

ارزیابی حساسیت زمین لغزش در حوضه‌های کوهستانی نیمه خشک، با استفاده از روش‌های آماری و مدل وزنی شاهد (مطالعه موردی: حوضه زهکشی سعیدآباد چای - شمال غرب ایران)

چکیده

هدف این پژوهش، ارزیابی و ترسیم نقشه حساسیت زمین لغزش در یکی از حوضه‌های کوهستانی مناطق نیمه خشک شمال غرب کشور؛ یعنی حوضه زهکشی سعیدآباد چای در دامنه شمالی توده آتشفشانی سهند است. برای این منظور، از روش آماری دو متغیره (BSA)، مدل وزنی شاهد (WEO)، سیستم اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزار Arc/View استفاده شد. نتایج این ارزیابی نشان می‌دهد که در کل، از بین عوامل علتی مورد نظر، عامل شیب با ۳/۹۶۵ $\sum fW =$ ، کاربری اراضی ۰/۷۵۹ $\sum fW =$ ، فاصله از جاده ۱/۴۹۸ $\sum fW =$ ، سنگ‌شناسی ۰/۴۲۴ $\sum fW =$ ، بارش ۰/۳۸۸ $\sum fW =$ و فاصله از روستا ۰/۱۶۱ $\sum fW =$ با وقوع زمین-لغزش‌ها همبستگی مثبت دارند و عوامل فاصله از گسل و فاصله از آبراهه به ترتیب با وزن-های ۰/۱۰۰۶ $\sum fW =$ و ۰/۳۲۵ $\sum fW =$ دارای رابطه معکوس با ناپایداری دامنه‌های حوضه مورد مطالعه هستند. براساس مدل وزنی شاهد، ۴۳/۱۱۶ درصد مساحت حوضه زهکشی سعیدآباد چای از نظر حساسیت به زمین لغزش در پهنه‌های متوسط تا بسیار زیاد قرار دارد. شاخص (Li) مناسب بودن مدل برازش داده را نشان می‌دهد. بر مبنای این شاخص، در حدود ۹۲ درصد زمین لغزش‌ها در محدوده‌های با حساسیت متوسط تا خیلی زیاد اتفاق افتاده‌اند.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، ارزیابی حساسیت، سیستم اطلاعات جغرافیایی، روش‌های آماری، مدل وزنی شاهد، حوضه زهکشی سعیدآباد چای، شمال کوهستان سهند.

مقدمه

زمین لغزش‌ها فرآیندهای طبیعی زمین‌شناسی هستند که ناهمواری‌های سطح زمین را متحول کرده، دوباره شکل می‌دهند (Gorsevski et al., ۲۰۰۶: ۱۷۹). طبق نظر وارنر (۱۹۸۴)، خطر زمین لغزش در یک منطقه خاص می‌تواند بر حسب احتمال وقوع یک زمین لغزش بالقوه خطرناک زمانی مشخص ارزیابی شود. متغیرهای اصلی و اتفاقی^۱ در بروز خطر زمین لغزش نقش دارند. متغیرهای اصلی شامل زمین‌شناسی سنگ بستر، شرایط خاک (نوع و عمق خاک)، ارتفاع، توپوگرافی (شیب، جهت و انحنای شیب)، کاربری زمین و شبکه‌های زهکشی، تعیین کننده خطر هستند. متغیرهای اتفاقی نیز بارش‌های شدید، زمین لرزه و فعالیت‌های آتشفشانی هستند (Dahal et al., ۲۰۰۸: ۴۹۶). امروزه انسان با تغییر کاربری اراضی و گسترش شبکه‌های ارتباطی، حساسیت وقوع زمین لغزش‌ها را در سطح کره زمین، بویژه در نواحی کوهستانی تشدید کرده است (Gorsevski et al., ۲۰۰۶: ۱۷۹). با بروز زمین لغزش‌ها هزینه‌ها و خسارت‌های زیادی به بار می‌آید؛ به طوری که در ایالات متحده آمریکا سالانه به طور متوسط ۱/۵ میلیارد دلار، در ژاپن ۲ میلیارد دلار و در ایتالیا ۲/۶ میلیارد دلار برای این پدیده هزینه می‌شود (Blöchl and Braun, ۲۰۰۵: ۳۹۰). در قرن بیستم، قاره آسیا بیشترین حادثه وقوع زمین لغزش (۲۲۰ مورد گزارش شده) را به خود اختصاص داده است. قاره آمریکا بیشترین تعداد کشته و مجروحان را داشته (بیش از ۲۵۰۰۰ نفر) و اروپا بالاترین میزان خسارت را تجربه کرده است (CRED, ۲۰۰۸).

ارزیابی خطر، اولین مرحله از مدیریت و کاهش خطر است. ارزیابی خطر زمین لغزش^۲ احتمال وقوع زمین لغزش‌ها را در یک مکان با یک دوره برگشت برآورد می‌کند (Van Westen et al., ۲۰۰۶: ۱۶۸). در ارزیابی خطر زمین لغزش^۳ به لحاظ اهمیت بعد زمان، اطلاع از زمین لغزش‌های قدیمی مهم هستند. از آنجایی که دستیابی به فراوانی تعداد دقیق زمین

۱- Extrinsic

۲- Landslide Hazard Assessment (LHA)

۳- در خطر زمین لغزش مفاهیم موقعیت مکانی زمان برگشت و بزرگی عناصر کلیدی در پیش بینی وقوع زمین لغزش هستند (Zeze et al., ۲۰۰۸: ۴۶۸).

لغزش‌ها به علت عدم ثبت تمامی زمین لغزش‌های قدیمی امکان‌پذیر نیست، بنابراین، دانشمندان به ارزیابی حساسیت زمین لغزش^۴ که ارزیابی نسبی خطر بوده، به بعد زمانی زمین-لغزش اشاره‌ای ندارد، می‌پردازند (Soriso Valvo, ۲۰۰۲: ۸۰; Thiery et al., ۲۰۰۷: ۳۹). عنصر مکانی خطر زمین لغزش (حساسیت) با فرض اینکه زمین لغزش‌های آینده، تحت همان شرایط و عواملی که زمین لغزش‌های کنونی و گذشته به وجود آمده‌اند، ایجاد خواهند شد، به ارزیابی خطر می‌پردازد (Carrara et al., ۱۹۹۹: ۱۱۸; Zezere et al., ۲۰۰۸: ۴۶۸).

نقشه‌های حساسیت زمین لغزش می‌توانند از طریق تفسیر مستقیم بر روی زمین و روش‌های کیفی تهیه شوند. روش‌های کیفی به اظهار نظر کارشناسی و تخصصی بستگی دارند. معمول‌ترین نوع روش کیفی، استفاده از ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی زمین لغزش‌های موجود در شناسایی نواحی مستعد وقوع گسیختگی است (Ayalew and Yamagishi, ۲۰۰۵: ۱۶). دیدگاه‌های غیر مستقیم نیز براساس الگاریتم‌های آماری، نقشه‌های حساسیت زمین لغزش را ترسیم می‌کنند (Thiery et al., ۲۰۰۷: ۳۹).

تحلیل‌های آماری از روش‌های غیرمستقیم و کمی در ترسیم نقشه حساسیت زمین لغزش‌ها هستند و تحلیل آماری دو متغیره^۵، نقشه زمین لغزش‌های موجود را با نقشه عوامل موثر، بر حسب درجه مطابقت کلاس‌ها با نقش آنها در ایجاد زمین لغزش‌ها مقایسه می‌کند (Ayalew and Yamagishi, ۲۰۰۵: ۱۷). در دهه گذشته سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک‌های سنجش از دور، تهیه و ترسیم نقشه‌های حساسیت زمین لغزش را تسهیل کرده‌اند (Nefeslioglu et al., ۲۰۰۸: ۴۰۲).

هدف این مطالعه، ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، روش آماری دو متغیره (BSA) و مدل وزنی شاهد (WOE)^۶ است. برای مدل سازی حساسیت زمین لغزش، این روش برای هر لایه عاملی براساس وجود یا فقدان زمین لغزش در منطقه وزن محاسبه می‌کند (Dahal et al., ۲۰۰۸: ۴۹۹). مدل وزنی

۴- Landslide Susceptibility Assessment (LSA)

۵- Bivariate Statistical Analysis (BSA)

۶- Weight – Of- Evidence (WOE)

شاهد در ترسیم نقشه حساسیت زمین لغزش در نواحی مختلف جهان به وسیله دانشمندان متعدد مانند Lee and Choi, Sharma and Kumar (۲۰۰۴), Lee et al (۲۰۰۲) (۲۰۰۸) (۲۰۰۷) Neuhauser and Tehorst استفاده شده است.

