

انتخاب مناسبترین مدل آماری برای پهنه‌بندی خطر و ارزیابی خسارت زمین لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دوآب صمصامی)

• سید نعیم امامی

استادیار و عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری (نویسنده مسئول)

• ابراهیم کریمی سنگچینی

دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

• محسن شریعت جعفری

عضو هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

• فرزاد رضازاده

کارشناس اداره کل منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری

• حیدرعلی رئیسی

کارشناس اداره کل منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری

تاریخ دریافت: دی ماه ۹۳ تاریخ پذیرش: مرداد ماه ۹۴

Email: emami1348@yahoo.com

چکیده

حوضه آبخیز دوآب صمصامی یکی از زیرحوضه‌های کارون بوده و در استان چهارمحال و بختیاری واقع است. نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه با تفسیر استریوسکپی عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی تهیه گردید و ۳۷ مورد لغزش رخ داده مشاهده شد. نه عامل کلیدی و موثر بر آنها شامل: ارتفاع، شیب، جهت، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، کاربری اراضی و میزان بارش انتخاب گردید. بر اساس داده‌های صحرایی بدست آمده، توانایی خطر زمین لغزش توسط سه مدل آماری: دومتغیره تراکم سطحی وزنی AHP (مدل نیمه کمی)، رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام و رگرسیون چندمتغیره لجستیک (مدل‌های کمی) مورد مقایسه قرار گرفت. تفاوت بین کلاس‌های خطر مدل‌ها نیز با آزمون کای اسکوئر، میزان توافق نقشه‌های خطر با شاخص کاپا و ارزیابی صحت مدل‌ها با شاخص جمع کیفیت (QS) و ROC سنجیده شد. نقشه خسارت با ترکیب نقشه‌های شدت خطر، فراوانی عناصر و درجه آسیب‌پذیری عناصر براساس معادله ریسک تهیه شد. نتایج نشان داد که در همه مدل‌ها تفاوت آماره فراوانی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بوده و تفکیک بالایی بین کلاس‌های خطر وجود دارد. همچنین شاخص کاپا بین ۱- تا ۰/۲ متغیر بوده که نماینده تطابق ناچیز بین آنها است. مدل آماری دومتغیره وزنی AHP با QS و ROC برابر با ۰/۸۷ و ۰/۹۱۴ به عنوان مدل برتر انتخاب گردید.

کلمات کلیدی: خطر زمین لغزش، آبخیز دوآب صمصامی، خسارت، عناصر در معرض خطر، آسیب‌پذیری.

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 109 pp: 62-73

Selection of the best statistical model for hazard zonation and assessment of landslide risk**(Case study: Doab Samsami Watershed)**

By: S. N. Emami: Assistant Professor, Institute of Agriculture and Natural Resources, Shahrekord, Iran. (Corresponding Author). E. Karimi Sangchini: Ph.D student of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. M. Shariat Jafari: Soil Conservation And Watershed Management Research Institute. F. Rezazadeh: Natural Resources And Watershed Management Office Of Chaharmahal Va Bakhtiari province. H.A. Raesi: Natural Resources And Watershed Management Office Of Chaharmahal Va Bakhtiari province.

The Doab Samsami watershed is located in Chaharmahal Va Bakhtiari province and is one of the main tributaries of the Karoon River basin. Landslide distribution map of the study area was prepared using air photos interpretation and field studies. 37 cases of happened landslides were observed. Nine parameters including elevation, slope, aspect, lithology, distances from fault, stream and road, land use, and annual precipitation were chosen as landslide effective factors. Potential landslide hazard maps were also provided using weighted density area bivariate statistical model (semi-quantitative model), multivariate stepwise regression model and logistic multivariate regression model and were compared by field data. Chi-square test was used to analyze difference between hazard classes of models. Kappa index was used to compare the conformity rate of the hazard maps. Qs and ROC Indexes was also used for evaluation of models accuracy. Hazard map, elements at risk map and vulnerability map were used in the preparation of risk map. Results show that measured Chi-square statistics is statistically significant at 95% of confidence interval, and there is an appropriate differentiation among landslide hazard classes. Kappa index between hazard maps of models vary between -1 to 0.2, indicating that there is a slight conformity between them. Weighted bivariate statistical model has been identified as the superior model for Doab Samsami watershed with Qs and ROC equal to 0.87 and 0.914.

Keywords: Landslide hazard, Doab Samsami Watershed, Risk, Elements at risk, Vulnerability

مقدمه

زمین لغزش در ایران بعنوان یک بلای طبیعی، سالیانه خسارات جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می‌سازد (مصفايي، ۱۳۸۵). در بین چهل و سه خطر طبیعی تهدید کننده زندگی بشر و منابع طبیعی، پدیده زمین لغزش با وجود تفاوت‌های شدید از هم‌دیگر بدلیل وابستگی به شرایط محیطی، از جایگاه خاصی برخوردار می‌باشد (مصفايي، ۱۳۸۵). برای پهنه بندی خطر نسبی ناپایداری دامنه‌ها، ده‌ها مدل عددی با عوامل، وزن، نرخ، منطق محاسباتی و مقیاس متفاوت ابداع شده و در شرایط متنوع براساس شواهد زمینی واسنجی صورت گرفته است (اونق، ۲۰۰۴). در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با مدل‌های آماری دو متغیره وزنی AHP و چند متغیره گام‌به‌گام و لجستیک می‌توان به تحقیقات Esmaili و Ahmadi (۲۰۰۳)، Ayalew و Yamagishi (۲۰۰۵)، شیرانی و همکاران (۱۳۸۵)، مصفايي (۱۳۸۵)، شادفر و همکاران (۱۳۸۶)، کلارستاقی و همکاران (۲۰۰۷)، Yalcin (۲۰۰۸)، Ahmadi و Kelarestaghi (۲۰۰۹)، Alturalb و Ozdemira (۲۰۱۳) (۲۰۰۹) و Yilmaz (۲۰۰۹) و همکاران (۲۰۱۴) اشاره کرد. خلاصه یافته‌های آنها بیانگر این است که مدل‌های آماری در پهنه بندی خطر زمین لغزش کاربرد فراوانی داشته و کارایی مناسبی را در این زمینه از خود نشان

