



ISSN 2345 - 4997

Available online at: www.geo-dynamica.comVol. (2), No. 02, SN:05, Spring Issue- 2014
7th Article- P. 20 to 31**GRIB**Geodynamics Research
International Bulletin

The Impact of Landslide Maps Obtained from Two Different Sources on Landslide Hazard Zonation Map: A Case Study of Babolrood Watershed, Iran

Maryam Fattahi Bandpey^{1*}, Naser Hafezi-Moghaddas², GholamReza Lashkaripour²,
Mohammad Ghafouri²¹ Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.² Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.*Corresponding author (fattahi.maryam.b@gmail.com)

Article History:	Received: Jan 05, 2014	Reviewed: Jan 11, 2014
Revised: Jan 26, 2014	Accepted: Jan 23, 2014	Published: Jun 15, 2014

ABSTRACT

The landslide inventory map is one of the useful and applicable layers in many landslide hazard zonation methods. In this study, due to the importance of landslide inventory map, two layers derived from two different sources were compared and investigated. In the first type, landslide locations of the area were detected by image interpretation (aerial photos (1:20,000 scale) and in the second type, landslides were recorded by GPS (fieldwork along roads). An essential spatial database of landslides (consisting of two layers: first type (polygon layer) and second type (point layer) was established using GIS techniques. The aim of this work was to compare landslide layers that were derived from different sources, to show the accuracy and impact of each layer and to determine landslide susceptibility for each geological formation and result of landslide hazard zonation map. It was found that the impact of these layers were different. The results showed that the first type of landslide inventory map (detected by aerial photos interpretation) had more real and accurate impact on landslide hazard zonation and determination of landslide susceptibility of geological formation.

Keywords: Landslide Hazard Zonation, Landslide Inventory Map, Aerial Photos, Babolrood Watershed, Alborz.

تأثیر دو نقشه زمین لغزش تهیه شده از منابع متفاوت بر روی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، مطالعه موردی: حوزه آبریز بابلرود

مریم فتاحی‌بندی^۱، ناصر حافظی مقدس^۲، غلامرضا لشکری‌پور^۲، محمد غفوری^۲گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، نگارنده رابط: (fattahi.maryam.b@gmail.com)

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

تاریخ داوری: ۱۳۹۲/۱۰/۲۱	تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۱۵	تاریخچه انتشار مقاله
تاریخ انتشار: ۱۳۹۳/۳/۲۵	تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۰۳	تاریخ اصلاحات: ۱: ۱۳۹۲/۱۰/۲۶

چکیده

یکی از اصلی‌ترین لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در بسیاری از روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، نقشه زمین لغزش‌های موجود در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در این پژوهش با توجه به اهمیت این لایه اطلاعاتی، به بررسی و مقایسه دو لایه زمین لغزش به دست آمده از دو منبع مختلف پرداخته شده است. در حالت اول زمین لغزش‌های سطحی به دست آمده از تفسیر عکس‌های هوایی (با مقیاس ۱:۲۰،۰۰۰) و در حالت دوم زمین لغزش‌های نقطه‌ای برداشت شده با GPS (ثبت صحرائی با GPS در امتداد جاده‌ها) مورد بررسی قرار گرفت. یک بانک اطلاعاتی از زمین لغزش‌ها (مشکل از دو لایه: نوع اول (لایه رقمی ناحیه‌ای) و نوع دوم (لایه رقمی نقطه‌ای)) با استفاده از سیستم GIS تهیه شد. هدف از

مقایسه این دو لایه زمین‌لغزش با منبع برداشت متفاوت، نشان دادن میزان دقت و تأثیر هر کدام از آنها برای تعیین استعداد لغزشی سازندها و همچنین پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌باشد. نتایج نشان داد که زمین‌لغزش‌های برداشت شده از روی عکس‌های هوایی، تأثیر دقیق‌تر و واقعی‌تری در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و تعیین استعداد لغزشی سازندها دارند.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، نقشه زمین‌لغزش‌های موجود، عکس‌های هوایی، حوزه آبریز بابل‌رود، البرز.

۱. مقدمه

این پژوهش عملکرد دو لایه زمین‌لغزش تهیه شده از دو منبع اطلاعاتی مختلف در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مورد بررسی قرار گرفته است به عبارتی پهنه‌بندی یک بار با استفاده از لایه زمین‌لغزش‌های نقطه‌ای برداشت شده با سیستم موقعیت‌یاب جهانی و بار دیگر با استفاده از زمین‌لغزش‌های سطحی به دست آمده از روی عکس‌های هوایی انجام شده و نتایج به صورت دو نقشه پهنه‌بندی ارائه شده است. لازم به ذکر است که روش پهنه‌بندی و تعداد و نوع لایه‌های شرکت‌کننده در هر دو حالت یکسان در نظر گرفته شد و تنها لایه‌های زمین‌لغزش مورد استفاده در این دو مرحله متفاوت می‌باشند.

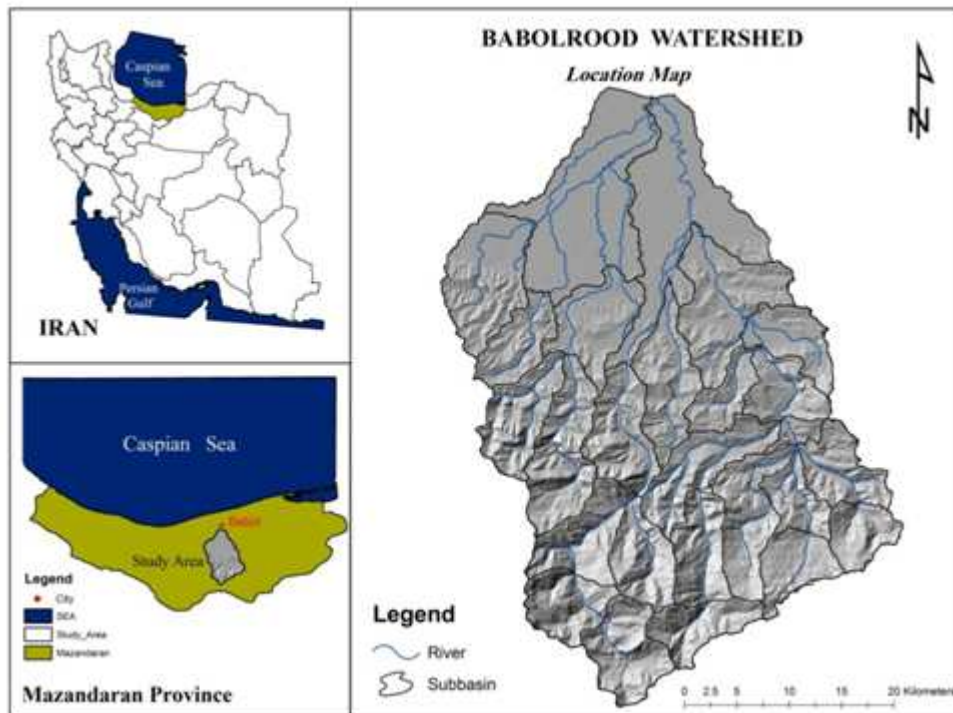
۲. موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز بابل‌رود در شمال ایران و در استان مازندران قرار گرفته است. رودخانه‌های این حوزه پس از زهکشی دامنه‌های شمالی البرز به بابل‌رود پیوسته و این رودخانه در نهایت با عبور از شهرهای بابل و بابلسر به دریای مازندران می‌ریزد. منطقه مورد مطالعه در محدوده طول جغرافیایی $52^{\circ} 25'$ تا 55° شرقی، و عرض جغرافیایی 36° تا $33^{\circ} 36'$ شمالی با مساحتی در حدود 1492.97 کیلومتر مربع قرار گرفته است (شکل ۱).

