

نگرشی بر ارتباط بین شروع زمین لغزش های کم عمق و الگوی بارندگی در حوزه آبریز رودخانه های تجن و نکارود (شرق مازندران)

مصطفی محمدی واوسری^{۱*}، غلامرضا شعاعی^۲، فرهاد شهیدی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استادیار گروه زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

mostafa.mohamadi@modares.ac.ir

چکیده

عامل اصلی تحریک زمین لغزش ها در شرق مازندران رخدادهای بارندگی است. آستانه بارندگی برای لغزش هایی که در اثر بارندگی تحریک شده اند، با استفاده از ۲۳ رخداد بارندگی که در دوره ۶ ماهه دوم سال ۱۳۹۱ در شرق مازندران (با میانگین بارندگی سالانه ۶۴۷/۳ میلی متر) رخ داده اند، مشخص شده است. ۱۵ رخداد از ۲۳ رخداد بارندگی مورد مطالعه از نوع کوتاه یا میان مدت است که موجب بروز ده ها زمین لغزش شده اند. آستانه به مرز پایینی داده بارندگی های محرک لغزش مماس شده و به صورت $I = -0.0209D + 1.6933$ بیان می شود که I شدت بارندگی بر حسب میلی متر بر ساعت و D مدت بارندگی بر حسب ساعت است. بارندگی های محرک لغزش با تعداد میانگین ۲۰/۲ لغزش در هر ماه رخ داده اند. لغزش هایی که توسط رخدادهای بارندگی میان مدت و بعضا همراه با نبوهای کوتاه بارش، تحریک شده اند عموما از نوع لغزش های کم عمق و جریان های واریزه ای هستند. در صورتی که رخدادهای بارندگی طولانی که شدت کم تری دارند موجب لغزش های عمیق تری هم می شوند.

کلمات کلیدی: زمین لغزش، بارندگی، پیش بینی، استان مازندران

۱- مقدمه:

زمین لغزش از جمله سوانح طبیعی است که همه ساله موجب وارد آمدن خسارت فراوان مالی به کشور می گردد. همگام با افزایش جمعیت، نواحی حساس به زمین لغزش در حال گسترش و همچنین فراوانی و بزرگی زمین لغزش ها و جریان های واریزه ای هم تحت تأثیر رشد جمعیت و توسعه تأسیسات زیربنایی در حال افزایش است (Staley et al., 2012). برای شناخت و تحلیل عوامل اصلی زمین لغزش ها ضروری است که ارتباط بین بارندگی و وقوع زمین لغزش ها به خوبی فهمیده شود (Ibsen M.L., Casagli N., 2004, Guzzetti et al., 2007). یکی از مفاهیمی که از آن برای بیان ارتباط یک رخداد بارندگی با زمین لغزش استفاده می شود "آستانه بارندگی" است. این مفهوم نخستین بار توسط Caine (1980) و با بررسی ۷۳ زمین لغزش به وقوع پیوسته در سراسر دنیا، ارائه شد و از آن زمان تاکنون پژوهشگران با توسعه و بسط روش های مختلف، به آستانه های متنوعی دست یافته اند که متداول ترین و پرکاربردترین آنها، آستانه های شدت-مدت بارندگی است.

این آستانه ها که جزء آستانه های تجربی شروع زمین لغزش ها محسوب می شوند از نظر وسعت در سه دسته جهانی، ناحیه ای و محلی قرار می گیرند (Guzzetti et al., 2007). طبق تعریف، آستانه عبارت است از مقدار کمینه یا بیشینه یک کمیت که برای رخ دادن یا ندادن یک فرآیند ضروری است (Reichenbach et al., 1998). برای لغزش های تحریک شده توسط بارندگی، آستانه همان میزان بارشی است که هنگام رسیدن به آن، لغزش رخ خواهد داد.

