

## بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها با روش AHP و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه صفارود)

دکتر عیسی جوکار سرهنگی

استادیار دانشگاه مازندران

### چکیده

زمین لغزش‌ها یکی از بلایای طبیعی بوده که موجب خسارات جانی و مالی، ورود توده‌های لغزشی به داخل رودخانه‌ها و مشکلات دیگر می‌گردد. شناخت همه جانبه عوامل و فرایندهایی که به طور مداوم بر روی دامنه‌ها اثر گذاشته و آن‌ها را به سمت بی‌ثباتی سوق داده، می‌تواند کمک موثری در کاهش خسارات ناشی از آن‌ها داشته باشد. تحقیق حاضر در حوضه صفارود رامسر با هدف مشخص نمودن عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها، طبقه‌بندی عوامل و تعیین نرخ یا وزن که بیانگر میزان نقش این عوامل در رخداد لغزش‌هاست، صورت گرفته است. این عوامل شامل سنگ‌شناسی، گسل، ارتفاع، شیب، جهت دامنه، بارش، آبراهه، خاک، پوشش گیاهی، راه ارتباطی و آبادی‌های حوضه بوده و از GIS برای تهیه و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و ارزیابی هر یک از عوامل، وزن دهی و ترکیب آن‌ها استفاده شده است. برای وزن‌دهی به معیارها از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده گردید. معیار وزن دهی عناصر موجود در هر لایه بر اساس بیشترین نقشی بوده که در داخل آن لایه و در زمین لغزش مؤثر می‌باشد. نتایج حاصله بیانگر آن است که عوامل مؤثر بر وقوع لغزش‌های حوضه به طور سیستماتیک با یکدیگر ارتباط داشته و هر جا که دخالت انسان بیشتر بوده و عوامل تأثیرگذار حضور بیشتری دارند، خطر وقوع لغزش نیز زیاد بوده است.

واژگان کلیدی: لغزش، صفارود، سیستم اطلاعات جغرافیایی، AHP.

## مقدمه

زمین لغزش یکی از حرکات توده‌ای بوده و از مخاطرات طبیعی محسوب می‌شود (اسمیت<sup>۱</sup>، ۱۳۸۲: ۲۱۶). وقوع این پدیده مهم ژئومورفولوژی که در بسیاری از نقاط دنیا و کشور ایران در شرایط مساعد اتفاق می‌افتد، موجب مسدود شدن راه‌ها، تخریب پوشش گیاهی، باغات کشاورزی و حتی تلفات انسانی می‌گردد. بررسی علل وقوع لغزش‌ها و تعیین نقاط خطر و ارائه راهکارهای کنترل آن به لحاظ این که منطقه مورد مطالعه دارای اهمیت فراوانی بوده و به‌عنوان یکی از مراکز مهم توریستی محسوب می‌شود، می‌تواند مورد استفاده برنامه‌ریزان قرار گیرد.

با توجه به بررسی‌های به‌عمل آمده عوامل مؤثر در وقوع لغزش‌ها شامل پارامترهای مربوط به زمین‌شناسی، خاک، پوشش گیاهی، اقلیم، هیدرولوژی، فیزیوگرافی و دخالت انسان می‌باشند. ولی دخالت این عوامل در نقاط مختلف از لحاظ کمی و کیفی با شدت و ضعف همراه است. اغلب وقوع لغزش‌ها با مقاومت برشی دامنه‌ها ارتباط نزدیکی دارد، به‌طوری‌که با تقلیل مقاومت برشی که در آن عوامل هوازدگی فیزیکوشیمیایی، آبگیری کانی‌های رس، تغییرات در نیروهای موجود در بین دانه‌ها، تغییرات در ساختمان شیل‌ها، کاهش چسبندگی، کاهش پوشش گیاهی، نوع خاک و گسل‌ها دخالت دارند، دامنه‌ها ناپایدار شده و لغزش‌ها اتفاق می‌افتند (چورلی و دیگران<sup>۲</sup>، ۱۳۷۹: ۹۷). ژئومورفولوژیست‌ها نقش مهمی در بررسی پدیده لغزش دارند و سهم آن‌ها بیشتر در علت‌یابی تشخیص چگونگی سقوط است و این که کجا سقوط دیگری می‌تواند حادث گردد. (کوک و دورکمپ<sup>۳</sup>، ۱۳۷۷: ۲۰۳). بیلی فارد و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۳: ۴۳۹) شیب‌های صخره‌ای بالاتر از ۴۵ درجه را با احتمال ناپایداری بیشتر ذکر نمودند. دارن<sup>۵</sup> (۲۰۰۲) از تکنیک دورسنجی برای حفاظت جنگل‌ها و بررسی حرکت‌های توده‌ای در کوه‌های آلپ استفاده نمود. سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۶</sup> جایگاه مهمی را در زمینه پهنه‌بندی خطر لغزش پیدا کرده است. توانایی‌های خاص این سیستم در مدیریت، به هنگام‌سازی اطلاعات و قابلیت مدل‌سازی و تحلیل آن موجب شده که بتواند در تحلیل‌ها و ترکیب اطلاعات بسیار کارآمد باشد (فرج‌زاده و منتظرالقائم، ۱۳۷۵: ۲۴۸).

برای تحلیل و ارزیابی چند معیاری پتانسیل زمین نسبت به یک رویداد خاص مثل زمین لغزش، روش‌های متعددی وجود دارد (کرم، ۱۳۸۳: ۱۳۳). از روش فرایند سلسله مراتبی برای تعیین وزن نسبی هر معیار ویژه استفاده می‌شود (ساتی<sup>۷</sup>، ۱۹۸۰: ۲۴). فرایند سلسله مراتبی یک روش ریاضی جهت تعیین اهمیت و تقدم معیارها در فرایند تحلیل و ارزیابی است. در این روش یک سری مقایسه‌ی دو به دو بی‌اهمیت نسبی معیارها برای ارزیابی مورد نظر به‌عمل می‌آید. این مقایسه‌های دو به دو بی‌اهمیت نسبی برای ایجاد یک سری وزن‌ها تحلیل می‌شوند (غفاری، ۱۳۸۲: ۱۰۳). وزن‌ها در واقع اهمیت نسبی هر معیار یا خصیصه را نشان می‌دهند. هدف از این تحقیق شناسایی عوامل مؤثر در لغزش‌های حوضه صفارود و بررسی علت اصلی وقوع آن‌ها در منطقه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی<sup>۸</sup> (AHP) و به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است.