این حوزه از مراکز پرجمعیت استان مازندران به شمار می‌آید که هر ساله بروز زمین‌لغزش‌های متعدد در آن موجب آسیب به جاده‌های ارتباطی، مناطق مسکونی، زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها می‌گردد. بخش اعظم منطقه مورد مطالعه از پوشش جنگلی تشکیل شده است که در سال‌های گذشته تحت تأثیر تغییر کاربری زمین، زمین‌لغزش‌های متعددی در آن رخ داده است. میانگین بارش سالانه بیش از 1000 میلیمتر در سال است که با افزایش ارتفاع به سمت جنوب، این میزان افزایش یافته و در ارتفاعات به صورت برف مشاهده می‌شود.

ناپایداری‌های دامنه‌ای یا زمین‌لغزش‌ها از جمله پدیده‌های طبیعی تغییر شکل دهنده سطح زمین می‌باشند که در تمام دوران‌های زمین‌شناسی وجود داشته‌اند و در حال حاضر از آن به عنوان یکی از بلاایای اصلی در بسیاری از نقاط جهان نام برده می‌شود (حافظی مقدس، ۱۳۹۰). عوامل ایجاد این پدیده طبیعی مخرب می‌تواند ذاتی و مربوط به محدوده‌ای با مشخصات زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی مشخصی بوده و یا تحت تأثیر عوامل بیرونی چون: تغییر کاربری زمین، بارگذاری، تغییر شیب و غیره باشد به دلیل اهمیت موضوع زمین‌لغزش، مطالعات زیادی توسط پژوهشگران مختلف در سرتاسر دنیا انجام شده است به عنوان مثال: وارنرز، ۱۹۷۸؛ ون وستن، ۱۹۹۸؛ لن و همکاران، ۲۰۰۴؛ بریدیو و همکاران، ۲۰۰۷؛ آوانزی و همکاران، ۲۰۰۴؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۱ و همچنین در ایران: انتظاری، ۱۳۸۵؛ فتاحی‌بندپی، ۱۳۸۶؛ فیض‌نیا و کلارستانی، ۱۳۸۳؛ ارومیه‌ای و صفایی، ۲۰۰۰؛ سوری و همکاران، ۱۳۹۰.

بر اساس پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و با توجه به عوامل مؤثر بر آن، می‌توان بخش‌های مستعد زمین‌لغزش را شناسایی نمود. یکی از لایه‌هایی که در بسیاری از روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نقش اساسی و تعیین‌کننده دارد لایه زمین‌لغزش‌های موجود می‌باشد. این لایه مشخص‌کننده توزیع فضایی ناپایداری‌های دامنه‌ای و زمین‌لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این نقشه‌ها اغلب می‌توانند به عنوان یک اساس برای دیگر تکنیک‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و یا مقدمه‌ای از نقشه خطر زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گیرند (Saha et al., 2005). با توجه به میزان تأثیرگذاری لایه زمین‌لغزش، هر چه این لایه با دقت بیشتر تهیه شود، صحت نتیجه پهنه‌بندی و یا دیگر مطالعات وابسته به این لایه اطلاعاتی، از درجه اطمینان بالاتری برخوردار خواهد بود. در



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه، حوزه آبریز بابلرود

۲. ۱. زمین شناسی منطقه

رسوبی بوده و رخنمون‌های بسیار کوچکی از سنگ‌های آذرین بیرونی و نفوذی در قسمت‌های جنوبی مشاهده می‌گردد (وحدتی دانشمند و کریمی، ۱۳۸۲) (شکل ۲). سازندهای موجود در این ناحیه به طور کلی از: مارن، مارن سیلت‌دار، سیلت، کنگلومرا، ماسه سنگ، آهک، آهک‌های دولومیتی و دولومیت تشکیل شده اند که سست‌ترین آنها مارن‌ها به همراه بخش‌های کوچکی از گچ و مقاوم‌ترین این واحدها سنگ آهک و دولومیت می‌باشند (جدول ۱).