در نواحی مختلف کشور ایران، مطالعات زیادی در زمینه ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش صورت گرفته است. برای مثال، غفوری و آشوری (۱۳۷۶: ۹۰-۱۰۱) به بررسی خطر زمین لغزش در شمال خراسان پرداخته‌اند. شادفر و همکاران (۱۳۸۴: ۱-۱۰) خطر زمین لغزش را در حوضه لاگت‌راشان تنکابن با استفاده از مدل LNRE پهنه‌بندی کردند. پورقاسمی و همکاران (۱۳۸۶: ۱-۹) نقشه خطر احتمالی زمین لغزش را با استفاده از مدل نسبت فراوانی و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه آبخیز صفارود (غرب استان مازندران) تهیه کردند. مقیمی و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از مدل LIM عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های دامنه‌های شمالی آلاداغ را ارزیابی کردند.

در توده آتشفشانی سهند با توجه به مطالعات بنیادی ارزشمندی، مانند خیام (۱۳۶۹) و رضایی مقدم (۱۳۷۰) که در زمینه تحول ژئومورفولوژی کوهستان سهند و حوضه زهکشی سعیدآباد چای انجام شده، خطر زمین لغزش و حرکات توده‌ای نیز در اغلب دره‌های آن بررسی شده‌اند. برای مثال، کرمی و همکاران (۱۳۸۵: ۱۲۵-۱۴۵) در بررسی مخاطرات ژئومورفولوژیک کوهستان سهند، خطر زمین لغزش را در حوضه ليقوان چای پهنه‌بندی نمودند.

این مطالعه به ارزیابی و ترسیم نقشه حساسیت زمین لغزش در حوضه زهکشی سعیدآباد چای در شمال توده آتشفشانی سهند می‌پردازد. این حوضه به علت دارا بودن موقعیت مکانی، وضعیت توپوگرافی و ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، وقوع انواع زمین لغزش‌ها را تجربه کرده است. علاوه بر اینکه حوضه زهکشی سعیدآباد چای در مسیر بزرگراه تبریز - تهران قرار دارد، از مناطق بیلاقی شمال کوهستان سهند است و با کلانشهر تبریز فاصله چندانی ندارد. از این رو، بازدید گردشگران از این منطقه علاوه بر گسترش رفت و آمدها،

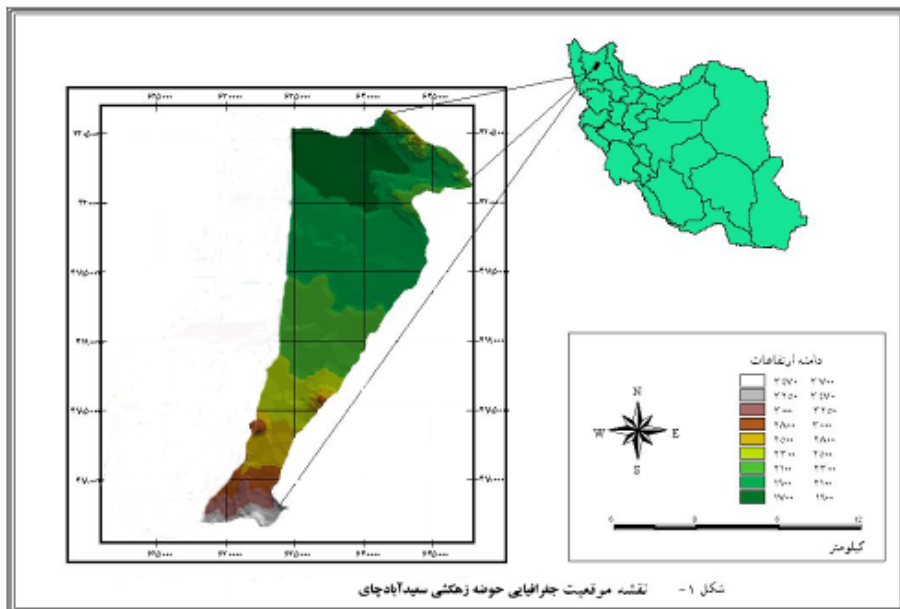
موجب ساخت و توسعه شبکه‌های ارتباطی جدید و احداث خانه‌های دوم^۷ در آن نیز شده است. ساخت خانه‌های دوم به حدی در این حوضه رونق یافته است که بسیاری از ساکنان محلی که به شهرهای اطراف مهاجرت کرده‌اند، با تعمیر خانه‌های خود مدتی را به صورت فصلی یا هفتگی در روستاهای این منطقه سپری می‌کنند. بنابراین، با افزایش فعالیت‌های انسانی که با تغییر الگوهای کاربری زمین همراه است و تأثیر عوامل طبیعی در بروز ناپایداری‌ها، لزوم ارزیابی حساسیت زمین لغزش در این حوضه ضروری به نظر می‌رسد.

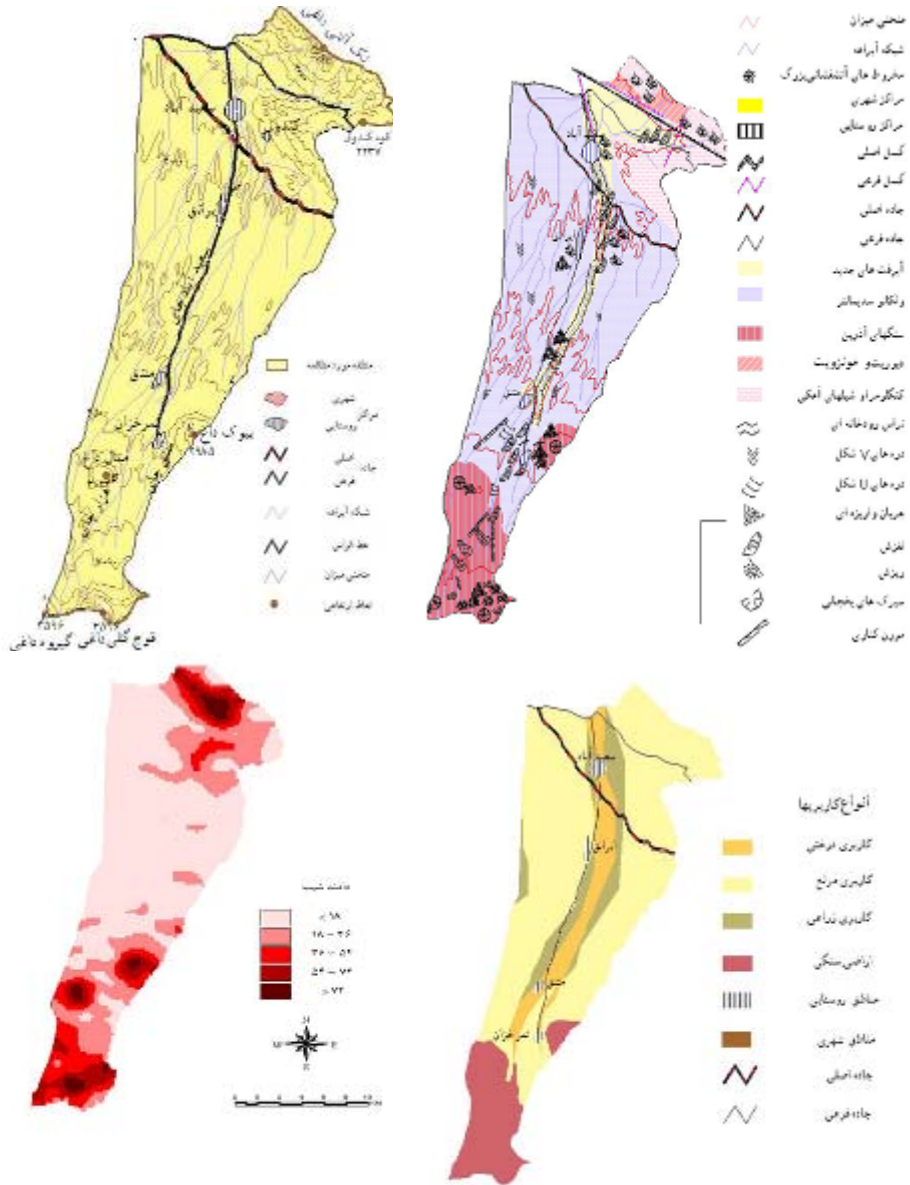
موقعیت جغرافیایی حوضه سعیدآباد چای

حوضه سعیدآباد چای با مختصات جغرافیایی " ۴۷' ۴۰" ۴۶° - " ۵۸' ۲۸" ۴۶° طول شرقی و " ۲۹' ۱' ۳۸° - " ۳' ۴۷' ۳۷° عرض شمالی، در دامنه شمالی کوهستان سهند واقع شده است (شکل ۱). حداکثر ارتفاع حوضه در کوهستان جنوب در کوه قوچ گلی‌داغ ۳۶۹۵ متر است. از قله‌های منفرد این واحد کوهستانی می‌توان بیوک‌داغ (۲۹۸۵ متر) و متال‌داغ (۳۰۲۴ متر) را نام برد. این واحد کوهستانی از گدازه‌های داسیتی، ریوداسیتی و برش‌های آندزیتی به سن میوپلیوسن تشکیل شده است. سنگ‌های داسیتی در مخروط‌های منفرد، مانند متال‌داغی برونزد دارند و گدازه‌های بیوک‌داغ نیز از نوع آندزیتی هستند. رودهای هزارچای و متنق‌چای از ارتفاعات این واحد کوهستانی سرچشمه می‌گیرند، در روستای متنق به هم پیوسته و با نام سعیدآبادچای به سمت شمال جاری می‌شوند. واحد کوهستانی شمال‌شرقی با ارتفاع ۲۶۵۲ متر به نام تک‌آلتی‌داغ، به صورت ستیغی از شمال‌غرب به جنوب‌شرقی کشیده شده است (شکل ۲). ناهمواری تک‌آلتی‌داغ و کوه کندول از سنگ‌های رسوبی شامل شیل‌های آهکی متعلق به کرتاسه فوقانی تشکیل شده که در بین لایه‌های ضخیم شیل‌های آهکی و لایه‌های نازک ماسه‌سنگی قرار دارند. همچنین، سنگ‌های دیوریتی و مونزونیتی اولیگوسن در وسعتی اندک در واحد کوهستانی شمال‌شرقی دیده می‌شوند.

