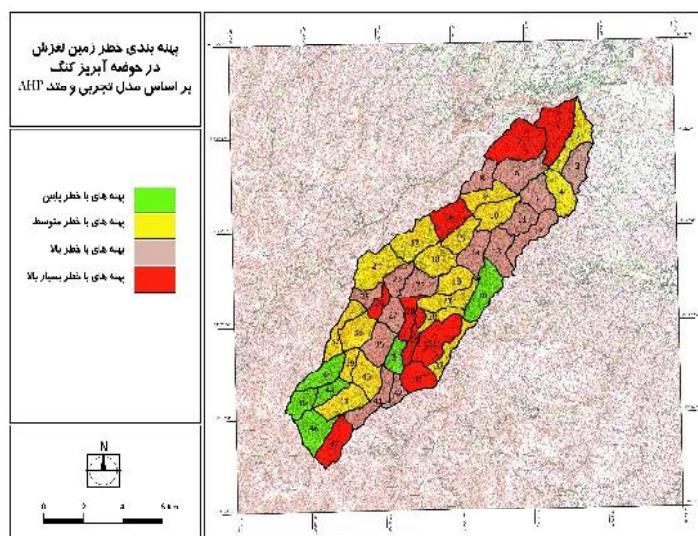
پس از طبقه بندی امتیازات در هر یک از واحدهای کاری و نیز با استفاده از تلفیق لایه‌های محیطی و بررسی تصاویر ۱/۴۰۰۰ حوضه مورد مطالعه، پنهانه‌های خطر لغزش بر اساس AHP در چهار کلاس طبقاتی صورت گرفت. الف- پنهانه‌های با خطر زمین لغزش بسیار بالا که دامنه امتیاز آنها بین ۵/۵ تا ۶/۵ بود. ب- پنهانه‌های با خطر زمین لغزش بالا که دامنه امتیاز آنها بین ۴/۵ تا ۵/۵ بود. ج- پنهانه‌های با خطر لغزش متوسط که دامنه امتیاز آنها بین ۳/۵ تا ۴/۵ بود. د- پنهانه‌های با خطر زمین لغزش پایین که دامنه امتیاز آنها بین ۲/۵ تا ۳/۵ بود. فراوانی وقوع لغزش و برخی ناپایداری‌ها در واحدهای کاری حوضه بررسی و در نهایت نقشه پنهانه بندی در محیط ArcView تهیه شد (شکل ۶).

ناپایداری دامنه‌ای و خطر زمین لغزش بر پایه مدل احتمال

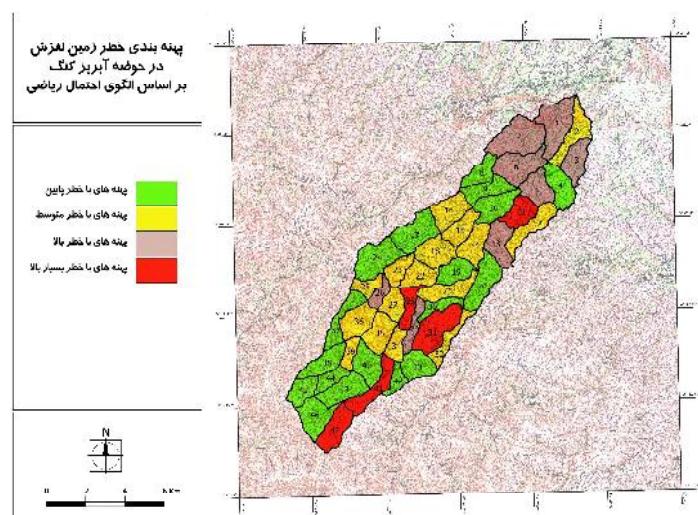
به منظور خودداری از طولانی شدن مطالب در اینجا فقط به نتایج حاصل از الگوی احتمال در پنهانه بندی خطر لغزش حوضه بر اساس تعیین حد آستانه متغیرها می‌پردازیم. با توجه به نقشه واحدهای کاری حوضه (شکل ۳) دو حالت عبور از مرز خطر یا عدم عبور از مرز خطر برای هر یک از متغیرهای موثر در وقوع لغزش وجود دارد. بررسی‌های میدانی آشکار نمود که اگر میزان شبیب از ۳۰-۲۵٪ عبور نماید، با جذب آب احتمال وقوع لغزش و دیگر ناپایداری‌ها بیشتر می‌شود. بنابراین مجموع تعداد حالاتی از متغیرها که به گذر از حد آستانه در هر واحد کاری از حوضه انجامیده‌اند، محاسبه شد تا از طریق محاسبات آماری و بر اساس الگوی برنولی، احتمال کلیه متغیرها در واحدهای کاری تعیین شود (جدول ۴). در این مدل دو مرحله اساسی وجود داشت اول آنکه حالات گذر از حد آستانه متغیرها (مانند شبیب، توپوگرافی، تراکم زهکشی و...) در هر واحد کاری تعیین گردید و از طریق محیط نرم افزاری احتمال (P) تلفیق ۹ متغیر در هر واحد کاری طبق جدول «۴» محاسبه و سپس نقشه پنهانه بندی لغزش بر پایه مدل احتمال به دست آمد (شکل ۷).

