



مطالعه عوامل زمین شناسی موثر بر وقوع زمین لغزش های منطقه زمان آباد، جنوب شرق همدان

محمدحسین قبادی^{1*}، پریا بهزادتبار²، سعید خدابخش³، لیلی ایزدی کیان⁴

پذیرش مقاله: 92/11/12

دریافت مقاله: 92/3/1

چکیده

شناخت عوامل زمین شناسی موثر بر وقوع زمین لغزش ها به منظور شناخت سازوکار آن ها و ارائه روش های تثبیت دارای اهمیت ویژه ای است. در این پژوهش با بازدیدهای صحرائی، زمین لغزش های منطقه زمان آباد در جنوب شرق همدان، در 10 ایستگاه، شناسایی شده و طی انجام آزمون های آزمایشگاهی ترکیب کانی شناسی، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مواد تشکیل دهنده لغزش ها تعیین گردیده است. سپس با استفاده از نرم افزار (slide ver5.014.2004) پایداری آنها در شرایط استاتیکی و دینامیکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. خاک های تشکیل دهنده لغزش ها، نهشته های انتقال یافته یک کانال دیرینه می باشند که در آن ها هفت لایه تشخیص داده شده است. از هفت لایه مذکور براساس رده بندی متحد خاک چهار لایه SC, SP-SM, SM-SP, SW و سه لایه CL نامگذاری گردیده اند. کانی های رسی موجود در لایه های رسی (CL) ایلیت، کائولینیت و مونت موریلونیت می باشند. مهم ترین عوامل لغزش های موجود ترکیب کانی شناسی رس ها، پنجه شویی شیب، گسل های فعال، ناهمگنی مواد شیب و وجود خزش می باشد. با توجه به تجزیه و تحلیل انجام شده شیب های مستعد گسیختگی ناهمگن هستند. ایستگاه های اول و چهارم که ناهمگنی بیشتری دارند کمترین ضریب اطمینان را در حالت استاتیکی نشان می دهند. به جز ایستگاه های 5، 9 و 10 سایر ایستگاه ها در حالت دینامیکی ضریب اطمینان کمتر از یک دارند.

کلید واژه ها: زمین شناسی، زمین لغزش، نرم افزار (slide ver 5.014)، روستای زمان آباد، همدان

1. استاد گروه زمین شناسی دانشگاه بوعلی سینا همدان amirghobadi@yahoo.com

2. دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

3. دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

4. استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

* مسئول مکاتبات

1. مقدمه

امروزه یکی از مهم‌ترین مسائلی که در مطالعات زمین شناسی مهندسی مسیرهای کوهستانی مطرح می‌باشد موضوع پایداری شیب‌های سنگی و خاکی است. عوامل متعددی مانند جنس زمین، نزولات جوی، تنش‌های ناشی از زلزله، کم بودن مقاومت برشی مواد تشکیل دهنده دامنه‌ها و خاک برداری‌های مصنوعی در ایجاد ناپایداری شیب‌ها دخالت دارند. بر اساس تحقیق انجام شده توسط (Farouk Mansour et al., 2011) 53% لغزش‌ها در مصالح خاکی اتفاق می‌افتند و از بین عوامل دخیل در لغزش‌ها بارندگی با 64% بیشترین سهم را دارا می‌باشد. از جمله زمین‌لغزش‌هایی که در آن بارندگی عامل اصلی ایجاد لغزش بوده است، می‌توان به لغزش‌های جزیره مادیرا (Madeira) در اقیانوس اطلس، اشاره نمود که پس از دو روز بارندگی سنگین، تعداد 120 زمین لغزش در منطقه رخ داده است (Nguyen et al., 2013). در این مورد ارتباط بین میزان بارندگی با میزان ذوب برف، بارندگی و تغییرات درجه حرارت در مقابل میزان بازشدگی ترک‌های کششی برای لغزش آکنس (Aknes) در غرب نروژ مورد بررسی قرار گرفته است (Groneng et al., 2011).

سایر عوامل مانند زلزله در وقوع زمین لغزش و نچوآن (Wenchuan) در سال 2008 [Yin et al., 2009]، نشت از یک کانال انتقال آب در شکل‌گیری زمین‌لغزش گائولو (Gaolou) در چین نقش اساسی داشته است (Zhang et al., 2009). لغزش فاکس کریک (fox Creek) ایتالیا در سال 2007 علاوه بر ایجاد سد و تغییر مسیر رودخانه، موجب تخریب 0/12 کیلومترمربع از زمین‌های زراعی شده است (Kim et al., 2009).

منطقه مورد مطالعه به فاصله 40 کیلومتری از جنوب شرق همدان واقع است و دسترسی به آن از طریق جاده همدان به ملایر به راحتی امکان‌پذیر می‌باشد. در محدوده مورد نظر نهشته‌های موجود به صورت نوار باریکی از جنوب شرق روستای زمان‌آباد به شمال غرب کشیده شده است. در این ناحیه با توجه به خصوصیات زمین‌شناسی، شرایط توپوگرافی،

وضعیت آب‌های سطحی و زیرزمینی، وجود گسل‌های فراوان لغزش‌های متعدد و کوچکی شکل گرفته که منازل مسکونی و کاربری زمین‌های زراعی را تهدید می‌کند. در این پژوهش عوامل موثر در وقوع لغزش‌ها مورد مطالعه قرار گرفته و راهکارهای مناسب برای کاهش خطر ناپایداری‌ها ارائه شده است.

2. مواد و روش‌ها

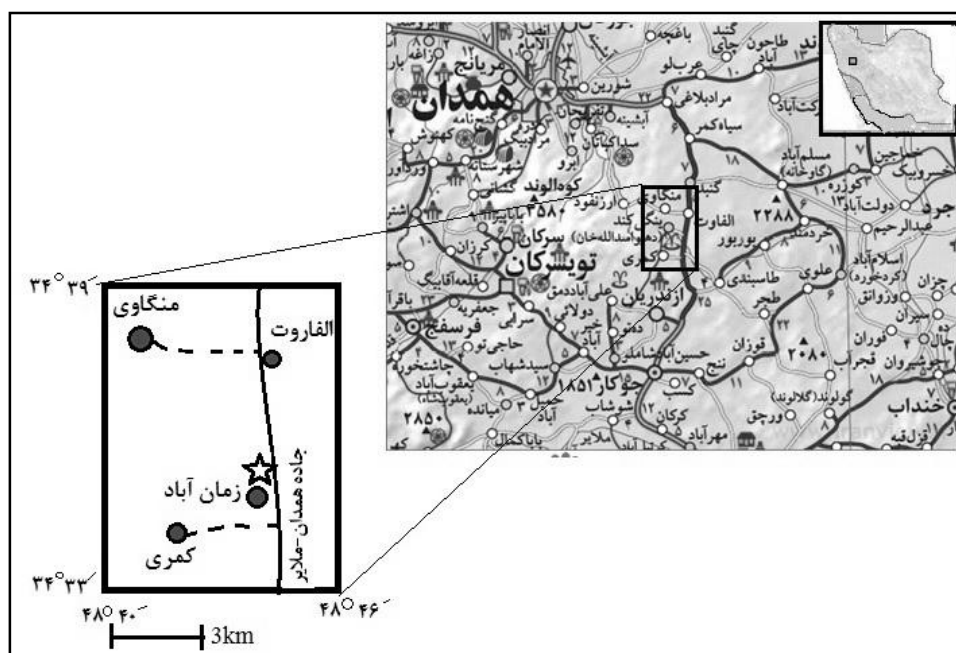
در این پژوهش با انجام بازدیدهای صحرایی، شرایط زمین‌شناسی، ساختاری، هیدروژئولوژیکی و هیدرولوژیکی منطقه بررسی شد. به منظور مطالعه خاک‌های منطقه از هر لایه، به صورت دست‌خورده، نمونه‌برداری انجام گرفت (شکل 1). ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های خاک با انجام آزمون‌های آزمایشگاهی از قبیل تعیین درصد رطوبت، دانسیته حداکثر و دانسیته در محل، وزن واحد حجم، نفوذپذیری، برش مستقیم، مقاومت فشاری تک محوره طبق استاندارد (ASTM 2000) تعیین گردید (جدول 4). علاوه بر آن جهت تعیین واگرایی خاک از آزمون‌های هیدرومتری مضاعف و کرامب استفاده شد. سپس با استفاده از داده‌های حاصل از آزمون‌های آزمایشگاهی، تحلیل پایداری شیب‌های خاکی با استفاده از نرم‌افزار Slide (ver5.014) در حالت‌های دینامیکی و استاتیکی انجام گرفت.