۱- خانه‌های دوم (Second House) مساکنی هستند که به طور موقت و در مدتی از سال برای مقاصد تفریحی و فراغتی استفاده می‌شوند (رضوانی و صفایی، ۱۳۸۴: ۱۱۰).

کندولچای از ارتفاعات شمال شرقی سرچشمه گرفته و به سعیدآبادچای می‌ریزد. واحد فلات مابین کوهستان جنوب و دشت سعیدآباد، زمین‌های هموار و وسیعی را شامل می‌شود که به شعاع ده‌ها کیلومتر از توده‌های آذرآوری و ولکانوسدیمانترها تشکیل شده است (رضایی مقدم، ۱۳۷۰).





شکل ۲- تعدادی از نقشه‌های موضوعی سعیدآباد چای مورد استفاده برای ارزیابی حساسیت زمین- لغزش

مواد و روش‌ها

مرحله اصلی در ترسیم نقشه حساسیت زمین‌لغزش، جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز و ایجاد بانک اطلاعاتی براساس داده‌های موضوعی است. برای تهیه داده‌های موضوعی از نقشه‌های توپوگرافی منطقه، نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی مکرر برای تطبیق داده‌ها با واقعیات زمینی استفاده شد (جدول ۱).

نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه سعیدآباد چای با استفاده از نقشه ژئومورفولوژی (رضایی مقدم، ۱۳۷۰) و زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی مکرر در سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۶ ترسیم شد. در بازدیدهای میدانی، زمین‌لغزش‌های قابل دسترس در حوضه مورد مطالعه برداشت و با نقشه ژئومورفولوژی موجود و عکس‌های هوایی مطابقت داده شدند.

جدول ۱- داده‌های موضوعی مورد استفاده و منابع تهیه آنها در این مطالعه

موضوعات	نقشه	منابع تهیه
زمین‌لغزش‌های موجود	نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها	نقشه ژئومورفولوژی (۱:۱۰۰۰۰۰) - عکس هوایی (۱:۲۰۰۰۰) - بازدیدهای میدانی
توپوگرافی	نقشه شیب و مدل رقومی ارتفاع	نقشه توپوگرافی (۱:۵۰۰۰۰)
زمین‌شناسی	نقشه واحدهای لیتولوژی و نقشه گسل	نقشه زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰) - عکس هوایی (۱:۲۰۰۰۰) - بازدیدهای میدانی
هیدرولوژی	نقشه فاصله از آبراهه‌ها	نقشه توپوگرافی (۱:۵۰۰۰۰)
اقلیمی	نقشه منحنی‌های همباران	بارش سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک و هواشناسی منطقه
کاربری زمین	نقشه کاربری	نقشه کاربری اراضی - نقشه توپوگرافی (۱:۵۰۰۰۰) (۱) - بازدیدهای میدانی
انسانی	نقشه فاصله از جاده نقشه فاصله از روستا	نقشه توپوگرافی (۱:۵۰۰۰۰) (۱) - بازدیدهای میدانی

در این مطالعه هشت لایه داده‌های موضوعی، شامل: واحدهای لیتولوژی، کاربری زمین، شیب، بارش، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از روستا و فاصله از جاده تهیه و نقشه‌های موضوعی در محیط GIS به فرمت رستری با اندازه سلولی ۲۵×۲۵ متر تبدیل شدند.

ترسیم نقشه حساسیت زمین لغزش براساس مدل وزنی شاهد

این روش برای مدل سازی حساسیت زمین لغزش در یک منطقه، برای هر عامل علتی^۸ در صورت وجود یا عدم زمین لغزش در محل، وزنی را محاسبه می‌کند. تعیین وزن برای هر عامل از طریق ترکیب هر کدام از لایه‌های عاملی با نقشه پراکنش زمین لغزش و با استفاده از روش آماری دومتغیره انجام می‌شود. سپس برای هر عامل با استفاده از معادله (۱) وزن محاسبه می‌شود. در این مدل، مقادیر وزنی معمولاً دامنه‌ای بین اعداد مثبت و منفی دارند که بیانگر نقش بیشتر و کمتر متغیر در ایجاد زمین لغزش است.

(معادله ۱)

$$w_i^+ = \log_e \frac{\frac{Npix_1}{Npix_1 + Npix_2}}{\frac{Npix_3}{Npix_3 + Npix_4}} \quad w_i^- = \log_e \frac{\frac{Npix_2}{Npix_1 + Npix_2}}{\frac{Npix_4}{Npix_3 + Npix_4}}$$

$Npix_1$ تعداد پیکسل‌های عامل بالقوه علتی زمین لغزش و زمین لغزش

$Npix_2$ وجود زمین لغزش‌ها و عدم عامل بالقوه علتی زمین لغزش

$Npix_3$ وجود عامل بالقوه علتی زمین لغزش و عدم زمین لغزش

$Npix_4$ عدم عامل بالقوه علتی زمین لغزش و زمین لغزش

وزن مثبت (W_i^+) نشان می‌دهد که عامل علتی در محل زمین لغزش وجود دارد و بزرگی

این وزن، همبستگی بین آن عامل و وقوع زمین لغزش را بیان می‌کند، اما وزن منفی (W_i^-)

بیانگر عدم عامل مورد نظر در محل بروز زمین لغزش بوده، سطح منفی همبستگی را نشان

۸- Causative Factor

می‌دهد. اختلاف بین دو وزن مثبت و منفی (W_f)، بزرگی ارتباط مکانی عامل علتی و زمین- لغزش را نشان می‌دهد. معادله (۲)

$$wf = (wi^+ - wi^-)$$

برای به دست آوردن وزن نهایی هر عامل، وزن‌های مثبت و منفی کلاس‌های متعدد هر عامل با هم جمع می‌شوند. اگر وزن عاملی مثبت باشد، در وقوع زمین‌لغزش نقش دارد و در صورتی که وزن عامل منفی باشد، بیانگر عدم اثر عامل در بروز زمین‌لغزش است. برخی از عوامل هم تأثیر ناچیزی در وقوع زمین‌لغزش دارند و وزن آنها صفر یا نزدیک به صفر است. با وارد کردن وزن‌ها در محیط GIS بر روی نقشه‌های موضوعی، نقشه‌های موضوعی وزنی به دست می‌آیند. از جمع این نقشه‌ها، شاخص نقشه حساسیت زمین‌لغزش^۹ محاسبه می‌شود (معادله ۳).

$$LSI = W_f Stpoe + W_f Rain + W_f Lito + W_f Land + W_f D-Road + W_f D-Channel + W_f D-Rural + W_f D-Fault$$

نقشه وزنی نهایی که از جمع جبری نقشه‌های موضوعی وزنی به دست آمده، با توجه به دامنه تغییرات وزن پیکسل‌ها در منحنی هیستوگرام، در پنج طبقه تقسیم و نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در حوضه سعیدآباد چای در پهنه‌های با حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم حساسیت و بسیار کم حساسیت ترسیم شد. برای اطمینان از صحت نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش از شاخص (Li) استفاده شد. این شاخص برای ارزیابی دقت نقشه پهنه‌بندی براساس پراکنش زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در هر پهنه خطر محاسبه شد. معادله (۳)

$$Li = \frac{Ai / Si}{\sum_i^n Ai / Si}$$

Li نواحی متأثر شده از زمین‌لغزش در هر کلاس خطر، Ai مساحت زمین‌لغزش در هر پهنه خطر، Si مساحت پهنه خطر و n تعداد طبقات مربوط به پهنه‌های خطر زمین‌لغزش است. صحت پهنه‌بندی وقتی تأیید می‌شود که میزان (Li) در پهنه‌های با حساسیت بسیار

۹- Landslide Suseptibility Index (LSI)

زیاد و زیاد، بیشتر باشد. به عبارت دیگر، تراکم زمین لغزش‌ها در نواحی با حساسیت متوسط تا بسیار زیاد بیشتر باشد.

