

الله الرحمن الرحيم



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی

بررسی مکانیسم رخداد زمین لغزش در روستای تلوبین، شمال میامی

نگارنده: طاهره دانیال نژاد

استاد راهنما

دکتر علی اکبر مومنی

تیرماه ۱۴۰۰



مدیریت تحصیلات تکمیلی

باسمه تعالی
فرماند ارشدین پان نامه کارشناسی ارشد
مربوط به دوره‌های ۱۳ به بعد

شماره: ۱۱۲/۹۴
تاریخ: ۲۲/۳/۱۳۹۴
ویرایش

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم: طاهره دانیال نژاد با شماره دانشجویی ۹۶۰۶۴۶۴ رشته زمین شناسی گرایش زیست محیطی تحت عنوان بررسی مکانیسم و خداداد زمین لغزش در روستای تلوبین، شمال میانی کد تر تاریخ ۱۳۹۴/۰۳/۱۴ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار شد به شرح ذیل اعلام می گردد.

| الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۶ <input type="checkbox"/> | | | |
|---|---------------------|------------|-------|
| ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹-۱۸ <input checked="" type="checkbox"/> | | | |
| ج) درجه خوب: نمره ۱۷/۹۹-۱۶ <input type="checkbox"/> | | | |
| د) درجه متوسط: نمره ۱۵/۹۹-۱۴ <input type="checkbox"/> | | | |
| ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد <input type="checkbox"/> | | | |
| نوع تحقیق: نظری <input type="checkbox"/> عملی <input checked="" type="checkbox"/> | | | |
| عضو هیأت داوران | نام و نام خانوادگی | مرتبه علمی | امضاء |
| ۱- استاد راهنمای اول | دکتر علی اکبر موسوی | استادیار | |
| ۲- استاد راهنمای دوم | - | - | - |
| ۳- استاد مشاور | - | - | - |
| ۴- استاد داور اول | دکتر رضایی اومالی | دانشیار | |
| ۵- استاد داور دوم | دکتر داوود فریدونی | دانشیار | |
| ۶- نماینده تحصیلات تکمیلی | دکتر مهدی جعفرزاده | استادیار | |

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر رضایی اومالی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

۱۳۹۴/۳/۲۱



این مجموعه را تقدیم می‌کنم به:

به مادر عزیزم که در سختی باورشواری های زندگی، همواره یاری دلسوز و فداکار و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده است.

خواهران عزیزتر از جانم، قلبم لبریز از عشق شماست و خوشبختی تان منتهای آرزویم.

و همسر مهربانم که در سایه همیاری و همدلی او به این منظور نائل شدم.

اگر همیاری و دلگرمی ایشان که بودندشان، دانه های مروارید در صدف جان من است، نبود این پروژه میسر نمی شد.

پاسکزاری و قدردانی

* تختین پاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دیهای بیکران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه ناب آموزگارانی بزرگ به تماشا نشیند؛ اما در این راه؛ چه بس بزرگوارانی که حقیر را لایق ارشاد و محبت خویش دانستند. لذا اکنون در سایه ننده نوازی هایش پایان نامه حاضر به انجام رسیده است، لذا بر خود لازم می‌دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی بجا آورم که اگر دست یاریکشان نبود، هرگز این پایان نامه به انجام نمی‌رسید. لازم دانستم که حداقل به ذکر نامی از آن فرزاهگان مراتب لطف و مرحمشان را ارج بگذارم.

* از استاد راهنمای محترم و دلسوز، آقای دکتر علی اکبر مومنی، نهایت تشکر و قدردانی را دارم، ایشان که با توجه و صبر بسیار، راهنما و مشوق اینجانب، در تکمیل این پایان نامه بودند و این حقیر در این راه از دانش و راهنمایی‌های ایشان بهره بسیار برده‌ام.

* از آقای دکتر باقری به خاطر در اختیار گذاشتن آزمایشگاه آبشاسی و زیست محیطی و از آقای دکتر کرامتی و مهندس محمدی برای بکاری در انجام برخی از آزمایش‌ها در آزمایشگاه مهندسی خاک دانشکده عمران، نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

* اما صادقانه‌ترین قدردانی خود را نشانماد، خواهر و همسر کرامی ام می‌کنم که سنگینی صیانه‌آنان در لحظه لحظه انجام این پژوهش همراه من بوده است.

* در پایان، از خداوند منان آرزوی توفیق روز افزون، برای ایشان و سلامتی را سئلت می‌نمایم.

تعهد نامه

اینجانب طاهره دانیال نژاد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی زیست محیطی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با موضوع بررسی مکانیسم رخداد زمین لغزش در روستای تلوبین، شمال میامی تحت راهنمایی علی اکبر مومنی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

لغزش گونه‌ای از حرکات توده‌ای می‌باشد که تحت تاثیر عوامل مختلفی در دامنه‌های شیب‌دار به وقوع می‌پیوندد و هر ساله خسارات جانی و مالی جبران ناپذیری را به سازه‌ها و نواحی مسکونی، جاده‌ها و بزرگراه‌ها، خطوط انتقال نیرو، آب و گاز، جنگل‌ها و پوشش گیاهی وارد می‌کند. در این پژوهش رخداد زمین‌لغزش در روستای تلوبین طی چهار مرحله شامل مطالعات کتابخانه‌ای، کاوش‌های صحرایی، مطالعات آزمایشگاهی و ارزیابی مکانیسم لغزش توسط نرم‌افزار Slide6.20 بررسی گردید. به منظور ارزیابی رفتار فیزیکی و مکانیکی مصالح مستعد لغزش، آزمون‌های آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده انجام گردید. آزمایش‌های برش مستقیم (تعداد ۲۷ نمونه) و مقاومت تراکمی تک محوری (تعداد ۱۲ نمونه) بر روی نمونه‌های دست‌نخورده در درصد رطوبت‌های مختلف انجام گردید. آزمایش‌های شناسایی اجزا و ترکیب خاک شامل دانه‌بندی، حدوداتربرگ، کلسیمتری، XRD و SEM بر روی نمونه‌های دست‌خورده انجام گرفت. در نهایت بر مبنای پارامترهای مقاومت برشی شامل زاویه اصطکاک داخلی (ϕ)، چسبندگی (C) و مشخصات هندسی تعیین شده، پایداری پروفیل‌های مورد مطالعه در نرم‌افزار اسلاید به دوروش دینامیک و استاتیک انجام گرفت. نتایج نشان می‌دهد که سنگ بستر ماری و خاک‌های ناشی از هوازدگی آن حساسیت بالایی به رطوبت داشته و پارامترهای مقاومت برشی (C و ϕ) کاهش قابل ملاحظه‌ای با افزایش درصد رطوبت نشان می‌دهند. نتایج مدل نرم افزاری، حاکی از آن است که پروفیل‌های B و C در شرایط رطوبتی اشباع در حالت استاتیک و در شرایط رطوبتی اشباع و نیمه اشباع در حالت دینامیک ناپایدار می‌باشند. با توجه به اینکه رخداد لغزش در روستای تلوبین ناشی از حساسیت بالای مصالح ماری به جذب آب می‌باشد، لذا راهکارهای علاج بخشی که منجر به کاهش نفوذ آب و جلوگیری از اشباع شدگی دامنه می‌گردد، پیشنهاد گردیده است.

کلمات کلیدی: لغزش، پارامترها مقاومت برشی، زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی، نرم افزار اسلاید

فهرست مطالب

| | |
|----|--|
| ۱ | فصل اول: کلیات |
| ۲ | ۱-۱ بیان مسئله |
| ۳ | ۲-۱ ضرورت انجام تحقیق |
| ۴ | ۳-۱ اهداف |
| ۴ | ۴-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه |
| ۶ | ۵-۱ وضعیت اقلیمی منطقه مورد مطالعه |
| ۹ | ۶-۱ پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه |
| ۱۱ | ۷-۱ زمین شناسی منطقه مورد مطالعه |
| ۱۴ | ۸-۱ تکتونیک منطقه مورد مطالعه |
| ۱۶ | ۹-۱ ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه |
| ۱۸ | ۱۰-۱ چینه شناسی منطقه مورد مطالعه |
| ۱۸ | ۱-۱۰-۱ واحد سنگی لغزیده (Em_2) |
| ۱۹ | ۱-۱۱ ساختار پژوهش |
| ۲۱ | فصل دوم: تئوری تحقیق و مروری بر مطالعات پیشین |
| ۲۲ | ۱-۲ مقدمه |
| ۲۲ | ۲-۲ تعریف زمین لغزش |
| ۲۳ | ۳-۲ مشخصات و ابعاد زمین لغزش |
| ۲۶ | ۴-۲ عوامل موثر بر زمین لغزش |
| ۲۶ | ۱-۴-۲ مشخصات مورفولوژیکی (ارتفاع و شکل دامنه، زاویه و جهت شیب) |
| ۲۶ | ۱-۱-۴-۲ ارتفاع دامنه |
| ۲۷ | ۲-۱-۴-۲ شکل دامنه |
| ۲۷ | ۳-۱-۴-۲ میزان زاویه شیب |
| ۲۸ | ۴-۱-۴-۲ جهت شیب |
| ۲۸ | ۲-۴-۲ عوامل زمین شناسی |
| ۲۸ | ۱-۲-۴-۲ لیتولوژی و جنس دامنه |
| ۲۹ | ۲-۲-۴-۲ فعالیت‌های تکتونیکی |
| ۲۹ | ۳-۴-۲ عوامل اقلیمی و هیدرولوژی |
| ۲۹ | ۱-۳-۴-۲ میزان و سرعت بارش، آب‌های زیرزمینی و سطحی |
| ۳۱ | ۲-۳-۴-۲ پوشش گیاهی |
| ۳۱ | ۴-۴-۲ عوامل ژئومورفولوژیکی |
| ۳۱ | ۱-۴-۴-۲ هوازدگی و فرسایش |