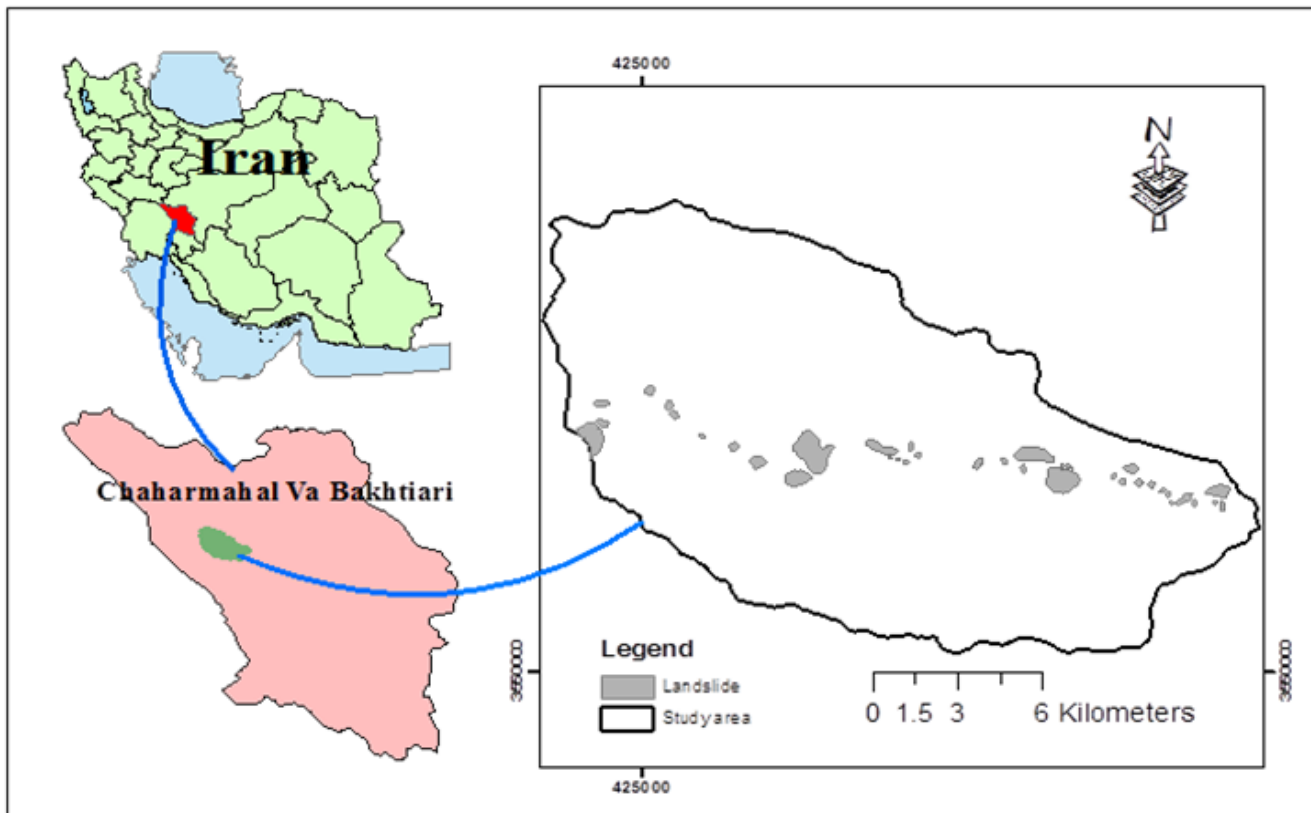
دادند. به طور ساده خسارت زمین لغزش از دخالت سه فاکتور مرتبط به هم محاسبه می‌شود: ۱- احتمال وقوع زمین لغزش با یک بزرگی معین ۲- عناصر ارزش گذاری شده خسارت ۳- آسیب پذیری؛ درجه مورد انتظار خسارت به وجود آمده از هدر رفت یک زمین لغزش با بزرگی مشخص (Crozier و Glade، ۲۰۰۵). اجزای خسارت شامل راه‌ها و ساختمان‌ها و منبع آب و سد‌ها، معادن و عرصه‌های منابع طبیعی و کشاورزی هستند. خسارت وارده به ساختمان‌ها و خودروها در راه‌ها می‌تواند یک بخش بزرگی از آن را شامل شود، اما تخمین این خسارت‌ها بدلیل نبود داده‌های کافی مشکل است. علاوه بر این خسارت به زندگی انسان‌ها (خسارت جانی) قابل ارزیابی نیست. دیگر عناصر آسیب پذیر مانند شبکه‌های برق و تلفن نیز به عنوان هزینه‌های غیرمستقیم هستند و بدست آوردن میزان خسارت ناشی از آنها نیز مشکل است (Zeze و همکاران، ۲۰۰۸). اونق (۲۰۰۴) پتانسیل خطر زمین لغزش آبخیز زیارت را با دو مدل وزنی (AHP) ۷ پارامتری استاتیک و دینامیک، پهنه‌بندی کرد. میزان انطباق دو نقشه خطر را از طرق شاخص کاپا محاسبه و با نقشه تراکم زمین لغزش مقایسه نموده و مدل استاتیک را مناسبتر دانست. در نهایت ارزیابی توانائی خسارت (ریسک) حاصل از زمین لغزش را انجام داده و مفاهیم نظری، کاربردی و توسعه‌ای استنتاج نمود. کریمی سنگچینی و همکاران

را با استفاده از فهرست‌برداری نیمه خودکار در هیمالیای چین انجام دادند. در این تحقیق با استفاده از روش نیمه خودکار و با تصاویر ماهواره ای بر مبنای وقایع گذشته فهرست-برداری و ارزیابی خطر و خسارت صورت گرفت. اعتبارسنجی با استفاده از آزمون داده‌های یک مجموعه زمانی فهرست‌برداری، انجام شد. احتمال زمانی به وسیله تجزیه و تحلیل فراوانی توزیع گمبل انجام گرفت. احتمال مکانی با استفاده از محاسبه تراکم لغزش در کلاس آسیب‌پذیری تعیین شد. همچنین جاده و ساختمان به عنوان عناصر در معرض خطر انتخاب گردیدند. آسیب‌پذیری جاده و ساختمان با استفاده از احتمال مکانی لغزش و کل هدررفت برای سناریوهای دوره بازگشت‌های مختلف به صورت چند بعدی محاسبه گردید و در یک منحنی خسارت-خسارت نشان داده شد. با بررسی سوابق تحقیق در زمینه خطر و خسارت زمین‌لغزش می‌توان نتیجه گرفت که در تحقیقات جدید به ارزیابی خسارت به عنوان یک مرحله از مدیریت زمین-لغزش پرداخته می‌شود. تجزیه و تحلیل خسارت پس از پهنه‌بندی خطر، می‌تواند ما را یک گام به مدیریت یکپارچه زمین-لغزش نزدیک‌تر نماید. هدف از این تحقیق ارزیابی خطر با سه مدل آماری دومتغیره وزنی AHP، چندمتغیره گام‌به‌گام و چندمتغیره لجستیک و خسارت زمین‌لغزش با استفاده از شدت خطر، عناصر و درجه آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر به منظور مدیریت خطر و خسارت در حوضه کوهستانی دوآب صمصامی بوده است.

(۱۳۸۹) ارزیابی خطر و خسارت زمین‌لغزش را در حوضه آبخیز چهل‌چای، استان گلستان انجام دادند. در این تحقیق کارایی ۳ مدل آماری، دومتغیره تراکم‌سطحی وزنی AHP، رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام و رگرسیون چندمتغیره لجستیک مورد مقایسه قرار گرفت. ارزیابی صحت مدل‌ها با شاخص جمع کیفیت (QS) و نقشه خسارت با ترکیب نقشه‌های شدت خطر، فراوانی عناصر و درجه آسیب‌پذیری عناصر براساس معادله خسارت تهیه شد. نتایج نشان داد که مدل آماری دومتغیره‌وزنی AHP با QS برابر با ۳/۶۲۲ به عنوان مدل برتر برای حوضه مورد نظر است.

Enrique و همکاران (۲۰۰۸)، در تحقیقی تحت عنوان ارزیابی حساسیت‌پذیری کیفی زمین‌لغزش به وسیله ارزیابی چندمعیاره در کوانتامو کوبا، با استفاده از ۸ عامل درجه شیب، ارتفاع، شکل شیب، تشکیلات زمین‌شناسی، گسل فعال، فاصله از آبراهه، فاصله از چشمه، واحدهای ژئومورفولوژیکی و پراکنش لغزش‌های موجود و وزن‌دهی براساس قضاوت کارشناسی نقشه خطر زمین‌لغزش را تهیه کردند. افزایش تراکم زمین‌لغزش در کلاس‌های بالاتر خطر در منطقه مورد مطالعه نشان داد که نقشه خروجی قابل اطمینان است و در نهایت با ترکیب نقشه خطر با اطلاعات موجود در زمینه ساختمان‌سازی و زیربنایی (خانه‌ها، مدارس و جاده‌ها) نقشه کیفی خسارت را تهیه نمودند.