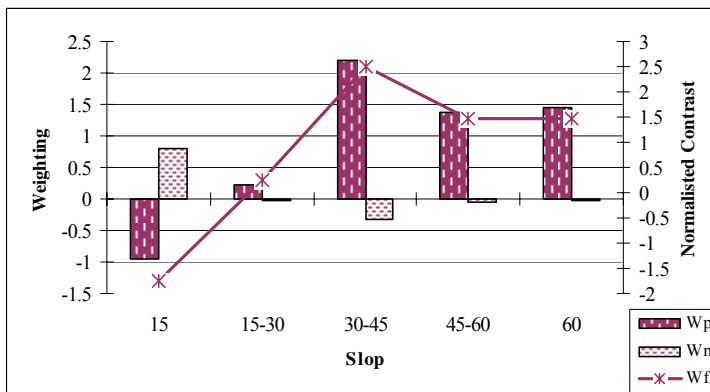
یافته‌های پژوهش

عامل شیب: نتایج محاسبه وزن W_f براساس مدل (WOE) برای کلاس‌های مختلف هر لایه موضوعی شیب در حوضه سعیدآباد چای، نشان می‌دهد که عامل شیب با $\sum W_{f+} = 3/965$ از عوامل علتی در وقوع زمین لغزش‌های منطقه است (جدول ۲). در این لایه، کلاس‌های شیب ۳۰-۴۵ درجه با $W_{f+} = 2/513$ دارای بیشترین وزن بوده، کلاس‌های ۴۵-۶۰ درجه و >60 به ترتیب با $W_{f+} = 1/464$ و $W_{f+} = 1/481$ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در این حوضه شیب‌های <15 درجه رابطه منفی با وقوع زمین لغزش‌ها نشان می‌دهند و شیب‌های ۳۰-۱۵ درجه تأثیر چندانی در ایجاد ناپایداری ندارند (شکل ۳).

عامل سنگ‌شناسی: در حوضه سعیدآباد چای به طور عمده پنج واحد سنگ‌شناسی وجود دارد.

جدول ۲- وزن کلاس‌های لایه موضوعی شیب در حوضه سعیدآباد چای براساس مدل (WOE)

کلاس	تعداد پیکسل‌های زمین لغزش	درصد وقوع	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	درصد	W_i^+	W_i^-	W_f
<15	۱۶۰۱	۲۵/۸۴۳	۲۳۰۷۱۵	۶۶/۶۴۵	-۰/۹۴۷	+۰/۷۹۸	-۱/۷۴۵
۱۵-۳۰	۲۰۷۱	۳۳/۴۳	۹۲۹۹۳/۵	۲۶/۸۶۲	+۰/۲۱۸	-۰/۰۳۴	+۰/۲۵۲
۳۰-۴۵	۱۸۸۶	۳۰/۴۴۴	۱۳۶۳۶	۳/۹۳۹	+۲/۱۹	-۰/۳۲۳	+۲/۵۱۳
۴۵-۶۰	۴۸۵	۷/۸۲۸	۶۸۶۸	۱/۹۸۴	+۱/۳۷۳	-۰/۰۶۱	+۱/۴۶۴
>60	۱۵۲	۲/۴۵۴	۱۹۷۳	۰/۵۶۹	+۱/۴۶۲	-۰/۰۱۹	+۱/۴۸۱
کل	۶۱۹۵	۱۰۰	۳۴۶۱۸۵/۵	۱۰۰	+۴/۲۹۶	+۰/۳۳۱	+۳/۹۶۵



شکل ۳- نمایش وزن‌های مثبت، منفی و وزن مغایر (W_f) عامل شیب در وقوع زمین‌لغزش‌های سعیدآباد جای

مطابق جدول (۳)، شیل‌های آهکی که در حدود ۱۴ درصد زمین‌لغزش‌های حوضه در آن اتفاق افتاده است و در حدود ۳ درصد مساحت منطقه را در بر گرفته، بیشترین وزن $+۱/۵۶۱$ را به خود اختصاص داده است. سنگ‌های این واحد متشکل از آهک مارنی، شیل‌های آهکی، آهک و آهک ماسه‌ای است که به کراتاسه مربوط می‌شوند. در صورتی که لایه‌های این سنگ‌های رسوبی در زردار- که حاوی مقدار زیاد کربنات کلسیم هستند- شیب‌دار باشند، مستعد وقوع لغزش‌های چرخشی خواهند بود. به علت خاصیت شیل‌ها در بخش‌هایی از کوه تک‌آلتی در شمال‌شرق حوضه، فرسایش مدادی حاکم است (رضایی مقدم، ۱۳۷۰). سنگ‌های آذرین حوضه سعیدآباد چای- که اندکی از آنها مربوط به ائوسن هستند- شامل تراکی- آندزیت هستند. سنگ‌های داسیتی و آندزیتی داسیتی پلیوسن بخش عمده‌ای را در منطقه به خود اختصاص داده‌اند. از آنجایی که سنگ‌های آذرین، بویژه در بخش کوهستان جنوب بر اثر فرآیندهای هوازدگی به اشکال ماکروژلیو و میکروژلیو تخریب می‌شوند، انواع زمین- لغزش‌ها را در شیب‌های زیاد کوهستان به وجود می‌آورند؛ به طوری که در حدود ۳۲ درصد زمین‌لغزش‌ها در این واحد لیتولوژی دیده می‌شود (جدول ۳). از این رو، سنگ‌های آذرین با $W_f = +۰/۶۴۹$ همبستگی مثبتی با وقوع زمین‌لغزش‌ها دارند. در حدود ۱۰ درصد زمین-

لغزش‌های این حوضه در نهشته‌های کواترنری، شامل آبرفت‌های رودخانه‌ای، پادگانه‌های آبرفتی قدیم و جدید اتفاق افتاده‌اند. این واحد هم با $W_f = +0/346$ همبستگی مثبتی را نشان می‌دهد. از بین واحدهای سنگ‌شناسی در سعیدآباد چای، ولکانوسدیمانترها بیشترین مساحت را دارند و سنگ‌های نفوذی دیوریت و مونزونیت متعلق به اولیگوسن کمترین مساحت را در بر گرفته‌اند. هر دو این واحدها رابطه معکوسی با بروز ناپایداری دامنه‌ها نشان می‌دهند (شکل ۴).

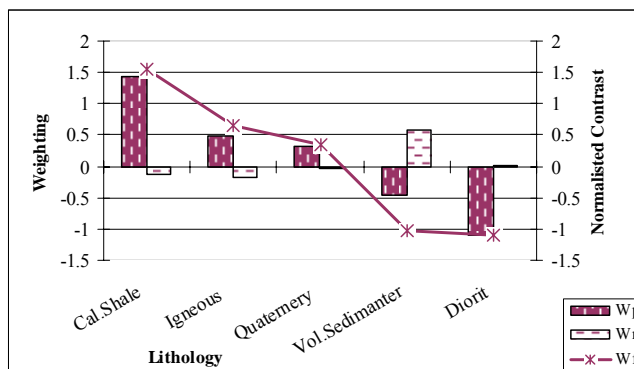
جدول ۳- وزن کلاس‌های لایه موضوعی سنگ‌شناسی در حوضه سعیدآباد چای براساس مدل

(WOE)

کلاس	تعداد پیکسل‌های زمین لغزش	درصد وقوع	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	درصد	W_i^+	W_i^-	W_f
شیل‌های آهکی	۸۸۳	۱۴/۲۵۳	۱۱۶۷۰	۳/۳۷۱	+۱/۴۴۲	-۰/۱۱۹	+۱/۵۶۱
سنگ‌های آذرین	۱۹۷۱	۳۱/۸۱۶	۶۷۷۶۸	۱۹/۵۷۶	+۰/۴۸۵	-۰/۱۶۴	+۰/۶۴۹
نهشته‌های کواترنری	۶۲۳	۱۰/۰۵۶	۲۵۳۵۷	۷/۳۲۵	+۰/۳۱۷	-۰/۰۲۹	+۰/۳۴۶
ولکانوسدیمانتر	۲۶۸۳	۴۳/۳۰۹	۲۳۵۵۴۹/۵	۶۸/۰۴۱	-۰/۴۵۲	+۰/۵۷۵	-۱/۰۲۷
دیوریت مونزونیت	۳۵	۰/۵۶۵	۵۸۴۱	۱/۶۸۷	-۱/۰۹۴	+۰/۰۱۱	-۱/۱۰۵
کل	۶۱۹۵	۱۰۰	۳۴۶۱۸۵/۵	۱۰۰	+۰/۶۹۸	+۰/۲۷۴	+۰/۴۲۴

عامل بارش: بارش‌های سالانه حوضه سعیدآباد چای بر مبنای مدل (WOE) همبستگی مثبتی با وقوع زمین لغزش‌های منطقه دارند (جدول ۴). بزرگی همبستگی بارش‌های این حوضه که در ارتفاعات تا ۵۵۰ میلی‌متر نیز می‌رسد، با افزایش بارندگی بیشتر می‌شود؛ یعنی با افزایش میزان بارندگی در حوضه سعیدآباد چای، میزان بروز زمین لغزش‌ها افزایش می‌یابد. بیشترین وزن $W_f = +0/696$ در کلاس‌های مختلف لایه بارش در منطقه به بارش ۵۰۴-۴۶۶ میلی‌متر اختصاص دارد و با آنکه بارش‌های بیش از ۵۰۰ میلی‌متر کمترین میزان مساحت را در منطقه دارد، اما رابطه مثبتی را ($W_f = +0/443$) با وقوع زمین لغزش‌ها نشان می‌دهد. براساس مدل مورد استفاده، بارش‌های < 390 میلی‌متر با ایجاد گسیختگی شیب‌ها ارتباط

معکوس دارند؛ یعنی با کاهش میزان بارندگی از تأثیر عامل بارش در وقوع زمین لغزش‌های حوضه سعیدآباد چای کاسته می‌شود (شکل ۵).