3. آب و هوا، زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای کوهستانی است. دمای متوسط سالیانه در تابستان 25 در زمستان 4- و متوسط دمای سالانه آن 12 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. طبق نقشه‌های هم بارش استان میزان بارندگی سالانه 380 تا 400 میلی‌متر در منطقه برآورد شده است (سایت اداره هواشناسی استان همدان). منطقه مورد بررسی از نظر تقسیمات ساختاری در زون سنندج سیرجان واقع شده که فعال‌ترین زون ساختمانی ایران محسوب می‌شود (درویش‌زاده، 1383). رخنمون‌های سنگی منطقه از نوع دگرگونی و متعلق به فاز دگرگونی

توسط رسوبات کواترنر پوشیده شده است. این نهشته‌ها در شمال روستای زمان آباد هفت لایه را نشان می‌دهد (شکل 2). نیمرخ کلی منطقه را می‌توان در شکل (3) مشاهده نمود.

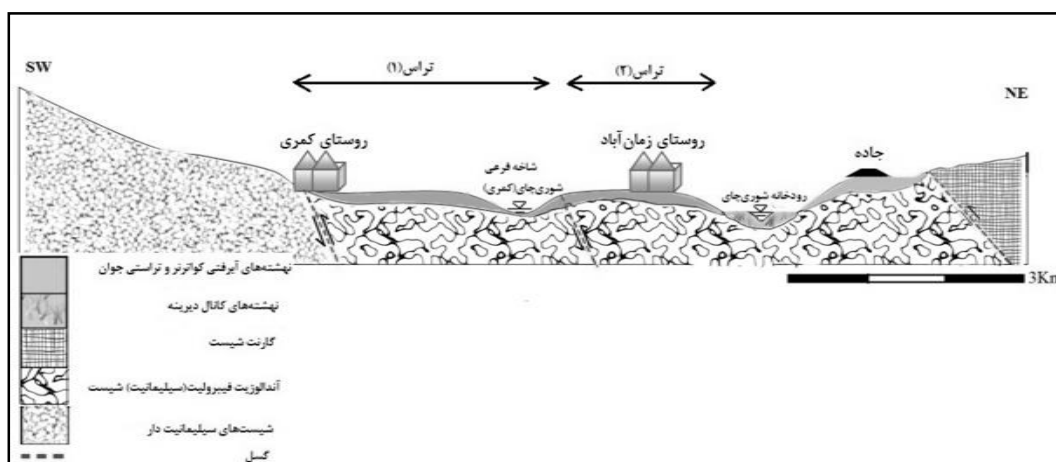
مزوزوئیک است (سپاهی گرو، 1378). ساختمان اصلی زمین‌شناسی در ناحیه همدان یک آنتی کلیتال با محور شمال‌غرب - جنوب شرق می‌باشد (اقلیمی، 1379). از جمله ساختارهای موجود در منطقه گسل‌های متعددی است که



شکل 1. موقعیت منطقه نمونه برداری در شمال روستای زمان آباد



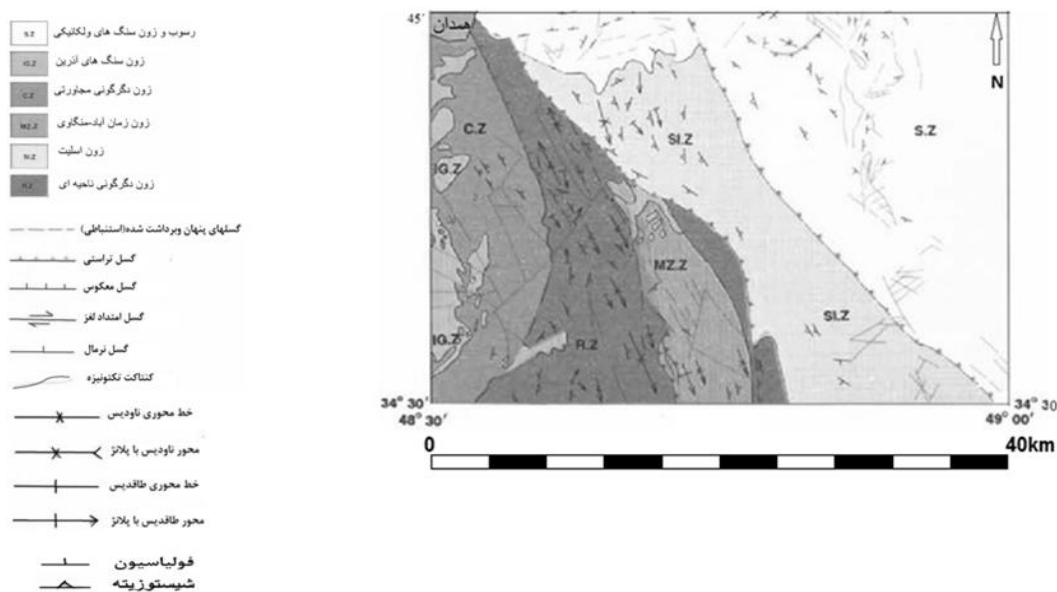
شکل 2. رخنمون دیواره لغزش و جنس لایه‌ها (بهزادتبار و همکاران، 1391)



شکل 3. نیمرخ کلی منطقه مورد مطالعه

سنگ کف این منطقه آندالوزیت فیبرولیت (سیلیمانیت) شیستی است که خاک‌های برجای حاصل از آن از لحاظ واگرایی مورد بررسی قرار گرفته‌اند، و واگرایی کم تا متوسط را نشان داده‌اند. چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی این نهشته‌ها کمتر از سنگ کف می‌باشد (بهزادتبار و همکاران، 1391). گسل‌ها اغلب از نوع رانندگی و معکوس بوده که از روند گسل اصلی زاگرس پیروی می‌کنند و نقش آن‌ها در ارتباط با لرزه‌خیزی و ناپایداری شیب‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (شکل 4). از جمله این گسل‌ها می‌توان به گسل تفریجان منگاو، یلفان - ارزانفود و علوی اشاره نمود.

