نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم
جلد ۱۰، شماره ۲
تاریخ چاپ: تابستان ۱۳۹۱

تحلیل پایداری زمین لغزش فرحزاد

*سیدمحمود فاطمی عقدا: دانشگاه تربیت معلم تهران
مازیار حسینی، سعید منتظرالقائم:
سازمان پیش‌گیری و مدیریت بحران شهر تهران
خدیجه شریفی: دانشگاه تربیت معلم تهران

چکیده

اجرای طرح‌های اصلاح شیب مناسب و روش‌های پایدارسازی اقتصادی مستلزم بررسی‌های صحرایی دقیقی است که به درک روشنی از علل وقوع زمین لغزش منجر می‌گردد. همچنین شناسایی زمین لغزش به محض وقوع آن، اطلاعات با ارزشی از فرایندهای درگیر در لغزش در اختیار محققان قرار می‌دهد. در تحلیل پایداری شیب‌های خاکی، اندازه‌گیری یا تخمین مقاومت برشی مصالح شیروانی اهمیت بسیاری دارد. شیب‌های گسیخته شده، شرایط مناسبی برای تخمین مقاومت برشی مصالح درگیر در گسیختگی فراهم می‌کنند که در این حالت تحلیل‌های برگشتی برای تخمین مقاومت برشی مصالح سطح لغزش جواب‌گو است. زمانی که مقیاس لغزش بسیار بزرگ است و مصالح در حالت طبیعی خود قرار دارند روش تحلیل برگشتی نسبت به آزمون‌های آزمایشگاهی برتری دارد. با استفاده از اطلاعات حاصل از بررسی‌های محلی و روش‌های تحلیل پایداری مناسب می‌توان به مدل شیروانی در زمان گسیختگی دست یافت. در این مقاله ضمن بررسی زمین لغزش فرحزاد و بازسازی لغزش اولیه، پارامترهای مقاومتی سطح گسیختگی از طریق انجام تحلیل برگشتی به‌دست آمده است. مقدار مقاومت برشی توف هوازده که از طریق تحلیل برگشتی حاصل شده است با مقادیر مقاومت برشی توف هوازده ارائه شده در منابع همخوانی دارد.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسائل در پروژه‌های عمرانی همچون پروژه‌های راه‌سازی، توسعهٔ بزرگراه‌ها، مکان‌یابی سدها و احداث تونل‌ها، بررسی پایداری شیب‌های طبیعی و مصنوعی است. با وجود پیشرفت‌های بسیار در تشخیص، پیش‌بینی، اجرای روش‌های اصلاحی و سیستم‌های اخطاردهنده، فعالیت زمین لغزش در سراسر جهان افزایش یافته است. انتظار می‌رود این روند در قرن بیست و یکم نیز ادامه یابد. فاکتورهای مسبب این انتظار عبارتند از:

- شهرسازی بی‌رویه در مناطق مستعد لغزش

واژه‌های کلیدی: زمین‌لغزش فرحزاد، تحلیل پایداری، تحلیل برگشتی، مقاومت برشی پسماند، توف هوازده
دریافت ۸۹/۳/۲ پذیرش ۹۰/۱۱/۱۲
*نویسنده مسئول

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

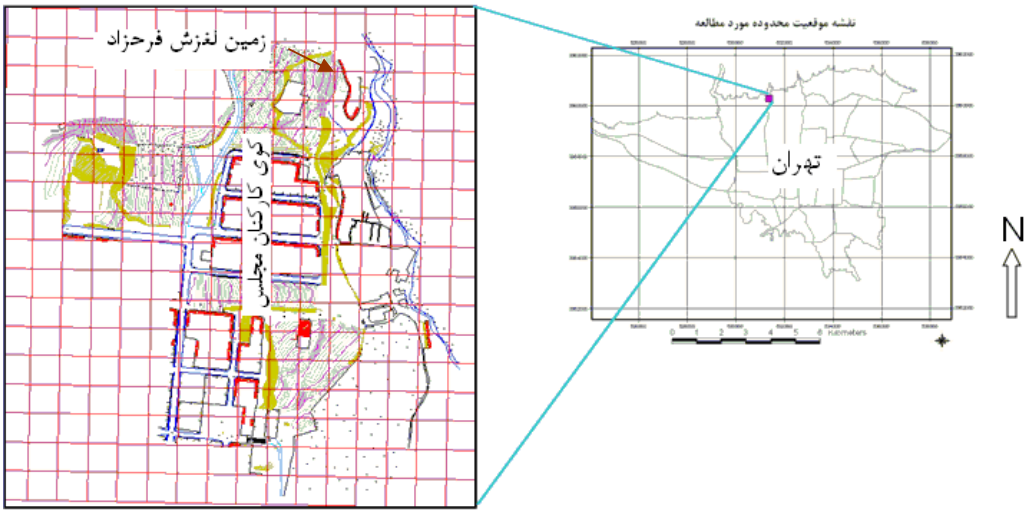
- جنگل‌زدایی مداوم در مناطق مستعد لغزش
- افزایش بارندگی ناحیه‌ای ناشی از تغییر الگوهای اقلیمی (ترنر[۱] ۱۹۹۶).

ابرامسون[۲] (۱۹۹۶)، ترنر(۱۹۹۶)، دانکن[۳] (۲۰۰۵)، اسکمپتون[۴] (۱۹۸۵)، کرامر[۵] (۱۹۹۶) هر یک از جنبه‌ای به مسئلهٔ تحلیل پایداری و پایدارسازی شیروانی‌ها پرداخته‌اند.کمک‌پناه و منتظرالقائم (۱۳۷۳) با ارائهٔ مطالب کلی در بارهٔ پایداری شیب‌های طبیعی و معرفی روش‌های مختلف تعادل حدی به بررسی تأثیر فشار آب منفذی در پایداری شیب‌ها پرداخته‌اند.