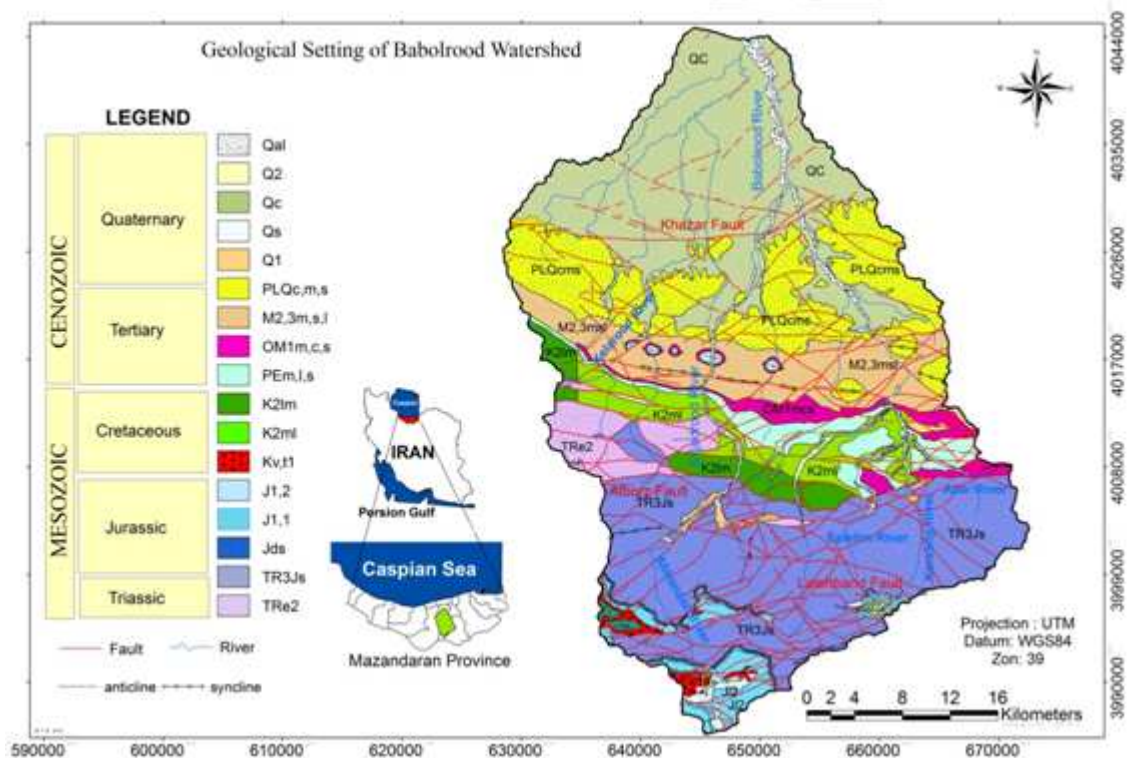
حوزه آبریز بابلرود در دامنه‌های شمالی البرز مرکزی قرار دارد. محدوده مورد مطالعه در نقشه‌های زمین‌شناسی قائم‌شهر (وحدتی دانشمند و کریمی، ۱۳۸۲) و آمل با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ (وحدتی دانشمند، ۱۳۷۸) و ساری با مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ (وحدتی دانشمند و سعیدی، ۱۳۶۹) قرار گرفته است. این حوزه از واحدهای سنگی مختلفی تشکیل شده است که بیشترین گسترش واحدهای سنگی این منطقه از نوع

جدول ۱. مشخصات واحدهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

واحد	زمان زمین‌شناسی	جنس مصالح
Q	کواترنری	نواحی زراعتی، آبرفت سست بستر رودخانه، مخروط‌افکنه‌ها و پادگانه‌های آبرفتی
PLQ _{c,m,s}	کواترنری-ترشیاری	کنگلومرا، مارن سیلت‌دار، ماسه سنگ، سیلت‌سنگ
M2 _{3m,s,l}	ترشیاری (میوسن)	مارن، ماسه سنگ، سیلت‌سنگ آهکی، مارن سیلت‌دار، سنگ آهک ماسه‌ای، مادستون
OM1 _{m,c,s}	ترشیاری (الیگوسن - میوسن)	مارن سیلت‌دار، سنگ آهک ماسه‌ای - مارنی، ماسه سنگ آهکی، کنگلومرا
PE _{m,l,s}	ترشیاری (پالئوسن)	مارن سیلت‌دار، مارن، مارن آهکی، سنگ آهک، سنگ آهک مارنی
K2 _{lm}	کرتاسه	سنگ آهک اوریتولین‌دار
K2 _{ml}	کرتاسه	سنگ آهک، سنگ آهک مارنی، مارن آهکی و مارن خاکستری - سبز - زرد رنگ
J _{l2}	ژوراسیک	سنگ آهک‌های آمونیت‌دار نازک تا متوسط لایه خاکستری تیره
J _{l1}	ژوراسیک	مارن، مارن آهکی و سنگ آهک مارنی آمونیت‌دار سبز روشن - کرم رنگ
TR _{3J_s}	تریاس ژوراسیک	شیل، ماسه سنگ، سیلت سنگ، رس سنگ، ماسه سنگ کوارتزی، کنگلومرا، رغال‌دار
TRe ₂	تریاس	دولومیت ضخیم لایه تا توده‌ای شکل خاکستری رنگ، سنگ آهک دولومیتی، سنگ آهک

۱۹۵۷ م. بندپی و همچنین ۱۸۰۵ م. هراز و ۱۸۰۹ م. آمل اشاره کرد که منجر به لغزش‌ها و ریزش‌های سنگی فراوانی در این منطقه گردید (امبرسیز و ملویل، ۱۳۷۰). ریخت‌شناسی منطقه به شدت تحت تأثیر ساختارهای ناحیه‌ای و نیز ماهیت سنگ‌شناسی رخنمون‌ها است، روند افزایش بلندا، از شمال به جنوب است و اختلاف ارتفاع زیادی دیده می‌شود (وحدتی دانشمند و کریمی، ۱۳۸۲). محور اصلی چین‌ها، متأثر از روند عمومی رشته‌کوه‌های البرز بوده و اغلب موازی و در راستای خاوری-باختری می‌باشد.

از نظر ساختاری منطقه مورد مطالعه از تراکم بالای گسل‌ها تشکیل شده است. گسل خزر، البرز، لاله بند با روند شرقی-غربی از مهمترین گسل‌های منطقه بوده و گسل‌های متعدد دیگری در بین گسل‌های فوق با روندهای مختلف مشاهده می‌شوند (شکل ۲). از نظر لرزه‌خیزی، این منطقه به دلیل قرار گرفتن در کمربند لرزه‌خیز آلپ هیمالیا و وجود گسل‌های فعالی چون گسل خزر، گسل البرز و گسل لاله بند و دیگر گسل‌های فعال اطراف آن زلزله‌های متعددی را پشت سر گذاشته است. از مهمترین این زلزله‌ها می‌توان به زلزله سال



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی حوزه آبریز بابل‌رود (به نقل از نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ قائم‌شهر)

۳. مواد و روش‌ها

۳.۱. لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده

وجود دارد از جمله: پیمایش زمینی، تفسیر عکس‌های هوایی و ناحیه‌ای، اطلاعات موجود و بانک‌های اطلاعاتی و غیره. با توجه به هدف این مطالعه، لایه زمین‌لغزش‌های موجود در حوزه مورد مطالعه با دو روش و در دو لایه رقومی جداگانه به صورت زیر تهیه شد:

الف- زمین‌لغزش‌های سطحی ثبت شده از روی عکس‌های هوایی: یکی از راه‌های تهیه نقشه زمین‌لغزش استفاده از عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ است. در این حالت لغزش‌ها را از روی عکس‌های هوایی شناسایی و رسم کرده و

در این پژوهش برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ۱۰ عامل مورد بررسی قرار گرفت و نقشه آنها در محیط Arc GIS تهیه و سایر محاسبات مربوط به پهنه‌بندی در این نرم‌افزار و نرم‌افزار Excel انجام شد. مهمترین لایه اطلاعاتی در این پژوهش، نقشه زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه می‌باشد. برای تهیه نقشه زمین‌لغزش‌های موجود در یک منطقه روش‌های مختلفی

لغزش‌هایی در اندازه‌های کوچکتر و جواتر راتشکیل می‌دهند شناسایی می‌شود. این لغزش‌ها به صورت سطحی و پلی‌گون می‌باشند (شکل ۴b).