| | |
|----|--|
| ۳۲ | ۵-۴-۲ فعالیت انسانی |
| ۳۲ | ۵-۲ بررسی اجمالی وضعیت لغزشی روستای تلوبین |
| ۳۳ | ۶-۲ تعریف و طبقه بندی خاک‌های مارنی |
| ۳۵ | ۷-۲ خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مارن‌ها |
| ۳۷ | ۱-۷-۲ سیمانی شدن |
| ۳۸ | ۲-۷-۲ کربنات کلسیم |
| ۳۸ | ۳-۷-۲ نوع و میزان کانی‌های رسی |
| ۳۹ | ۴-۷-۲ هوازدگی |
| ۴۰ | ۵-۷-۲ ناخالصی‌های موجود |
| ۴۰ | ۸-۲ تعریف و ساختار شیمیایی کانی‌های رسی |
| ۴۱ | ۹-۲ طبقه بندی زمین لغزش |
| ۴۳ | ۱-۹-۲ لغزش‌ها (Slides) |
| ۴۳ | ۱-۱-۹-۲ لغزش چرخشی |
| ۴۵ | ۱۰-۲ مطالعات پیشین |
| ۴۶ | ۱-۱۰-۲ زمین لغزش‌های رخ داده در مارن‌ها در مقیاس جهانی |
| ۴۸ | ۲-۱۰-۲ زمین لغزش‌های رخ داده در مارن‌ها در مقیاس کشوری (ایران) |
| ۵۱ | فصل سوم: مواد و روش‌ها |
| ۵۲ | ۱-۳ مقدمه |
| ۵۲ | ۲-۳ مطالعات کتابخانه‌ای |
| ۵۳ | ۱-۲-۳ تحلیل وضعیت توپوگرافی |
| ۵۳ | ۲-۲-۳ تحلیل وضعیت شیب و جهت شیب |
| ۵۳ | ۳-۲-۳ تحلیل اطلاعات اقلیمی و هیدرولوژی |
| ۵۴ | ۳-۳ مطالعات صحرایی |
| ۵۴ | ۱-۳-۳ اندازه‌گیری مشخصات هندسی محل لغزش |
| ۵۴ | ۲-۳-۳ نمونه برداری از محل زمین لغزش |
| ۵۶ | ۴-۳ مطالعات آزمایشگاهی |
| ۵۷ | ۱-۴-۳ تعیین مشخصات فیزیکی خاک |
| ۵۷ | ۱-۱-۴-۳ وزن مخصوص خاک |
| ۵۷ | ۲-۱-۴-۳ درصد رطوبت |
| ۵۸ | ۳-۱-۴-۳ دانه بندی مکانیکی خاک |
| ۵۹ | ۴-۱-۴-۳ حدود اتربرگ |
| ۶۱ | ۲-۴-۳ شناسایی اجزای خاک |

| | |
|-----|--|
| ۶۱ | ۱-۲-۴-۳ آنالیز طیف سنجی پراش پرتو ایکس (XRD) |
| ۶۲ | ۲-۲-۴-۳ آنالیز میکروسکوپ الکترونی (SEM) |
| ۶۲ | ۳-۲-۴-۳ آزمایش کلسیمتری |
| ۶۴ | ۶-۳ تعیین مشخصات مکانیکی خاک |
| ۶۴ | ۱-۶-۳ آزمایش برش مستقیم |
| ۶۵ | ۲-۶-۳ آزمایش مقاومت تراکمی تک محوری |
| ۶۶ | ۷-۳ ارزیابی و تحلیل پایداری شیروانی‌های خاکی |
| ۶۶ | ۱-۷-۳ نرم افزار slide6.20 |
| ۶۷ | فصل چهارم: نتایج و بحث |
| ۶۸ | ۱-۴ مقدمه |
| ۶۸ | ۲-۴ نتایج تحلیل اطلاعات اقلیمی و هیدرولوژی |
| ۶۸ | ۳-۴ نتایج تحلیل وضعیت توپوگرافی |
| ۷۰ | ۴-۴ نتایج تحلیل وضعیت شیب و جهت شیب |
| ۷۲ | ۵-۴ بررسی نتایج آزمایشگاهی |
| ۷۲ | ۱-۵-۴ نتایج آزمایشات خصوصیات فیزیکی خاک |
| ۷۲ | ۱-۱-۵-۴ نتایج آزمایش تعیین وزن مخصوص خاک (Gs) |
| ۷۲ | ۲-۱-۵-۴ نتایج آزمایش دانه بندی و هیدرومتری |
| ۷۳ | ۳-۱-۵-۴ نتایج آزمایش تعیین حدود اتربرگ |
| ۷۴ | ۴-۱-۵-۴ رده بندی مهندسی خاک‌های مورد مطالعه |
| ۷۵ | ۲-۵-۴ شناسایی ترکیب شیمیایی و اجزای خاک |
| ۷۵ | ۱-۲-۵-۴ نتایج آنالیز طیف سنجی پراش پرتو ایکس (XRD) |
| ۷۸ | ۲-۲-۵-۴ نتایج آنالیز میکروسکوپ الکترونی (SEM) |
| ۷۹ | ۳-۲-۵-۴ نتایج آزمایش کلسیمتری |
| ۸۰ | ۳-۵-۴ نتایج آزمایشات خصوصیات مکانیکی خاک |
| ۸۰ | ۱-۳-۵-۴ نتایج آزمایش برش مستقیم |
| ۸۶ | ۲-۳-۵-۴ نتایج آزمایش مقاومت تراکمی تک محوری |
| ۹۰ | ۶-۴ تحلیل پایداری پروفیل‌های مورد مطالعه |
| ۹۲ | ۱-۶-۴ تحلیل پایداری پروفیل A |
| ۹۵ | ۲-۶-۴ تحلیل پایداری پروفیل B |
| ۹۸ | ۳-۶-۴ تحلیل پایداری پروفیل C |
| ۱۰۰ | ۸-۴ طبقه‌بندی لغزش‌های پیش بینی شده در روستای تلوبین |
| ۱۰۳ | فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها |

| | |
|----------------|-----|
| ۱-۵ نتیجه‌گیری | ۱۰۴ |
| ۲-۵ پیشنهادات | ۱۰۵ |
| منابع و مراجع | ۱۰۷ |

فهرست جداول

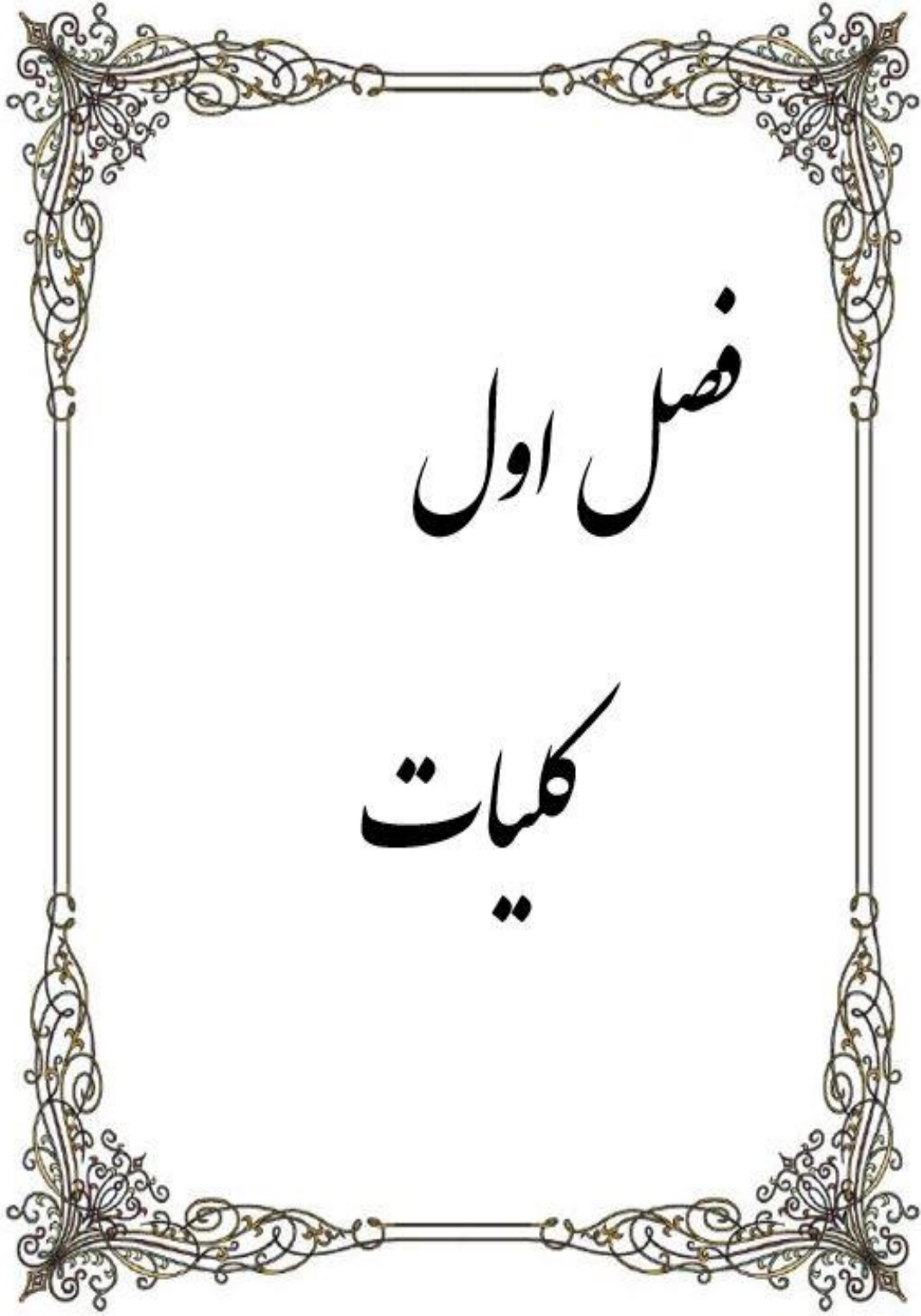
- جدول ۱-۱: فهرست گسل‌های فعال و با توان فعالیت در منطقه‌ی تلوبین ۱۵
- جدول ۱-۲: توصیف ابعاد زمین لغزش ۲۵
- جدول ۲-۲: توصیف اجزا و عناصر موجود در زمین لغزش ۲۵
- جدول ۳-۲: اثرات مثبت و منفی پوشش گیاهی بر پایداری شیب‌ها ۳۱
- جدول ۴-۲: عملکرد انواع فعالیت‌های انسانی در ایجاد ناپایدار ۳۲
- جدول ۵-۲: انواع گسیختگی‌های دامنه‌ای ۴۳
- جدول ۱-۳: موقعیت جغرافیایی نمونه‌های برداشت شده ۵۵
- جدول ۲-۳: آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های خاک روستای تلوبین ۵۷
- جدول ۱-۴: نتایج وزن مخصوص (Gs) نمونه‌های مورد مطالعه ۷۲
- جدول ۲-۴: درصد ذرات موجود در نمونه‌های خاک ۷۳
- جدول ۳-۴: نتایج حدود اتربرگ ۷۴
- جدول ۴-۴: رده بندی مهندسی نمونه‌های خاک براساس رده بندی یونیفاید ۷۴
- جدول ۵-۴: درصد کربنات کلسیم در نمونه‌های برداشت شده از روستای تلوبین ۷۹
- جدول ۶-۴: مقادیر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نمونه‌های معرف پروفیل‌های مورد مطالعه ۸۱
- جدول ۷-۴: نتایج آزمایش مقاومت تراکمی تک محوری ۸۷
- جدول ۸-۴: مقادیر ضریب اطمینان پروفیل‌های مورد مطالعه در روستای تلوبین ۹۱
- جدول ۹-۴: طبقه‌بندی لغزش‌های پیش بینی شده بر اساس نسبت D/L در روستای تلوبین ۱۰۱