شکل ۴- نمایش وزن‌های مثبت، منفی و وزن مغایر (W_f) عامل سنگ‌شناسی در وقوع زمین لغزش‌های سعیدآباد چای

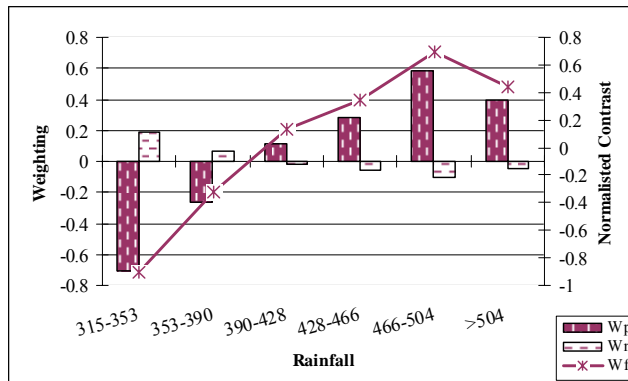
جدول ۴- وزن کلاس‌های لایه موضوعی بارش در حوضه سعیدآباد چای براساس مدل (WOE)

W_f	W_i^-	W_i^+	درصد	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	درصد	تعداد پیکسل‌های زمین لغزش	کلاس
-۰/۹	+۰/۱۹۱	-۰/۷۰۹	۲۹/۱۳	۱۰۰۸۳۴/۵	۱۴/۳۳	۸۸۷/۵	۳۱۵-۳۵۳
-۰/۳۲۶	+۰/۰۶۲	-۰/۲۶۴	۲۱/۶۲	۷۴۸۵۰	۱۶/۶۱	۱۰۲۹	۳۵۳-۳۹۰
+۰/۱۳۴	-۰/۰۲۱	+۰/۱۱۳	۱۵/۳۶	۵۳۱۹۱/۵	۱۷/۲	۱۰۶۵/۵	۳۹۰-۴۲۸
+۰/۳۴۱	-۰/۰۵۴	+۰/۲۸۷	۱۳/۶	۴۷۰۹۱	۱۸/۱۳	۱۱۲۳	۴۲۸-۴۶۶
+۰/۶۹۶	-۰/۱۰۸	+۰/۵۸۸	۱۱/۴۵۴	۳۹۶۵۰/۵	۲۰/۶۲	۱۲۷۸	۴۶۶-۵۰۴
+۰/۴۴۳	-۰/۰۴۸	+۰/۳۹۵	۸/۸۳	۳۰۵۶۸	۱۳/۱۱	۸۱۲	> ۵۰۴
+۰/۳۸۸	+۰/۰۲۲	+۰/۴۱	۱۰۰	۳۴۶۱۸۵/۵	۱۰۰	۶۱۹۵	کل

عامل فاصله از جاده: در حوضه سعیدآباد چای براساس مدل (WOE)، فاصله از جاده با $\sum W_f = +1/498$ از عوامل علتی وقوع زمین لغزش‌ها محسوب می‌شود. این منطقه در مسیر راه‌های ترانزیتی شمال غرب کشور قرار دارد و همواره به علت توسعه راه‌های ارتباطی تغییر شکل‌های عمده‌ای در سطح زمین به وجود می‌آید. هم اکنون احداث بخشی از بزرگراه تبریز - زنجان در پایکوه‌های ارتفاعات شمالی این منطقه در حال انجام است. جاده‌های

ارزیابی حساسیت زمین لغزش در حوضه‌های کوهستانی نیمه خشک، ... / ۳۵

فرعی این حوضه نیز با گسترش گردشگری در دامنه‌های شمالی سهند در حال گسترش است؛ به طوری که از جدول (۵) مشخص است، وقوع زمین لغزش‌ها در فاصله ۰-۱۰۰ متری جاده‌ها بیشترین ضریب همبستگی را نشان می‌دهد، تا فاصله ۴۰۰ متری جاده رابطه مثبت وجود دارد و از ۵۰۰ متری به بعد همبستگی بین وقوع زمین لغزش و جاده‌ها معکوس می‌شود (شکل ۶).



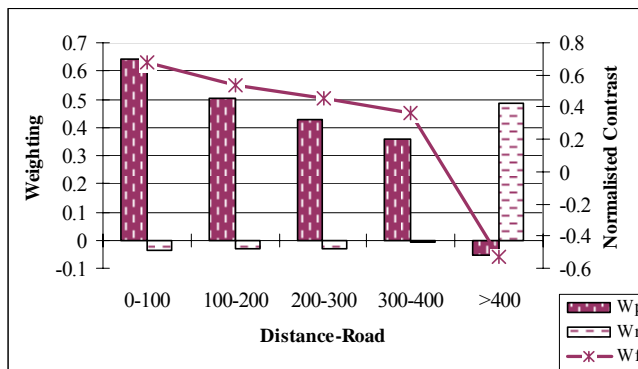
شکل ۵- نمایش وزن‌های مثبت، منفی و وزن مغایر (W_f) عامل بارش در وقوع زمین لغزش‌های سعیدآباد چای

جدول ۵- وزن کلاس‌های لایه موضوعی فاصله از جاده در حوضه سعیدآباد چای براساس مدل (WOE)

W_f	W_i^-	W_i^+	درصد	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	درصد	تعداد پیکسل‌های زمین لغزش	کلاس
+۰/۶۷۷	-۰/۰۳۵	+۰/۶۴۲	۱/۸۰۱	۶۲۳۶	۳/۴۲۲	۲۱۲	۰-۱۰۰
+۰/۵۳۴	-۰/۰۳۱	+۰/۵۰۳	۱/۸۲۵	۶۳۱۸	۳/۰۱۸	۱۸۷	۱۰۰-۲۰۰
+۰/۴۵۴	-۰/۰۲۸	+۰/۴۲۶	۱/۸۲۳	۶۳۱۱	۲/۷۹۳	۱۷۳	۲۰۰-۳۰۰
+۰/۳۶۷	-۰/۰۰۸	+۰/۳۵۹	۱/۸۱۳	۶۲۷۵	۲/۵۹۸	۱۶۱	۳۰۰-۴۰۰
-۰/۵۳۴	+۰/۴۸۳	-۰/۰۵۱	۹۲/۷۳۸	۳۲۱۰۴۵/۵	۸۸/۱۶۸	۵۴۶۲	>۴۰۰
+۱/۴۹۸	+۰/۳۸۱	۱/۸۷	۱۰۰	۳۴۶۱۸۵/۵	۱۰۰	۶۱۹۵	کل

عامل کاربری زمین: نتایج محاسبات مربوط به مدل وزنی شاهد در حوضه سعیدآباد چای نشان می‌دهد که عامل کاربری، یکی از عوامل علتی بروز زمین لغزش‌ها است (جدول ۶)؛ به

طوری که وزن این عامل $\sum W_f = +0/759$ برآورد شد. در بین کلاس‌های متعدد لایه موضوعی کاربری اراضی، پس از برونزدهای سنگی که در عامل سنگ‌شناسی و شیب توضیح داده شد، اراضی آبی ($W_f = +0/464$) و نواحی پوشش درختی ($W_f = +0/2$) که شامل باغات می‌شود، بیشترین همبستگی را با رخداد ناپایداری‌ها نشان می‌دهند. از میزان ارتباط در سایر کاربری‌ها کاسته شده و در مراتع این رابطه منفی است (شکل ۷).