از جمله ساختارهای قابل رویت در این نهشته‌ها می‌توان به آثار کندوکاو موجودات، جهت‌یافتگی گراول‌های ماسه‌ای، ساختارهای بارو (burrow) پدیده آبشستگی، لایه‌بندی مورب اشاره نمود. ساختارهای بارو در ماسه دارای لایه‌بندی مورب دیده شده است که ناشی از فعالیت موجودات و پر شدن مجدد حفرات می‌باشد. پدیده آبشستگی که در لایه‌ای خاک (SP-SM) دیده می‌تواند به اختلاف چگالی بین ذرات رس و ماسه مربوط باشد به وقوع لغزش و تشدید فرسایش خاک کمک کند. این پدیده با ایجاد حفرات، نقاط وضعی در شیب به وجود آورده و لغزش را تسهیل می‌کند.



شکل 4. نقشه زمین‌شناسی و ساختاری همدان (علامت ستاره محل روستای زمان آباد را نشان می‌دهد).

بر حسب کیلومتر. شتاب عمودی به طور تجربی نصف شتاب افقی منظور گردیده است (Campbell, 1981). بر اساس نتایج به دست آمده بزرگی متوسط زلزله حاصل از این گسل‌ها بین $4/3$ تا $6/8$ در مقیاس ریشتر و شتاب افقی ناشی از فعالیت این گسل‌ها بین $0/07g$ تا $0/28g$ و شتاب قائم بین $0/03g$ تا $0/14g$ می‌باشد. شیب عمومی منطقه به سوی شمال شرق است. اکثر گسل‌های منطقه هم روند باگسل اصلی زاگرس هستند و شیب عمومی آن‌ها به طرف شمال شرق می‌باشد. وجود این گسل‌های محلی نفوذ آب را در شیب‌ها افزایش داده و موجب افزایش وزن دامنه و کاهش عوامل مقاومتی برشی خاک می‌گردند. چنین شرایطی سبب شده تا منطقه مورد مطالعه گرفتار خزش شود. جهت عمومی این خزش N-NE می‌باشد. این پدیده وقوع لغزش‌های کوچک را در حاشیه رودخانه تشدید می‌کند.

5. هیدرولوژی و هیدروژئولوژی

آب مهم‌ترین عامل رانش زمین محسوب می‌شود. با نفوذ آب به داخل زمین و افزایش درصد رطوبت خاک، وزن واحد حجم مواد دامنه افزایش پیدا می‌کند. با نفوذ آب به داخل ساختمان خاک زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) کاهش می‌یابد. همچنین با تجمع آب‌های نفوذی در داخل منافذ خاک فشار آب منفذی افزایش پیدا می‌کند که سبب کاهش تنش عمودی موثر بر سطح گسیختگی خواهد شد و در نتیجه مقاومت برشی مواد دامنه کاهش می‌یابد. علاوه بر آن وجود آب در کاهش اصطکاک بین لایه‌ها و لغزنده نمودن توده خاک بسیار مؤثر می‌باشد.

رودخانه‌ی یوخاری‌چای (شوری‌چای) که موجب شسته شدن پای دامنه شیب‌ها می‌شود از رشته کوه الوند سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه فرسایشی‌ترین رودخانه منطقه می‌باشد. وجود سازندهای گچی - نمکی (سازند قرمز بالایی در شمال سد اکباتان) و حل شدن نمک در آب رودخانه باعث پراکنده شدن ذرات رس در بستر و حاشیه رودخانه می‌شود. ذکر این موضوع حائز اهمیت است که احداث هرگونه سازه که

4. لرزه‌خیزی

طبق ارزیابی مقدماتی لرزه‌خیزی که در منطقه صورت پذیرفته، 5 گسل بزرگ اصلی و 54 گسل کوچک (F_1-F_{54}) مطالعه شده‌اند. گسل‌های اصلی سیاه کمر علوی، تفریجان مگاوی، یلفان ارزانفود، کیشین - سیمین و آنجلاس - ورکانه هستند. جهت تعیین بزرگی زمین‌لرزه از روابط Ambrasyes and Melville (1982)، Nowroozi (1985)، رمزی (1377)، Nowroozi and Mohajer Ashjai (1978) و جهت تعیین شتاب افقی حاصل فعالیت این گسل‌ها از روابط (1973) Donovan، Esteva (1970) و Campbell (1981) استفاده شده است (جدول 1 و 2).

جدول 1. روابط مورد استفاده جهت تعیین بزرگی زمین لرزه

ناشی از فعالیت گسل‌های شناسایی شده

(نقل از Ghobadi and Fereidooni, 2012)

| منبع | رابطه |
|------------------------------------|---|
| Ambrasyes and Melville (1982) | $432 \log L_1 + 642 - 4 = MS$ $150 \leq L_1 \leq 750$; $L_1 = 0 + 3$ کیلومتر (L) طول |
| Nowroozi (1985) | $244 \log L + 259 - 1 = MS$ |
| رمزی (1377) | $920 \log L + 81 - 3 = MS$ |
| Mohajer Ashjai and Nowroozi (1978) | $\log L_2 + 4 - 5 = M$ |

جدول 2. روابط مورد استفاده جهت تعیین شتاب حاصل از

فعالیت گسل‌های شناسایی شده

(نقل از Ghobadi and Fereidooni, 2012)

| منبع | رابطه |
|-----------------|-------|
| Donovan (1973) | |
| Esteva (1970) | |
| Campbell (1981) | |

در این روابط M بزرگی زلزله بر حسب ریشتر، L طول گسل بر حسب کیلومتر، a شتاب حداکثر زمین بر حسب سانتی‌متر بر مجذور ثانیه، $e=2/73$ ، R فاصله‌ی محل مورد نظر از گسل

(شکل 6). وجود زیرشویی در پنجه شیب موجب افزایش شیب دامنه می‌شود و موجب ناپایداری شیب می‌گردد. اصولاً گسیختگی حاشیه رودخانه‌ها، به خصوص در مواردی که پدیده فرسایش مواد را از ساحل رودخانه جابه‌جا می‌کند، شایع است [قبادی و همکاران، 1391]. فرسایش پذیری خاک سبب حفر شیارها شده و در پای دامنه منجر به لغزش شده است. (Di Maio and Vassallo, 2011).

موجب کندی جریان آب در رودخانه و بالا آمدن سطح آب آن شود، می‌تواند آب را به کناره‌ها نفوذ داده و املاح را در خود حل نموده و فرسایش حاشیه را تشدید نماید [سبزی‌پرور، 1381]. دبی متوسط این رودخانه $0/15 \text{ m}^3/\text{s}$ می‌باشد. بررسی فرسایش‌پذیری واحدهایی که در منطقه وجود دارند، مشخص کرد که لغزش‌های ایجاد شده در نواحی با فرسایش‌پذیری زیاد در نهشته‌های آبرفتی رخ داده‌اند



شکل 5. نمونه‌هایی از لغزش‌های ایجاد شده در شمال روستای زمان آباد (دید به سمت جنوب غرب)