در نمودارهای شدت-مدت که به صورت کارترین، نیمه‌لگاریتمی و تمام‌لگاریتمی رسم می‌شوند، آستانه از کشیدن خطی که بیانگر پایین‌ترین مقادیر شرایط شدت (در محور Y ها) و مدت (در محور X ها) به وجود آورنده زمین لغزش باشد به دست می‌آید. (Saito et al., (2010) با استفاده از ۱۱۷۴ لغزش که طی سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ در ژاپن رخ داده‌اند، آستانه شدت-مدت را به صورت $I = 2.18D^{-0.26}$ برای کشور ژاپن به دست آوردند. (Canon et al., (2007) برای جریان‌های واریزه‌ای که در ۹۳ حوضه آبریز در جنوب ایالت‌های کلرادو و کالیفرنیا ایالات متحده و بعد از تخریب پوشش گیاهی توسط آتش‌سوزی رخ داده‌اند، آستانه شدت-مدت تعیین کرده است. (Dahal and Hasegawaa (2008) برای ۱۹۳ لغزش که طی سالهای ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۶ در کوه‌های هیمالیا و محدوده کشور نپال رخ داده‌اند، آستانه شدت-مدت را به صورت $I = 73.9D^{-0.79}$ محاسبه کرده است.

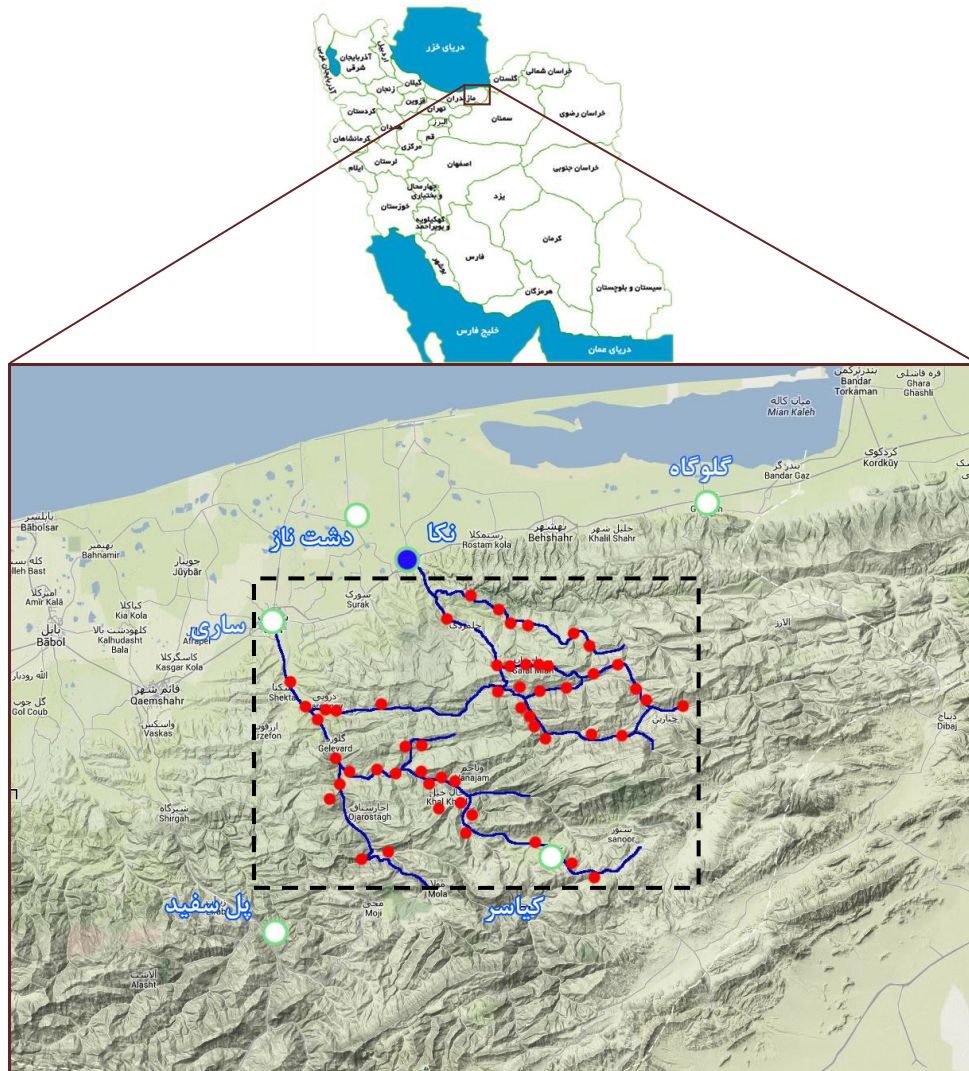
۲- منطقه مورد مطالعه:

منطقه‌ای که این مطالعه بر روی آن انجام شده، بخشی از حوضه آبریز رودخانه‌های تجن و نکارود به مساحت تقریبی ۳۵۰۰ کیلومتر مربع است که در شرق استان مازندران و همچنین رشته‌کوه‌های البرز و بین طول‌های $53^{\circ}02'$ و $53^{\circ}50'$ و عرض‌های $36^{\circ}12'$ و $36^{\circ}37'$ واقع شده است.

این منطقه دارای آب‌وهوای خیلی مرطوب معتدل (در نواحی ساحلی) تا مرطوب سرد (در ارتفاعات) و عمدتاً پوشش جنگل‌های تابستانی است (مروی مهاجر م، ۱۳۹۲). میانگین سالیانه دما $15/5$ و میانگین بیشینه و کمینه دما $20/3$ و $10/4$ درجه سانتیگراد می‌باشد و میانگین بارندگی سالیانه آن در ده سال گذشته $647/3$ میلیمتر است (هواشناسی استان مازندران، ۱۳۹۲). طبق نقشه‌های زمین‌شناسی، در این منطقه رخنمون‌هایی از دوونین تا کواترنری وجود دارد. طی بازدیدهای صحرائی به عمل آمده، مشاهده شد که عمده ناپایداری‌ها بر روی پی‌سنگ‌هایی با جنس‌های مارن، سنگ‌آهک مارنی و تعداد کمی از ناپایداری‌ها هم بر روی پی‌سنگ‌های آهکی و سیلت‌سنگ واقع شده‌اند. سن این سنگ‌ها کرتاسه بالایی، پالئوسن و میوسن می‌باشد. از نظر ریخت‌شناسی، منطقه‌ای نیمه‌کوهستانی تا کوهستانی با ارتفاع بین ۲۰۰ تا ۱۳۰۰ متر می‌باشد. پوشش گیاهی توده‌هایی که لغزش در آنها رخ داده عموماً جنگل بوده و تنها تعداد کمی از لغزش‌ها بر روی شیب‌هایی رخ داده‌اند که پوشش جنگلی آن توسط انسان برای مصارف کشاورزی یا که در اثر فعالیت‌های قبلی لغزش^۱ از بین رفته است.

در شکل شماره ۱ موقعیت منطقه، راه‌های ارتباطی (خطوط آبی‌رنگ)، نقاط لغزش‌خیز (دایره‌های قرمز رنگ) و ایستگاه‌های هواشناسی (دایره‌های سفید رنگ) به تصویر کشیده شده است.

^۱ - تعدادی از لغزش‌های مورد مطالعه، شیب‌هایی بوده‌اند که به طور متناوب و در اثر رخدادهای بارندگی مختلف دچار گسیختگی شدند.



شکل شماره ۱ - موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه. راه‌های ارتباطی با خطوط آبی و لغزش‌ها با نقاط قرمز مشخص شده‌اند.

بر اساس Sidle and Ochiai (2006) لغزش‌هایی که در این مطالعه به آنها پرداخته می‌شود، از نظر عمق لغزش‌هایی کم‌عمق هستند و از نظر سرعت در دسته لغزش‌های سریع قرار می‌گیرند. این ناپایداری‌ها عمدتاً در مناطق کوهستانی با پوشش جنگل و در اثر احداث جاده‌های ساری-کیاسر و جاده‌های روستایی شهرستان نکا به وجود آمده‌اند. طبق گزارش اداره نگهداری راه و ابنیه فنی اداره کل راه و شهرسازی استان مازندران، این دو محور مواصلاتی جزء محورهای دارای بیشترین نقاط بحرانی لغزش در این استان گزارش شده‌اند.