هدف اصلی این تحقیق، بررسی و مطالعهٔ ناپایداری‌ها و آسیب‌های گزارش شده در منطقهٔ فرحزاد و تعیین عامل یا عوامل مسبب این ناپایداری‌هاست. به منظور کسب اطلاعات لازم برای انجام تحلیل‌ها، نقشه‌برداری منطقهٔ بررسی شده با مقیاس ۱:۵۰۰، پژوهش‌های ژئوفیزیکی (برای تعیین عمق سطح لغزش، ضخامت لایهٔ خاك دستی در منطقه و وضعیت آب زیرزمینی)، حفر ۲۶ گمانه دستی با عمق‌های مختلف، نمونه گیری و آزمون‌های آزمایشگاهی مکانیک خاک صورت گرفته است.

منطقهٔ پژوهش

منطقهٔ فرحزاد در شمال پونک واقع شده که موقعیت این منطقه در شکل زیر نمایش داده شده است. یکی از راه‌های دسترسی به این محدوده از طریق بزرگراه شهید آیتا... اشرفی اصفهانی است.



شکل۱. موقعیت محدودهٔ پژوهش

در اردیبهشت سال ۱۳۸۳ زمین‌لغزشی در غرب رودخانهٔ فرحزاد و شمال کوی کارکنان مجلس که در شمال پونک واقع شده است به‌وقوع پیوست. بنا به گفتهٔ ساکنان منطقه جابه‌جایی از یک سال پیش در جریان بوده است و بیش‌ترین میزان جابه‌جایی پس از بارندگی‌های رخ داده در منطقه است. در این زمان مشکلات متعددی همچون

۱ . Turner ۲. Abramson ۳. Duncan ۴. Skempton ۵. Krame

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

کج‌شدگی تعدادی از ساختمان‌های کوی کارکنان مجلس به‌سمت درهٔ فرحزاد، شکل‌گیری شکاف‌های طولی متعدد با امتداد تقریبی شمال- جنوب با بازشدگی چندین سانتی‌متر بر روی زمین و آسیب‌دیدگی شدید ساختمان‌های زاغه‌نشین در شمال کوی کارکنان مجلس در منطقه مشاهده شده است.

به منظور تشخیص انواع ناپایداری‌های منطقه، بازدیدهای زمین‌شناسی، فتوژئولوژی عکس‌های هوایی سال‌های ۱۳۳۵ ،۱۳۸۱،۱۳۷۴،۱۳۴۳ و بررسی و مقایسهٔ نقشه‌های توپوگرافی سال‌های ۱۳۴۳، ۱۳۷۴ و۱۳۸۳ با نرم‌افزار(Arcview GIS 3.3) انجام گرفت.

ویژگی‌های عمومی و زمین‌شناختی منطقهٔ فرحزاد

کهن‌ترین لایه‌های رخنمون شده در این منطقه مربوط به رسوبات و سنگ‌های آتشفشانی به شکل گدازه، توف‌های مختلف و گه‌گاه دایک‌های بازیک و اسیدی مربوط به زمان ائوسن است. این مجموعه سنگ‌ها به‌وسیلهٔ گسله رورانده شمال تهران به بالا رانده شده و تماس آن‌ها با آبرفت‌های جوان نظیر سری A و B و رسوبات دانه‌ریز یخچالی دوران چهارم در طول خط گسلش مشهود است. در جنوب این زون تکتونیکی قطعات بزرگ و کوچک از واحدهای سازندی مخصوصاً توف‌های سبز بالایی به‌حالت سفره جدا شده و به‌طور نامنظم با به هم‌ریختگی غیرعادی به‌طرف پایین (جنوب) فرو افتاده و بخشی از دامنهٔ کوه‌پایه را ساخته است. بعضی از این قطعات به‌حالت سرگردان در میان آبرفت‌ها و واریزه‌ها مدفون گردیده که گه‌گاه در ترانشه‌ها و خاک‌برداری‌ها دیده می‌شود.

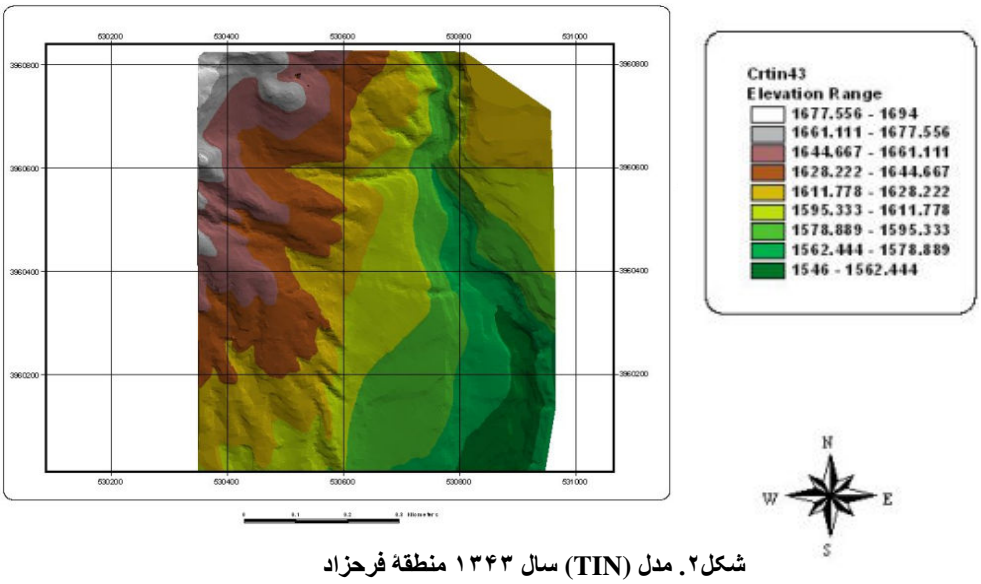
در بخش جنوبی خط گسلش که کوه‌پایه و محدودهٔ دشت درهٔ فرحزاد را تا باغ فیض و پونک تشکیل می‌دهد، پهنه‌های مختلف از رسوبات چین‌خورده سریA سازند هزاردره به شکل دریچه‌هایی در زیر لایه‌های رسی و تخریبی درشت‌دانه ناهمگون سری B رخنمون داشته و بالاخره پهنهٔ چشم‌گیری از آبرفت‌های عهد حاضر گسترهٔ تهران به‌طرف جنوب دیده می‌شود.