جدول 3. نتایج آزمایش‌های ژئوتکنیکی

| شماره لايه | رطوبت طبیعی (w%) | دانسیتة در محل (gr/cm ³) | رده‌بندی یونیفاید | حداکثر دانسیته خشک (gr/cm ³) | وزن مخصوص (Gs) | عوامل مقاومت برشی | | نفوذپذیری K(cm/s) | مقاومت فشاری تک محوره (kPa) |
|--------------------|------------------------|--|------------------------------|--|----------------------|----------------------------|----------|-----------------------|-----------------------------------|
| | | | | | | C (kg/cm ²) | Φ (°) | | |
| شماره استاندارد | ASTM D2216 | - | ASTM D422 ASTM D421 | ASTM D698 | ASTM D854 | ASTM D3080 | | ASTM D2434 | ASTM D2938 |
| اول | 0/85 | 1/55 | SW | 1/9 | 2/65 | 0/01 | 29/6 | 1.77×10^{-3} | - |
| دوم | 0/5 | 1/47 | SM-SP | 2/08 | 2/61 | 0/06 | 22/6 | 1.33×10^{-5} | 57/9 |
| سوم | 0/69 | 1/44 | SP-SM | 1/67 | 2/64 | 0/05 | 19/3 | 3.77×10^{-5} | - |
| چهارم | 0/75 | 1/45 | SC | 1/77 | 2/70 | 0/05 | 26/5 | 1.23×10^{-4} | 115/16 |
| پنجم | 2/09 | 1/31 | CL | 1/84 | 2/59 | 0/14 | 11/3 | 5.7×10^{-7} | 93/38 |
| ششم | 2/42 | 1/48 | CL | 1/66 | 2/67 | 0/16 | 18/77 | 6.8×10^{-7} | 121/66 |
| هفتم | 5/58 | 1/4 | CL | 1/68 | 2/45 | 0/11 | 18/4 | 1.4×10^{-7} | 234/06 |

جدول (3) آورده شده است. نتایج آزمایش‌های تعیین واگرایی (هیدرومتری مضاعف و کرامب) و تعیین خاصیت تورم‌پذیری خاک بر حسب مشخصه‌های خمیری را می‌توان در جدول (4) مشاهده نمود.

6. مطالعات آزمایشگاهی

به منظور تعیین خصوصیات مهندسی خاک‌های انتقال یافته از هر لایه به صورت دست‌خورده نمونه تهیه شده است و آزمایش‌های موردنیاز بر اساس استانداردهای ASTM (2000) روی نمونه‌های دست‌خورده انجام گرفته است. نتایج در

جدول 4. بررسی تورم‌پذیری خاک بر حسب مشخصه‌های خمیری

| شماره لایه | حد خمیری | نشانه خمیری (PI) | درصد ذرات کوچکتر از 0/001 میلی متر | درصد تورم محتمل | درجه تورم | وضعیت واگرایی طبق آزمایش کرامب | وضعیت واگرایی طبق آزمایش هیدرومتری مضاعف | درصد واگرایی طبق آزمون هیدرومتری مضاعف |
|------------|----------|------------------|------------------------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|--|--|
| 4 | 21/73 | 12/57 | 10/2 | 10< | کم | - | - | - |
| 5 | 18/45 | 10/05 | 12/3 | 10< | کم | بسیار کم - غیر واگرا | غیر واگرا | 29/4 |
| 6 | 17/85 | 14/4 | 16/6 | 10-20 | کم تا متوسط | بسیار کم - غیر واگرا | غیر واگرا | 22/7 |
| 7 | 27/77 | 21/83 | 30/87 | 10-30 | متوسط تا زیاد | ضعیف تا متوسط | متوسط | 36/10 |

بررسی ترسیم گردیده و لایه‌ها در آن تفکیک شده سپس با استفاده از پنج روش فلیوس، بیشاب ساده، جانبو ساده، جانبو اصلاح شده و اسپنسر در دو حالت استاتیکی و دینامیکی، شیب‌ها مورد تحلیل قرار گرفته‌اند (شکل 7). بر این اساس A طول قوس زمین لغزش، B فاصله افقی بین دو انتهای کمان لغزش، C ارتفاع پرتگاه، D طول زبانه مواد واریزه، E فاصله بین تاج پرتگاه تا زبانه، α شیب توپوگرافی، β شیب بخش واریزه یا زبانه و γ شیب پرتگاه می‌باشد. در حالت دینامیکی با توجه به اینکه محدوده همدان در پهنه‌ای با خطر نسبی لرزه‌ای متوسط قرار دارد [Ghobdi and Feredooni, 2012] آیین‌نامه 2800]، شتاب مبنای طرح 0/3g در نرم‌افزار وارد شده است. موقعیت این لغزش‌ها در شکل (6) و نتایج حاصل از این بررسی در جدول (7) آمده است.

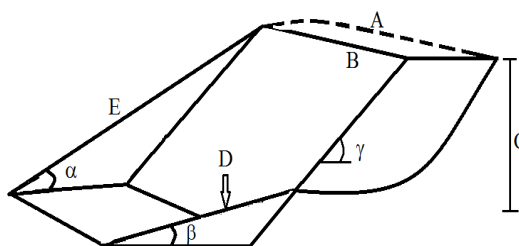
بر اساس نتایج به دست آمده، لایه ششم و هفتم دارای خاصیت تورم‌پذیری بیشتری نسبت به لایه‌های چهارم و پنجم می‌باشد که این امر به نوع کانی‌های رسی و درصد آن‌ها مربوط می‌گردد. قابل ذکر است که فقط لایه هفتم واگرایی کم تا متوسط را نشان داده است.

7. تحلیل پایداری

به منظور تحلیل پایداری شیب‌های خاکی مورد مطالعه، تعیین سطح لغزش احتمالی و محاسبه ضریب اطمینان، از نرم‌افزار اسلاید (ver.5.014) استفاده شده است. در این نرم‌افزار برای تحلیل پایداری از چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی و پارامترهای هندسی (شیب توپوگرافی و ضخامت لایه‌ها) استفاده گردیده است (جدول 5 و 6). ابتدا شیب‌های مورد

جدول 5. ویژگی های هندسی زمین لغزش های موجود در شمال روستای زمان آباد

| شماره لغزش | A (m) | B (m) | C (m) | D (m) | E (m) | α° | β° | γ° | موقعیت | جهت لغزش |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|---------------|----------------|--------------------------------|----------|
| 1 | 54 | 50/5 | 5/4 | 4 | 10/81 | 50 | 32 | 85 | 34°36'13.15"N 48°44'0.36"E | N317E |
| 2 | 35 | 34 | 7 | 3 | 9 | 30 | 47 | 90 | 34°36'13.19"N 48°44'1.88"E | 65E N |
| 3 | 24/5 | 22/30 | 5/5 | 2/5 | 8 | 30 | 47 | 90 | 34°36'12.39"N 48°44'2.94"E | 65E N |
| 4 | 31/5 | 30 | 8/20 | 3 | 12 | 40 | 40 | 90 | 34°36'10.57"N 48°44'5.53"E | N50E |
| 5 | 45 | 43 | 8 | 2 | 9/5 | 40 | - | 80 | 34°36'0.93"N 48°43'41.74"E | N317E |
| 6 | 21 | 20 | 7 | 2/3 | 9 | 43 | - | 85 | 34°36'4.02"N 48°43'44.13"E | 295E N |
| 7 | 10 | 9/5 | 7 | 1/8 | 8/3 | 38 | - | 79 | 34°36'6.02"N 48°43'46.60"E | 265E N |
| 8 | 12.3 | 7/20 | 15 | 3 | 16 | 42 | - | 52 | 34°36'8.74"N 48°43'50.26"E | N310E |
| 9 | 40 | 36 | 15 | 3.5 | 17 | 35 | - | 69 | 34°36'10.11"N 48°43'52.16"E | N305E |
| 10 | 8 | 7/5 | 6 | 2 | 9 | 35 | - | 78 | 34°36'12.03"N 48°43'55.75"E | N302E |