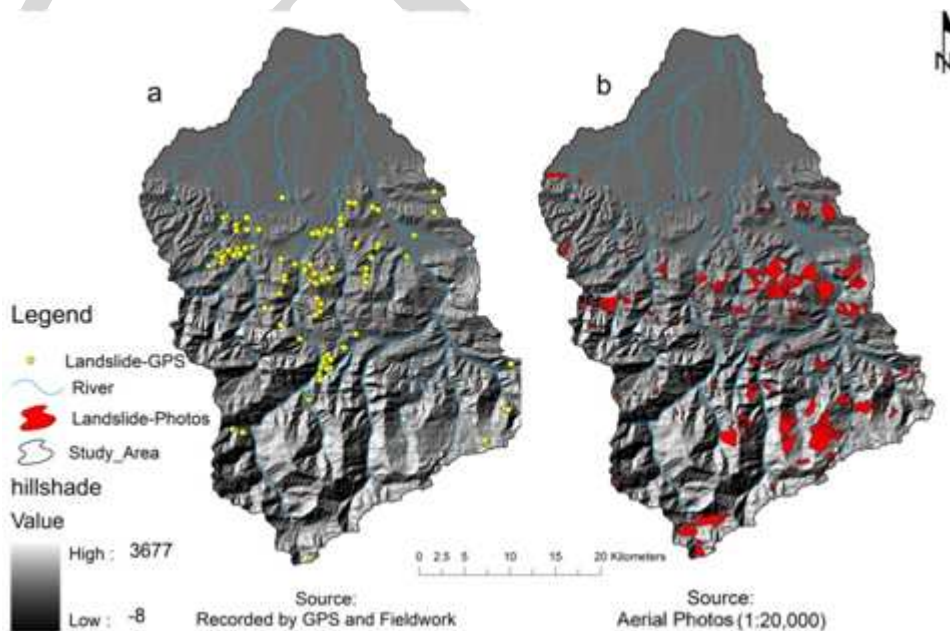
سپس آن را به روی نقشه توپوگرافی با مقیاس مناسب منتقل و به صورت لایه‌ای جداگانه در محیط Arc GIS رقومی می‌کنند. به این ترتیب تعداد زیادی از ناپایداری‌های دامنه‌ای بزرگ که لغزش‌های فسیل و قدیمی (شکل ۳) و همچنین



شکل ۳. تعدادی از زمین لغزش‌های قدیمی حوزه آبریز بابلرود بر روی سازند شمشک

(۵) و همچنین بانک زمین لغزش‌های استان مازندران، زمین لغزش‌های موجود در منطقه ثبت و وارد سیستم GIS شد (شکل ۴a).

ب-زمین لغزش‌های نقطه‌ای ثبت شده به وسیله GPS: در این روش با انجام عملیات صحرائی و ثبت نقطه‌ای زمین لغزش‌ها با سیستم موقعیت یاب جهانی (GPS)) در مسیر جاده‌ها (شکل



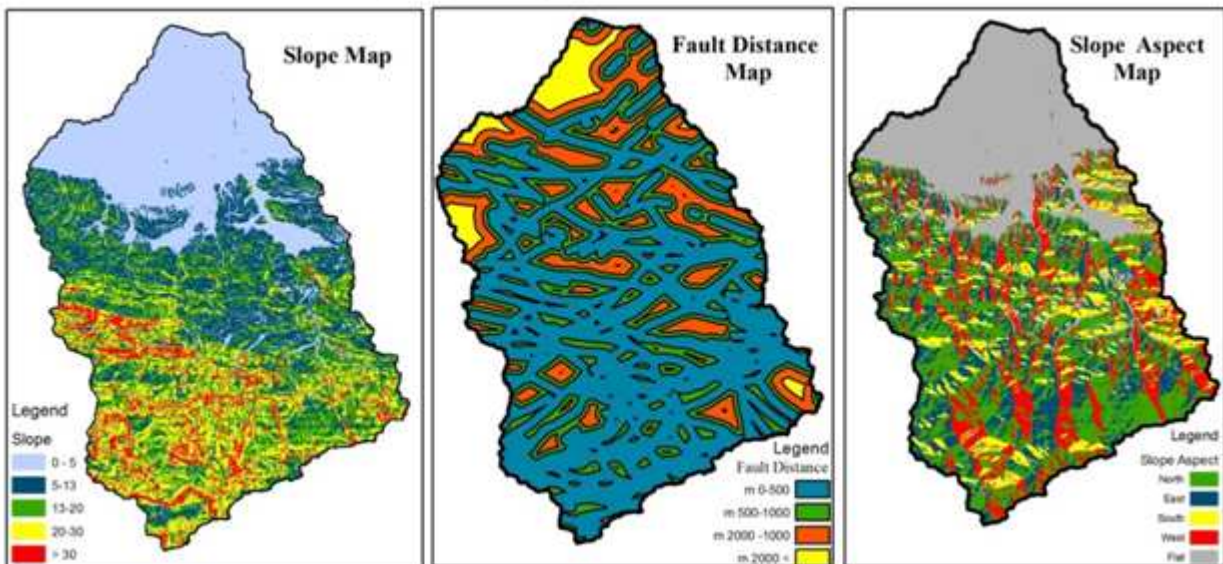
شکل ۴. (a) لغزش‌های شناسایی شده به وسیله بازدید صحرائی و ثبت نقطه‌ای با GPS درحوزه آبریز بابلرود و (b) لغزش‌های شناسایی شده از روی عکس‌های هوایی ۱:۲۰,۰۰۰ حوزه آبریز بابلرود (فتاحی‌بندی، ۱۳۸۶).