شکل ۶- نمایش وزن‌های مثبت، منفی و وزن مغایر (W_f) عامل فاصله از جاده در وقوع زمین لغزش‌های سعیدآباد چای

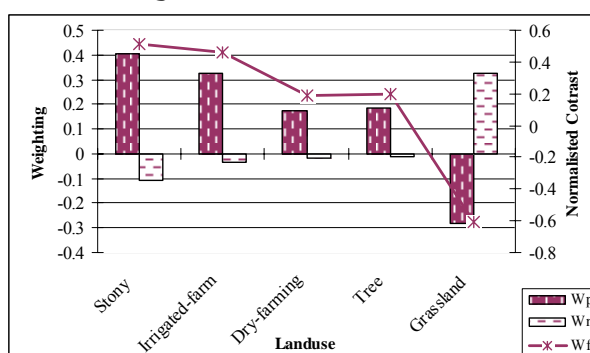
جدول ۶- وزن کلاس‌های لایه موضوعی کاربری اراضی در حوضه سعیدآباد چای براساس مدل

(WOE)

W_f	W_i^-	W_i^+	درصد	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	درصد	تعداد پیکسل‌های زمین‌لغزش	کلاس
+0/509	-0/106	+0/403	۱۶/۹۶۳	۵۱۷۲۳	۲۵/۳۹۱	۱۵۷۳	برونزدهای سنگی
+0/464	-0/037	+0/427	۶/۳۹۳	۲۲۱۳۴	۹/۷۹۸	۶۰۷	کشت آبی
+0/191	-0/019	+0/172	۹/۳۴۸	۳۲۳۶۲/۵	۱۱/۱۰۵	۶۸۸	کشت دیم
+0/2	-0/014	+0/186	۶/۵۶۲	۲۲۱۱۶	۷/۹۰۹	۴۹۰	پوشش درختی
-0/605	+0/323	-0/282	۶۰/۷۳۳	۲۱۰۲۵۰	۴۵/۷۹۵	۲۸۳۷	مراتع
+0/759	+0/147	+0/906	۱۰۰	۳۴۶۱۸۵/۵	۱۰۰	۶۱۹۵	کل

عامل فاصله از گسل - در شمال غرب حوضه سعیدآباد چای گسل شمال تبریز را در امتداد شمال غرب - جنوب شرق می‌توان مشاهده کرد. شیب این گسل قائم و بخش جنوبی آن

پایین افتاده است. علاوه بر گسل اصلی، تعدادی گسل فرعی نیز در این قسمت وجود دارد که یا موازی با گسل اصلی امتداد دارند و یا در جهت عکس آن کشیده شده‌اند. عامل فاصله از گسل در حوضه سعیدآباد چای براساس مدل (WOE)، همبستگی منفی را با بزرگی $\sum W_f = -0/006$ نشان می‌دهد. به استثنای ۵۰۰-۱۰۰۰ متری گسل، وزن سایر کلاس‌های لایه فاصله از گسل که در بافرهای ۲۵۰ متری تعریف شده‌اند، رابطه منفی با وقوع زمین لغزش‌ها دارند (جدول ۷). شکل (۸) نقش این لایه موضوعی را در وقوع زمین لغزش‌ها نشان می‌دهد.



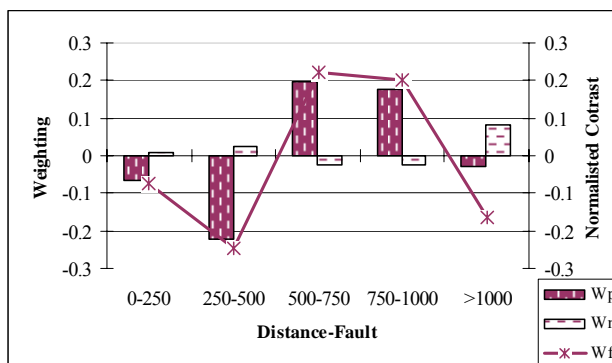
شکل ۷- نمایش وزن‌های مثبت، منفی و وزن مغایر (W_f) عامل کاربری در وقوع زمین لغزش‌های سعیدآباد چای

جدول ۷- وزن کلاس‌های لایه موضوعی فاصله از گسل در حوضه سعیدآباد چای براساس مدل (WOE)

W_f	W_i^-	W_i^+	درصد	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	درصد	تعداد پیکسل‌های زمین لغزش	کلاس
-۰/۰۷۲	+۰/۰۰۷	-۰/۰۶۵	۱۰/۳۲۵	۳۵۷۲۷	۹/۶۶۹	۵۹۹	۰-۲۵۰
-۰/۲۴۵	+۰/۰۲۳	-۰/۲۲۲	۱۰/۰۳۵	۳۴۷۴۱	۸/۰۳۸	۴۹۸	۲۵۰-۵۰۰
+۰/۲۲۲	-۰/۰۲۵	+۰/۱۹۷	۱۰/۱۷۴	۳۵۲۲۲	۱۲/۳۹۷	۷۶۸	۵۰۰-۷۵۰
+۰/۲۰۱	-۰/۰۲۳	+۰/۱۷۸	۱۰/۴۱۱	۳۶۰۴۱	۱۲/۴۴۵	۷۷۱	۷۵۰-۱۰۰۰
-۰/۱۶۶	+۰/۰۸۴	-۰/۰۲۷	۵۹/۰۵۵	۲۰۴۴۵۴/۵	۵۷/۴۴۹	۳۵۵۹	>۱۰۰۰
-۰/۰۰۶	+۰/۰۰۶	۰/۰۶۱	۱۰۰	۳۴۶۱۸۵/۵	۱۰۰	۶۱۹۵	کل

عامل فاصله از آبراهه: در بررسی عامل فاصله از آبراهه، طبق مدل (WOE) درحوضه سعیدآباد چای مشاهده شد که در حدود ۲۰ درصد زمین لغزش‌ها در نزدیکی آبراهه‌ها؛ یعنی

به فاصله ۱۰۰-۰ متری اتفاق افتاده است. معمولاً در این صورت آبراهه یا رود با زیربری دامنه موجب بروز ناپایداری دامنه می‌شود (جدول ۸). با فاصله گرفتن از آبراهه‌ها رابطه معکوس شده است. به این ترتیب، فاصله ۱۰۰ متری آبراهه‌ها، بیشترین وزن ($W_f = 0.232$) را داراست. بتدریج با افزایش فاصله از آبراهه، از میزان تأثیر این عامل در وقوع زمین-لغزش‌ها کاسته شده، در نتیجه، عامل فاصله از آبراهه با $W_f = -0.325$ همبستگی منفی با ایجاد گسیختگی شیب‌ها نشان می‌دهد (شکل ۹).



شکل ۸- نمایش وزن‌های مثبت، منفی و وزن مغایر (W_f) عامل فاصله از گسل در وقوع زمین-لغزش‌های سعیدآباد چای

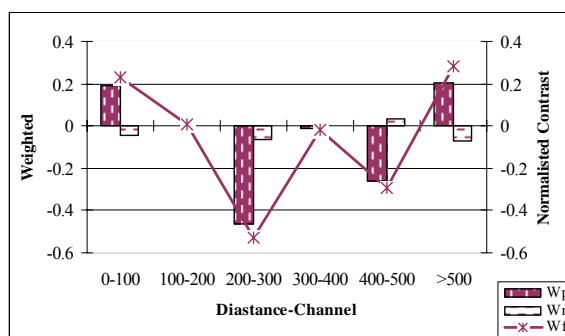
جدول ۸- وزن کلاس‌های لابه موضوعی فاصله از آبراهه در حوضه سعیدآباد چای براساس مدل

(WOE)

W_f	W_i	W_i^+	درصد	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	درصد	تعداد پیکسل‌های زمین‌لغزش	کلاس
+۰/۲۳۲	-۰/۰۴۳	+۰/۱۸۹	۱۷/۰۴۵	۵۹۰۱۰	۲۰/۵۹۷	۱۲۷۶	۰-۱۰۰
+۰/۰۰۵	-۰/۰۰۱	+۰/۰۰۴	۱۴/۹۱۶	۵۱۶۳۶	۱۴/۹۷۹	۹۲۸	۱۰۰-۲۰۰
-۰/۵۲۹	+۰/۰۶۳	-۰/۴۶۶	۱۴/۷۹۸	۵۱۲۲۸	۹/۲۸۲	۵۷۵	۲۰۰-۳۰۰
-۰/۰۱۸	+۰/۰۰۳	-۰/۰۱۵	۱۵/۲۴۹	۵۲۷۸۹/۵	۱۵/۰۲۸	۹۳۱	۳۰۰-۴۰۰
-۰/۲۹۵	+۰/۰۳۷	-۰/۲۵۸	۱۴/۵۰۳	۵۰۲۰۸	۱۱/۲۰۳	۶۹۴	۴۰۰-۵۰۰
+۰/۲۸	-۰/۰۷۳	+۰/۲۰۷	۲۳/۴۸۸	۸۱۳۱۴	۲۸/۹۱	۱۷۹۱	>۵۰۰
-۰/۳۲۵	-۰/۰۱۴	-۰/۳۳۹	۱۰۰	۳۴۶۱۸۵/۵	۱۰۰	۶۱۹۵	کل