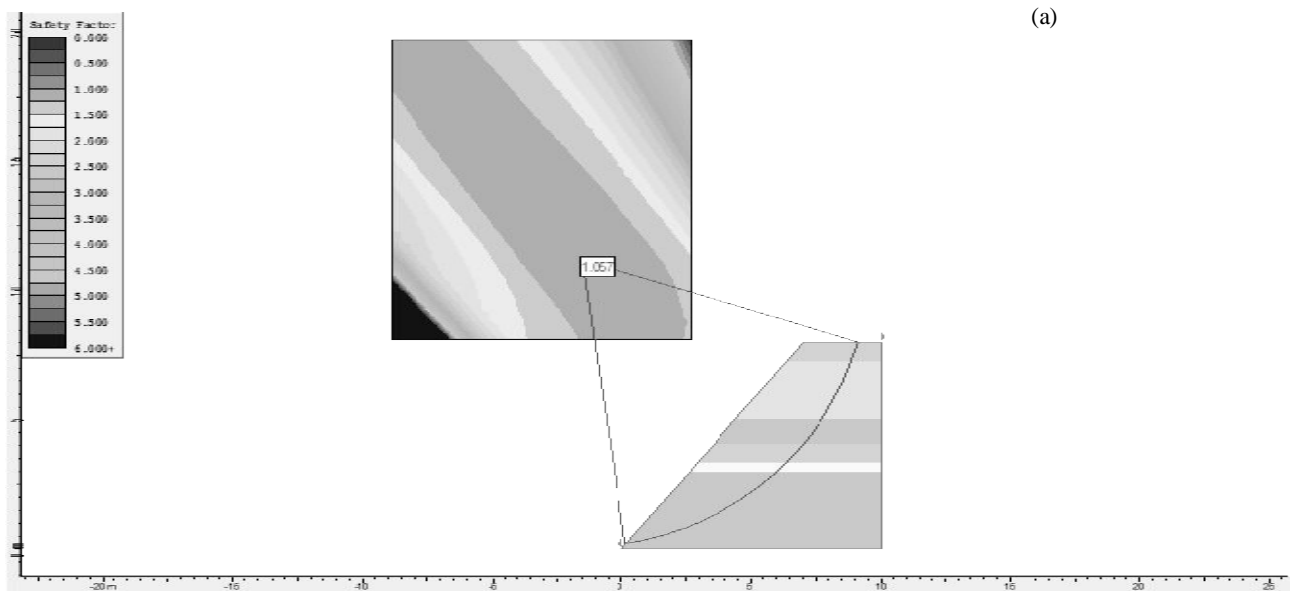
شکل 6. موقعیت لغزش های مورد مطالعه روی عکس ماهواره ای (ماهواره Spot 2011)

جدول 6. توالی و ضخامت خاک‌های انتقال یافته موجود در لغزش‌های منطقه (لایه‌ها به ترتیب از پایین به بالای لغزش مرتب شده‌اند).
(CL(5): خاک رسی لایه پنجم، CL(6): خاک رسی لایه ششم، CL(7): خاک رسی لایه هفتم)

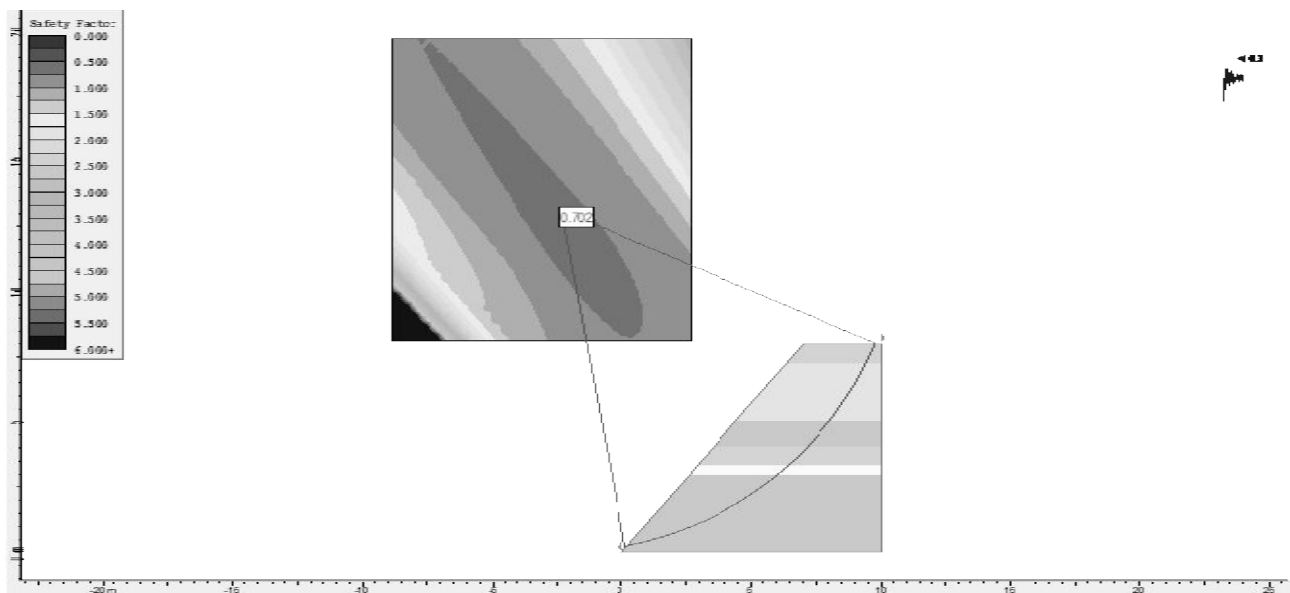
| لغزش 1 | | لغزش 2 | | لغزش 3 | | لغزش 4 | | لغزش 5 | |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| نوع مصالح | ضخامت (m) | نوع مصالح | ضخامت (m) | نوع مصالح | ضخامت (m) | نوع مصالح | ضخامت (m) | نوع مصالح | ضخامت (m) |
| SW | 0/4 | SC | 1 | SC | 1/4 | CL(6) | 0/3 | CL (6) | 4/5 |
| SM-SP | 0/35 | CL(6) | 3/9 | SM-SP | 2 | SP-SM | 0/5 | CL(7) | 1/6 |
| SP-SM | 0/30 | CL(5) | 2/10 | SP-SM | 0/3 | SC | 0/5 | | |
| SC | 1 | | | SM-SP | 0/2 | SM-SP | 0/3 | | |
| CL(6) | 2/30 | | | SC | 0/7 | CL(6) | 0/5 | | |
| CL(5) | 0/7 | | | CL(6) | 0/3 | SP-SM | 0/3 | | |
| | | | | CL(5) | 0/5 | SC | 1 | | |
| | | | | | | CL(6) | 0/7 | | |
| | | | | | | SC | 2 | | |
| | | | | | | CL(6) | 0/5 | | |
| | | | | | | CL(5) | 1 | | |
| ضخامت کل (m) | 5/05 | 7 | | 5/4 | | 7/6 | | 6/1 | |
| لغزش 6 | | لغزش 7 | | لغزش 8 | | لغزش 9 | | لغزش 10 | |
| نوع مصالح | ضخامت (m) | نوع مصالح | ضخامت (m) | نوع مصالح | ضخامت (m) | نوع مصالح | ضخامت (m) | نوع مصالح | ضخامت (m) |
| CL(7) | 5/5 | CL (5) | 9/7 | CL (5) | 1 | CL (5) | 1 | CL(7) | 6/2 |
| | | | | CL (6) | 9/5 | SC | 0/3 | | |
| | | | | | | CL (6) | 4 | | |
| ضخامت کل (m) | 5/5 | 9/7 | | 10/5 | | 5/3 | | 6/2 | |