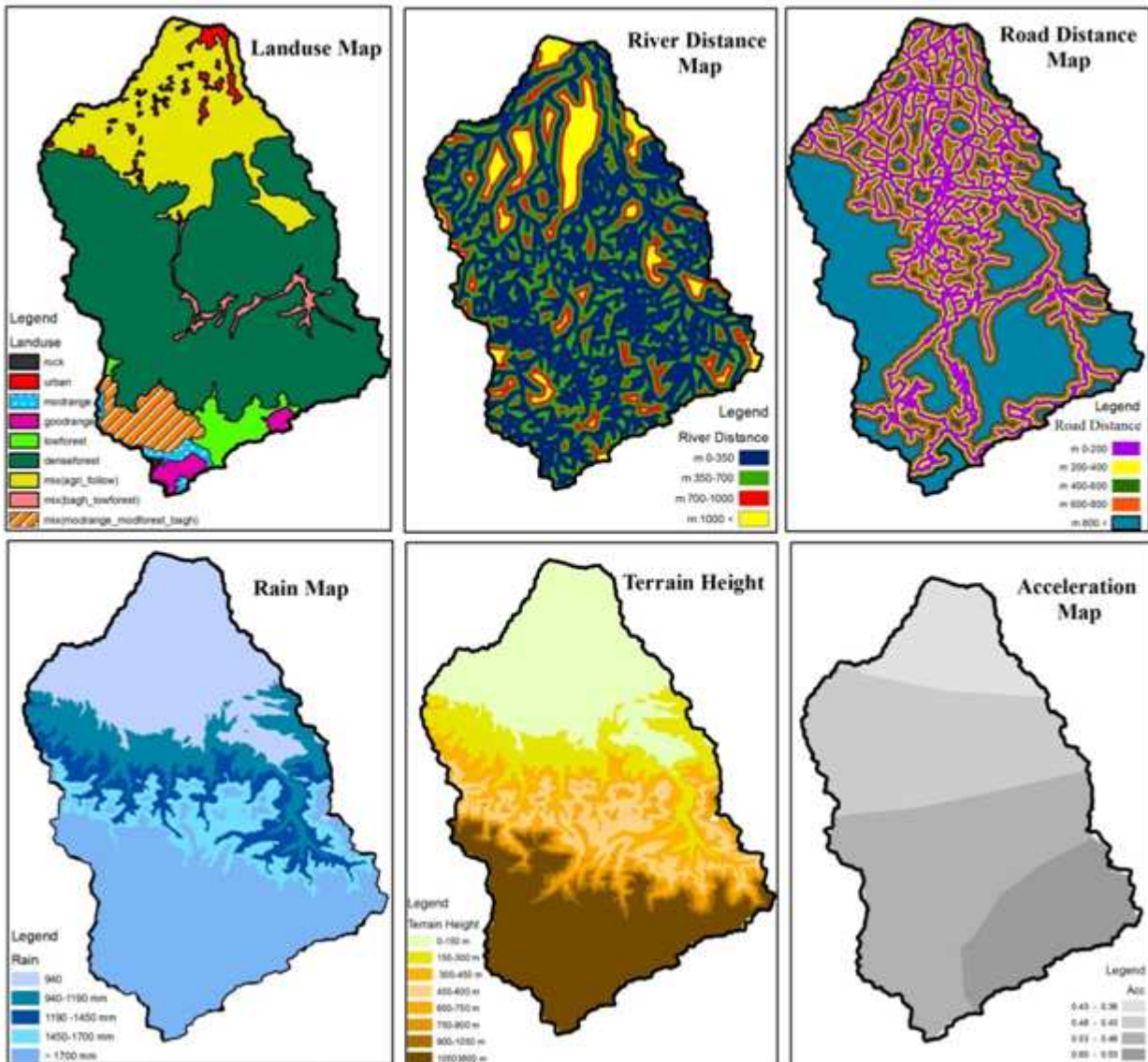


شکل ۵. زمین لغزشهای ثبت شده در مسیر جاده با GPS (فیروزجا-بندی بابل)

روش مورد استفاده، هر کدام از لایه‌ها با لایه رقومی زمین لغزش قطع داده شد تا میزان تراکم لغزش در هر کلاس از هر لایه به دست آمده و با استفاده از این اطلاعات مراحل وزن‌دهی و محاسبات در جهت انجام پهنه‌بندی صورت گیرد (شکل ۲ و ۶).

در این پژوهش برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، علاوه بر لایه زمین لغزش از ۱۰ لایه رقومی: لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، هم ارتفاع، هم باران، شتاب افقی زمین‌لرزه، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب و فاصله از جاده استفاده گردید. همه این لایه‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه و کلاس‌بندی شدند. در مرحله بعد با توجه به





شکل ۶. عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه

پتانسیل لغزشی و روش مورد استفاده وزن دهی شده اند استفاده کرد (پرتا و همکاران، ۲۰۱۲).

در پهنه‌بندی با استفاده از روش آماری دو متغیره تراکم سطح علاوه بر لایه‌های اطلاعاتی حوزه مورد مطالعه، نیاز به نقشه پراکنش زمین‌لغزش منطقه دارد که قبلاً باید با هر کدام از نقشه‌های پایه حوزه قطع داده شود تا مساحت و تراکم زمین لغزش در هر واحد نقشه به دست آید در واقع در این روش وقوع زمین‌لغزش به عنوان متغیر وابسته و هر یک از عوامل محیطی مؤثر به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته می‌شوند (Van westen, 1998). در ادامه وزن مربوط به هر کلاس از هر لایه عامل با توجه به رابطه ۱ و ۲ محاسبه شده و پس از آن،

۲-۴. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و روش آماری دو متغیره تراکم سطح

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نقش مهمی در برنامه‌ریزی و توسعه طرح‌ها در نواحی کوهستانی دارد (Anbalagan, 2003). در نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مناطق به پهنه‌هایی با پتانسیل‌های نسبی خطر زمین‌لغزش مانند: خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد مشخص می‌شوند (Porta et al., 2012). روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش وجود دارد که در هر کدام می‌توان از چندین عامل مؤثر بر زمین‌لغزش که هر کدام کلاس‌بندی و با توجه به میزان

اساس وزن به دست آمده (معادله ۱ و ۲) تلفیق شده و از جمع جبری وزن‌های واحدهای همپوشانی شده، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با لایه زمین‌لغزش به دست آمد. با این توضیح که تمام لایه‌ها یکبار با لایه زمین‌لغزش نقطه‌ای (برداشت شده با GPS) و یکبار با لایه زمین‌لغزش سطحی (برداشت شده از عکس هوایی) قطع داده شده و تراکم زمین‌لغزش‌ها در هر کلاس محاسبه و وزن‌دهی با توجه به روابط فوق انجام شد. در نهایت دو نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از این محدوده به دست آمد که از نظر توزیع و مساحت کلاس‌های خطر با همدیگر تفاوت قابل ملاحظه‌ای را نشان دادند (شکل ۷).