Martha و همکاران (۲۰۱۳)، ارزیابی خطر و خسارت زمین‌لغزش



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز دو آب صمصامی در استان چهار محال و بختیاری و ایران

مواد و روش‌ها

۱- معرفی حوضه مورد تحقیق

دوآب صمصامی از حوضه‌های کوهستانی کشور با مختصات $50^{\circ}26'$ تا $50^{\circ}10'$ طول شرقی و $32^{\circ}5'$ تا $32^{\circ}15'$ عرض شمالی دارای وسعت ۲۷۶۲۸ هکتار می‌باشد. این حوضه از لحاظ تقسیمات سیاسی در محدوده شهرستان کوهرنگ استان چهارمحال و بختیاری قرار گرفته و یکی از زیر حوضه‌های بزرگ کارون می‌باشد (شکل ۱). حداقل ارتفاع ۱۷۷۵ متر و حداکثر آن ۳۸۲۵ متر از سطح دریا می‌باشد. در این حوضه میزان بارندگی سالانه برابر ۹۷۰ میلی‌متر می‌باشد. از لحاظ زمین‌شناسی این حوضه در رشته کوه‌های زاگرس میانی قرار دارد، بدیهی است که تماس و مرز واحدها و سازندهای حوضه اکثراً از نوع گسلی می‌باشند. حدود ۶۶ درصد پوشیده از مرتع فقیر می‌باشد و اراضی زراعی، باغ و اراضی سنگلاخی بقیه سطح حوضه را در برمی‌گیرند.

۲- تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش و طبقه بندی عوامل موثر

نقشه پراکنش زمین لغزش حوضه با استفاده از اطلاعات محلی، بازدید میدانی و ثبت مختصات جغرافیائی آنها با دستگاه GPS و تفسیر عکس هوایی تهیه شد. با مرور منابع قبلی، مطالعات کتابخانه‌ای و با بررسی موارد محیطی حوضه آبخیز دوآب صمصامی ۹ عامل ارتفاع، شیب، جهت، فاصله از آبراهه، فاصله از راه (نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ رقومی سازمان نقشه برداری)، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل (نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور)، کاربری اراضی و میزان بارندگی سالانه به عنوان عوامل موثر بر زمین لغزش انتخاب گردیدند. در مرحله بعد مساحت و درصد زمین لغزش، نرخ تراکم سطح (فرمول ۱) و درصد تراکم زمین لغزش در هر طبقه از عوامل ۹ گانه زمین لغزش محاسبه گردید. عامل جهت به نه طبقه بدون جهت، شمال، شمال غرب، غرب، جنوب غرب، جنوب، جنوب شرق، شرق و شمال شرق تقسیم شد. بارندگی سالانه به ۵ طبقه، ۷۸۰-۹۰۰، ۹۰۰-۹۰۰، ۹۰۰-۱۰۰۰، ۱۰۰۰-۱۱۰۰، ۱۱۰۰-۱۲۰۰ و ۱۲۰۰-۱۲۶۰ کلاس بندی شد. ارتفاع به ۱۱ طبقه از ۱۷۷۸ تا ۳۸۲۵ طبقه بندی شد. واحدهای زمین شناسی به ۱۱ طبقه، آهک توده‌ای سازند آسماری، کنگلومرای ائوسن تحتانی (سازند کشکان)، آهک دولومیتی ائوسن- اولیگوسن (سازند جهرم- شهبازان)، واریزه‌های دامنه‌ای، آهک توده‌ای خاکستری کرتاسه، آبرفت‌های رودخانه‌ای عهد حاضر، آهک رسی- مارنی (سازند پابده)، تراسه‌های رودخانه‌ای عهد حاضر، تراسه‌های رودخانه‌ای قدیمی، مارن کرتاسه فوقانی (سازند گورپی) و آهک مارنی و ماسه‌ای (کرتاسه میانی) تقسیم شد. فاصله از گسل به ۵ طبقه ۰-۵۰۰، ۵۰۰-۱۳۰۰، ۱۳۰۰-۲۳۰۰، ۲۳۰۰-۳۵۰۰ و ۳۵۰۰ کلاس بندی گردید. کاربری اراضی به ۵ کلاس اراضی سنگلاخی، کشاورزی دیم، کشاورزی آبی، مرتع متوسط و مرتع خوب تقسیم شد. نقشه شیب به ۶ کلاس ۰-۵، ۵-۱۵، ۱۵-۲۵، ۲۵-۳۵، ۳۵-۴۵ و ۴۵-۵۰ طبقه بندی شد. فاصله از آبراهه به ۷ طبقه ۰-۵۰، ۵۰-۱۰۰، ۱۰۰-۱۵۰، ۱۵۰-۲۰۰، ۲۰۰-۳۰۰، ۳۰۰-۵۰۰ و ۵۰۰-۷۵۰

کلاس بندی گردید. فاصله از جاده به ۷ کلاس ۰-۷۵، ۷۵-۱۵۰، ۱۵۰-۲۲۵، ۲۲۵-۳۰۰، ۳۰۰-۵۰۰ و ۵۰۰-۷۵۰ تقسیم شد.

۳- ارزیابی خطر زمین لغزش

خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز دوآب صمصامی با سه مدل آماری دومتغیره وزنی (AHP)، چندمتغیره گام‌به‌گام و چندمتغیره لجستیک مدل ارزیابی شد. با توجه به بررسی تحقیقات صورت گرفته (مصفايي ۱۳۸۵، شیرانی و همکاران ۱۳۸۵، کریمی و همکاران ۱۳۸۹)، این سه مدل آماری کارایی قابل قبولی را در زمینه پهنه بندی خطر زمین لغزش از خود نشان دادند، به همین دلیل در این تحقیق این سه مدل انتخاب گردیدند.

۱-۳ پهنه بندی خطر با مدل آماری دومتغیره تراکم سطح، وزن دهی شده با AHP

نقشه هر یک از عوامل موثر با نقشه پراکنش زمین لغزش قطع داده شد. مساحت و درصد زمین لغزش در هر طبقه از نقشه عوامل محاسبه و سپس با استفاده از معادله تراکم سطح (Kelarostaghi and Ahmadi, ۲۰۰۹) نرخ هر طبقه محاسبه گردید. فرمول (۱):

$$Ra = 1000 \times (A/B) - 1000 \times (C/D)$$

A: مساحت لغزش‌های هر کلاس عوامل موثر B: مساحت هر کلاس عوامل موثر C: مساحت کل لغزش در حوضه D: مساحت کل حوضه Ra: نرخ تراکم سطح

وزن عوامل ۹ گانه موثر در لغزش پس از ارزیابی متخصصین ذیربط با نرم افزار Expert_Choice-۱۱ در قالب مدل AHP انجام یافت. در نهایت با ضرب نرخ در وزن هر عامل، نقشه شدت خطر تهیه، و براساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها در ۵ کلاس طبقه بندی گردید (فرمول ۲) (شکل ۳).

نقشه خطر زمین لغزش با مدل آماری دومتغیره وزنی AHP = (نقشه نرخ طبقات بارندگی سالانه $\times 0/098$) + (نقشه نرخ طبقات شیب $\times 0/193$) + (نقشه نرخ طبقات سنگ‌شناسی $\times 0/243$) + (نقشه نرخ طبقات جهت $\times 0/053$) + (نقشه نرخ کاربری اراضی $\times 0/162$) + (نقشه نرخ طبقات فاصله از گسل $\times 0/064$) + (نقشه نرخ طبقات فاصله از جاده $\times 0/121$) + (نقشه نرخ طبقات فاصله از آبراهه $\times 0/035$) + (نقشه نرخ طبقات ارتفاع $\times 0/029$) (فرمول ۲).

۲-۳ پهنه بندی خطر زمین لغزش با مدل رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام

برای تعیین ارزش عددی طبقات مختلف عوامل کیفی (جهت، کاربری اراضی و سنگ‌شناسی) از درصد تراکم زمین لغزش در هر کلاس استفاده شد و براساس میزان سطح لغزش در طبقات مختلف عوامل، طبقات وزن دهی شده و پس از انجام مقایسات زوجی بین

توافق، C_0 عدد ثابت، C_1, C_2, \dots, C_n و C_n ضرایب (مقدار مشارکت عوامل مستقل X_1, X_2, \dots, X_n) در متغیر وابسته) می‌باشند.