۳- بحث:

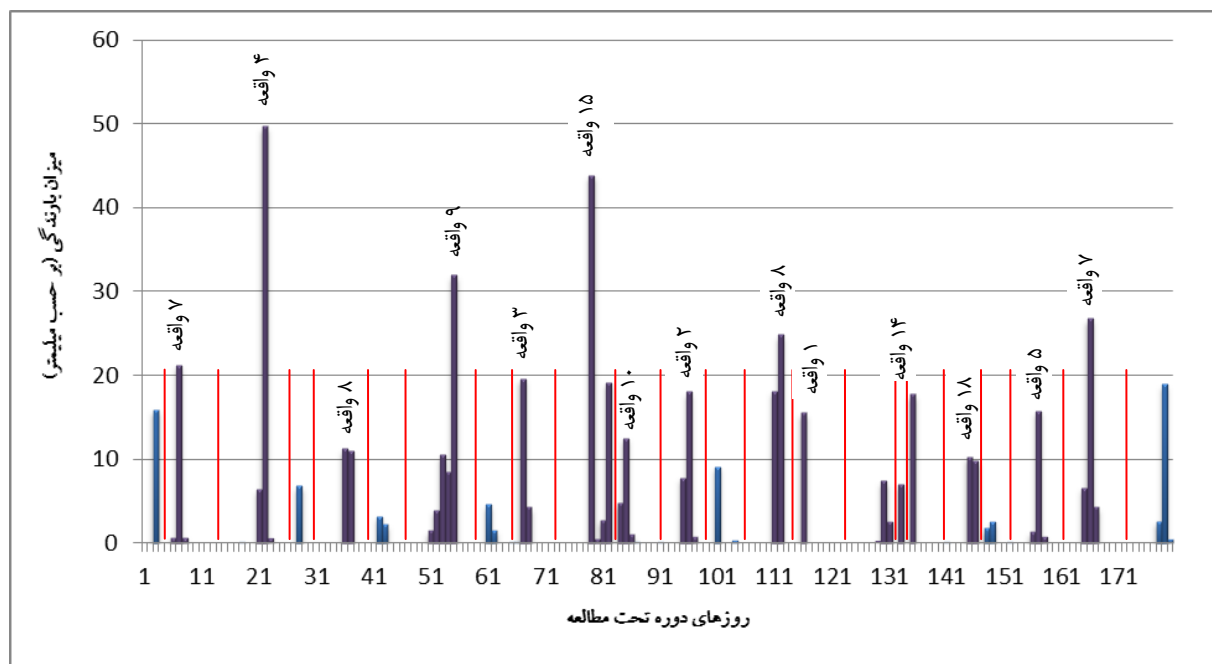
دوره زمانی این تحقیق از تاریخ ۱۳۹۱/۰۷/۰۱ تا تاریخ ۱۳۹۱/۱۲/۳۰ به مدت ۱۸۰ روز می‌باشد. در طول دوره تحقیق با همکاری اداره راه و شهرسازی شهرستان‌های ساری و نکا و همچنین اداره کل راه و شهرسازی استان مازندران، مکان دقیق و زمان تقریبی

وقوع لغزش‌ها بصورت روزانه ثبت شد. طی این دوره تعداد ۱۵۱ واقعه لغزش که در ۶۵ نقطه روی داده‌اند به ثبت رسید. به صورت همزمان، داده‌های بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک که به صورت سه‌ساعته ثبت می‌شوند و مشخصات آنها طبق جدول شماره ۱ است، برای دوره تحقیق از دفاتر ثبت، استخراج شده و به صورت مدون در آمدند. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی که از داده‌های آنها استفاده شده است، در شکل شماره ۱ با دایره‌های سفیدرنگ نشان داده شده است.