## مواد و روش‌ها

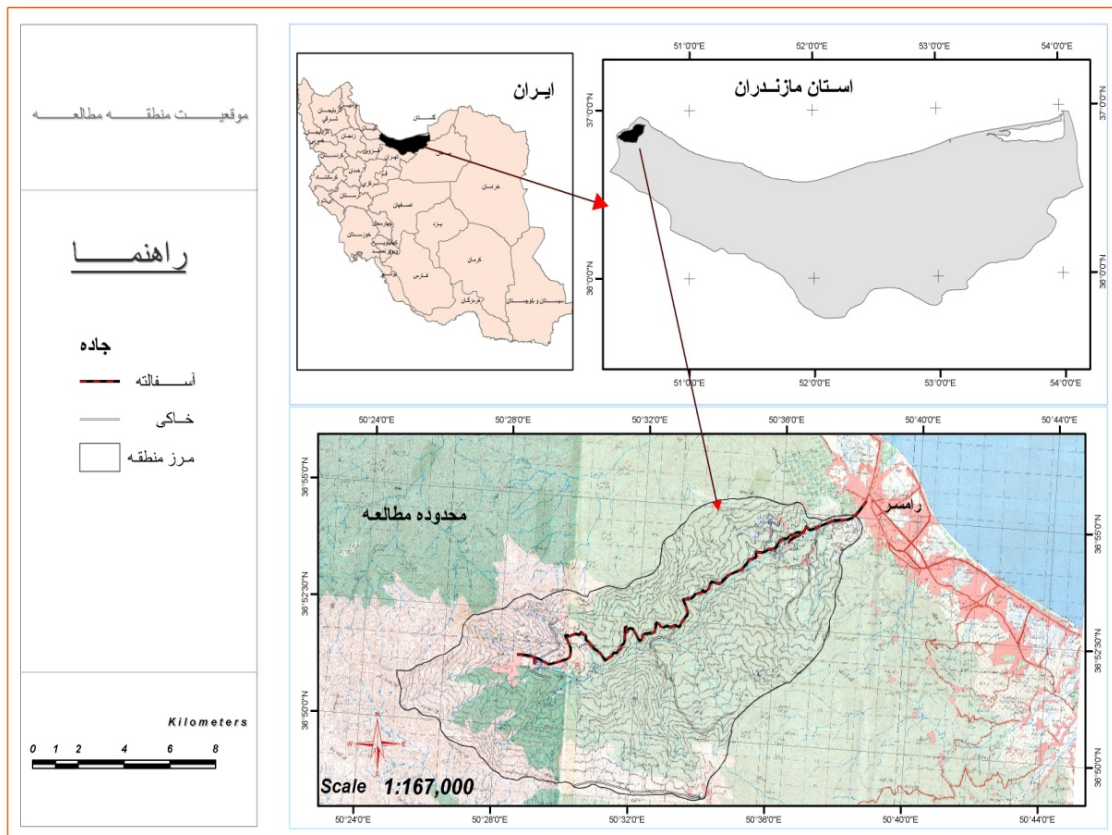
## موقعیت جغرافیایی حوضه

حوضه صفارود بین ۵۰° ۴۳' ۳۶" تا ۸° ۵۵' ۳۶" عرض شمالی و ۲۵° ۵۰' تا ۳۷° ۳۹' ۵۰" طول شرقی در دامنه‌های شمالی البرز و در جنوب‌غربی شهرستان رامسر واقع شده و جهت آن شمال شرقی - جنوب غربی

1- Smith  
4- Billiard et al  
7- Satty

2- Chorley et al  
5- Dorren  
8- Analytical Hierachy Process(AHP)

3-Cooke and Doornkamp  
6- Geographic Information System



شکل ۱ - موقعیت حوضه صفارود

است (شکل ۱). مساحت حوضه ۱۳۶/۵۸ کیلومتر مربع و محیط آن ۵۴/۳۸ کیلومتر است. رودخانه صفارود پس از زهکشی نمودن این حوضه و عبور از دره‌های پرپیچ و خم به دریای خزر می‌ریزد. با توجه به تقسیم‌بندی زمین‌شناسان حوضه صفارود در البرز غربی و واحد یال شمالی قرار دارد (علایی طالقانی، ۱۳۸۱: ۱۱۱). از نظر زمین‌شناسی بیشترین مساحت حوضه مربوط به دوران دوم زمین‌شناسی است که سازندهای جواهرده، شمشک و تیزکوه در آن قرار دارند و قدیمی‌ترین لایه مربوط به دوران اول (پرمین بالا) با سازند روته و نسن در بخش مرکزی حوضه دیده می‌شود (نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی جواهرده و رامسر، ۱۳۸۳). رسوبات کواترنری به صورت آبرفت و پادگانه شنی در حاشیه رودخانه و منطقه جواهرده مشاهده می‌شود.

عوامل آب و هوایی منطقه به دو دسته محلی و بیرونی تقسیم می‌شوند (علیجانی، ۱۳۷۶: ۷). ورود توده هوای زیاد و حضور عناصر محلی موجب شده است که بخش‌های وسیعی از حوضه از بارش‌های زیادی برخوردار باشد. پوشش گیاهی آن شامل باغات کشاورزی، جنگل و مرتع بوده که جنگل ۵۹ درصد از اراضی سطح حوضه را اشغال نموده است. تیپ خاک حوضه بیشتر قهوه‌ای جنگلی اسیدی، قهوه‌ای آهکی، آبرفتی قرمز و آبرفتی در حال تکامل می‌باشد (اداره کل منابع طبیعی نوشهر، ۱۳۷۹: ۱۸۴). فعالیت‌های اقتصادی جمعیت ساکن در حوضه از قبیل کشاورزی، جاده‌سازی و احداث مسکن نشان می‌دهد که انسان از گذشته تاکنون نقش مهمی در تخریب محیط طبیعی آن داشته است.

## روش تحقیق

به منظور بررسی زمین لغزش‌های حوضه صفارود از روش‌های کتابخانه‌ای، مشاهدات میدانی و آزمایشگاهی استفاده شده است. در کنار آن از نقشه‌های ۱/۵۰۰۰۰ توپوگرافی، ۱/۱۰۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی و نقشه‌های پوشش گیاهی و خاک استفاده گردید و جهت بررسی دقیق‌تر و کار در محیط ArcGIS نقشه‌های با مقیاس متفاوت به ۱/۵۰۰۰۰ تبدیل شدند. در تجزیه و تحلیل از دور روش کیفی و کمی بهره گرفته و از استدلال قیاسی و استقرایی در نتیجه‌گیری استفاده شده است. با توجه به این که عوامل زمین‌شناسی، اقلیم، فیزیوگرافی، خاک، پوشش گیاهی و فعالیت‌های اقتصادی اجتماعی می‌توانند با وقوع لغزش‌ها رابطه داشته باشند، در این تحقیق متغیرهای لیتولوژی، گسل، بارش، جهت دامنه، شیب دامنه، ارتفاع از سطح دریا، آبراهه‌ها، نوع خاک، پوشش گیاهی، راه ارتباطی و آبادی مورد بررسی قرار گرفت و هر یک از لغزش‌ها با توجه به پارامترهای فوق سنجیده شد.