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: ترک‌های ایجاد شده و تخریب منازل مسکونی روستای تلوبین ناشی از رخداد زمین‌لغزش ۳
- شکل ۱-۲: موقعیت جغرافیایی روستای تلوبین ۵
- شکل ۱-۳: راه‌های دسترسی به روستای تلوبین ۵
- شکل ۱-۴: موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه‌ی پهنه بندی اقلیمی شهرستان میامی ۸
- شکل ۱-۵: موقعیت و میزان بارندگی روستای تلوبین بر روی نقشه همبارش استان سمنان ۸
- شکل ۱-۶: نمودار تغییرات بارندگی ماهانه در بازه‌ی سال‌های ۹۰-۹۷ ۹
- شکل ۱-۷: نمایی از پوشش گیاهی در روستای تلوبین ۱۰
- شکل ۱-۸: وضعیت پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه پوشش گیاهی شهرستان میامی ۱۰
- شکل ۱-۹: موقعیت منطقه مورد مطالعه در پهنه بندی ساختاری-رسوبی ایران ۱۲
- شکل ۱-۱۰: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه ۱۳
- شکل ۱-۱۱: دره گسلی ایجاد شده توسط گسل چشمه نیک در روستای تلوبین ۱۵
- شکل ۱-۱۲: تفسیر موقعیت دره گسلی ایجاد شده توسط گسل چشمه نیک در روستای تلوبین ۱۶
- شکل ۱-۱۳: موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه‌ی اراضی شهرستان میامی ۱۷
- شکل ۱-۱۴: موقعیت روستای تلوبین بر روی نقشه‌ی حوضه‌ی آبریز منطقه مورد مطالعه ۱۷
- شکل ۱-۲: اجزا و عناصر موجود در زمین لغزش ۲۴
- شکل ۲-۲: توصیف اجزا و ابعاد زمین لغزش ارائه شده توسط انجمن زمین شناسی مهندسی ۲۴
- شکل ۲-۳: موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه مخاطرات شهرستان میامی ۳۳
- شکل ۲-۴: محدوده‌ی رسوبات مارنی (پتی جان، ۱۹۷۵) ۳۴
- شکل ۲-۵: دیاگرام مثلثی طبقه بندی نهشته‌های کربناتی ناخالص (فوکس و هیگینبوتوم، ۱۹۷۵) ۳۵
- شکل ۲-۶: چگونگی تشکیل یافتن ورقه های سیلیکا و گیسیت در کانی رسی ۴۱
- شکل ۲-۷: ساختمان کانی‌های رسی از چپ به راست: کائولینیت، ایلیت، مونتمورلونیت ۴۱
- شکل ۲-۸: انواع لغزش چرخشی ۴۵
- شکل ۳-۱: موقعیت نقاط نمونه برداری بر روی تصویر گوگل ارث در روستای تلوبین ۵۶
- شکل ۳-۲: تهیه نمونه‌های دست نخورده توسط قالب مخصوص و مهر و موم آن‌ها ۵۶
- شکل ۳-۳: آزمایش تعیین وزن مخصوص خاک ۵۷
- شکل ۳-۴: مراحل دانه بندی مکانیکی خاک ۵۹
- شکل ۳-۵: مراحل آزمایش هیدرومتری ۵۹
- شکل ۳-۶: آزمایش تعیین حدود اتربرگ ۶۰
- شکل ۳-۷: تعیین درصد رطوبت نمونه‌ها در آزمایش حدود اتربرگ ۶۰
- شکل ۳-۸: تهیه‌ی محلول جهت حذف کربنات و خروج گاز دی اکسید کربن ۶۱
- شکل ۳-۹: تیتراسیون نمونه خاک توسط اسید کلریدریک و سود یک نرمال ۶۳

- شکل ۳-۱۰: اندازه‌گیری میزان کربنات کلسیم به روش وزنی ۶۴
- شکل ۳-۱۱: نمایی از دستگاه برش مستقیم در حین انجام آزمایش و برش نمونه ۶۵
- شکل ۳-۱۲: دستگاه مقاومت تراکمی تک محوری در حین بارگزاری و انجام آزمایش ۶۶
- شکل ۴-۱: نمودار مقایسه‌ی تغییرات ماهانه میانگین بارندگی سال‌های ۹۰-۹۷ و میزان بارندگی در سال ۹۷ ۶۹
- شکل ۴-۲: موقعیت توپوگرافی روستای تلوبین بر روی نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه ۶۹
- شکل ۴-۳: موقعیت روستای تلوبین بر روی نقشه شیب منطقه مورد مطالعه ۷۱
- شکل ۴-۴: موقعیت روستای تلوبین بر روی نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه ۷۱
- شکل ۴-۵: منحنی دانه‌بندی نمونه‌های معرف پروفیل‌های مورد مطالعه در روستای تلوبین ۷۳
- شکل ۴-۶: موقعیت قرارگیری خاک‌های ریزدانه در نمودار شاخص خمیری-حد روانی ۷۵
- شکل ۴-۷: گراف آنالیز پراش پرتو ایکس نمونه ۱ ۷۶
- شکل ۴-۸: گراف آنالیز پراش پرتو ایکس نمونه ۲ ۷۶
- شکل ۴-۹: گراف آنالیز پراش پرتو ایکس نمونه ۳ ۷۶
- شکل ۴-۱۰: گراف آنالیز پراش پرتو ایکس نمونه ۴ ۷۷
- شکل ۴-۱۱: گراف آنالیز پراش پرتو ایکس نمونه ۵ ۷۷
- شکل ۴-۱۲: گراف آنالیز پراش پرتو ایکس نمونه ۶ ۷۷
- شکل ۴-۱۳: تصاویر SEM مرتبط با کانی ایلیت به همراه EDX و درصد عناصر موجود در نمونه‌های مورد مطالعه ۷۸
- شکل ۴-۱۴: ارتباط میانگین درصد کربنات کلسیم با شاخص خمیری ۸۰
- شکل ۴-۱۵: نمونه ۳ بعد از برش و اتمام آزمایش به همراه نمایی از مقدار جابه‌جایی اعمال شده بر روی نمونه‌ها ۸۲
- شکل ۴-۱۶: تاثیر درصد رطوبت بر زوایه اصطکاک داخلی در پروفیل‌های مورد مطالعه ۸۲
- شکل ۴-۱۷: تاثیر درصد رطوبت بر میزان چسبندگی پروفیل‌های مورد مطالعه ۸۲
- شکل ۴-۱۸: منحنی تنش برشی - جابه‌جایی برشی و پوش نمونه ۱ در وضعیت‌های رطوبتی مختلف ۸۳
- شکل ۴-۱۹: منحنی تنش برشی - جابه‌جایی برشی و پوش نمونه ۲ در وضعیت‌های رطوبتی مختلف ۸۴
- شکل ۴-۲۰: منحنی تنش برشی - جابه‌جایی برشی و پوش نمونه ۳ در وضعیت‌های رطوبتی مختلف ۸۵
- شکل ۴-۲۱: شکل‌های مختلف گسیختگی بعد از بارگزاری و اتمام آزمایش در نمونه‌های ۱ ۸۶
- شکل ۴-۲۲: رابطه‌ی مقاومت تراکمی تک محوری و مدول یانگ ۸۸
- شکل ۴-۲۳: تغییرات میزان درصد رطوبت و تاثیر آن بر مقاومت تراکمی تک محوری ۸۸
- شکل ۴-۲۴: نمودار تنش-کرنش نمونه‌های ۱، ۲ و ۳ در رطوبت‌های مختلف ۸۹
- شکل ۴-۲۵: مقدار شتاب ثقل بر روی نقشه خطر زلزله ایران با دوره بازگشت ۴۷۵ سال (زارع، ۱۳۹۹) ۹۰
- شکل ۴-۲۶: تصویر زمین‌شناسی پروفیل‌های مورد مطالعه ۹۱

- شکل ۴-۲۷: تصاویری از خانه‌های تخریب شده و لغزیده در پروفیل A ۹۲
- شکل ۴-۲۸: نتایج تصویری نرم‌افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش بیشاب در پروفیل A در حالت استاتیک ۹۳
- شکل ۴-۲۹: نتایج تصویری نرم‌افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش اسپسندر در پروفیل A در حالت استاتیک ۹۳
- شکل ۴-۳۰: نتایج تصویری نرم‌افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش بیشاب در پروفیل A در حالت دینامیک ۹۴
- شکل ۴-۳۱: نتایج تصویری نرم‌افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش اسپسندر در پروفیل A در حالت دینامیک ۹۴
- شکل ۴-۳۲: آثار ترک‌های کششی مشاهده شده در پروفیل B ۹۵
- شکل ۴-۳۳: نتایج تصویری نرم‌افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش بیشاب در پروفیل B در حالت استاتیک ۹۶
- شکل ۴-۳۴: نتایج تصویری نرم‌افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش اسپسندر در پروفیل B در حالت استاتیک ۹۶
- شکل ۴-۳۵: نتایج تصویری نرم‌افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش بیشاب در پروفیل B در حالت دینامیک ۹۷
- شکل ۴-۳۶: نتایج تصویری نرم‌افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش اسپسندر در پروفیل B در حالت دینامیک ۹۷
- شکل ۴-۳۷: نتایج تصویری نرم‌افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش بیشاب در پروفیل C در حالت استاتیک ۹۸
- شکل ۴-۳۸: نتایج تصویری نرم‌افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش اسپسندر در پروفیل C در حالت استاتیک ۹۹
- شکل ۴-۳۹: نتایج تصویری نرم‌افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش بیشاب در پروفیل C در حالت دینامیک ۹۹
- شکل ۴-۴۰: نتایج تصویری نرم‌افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش اسپسندر در پروفیل C در حالت دینامیک ۱۰۰
- شکل ۴-۴۱: عمق و طول لغزش در پروفیل‌های مورد مطالعه ۱۰۱



فصل اول

کلمات

۱-۱ بیان مسئله

امروزه رشد سریع جمعیت و به دنبال آن توسعه‌ی پروژه‌های عمرانی به سمت مناطق مرتفع‌تر شهرها و روستاها باعث افزایش چشمگیر تعداد وقوع لغزش‌ها شده است، که از خسارات بارز آن می‌توان به تخریب سازه‌ها و نواحی مسکونی، تخریب جاده‌ها و بزرگراه‌ها، تخریب خطوط انتقال نیرو، آب و گاز، تخریب جنگل‌ها و پوشش گیاهی و سایر تلفات جانی و مالی اشاره کرد. کشور ایران به علت توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت‌های نئوتکتونیک، شرایط جغرافیایی و سازندهای متنوع زمین شناختی، شرایط مساعدی را برای وقوع لغزش‌ها به طور بالقوه دارا می‌باشد (پارسایی و علی‌محمدی، ۱۳۹۱). در واقع لغزش، حرکت رو به پایین توده خاکی یا سنگی است که در امتداد یک سطح لغزش، یک جدا شدگی و یا یک زون باریک که بیشترین تغییر شکل برشی را نشان دهد، اتفاق می‌افتد (شعاعی، ۱۳۹۵). لغزش‌ها با توجه به شکل سطح لغزش به سه گروه لغزش انتقالی، چرخشی و گسترش جانبی تقسیم‌بندی می‌شوند.