عامل فاصله از روستا؛ یکی دیگر از عوامل انسانی مورد نظر در وقوع زمین‌لغزش‌های در حوضه سعیدآباد چای، عامل فاصله از روستاست. به این ترتیب، نقش انسان در بروز ناپایداری‌های اطراف آبادی‌ها تا حدود زیادی آشکار می‌گردد. نتایج محاسبات مدل

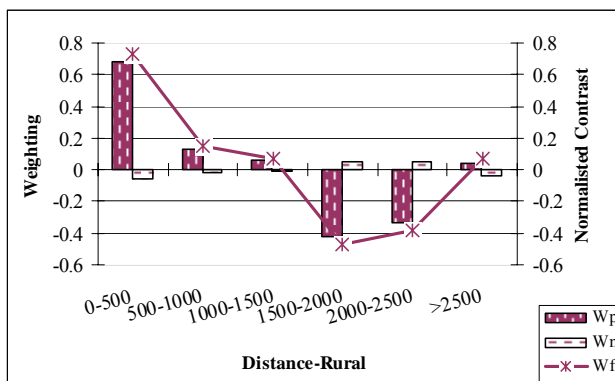
(WOE) در حوضه مورد مطالعه، نشان می‌دهد که بیشترین وزن به فاصله ۰-۵۰۰ متری ($W_f = +/۷۳۱$) مربوط می‌شود (جدول ۹)؛ یعنی رابطه وقوع زمین لغزش‌های در فاصله ۰-۵۰۰ متری روستا مثبت است (شکل ۱۰). به عبارت دیگر، انسان با انجام فعالیت‌های کشاورزی (زراعی- باغداری- دامداری) احداث راه‌های فرعی و شبکه‌های ارتباطی اصلی، ساخت بنا و غیره در ۵۰۰ متری پیرامون روستا موجب بروز زمین لغزش می‌شود. از همبستگی مثبت بین وقوع ناپایداری‌ها و فاصله از روستا، با دور شدن از آبادی‌ها بتدریج کاسته شده، از ۲ کیلومتری روستاها به بعد این رابطه حالت معکوس پیدا می‌کند.



شکل ۹- نمایش وزن‌های مثبت، منفی و وزن مغایر (W_f) عامل فاصله از آبراهه در وقوع زمین- لغزش‌های سعیدآباد چای

جدول ۹- وزن کلاس‌های لایه موضوعی فاصله از روستا در حوضه سعیدآباد چای براساس مدل (WOE)

کلاس	تعداد پیکسل‌های زمین لغزش	درصد	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	درصد	W_i^+	W_i^-	W_f
۰-۵۰۰	۶۱۷	۹/۹۵۹	۱۷۵۰۳	۵/۰۵۶	+۰/۶۷۸	-۰/۰۵۳	+۰/۷۳۱
۵۰۰-۱۰۰۰	۶۰۴	۹/۷۴۹	۲۹۵۷۲	۸/۵۴۲	+۰/۱۳۲	-۰/۰۱۴	+۰/۱۴۶
۱۰۰۰-۱۵۰۰	۷۳۱	۱۱/۷۹۹	۳۸۳۴۶	۱۱/۰۷۶	+۰/۰۶۳	-۰/۰۰۷	+۰/۰۷
۱۵۰۰-۲۰۰۰	۵۱۸	۸/۳۶۲	۴۴۲۰۳/۵	۱۲/۷۶۸	-۰/۴۲۳	+۰/۰۴۹	-۰/۴۷۲
۲۰۰۰-۲۵۰۰	۶۴۸	۱۰/۴۶	۵۰۷۶۶	۱۴/۶۶۴	-۰/۳۳۷	+۰/۰۴۸	-۰/۳۸۵
>۲۵۰۰	۳۰۷۷	۴۹/۶۶۹	۱۶۵۷۹۵	۴۷/۸۹۲	+۰/۰۳۶	-۰/۰۳۵	+۰/۰۷۱
کل	۶۱۹۵	۱۰۰	۳۴۶۱۸۵/۵	۱۰۰	+۰/۱۴۹	-۰/۰۱۲	+۰/۱۶۱

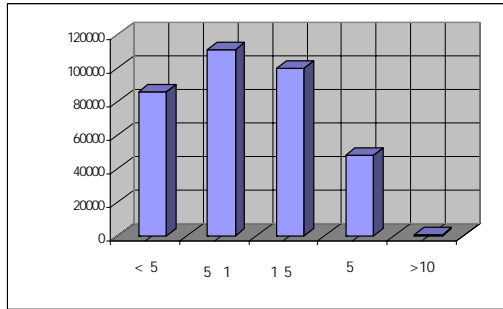


شکل ۱۰- نمایش وزن‌های مثبت، منفی و وزن مغایر (W_f) عامل فاصله از روستا در وقوع زمین-

لغزش‌های سعیدآباد چای

در نهایت، نقشه وزنی نهایی از جمع جبری نقشه‌های موضوعی وزنی و شاخص LSI در محیط GIS به دست آمد و با توجه به دامنه تغییرات وزن پیکسل‌ها در منحنی هیستوگرام (شکل ۱۱) در پنج طبقه تقسیم و بر مبنای آن نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش در حوضه سعیدآباد چای در پهنه‌های با حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم حساسیت و بسیار کم حساسیت ترسیم شد (شکل ۱۲). نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش‌ها، نشان می‌دهد که در حدود ۲۹ درصد از مساحت حوضه سعیدآباد چای در پهنه با حساسیت متوسط زمین لغزش و در حدود ۱۴ درصد در محدوده با حساسیت زیاد قرار دارد. کمتر از یک درصد منطقه (۰/۲۴ درصد) نسبت به زمین لغزش از حساسیت بسیار زیاد برخوردار است (جدول ۱۰). همچنین، اطمینان صحت از نقشه پهنه‌بندی در حوضه سعیدآباد چای نشان می‌دهد که ۶۲ درصد زمین لغزش‌های حوضه در پهنه با حساسیت خیلی زیاد اتفاق افتاده‌اند، ۲۰ درصد آنها در محدوده حساسیت زیاد و ۱۱ درصد در نواحی با حساسیت متوسط رخ داده‌اند (جدول ۱۰). این وضعیت بر مناسب بودن پهنه‌بندی بر اساس مدل (WOE) دلالت می‌کند.

ارزیابی حساسیت زمین لغزش در حوضه‌های کوهستانی نیمه خشک، ... / ۴۱

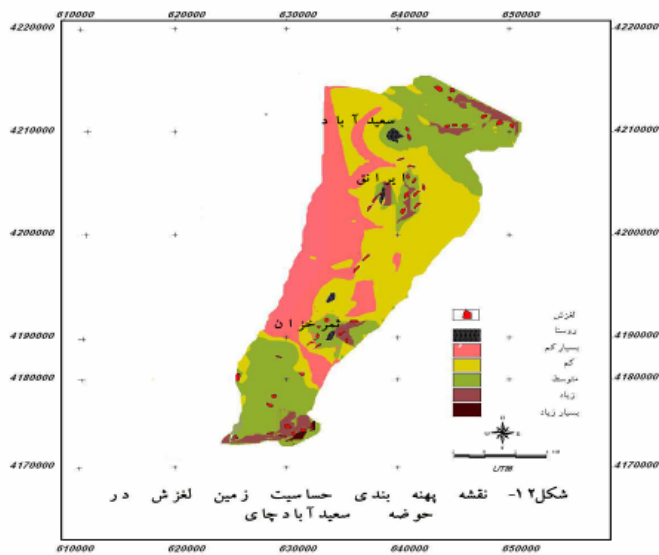


شکل ۱۱- نمودار هیستوگرام مربوط به نقشه وزنی نهایی زمین لغزش‌های حوضه سعیدآباد چای

جدول ۱۰- درصد مساحت هریک از طبقات حساسیت زمین لغزش در حوضه سعیدآباد چای و نتایج

شاخص Li

طبقات	دامنه وزنها	تعداد پیکسل‌های هر طبقه	درصد مساحت طبقات	تعداد پیکسل‌های زمین لغزش	تراکم	Li
حساسیت خیلی کم	< -۵	۱۵۷۹۸	۲۴/۸۷۳	۱۲۲	۰/۰۰۱	۰/۴۷۶
حساسیت کم	-۵ - ۱	۱۱۱۱۳۰	۳۲/۱۰۱	۱۶۸۵	۰/۰۱۵	۷/۱۴۳
حساسیت متوسط	۱ - ۵	۱۰۰۲۲۲/۵	۲۸/۹۵	۲۳۳۵	۰/۰۲۳	۱۰/۹۵۲
حساسیت زیاد	۵ - ۱۰	۴۸۲۲۳	۱۳/۹۲۸	۱۹۴۷	۰/۰۴	۱۹/۰۴۹
حساسیت خیلی زیاد	> ۱۰	۸۱۲	۰/۲۳۵	۱۰۶	۰/۱۳۱	۶۲/۳۸