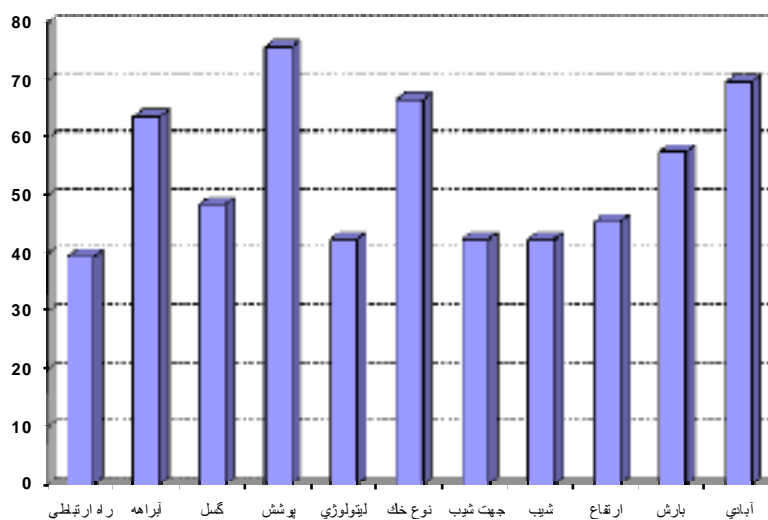
در راستای اهداف تحقیق، ابتدا با بررسی‌های میدانی و ملاحظه‌ی عکس‌های هوایی، لغزش‌های حوضه صفارود شناسایی و تعیین حدود شد. همچنین با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌ها زمین مرجع<sup>۱</sup> شد. سپس با تعیین موقعیت هر یک از زمین لغزش‌ها در حوضه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و آنالیز همپوشانی لایه‌های تکتونیک و پراکنش زمین لغزش‌ها، حداقل فاصله از گسل‌ها برای هر یک از زمین لغزش‌ها تعیین گشت. ارتفاع با استفاده از GPS و جهت و میزان شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM)<sup>۲</sup> حوضه صفارود در محیط GIS تعیین گشت. نمونه‌های خاک آزمایش و درصد رس و مارن آن‌ها مشخص شد. با کمی کردن و بررسی عوامل مؤثر در وقوع ۳۳ مورد زمین لغزش رخ داده در حوضه صفارود، ویژگی‌های کلی زمین لغزش‌های حوضه حاصل شد. در وزن دهی هر یک از عناصر موجود در لایه‌ها به روش AHP عمل شد که با توجه به درجه‌ی اهمیت و مقدار تأثیر هر کدام از عناصر لایه‌ها می‌باشد. در روش یاد شده، معیار وزن دهی هر واحد اطلاعاتی براساس بیشترین نقشی است که در داخل آن لایه و در ایجاد لغزش‌ها مؤثر است. به این صورت که هر پارامتر به نسبتی روی زمین لغزش‌ها تأثیر دارد و بر اساس مقدار تأثیر امتیاز داده شد. پس از تعیین هر یک از پارامترها با توجه به تعداد لغزش‌ها که اتفاق افتاده‌اند، امتیازدهی صورت گرفت که از یک تا ده بوده است، به طوری که عدد یک برای پارامتری که کم‌ترین تأثیر را داشته و عدد ده نیز بیشترین تأثیر را داشته است. به این ترتیب وزن دهی برای هر یک از معیارها انجام شد. با تجزیه و تحلیل نتایج جدول حاصله و با توجه به بیشترین لغزش‌ها که در ارتباط با یک پارامتر اتفاق افتاده بودند، علل وقوع بررسی گردید.

## نتایج و بحث

در حوضه صفارود ۳۳ زمین لغزش بزرگ و کوچک اتفاق افتاده که از این تعداد ۲۰ لغزش در حاشیه آبادی‌های بخش شمالی و ۱۳ لغزش نیز در منطقه جواهرده دیده شده است. چگونگی انتخاب عوامل تأثیرگذار بر وقوع این لغزش‌ها در جدول ۱ آمده است. با ارزیابی لغزش‌های مشاهده شده و پارامترهای این جدول، تعداد وقوع لغزش‌ها با توجه به یک عامل مشخص می‌شود که نتیجه‌ی آن در نمودار ۱ آمده و بیانگر آن است که چه تعداد لغزش در ارتباط با یک عامل اثرگذار اتفاق افتاده است.

جدول ۱- چگونگی انتخاب عوامل تأثیرگذار بر وقوع لغزش‌ها

ردیف	عوامل تأثیرگذار	چگونگی انتخاب
۱	لیتولوژی	بیشترین لغزش‌هایی که بر روی یک سنگ مادر اتفاق افتاده‌اند
۲	گسل	فاصله کمتر از ۲۰۰ متر
۳	شیب	بیشترین تعداد وقوع در یک طبقه شیب
۴	جهت شیب دامنه	بر اساس بیشترین لغزش‌هایی که در یک جهت دامنه اتفاق افتاده‌اند
۵	ارتفاع	بیشترین تعداد وقوع لغزش در یک طبقه ارتفاعی
۶	بارش	بیشترین تعداد وقوع لغزش در یک منحنی بارش
۷	آبراهه	فاصله کمتر از ۱۰۰ متر از دو طرف یک آبراهه یا رود
۸	خاک	بیشترین تعداد وقوع در یک نوع خاک
۹	نوع پوشش	بیشترین تعداد وقوع در نوع پوشش
۱۰	راه ارتباطی	فاصله کمتر از ۵۰ متر
۱۱	آبادی	فاصله کمتر از ۳۰۰ متر