برآورد اقتصادی راهکارهای بهسازی و جبران خسارات ناشی از لغزش نیازمند شناخت فرآیندهای محرک و عوامل موثر در وقوع این پدیده می‌باشد. از جمله‌ی عوامل موثر در رخداد لغزش‌های خاکی می‌توان عوامل زمین شناختی (سازندها و رسوبات مستعد)، عوامل انسانی (شامل ساخت و ساز و بارگذاری بر روی شیب‌ها، جنگل زدائی و از بین بردن پوشش گیاهی، نشت آب از سیستم‌های مختلف)، عوامل فیزیکی (باران شدید، بارش‌های استثنائی)، زمین لغزش‌های قدیمی و بالا بودن شیب را نام برد که در نهایت همه‌ی عوامل منجر به کاهش مقاومت برشی خاک و یا افزایش تنش برشی و رخداد لغزش می‌شوند (شعاعی، ۱۳۹۵).

روستای تلوبین از مناطق پر باران استان سمنان می‌باشد و بارندگی‌های شدید در طول سال‌های اخیر سبب رخداد لغزش زمین و تخریب منازل شده است، به طوری که ۱۵۰ منزل در این روستا آسیب دیده و غیر قابل سکونت شده است. از سال ۹۰ با بارش‌های برف و باران برخی لغزش‌های جزئی و ترک

خوردن تعدادی از منازل مسکونی نیز آغاز شد، اما در برف و کولاک شدید روزهای پایانی سال ۹۷ شکاف خانه‌ها بیشتر و ۱۲ منزل با سازه اسکلتی نیز به طور کامل فروریخته است و برخی زیرساخت‌ها نیز آسیب دیده‌اند. همچنین روند حرکتی لغزش‌ها و ایجاد شکاف‌ها ادامه دارد (شکل ۱-۱). بارندگی‌های شدید و همچنین مستعد بودن خاک منطقه تلوبین، ساخت و سازهای بدون در نظر گرفتن اصول زمین شناسی مهندسی و سایر عوامل هر کدام به نوبه‌ی خود رخداد رانش زمین را در منطقه سبب گردیده است و لذا فرضیات محتمل در ارتباط با دلایل رخداد لغزش مذکور به شرح زیر می‌باشد.

۱- بالا بودن شیب بخش لغزیده، توسعه ساخت و ساز و بارگذاری ناشی از آن بر روی شیب

۲- بالا رفتن سطح ایستابی ناشی از بارندگی‌های زیاد و درگیر بودن سطح لغزشی با آب زیرزمینی

۳- وجود خاک حاوی درصد قابل توجهی از رس و سنگ مارن با پتانسیل بالای کاهش مقاومت در اثر

جذب رطوبت، در زیر بستر سازه‌ها



شکل ۱-۱: ترک‌های ایجاد شده و تخریب منازل مسکونی روستای تلوبین ناشی از رخداد زمین لغزش

۲-۱- ضرورت انجام تحقیق

رخداد لغزش در منطقه‌ی تلوبین خسارات زیادی از جمله تخریب منازل مسکونی و آسیب رساندن به خطوط انتقال نیرو و گاز، جاده‌ها، شبکه‌ی آبرسانی و کانال‌های آبیاری را سبب گردیده و تخلیه اجباری منازل را به مردم این منطقه تحمیل کرده است. لذا با توجه به عدم تخلیه‌ی کامل این روستا و فعال

بودن لغزش رخ داده در این منطقه شناخت مکانیسم، عوامل و فرآیندهای موثر در رخداد این لغزش‌ها به منظور ارائه مناسب‌ترین روش‌های بهسازی، در منطقه ضروری می‌باشد.

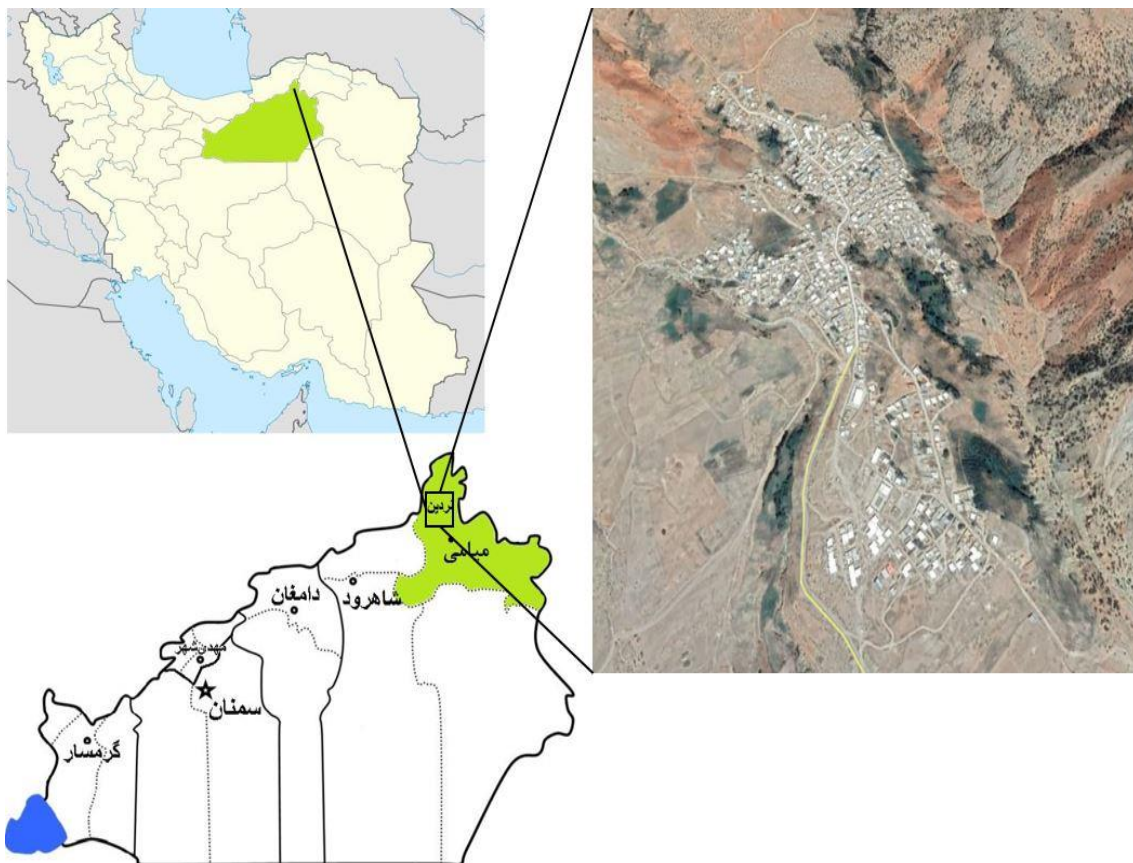
۳-۱ اهداف

- شناسایی مکانیسم غالب و عوامل اصلی تحریک کننده این لغزش با استفاده از مطالعات صحرایی، آزمایشگاهی و شبیه‌سازی
- ارائه‌ی مناسب‌ترین روش‌های بهسازی با توجه به مکانیسم رخداد و عوامل موثر

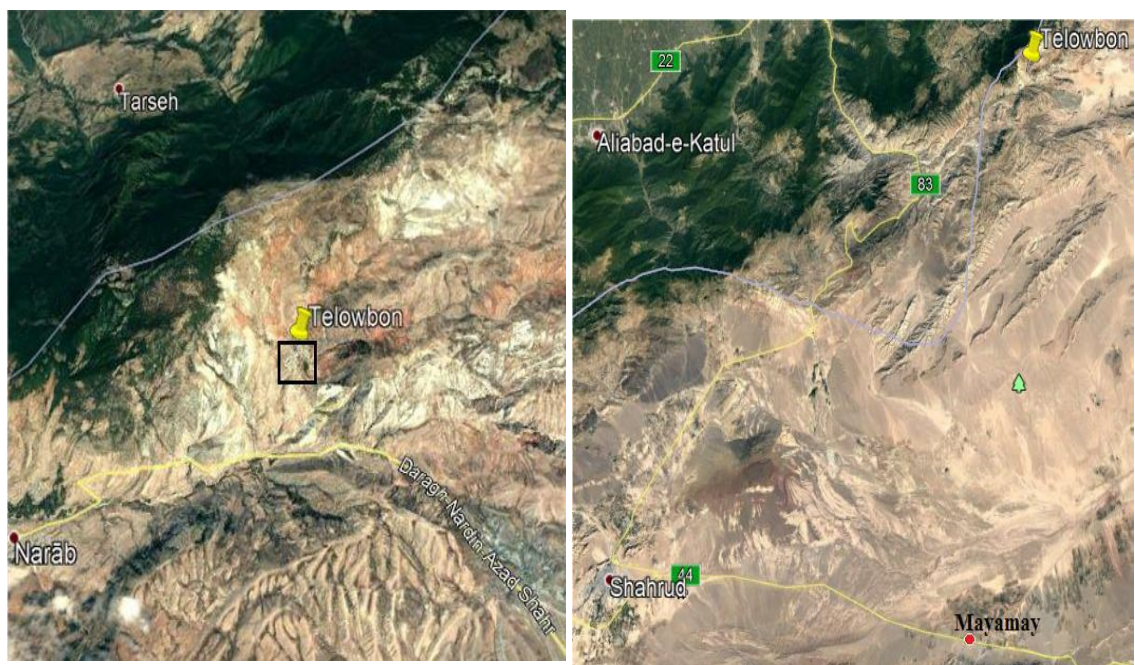
۴-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از روستاهای استان سمنان، شهرستان میامی و بخش کالپوش می‌باشد. این روستا که جزو دهستان نردین می‌باشد، در ارتفاع ۱۸۰۳ متری از سطح دریا قرار گرفته است (شکل ۱-۲). این روستا در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۴۲ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۷ درجه تا ۳۷ درجه و ۶ دقیقه شمالی و در فاصله ۱۲۰ کیلومتری میامی و ۷۵ کیلومتری گنبد کاووس قرار دارد. روستا از طرف شمال شرقی به روستای نام‌نیک و از طرف جنوب شرقی به روستای نردین و از طرف جنوب غربی به روستای گلستان و نراب منتهی می‌گردد و از شرق به جنگل و کوه‌های خواجه قنبر و بوقوتو می‌رسد. با توجه به قرار گرفتن این منطقه در بین سه استان سمنان، گلستان و خراسان شمالی، راه‌های مواصلاتی متعددی منطقه را به استان‌ها متصل می‌نماید که جاده‌های آسفالتی کالپوش-میامی-شاهرود، کالپوش-تیل آباد-آزادشهر-شاهرود، کالپوش-گالیکش و کالپوش-گرمه-جاجرم از مهمترین راه‌های دسترسی به منطقه می‌باشند، البته جاده‌های خاکی دیگری هستند که منطقه را به استان‌های مجاور متصل می‌نمایند و کمتر استفاده می‌شوند (حمیدی، ۱۳۹۷).