جدول 7. نتایج حاصل از تحلیل پایداری شیب و محاسبه ضریب اطمینان (F_s) به پنج روش فلیوس، بیشاب ساده، جانبو ساده، جانبو اصلاح شده و اسپنسر در دو حالت استاتیکی و دینامیکی

| اسپنسر | | جانبو اصلاح شده | | جانبو ساده | | بیشاب ساده | | فلیوس | | شماره ایستگاه |
|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| SF (دینامیک) | SF (استاتیک) | SF (دینامیک) | SF (استاتیک) | SF (دینامیک) | SF (استاتیک) | SF (دینامیک) | SF (استاتیک) | SF (دینامیک) | SF (استاتیک) | |
| 0/71 | 1/17 | 0/73 | 1/14 | 0/7 | 1/09 | 0/71 | 1/05 | 0/7 | 1/05 | 1 |
| 0/97 | 1/61 | 0/96 | 1/65 | 0/9 | 1/56 | 0/96 | 1/61 | 0/92 | 1/57 | 2 |
| 0/82 | 1/37 | 0/82 | 1/36 | 0/79 | 1/29 | 0/75 | 1/34 | 0/77 | 1/34 | 3 |
| 0/7 | 1/06 | 0/67 | 1/1 | 0/64 | 1/04 | 0/68 | 1/06 | 0/65 | 1/03 | 4 |
| 1/51 | 1/58 | 1/05 | 1/68 | 0/98 | 1/57 | 1/05 | 1/56 | 1/03 | 1/54 | 5 |
| 1/13 | 1/45 | 0/94 | 1/49 | 0/88 | 1/40 | 0/97 | 1/45 | 0/93 | 1/41 | 6 |
| 0/89 | 1/27 | 0/81 | 1/30 | 0/76 | 1/21 | 0/82 | 1/27 | 0/8 | 1/24 | 7 |
| 0/83 | 1/28 | 0/85 | 1/33 | 0/80 | 1/24 | 0/87 | 1/28 | 0/83 | 1/24 | 8 |
| 1/58 | 2/06 | 1/31 | 2/12 | 1/23 | 1/99 | 1/34 | 2/07 | 1/29 | 2/01 | 9 |
| 1/11 | 1/75 | 1/07 | 1/78 | 1/015 | 1/67 | 1/104 | 1/76 | 1/05 | 1/7 | 10 |



(a)



(b)

شکل 7. تحلیل پایداری ایستگاه اول به روش فلیوس در حالت استاتیکی (a)، فلیوس در حالت دینامیکی (b)

در مناطقی که لغزش دورانی مشاهده می‌شود، جهت بهسازی شیب، تغییر هندسه شیب مفید است (قبادی و همکاران، 1391). با توجه به این که شیب زیاد و زیرشویی از عوامل ناپایداری در منطقه می‌باشند، جهت پایدارسازی، کاهش شیب، احداث دیواره‌های حائل و ساماندهی رودخانه‌ی یوخاری‌چای (شوری‌چای) که موجب شسته شدن پای دامنه‌ها می‌شود روش‌های مناسبی می‌باشند.

داده‌های حاصل از تحلیل نرم‌افزار نشان‌دهنده بحرانی‌ترین سطح لغزش می‌باشد. روش‌های مناسب جهت کاهش خطر زمین‌لغزش، تغییر هندسه شیب و یا پرکردن پای دامنه، طراحی و نصب زهکش و ایجاد سازه‌های تقویتی است که به پایدارسازی شیب‌ها کمک زیادی می‌کنند (Jaiswal and Van, 2013).

8. بحث

در مناطق کوهستانی، عوامل مختلفی در ارتباط با یکدیگر و در رابطه با ویژگی‌های محلی، موجب ناپایداری شیب‌ها می‌شوند. عوامل ناپایداری با سهم متفاوت در وقوع حرکات توده‌ای، به خصوص در وقوع لغزش‌ها نقش دارند.

53% لغزش‌های ثبت شده در دنیا در مصالح خاکی به وقوع می‌پیوندد. طبق بررسی‌های انجام گرفته در ایجاد زمین لغزش‌ها، بارندگی 64%، جریان‌های فرسایشی 23%، فعالیت انسانی 19%، نوسانات مخازن 11%، فعالیت معدن‌کاری 6%، ذوب برف‌ها 4% و زمین‌لرزه 2% نقش داشته‌اند (Farouk Mansour et al., 2011, Xu and Zhang, 2010). ولی اهمیت نقش هر کدام از عوامل یاد شده با توجه به شرایط توپوگرافی، زمین‌شناسی، آب‌های سطحی و زیرزمینی و فعالیت‌های انسانی کاملاً متفاوت است. در منطقه مورد مطالعه ساختارهای زمین‌شناسی به ویژه گسل‌ها در شکل‌گیری و وقوع لغزش‌ها نقش اساسی دارند. در اغلب موارد در کنار هر زمین‌لغزش و یا با فاصله کمی از توده لغزنده گسلی قرار دارد که ورود آب را به درون توده دارای پتانسیل لغزش تسهیل می‌کند (Ghobadi, 1994).

ناحیه مورد مطالعه در محدوده وسیعی گرفتار خزش است. چنین فرآیندی پایداری ناحیه را در دراز مدت تهدید می‌کند. ترک‌های کششی ناشی خزش با میزان بازشدگی حدود چند سانتی‌متر در بازدیدهای صحرایی شناسایی گردیده است (متوسط نرخ بازشدگی این ترک‌ها 0/45cm/year برآورد شده‌اند). جهت عمومی خزش به سمت شمال شرق و عمود بر راستای گسل‌های منطقه است. جهت بزرگترین گسل‌های فشاری هم راستا با جهت عمومی خزش در ناحیه است. بیشترین بزرگای محاسبه شده این گسل‌ها مربوط به گسل سیاه‌کمر - علوی با 6/8 ریشتر می‌باشد (بهزادتبار و همکاران، 1391). فعالیت این گسل ضمن تشدید میزان خزش به ایجاد زمین لغزش‌های متعددی منجر خواهد شد.

توپوگرافی نقش مهمی در میزان دسترسی افق‌های خاک به رطوبت دارد و روی میزان نفوذ آب و سرعت رواناب تأثیر

می‌گذارد. مدت و شدت بارندگی، رطوبت اولیه و خواص هیدرولیکی مواد در محیط غیراشباع و اشباع وضعیت آب را در دامنه کنترل می‌کند. به این معنا که در شیب‌های ملایم متشکل از مواد نفوذپذیر تراوش عمودی در دامنه افزایش می‌یابد (Jiang et al., 2013). علاوه بر گسل‌های موجود و شرایط توپوگرافی فرآیند پنجه‌شویی که توسط شاخه‌ای از رودخانه یوخاری‌چای (شوری‌چای) صورت می‌گیرد از عوامل موثر در ایجاد لغزش‌های منطقه محسوب می‌گردد.