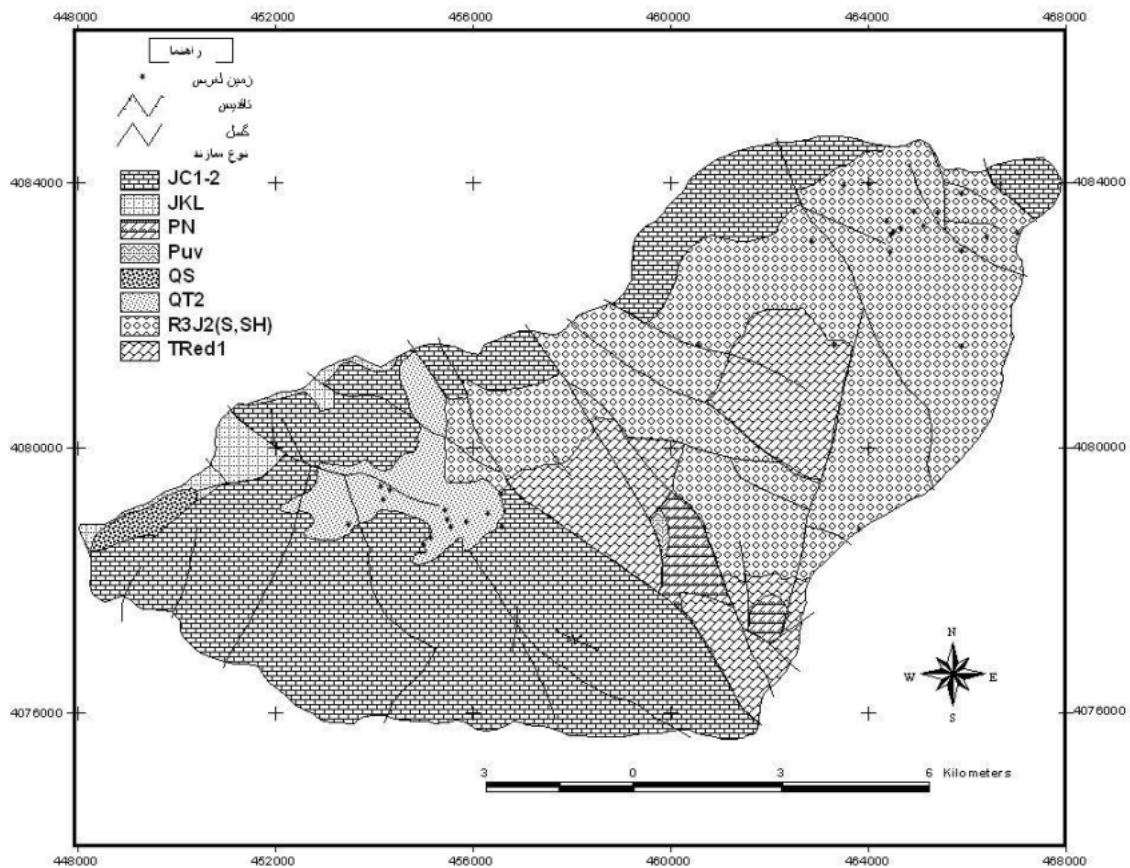


نمودار ۱- وقوع لغزش‌ها با توجه به عامل اثرگذار

## تحلیل عوامل مؤثر بر وقوع لغزش‌ها

### ۱- لیتولوژی

بیشتر لغزش‌ها در سازند شمشک به‌ویژه در سنگ‌های شیل واقع در شمال شرقی حوضه اتفاق افتاده است (شکل ۲). ولی در منطقه جواهرده این لغزش‌ها روی رسوبات کواترنری که عمق زیادی دارد و پایه لغزش‌ها به سنگ مادر نمی‌رسد، رخ داده است. بنابراین سست بودن رسوبات نقش مهمی را ایفاء می‌کند. به طور کلی ۴/۴۲ از لغزش‌ها در سنگ‌های شیل اتفاق افتاده است. مقاوم‌ترین سنگ‌ها آهک‌های دولومیتی هستند که لغزشی در آن‌ها دیده نشده است، البته در این مناطق پوشش گیاهی انبوه نیز دیده می‌شود. شایان ذکر است که



شکل ۲- زمین شناسی حوضه صفارود

جدول ۲- درصد وقوع لغزش‌ها در سازندها و سنگ‌های مختلف به همراه وزن آن‌ها

ردیف	دوران	دوره	سازند	علامت اختصاری	سنگ	تعداد لغزش	درصد	وزن	
۱	پالئوزوئیک	پرمین بالا	روته	PuV	آهک خاکستری	۰	۰	۱	
			نسن	Pn	آهک و شیل مارنی	۰	۰	۱	
۲	مزوزوئیک	تریاس زیرین	الیکا	TRed1	آهک دولومیت	۰	۰	۱	
			شمشک	TR3J2, ssh	ماسه سنگ	۲	۶	۳	
					شیل	۱۴	۴۲/۴۲	۹	
		تریاس بالا	ژوراسیک میانی	جواهرده	JC1-2	کنگومرا	۴	۱۲/۱۲	۵
						کنگومرا	۰	۰	۱
۳	کواترنر	عهد حاضر	---	Qt2 Qs	آهک بیوهرمال	۰	۰	۱	
					واریزه‌ها پادگانه شنی	۱۳	۳۹/۳۹	۷	

در بسیاری از نقاط حوضه صفارود، شیب لایه‌های زمین‌شناسی مخالف شیب توپوگرافی است. در غیر این صورت، دره صفارود از میلیون‌ها تن خاک پر می‌شد.

## ۲- گسل

در حوضه صفارود وجود گسل‌ها نقش مهمی در افزایش زاویه شیب و ناپایداری دامنه‌ها دارد. تعداد لغزش‌ها در نواحی که تجمع گسل بیشتر بوده، افزایش داشته و با فاصله گرفتن گسل‌ها از همدیگر، تعداد لغزش‌ها نیز کاهش یافته است. تعداد ۲۵ لغزش در فاصله کم‌تر از ۴۰۰ متری گسل‌ها اتفاق افتاده است (جدول ۳). نقش گسل‌ها نیز در ارتباط با عوامل دیگر است. در اطراف روستای میانلالت چندین گسل دیده می‌شود و از لحاظ فاصله نیز در کنار یکدیگر قرار دارند و با وجود فعالیت‌های اقتصادی، اجتماعی لغزش‌های زیادی اتفاق افتاده است.



شکل ۳- دخالت گسل‌ها، دره صفارود را به صورت پریپیچ و خم در آورده است.

## جدول ۳- درصد وقوع لغزش‌ها با توجه به فاصله گسل‌ها

ردیف	طبقه (فاصله به متر)	تعداد	درصد	وزن
۱	۰-۲۰۰	۱۶	۴۸/۴۸	۹
۲	۲۰۰-۴۰۰	۹	۲۷/۲۲	۷
۳	۴۰۰-۶۰۰	۵	۱۵/۱۵	۵
۴	۶۰۰-۸۰۰	۳	۹/۰۹	۳

## ۳- شیب

شیب از عوامل بسیار مهم در وقوع زمین لغزش‌ها بوده که در صورت مهیا بودن سایر شرایط، توده لغزشی در اثر نیروی ثقل به طرف پایین دامنه حرکت خواهد کرد (دوستن<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰). در حوضه صفارود بیشترین لغزش‌ها در طبقه شیب ۲۶-۲۲ اتفاق افتاده است. البته نقاطی در حوضه وجود دارد که از شیب زیادی برخوردار است، ولی لغزشی در آن اتفاق نیفتاده است. بنابراین عملکرد شیب دامنه ارتباط نزدیکی با حضور عوامل دیگری دارد.

## جدول ۴- وقوع لغزش‌ها با توجه به شیب

ردیف	طبقه شیب	تعداد لغزش	درصد	وزن
۱	۰-۷	۰	۰	۱
۲	۷-۱۳	۰	۰	۱
۳	۱۳-۱۷	۱۲	۳۶/۳۶	۷
۴	۱۷-۲۲	۰	۰	۱
۵	۲۲-۲۶	۱۴	۴۲/۴۲	۹
۶	۲۶-۳۱	۷	۲۱/۲۱	۵
۷	۳۱-۳۶	۰	۰	۱
۸	۳۶-۴۲	۰	۰	۱
۹	۴۲ بیشتر	۰	۰	۱

## ۴- جهت شیب دامنه

در حوضه صفارود بیشتر لغزش‌ها در جهات شمال و جنوب شرقی اتفاق افتاده‌اند (جدول ۵). وقوع این لغزش‌ها تا حدودی نشان می‌دهد که لغزش‌ها در یک جهت خاص حوضه با تجمع بیشتر عوامل اثر گذار بستگی دارد. این وضعیت را تا حدودی می‌توان در دامنه‌های شمال شرقی حوضه مشاهده کرد. البته در برخی دامنه‌ها می‌توان نقش هوازگی را مؤثر دانست. در دامنه‌های جنوب شرقی حوضه که از شیب‌های آفتاب گیر محسوب می‌شود، تجمع لغزش‌ها بیشتر است. با تابش بیشتر آفتاب، مقدار هوموس خاک کم‌تر و از چسبندگی خاک نیز کاسته شده و دامنه مستعد لغزش می‌گردد (رفاهی، ۱۳۷۷: ۶۷).