در شکل (۳-۱) راه‌های دسترسی به روستای تلوپین نشان داده شده است.



شکل ۱-۲: موقعیت جغرافیایی روستای تلوبین



شکل ۱-۳: راه‌های دسترسی به روستای تلوبین

۱-۵ وضعیت اقلیمی منطقه مورد مطالعه

عوامل مختلفی در اقلیم منطقه موثر می‌باشد، که این عوامل به دو گروه عمده عوامل محلی و بیرونی تقسیم می‌شوند. از عوامل محلی تاثیرگذار بر اقلیم منطقه‌ی مورد مطالعه می‌توان موقعیت جغرافیایی، وضعیت ناهمواری و پوشش طبیعی زمین را نام برد و جریانات مدیترانه‌ای و سیبری از عوامل بیرونی مؤثر بر اقلیم منطقه کالپوش می‌باشد. لذا جهت بررسی وضعیت اقلیمی در روستای تلوبین که محل مورد مطالعه می‌باشد از اطلاعات دو ایستگاه هواشناسی سوداغلن و نردین استفاده شده است.

روستای تلوبین در ارتفاعات منطقه‌ی کالپوش قرار گرفته است لذا جهت شناخت اقلیم حاکم بر روستای تلوبین ابتدا باید شرایط اقلیمی در منطقه کالپوش مورد بررسی قرار گیرد. این ناحیه متأثر از دو پهنه‌ی اقلیمی است زیرا این منطقه از سمت جنوب و شرق به مناطق خشک و گرم‌تر کویری استان سمنان و خراسان شمالی و از طرف غرب و شمال غربی به مناطق با پوشش گیاهی جنگلی حاشیه‌ی استان گلستان و سلسله جبال البرز با رطوبت و بارش بسیار زیادتر مربوط می‌شود (حمیدی، ۱۳۹۷). سه توده‌ی هوایی عمده که در حوضه‌ی منطقه‌ی کالپوش تأثیر به‌سزایی در وضعیت آب و هوایی منطقه دارد که به شرح زیر می‌باشند:

الف- توده هوایی وارد شده از شمال شرقی که به جریانات پرفشار سیبری نیز معروف‌اند و از اطراف دریاچه بالکان با تشکیل جبهه‌ی هوای سرد در اواخر دی ماه از شمال شرقی وارد ایران می‌شود و هوای سرد سیبری را که همراه با افت شدید دما می‌باشد، حکم فرما می‌کند. اگر این توده هوایی با توده هوای مدیترانه برخورد کند، سبب ریزش برف در منطقه‌ی کالپوش می‌شود.

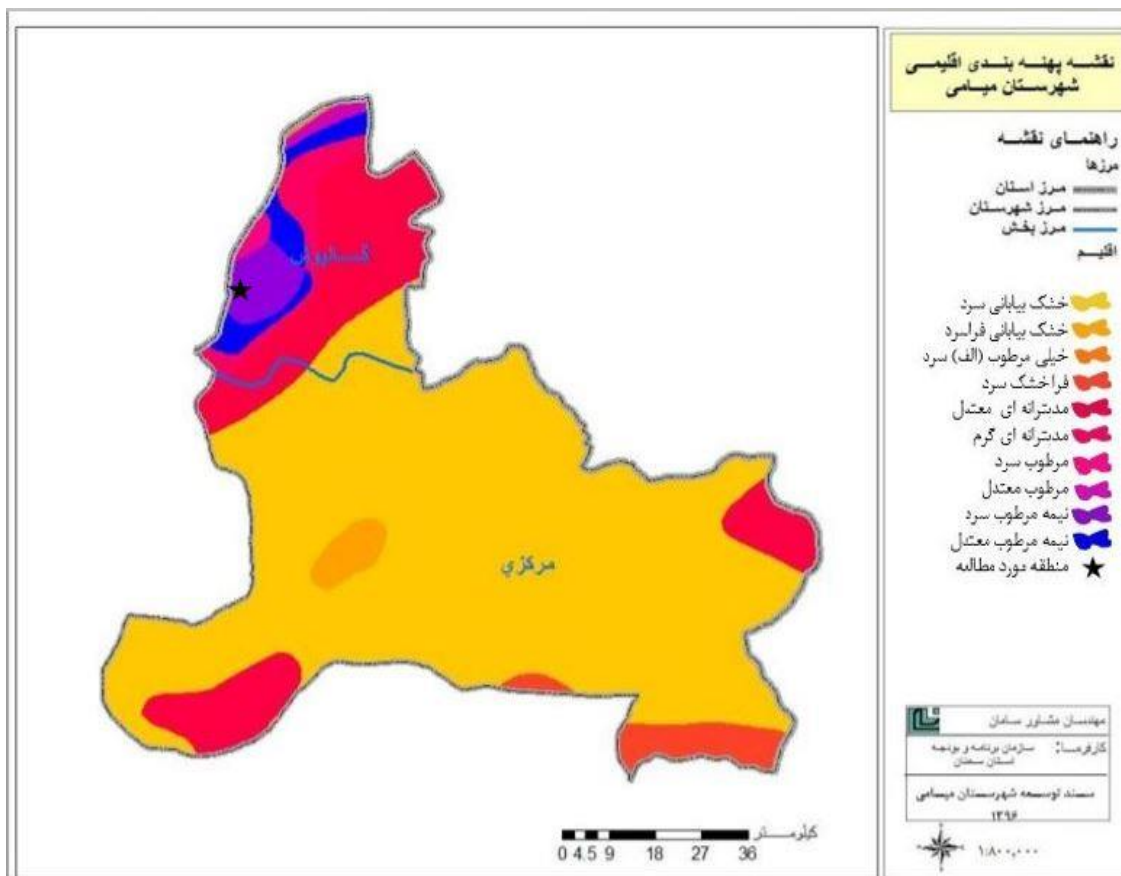
ب- توده هوایی وارد شده از سمت شمال غربی که در دوره‌های مختلف سال رطوبت دریای سیاه و در ادامه رطوبت دریاچه مازندران را از سمت شمال غربی و شمال به استان گلستان و منطقه کالپوش

منتقل می‌کند. این جریان با برخورد به ارتفاعات اشباع شده و باعث بارندگی بهاری و پاییزی در منطقه شده و در زمستان با برف‌های سنگین همراه است.

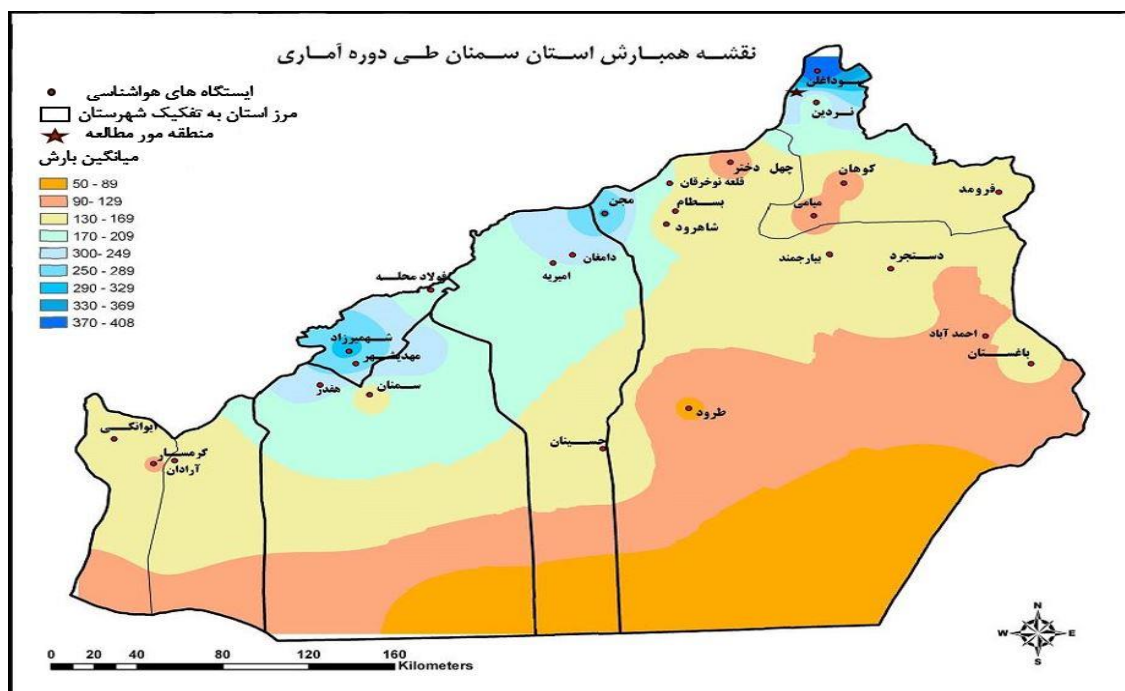
ج- توده هوای غربی اقیانوس اطلس و مدیترانه که این جریان مدیترانه‌ای از اواسط پاییز تا اواسط بهار رطوبت اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه را همراه خود وارد ایران می‌کند که باعث بارش‌هایی هم در منطقه کالپوش می‌شود. در زمستان این توده با برخورد با جریانات سرد سیبری و شمال غربی موجب ریزش‌های شدید برف به‌ویژه در نواحی کوهستانی و ارتفاعات منطقه می‌گردد. این جریان در تابستان تقریباً متوقف خواهد شد. (حاجی، ۱۳۹۱)

طبق مطالعات جامع انجام گرفته بر روی وضعیت اقلیمی مناطق مختلف در استان سمنان و شهرستان میامی، منطقه‌ی مورد مطالعه متأثر از اقلیم ارتفاعات می‌باشد و اقلیم مدیترانه‌ای حاکم بر این ناحیه آب و هوای نیمه مرطوب را که منجر به تابستان‌های معتدل و زمستان‌های سرد می‌شود را پدید آورده است. به همین سبب فصل خشک و تقریباً فاقد بارش منطبق بر تابستان و ماه‌های گرم سال، و فصل بارش منطبق بر زمستان و ایام سرد سال می‌باشد (شکل ۱-۴).