جدول شماره ۱ - مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریای آزاد (بر حسب m)
ساری	۵۳°۰۰'	۳۶°۳۳'	۲۶
دشت‌ناز	۵۳°۱۲'	۳۶°۳۸'	۱۳
گلوگاه	۵۳°۴۹'	۳۶°۴۷'	-۱۰
کیاسر	۵۳°۳۲'	۳۶°۱۴'	۱۲۹۴
پل سفید	۵۳°۰۵'	۳۶°۰۸'	۶۲۵

برای ارزیابی درستی داده‌های باران‌سنجی، داده‌های دوره تحت مطالعه با میانگین ده ساله آن مقایسه شد که حاصل نسبت مجموع بارندگی دوره شش‌ماهه تحقیق به میانگین آن در ده سال گذشته مقدار ۱/۲۶ است که با توجه با ترسالی بودن سال آبی موردنظر، این نسبت قابل قبول است. (Saito et al., 2010) هر رخداد بارندگی را با یک دوره بدون بارندگی بیشتر از ۲۴ ساعت از بارندگی‌های قبل و بعد از خود جدا کردند که به نظر می‌رسد برای بارندگی‌های این منطقه نیز قابل استفاده باشد. شکل شماره ۳ میانگین حسابی بارندگی روزانه پنج ایستگاه هواشناسی که نقاط لغزش خیز، بین آنها واقع شده‌اند را همراه با تعداد وقایع لغزش به وقوع پیوسته به ازای هر رخداد بارندگی، طی دوره ۱۸۰ روزه نشان می‌دهد.



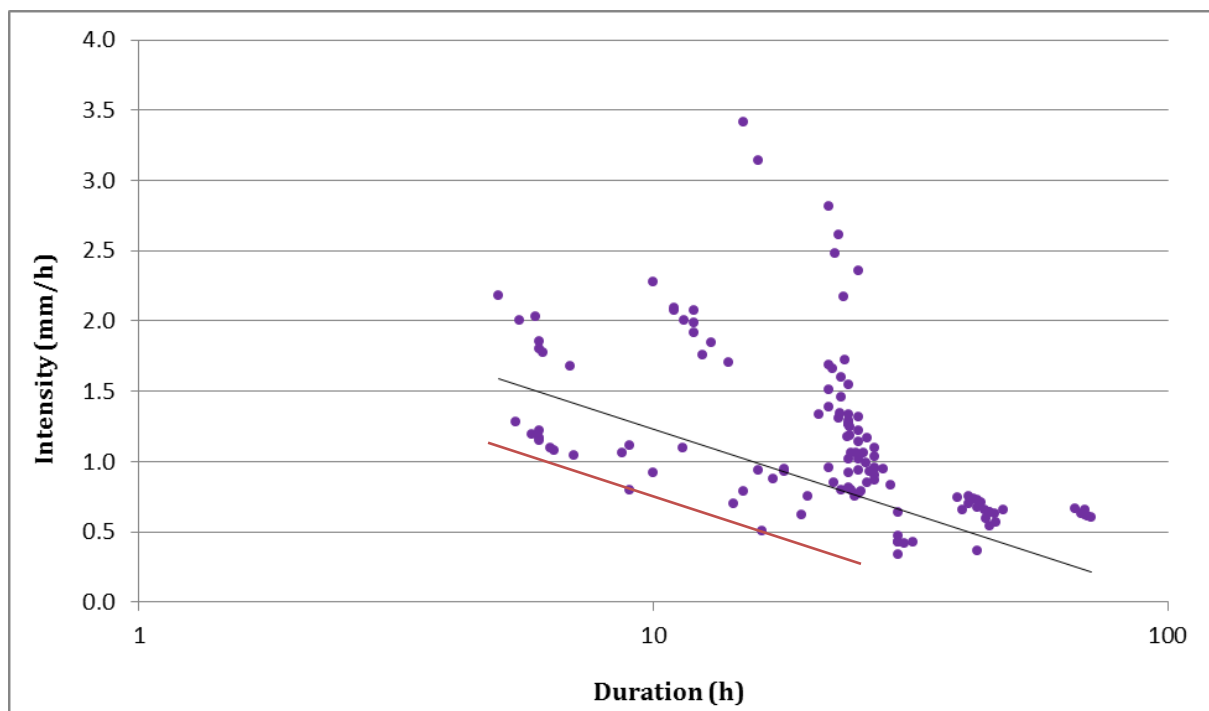
شکل شماره ۳ - تعداد وقایع لغزش به ازای هر رخداد بارندگی.