## جدول ۵- درصد وقوع لغزش‌ها به همراه وزن آن با توجه به جهت شیب دامنه‌ها

ردیف	جهت	تعداد لغزش‌ها	درصد	وزن
۱	شرق	۱	۳	۳
۲	شمال	۱۴	۴۲/۴۲	۹
۳	شمال شرقی	۳	۰۹/۹	۵
۴	شمال غربی	۰	۰	۱
۶	جنوب شرقی	۱۴	۴۲/۴۲	۹
۷	جنوب غربی	۱	۳	۳
۸	غرب	۰	۰	۱

## ۵- ارتفاع

ارتفاع در حوضه به شکل یک عامل غیر مستقیم عمل کرده است، بدین صورت که با افزایش ارتفاع به ویژه بالاتر از ۱۵۰۰ متر مقدار ریزش برف افزایش یافته و با ذوب شدن آن در فصل بهار، آبراهه‌ها را پر آب و در زیربری دامنه‌های پرشیب در پادگانه شنی نقش مهمی داشته است. این وضعیت در مناطق با ارتفاع پایین و کم‌تر از ۸۰۰ متر برعکس می‌باشد، زیرا با کاهش ارتفاع، میزان بارش افزایش یافته و وجود نوع پوشش و خاک این مناطق در وقوع لغزش‌ها مؤثر هستند، به طوری که بیش از ۷۰٪ لغزش‌ها در ارتفاع کم‌تر از ۸۰۰ متر اتفاق افتاده است.



جدول ۶- درصد وقوع لغزش‌ها با توجه به طبقه ارتفاعی

ردیف	طبقه ارتفاع	تعداد لغزش	درصد	وزن
۱	۶۰-۴۴۷	۱۵	۴۵/۴۵	۹
۲	۴۴۷-۸۳۳	۶	۱۸/۱۸	۵
۳	۸۳۳-۱۲۲۰	۰	۰	۱
۴	۱۲۲۰-۱۶۰۷	۱۱	۳۳/۳۳	۷
۵	۱۶۰۷-۱۹۹۳	۱	۳	۳
۶	۱۹۹۳-۲۳۳۰	۰	۰	۱
۷	۲۳۳۰-۲۷۶۷	۰	۰	۱
۸	۲۷۶۷-۳۱۵۳	۰	۰	۱

### ۶- بارش

بارش باران و ذوب برف با تأمین آب در خاک، مهم‌ترین عامل وقوع زمین لغزش‌ها را سبب می‌گردند. هر چه حجم آب نفوذی بیشتر باشد، احتمال وقوع زمین لغزش افزایش می‌یابد (ثروتی، ۱۳۸۱: ۱۱۴). نفوذ بارش سنگین در خاک و رسیدن به سنگ شیل نقش مهمی در لغزندگی توده خاک در حوضه مورد مطالعه دارد. با قرارگیری لغزش‌ها به روی نقشه همباران مشخص گردید که بیش از ۶۰٪ لغزش‌ها در فاصله بین منحنی‌های باران ۸۵۰-۱۰۰۰ میلیمتر اتفاق افتاده است. همچنین بارش باران از عمده‌ترین دلایل وقوع لغزش‌ها در منطقه شمال شرقی حوضه است، جایی که آبدی‌های بومی قرار دارند. البته این پارامتر با وجود عوامل اثرگذار دیگر بیشتر خودنمایی می‌کند، زیرا نقاطی در حوضه وجود دارد که بارش زیاد است، ولی لغزش اتفاق نیفتاده است.

جدول ۷- درصد وقوع لغزش‌ها با توجه به طبقات بارش در حوضه صفارود

ردیف	طبقه ارتفاع	تعداد لغزش	درصد	وزن
۱	۶۰-۴۴۷	۱۵	۴۵/۴۵	۹
۲	۴۴۷-۸۳۳	۶	۱۸/۱۸	۵
۳	۸۳۳-۱۲۲۰	۰	۰	۱
۴	۱۲۲۰-۱۶۰۷	۱۱	۳۳/۳۳	۷
۵	۱۶۰۷-۱۹۹۳	۱	۳	۳
۶	۱۹۹۳-۲۳۳۰	۰	۰	۱
۷	۲۳۳۰-۲۷۶۷	۰	۰	۱
۸	۲۷۶۷-۳۱۵۳	۰	۰	۱

### ۷- آبراهه‌ها

زیربری رودخانه و آبراهه‌ها نقش مهمی در برش پای شیب دارند و مانند جاده‌های ارتباطی در ناپایداری شیب مؤثر هستند. به طور کلی ۵/۵ درصد از لغزش‌های حوضه در فاصله کم‌تر از ۲۰ متری آبراهه‌ها اتفاق افتاده است. از این تعداد ۱۳ لغزش در منطقه جواهرده رخ داده که بیشتر مربوط به وجود پادگانه شنی و زیربری توسط جریان آب در آبراهه‌ها می‌باشد. در بخش شمال شرقی حوضه نیز مناطقی که از سازند شمشک پوشانده شده و نوع خاک لوم و لوم رسی شنی است، لغزش‌هایی اتفاق افتاده که از عوامل اصلی آن رودخانه صفارود می‌باشد.



شکل ۴- نمونه‌ای از لغزش که در کنار رودخانه و در حوالی روستای زرودک منطقه جواهرده اتفاق افتاده است.

جدول ۸- موقعیت زمین لغزش‌ها در کنار آبراهه‌ها

ردیف	موقعیت رودخانه	تعداد لغزش در منطقه شمال شرقی حوضه	تعداد لغزش در منطقه جواهرده	درصد
۱	رودخانه اصلی	۶	-	۲۸/۵۷
۲	آبراهه های فرعی	۲	۱۳	۷۱/۴۲
کل	-	۲۱		۱۰۰