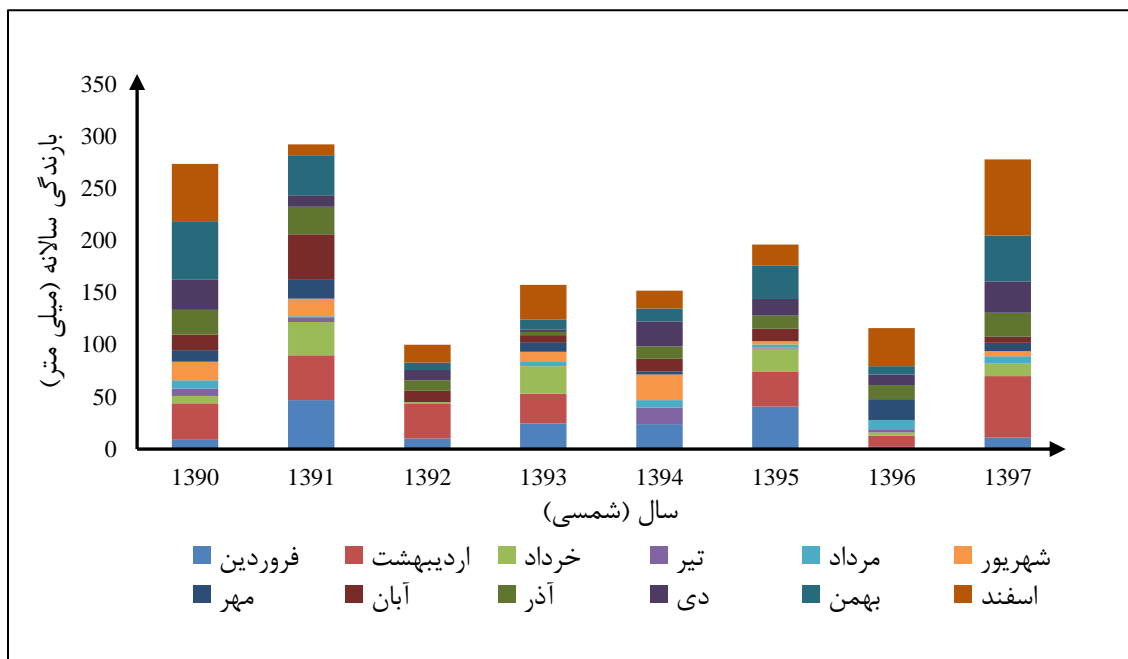
با توجه به داده‌های آماری ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه مورد مطالعه دمای هوا در حالت کمینه و بیشینه دمایی در روستای تلوبین به ترتیب $13/7$ - و 37 می‌باشد و متوسط بارندگی سالانه منطقه تلوبین با توجه به نقشه‌ی هم بارش استان سمنان بین 249 تا 300 میلی‌متر متغیر است (شکل ۱-۵). تعداد روزهای یخبندان در سال 97 در این ناحیه 107 روز بوده است و منطقه مورد مطالعه از لحاظ انرژی تابشی در مرتبه متوسط می‌باشد. شکل (۱-۶) نمودار تغییرات بارندگی ماهانه سال‌های 90 - 97 را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار میزان بارندگی در ماه‌های بهمن، اسفند، فروردین و اردیبهشت مقدار حداکثر می‌باشد. کمترین میزان بارندگی نیز در طی این سال‌ها در ماه تیر و مرداد توسط ایستگاه هواشناسی نردین ثبت گردیده است.



شکل ۱-۴: موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه پهنه بندی اقلیمی شهرستان میامی (مهندسان مشاور سامان، ۱۳۹۷)



شکل ۱-۵: موقعیت و میزان بارندگی روستای تلوبین بر روی نقشه همبارش استان سمنان (اقتباس شده از سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی، ۱۳۹۷)



شکل ۱-۶: نمودار تغییرات بارندگی ماهانه در بازه‌ی سال‌های ۹۰-۹۷ (ترسیم شده بر مبنای داده‌های ایستگاه هواشناسی نردین)

۱-۶ پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه

پوشش گیاهی در محدوده‌ی روستای تلوبین نشأت گرفته از موقعیت جغرافیایی و اقلیم خزری (میزان بارندگی بالا) می‌باشد. در شمال و شرق روستا جنگل‌ها و بیشه‌های نیمه انبوه با گونه‌های گیاهی پهن برگ که در ادامه به جنگل‌های هیرکانی در شمال کشور می‌پیوندند، مشاهده می‌شود. از جمله‌ی مهم ترین گونه‌های گیاهی پهن برگ قابل رویش در منطقه می‌توان بلوط، ممرز، افرا بیلاقی، ولیک، ازگیل وحشی و ... نام برد. کشاورزی در روستای تلوبین علی‌رغم وجود منابع آبی فراوان به علت عدم استحصال این منابع به روش دیم صورت می‌گیرد و مهم‌ترین محصول کشاورزی زیر کشت دیم در روستای تلوبین گندم و جو می‌باشد (شکل ۱-۷). با توجه به ارزیابی‌های انجام گرفته تنها ۱۳۱/۵۰ هکتار از خاک‌های منطقه دارای کیفیت خوب از نظر جذب عناصر غذایی و مناسب برای امور کشاورزی می‌باشند (فاریابی، ۱۳۹۶). محل قرارگیری مراتع نیمه متراکم تا متراکم، جنگل‌ها و اراضی کشت دیم در گستره‌ی روستای تلوبین در شکل (۱-۸) نمایش داده شده است.

۷-۱ زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

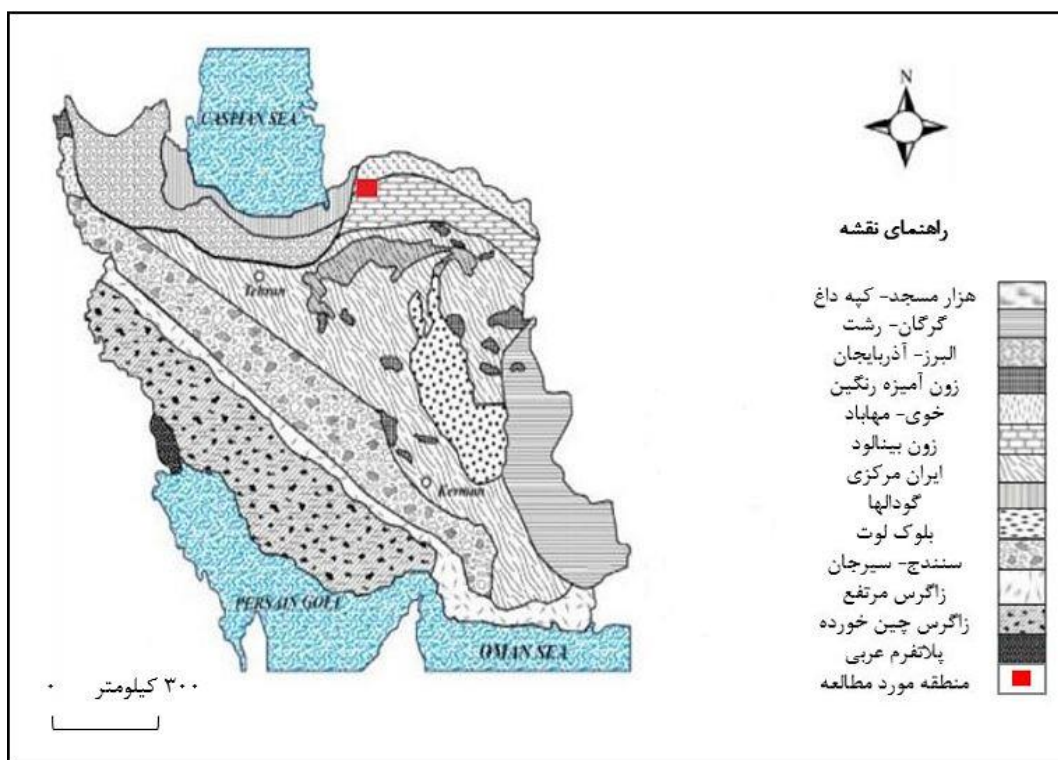
منطقه تلوبین از لحاظ تقسیمات حوضه‌های رسوبی-ساختمانی ایران، بخشی از حوضه‌ی رسوبی-ساختمانی کپه داغ است، لذا ویژگی‌های زمین‌شناسی مربوط به این حوضه را دارا می‌باشد (شکل ۱-۹). از لحاظ تکتونیکی منطقه‌ی مورد مطالعه یک منطقه‌ی تکتونیکی فعال است. از خصوصیات تکتونیکی بارز آن می‌توان به وجود گسل‌های متعدد، زون‌های گسله، زلزله خیزی و چین خوردگی‌های غرب و جنوب منطقه اشاره کرد. جوان‌ترین واحدهای رسوبی شامل تراس‌های آبرفتی کهن در جنوب منطقه، رسوبات منفصل بستر آبراهه‌ها و رودخانه‌ها و واریزه‌های بر جای مانده از ارتفاعات می‌باشد که گستره‌ی روستای تلوبین و تپه‌ماهورهای منطقه را می‌پوشانند. سازند باروت از قدیمی‌ترین نهشته‌ها در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

از خصوصیات واحدهای رسوبی کپه داغ در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌توان به توالی رسوبی ضخیمی از نهشته‌های ژوراسیک-میوسن شامل سازندهای چمن بید و مزدوران اشاره کرد. این رسوبات از نظر زمان تشکیل پس از بسته شدن پالئوتتیس و باز شدن اقیانوس نئوتتیس ایجاد شده است (درویش زاده، ۱۳۸۳). از نظر محیط تشکیل بیانگر وضعیت محیط‌های رسوبگذاری از نوع دریای باز با ژرفای متوسط تا زیاد می‌باشند. سنگ آهک دگرسان شده به همراه درون لایه‌های مارنی و سنگ آهک دولومیتی از جمله لایه‌های سنگی این تشکیلات می‌باشند. در بخش‌هایی از منطقه، بلافاصله بعد از نهشته‌های رسوبی سازند مزدوران با سن ژوراسیک، رسوبات فسیلی با سن ائوسن قرار گرفته‌اند که علت آن حضور گسل می‌باشد.