در اولین عکس هوایی این منطقه که مربوط به سال۱۳۳۵است، دره‌ها و آبراهه‌های بزرگ و کوچک قابل مشاهده است و همچنین شبکهٔ آبراهه‌های موازی روی رسوبات جوان گویای ویژگی‌های طبیعی بخش غربی دره است. در این عکس افتگاه[1] لغزشی به‌صورت مشخص دیده می‌شود.

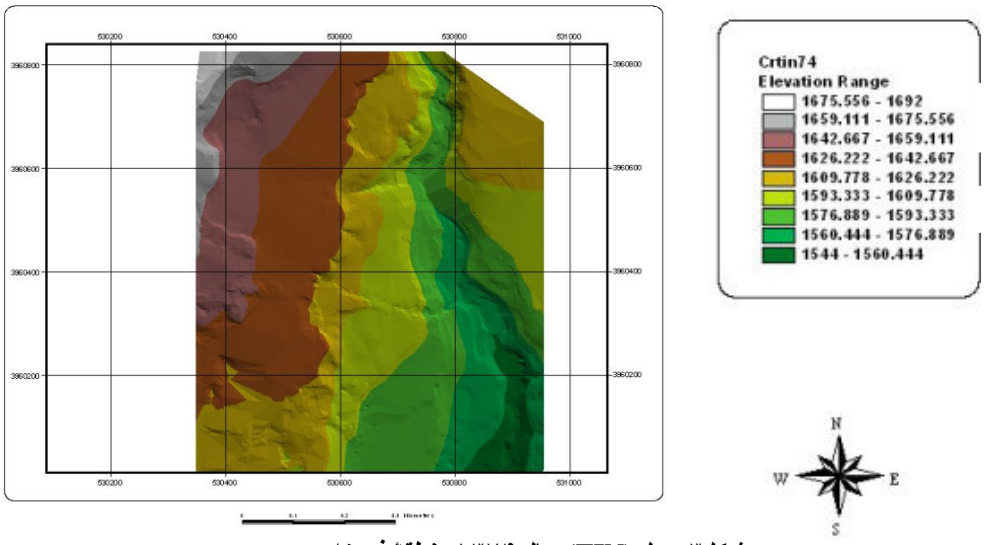
در نقشهٔ توپوگرافی سال ۱۳۷۴ دره‌های قدیمی که در نقشهٔ توپوگرافی سال ۱۳۴۳ وجود دارند، دیده نمی‌شود و آثار آن‌ها را می‌توان در داخل درهٔ فرحزاد و بخش‌های عمیق دره ردیابی کرد. آنچه مشخص است، طی این سال‌ها نواحی تپهٔ ماهوری در ناحیهٔ بین کوهستان و درهٔ فرحزاد خاک‌برداری شده و در نواحی پست و دره‌ها انباشته شده است که زمین‌های مسطحی را برای ساخت و ساز آماده کرده‌اند. موارد ذکر شده در مدل (TIN)[2] منطقه به‌خوبی قابل مشاهده است.

۱. Scarp ۲. Triangulated Irregular Network

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]



شکل۲. مدل (TIN) سال ۱۳۴۳ منطقهٔ فرحزاد



شکل۳. مدل (TIN) سال ۱۳۷۴ منطقهٔ فرحزاد

براساس بررسی‌های ژئوتکنیکی و با توجه به برداشت‌های ژئوفیزیکی صورت گرفته، سطح آب زیرزمینی محدوده متغیر و بدین شرح است:

- جریان در بستر آبراهه‌های قدیمی مدفون به صورت فصلی
- تغییر الگوی آب زیرزمینی در مناطق مسکونی با تأثیر از ورود فاضلاب منازل و جریان آن در مرز خاك دستی و خاك طبیعی
- جریان آب در سطح لغزش (با توجه به بررسی‌های ژئوفیزیك صورت گرفته)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

روش تحلیل

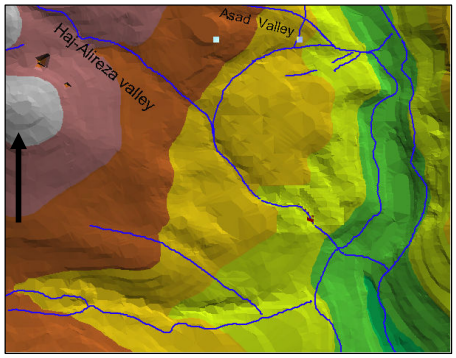
در این تحقیق، تحلیل پایداری لغزش به‌روش تعادل حدی و با استفاده از نرم افزار (SLOPE/W) انجام شده است. سطح لغزش بر اساس پروفیل‌های ژئوفیزیک و مشاهدات صحرایی در مقاطع ترسیم شده و همچنین مقدار دانسیتهٔ مصالح با استفاده از نتایج آزمایش‌های مکانیک خاک معین می‌گردد. تحلیل‌های متعددی بر روی پروفیل‌های با امتداد تقریبی شرقی- غربی بر روی تودهٔ لغزشی انجام شد. در نتیجهٔ این تحلیل‌ها پروفیلی که در امتداد آبراههٔ مدفون شده قرار دارد، به‌عنوان پروفیل بحرانی انتخاب شده و در این امتداد بازسازی لغزش و تحلیل برگشتی انجام شده است.