## ۸- خاک

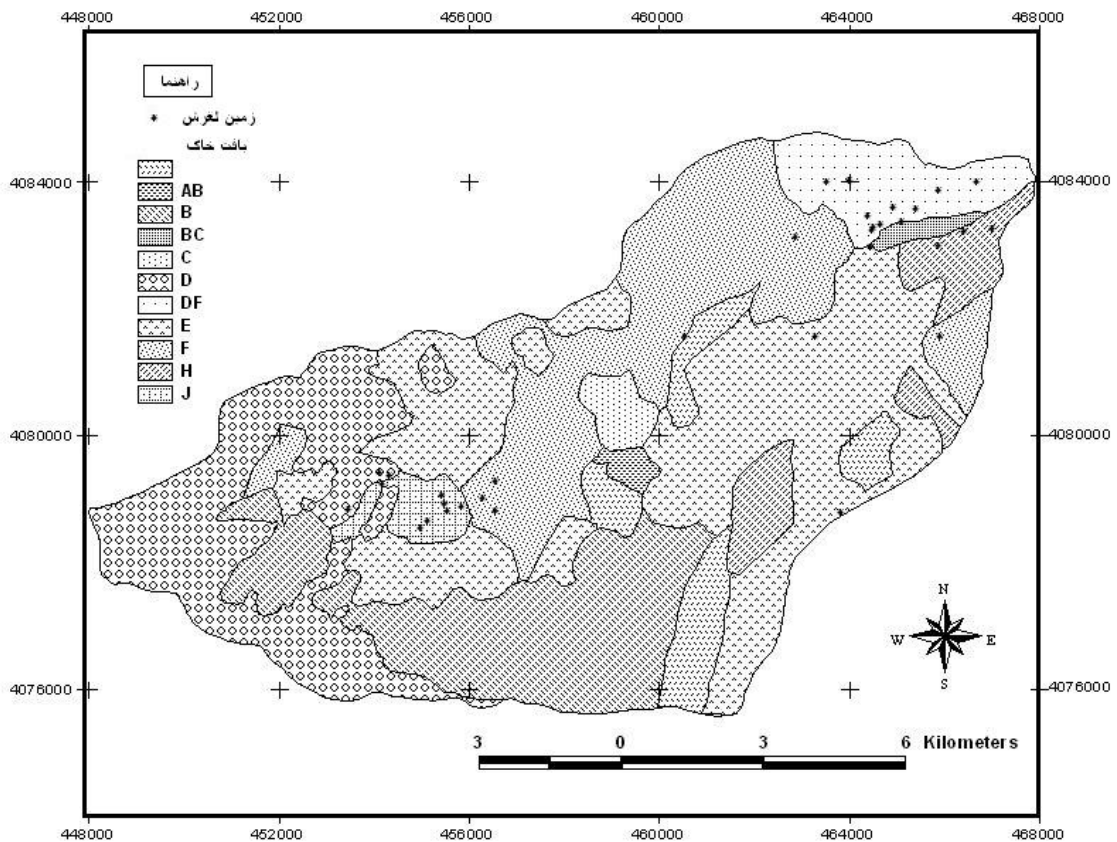
در حوضه صفارود دخالت خاک زمانی پررنگ تر می‌شود که عواملی مانند نوع سنگ (شیل، ماسه سنگ)، تخریب و کاهش تراکم پوشش گیاهی، جاده ارتباطی، زیربری آبراهه و شیب زیاد حضور بیشتری دارند. بیشترین لغزش‌ها در خاک‌های با بافت لوم تا لوم رسی شنی اتفاق افتاده است. در منطقه جواهرده پادگانه شنی موجب سست شدن خاک شده و انفصال بین دانه‌های خاک زیاد است. به علاوه مخروبه بودن از لحاظ پوشش گیاهی نیز استحکام آن را کاهش داده است.

## ۹- پوشش گیاهی

با وجود این که بیش از نیمی از سطح حوضه صفارود را پوشش گیاهی از نوع جنگل پوشانده است، ولی تخریب پوشش گیاهی به منظور احداث جاده، زمین کشاورزی، منازل مسکونی و قاچاق چوب سبب شده است. که نقاط اطراف روستاها و آبادی‌ها به مخروبه و نیمه مخروبه تبدیل شود (نقشه ۴). با تخریب پوشش گیاهی، ناپایداری شیب‌ها زیاد شده و انفصال بین دانه‌های خاک نیز بیشتر و در نتیجه توده خاک استحکام خود را از دست می‌دهد و به سمت پایین دست دامنه حرکت می‌کند. به‌طور کلی بیش از ۷۵٪ از لغزش‌های حوضه در مناطق با پوشش گیاهی ضعیف اتفاق افتاده است. در برخی نقاط تغییر نوع پوشش به ویژه کاشت درختان کاج غیر بومی و توده انبوه گیاهان که عمل بارگذاری را تشدید می‌کند، نیز به‌عنوان عامل اثرگذار پوشش گیاهی محسوب می‌شود.

جدول ۹- لغزش‌ها و نوع خاک

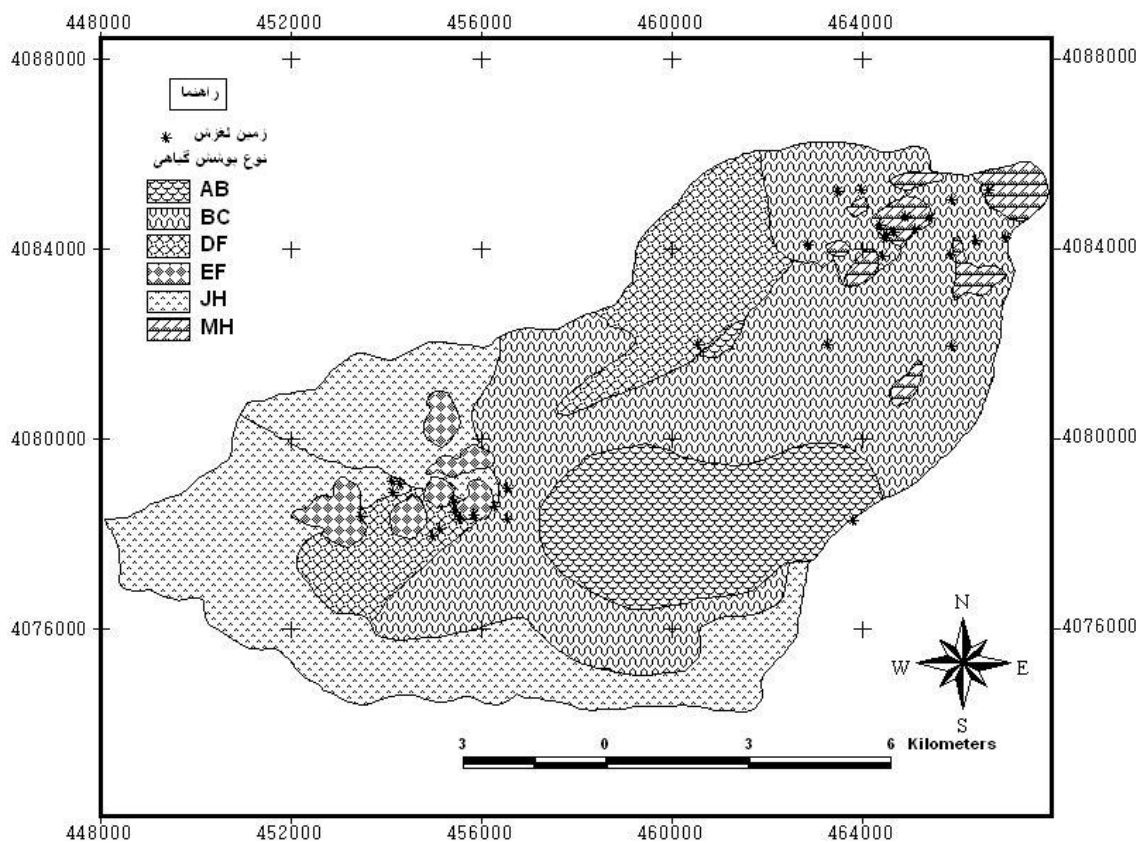
ردیف	نوع خاک	علامت اختصاری	تعداد لغزش‌ها	درصد	وزن
۱	لومی نیمه عمیق	A	۰	۰	۱
۲	لوم تا لوم رسی سیلتی	AB	۰	۰	۱
۳	لوم تا لوم شنی	B	۰	۰	۱
۴	سبک تا سنگین رس	BC	۰	۰	۱
۵	لوم تا رس	C	۰	۰	۱
۶	مناطق صخره‌ای	D	۰	۰	۱
۷	لوم تا لوم رسی شنی	Df	۱۲	۳۶/۳۶	۹
۸	لومی شنی و لومی	E	۰	۰	۱
۹	لومی، لوم رسی	f	۶	۱۸/۱۸	۵
۱۰	لوم تا لوم رسی	H	۵	۱۵/۱۵	۳
۱۱	لوم و لوم رسی شنی	J	۱۰	۳۳/۳۰	۷