هوازدگی و فرسایش‌پذیری در شکل‌گیری و وقوع لغزش‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند (Ghobadi, 2000) مطالعات نشان می‌دهد که فرسایش‌پذیری دامنه‌ها موجب ایجاد شیارهایی می‌گردد که ناپایداری دامنه‌ها را تشدید می‌نماید (Di Maio and Vassallo, 2011). طبق بررسی که در منطقه صورت پذیرفته مشخص گردیده که لغزش‌های صورت گرفته بیشتر در لیتولوژی با فرسایش‌پذیری بالا رخ داده است. زیرا با توجه به اقلیم منطقه، خاک‌های ریزدانه در چرخه‌های ذوب و انجماد می‌توانند رفتاری شبیه گل‌روانه از خود نشان دهند (Wang et al., 2009).

ناهمگنی لایه‌های خاک از دیگر عوامل ناپایداری شیب‌ها در منطقه محسوب می‌گردد. زیرا تفاوت در مقادیر عوامل مقاومت برشی (C, ϕ) لایه‌ها سبب تفاوت در میزان مقاومت برشی دامنه شده که خود به بروز ناپایداری کمک زیادی خواهد کرد. در شیب‌های یکنواخت عمق سطح گسیختگی به موقعیت سطح آب زیرزمینی و تغییرات مقاومت نسبت به عمق وابسته است. ولی در شیب‌های غیریکنواخت به جهت مقاومت ناپیوستگی وابسته می‌باشد. (قبادی و همکاران، 1391).

کاربری نامناسب زمین‌های زراعی از عوامل مهم در تحریک ناپایداری دامنه‌ها محسوب می‌گردد. با توجه به مطالعات انجام شده (1) دامنه‌هایی با شیب بیش از 15 درجه، (2) اراضی تشکیل شده از مصالح نفوذپذیر مستقر بر روی مصالح ناتراوا، (3) اراضی پادگانه‌ای مشرف به پرتگاه‌های کنار رودخانه‌ها، (4) دامنه‌های تشکیل شده از خاک‌های سست بر

کاهش یافته است. کمترین ضرایب اطمینان مربوط به ایستگاه‌های اول، و چهارم می‌باشد که نسبت به ایستگاه‌های دیگر از تنوع لیتولوژی بیشتری برخوردارند و نقش ناهمگنی دامنه را در ناپایداری شیب روشن می‌سازد. در لغزش‌هایی که دارای ناهمگنی زیادتری می‌باشند، یعنی تعداد لایه‌های درگیر در آن بیشتر است، شکل سطح لغزش به حالت مقعر است و نوع لغزش دورانی می‌باشد ولی هرچه ناهمگنی کمتر باشد، نوع لغزش صفحه‌ای خواهد بود. به عبارتی، هرچه لغزش کوچک‌تر باشد شکل لغزش دورانی و هرچه لغزش بزرگ‌تر باشد لغزش صفحه‌ای اتفاق می‌افتد. با توجه به جدول (8) بیشترین ضرایب اطمینان در حالت استاتیکی با روش جانبو اصلاح شده و در حالت دینامیکی با روش اسپنسر محاسبه گردیده است.

روی سنگ بستر شیب‌دار، (5) مناطق دارای زمین لغزه‌های قدیمی، (6) مناطق خردشده تکتونیکی و (7) مناطقی که از نظر ژئومورفولوژیکی جوان هستند از نواحی دارای استعداد ناپایداری هستند (معاونت آبخیزداری وزارت جهاد سازندگی، 1378). براساس پژوهش انجام شده موارد (2)، (3)، (7) در ارتباط با زمین لغزش‌های روی داده در منطقه مورد مطالعه صادق می‌باشد.

با توجه به آنالیزهای صورت گرفته، وجود نیروی دینامیکی فاکتور ضریب اطمینان دامنه را به شدت کاهش می‌دهد که نشانگر تاثیر زیاد نیروهای لرزه‌ای بر ناپایداری دامنه است. در چنین شرایطی وجود سطوح ناپیوسته قادر است در صورت اعمال نیروهای دینامیکی به وقوع لغزش کمک کند. همانطور که در جدول (7) مشاهده می‌شود، در تمام روش‌ها با اعمال بار دینامیکی با شتاب افقی (0.3g)، ضریب اطمینان

جدول 8. مقایسه حداکثر و حداقل ضرایب اطمینان (FS) محاسبه شده به روش‌های مختلف

| فلنوس | بیشاب ساده | جانبو ساده | جانبو اصلاح شده | اسپنسر |
|-----------|------------|------------|-----------------|-----------|
| SF | SF | SF | SF | SF |
| (استاتیک) | (دینامیک) | (استاتیک) | (دینامیک) | (استاتیک) |
| 1/03 | 0/65 | 1/05 | 0/68 | 1/04 |
| 2/01 | 1/29 | 2/07 | 1/34 | 1/99 |
| 0/7 | 1/06 | 0/67 | 1/1 | 0/64 |
| 1/58 | 2/06 | 1/31 | 2/12 | 1/23 |

9. نتیجه‌گیری

1- عوامل زمین‌شناسی و طبیعی موثر بر ناپایداری شیب‌ها در منطقه مورد مطالعه، بارندگی، وجود کانی‌های رسی، توپوگرافی، وجود گسل‌های متعدد، پنجه‌شویی دامنه و فرسایش‌پذیری بالا می‌باشند.

2- با توجه به شرایط توپوگرافی، وضعیت لیتولوژیکی و ساختاری، ناحیه در حال خزش است که در فصول پربارش با توجه به ورود آب به درون ترک‌های کششی، میزان حرکت افزایش می‌یابد. جهت عمومی خزش به سمت شمال شرق ناحیه می‌باشد.

لازم به یادآوری است که نرم افزار به تنهایی نمی‌تواند پایداری یا ناپایداری شیب‌ها را به طور قطع روشن سازد زیرا عوامل دخیل در یک لغزش مانند شرایط آب و هوایی و پنجه‌شویی در نرم‌افزار مورد استفاده وارد نمی‌گردد. بنابراین ضریب اطمینان بیش از یک به طور یقین نمی‌تواند نشانگر پایداری دائم شیب باشد، همانطور که در منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌گردد که دامنه با ضریب اطمینان بیش از یک نیز دچار گسیختگی گردیده‌اند.