بررسی‌های اولیهٔ لغزش فرحزاد

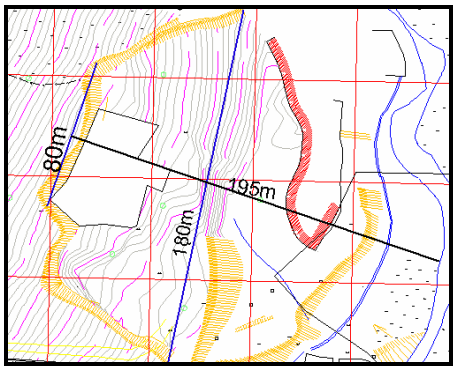
فتوژئولوژی عکس هوایی سال ۱۳۳۵، لغزش مشخصی را در سمت غربی درهٔ فرحزاد نشان می‌دهد، در این عکس انحراف رودخانهٔ فرحزاد در اثر ریزش مصالح تودهٔ لغزشی به داخل رودخانه دیده می‌شود. مقایسهٔ این عکس و عکس هوایی سال ۱۳۸۱ گسترش این لغزش به‌سمت بالادست را نشان می‌دهد.

در مدل TIN[۱] منطقهٔ فرحزاد که از روی نقشهٔ توپوگرافی سال ۱۳۴۳تهیه شده است، این تودهٔ لغزشی به‌صورت افرازی کمانی شکل خود را نشان داده است. چنان‌که مشاهده می‌شود، در بالادست و در دیوارهٔ شمالی این توده دره‌های قدیمی منطقه قرار دارد که آب‌های ارتفاعات شمال‌غربی منطقه را به‌سمت درهٔ فرحزاد هدایت می‌کنند. با شکل‌گیری این لغزش، آبراهه‌ها در امتداد افتگاه لغزشی ادامه مسیر داده‌اند، ولی همچنان آب‌های ارتفاعات بر اساس طبیعت خود در این آبراهه‌ها به سمت رودخانهٔ فرحزاد حرکت می‌کنند.

ابعاد این لغزش در شکل ۵ بر روی نقشهٔ توپوگرافی ۱:۵۰۰ سال ۱۳۸۳ منطقه نشان داده شده است. همچنین از طریق بررسی‌های ژئوالکتریکی عمق سطح لغزش در قسمت‌های میانی این گستره حدود۲۰ متر از سطح فعلی زمین تعیین شده است.



شکل ۴. مدل TIN سال ۴۳ محدودهٔ تودهٔ لغزشی



شکل۵. ابعاد تودهٔ لغزشی شمالی

۱. Triangulated Irregular Network

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

در حال حاضر نیز در اثر تغییرات ایجاد شده، این دره‌ها و آب‌راهه‌های منطقه در زیر خاک دستی مدفون گشته‌اند. چنان‌که از شکل‌های ۳ و۴ نیز برمی‌آید، لغزش فعلی نسبت به سال ۱۳۳۵ به‌سمت جنوب پیشرفت کرده است. بررسی‌های صحرایی تودهٔ لغزشی نشان می‌دهد این لغزش در توف هوازده اتفاق افتاده و در هیچ یک از رخنمون‌های متعدد افتگاه لغزشی دیده نشده است که لغزش به درون توف سالم وارد شده باشد.

بررسی‌های دقیق این لغزش نشان می‌دهد این لغزش از نوع لغزش دورانی است و با توجه به این‌که در بررسی‌های صحرایی و پیمایش تودهٔ لغزشی، علاوه بر افتگاه اصلی[1]، به‌سمت دره دو افتگاه دیگر نیز دیده می‌شود، این احتمال در ذهن شکل می‌گیرد که ممکن است چند لغزش فعال باشند و لیکن بررسی عکس هوایی سال ۱۳۳۵ و مقایسهٔ مدل‌های مختلف لغزش این احتمال را که مکانیسم این لغزش به‌صورت یک‌پارچه باشد، تقویت می‌کند.

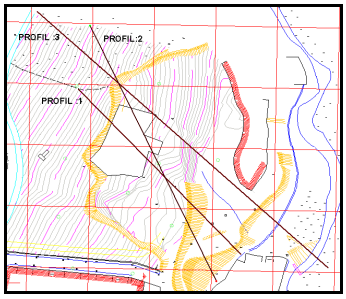
این لغزش طی ماه‌های اخیر فعالیت خود را بدین شکل نشان داده است:

- در اثر دپو کردن نخاله‌های ساختمان تخریب شدهٔ پلاک ۱۸ بر روی این تودهٔ لغزشی، ترک‌های جدیدی بر روی زمین به‌وجود آمده که آوار دپو شده را نیز بریده است.
- باز شدگی شکاف پای افتگاه لغزشی با عمق زیاد در تمام بازدیدها به وضوح خود را نشان داده است.
- در ساختمان‌های زاغه‌نشین دائماً ترک‌های جدیدی در کف، دیواره‌ها و سقف تشکیل می‌شود.