فرمول (۵)

$$Y = 0.0074 + 2.0297J + 0.012P + 0.0777R + 0.0383L + 0.0055G + 0.061E - 0.0288F - 0.1875V$$

Y : عدد خطر J : جهت P : میزان بارندگی سالانه R : فاصله از راه L : کاربری اراضی G : سنگ شناسی E : ارتفاع F : فاصله از گسل V : فاصله از آبراهه

با استفاده از معادله مذکور، نقشه شدت خطر زمین لغزش در محیط نرم افزار Arc GIS تهیه و براساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها، در ۵ کلاس طبقه‌بندی گردید (شکل ۳).

۳-۱- شاخص‌های ارزیابی مدل‌ها

الف: شاخص جمع مطلوبیت

از شاخص نسبت تراکم برای ارزیابی توانایی مدل در تفکیک کلاس‌های خطر استفاده شده است که هر چه تفکیک بین کلاس‌های خطر بالاتر باشد مدل توانا تر است، یعنی مدل می‌تواند تفکیک مناسبی را بین مناطق با خطر بالای زمین لغزش و مناطق کم خطر ایجاد نماید (شیرانی و همکاران، ۱۳۸۵).

$$D_r = \frac{S_i/A_i}{\sum_{i=1}^n S_i / \sum_{i=1}^n A_i} \quad \text{فرمول (۶)}$$

D_r : تراکم لغزش در هر کلاس خطر A_i : مساحت هر کلاس خطر S_i : مساحت زمین لغزش‌ها در هر کلاس خطر n : تعداد کلاس‌های خطر

از شاخص جمع کیفیت برای مقایسه کارایی مدل‌ها استفاده شده است، به طوری که هر چقدر مقدار Q_s بدست آمده بیشتر باشد آن مدل برای منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر است (مصفايي، ۱۳۸۵).

$$Q_s = \sum_{i=1}^n [(D_2 - 1)^2 \times S] \quad \text{فرمول (۷)}$$

Q_s : شاخص جمع مطلوبیت D_r : تراکم لغزش در هر کلاس خطر S : نسبت مساحت هر کلاس خطر به مساحت کل حوضه n : تعداد کلاس‌های خطر

ب- شاخص ROC

کارایی مدل رگرسیون لجستیک را می‌توان با شاخص ROC (مشخصه عملکرد نسبی) ارزیابی نمود. این شاخص از روی منحنی ROC محاسبه می‌گردد. همانگونه که قبلاً ذکر شد، مدل رگرسیون لجستیک احتمال تغییر را برای هر پیکسل در بازه پیوسته صفر و یک محاسبه می‌کند. با تعیین یک حد آستانه (مثلاً ۰/۵) می‌توان خروجی مدل را به مقیاس گسسته صفر یا یک (تغییر یا عدم تغییر) تبدیل

طبقات، وزن هر یک از طبقات محاسبه شد. در نرم افزار Arc GIS (۹،۳) لایه با هم تلفیق و نقشه واحدهای همگن استخراج شد. سپس نقشه واحدهای همگن با نقشه پراکنش زمین لغزش قطع و براساس دید کارشناسی و بررسی منابع ۹ عامل به عنوان متغیر مستقل و لگاریتم سطح لغزش (جهت نرمال شدن تبدیل لگاریتمی صورت گرفت) متغیر وابسته انتخاب شدند. با استفاده از نرم افزار SPSS و روش گام به گام اقدام به تعیین موثرترین عوامل، یعنی ۸ عامل موثر (عامل بارش در معادله گام به گام رابطه معنی داری را با مساحت زمین لغزش نشان نداد و حذف گردید) طبقات ارتفاعی، جهت، شیب، زمین شناسی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، کاربری اراضی و فاصله از آبراهه گردید. در مرحله بعد با استفاده از این ۸ عامل به عنوان متغیرهای مستقل، و لگاریتم مساحت زمین لغزش‌ها به عنوان متغیر وابسته، به تعیین بهترین معادله به صورت ذیل اقدام گردید که ضریب تعیین آن برابر ۵۶/۸۶ درصد و در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار می‌باشد.

فرمول (۳)

$$Y = 0.00059 + 1.838J + 0.00692S - 0.000415R + 0.00167L + 0.00318G + 0.00178E - 0.000077F - 0.000163V$$

Y : عدد خطر J : جهت S : میزان شیب R : فاصله از راه L : کاربری اراضی G : سنگ شناسی E : ارتفاع F : فاصله از گسل V : فاصله از آبراهه

با استفاده از این معادله، نقشه شدت خطر زمین لغزش در نرم افزار Arc GIS ۹،۳ تهیه و براساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها، در ۵ کلاس طبقه‌بندی گردید (شکل ۳).

۳-۲- پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با مدل رگرسیون چندمتغیره لجستیک

برای به کارگیری رگرسیون چندمتغیره لجستیک، درصد تراکم زمین لغزش در هر طبقه از عوامل ۹ گانه زمین لغزش محاسبه گردید. از تلفیق نقشه‌های عوامل مذکور، نقشه واحدهای همگن تهیه گردید. بعد از قطع نقشه واحدهای همگن با نقشه پراکنش زمین لغزش، واحدهای دارای لغزش مشخص گردید. و به تمام واحدهای همگن دارای لغزش کد یک و به واحدهای همگن بدون لغزش کد صفر داده شد. وجود یا عدم وجود زمین لغزش در واحدهای همگن به عنوان متغیر وابسته و درصد تراکم زمین لغزش در هر طبقه از عوامل ۹ گانه به عنوان عوامل مستقل وارد رگرسیون لجستیک در نرم افزار IDRISI شدند. رابطه رگرسیون لجستیک به صورت زیر می‌باشد (Ayalew and Yamagishi, ۲۰۰۵):

فرمول (۴)

$$Y = \text{Logit}(p) = \ln(p/(1-p)) = C_0 + C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$$

p احتمال متغیر مستقل Y ، نسبت احتمال یا عدم

خطر، عناصر مورد نظر شناخته و نقشه عناصر در معرض خطر تهیه گردید (جدول ۵ و شکل ۲) (اونق، ۱۳۸۹).

۴-۲- نقشه آسیب پذیری عناصر
برای محاسبه امتیاز آسیب‌پذیری عناصر، وجود خطر و شرایط هر یک از عناصر از لحاظ اقتصادی و اکولوژیکی حائز اهمیت می‌باشد. عنصری که در کلاس خطر بالاتری قرار دارند از اهمیت و امتیاز آسیب‌پذیری بیشتری برخوردار می‌باشند. در حوضه مورد مطالعه تأسیسات مهم صنعتی، اتوبان، مجتمع گردشگری و خانه‌های شهری وجود ندارد، اما ساختمانهای مهم از جمله بیمارستان، مدرسه و کارگاههای شیلات در این حوضه می‌باشند. راه‌های ارتباطی، اراضی کشاورزی و اماکن مسکونی نسبت به عناصر ذکر شده از اهمیت بالاتری برخوردارند. جاده ارتباطی شهرکرد - مسجد سلیمان از این حوضه عبور می‌کند، همچنین جاده‌های ارتباطی بین روستاها نیز حائز اهمیت می‌باشد (جدول ۱ و شکل ۳).

۴-۳- ارزیابی خسارت زمین لغزش
برای محاسبه عدد ریسک از معادله $(R = H \cdot E \cdot V)$ ارزش عددی عناصر خطر، آسیب‌پذیری عناصر و شدت خطر در هم ضرب، و نقشه نهایی براساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها در ۵ کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. پس از ضرب نقشه‌های خطر، عناصر در معرض خطر و آسیب‌پذیری عناصر نقشه خسارت کیفی زمین لغزش حوضه حاصل شد.