تمام لایه‌ها با هم جمع شده و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به دست می‌آید:

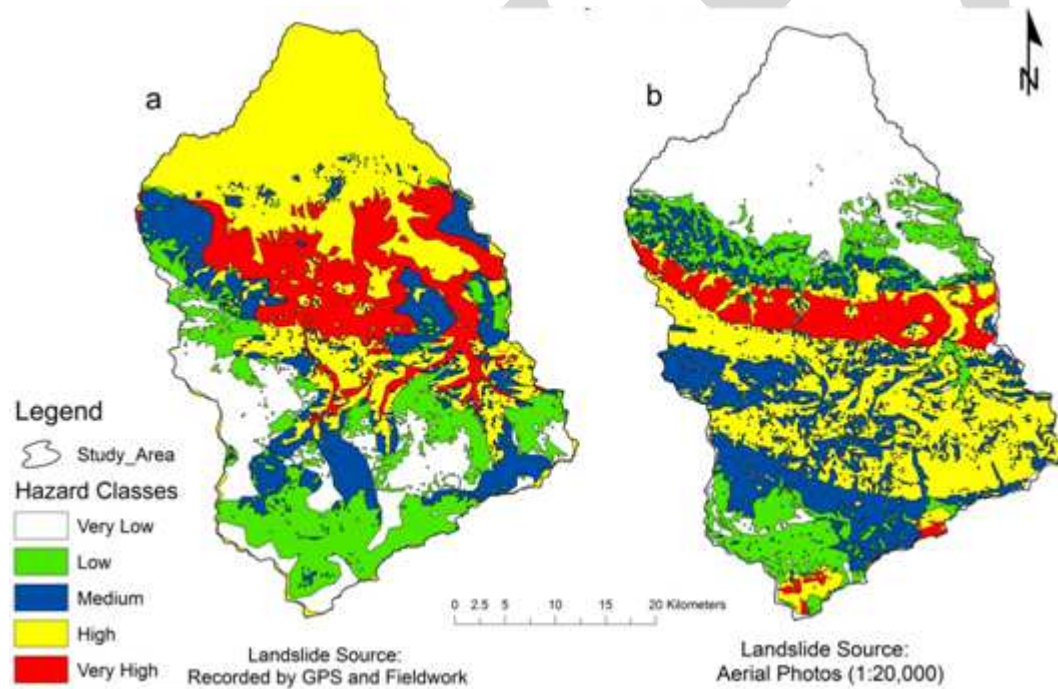
$$Darea = A / B \times 1000 \quad (1)$$

$$Warea = Darea - (C / D \times 1000) \quad (2)$$

که در آن:

A = مساحت لغزش‌های هر واحد، B = مساحت هر واحد، C = مساحت کل لغزش در حوزه، D = مساحت کل حوزه، Darea = تراکم سطح، Warea = وزن تراکم سطح.

جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدوده مورد مطالعه، نقشه‌های ساخته شده هر یک از عوامل تأثیرگذار، بر



شکل ۷. a. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از لایه زمین‌لغزش نقطه‌ای ثبت شده با GPS و b. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از لایه زمین‌لغزش سطحی تهیه شده از عکس‌های هوایی

است. پهنه خطر متوسط ۲۶/۶ درصد و پهنه‌های خطر کم و خیلی کم به ترتیب ۱۷/۲ و ۱۲/۵ درصد منطقه را پوشش می‌دهند (جدول ۲). بررسی این نقشه نشان می‌دهد که مناطق با خطر بالا در گستره سازندهای مارن‌دار (هم ارز سازند قرمز بالایی و ...) قرار گرفته‌اند و لیتولوژی تا حد زیادی تعیین‌کننده مرز این پهنه‌ها می‌باشد (شکل ۷b).

۳. نتایج و بحث

بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (شکل ۷) نشان می‌دهد که در نقشه پهنه‌بندی که با استفاده از لایه زمین‌لغزش برداشت شده از عکس هوایی تهیه شد، ۹/۱ درصد از مساحت منطقه در پهنه خطر خیلی زیاد و بیشترین مساحت که ۳۴/۶ درصد از منطقه را شامل می‌شود در پهنه خطر زیاد قرار گرفته

(شکل ۷a و جدول ۲). به طوری که در ناحیه شمال نقشه که حالت دشت مسطح دارد به علت تراکم شبکه راه‌ها (که با توجه به ثبت لغزش‌ها در مسیر و نزدیک جاده‌ها به عنوان لایه مؤثر در زمین‌لغزش‌های منطقه ارزیابی و در پهنه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت) جزء پهنه با خطر بالا قرار در نظر گرفته شد در صورتی که در واقعیت این طور نیست. همچنین مناطقی با لیتولوژی مارن‌دار و مستعد با سابقه لغزشی در منطقه مشاهده می‌شوند که جزء مناطق پرخطر قرار نگرفته‌اند.

در نقشه پهنه‌بندی که با استفاده از لایه زمین‌لغزش ثبت شده به وسیله GPS تهیه شد، ۱۸/۱ درصد از مساحت منطقه در پهنه خطر خیلی زیاد و ۲۰/۸ درصد از منطقه در پهنه خطر زیاد، ۱۸/۱ درصد در پهنه خطر متوسط قرار گرفته‌اند و در نهایت پهنه‌های خطر کم و خیلی کم به ترتیب ۲۳/۵ (بیشترین مساحت) و ۱۹/۶ درصد منطقه را تشکیل می‌دهند. با توجه به نقشه پهنه‌بندی به دست آمده، مرز پهنه خطر خیلی بالا و بالا تحت تأثیر تراکم و مسیر جاده‌های منطقه شکل گرفته است

جدول ۲. تأثیر لایه‌های زمین‌لغزش در مساحت هر یک از کلاسهای خطر در دو نقشه پهنه بندی تهیه شده

درصد مساحت کلاسهای خطر نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش			
(نقشه زمین لغزش نقطه ای ثبت شده با GPS)		(نقشه زمین لغزش حاصل از عکسهای هوایی)	
کلاس خطر	درصد مساحت	کلاس خطر	درصد مساحت
خیلی زیاد	۱۸/۱	خیلی زیاد	۹/۱
زیاد	۲۰/۸	زیاد	۳۴/۶
متوسط	۱۸/۱	متوسط	۲۶/۶
کم	۲۳/۵	کم	۱۷/۲
خیلی کم	۱۹/۶	خیلی کم	۱۲/۵

را در کنار جاده‌های احداث شده نشان می‌دهند ولی در برخی موارد اگر تراکم شبکه جاده‌ها در سازندهای مختلف تقریباً یکسان نباشد فراوانی زمین‌لغزش در سازندهای مختلف می‌تواند استعداد لغزشی سازندهای مختلف را متفاوت از واقعیت نشان دهد. به عنوان مثال، ممکن است در یک منطقه سازندی حساس‌تر باشد ولی به علت اینکه در حال حاضر جاده ای در آن احداث نشده، یا تراکم شبکه راه‌ها نسبت به دیگر سازندها (با گسترش مشابه) کمتر باشد، در نتیجه تعداد زمین‌لغزش کمتری را نشان می‌دهد. علاوه بر این با توجه به پوشش جنگلی متراکم و نواحی مرتفع کوهستانی، راه دسترسی مناسب به تمام مناطق وجود ندارد و بخش قابل توجهی از این زمین‌لغزش‌ها ثبت نمی‌شوند.