در این شکل رخدادهای تحریک کننده زمین لغزشها با رنگ تیره تر مشخص شده اند و تعداد وقایع لغزش مربوط به هر رخداد بارندگی نیز بر روی آن نوشته شده است. هر رخداد بارندگی توسط نمود ۲۴ ساعته بارش و با استفاده از خطوط عمودی قرمز رنگ از رخدادهای دیگر جدا شده است. با مقایسه زمان وقایع لغزش و رخدادهای بارندگی، دیده شد که از ۲۳ رخداد بارندگی، ۱۶ رخداد مسبب وقوع لغزشها بوده اند. طی این دوره، ۱۵۱ واقعه زمین لغزش در نقاط مختلف منطقه ثبت شد که ۱۱۱ واقعه در اثر تحریک رخدادهای بارندگی به وقوع پیوسته اند. ۴۰ زمین لغزش دیگر در زمانی رخ داده اند که به سادگی نمی توان آخرین رخداد بارندگی را عامل وقوع آنها دانست و به همین دلیل از فرآیند تحلیل و محاسبه آستانه حذف شدند.

به دلیل وجود فاصله زیاد بین محل ناپایداریها و ایستگاههای هواشناسی، امکان تعمیم مستقیم دادههای بارندگی ایستگاهها به نقاط ناپایداری وجود نداشت؛ از این رو با استفاده از روش درون یابی، مقدار و مدت زمان بارندگی معادل هر لغزش محاسبه شد. با تقسیم مقدار بارندگی هر رخداد بر مدت آن، شدت میانگین بارندگی در طول رخداد به دست آمد که به عنوان شدت بارندگی در نظر گرفته شد. مقادیر شدت و مدت بارندگی در نموداری نیمه لگاریتمی به صورت شکل شماره ۱ پلات شدند. همانطور که در این شکل دیده می شود، شرایط شدت و مدت بارندگی دارای میل کلی به صورت معادله شماره ۱ هستند.

$$I = -0.0209D + 1.6933 \quad (1)$$

که در آن: I شدت بارندگی بر حسب میلیمتر بر ساعت و D مدت بارندگی بر حسب ساعت است.



شکل شماره ۳- نمودار شدت-مدت بارندگی

بدین ترتیب آستانه بارندگی خطی است که در بالای آن یک یا بیشتر لغزش می تواند به وقوع بپیوندد. این آستانه دارای شیبی معادل روند کلی داده ها است و در شکل به رنگ قرمز نشان داده شده است. رخدادهایی که الگوی بارش آنها در زیر این خط قرار

بگیرد قادر به ایجاد ناپایداری نیستند. رخدادهای بارندگی مسبب لغزش، دارای شدت بارندگی با گستره $0/33$ تا $3/41$ میلیمتر بر ساعت هستند و مدت آنها از ۵ تا ۷۱ ساعت است. همانطور که در شکل دیده می‌شود بارندگی‌های با شدت میانگین بیشتر از $3/5$ میلیمتر بر ساعت که در این منطقه عموماً کمتر از چند ساعت به طول می‌انجامند، قادر به ایجاد لغزش نیستند که دلیل احتمالی آن نبود فرصت کافی برای نفوذ آب باران به داخل توده و در پی آن افزایش فشار آب منفذی و در نهایت تحریک زمین لغزش است؛ همچنین به ازای بارندگی‌های با شدت میانگین کمتر از $0/33$ میلیمتر بر ساعت نیز هیچ لغزشی در منطقه ثبت نشده چرا که سرعت زهکشی و خروج آب از درون توده، فراتر از شدت بارندگی و به تبع آن نرخ نفوذ آب به داخل توده است.

بر اساس بازدیدهای میدانی به عمل آمده از ناپایداری‌های به وقوع پیوسته در منطقه طی دوره تحقیق، عموماً زمین لغزش در اثر تحریک رخدادهای بارندگی با مدت تا ۱۰ ساعت رخ نخواهد داد مگر اینکه سطح و پوشش شیب در اثر تغییر کاربری و یا وقوع لغزش‌های قبلی به نوعی تغییر کرده باشد که نرخ نفوذ آب به داخل توده افزایش پیدا کند و یا شدت بارندگی به حدی افزایش پیدا کند که موجب نفوذ آب مورد نیاز برای بالا بردن فشار آب منفذی درون توده و تحریک آن شود.