علت موارد ذکر شده را می‌توان به تجدید فعالیت لغزشی گاه به گاه توده نسبت داد. البته با توجه به ضخامت زیاد خاک دستی، نشست تدریجی خاک دستی نیز در ایجاد ترک‌ها و شکاف‌ها بی‌تأثیر نیست. تخلیه فاضلاب ساختمان‌های واقع بر توده لغزشی و نفوذ آب‌های سطحی ناشی از بارندگی که زهکش سطحی برای هدایت آن‌ها وجود ندارد نیز موجب تشدید این موضوع گردیده است.

تحلیل برگشتی زمین لغزش فرحزاد

برای انجام تحلیل برگشتی، بر روی نقشهٔ توپوگرافی سال۱۳۸۳پروفیل‌هایی در سه امتداد احتمالی جهت حرکت توده لغزشی تهیه شد (شکل ۶).



شکل۶. موقعیت مقاطع توپوگرافی برروی تودهٔ لغزشی

۱. main scarp

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

برای مشخص کردن لایهٔ خاك دستی، در همین امتدادها مقاطعی روی نقشهٔ تغییرات ضخامت خاك سال‌های ۱۳۴۳-۱۳۸۳تهیه شد. با ترکیب این دو مقطع، مقطع مناسب برای انجام تحلیل ایجاد می‌شود.

ساده‌ترین حالت در تحلیل برگشتی مربوط به‌حالتی است که لغزش اتفاق افتاده باشد. در صورت وقوع لغزش، از پارامترهای مقاومتی پسماند مصالح استفاده شده و همچنین به‌علت گسیخته شدن شیروانی، چسبندگی سطح لغزش صفر در نظر گرفته می‌شود. از آن‌جا که سطح آب زیرزمینی در زمان وقوع لغزش نامشخص است، چند حالت برای آن در نظر گرفته شده است. لذا در این تحلیل‌ها، ویژگی‌های تودهٔ لغزشی بدین شرح است:

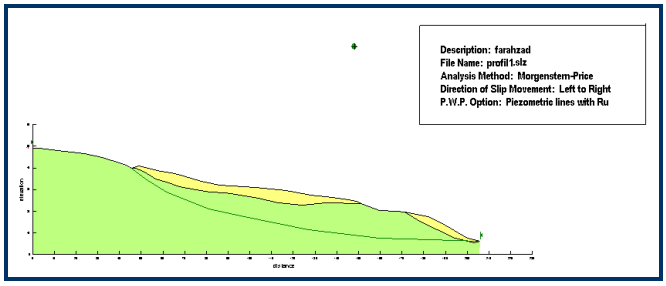
$C = 0$

$\varphi_{residual}$ = متغیر

متغیر= سطح آب زیرزمینی

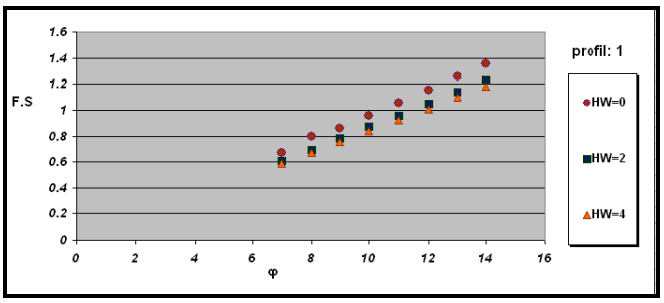
تحلیل‌های انجام شده

شکل زیر توپوگرافی شیب را در راستای پروفیل شمارهٔ ۱ نشان می‌دهد که این مقطع برای انجام تحلیل پایداری شیب وارد نرم افزار(SLOPE/W) می‌گردد. سطح لغزش بر اساس پروفیل‌های ژئوفیزیکی و مشاهدات محلی ترسیم شده است.



شکل۷. پروفیل تهیه شده در نرم افزار (Slope/w) در امتداد پروفیل شمارهٔ ۱

برای به‌دست آوردن پارامترهای سطح لغزش به ازای سطوح آب و مقادیر Φ_r متفاوت ضریب اطمینان در هر مقطع محاسبه شده است و نتیجهٔ حاصل از این تحلیل‌ها در نمودار ۱ ارائه شده است.



نمودار ۱. تغییرات φ برحسب F.S به‌ازای تغییرات آب زیرزمینی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

این محاسبات برای دو مقطع دیگر نیز تکرار شده و بر اساس نمودارهای به‌دست آمده از این تحلیل‌ها، مقادیر φ بحرانی(φ_{cr}) به ازای F.S=1 بدین صورت خلاصه شده است:

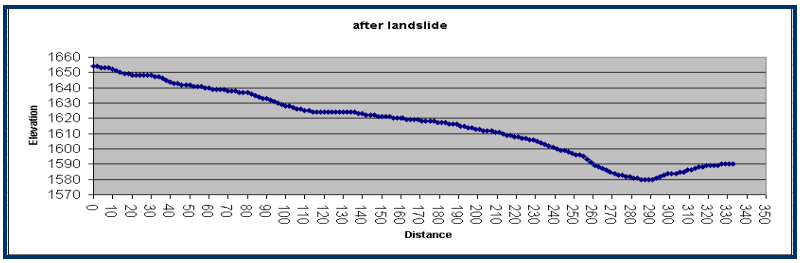
	φ_{cr}	H_W (m)
Profile:1	10.4	0
	11.4	2
	11.9	4
Profile:2	8.2	0
	8.8	2
	9.2	4
Profile:3	11.9	0
	13	2
	14	4

نتایج مقایسه‌ای مقاطع

از جدول فوق چنین استنباط می‌شود که مقطع سوم، مقطع بحرانی است. این مقطع به موازات آبراههٔ قدیمی و در جهت حرکت تودهٔ رسم شده است. در این مقطع مصالح تودهٔ لغزشی با مقادیر φ_{cr} بالاتری نسبت به مقطع شمارهٔ ۲ پایدار می‌ماند.