بررسی دو لایه زمین‌لغزش‌های سطحی و زمین‌لغزش‌های نقطه‌ای نشان داد که بخش قابل توجهی از این لغزش‌های نقطه‌ای تحت تأثیر تغییر کاربری در مناطق لغزشی قدیمی و لغزش‌های فسیل که دارای سابقه ناپایداری دامنه‌ای در گذشته بوده‌اند رخ داده‌اند. یعنی با شناختن مناطق لغزشی قدیمی (که

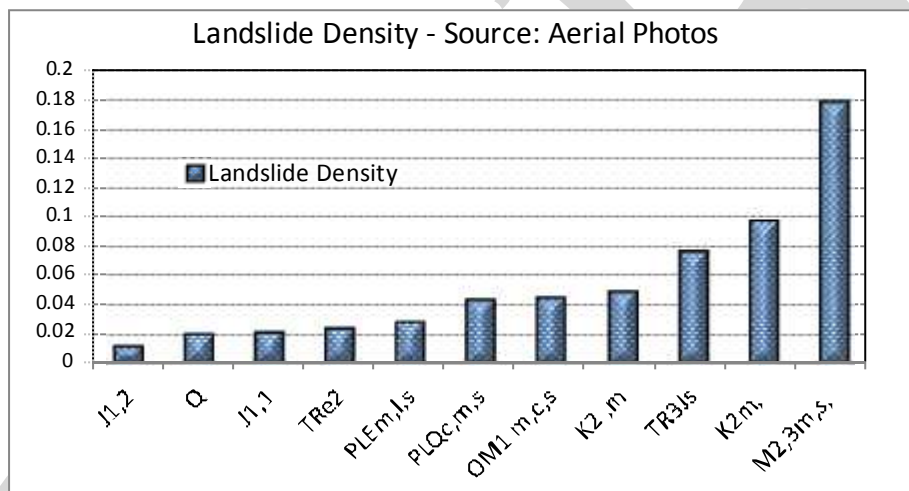
با مقایسه دو نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (شکل ۷) که طی دو مرحله و با دو منبع مختلف از زمین‌لغزش تهیه گردید، مشاهده شد که تفاوت قابل ملاحظه‌ای در توزیع پراکندگی مناطق با درجات مختلف خطر زمین‌لغزش وجود دارد. با بررسی شرایط زمین‌شناسی منطقه و مقایسه مکان‌های جدیدی که اخیراً در معرض زمین‌لغزش قرار گرفته‌اند مشخص شد که نقشه پهنه‌بندی که با استفاده از لایه زمین‌لغزش‌های تهیه شده از روی عکس‌های هوایی به دست آمده است، از صحت و اطمینان بالاتری نسبت به نقشه پهنه‌بندی تهیه شده از روی لایه زمین‌لغزش‌های نقطه ای ثبت شده به وسیله GPS برخوردار می‌باشد.

یکی از مهمترین دلایلی که این وضعیت را توضیح می‌دهد این است که اکثر زمین‌لغزش‌ها نقطه‌ای ثبت شده با GPS و به صورت نقطه ای در امتداد جاده‌ها و راه‌های دسترسی اصلی و فرعی موجود قرار دارند و توزیع پراکندگی زمین‌لغزش‌ها در این لایه متناسب با پراکندگی شبکه راه‌های ارتباطی می‌باشد. اگر چه مناطق حساس به زمین‌لغزش، تراکم بالاتر زمین‌لغزش

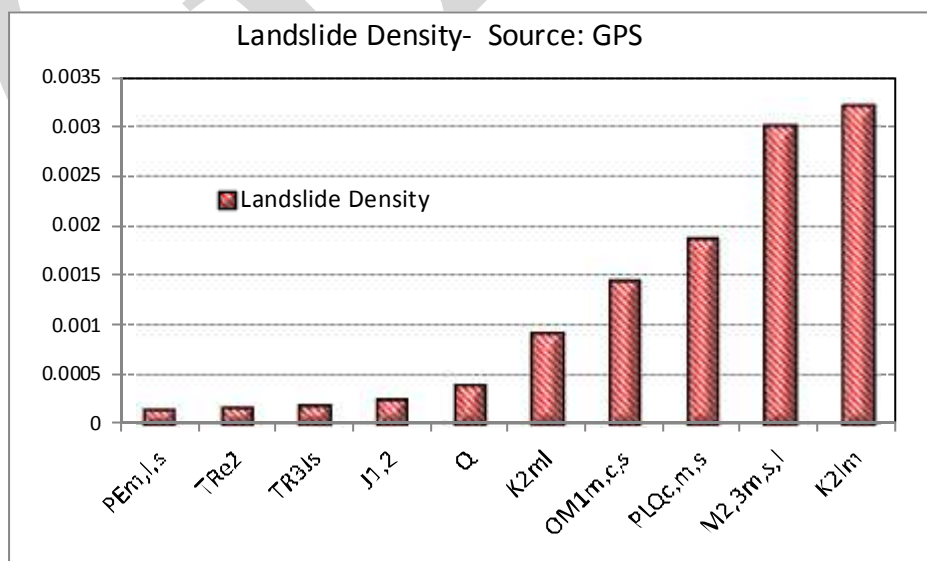
می‌تواند از نظر وسعت با سطح سازند دیگری که تحت تأثیر زمین لغزش قرار گرفته بسیار متفاوت باشد و این موضوع در درجه‌بندی سازندها از نظر استعداد لغزشی تأثیر گذار می‌باشد. در حالی که در حالت استفاده از لایه زمین لغزش‌های نقطه‌ای از نظر تعداد زمین لغزش مقایسه می‌شوند و در دو سازند با گسترش مشابه که در یکی سطح کمی درگیر لغزش است و در دیگری سطح لغزش در آن زیاد می‌باشد اگر از نظر تعداد زمین لغزش برابر باشند در هر دو مورد استعداد لغزشی سازندها یکسان در نظر گرفته می‌شود در صورتی که در واقعیت این طور نیست (شکل‌های ۸ و ۹).

با مطالعه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای میسر می‌شود تا حد زیادی می‌توان مناطق لغزشی جدیدی که ممکن است تحت تأثیر برنامه‌های عمرانی و تغییر کاربری‌های آینده صورت گیرد، را پیش‌بینی نمود.