نمود. یعنی پیکسل‌هایی که احتمال تغییر در آن‌ها از حد آستانه بیشتر است، عدد یک و پیکسل‌هایی که در آن‌ها احتمال تغییر کمتر از حد آستانه است عدد صفر می‌گیرند و خروجی به صورت یک نقشه ارائه می‌شود. با مقایسه این نقشه با نقشه واقعی، نسبت پیکسل‌هایی که درست پیش بینی شده‌اند و آن‌هایی که غلط پیش بینی شده‌اند مشخص می‌گردد که می‌توان آن را در نمودار ROC به صورت یک نقطه نشان داد. با تغییر حد آستانه نقاط دیگری مشخص می‌شوند و با اتصال این نقاط، منحنی ROC ترسیم می‌شود. شاخص ROC برابر با سطح زیر این منحنی است (Pontius and Schneider, 2001).

۴- ارزیابی خسارت زمین لغزش

خسارت کلی زمین لغزش با معادله ریسک $R = H \cdot E \cdot V$ برآورد می‌شود که در آن R خسارت، H بزرگی خطر، E عناصر در معرض خطر و V درجه آسیب‌پذیری عناصر می‌باشد (زرره و همکاران، ۲۰۰۸). برای ارزیابی خسارت پلی‌گون‌های کوچکتر از 1×1 سانتی‌متر در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ (پلی‌گون‌های کوچکتر از ۱۰ هکتار) نقشه خطر مدل آماری دومتغیره وزنی AHP در پلی‌گون‌های بزرگتر مجاور ادغام شدند و در نهایت ۱۷۱ واحد با کلاس خطر متفاوت استخراج شد که این نقشه مبنای ارزیابی خسارت زمین لغزش در حوضه مورد مطالعه شد.

۴-۱- نقشه عناصر در معرض خطر

با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی و توپوگرافی و با فهرست‌برداری از عناصر در معرض خطر در هر واحد از نقشه کلاس

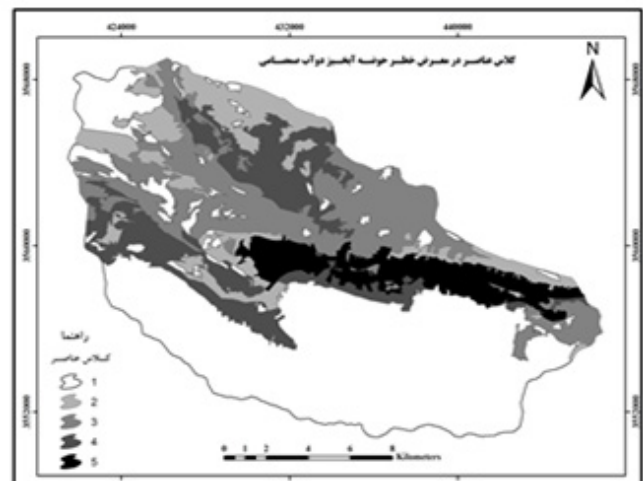
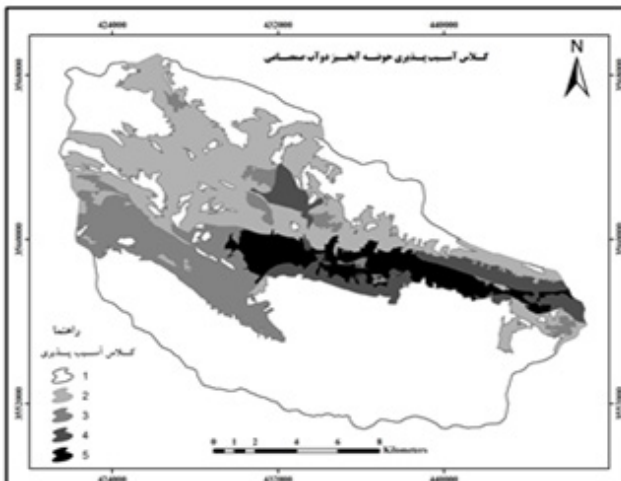
جدول ۱- امتیاز صفات عناصر در معرض خطر

عناصر	عامل	عدد آسیب
جاده آسفالته	دارای زیرسازی و با افزایش کلاس خطر با ضریب ۳ افزایش می‌یابد.	۱-۱۵
جاده خاکی و مالرو	با افزایش کلاس خطر با ضریب ۳ افزایش می‌یابد.	۱-۱۵
ساختمان‌های مهم و کارگاه شیلات	با افزایش کلاس خطر با ضریب ۴ افزایش می‌یابد.	۱-۲۰
اماکن مسکونی روستایی	با افزایش کلاس خطر با ضریب ۳ افزایش می‌یابد.	۱-۱۵
آبراهه	با افزایش درجه اهمیت (رتبه بالاتر) و با افزایش شدت خطر با ضریب ۲ افزایش می‌یابد.	۱-۱۰
زراعت دیم	با کاهش شیب و افزایش شدت خطر با ضریب ۲ افزایش می‌یابد.	۱-۱۰
زراعت آبی	کاربری باغ و افزایش شدت خطر با ضریب ۳ افزایش می‌یابد.	۱-۱۵

اقتباس از آرامی (۱۳۹۱)

کلاس آسیب پذیری	طبقات کیفی	عدد آسیب پذیری
I	خیلی کم	۰-۱۰
II	کم	۱۰-۲۵
III	متوسط	۲۵-۴۰
IV	زیاد	۴۰-۵۵
V	خیلی زیاد	۵۵-۸۵

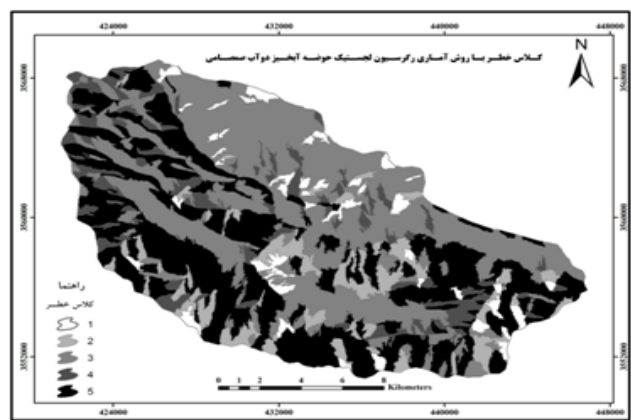
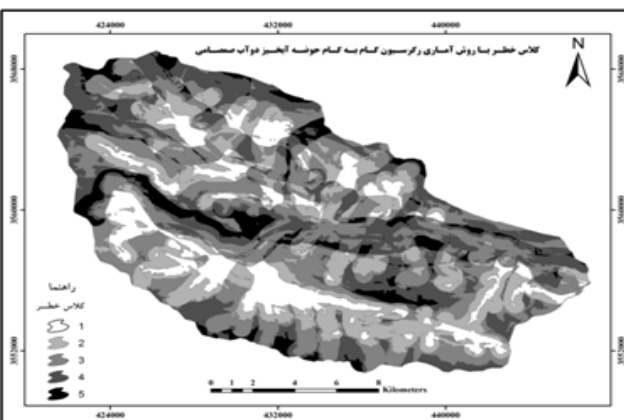
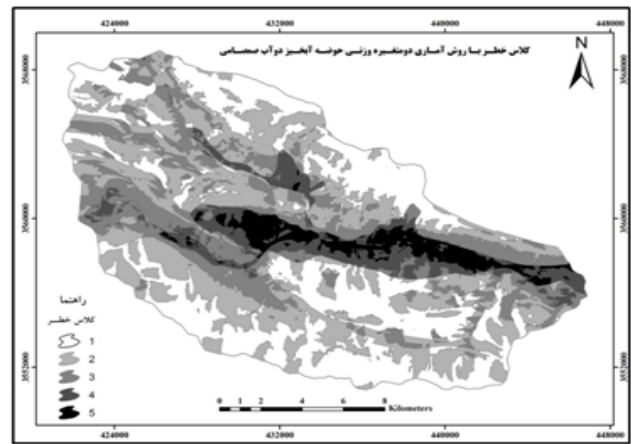
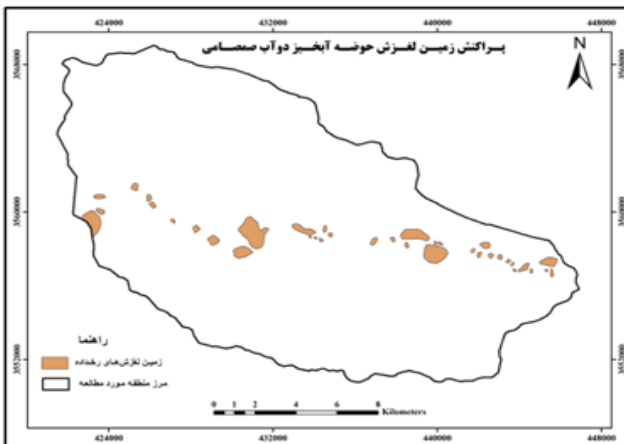
اقتباس از سیلاخوری (۱۳۹۱)