بازسازی لغزش اولیه

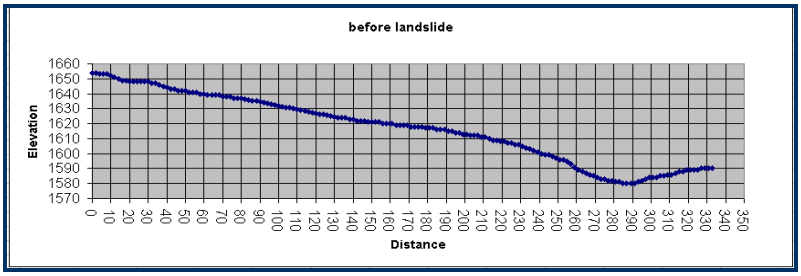
برای بازسازی شرایط لغزش اولیه و تعیین عامل یا عوامل به‌وجودآورندهٔ آن، این لغزش با استفاده از نرم‌افزار (Slope/W) مدل شده است. برای ایجاد این مدل پروفیل جدید در امتداد پروفیل بحرانی و بر روی نقشهٔ توپوگرافی سال ۱۳۴۳رسم شده است.



شکل۸. پروفیل توپوگرافی در سال ۱۳۴۳در امتداد پروفیل شمارهٔ ۳

مهم‌ترین مسئله در بازسازی لغزش اولیه، ترسیم توپوگرافی اولیه است که با تصحیح توپوگرافی لغزشی به‌دست می‌آید. تصحیح توپوگرافی موجود نیازمند آگاهی از نوع لغزش است. با توجه به نحوهٔ تجمع واریزه‌ها و شکل توپوگرافی بعد از لغزش، توپوگرافی قبل از لغزش بدین صورت در نظر گرفته شده است:

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]



شکل۹. پروفیل تصحیح شده توپوگرافی در امتداد پروفیل شمارهٔ۳

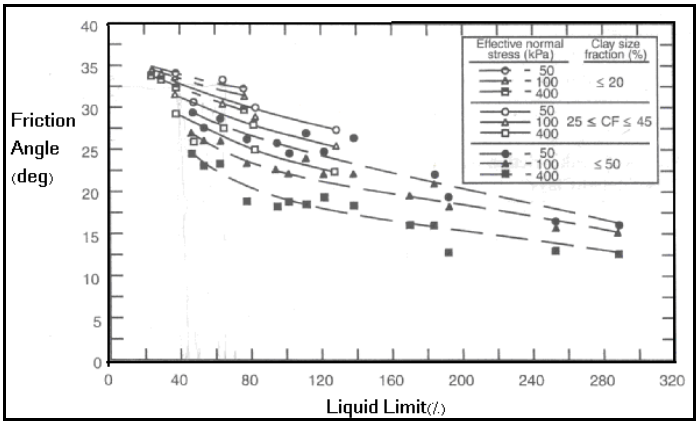
برای بازسازی لغزش اولیه، پارامترهای مقاومتی اوج مصالح درگیر در سطح لغزش اعمال می‌گردد که از آزمایش برش مستقیم به‌دست می‌آید. به‌دلیل وجود درزه‌های بسیار ریز، تهیهٔ نمونهٔ دست‌نخورده که بیان‌گر ویژگی‌های توف هوازده باشد و نیز بازسازی[۱] نمونه به‌صورت طبیعی آن امکان‌پذیر نیست از این نمودار و جدول برای تخمین مقاومت برشی توف هوازده استفاده شده است:

تصویر ۱. نمونهٔ اخذ شده برای انجام آزمایش برش مستقیم

با استفاده از نموداری که استراک، اید[۲] (۱۹۹۷) ارائه کرده‌اند، از انطباق بین حد روانی، درصد ریزدانه، تنش مؤثر و زاویهٔ اصطکاك، زاویهٔ اصطکاك برای هر لایه به‌دست می‌آید [۵].

۱. Remold ۲. Stark, Eid

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]



نمودار۲. انطباق بین حد روانی، درصد ریزدانه، تنش مؤثر و زاویهٔ اصطکاک داخلی(Stark, Eid,1997)

از مقایسهٔ مقادیر جدول ۱، مقدار مقاومت چسبندگی C تخمین زده می‌شود. مقادیر ارائه شده در این جدول، برای خاک‌های چسبنده تا۱۰۰% متراکم شده است. باید توجه داشت که اگر مقدار تراکم از۱۰۰% کمتر باشد، مقدار φ در همان حد می‌ماند ولی مقدار C کاهش می‌یابد. به‌طور مثال برای RC=90% مقدار C در حد نصف مقدار ارائه شده در جدول است. به‌طور تقریبی برای توف هوازده در سطح لغزش مقدار $C= 5KN/m^2$ در نظر گرفته شده است.