یکی دیگر از کاربردهای نقشه زمین لغزش‌های موجود در یک حوزه آبریز یا محدوده مورد مطالعه، تعیین استعداد لغزشی سازندها با به دست آوردن تراکم زمین لغزش در هر سازند می‌باشد که با تقسیم مساحت (یا تعداد) لغزش‌های رخ داده بر روی هر سازند بر مساحت سازند به دست می‌آید. در لایه زمین لغزش‌های برداشت شده از روی عکس‌های هوایی، سطحی که در دو سازند درگیر با ناپایداری دامنه‌ای است



شکل ۸. نمودار تراکم زمین لغزش (منبع: عکس‌های هوایی) در هر سازند در حوزه آبریز بابل‌رود



شکل ۹. نمودار تراکم زمین لغزش (منبع: برداشت نقطه‌ای با GPS) در هر سازند در حوزه آبریز بابل‌رود

۴. نتیجه‌گیری

امبرسیز، ن.ن.، ملویل، چ.پ. (۱۳۷۰) تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران، ترجمه ابولحسن رده، انتشارات آگاه، تهران.

انتظاری، امیر (۱۳۸۵)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدوده حوزه آبریز سد بالایی سیاه‌بیشه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

حافظی‌مقدس، ن. (۱۳۹۰) زمین‌شناسی مهندسی، نشر آرسس، مشهد.

سوری، س.، لشکری‌پور، غ.ر.، غفوری، م. (۱۳۹۰) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مطالعه موردی حوزه نوژیان، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، ۵ (۲)، ۱۲۸۶-۱۲۶۹.

فتاحی‌بندی، م. (۱۳۸۶) پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها در حوزه آبریز بابل‌رود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ۲۰۳ ص.

فیض‌نیا، س.، کلارستاقی، ع.ا. (۱۳۸۳) بررسی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیرین‌رود - سد تجن)، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۷ (۱).

وحدتی دانشمند، ف. (۱۳۷۸) نقشه زمین‌شناسی آمل، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شیت ۶۴۶۲.

وحدتی دانشمند، ف.، سعیدی، ع. (۱۳۶۹) نقشه زمین‌شناسی ساری، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شیت جلد ۱.

وحدتی دانشمند، ف.، کریمی، ح.، ر. (۱۳۸۲) نقشه زمین‌شناسی قائم‌شهر، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شیت ۶۵۶۲.

Avanzi, G. D., Giannechini, R., Puccinelli, A. (2004) The influence of the geological and geomorphological setting on shallow landslide, an example in a temperate climate environment: the June 19, 1996 event in northwestern Tuscany (Italy), *Engineering Geology*, 73(3-4), 215-228.

Anbalagan, R. (2003) Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Engineering Geology (Elsevier)*, 32(4), 269-277.

Brideau, M. A., Stead, D., Roots, C. and Orwin, J. (2007) Geomorphology and engineering geology of a landslide in ultramafic rocks, Dawson city, Yukon. *Engineering Geology (Elsevier)*, 89 (3-4), 171-194.

نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه نشان داد که لایه زمین‌لغزش‌های برداشت شده از روی عکس‌های هوایی ۱:۲۰،۰۰۰ نسبت به زمین‌لغزش‌های نقطه‌ای، نتیجه بهتری در ارزیابی میزان استعداد لغزشی سازندها و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبریز بابل‌رود ارائه می‌کند. حتی در مواردی که نقاط برداشت شده با GPS با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث به پهنه لغزشی تبدیل شده‌اند گرچه نتیجه بهتری از حالت نقطه‌ای را نشان می‌دهند ولی باز هم از نظر دقت و صحت با لایه تهیه شده از عکس‌های هوایی ۱:۲۰،۰۰۰ برابری نمی‌کند. گرچه اضافه کردن این پهنه‌ها به لایه زمین‌لغزش‌های سطحی تولید شده از روی عکس‌های هوایی، دقت مطالعات پهنه‌بندی را بالاتر خواهد برد. با وجود دلایل ارائه شده و نتایج به دست آمده در این مطالعه، می‌توان حالت‌هایی را در نظر گرفت که استفاده از لایه زمین‌لغزش‌های نقطه‌ای می‌تواند نتیجه‌ای مشابه و نزدیک با زمین‌لغزش‌های سطحی برداشت شده از روی عکس‌های هوایی داشته باشد:

- یکدست بودن تراکم شبکه جاده‌های منطقه، در سازندها و بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه.

- در صورتی که منطقه مورد مطالعه وسعت زیادی نداشته باشد و بتوان با بررسی‌های صحرائی در قسمت‌های مختلف منطقه مورد مطالعه (علاوه بر جاده‌های اصلی) زمین‌لغزش‌های منطقه را ثبت کرد.

- در صورتی که قسمت‌های صعب‌العبور و غیر قابل دسترسی بخش قابل توجه و اعظم منطقه را تشکیل ندهند.

- همچنین در دست داشتن منابع اطلاعاتی مناسب و قابل اعتماد از قسمت‌های مختلف منطقه مورد مطالعه برای تکمیل داده‌های برداشت شده با در نظر گرفتن تنوع و گسترش سازندها.

منابع

Lan, H. X., Zhou, C. H., Wang L. J., Zhang H. Y. and Li, R. H. (2004) Landslide hazard spatial analysis and Prediction Using GIS in the Xiaojiang Watershed. Yunnan, China. *Engineering Geology*, 76, 109-128.

Pareta1, K., Kumar, J., Pareta, U. (2012) Landslide Hazard Zonation using uantitative Methods in GIS. *International Journal of Geospatial Engineering and Technology*, 1 (1) (2012) 1-9.

Saha, A. K., Gupta, R. P. and Arora, M. K., (2005) GIS – Based Data Integration for Landslide Hazared Zonation in the Garhwal Himalayas. *Geospatial*, 3(1).

Uromeihy, A. and Safaie, M., (2000) Effect of land use on the development of slop instability in the Neka-rood Watershed, Iran. *Journal of Nepal Geological Society*, 22, 421-428.

Varnes, D. J. (1978) *Landslide Hazard Zonation, A Review of Principles and Practice*. IAEG Commission on Landslides, UNESCO, Paris, p. 63.

Van Westen, C. J., Soeters, R. (1998) Landslide hazard mapping. the Kakani Area (Nepal), ,GISSIZ, Version 2, (ITC), Netherlands, *Ensched*.

Wang, W. D., Guo, J., Fang L. G. & Chang, X. S. (2011) A subjective and objective integrated weighting method for landslides susceptibility mapping based on GIS. *Environmental Earth Sciences*, 65 (6), 1705-1714.