شکل ۲- نقشه‌های کلاس آسیب‌پذیری و عناصر در معرض خطر زمین لغزش حوضه آبخیز دو آب صمصامی

با تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش مشاهده گردید که در کل حوضه تعداد ۳۷ مورد زمین لغزش رخ داده است. مجموع سطح لغزش یافته در حوضه حدود ۶۳۵ هکتار می‌باشد. (شکل ۳).

نتایج
۱- نقشه پراکنش زمین لغزش حوضه و شدت خطر تهیه شده با مدل‌های آماری



شکل ۳- نقشه پراکنش زمین لغزش و نقشه‌های شدت خطر زمین لغزش تهیه شده با مدل‌های مختلف در حوضه آبخیز دو آب صمصامی

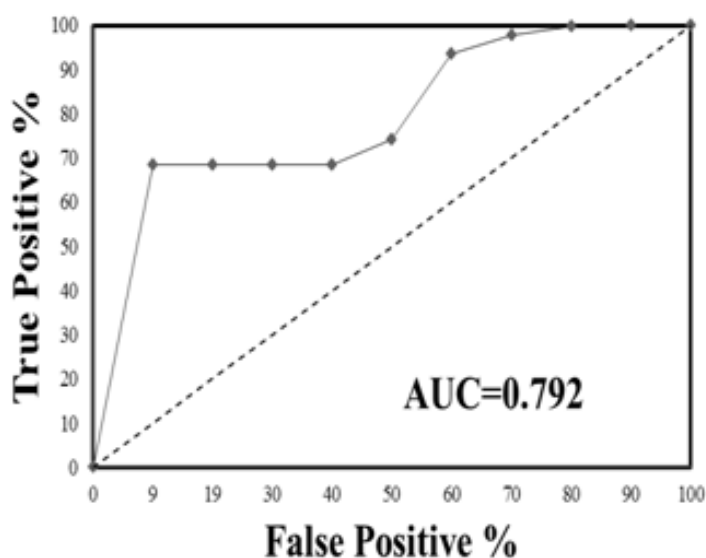
کیفیت ۰/۸۷ و رتبه ۱ به عنوان مدل برتر برای حوضه انتخاب و مدل‌های آماری چندمتغیره گام‌به‌گام و چندمتغیره لجیستیک در رتبه‌های ۲ و ۳ قرار گرفتند. همچنین مدل مذکور با عدد ROC ۰/۹۱۴ و رتبه ۱ باز هم بعنوان مدل برتر برای حوضه انتخاب و مدل‌های آماری چندمتغیره گام‌به‌گام و چندمتغیره لجیستیک در رتبه‌های ۲ و ۳ قرار می‌گیرند (شکل ۴) (جدول ۳).

۲- انتخاب مدل مناسب با استفاده از شاخص‌های Qs، Dr و ROC

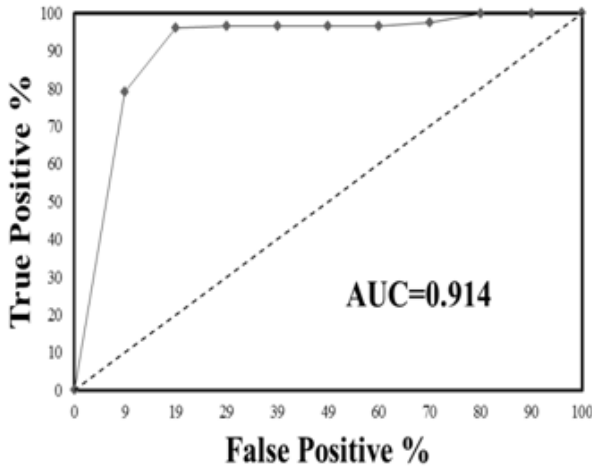
به منظور انتخاب مدل برتر از انطباق نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حاصل از ۳ مدل با نقشه پراکنش زمین‌لغزش حوضه، شاخص‌های Qs، Dr و ROC برای مدل‌ها و کلاس‌های خطر آن‌ها محاسبه شد. بنابراین مدل آماری دومتغیره وزنی AHP با عدد جمع

جدول ۳- تعیین شاخص‌های Dr و Qs برای مدل‌های مختلف خطر زمین‌لغزش حوضه آبخیز دوآب صمصامی

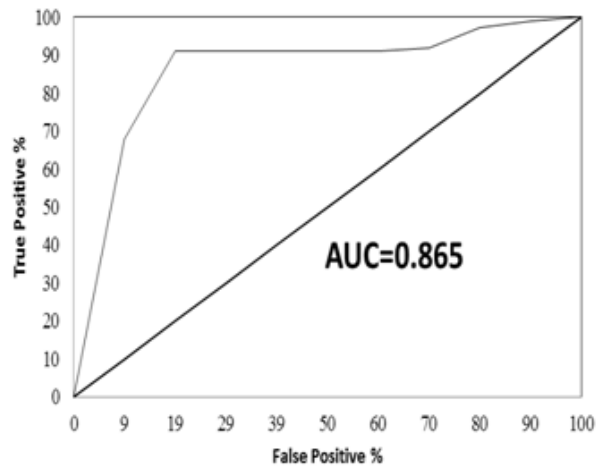
روش پهنه بندی	کلاس خطر	مساحت (ha)	سطح لغزش در کلاس	نسبت مساحت	نسبت تراکم (Dr)	جمع کیفیت (Qs)	رتبه کارایی مدل
دومتغیره وزنی	خیلی کم	۸۸۳۱/۱۴	۰/۹	۰/۰۰۰۱۰۲	۰/۰۰۰۳۵	۰/۸۷	۱
	کم	۹۸۹۷/۱۶	۱۸/۵۳	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۶۴		
	متوسط	۵۰۱۱/۷۷	۱۶۴/۸۴	۰/۰۳۲	۰/۱۱۳۶		
	زیاد	۲۲۲۰/۹۵	۱۱۹/۵۴	۰/۰۵۴	۰/۱۸۶		
چندمتغیره گام‌به‌گام	خیلی کم	۳۹۳۶/۳۵	۲/۲۵	۰/۰۰۰۵۷	۰/۰۰۴۲	۰/۷۲	۲
	کم	۶۵۹۴/۰۷	۲۱/۲	۰/۰۰۳۲	۰/۰۲۳		
	متوسط	۸۲۳۵/۷۴	۱۹۷/۴۲	۰/۰۲۴	۰/۱۷		
	زیاد	۶۴۲۵/۸۳	۲۳۵/۹۲	۰/۰۳۷	۰/۲۶		
چندمتغیره لجیستیک	خیلی کم	۱۳۷۱/۷۷	۰	۰	۰	۰/۴۹	۳
	کم	۲۳۷۷/۳۹	۲۲/۳۶	۰/۱۱	۰/۰۰۹		
	متوسط	۱۱۲۰۰/۶۳	۱۷۵/۳	۰/۱۸	۰/۰۱۵		
	زیاد	۲۴۵۱/۷۵	۴۹/۸۶	۰/۲۴	۰/۲۱		
	خیلی زیاد	۱۰۲۲۵/۴۳	۳۷۸/۴۸	۰/۴۵			