جدول ۱. تخمین مقدار چسبندگی خاک بر اساس نوع مصالح و زاویهٔ اصطکاک داخلی (Duncan,2004)

unified classificatio	relative compaction(%)	C'(Kpa)	φ(dag)
SM-SC	100	15	33
SC	100	12	31
ML	100	9	32
CL-ML	100	23	32
CL-ML	100	14	28
MH	100	21	25
CH	100	12	19

برای بازسازی لغزش اولیه و بررسی عوامل مختلف، لازم است تاریخچهٔ زمانی شتاب‌های رخ داده در منطقهٔ فرحزاد استخراج گردد. به‌این منظور لیست زلزله‌های تاریخی تهران و پیرامون آن تهیه شده و سپس شتاب ایجاد شده در منطقهٔ فرحزاد، براساس رابطهٔ کاهندگی زارع (۱۹۹۵) برای البرز محاسبه شده است:

رابطه زارع (۱۹۹۵) برای البرز:

$$PHA = 1.84 * e^{(0.52M - 0.02D + 1.112T_G)} \qquad (۱)$$

در این رابطه M بزرگای زلزله ،D فاصله از پهنهٔ آزادی انرژی به کیلومتر و T_G پریود غالب است. پس از استخراج بیشینه شتاب‌های رخداده در منطقه ، بر اساس رابطهٔ Kh=1/2PHA ضریب لرزه‌ای مورد نیاز در تحلیل‌ها به‌دست آمده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

جدول۲. خلاصهٔ محاسبات شتاب بیشینه و ضریب لرزه‌ای

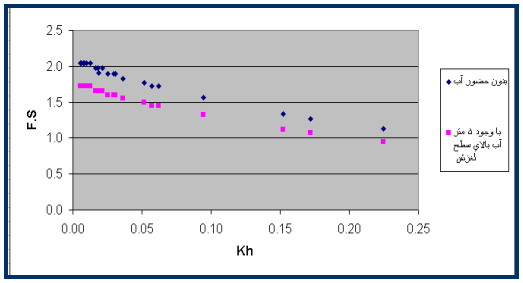
ردیف	MW	distane to farahzad(Km)	T_G	PHA(cm/s^2)	PHA(g)	DATE	K_h
1	7.1	95	0.41	112.101	0.114	743	0.06
2	7.0	24	0.17	337.149	0.344	855	0.17
3	7.9	270	1.8	24.073	0.025	856	0.01
4	5.4	36	0.13	110.393	0.113	864	0.06
5	7.7	31	0.21	440.982	0.450	958	0.22
6	6.4	132	0.38	35.947	0.037	1119	0.02
7	7.1	59	0.25	192.767	0.197	1177	0.10
8	6.6	85	0.3	93.418	0.095	1301	0.05
9	7.1	125	0.51	68.759	0.070	1485	0.04
10	7.6	105	0.6	147.037	0.150	1608	0.07
11	6.4	71	0.24	104.205	0.106	1665	0.05
12	6.4	127	0.38	39.727	0.040	1687	0.02
13	6.4	120	0.35	44.198	0.045	1809	0.02
14	6.6	116	0.37	54.322	0.055	1825	0.03
15	7.0	32	0.17	287.299	0.293	1830	0.15
16	6.3	143	0.39	27.693	0.028	1868	0.01
17	5.4	58	0.13	71.097	0.072	1930	0.04
18	5.0	58	0.13	57.745	0.059	1930	0.03
19	5.2	131	0.13	14.880	0.015	1935	0.01
20	5.0	140	0.13	11.201	0.011	1935	0.01
21	5.5	130	0.21	19.395	0.020	1937	0.01
22	5.5	98	0.18	35.575	0.036	1940	0.02

در این تحلیل‌ها ابتدا تأثیر زلزله با سطح آب زیرزمینی پایین‌تر از سطح لغزش یا به عبارتی سطح لغزش خشك بررسی شده است. سپس با توجه به رخداد زلزله در فصل‌های مختلف و در نتیجه سطوح آب زیرزمینی متفاوت، حالت سطح آب زیرزمینی بحرانی (۵ متر بالاتر از سطح لغزش) نیز به زلزله اضافه شده است. نتایج این تحلیل‌ها در جدول زیر آمده است:

جدول ۳ . نتایج تحلیل‌های شبه استاتیکی برای بازسازی لغزش اولیه

ردیف	PHA (متوسط)	K_h	F.S (بدون حضورآب)	F.S با ۵مترآب زیرزمینی
1	0.103	0.05	1.77	1.50
2	0.344	0.17	1.27	1.07
3	0.013	0.01	2.04	1.72
4	0.114	0.06	1.72	1.45
5	0.450	0.22	1.13	0.95
6	0.033	0.02	1.97	1.66
7	0.189	0.09	1.56	1.32
8	0.016	0.01	2.04	1.72
9	0.061	0.03	1.90	1.60
10	0.124	0.06	1.72	1.45
11	0.103	0.05	1.77	1.49
12	0.038	0.02	1.91	1.66
13	0.043	0.02	1.97	1.66
14	0.051	0.03	1.90	1.60
15	0.305	0.15	1.33	1.12
16	0.025	0.01	2.04	1.72
17	0.072	0.04	1.83	1.55
18	0.059	0.03	1.90	1.60
19	0.015	0.01	2.04	1.72
20	0.011	0.01	2.04	1.72
21	0.020	0.01	2.04	1.72
22	0.036	0.02	1.97	1.66

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]



نمودار۳. نمودار تغییرات F.S با ضریب لرزه‌ای

همان‌طور که از نمودار۳ و جدول۳ برمی‌آید تنها در یك مورد که K_h=۰/۲۲ است تودهٔ ناپایدار بوده و لغزش می‌تواند به‌وقوع بپیوندد، در بقیهٔ موارد زلزله به تنهایی نمی‌تواند باعث ایجاد لغزش گردد.