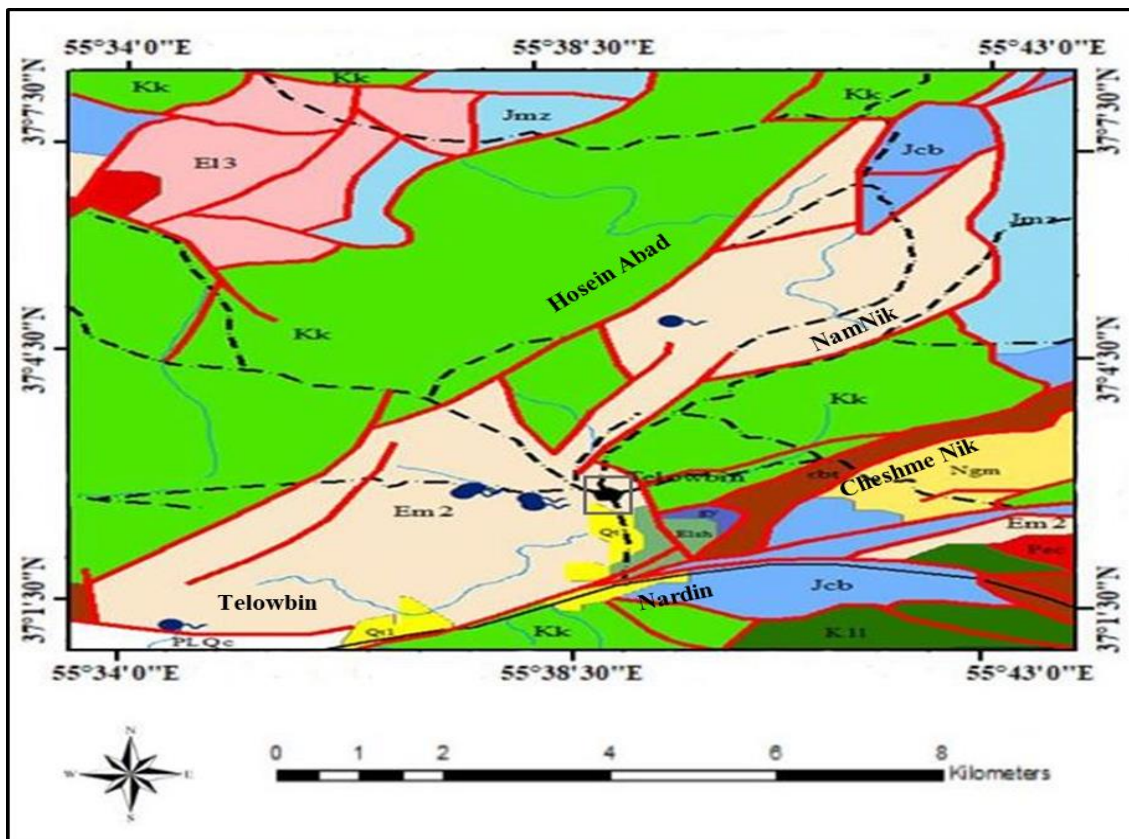
جنس و دانه‌بندی رسوبات پای دامنه در منطقه وابسته به فرآیندهای فرسایشی موثر بر روی واحدهای سنگی ارتفاعات می‌باشد. ارتفاعات منطقه غالباً از جنس سنگ‌های سخت و مقاوم مربوط به دوران کرتاسه شامل سنگ آهک مارنی، سنگ آهک تخریبی گلوکونیت‌دار، سنگ آهک ماسه‌ای چرت‌دار، ماسه

سنگ و مارن می‌باشد. از لحاظ گستردگی سنگ‌های تشکیل‌دهنده‌ی پی سنگ روستای تلوبین، بررسی نقشه زمین‌شناسی منطقه و بازدید محلی از روستا نشان می‌دهد که سنگ بستر غالب و مسئله دار منطقه، مارن‌های ائوسن بوده که اغلب به رنگ قرمز دیده می‌شود. با توجه به شیب دار بودن محدوده مورد مطالعه، عملاً رسوبات موجود حاصل از هوازدگی و فرسایش سنگ بستر می‌باشد. پهنه‌ی تلوبین از نظر تقسیم‌بندی هیدرولوژیکی در حوضه‌ی هیدرولوژیکی رباط قره‌بیل واقع شده و تشکیلات مارنی-آهکی از نظر کیفیت آبدهی دارای کیفیت متوسط تا نامناسب می‌باشد. (مهندسان مشاور سامان، ۱۳۹۵).

کنگلومرها از دیگر واحدهای رسوبی مشاهده شده در منطقه می‌باشد. بخشی از این رسوبات توسط واحدهای مارنی-آهکی پوشیده شده‌اند و عموماً قرمز رنگ هستند. بخش دیگر شامل کنگلومرای سخت نشده سبب ایجاد تپه‌ماهورهایی در دامنه ارتفاعات گردیده است. به منظور نشان دادن پراکندگی تشکیلات موجود در منطقه، نقشه زمین‌شناسی منطقه‌ی تلوبین در شکل (۱-۱۲) ارائه شده است.



شکل ۱-۹: موقعیت منطقه مورد مطالعه در پهنه بندی ساختاری-رسوبی ایران (اقتباس شده از نبوی، ۱۳۵۵)



LEGEND

| | CENOZOIC | | |
|------------|-------------|--|---|
| | NEOGEN | PALEOGENE | |
| QUATERNARY | | | Q ¹ : old valley terrace deposits |
| NEOGEN | MIO - PLIO. | | PLQ ^c : conglomerate |
| | | | Ng ^m : marl, siltstone, sandstone, conglomerate |
| PALEOGENE | EOCEN | | El ₃ : nummulitic limestone |
| | | | Em ₂ : marl, limestone, red sandstone |
| | | | El ^{sh} : limestone, shale |
| | PAL. | | gy: Gypsum |
| | | Pe ^c : conglomerate (Pesteligh Fm.) | |
| MESOZOIC | CRETACEOUS | E. CER. | K _k : glauconitic limestone (Kalat Fm.) |
| | | L. CER. | K ₁ : limestone |
| | JURASSIC | | J ^{mz} : Argillaceous limestone, marl (Mozduran Fm.) |
| | | J ^{cb} : limestone, dolomite limestone (Chaman bid Fm.) | |
| PALEOZOIC | CAMBERIAN | | ebt: shale, sandstone, limestone and dolomite (Barut Fm.) |

SYMBOL

- Village: Telowbin
- secondary road
- Fault
- Stream channel and River
- Spring
- Motorable track
- Q^c: Cultivated area
- Study area

شکل ۱-۱: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ دوزین (سهندی، ۱۳۸۰)

۸-۱ تکتونیک منطقه مورد مطالعه

گسل چشمه نیک تعیین کننده‌ی مرز دو زون البرز شرقی (بینالود) و کپه داغ است. راستای چیره ساختارهای منطقه، از جمله گسل‌ها و سازندهای موجود از راستای ساختاری شمال خاوری - جنوب باختری تبعیت می‌کند (سپندی، ۱۳۸۰). منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر ساختاری به گونه‌ای است که گسل چشمه نیک گسل اصلی و گسل‌های منشعب از آن به همراه سایر گسل‌های فرعی از تشکیل دهندگان اصلی ساختارهای این منطقه به شمار می‌آیند که عملکرد هر کدام از این گسل‌ها باعث قرارگیری سازندهایی با سن‌های متفاوت در کنار یکدیگر شده است. گسل‌های تاثیر گذار بر تشکیلات رسوبی منطقه عبارتند از:

الف) گسل چشمه نیک با درازای ۷۹ کیلومتر و روند شمال خاوری - جنوب باختری (۸۰/۱۶۰) به عنوان یک گسل معکوس با مولفه‌ی امتداد لغز چپ بر و با جنبش کواترنری معرفی می‌شود. این گسل با عبور از واحدهای آهکی کرتاسه و مارن‌های نئوژن منطقه تلوبین، دره نسبتاً عریضی در پایانه جنوب باختری خود به وجود آورده است (شکل‌های ۱-۱۳ و ۱-۱۴).

ب) گسل تلوبین با طول تقریبی ۵۰ کیلومتر و با امتداد شمال خاوری - جنوب باختری با گذر از جنوب آبادی تلوبین تا شرق منطقه چهل دختر ادامه می‌یابد. ساز و کار این گسل نامشخص می‌باشد اما در بخش شمال خاوری حرکات قائم (مولفه‌ی معکوس) مشهود است. این گسل نهشته‌های آهکی و مارنی متعلق به نئوژن و میوسن را در مقابل دشت کواترنری نردین قرار داد است. گسل تلوبین با شاخه‌ی انتهایی گسل چشمه نیک تقریباً در یک امتداد هستند و در دره‌ی گسلی بین روستاهای وامان و نراب یکدیگر را قطع می‌کنند. اهمیت این گسل به دلیل مکان یابی زمین لرزه‌هایی با بزرگی بیشتر از ۴ ریشتر در اطراف این گسل می‌باشد لذا با جنبش احتمالی این گسل در آینده می‌توان انتظار رویداد زمین لرزه‌های بزرگی را داشت. با توجه به مطالعات انجام گرفته گسل تلوبین، نردین، چشمه نیک و شاخه‌های منشعب از آن یک زون گسلس (Fault Zone) را تشکیل می‌دهند که در نهایت تکتونیک

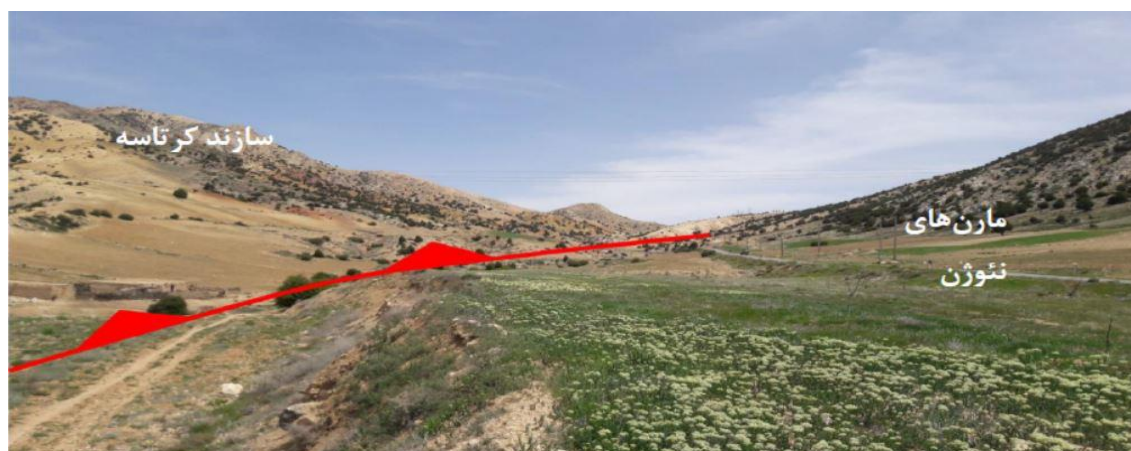
پویا و زمین لرزه‌های اخیر از جمله رخداد زمین لرزه ۲۸ دسامبر ۲۰۱۶ در نردین را می‌توان به فعالیت این زون گسلش نسبت داد.