شکل ۴- منحنی ROC برای مدل آماری رگرسیون لجیستیک برای حوضه دوآب صمصامی



شکل ۶- منحنی ROC برای مدل دومتغیره وزنی AHP



شکل ۵- منحنی ROC برای مدل چندمتغیره گام به گام

۳- خسارت

در ۵ کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه بندی شد. در نهایت ۱۹ درصد از حوضه آبخیز دو آب صمصامی در کلاس زیاد و خیلی زیاد خسارت واقع شدند.

درصد مساحت واقع در کلاسهای عناصر در معرض خطر در جدول ۴ آورده شده است. نقشه ریسک براساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسلها

جدول ۴- کلاس های عناصر در معرض خطر در حوضه آبخیز دو آب صمصامی

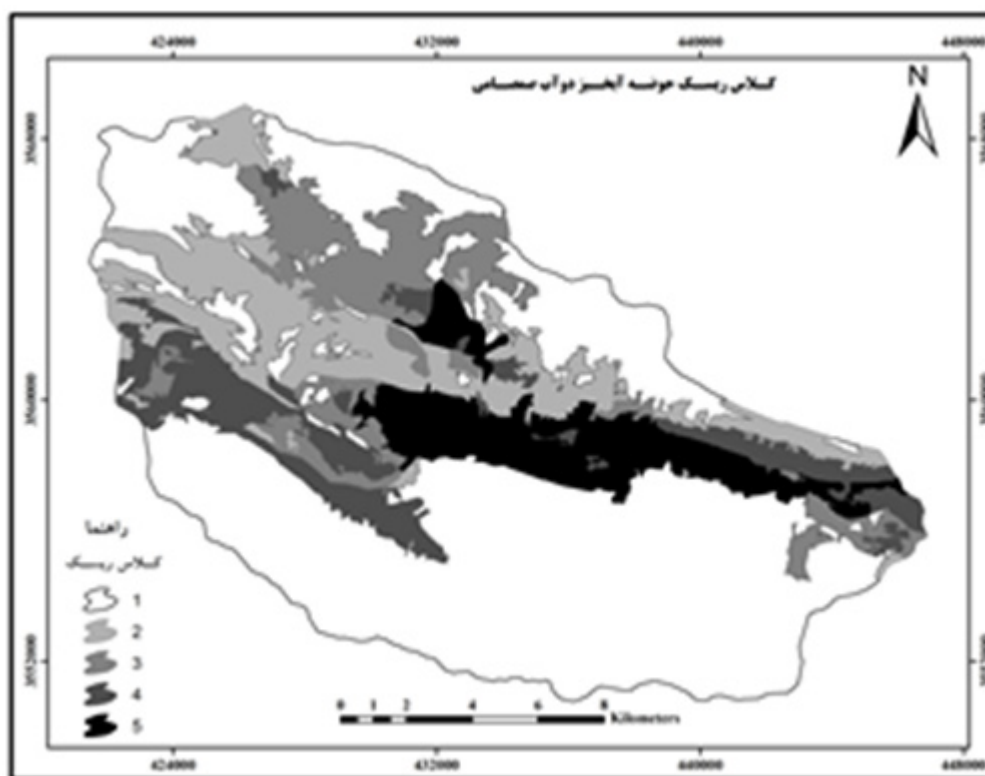
کلاس عناصر	طبقات کیفی	تعداد عنصر	مساحت (ha)	درصد مساحت
۱	خیلی کم	$1 \geq$	۱۲۴۶۳/۵۹	۴۵/۱۴
۲	کم	۲	۳۲۴۹/۵۹	۱۱/۷۷
۳	متوسط	۳	۵۶۳۲/۹۸	۲۰/۴
۴	زیاد	۴	۴۱۰۰/۵۷	۱۴/۸۵
۵	خیلی زیاد	۵	۲۱۶۰/۸۹	۷/۸۳
مجموع				۲۷۶۲۷/۱۹

طبقه بندی کلاسها اقتباس از کریمی سنگچینی (۱۳۸۹)

جدول ۵- توزیع فراوانی کلاس های ریسک زمین لغزش حوضه دو آب صمصامی

کلاس خسارت محاسباتی				
کلاس خسارت	طبقات کیفی	عدد خسارت	مساحت (ha)	درصد مساحت
۱	خیلی کم	۰-۶	۱۵۳۷۰/۸۲	۵۵/۶۸
۲	کم	۷-۱۲	۳۹۷۲/۱۲	۱۴/۳۹
۳	متوسط	۱۳-۳۰	۲۹۶۸/۹۷	۱۰/۷۵
۴	زیاد	۳۱-۶۰	۲۷۳۶/۱۷	۹/۹۱
۵	خیلی زیاد	۶۱-۱۲۵	۲۵۵۹/۵۵	۹/۲۶
مجموع				۲۷۶۲۷/۱۹

طبقه بندی کلاسها اقتباس از کریمی سنگچینی (۱۳۸۹)



شکل ۷- نقشه خسارت زمین لغزش حوضه آبخیز دو آب صمصامی

قرار گرفتند. مدل آماری تراکم سطح وزنی و رگرسیون چندمتغیره گام به گام بر پایه مساحت زمین لغزش تجزیه و تحلیل می‌شوند، در حالیکه مبنای مدل لجستیک وجود و عدم وجود زمین لغزش می‌باشد. در حوضه آبخیز دو آب صمصامی تعداد زمین لغزش‌ها کم اما زمین لغزش‌های با مساحت زیاد رخ داده است. پس مدل‌های آماری دومتغیره و گام به گام نتایج بهتری را نشان دادند. نتیجه این تحقیق با Esmaili و Ahmadi (۲۰۰۳) در حوضه گرمی چای، شیرانی و همکاران (۱۳۸۵) در سمیرم، Yalcin (۲۰۰۸) در اردسن ترکیه، Yilmaz (۲۰۰۹) در ناحیه تاکات ترکیه و Kelarestaghi و Ahmadi (۲۰۰۹) در شمال ایران هم راستا می‌باشد و با نتایج Ayalew و Yamagishi (۲۰۰۵) در ژاپن مصفايي (۱۳۸۵) در الموت قزوین و Nandi و Shakoor (۲۰۰۹) در امریکا همخوانی ندارد. این محققان، مدل آماری رگرسیون لجستیک را مدل مناسب برای حوضه مورد مطالعه خود معرفی کردند. با وجود اینکه در روش‌های آماری چندمتغیره تحلیل همزمان اثر تعدادی متغیر مستقل بر متغیر وابسته فضایی فراهم می‌گردد و از آنجا که پدیده‌هایی نظیر زمین لغزش، ناشی از عملکرد همزمان و یا اثر متفاوت چندمتغیر می‌باشند، ولی مشاهده می‌گردد که میزان QS این مدل‌ها کمتر از QS مدل آماری دومتغیره تراکم سطح وزن دهی با AHP شدند، شاید این عامل را باید در اعمال نظر کارشناسی در وزن دهی به عوامل مختلف با AHP جستجو کرد. این مدل نیمه کمی می‌باشد و