نتیجه گیری

حوضه سعیدآباد چای در شمال توده سهند در یک منطقه کوهستانی نیمه خشک قرار دارد. این حوضه به علت ویژگی‌های توپوگرافی، اقلیمی و زمین‌شناسی مستعد وقوع انواع زمین‌لغزش‌هاست. در دهه‌های اخیر با افزوده شدن عوامل انسانی، ناپایداری شیب‌ها تشدید شده است. این مطالعه با استفاده از روش‌های آماری دو متغیره، مدل وزنی شاهد و همچنین بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی، به ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در این حوضه پرداخته است. براساس این ارزیابی ۴۳/۱۱۶ درصد مساحت حوضه سعیدآباد چای در مناطقی با حساسیت خیلی زیاد، زیاد و متوسط نسبت به بروز زمین‌لغزش‌ها قرار دارند و ۵۶/۸۸۴ درصد منطقه مورد مطالعه، محل وقوع زمین‌لغزش‌های دارای حساسیت کم و خیلی کم است. در این زمینه صحت و دقت مدل با شاخص Li ارزیابی شد؛ به طوری که ۶۲/۳۸ درصد زمین-لغزش‌ها در پهنه با حساسیت خیلی زیاد، ۱۹/۰۴۹ درصد در محدوده با حساسیت زیاد و ۱۰/۹۵۲ درصد در نواحی با حساسیت متوسط رخ داده‌اند. وقوع ۷/۵ درصد ناپایداری‌ها در پهنه حساسیت کم و خیلی کم بوده است. این وضعیت مناسب بودن مدل وزنی شاهد را در ارزیابی حساسیت حوضه مورد مطالعه به پدیده زمین‌لغزش نشان می‌دهد. این مدل، شیب‌های با بیش از ۴۵ درجه، واحدهای سنگی آهک مارنی- شیل‌های آهکی، سنگ‌های آذرین و نهشته‌های کواترنر، بارش‌های بیش از ۴۵۰ میلی‌متر، فاصله ۰-۱۰۰ متری جاده، فاصله ۰-۱۰۰ متری از روستا و اراضی کشت آبی را با بیشترین وزن‌ها، مهمترین عوامل علتی وقوع زمین-لغزش‌های حوضه سعیدآباد چای معرفی می‌کند.

به این ترتیب، با این شناسایی و ارزیابی در حوضه سعیدآبادچای، توجه به دینامیک محیط طبیعی و نواحی حساس به زمین‌لغزش در اجرای برنامه‌های عمرانی و فعالیت‌های کشاورزی و غیره امری ضروری است در این صورت، برای احداث زیرساخت‌های ترابری و سایر سازه‌ها در نواحی با حساسیت متوسط تا خیلی زیاد، به منظور پایداری شیب‌ها باید

ارزیابی حساسیت زمین لغزش در حوضه‌های کوهستانی نیمه خشک، ... / ۴۳

اصول مهندسی رعایت شود. همچنین، به روستاییان و زارعان در زمینه اصلاح روش‌های آبیاری، حفاظت از منابع آب و خاک و همچنین، تغییر کاربری اراضی آموش‌های لازم داده شود.

منابع:

- ۱- پورقاسمی، حمیدرضا؛ مرادی، حمیدرضا و محمدی، مجید. (۱۳۸۶). «تهیه نقشه خطر احتمالی زمین لغزش با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی»، مجموعه مقالات چهارمین همایش ملی علوم مهندسی و آبخیزداری، دانشگاه تهران، ایران.
- ۲- خیام، مقصود. (۱۳۶۹). «سهند آتشفشان پلیوپلیوستن و تحول ژئومورفولوژیکی آن در کوتاه‌ترن»، مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی مشهد، شماره اول و دوم، صص ۲۰۲-۲۲۱.
- ۳- رضایی مقدم، محمدحسین. (۱۳۷۰). تحقیق در تحول ژئومورفولوژی دامنه شمالی توده آتشفشانی سهند، دره سعیدآبادچای، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
- ۴- رضوانی، رضا و صفایی، جواد. (۱۳۸۴). «گردشگری خانه‌های دوم و اثرات آن بر نواحی روستایی»، پژوهش‌های جغرافیایی، ش ۳، صص ۱۰۹-۱۲۱.
- ۵- شادفر، صمد؛ نوروزی، علی اکبر؛ قدوسی، جمال و غیومیان، جعفر. (۱۳۸۴). «پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز لاکتراشان»، حفاظت آب و خاک، ش ۱، صص ۱-۱۰.
- ۶- غفوری، محمد، عاشوری، علیرضا. (۱۳۷۶). «زمین‌لغزش به عنوان یکی از بلاای طبیعی در شمال خراسان»، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، صص ۹۰-۱۰۱.
- ۷- کرمی، فریبا؛ بیاتی خطیبی، مریم و رستم زاده، هاشم. (۱۳۸۵). «پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای مواد در حوضه آبریز لیسوان-چای»، فصلنامه مدرس، ش ۴۸.
- ۸- مقیمی، ابراهیم؛ علوی پناه و جعفری، تیمور. (۱۳۸۷). ارزیابی و پهنه‌بندی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی آلاداغ (حوضه زهکشی جناران در استان خراسان شمالی)، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ش ۶۴، صص ۵۳-۷۵.
- ۹- Ayalew, L., Yamagishi, H. (۲۰۰۵), The application of GIS- based logistic regression for Landslides Susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan, *Geomorphology* ۸۱, ۴۳۲-۴۴۵.
- ۱۰- Blöchl, A., Braun, B. (۲۰۰۵), Economic assessment of landslide risks in the Swabian Alb, Germany –research framework and first results of homeowners and experts surveys. *Natural Hazards and Earth System Sciences* ۵, ۳۸۹-۳۹۶.
- ۱۱- Carrara, A., Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenback, P. (۱۹۹۹) Use of GIS technology in the prediction and monitoring of landslide hazard. *Natural Hazard* ۲۰, ۱۱۷-۱۳۵.
- ۱۲- CRED (۲۰۰۶), EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database. Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium, <http://www.em-dat.net/>.
- ۱۳- Dahal, R.K., Hasegawa, S., Nonoura, A., Yamanka, M., Dhakal, S., Paudyal, P. (۲۰۰۸), Predictive modeling of rainfall-induced landslide hazard in the lesser Himalaya of Nepal based on weights of evidence, *Geomorphology* ۱۰۲, ۴۹۶-۵۱۰.
- ۱۴- Gorsevski, P.V., Gessler, P.E., Boll, J., Elliot, W.J., Foltz, R.B. (۲۰۰۶), Spatially and temporally distributed of landslide susceptibility, *Geomorphology* ۸۰, ۱۷۸-۱۹۸.

- ۱۵- Lee,S., Choi,J.,Min,L., (۲۰۰۲), Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model. *Environmental Geology* ۴۳, ۱۲۰-۱۳۱.
- ۱۶- Lee,S., Choi,J., (۲۰۰۴), Landslide susceptibility mapping using GIS and the weights-of-evidence model. *International Journal of Geographical Information science* ۱۸, ۷۸۹-۸۱۴.
- ۱۷- Nefeslioglu,H., Duman,T. Durmaz,S., (۲۰۰۸), Landslide Susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley. *Geomorphology* ۹۴, ۴۰۱-۱۴۸.
- ۱۸- Neuhäuser, B. Terhorst, B., (۲۰۰۷), Landslide susceptibility assessment using weights-of-evidence applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW-Germany). *Geomorphology* ۸۶, ۱۲-۲۴.
- ۱۹- Sharma, M., Kumar,R., (۲۰۰۸), GIS- based landslide hazard zonation: a case study from the Parwanoo area, Lesser and Outer Himalaya, H.P., India. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* ۶۷, ۱۲۹-۱۳۷.
- ۲۰- Soriso Valvo,M.,۲۰۰۲. Landslides; from inventory to risk. In: Rybář, J., Stemberk, J., Wagner,P.(Eds.), *landslides, Proceedings of the International European Conference on landslides*. Balkema, Rotterdam,pp.۷۹-۹۳.
- ۲۱- Thiery,Y., Malet,J.P., Sterlacchn,S., Puissant,A., Maquaire,O. (۲۰۰۷), Landslide Susceptibility assessment by bivariate methods at large scale. *Geomorphology* ۹۲, ۳۸-۵۹.
- ۲۲- Van Westen,C.J.,Van Asch,Th.W.J.,Soeters,R.,(۲۰۰۶),Landslide hazard and risk zonation, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* ۶۵, ۱۶۷-۱۸۴.
- ۲۳- Zêzere,J.L., Garcia,R.A., Oliverita,S.C.,Reis,E.(۲۰۰۸), Probabilistic landslide risk analysis considering direct costs in the area north of Lisbon, *Geomorphology* ۹۴, ۴۶۷-۴۹۵.