جدول ۴: مقادیر احتمالات نهایی متغیرهای موثر در ناپایداری دامنه در واحدهای کاری حوضه کنگ بر اساس احتمال

واحد کاری	جمع (X)	Z	احتمال (p)	واحد کاری	جمع (X)	Z	احتمال (p)
۱	۵,۰۰	۰,۹۶	۰,۸۲	۲۶	۵,۰۰	۰,۹۶	۰,۸۳
۲	۴,۰۰	۰,۱۳	۰,۰۵	۲۷	۴,۰۰	۰,۱۳	۰,۰۵
۳	۵,۰۰	۰,۹۶	۰,۸۲	۲۸	۶,۰۰	۱,۷۹	۰,۹۶
۴	۳,۰۰	-۰,۷۱	۰,۲۳	۲۹	۵,۰۰	۰,۹۶	۰,۸۳
۵	۵,۰۰	۰,۹۶	۰,۸۲	۳۰	۳,۰۰	-۰,۷۱	۰,۲۳
۶	۵,۰۰	۰,۹۶	۰,۸۲	۳۱	۶,۰۰	۱,۷۹	۰,۹۶
۷	۵,۰۰	۰,۹۶	۰,۸۲	۳۲	۴,۰۰	۰,۱۳	۰,۰۵
۸	۳,۰۰	-۰,۷۱	۰,۲۳	۳۳	۳,۰۰	-۰,۷۱	۰,۲۳
۹	۲,۰۰	-۱,۵۴	۰,۰۶	۳۴	۴,۰۰	۰,۱۳	۰,۰۵
۱۰	۳,۰۰	-۰,۷۱	۰,۲۳	۳۵	۴,۰۰	۰,۱۳	۰,۰۵
۱۱	۶,۰۰	۱,۷۹	۰,۹۶	۳۶	۴,۰۰	۰,۱۳	۰,۰۵
۱۲	۴,۰۰	۰,۱۳	۰,۰۵	۳۷	۳,۰۰	-۰,۷۱	۰,۲۳
۱۳	۵,۰۰	۰,۹۶	۰,۸۲	۳۸	۲,۰۰	-۱,۵۴	۰,۰۶
۱۴	۴,۰۰	۰,۱۳	۰,۰۵	۳۹	۴,۰۰	۰,۱۳	۰,۰۵
۱۵	۴,۰۰	۰,۱۳	۰,۰۵	۴۰	۳,۰۰	-۰,۷۱	۰,۲۳
۱۶	۴,۰۰	۰,۱۳	۰,۰۵	۴۱	۶,۰۰	۱,۷۹	۰,۹۶
۱۷	۳,۰۰	-۰,۷۱	۰,۲۳	۴۲	۳,۰۰	-۰,۷۱	۰,۲۳
۱۸	۴,۰۰	۰,۱۳	۰,۰۵	۴۳	۲,۰۰	-۱,۵۴	۰,۰۶
۱۹	۳,۰۰	-۰,۷۱	۰,۲۳	۴۴	۲,۰۰	-۱,۵۴	۰,۰۶
۲۰	۲,۰۰	-۱,۵۴	۰,۰۶	۴۵	۱,۰۰	-۲,۳۸	۰,۰۰
۲۱	۴,۰۰	۰,۱۳	۰,۰۵	۴۶	۳,۰۰	-۰,۷۱	۰,۲۳
۲۲	۴,۰۰	۰,۱۳	۰,۰۵	۴۷	۶,۰۰	۱,۷۹	۰,۹۶
۲۳	۴,۰۰	۰,۱۳	۰,۰۵	‡	‡	‡	‡
۲۴	۳,۰۰	-۰,۷۱	۰,۲۳	‡	‡	‡	‡
۲۵	۴,۰۰	۰,۱۳	۰,۰۵	‡	‡	‡	‡