شکل ۵- نوع خاک حوضه صفارود

جدول ۱۰- درصد وقوع لغزش‌ها با توجه به نوع پوشش

ردیف	نوع پوشش	علامت اختصاری	تعداد لغزش	درصد	وزن
۱	باغات	MH-Ef	۱۰	۳۰/۳۰	۷
۲	جنگل مخروبه	BC	۱۵	۴۵/۴۵	۹
۳	جنگل نیمه مخروبه	Df	۷	۲۱/۲۱	۵
۴	مرتع	JH	۱	۳	۱
۵	جنگل خوب	AB	۰	۰	۱



شکل ۶- پوشش گیاهی حوضه صفارود

### ۱۰- راه ارتباطی

لغزش‌های یکی از بزرگ‌ترین عوامل مزاحم برنامه‌های عمرانی از جمله در ایجاد و توسعه شبکه راه زمینی به حساب می‌آید و راه ارتباطی نیز در ایجاد لغزش‌ها مؤثر است (رجایی، ۱۳۸۲: ۳۰۱). در حوضه صفارود تعداد ۳۹/۴ درصد از کل لغزش‌ها در حاشیه جاده‌ها اتفاق افتاده است. بیشتر این لغزش‌ها در فاصله ۱۰۰ متری از آن قرار دارند و هرچه از راه‌های ارتباطی دور می‌شویم، از تعداد لغزش‌ها کاسته می‌شود. از طرفی هرچه عوامل مؤثر دیگر حضور بیشتری داشته باشند، اثر منفی احداث جاده‌ها نقش پررنگ‌تری دارد. احداث جاده در مناطقی که ساختار زمین‌شناسی آن از سازند شمشک پوشانده شده، اثرات بیشتری بر جای گذاشته است. نمونه بارز آن در نقاط شمال شرقی حوضه می‌باشد. ایجاد راه‌های ارتباطی نقش مهمی در ایجاد ترانسه در شیب‌ها و ناپایداری آن داشته و عبور وسایل نقلیه در جاده‌های ارتباطی به ویژه جواهرده با لرزش توده خاک روی شیب زیاد نیز تأثیرگذار است.

جدول ۱۱- فاصله از راه ارتباطی و زمین لغزش‌ها

ردیف	فاصله تا راه ارتباطی (متر)	تعداد	درصد	وزن
۱	۰-۱۰۰	۱۳	۳۹/۳۹	۹
۲	۱۰۱-۲۰۰	۲	۶/۰۶	۵
۳	۲۰۱-۳۰۰	۶	۱۸/۱۸	۳
۴	۳۰۱-۴۰۰	۲	۶/۰۶	۱



شکل ۷- نمونه‌ای از لغزش که در سنگ کنگلومرا و در حاشیه خیابان شهید بهشتی اتفاق افتاده است.

### ۱۱- آبدی‌ها

عوامل آنتروپوژنیک و فعالیت‌های اقتصادی از قبیل جاده‌سازی، بهره برداری از زمین و تخریب پوشش گیاهی از مهم‌ترین عوامل ایجاد لغزش‌ها در ایران هستند (زمردیان، ۱۳۸۱: ۸۸). آبدی‌ها در واقع همان عملکرد اقتصادی - اجتماعی انسان را مورد توجه قرار می‌دهد و با حضور خود، تغییرات کاربری را افزایش داده که نتیجه



شکل ۸- لغزش بزرگی را در حوالی روستای میانلالت نشان می‌دهد که در تاج و پای آن توسط جاده و رودخانه برش ایجاد شده است.

جدول ۱۲- درصد وقوع لغزش‌ها با توجه به فاصله تا آبادی‌ها

ردیف	طبقه (فاصله تا آبادی به متر)	تعداد لغزش	درصد	وزن
۱	۰-۱۹۹	۱۳	۳۹/۳۹	۹
۲	۲۰۰-۳۹۹	۱۱	۳۳/۳۳	۷
۳	۴۰۰-۵۹۹	۴	۱۲/۱۲	۵
۴	۶۰۰-۸۰۰	۲	۶	۳
۵	بیشتر ۸۰۰	۳	۹	۱

آن تسریع وقوع لغزش‌ها می‌باشد. بیش از ۷۲ درصد از لغزش‌های حوضه در اطراف آبادی‌ها اتفاق افتاده و با دور شدن از آبادی‌ها و کاهش دخالت انسان از تعداد لغزش‌ها کاسته می‌شود. در واقع انسان با فعالیت‌های خود از قبیل قطع بی‌رویه درختان و تخریب پوشش گیاهی، احداث جاده‌ها، شخم نامناسب و استفاده نادرست از آب در آبیاری کشاورزی که موجب ناپایداری دامنه‌ها می‌گردد، میزان تأثیر عوامل اثرگذار دیگر را در سطح حوضه افزایش داده است.

### نتیجه‌گیری

عوامل مؤثر بر زمین لغزش‌ها به همراه وزن و اهمیت نسبی آن‌ها در حوضه صفارود مورد بررسی قرار گرفت. این عوامل شامل سنگ‌شناسی، گسل، ارتفاع، شیب، جهت دامنه، بارش، آبراهه، خاک، پوشش گیاهی، راه ارتباطی و آبادی‌های حوضه بوده که بسته به شرایط منطقه، میزان نقش هر یک متفاوت بوده است. با جمع کردن نسبت وزنی عوامل مختلف که در جدول ۱ تا ۱۱ آمده است، رقمی به دست می‌آید که ممکن است سهم هر عامل لغزش را مشخص نماید. با این روش، عامل جهت دامنه با وزن ۳۱ بیشترین نقش را داشته و عوامل بارش و فاصله از راه ارتباطی با وزن ۱۸ کم‌ترین اهمیت را نشان می‌دهند. هر چند روش مورد بحث تا

حدود زیادی بیانگر نقش عوامل در ایجاد لغزش‌هاست، ولی به دلیل مطلق بودن ارزش‌ها و عدم انعطاف پذیری در عمل نتایج غیرواقعی را سبب می‌گردد. زیرا عوامل دیگر مورد نظر در این تحقیق هر یک به نوعی در وقوع لغزش‌ها مؤثر بوده‌اند و درصد بالایی از لغزش‌ها با توجه به هر یک از پارامترهای عوامل فوق اتفاق افتاده است.