نتیجهٔ بازسازی لغزش اولیه

با استناد به تحلیل‌های فوق ، بررسی زلزله‌های تاریخی تهران و شرح خرابی زلزله‌ها می‌توان نتیجه گرفت این لغزش در یکی از این حالات به‌وجود آمده است:

- زلزلهٔ ری- طالقان در۲۳ فوریه ۹۵۸ میلادی (۳۴۶ هجری قمری): این زمین لرزه، زمین لرزه‌ای ویرانگر بوده است که از سرچشمه‌های جاجرود تا طالقان‌رود در شمال‌غربی کرج همراه با قسمت بزرگی از شهر ری ، ۱۵۰ شهر و روستای شمیران، لشگرك، واریان و طالقان را ویران کرده است. در اثر این زلزله سنگ ریزش و کوه لغزش در کوه‌های شمال تهران رودخانه‌ها را مسدود کرده و در گسترهٔ شمال تهران زمین شکاف برداشته است .
- زلزله دماوند- شمیرانات در ۲۷ مارس ۱۸۳۰: در این زمین لرزه سنگ لغزش سبب بسته شدن راه هراز و تالارود شده است. با توجه به زمان وقوع این زلزله در ماه فروردین و بالطبع بالا بودن سطح آب زیرزمینی، این دو عامل توأم با هم باعث ایجاد این لغزش گردیده‌اند[۱].

عکس ۱. زمین لغزش شمال کوی کارکنان مجلس

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

بحث و نتیجه‌گیری

- تحلیل برگشتی، حالتی از تحلیل پایداری است که در آن با مشخص کردن سطح لغزش، سطح آب زیرزمینی و هندسهٔ شیب، تحلیل انجام شده و پارامترهای مقاومت چسبندگی (C) و مقاومت اصطکاکی (φ) سطح گسیختگی به‌دست می‌آید. ساده‌ترین حالت تحلیل برگشتی مربوط به زمانی است که لغزش اتفاق افتاده باشد. در این حالت مقاومت چسبندگی سطح لغزش صفر شده و سطح لغزش تنها دارای مقاومت اصطکاکی است. با انجام تحلیل برگشتی به‌شرط ضریب اطمینان مساوی یک، مقاومت اصطکاکی (φ) به‌دست می‌آید.
- در زمین لغزش فرحزاد که گسیختگی در توف هوازده اتفاق افتاده است به‌دلیل وجود درزه‌های بسیار ریز در توف، تهیهٔ نمونه (بیان‌گر مشخصات توف در محل) برای آزمایش برش و تعیین پارامترهای مقاومتی آن امکان‌پذیر نیست و در صورت بازسازی[1] نمونه، مقاومت‌های بسیار بالا نشان داده که معتبر نیست. لذا تحلیل برگشتی ابزاری مفید برای تعیین مقاومت توف هوازده موجود در سطح گسیختگی است.
- زمین لغزش فرحزاد یک لغزش قدیمی است که در عکس هوایی سال ۱۳۳۵ این منطقه نیز دیده می‌شود. عامل به‌وجود آورندهٔ این لغزش زلزله‌ای مخرب بوده است که در اثر وقوع آن در گزارش ۵۶ سازمان زمین‌شناسی کشور نیز زمین لغزش گزارش شده است.
- عامل فعالیت مجدد این لغزش طی سال‌های اخیر، سربارشدن خاک دستی، ایجاد ساختمان‌های زاغه‌نشین روی تودهٔ لغزشی و زیرشویی درهٔ فرحزاد در محدودهٔ لغزشی و... است. تخلیهٔ فاضلاب ساختمان‌های واقع بر تودهٔ لغزشی و نفوذ آب‌های سطحی ناشی از بارندگی که زه‌کش سطحی برای هدایت آن‌ها وجود ندارد نیز موجب تشدید این موضوع گردیده است.
- اولین گام برای پیش‌گیری از حرکت توده و آسیب‌های بیش‌تر، تخلیه و تخریب ساختمان‌های زاغه‌نشین و انتقال آوار حاصل از آن‌هاست. برای جلوگیری از ورود آب از بالادست تودهٔ لغزشی به سطح لغزش، اجرای زه‌کشی در بالادست توده نیز الزامی است.
- اجرای شمع برای پایدارسازی این لغزش، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست و از طرفی به‌دلیل فعال بودن این توده و امکان ایجاد سطح لغزش جدید در تراز بالاتر، امکان گسیختگی و واژگونی شمع‌ها وجود دارد. بنا بر این ساخت تونل انتقال آب و خاکریزی دره در طول محدودهٔ لغزشی با هدف پایدار کردن دو دیوارهٔ شرقی و غربی درهٔ فرحزاد، طرحی اقتصادی با ضریب اطمینان زیاد است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

منابع

۱. م. بربریان، و دیگران، *پژوهش و بررسی ژرف نو زمین ساخت، لرزه زمین‌ساخت و خطر زمین لرزه- گسلش در گسترهٔ تهران و پیرامون*، گزارش ۵۶ سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۶۴).

۲. م. زارع، *مقدمه‌ای بر زلزله‌شناسی کاربردی*،پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (۱۳۸٤).

۳. ع. کمک‌پناه، س. منتظرالقائم، *روش‌های تحلیلی در ارزیابی پایداری شیب‌های طبیعی*، موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (۱۳۷۳).

4. L. W. Abramson, et al, "Slope Stability and Stabilitization methods", John Wiely & Sons, Inc (1995).

5. J. M. Duncan, S. G.Wright, "Soil strength and Slope Stability", John Wiley & Sons, INC (2004).

6. K. Ishahara, "Soil behaviour in earthquake engineering", Clarendon press oxford (1996).

7. JICA, "The Study on Seismic Microzoning Of The Greater Tehran Area In The Islamic Republic of Iran", November 2000, japan international cooperation agency(JICA) (2000).

8. S. L. Krammer, "Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall", Upper Saddle River, Nj (1996).

9. A. W. Skempton, "Residual strength of clays in landslides", folded strata and the laboratory, Geotechnique 35, No.1(1985) 3-18.

10. A. K.Turner, R. L. Schuster, "Landslide Investigation and Mitigation", National Academy of Sciences, USA, Special Report (1996).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]