شکل ۶: نقشه پهنه بندی خطر لغزش بر اساس مدل AHP در حوضه آبریز کنگ



شکل ۶: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش بر اساس مدل احتمال در حوضه آبریز کنگ

یافته‌های تحقیق و نتیجه گیری

با تهیه نقشه‌های پهنه بندی خطر لغزش به روش‌های AHP و احتمال در حوضه مورد مطالعه و نیز تطبیق نتایج عملیات میدانی با دو نقشه مذکور آشکار کرد که مدل AHP قابلیت بیشتری با پهنه بندی لغزش در نواحی کوهستانی دارد. اگرچه در مدل احتمال نیز بیش از ۷۰ درصد حوضه به لحاظ واقعیت‌های موجود (لغزش‌های فعل) با نقشه آن مطابقت دارد ولی در مجموع پهنه‌های تفکیک شده خطر وقوع لغزش بر اساس مدل AHP در واحدهای کاری حوضه از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد.

همچنان که در جدول «۵» ملاحظه می‌گردد، پهنه خطر بسیار زیاد بر پایه مدل AHP با ۲۱/۹٪ از حوضه (۲۰۲/۰ هکتار) است، در حالی که بر پایه مدل احتمال این پهنه ۱۱/۵٪ از حوضه (۱۶۳/۲ هکتار) را شامل می‌شود که البته اختلاف در حدود دو برابر است. پهنه پر خطر از لحاظ لغزش در مدل AHP ۳۱/۳٪ از حوضه را شامل می‌گردد در حالی که بر پایه مدل احتمال ۲۰/۰٪ بوده که کاهش نسبی را نشان می‌دهد. نکته قابل اهمیت در تطبیق این دو مدل با واقعیت‌های برداشت شده از حوضه کنگ است که واحدهای کاری واقع شدن در پهنه‌های خطر وقوع زمین لغزش‌ها در مدل AHP دقیق تر می‌باشد. برای این منظور لغزش‌های برداشت شده در هر یک از واحدهای کاری با دو نقشه تطبیق داده شد و نتایج آشکار نمود که مدل سلسله مراتب زوجی با لغزش‌های فعلی مطابقت بهتری دارد. این نکته به معنای آن نیست که مدل احتمال هیچ کاربردی نداشته یا با واقعیت‌ها همخوانی نداشته باشد، بلکه در مقایسه با مدل سلسله مراتب زوجی در درجه دوم اهمیت قرار دارد. افزایش شب در سازندهای زمین شناسی فیلیت و سری مایان و کنگلومرای کنگ بویژه در قسمت‌های پایین دست و میانی حوضه و نیز تغییر و تشدید کاربری از مهم ترین متغیرهای موثر در وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای محسوب گردیده و در نهایت بخش پایین دست حوضه بین روستای نگذر تا بخش میانی آن دارای مخاطرات بالایی از لحاظ وقوع ناپایداری هستند. از این نظر

ضرورت دارد که برنامه ریزان محلی و منطقه‌ای در جهت سیاست‌های مدیریتی مرتبط با کنترل ناپایداری دامنه‌ها در این حوضه کوهستانی اقدامات اساسی انجام دهند.

جدول ۵: نتایج مربوط به وسعت و نسبت پنهانی خطر لغزش حوضه آبریز کنگ به روش‌های AHP و احتمال

مدل احتمال		AHP		درجه خطر
درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	
۱۱/۵	۱۱۶۳/۲	۲۱/۹	۲۲۰۲/۰	خطر بسیار زیاد
۲۰/۰	۲۰۰۶/۹	۳۱/۳	۳۱۴۹/۹	خطر زیاد
۳۰/۵	۳۰۶۹/۸	۳۵/۱	۳۵۳۰/۳	متوسط خطر
۳۸/۰	۳۸۲۰/۵	۱۱/۷	۱۱۷۸/۲	کم خطر
۱۰۰	۱۰۰۶۰/۴	۱۰۰	۱۰۰۶۰/۴	مجموع