از طرفی عوامل مؤثر بر وقوع لغزش‌های حوضه به طور سیستماتیک با یکدیگر ارتباط دارند و با افزایش عناصر ورودی به این سیستم، به تعداد و وسعت لغزش‌ها نیز افزوده می‌گردد. در بیشتر موارد انسان به عنوان یک عامل مخرب و تشدیدکننده‌ی عوامل دیگر عمل کرده است، زیرا با فاصله گرفتن از آبادی‌ها به شدت از تعداد لغزش‌ها کاسته می‌شود. همچنین نقاطی از حوضه که عوامل اثرگذار از قبیل اقلیم، خاک، پوشش گیاهی، هیدرولوژی و زمین‌شناسی برای وقوع لغزش مساعد هستند، ولی چون انسان حضور چندانی ندارد، اثری از لغزش مشاهده نشده است. بیشتر لغزش‌ها در منطقه شمال شرقی حوضه اتفاق افتاده است که در این مناطق انسان به صورت بومی حضور دارد و علاوه بر آن عوامل اثرگذار لیتولوژی، خاک، شیب دامنه‌ها و تخریب پوشش گیاهی نیز دیده می‌شود. اما مهم‌ترین عوامل اثرگذار در منطقه جواهرده شامل آبراهه‌ها، نوع خاک، شیب زمین و عوامل آنتروپیک می‌باشند. عوامل اقلیمی که مهم‌ترین عنصر آن بارش باران است، از دیگر عوامل اثرگذار می‌باشد، زیرا از طریق بارش به ویژه در مناطق شمال شرقی حوضه حتی می‌توان یک تقویم زمانی معین کرد. به این ترتیب که هر گاه بارش باران در این مناطق به بیش از ۱۵۰ میلی‌متر می‌رسد، لغزش اتفاق می‌افتد و این موقع را می‌توان به عنوان یک زمان خطر تعیین کرد. در مناطق جواهرده نیز سالی که برف فراوان و آب آبراهه‌ها بیشتر باشد، زیربری بیشتر و تخریب نیز بیشتر خواهد بود. نقش طبقات شیب در حوضه بیشتر تابع حضور عوامل دیگر است و هر چه عوامل ناپایداری شیب‌ها حضور بیشتری دارند، عامل شیب دامنه‌ها مؤثرتر عمل می‌کند. در این تحقیق، از سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزاری کارآمد برای گردآوری و پیرایش، کمی کردن و تحلیل عوامل به کار گرفته شد که موجب افزایش دقت و سرعت عمل در انجام مراحل کار گردید.

## منابع

- ۱- اداره کل منابع طبیعی نوشهر، ۱۳۷۹، طرح جنگل داری صفارود، نقشه خاک حوضه صفارود.
- ۲- اسمیت، کیت، ۱۳۸۲، مخاطرات محیطی، ترجمه شاپور گودرزی نژاد و ابراهیم مقیمی، چاپ اول، انتشارات سمت.
- ۳- ثروتی، محمدرضا، ۱۳۸۱، ژئومرفولوژی منطقه‌ای ایران، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
- ۴- چورلی، ریچارد جی، شوم، استانلی امی، سون، دیویه‌ای، ۱۳۷۹، ژئومرفولوژی (فرایندهای دامنه‌ای، آبراه‌های، ساحلی و پلادی)، ترجمه احمد معتمد، چاپ اول، انتشارات سمت.
- ۵- رجایی، عبدالحمید، ۱۳۸۲، کاربرد ژئومرفولوژی در آمایش سرزمین و مدیریت محیط، چاپ دوم، نشر قومس، تهران.
- ۶- رفاهی، حسینقلی، ۱۳۷۷، فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ سوم، دانشگاه تهران.
- ۷- زمردیان، محمدجعفر، ۱۳۸۱، ژئومرفولوژی ایران (فرایندهای اقلیمی و دینامیک بیرونی)، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۸- سازمان جغرافیایی ارتش و نیروهای مسلح، ۱۳۸۲، نقشه توپوگرافی رامسر، مقیاس ۱/۵۰۰۰۰.
- ۹- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۳، نقشه زمین‌شناسی رامسر و جواهرده، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰.
- ۱۰- سلملیان، حسین، ۱۳۸۵، بررسی عوامل مؤثر در زمین لغزه‌های حوضه آبی صفارود شهرستان رامسر، پایان نامه کارشناسی ارشد گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم سبزوار.

- ۱۱- علایی طالقانی، محمود، ۱۳۸۱، ژئومرفولوژی ایران، چاپ اول، نشر قومس، تهران.
- ۱۲- علیجانی، بهلول، ۱۳۷۶، آب و هوای ایران، چاپ سوم، دانشگاه پیام نور.
- ۱۳- غفاری، رامین، ۱۳۸۲، اولویت‌بندی بحران در سکونتگاه‌های روستایی با روش AHP (مطالعه موردی دهستان بازفت)، فصل‌نامه مهندس مشاور، شماره ۲.
- ۱۴- فرج‌زاده، منوچهر، منتظرالقائم، سعید، ۱۳۷۵، پهنه‌بندی قابلیت وقوع زمین لغزه‌ها با استفاده از GIS، مطالعه موردی جگرود تا رودهن، سومین کنفرانس سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، ص ۲۶۱-۲۴۵.
- ۱۵- کرم، عبدالامیر، ۱۳۸۳، کاربرد مدل ترکیب خطی وزین (WLC) در پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش، مجله جغرافیا و توسعه، ص ۱۴۶-۱۳۱.
- ۱۶- کک، روژه، ۱۳۷۳، ژئومرفولوژی اقلیمی، جلد دوم، ترجمه فرج اله محمودی، چاپ دوم، دانشگاه تهران .
- ۱۷- کوک، آر. یو. دورکمپ، جی سی، ۱۳۷۷، ژئومرفولوژی و مدیریت محیط، جلد اول، ترجمه شاهپور گودرزی نژاد، چاپ اول، انتشارات سمت، تهران.
- ۱۸- هاشمی، سید یوسف، ۱۳۸۱، ژئومرفولوژی حوضه صفاورد منطقه رامسر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر ری، گروه جغرافیا.
- 19- Baillifard .F. Jaboyedoff .M. Sartori .M. 2003. Rockfall hazard mapping along mountainous road in Switzerland using a GIS-based parameter rating ach.natural hazards and earth system sciences.3:431.8pp.
- 20- Dorren .L.A 2002 .Montain geocosystems- GIS modelling of rokfall and protection forest structure .ph.D thesis Universiteit Van Amsterdam. 114 pp.
- 21- Satty.T. .1980 .The analytical hierarchical process: planning priority setting .resource allocation. New York: Mc Graw-Hill.
- 22- Westen .J. Seijmonsbergen .A.C. and Mantovani .F. 2000 .Comparing Landslid Hazard Maps. Kluwer Academic Publishers. 26 pp.