بحث و نتیجه‌گیری

آنچه از نقشه پراکنش زمین لغزش استنباط می‌شود این است که زمین لغزش‌های رخ داده در این حوضه در یک امتداد و در مرکز حوضه رخ داده‌اند، رودخانه دو آب صمصامی و جاده ارتباطی شهرکرد به مسجد سلیمان از مرکز حوضه عبور می‌کنند. همچنین این قسمت از حوضه با کاربری‌های کشاورزی آبی، مسکونی و دیم پوشیده شده است. می‌توان از پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز دو آب صمصامی نتیجه گرفت که وقوع زمین لغزش‌های با مساحت بزرگ بیشتر به عوامل زمین-شناسی، شیب، جهت، فاصله از گسل و کاربری اراضی بستگی دارد (مدل آماری دومتغیره وزنی AHP)، این در حالی است که (مدل رگرسیون لجستیک) وقوع یا عدم وقوع زمین لغزش به عوامل فاصله از جاده، فاصله از آبراهه و کاربری اراضی بستگی دارد و بیشترین تعداد زمین لغزش نزدیک جاده و آبراهه و در کاربری کشاورزی وقوع یافتند. این نتایج با تحقیقات Esmaili و Ahmadi (۲۰۰۳)، Yilmaz (۲۰۰۹) و Kelarestaghi و Ahmadi (۲۰۰۹) همخوانی دارند.

مدل آماری دومتغیره تراکم سطح وزنی با AHP با QS برابر با ۰/۸۷ به عنوان مدل برتر برای حوضه برگزیده و مدل‌های رگرسیون چندمتغیره گام به گام با QS برابر با ۰/۷۲ و رگرسیون چندمتغیره لجستیک با QS برابر با ۰/۴۹ به ترتیب در اولویت بعدی

۲. آرامی، ع. (۱۳۹۱)، ارزیابی خطر (مدل IMDPA)، خسارت و تدوین برنامه مدیریت بیابان در منطقه نیمه خشک آق بند، استان گلستان، ایران، پایاننامه کارشناسی ارشد، مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۸۰ ص.

۳. جمشیدی، م. (۱۳۸۸). پهنه‌بندی خطر و خسارت و برنامه مدیریتی تپه‌های ماسه‌ای ارگ خارتوران، استان سمنان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۲۸ ص.

۴. سیلاخوری، ا. (۱۳۹۱). ارزیابی خطر (مقایسه مدل های MICD و IMDPA)، خسارت و تدوین برنامه مدیریتی سبزار، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۹۴ ص.

۵. شادفر، ص.، یمانی، م.، قدوسی، ج.، و غیومیان، ج. (۱۳۸۶). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز چالکروند تنکابن)، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۵، صفحه ۱۲۶-۱۱۹.

۶. شیرانی، ک.، چاوشی بروجنی، س.، غیومیان، ج. (۱۳۸۵). بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در پادانای علیای سمیرم، مجله پژوهشی علوم پایه دانشگاه اصفهان، شماره ۲۳، صفحه ۳۸-۲۳.

۷. کریمی سنگچینی، ا.، اوق، م.، سعدالدین، ا.، و نجفی نژاد، ع. (۱۳۸۹). ارزیابی و مقایسه مدل آماری دومتغیره در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبخیز چهل‌چای، گلستان. چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب، دانشگاه تربیت مدرس، ۸ ص.

۸. کلارستاقی، ع.، حبیب نژاد، م.، و احمدی، ح. (۱۳۸۶). مطالعه وقوع زمین‌لغزش‌ها در ارتباط با تغییر کاربری‌اراضی و جاده‌سازی مطالعه موردی حوضه آبخیز تجن، ساری، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۲، صفحه ۹۱-۸۱.

۹. مصفايي، ج. (۱۳۸۵). مقایسه کارایی مدل‌های آماری و تجربی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز الموت و ارائه برنامه مدیریت خطر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۲۰۰ ص.

۱۰. نظری نژاد، م. (۱۳۸۹). ارزیابی کارایی مدل‌های ICD و ESAs جهت پهنه‌بندی و تدوین برنامه مدیریت خطر بیابان‌زایی (مطالعه موردی: منطقه رضآباد خارتوران، استان سمنان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۵۷ ص.

11. Ayalew, L. and Yamagishi, H. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslidesusceptibilitymappinginthekakuda-Yahiko Mountains,Central Japan.GEOMORPHOLOGY, 31-15:65.

12. Clark, W.A.V., Hosking, P.L. 1986. Statistical methods for geographers. Mathematics, 518p.

13. Crozier, M. J., and Glade, T. 2005. Landslide hazard and risk: issues, concepts and approach. In: Glade,

تلفیقی از داده‌های کمی و نظرات کارشناسان متخصص می‌باشد که اگر کارشناسان خبره به کار گرفته شوند و این نظرات به خوبی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد، می‌تواند نتایج قابل قبولی را ارائه دهد.

پس از پهنه‌بندی با مدل آماری دومتغیره تراکم سطح وزنی AHP، ۱۴ درصد از آبخیز دوآب صمصامی (بیشتر در قسمت‌های مرکزی و خروجی حوضه) در طبقات خطر زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شدند. می‌توان از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز دوآب صمصامی نتیجه گرفت که وقوع زمین‌لغزش‌های با مساحت بزرگتر به عوامل زمین‌شناسی، شیب، جهت، فاصله از گسل و کاربری اراضی بستگی دارد (آماري دومتغیره تراکم سطح وزنی AHP)، این در حالی است که وقوع یا عدم وقوع زمین‌لغزش (رگرسیون لجیستیک) به عوامل فاصله از جاده، فاصله از آبراهه و کاربری اراضی بستگی دارد و تعداد بیشتری زمین‌لغزش نزدیک جاده و آبراهه و در کاربری کشاورزی وقوع یافتند.

عناصر در معرض خطر براساس اماکن و تاسیسات زیربنایی موجود در حوضه تعیین گردید. براین اساس، جاده، اماکن مسکونی، ساختمان‌های مهم و شیلات، آبراهه و زمین‌های کشاورزی به عنوان عناصر در معرض خطر در این تحقیق انتخاب شدند. اوق (۱۳۸۸) در آبخیز زیارت گرگان جاده‌های ارتباطی، شبکه برق، خانه‌های مسکونی، مجتمع گردشگری، منابع آب و تراکم جمعیت، Zezere و همکاران (۲۰۰۸) در شمال لیسبون پرتغال، راه و ساختمان و Enrique و همکاران (۲۰۰۸) در کوانتامو کوبا، خانه‌ها، مدارس، قبرستان‌ها و جاده‌ها را به عنوان عناصر در معرض خطر انتخاب نمودند. ۲۳ درصد از حوضه آبخیز دوآب صمصامی در کلاس زیاد و خیلی‌زیاد عناصر در معرض خطر واقع شدند. این در حالی است که فقط ۱۳ درصد از این حوضه در کلاس زیاد و خیلی‌زیاد آسیب‌پذیری خطر زمین‌لغزش قرار گرفتند. دلیل آن عدم وجود تاسیسات مهم، کارخانجات بزرگ، اتوبان، سازه‌های مهم و مجتمع تفریحی بزرگ در این حوضه کوهستانی می‌باشد. که در مدل آسیب‌پذیری تدبیین شده در این تحقیق امتیاز پایین‌تری را گرفته‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله در قالب طرح پژوهشی، با همکاری و هزینه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری انجام شده است. مولفین بر خود لازم می‌دانند تا از همکاری‌های مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری و وزارت جهاد کشاورزی در کلیه مراحل اجرای طرح صمیمانه سپاسگزاری نمایند.

منابع مورد استفاده

۱. اوق، م. (۱۳۸۸). پهنه‌بندی خطر و خسارت زمین‌لغزش آبخیز زیارت گرگان، طرح پژوهشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۲۰ ص.