منابع

- ۱- ایوبی، ش و جلالیان، الف. (۱۳۸۵)، «رزیابی اراضی؛ کاربری‌های کشاورزی و منابع طبیعی»، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، چاپ اول.
- ۲- بهنیافر، الف. (۱۳۸۱)، «آنالیز سیستمی به عنوان یک الگوی پایه در روش تحقیق ژئومورفولوژی»، مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی، شماره ۳۵، سال ۲۰، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۳- بهنیافر، الف. قبیرزاده، ه. (۱۳۸۶)، «اثرات اقتصادی- اجتماعی خشکسالی‌های دوره ۸۵-۱۳۷۵ بر دهستان شاندیز مشهد»، طرح پژوهشی، حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد.
- ۴- چورلی، ر و همکاران، ترجمه معنمد، الف. (۱۳۷۹)، «ژئومورفولوژی فرایندهای دامنه‌ای»، جلد (۳)، انتشارات سمت، تهران، چاپ اول.
- ۵- دریو، م، ترجمه مقصود، خ. (۱۳۸۲)، «مبانی ژئومورفولوژی؛ اشکال ناهمواریهای زمین»، انتشارات مبتا، چاپ ششم.
- ۶- رجایی، ع. (۱۳۸۲)، «کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه ریزی شهری و روستایی»، انتشارات سمت ، تهران، چاپ اول.
- ۷- سادati، س. (۱۳۸۲)، «آمار و احتمال کاربردی»، انتشارات توسعه علوم، چاپ دوم.
- ۸- شیرانی، ک و همکاران (۱۳۸۴)، «بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در پادناهی علیای سمیرم»، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور.
- ۹- کرمی، ف و همکاران (۱۳۸۵)، «شناسایی و پهنه بندی نواحی مستعد زمین لغزش در حوضه آبریز اوچان چای، با استفاده از روش‌های آماری و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی»، مجموعه مقالات دومین کنفرانس مدیریت جامع بحران.

- ۱۰- کوک، آ، دورکمپ، ج. ترجمه گودرزی نژاد، ش. (۱۳۷۷)، «ژئومورفولوژی و مدیریت محیط»، جلد (۱)، انتشارات سمت، تهران، چاپ اول.
- ۱۱- مالچفسکی، ی. ترجمه پرهیزگار، الف و همکاران (۱۳۸۵)، «سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری»، انتشارات سمت، تهران، چاپ اول.
- ۱۲- محمودی، ف. (۱۳۸۶)، «ژئومورفولوژی دینامیک»، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران، چاپ اول.
- ۱۳- مخدوم، م. (۱۳۸۵)، «شالوده آمايش سرزمين»، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هفتم.
- ۱۴- مطیعی لنگرودی، س و همکاران. (۱۳۸۵)، «تنگناهای توسعه فیزیکی - سکونتی در روستاهای دره ای غرب شهرستان مشهد»، مجله پژوهش های جغرافیایی، شماره ۵۶.
- ۱۵- مقیمی، الف و همکاران (۱۳۸۷)، «ارزیابی و پنهانی بندی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش دامنه‌های شمالی آزادگان (مطالعه موردی: حوضه زهکشی چناران در استان خراسان شمالی)»، مجله پژوهش های جغرافیایی، شماره ۶۴.
- ۱۶- نیک اندیش، ن. (۱۳۸۰)، «بررسی نقش زمین ساخت جنبا در ایجاد زمین لغزش های منطقه بهاباد»، مجموعه مقالات دومین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- ۱۷- سازمان زمین شناسی کشور، نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ برگه طرقه.
- ۱۸- سازمان نقشه برداری کشور، عکس های هوایی ۱/۴۰۰۰۰ بلوک مشهد.
- ۱۹- سازمان نقشه برداری کشور، نقشه های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ شماره ۷۸۶۲۱، ۷۸۶۲۳، ۷۸۶۲۲ و ۷۸۶۲۴.

20- Nagarajan, R., A. Roy,et al (2000), «Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climate factors for troical monsoon regions», *Bull. Eng. Geol. Env.*

- 21- Thiery, Y. et al (2007), «Landslide susceptibility assessment by bivariate methods at large scales: Application to a complex mountainous environment», *Geomorphology*.
- 22- Burdurlu. E. and Eyder. E. (2003) «Location choice for furniture industry firms by using (AHP) Method», *G. U. Journal of Science*. 16(2), London.