۴- نتیجه گیری:

بطور کلی، رخدادهای بارندگی که مدت کمتری دارند یا همراه با نبوده‌های کوتاه در بارش هستند، موجب تحریک لغزش‌هایی شده‌اند که عمق کمی دارند، و رخدادهای بارندگی که به مدت طولانی و تقریباً پیوسته باریده‌اند مسبب لغزش‌های عمیق‌تری شده‌اند.

با توجه به مساحت منطقه مورد مطالعه، این آستانه از نوع محلی است و تنها برای همین منطقه قابل استفاده است.

نتایج حاکی از آنست که در شرق مازندران، بارندگی‌های با شدت $0/33$ تا $3/41$ میلیمتر بر ساعت و مدت ۵ تا ۷۱ ساعت، پتانسیل شروع زمین لغزش‌های سطحی (کم عمق جنگلی) را دارند.

از آستانه به دست آمده در این پژوهش، می‌توان برای پیش‌بینی زمین لغزش‌های احتمالی به هنگام بارندگی‌هایی با الگوی بارش مشابه در منطقه استفاده کرد و هنگام وجود خطر، با هشدار به مقامات مسئول و ساکنین محلی، اقدامات مناسب برای کاهش خسارت‌ها صورت گیرد.

قدردانی:

برخود بسیار لازم می‌دانیم که از زحمات جناب آقایان مهندس مهدی سهراب‌زاده و مهندس محمد فرمانبر کارشناسان محترم اداره راه و شهرسازی شهرستان‌های نکا و ساری برای یاری فراوانی که در تولید داده‌های مکان و زمان لغزش رساندند قدردانی کرده و سپاسگزار ایشان باشیم.

منابع:

اداره کل هواشناسی استان مازندران، (۱۳۹۲). "آمار ده‌ساله هواشناسی".

دفاتر گزارش ماهیانه ایستگاه‌های هواشناسی ساری، دشت‌ناز، گلوگاه، کیاسر و پل سفید.

مروی مهاجر م.، (۱۳۸۴). "جنگل‌شناسی و پرورش جنگل"، انتشارات دانشگاه تهران.

نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ساری، بهشهر، کیاسر و پل سفید.



- Caine, N. (1980). "The Rainfall Intensity-Duration Control of Shallow Landslides and Debris Flows". *Physical Geography*, Vol. 62(1-2), pp. 23-27.
- Cannon, S. G. (2008). "Storm rainfall conditions for floods and debris flows from recently burned areas in southwestern Colorado and southern California". *Geomorphology*, Vol. 96(3-4), pp. 250-269.
- Dahal, R. a. (2008). "Representative rainfall thresholds for landslides in the Nepal Himalaya". *Geomorphology*, Vol. 100(3-4), pp. 429-443.
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Stark, C.P. (2007). "Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe". *Meteorology and Atmospheric Physics*, Vol. 98(3-4), pp. 239-267.
- Ibsen, M.L., Casagli, N. (2004). "Rainfall patterns and related landslide incidence in the Porretta-Vergato region, Italy". *Landslides*, Vol. 1(2), pp. 143-150.
- Reichenbach, P., Cardinali, M., De Vita, P., Guzzetti F. (1998). "Regional hydrological thresholds for landslides and floods in the Tiber River Basin (central Italy)". *Environmental Geology*, Vol. 35(2-3), pp. 146-159.
- Saito, H., Daichi, N., Matsuyama, H. (2010). "Relationship between the initiation of a shallow landslide and rainfall intensity—duration thresholds in Japan". *Geomorphology*, Vol. 118(1-2), pp. 167-175.
- Sidle, R. O., Ochiai, H., (2006). "Landslides processes, prediction and land use". American Geophysical Union.
- Staley, D.M., Kean, J.W., Cannon, S.H., Schmidt, K.M., Laber, J.L. (2012). "Objective definition of rainfall intensity—duration thresholds for the initiation of post-fire debris flows in southern California". *Landslides*.