- صفحه‌ای می‌باشد، که می‌تواند به دلیل رفتارهای مقاومتی متفاوت مصالح باشد.
- 6- بر اساس آنالیزهای صورت گرفته بیشترین ضریب اطمینان در حالت استاتیکی با روش جانبو اصلاح شده و در حالت دینامیکی با روش اسپنسر محاسبه گردیده است.
- 7- نرم‌افزار Slide به تنهایی نمی‌تواند شرایط پایداری یا ناپایداری شیب‌ها را به طور قطع نشان دهد زیرا سایر عوامل دخیل در یک لغزش مانند شرایط آب و هوایی و پنجه‌شویی در نرم‌افزار وارد نمی‌شود.
- 8- تغییر هندسه شیب‌های ناپایدار (پله‌ای نمودن شیب و کاهش ارتفاع آن) و ساماندهی حاشیه رودخانه یوخاری‌چای (شوری‌چای) برای حفظ زمین‌های زارعی منطقه پیشنهاد می‌گردد.
- 3- وقوع پدیده Piping در خاک لایه سوم (SP-SM) روی ایجاد زمین لغزش‌های حاشیه رودخانه یوخاری‌چای (شوری‌چای) موثر است.
- 4- شیب‌های مورد بررسی ناهمگن هستند. ضریب اطمینان تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها، به جز ایستگاه‌های 5، 9 و 10، در حالت دینامیکی کمتر از یک می‌باشد. ایستگاه اول و چهارم که دارای ناهمگنی بیشتری است، کمترین ضریب اطمینان را در حالت استاتیکی نشان می‌دهند. وجود لغزش‌های متعدد، ناپایداری را تأیید می‌کند.
- 5- در لغزش‌هایی که دارای ناهمگنی زیادتری می‌باشند، یعنی تعداد لایه‌های درگیر در آن بیشتر است، شکل سطح لغزش به حالت مقعر است و نوع لغزش دورانی می‌باشد ولی در شیب‌های دارای ناهمگنی کمتر، نوع لغزش‌ها

منابع

- اقليمی، ب، 1379. نقشه زمین‌شناسی 1/100000 ورقه همدان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بهبادتبار، پ، قبادی، م.ح، خدابخش، س، 1391. بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های انتقال یافته منطقه زمان آباد (جنوب شرق همدان). شانزدهمین همایش زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شیراز.
- بهبادتبار، پ، قبادی، م.ح، خدابخش، س، 1391. بررسی واگرایی خاک‌های باقی‌مانده منطقه زمان آباد (جنوب شرق همدان). شانزدهمین همایش زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شیراز.
- بهبادتبار، پ، قبادی، م.ح، ایزدی کیان، ل، 1391. بررسی مقدماتی لرزه خیزی جنوب شرق همدان، شانزدهمین همایش زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شیراز.
- درویش زاده، ع، 1383. زمین‌شناسی ایران، موسسه انتشارات امیر کبیر، رمزی، ح.ر، 1377. قوانین میرایی زمین لرزه‌های ایران، سومین کنفرانس بین‌المللی لرزه‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
- سپاهی گرو، ع.ا، 1378. پترولوژی مجموعه پلوتونیک الوند با نگرش ویژه بر گرانیتوئیدها، رساله دکتری پترولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- سایت اداره هواشناسی استان همدان (1391). www.hamedanmet.ir.
- سبزی پرور، ع.ا، 1381. مطالعات جامع خشک‌سالی استان همدان، شرکت آب منطقه‌ای همدان.
- قبادی، م.ح، 1381. رابطه بین لیتولوژی و دوام در ارزیابی ناپایداری شیب‌های سنگی، مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز شماره 8، صفحات 1-16.
- قبادی، م.ح، قبادی، آ، قبادی، ص، 1391. خطرات زمین‌شناسی (راهنمای صحرایی برای مهندسان ژئوتکنیک)، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، 584 صفحه.
- معاونت آبخیزداری وزارت جهادسازندگی (گروه بررسی زمین‌لغزش‌ها)، برنامه‌های آموزشی جهت پیشگیری از فعالیت‌های موثر در ایجاد زمین‌لغزش، 1378. بنیاد مسکن انقلاب اسلامی.
- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، آئین کار طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، آیین‌نامه 2800، تجدیدنظر سوم.

نقشه 1/100000 زمین شناسی همدان، سازمان زمین شناسی و اکتشافاتی کشور.

- Ambrasyes, N.N., Melville, C.P., 1982. A history of Persian earthquakes. Cambridge earth science series, pp. 219.
- American society for Testing and material, ASTM 2000: Annual Book of ASTM standards, Philadelphia, Vol.4: 08.
- Campbell, K.W., 1981. Near source attention of Peak Horizontal Acceleration, Bulletin: Seismologicalsociety of American, 671(6):2039-2070.
- Di Maio ,C., Vassallo ,R., 2011. Geotechnical characterization of a landslide in a Blue Clay slope: Landslides Journal, 8:17-32.
- Donovan , N.C ,1973. San Fernando earthquake. Proceeding of 5th world conference earthquake engineering, Vol. 2, pp. 1252-1261.
- Esteva, L., 1970. Seismic risk and seismic design, In : Hansen, .R. J. (Ed.), Seismic Design for Nuclear Power Plants, Cambridge, MA: M.I.T. Press, pp.142-182.
- Farouk Mansour , M., Norbert R., Morgenstern , C., Derek, M., 2011. Expected damage from displacement of slow-moving slides, Landslides, 8:117-131.
- Ghobadi, M.H., 1994. Geology and slope stability in northern Illawarra, NSW,Australia. 7th International IAEG Congress.,pp 1307-1314.
- Ghobadi, M.H., 2000. Petrology,weathering and long – term stability slopes. 8th International IAEG Congress.,pp 4167-4171.
- Ghobadi, M.H., Fereidooni ,D., 2012. Seismic hazard assessment of the city of Hamedan and its vicinity, west of Iran. Natural hazard journal, 63: 1025-1038.
- Grøneng, G., Christiansen, H. H., Nilsen, B., Harald Blikra, L., 2011. Meteorological effects on seasonal displacements of the Åknes rockslide, western Norway, Landslides,8:1-15.
- Jaiswal, P., van Westen, C.J., 2013. Use of quantitative landslide hazard and risk information for local disaster risk reduction along a transportation corridor: a case study from Nilgiri district, India, Nat Hazards, 65:887-913.
- Jiang, H., Wang, B., Inyang, H. I., Liu, J., Gu, K., Shi, B., 2013. Role of expansive soil and topography on slope failure and its countermeasures, Yun County, China. Engineering Geology, 152 :155-161.
- Kim, T.H., Cruden, D.M., Martin, C.D., Froese, C.R., 2010. The 2007 Fox Creek landslide, Peace River Lowland, Alberta, Canada, Landslides, 7:89-98.
- Mohajer Ashjai, A., Nowroozi, a.a., 1978. Observed and probable intensity zoning of Iran. Tectonophysics, 49:249-260.
- Nguyen, H.T., Wiatr, T., Ferná ndez-Steegeer, T.M., Reicherter, K., D.M.M., Rodrigues, Azzam, R., 2013. Landslide hazard and cascading effects following the extreme rainfall event on Madeira Island(February 2010), Natural Hazards, 65:635-652.
- Nowroozi, N.N. ,1985. Empirical relations between magnitude and fault parameters for earthquakes in Iran. Bulletin of the Seismological Society of America, 75:1327-1338.
- Yin, Y., Wang, F., Sun, P., 2009. Landslide hazards triggered by the 2008 Wenchuan earthquake Sichuan, China, Landslides, 6:139-15.
- Wang, B., Paudel, B., Li, H., 2009. Retrogression characteristics of landslides in fine-grained permafrost soils, Mackenzie Valley, Canada, Landslides, 6:121-127.
- Xu, Q., Zhang, L., 2010, The mechanism of a railway landslide caused by rainfall, Landslides , 7:149-156.
- Zhang, D., Wang, G., Luo, C., Chen, J., Zhou, Y., 2009, A rapid loess flowslide triggered by irrigation in China, Landslides, 6:55-60.