پ) گسل حسین آباد و نام‌نیک به ترتیب در غرب و شرق منطقه به عنوان مرز جداکننده‌ی رسوبات مارنی نئوژن از آهک‌های کرتاسه ارتفاعات می‌باشند.

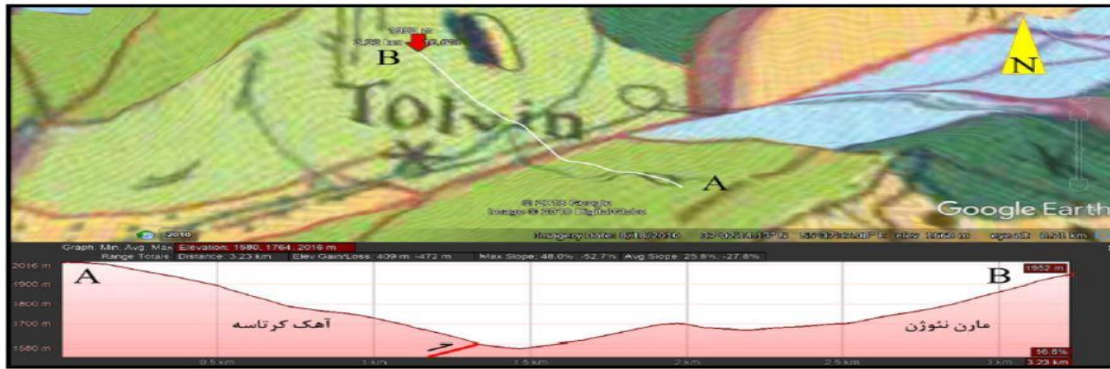
ت) گسل نردین از شاخه‌های فرعی گسل چشمه نیک می‌باشد. این گسل جاده‌ی نردین-تلوبین را قطع می‌نماید و تعیین کننده‌ی مرز رسوبات سازند چمن بید با سازند باروت در محل جاده می‌باشد. حضور گسل‌های فرعی و احتمالی دیگری نیز در منطقه مشهود است که برخی از آن‌ها در امتداد به گسل‌های اصلی می‌پیوندند و مانند گسل‌های اصلی از روند شمال خاوری-جنوب باختری تبعیت می‌کنند. البته قابل ذکر است که برخی از این گسل‌ها دارای راستای متفاوتی می‌باشند. خصوصیات تعدادی از گسل‌های فرعی تاثیرگذار بر منطقه در جدول (۱-۱) شرح داده است.

جدول ۱-۱ فهرست گسل‌های فعال و با توان فعالیت در منطقه‌ی تلوبین

| ردیف | نام گسل | نوع مکانیسم | جهت و راستا | طول (km) |
|------|-----------|-------------------------|---------------------|----------|
| ۱ | چشمه‌نیک | معکوس-کواترنری | شمال شرقی-جنوب غربی | ۷۹ |
| ۲ | تلوبین | نامشخص (بخش‌هایی معکوس) | شمال شرقی-جنوب غربی | ۵۰ |
| ۳ | حسین آباد | معکوس | شمال شرقی-جنوب غربی | ۳۰ |
| ۴ | نام‌نیک | امتدادلغز | شمالی-جنوبی | ۱۷ |
| ۵ | نردین | معکوس | شمال شرقی-جنوب غربی | ۳۲ |



شکل ۱-۱: دره گسلی ایجاد شده توسط گسل چشمه نیک در روستای تلوبین (اقتباس شده از حمیدی، ۱۳۹۷)



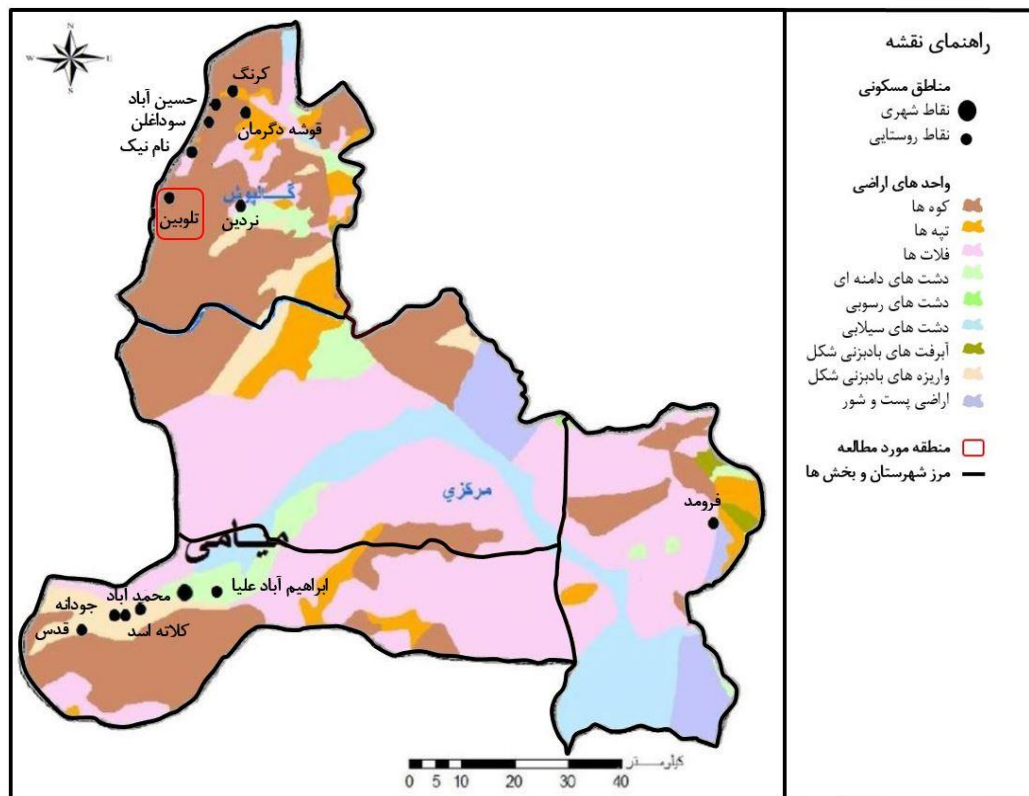
شکل ۱-۱۲: تفسیر موقعیت دره گسلی ایجاد شده توسط گسل چشمه‌نیک در روستای تلوبین بر روی نقشه کوه کورخورد با توجه به اینکه جهت عکس رو به جنوب باختری است (اقتباس شده از حمیدی، ۱۳۹۷)

۹-۱ ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

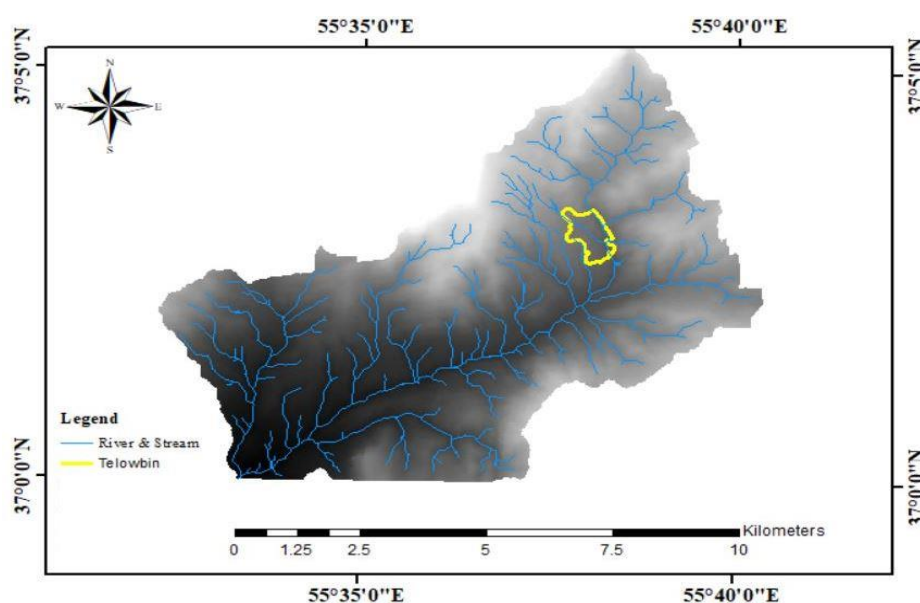
از دیدگاه ژئومورفولوژی، روستای تلوبین در یک پهنه‌ی کوهستانی واقع شده است (شکل ۱-۱۳) و از مهم‌ترین ارتفاعات آن می‌توان کوه‌های بایر، خواجه قنبر، بوقوتو، زیروان را نام برد. کوه خواجه قنبر با ارتفاع حدود ۲۵۸۸ متر از سطح دریا از بلندترین ارتفاعات منطقه می‌باشد و در شمال غربی روستای تلوبین قرار دارد که بخش عمده‌ی رسوبات آن از آهک‌های متعلق به دوران کرتاسه تشکیل شده است. ارتفاعات منطقه معمولاً در امتداد روند گسل‌های اصلی (شمال خاوری-جنوب باختری) هستند. این مسئله حاصل حرکت و جابه‌جایی قطعه لوت به سمت شمال، و چرخش این بلوک تا حدود ۱۳۵ درجه در جهت عقربه‌ی ساعت در زمان کرتاسه بیان شده است (مهندسان مشاور سامان، ۱۳۹۵). ریخت‌شناسی و شکل‌گیری منطقه تلوبین، تحت تاثیر فعالیت‌های تکتونیکی و فرسایشی می‌باشد و ارتباط مستقیمی با تشکیلات سنگی منطقه دارد.

روستای تلوبین بخشی از حوضه‌ی آبریز گرگانرود-قره سو می‌باشد. رودخانه‌ها و آبراهه‌های موجود در این ناحیه اکثراً فصلی هستند به طوری که در زمستان و اوایل بهار به دلیل بارش‌های فراوان بیشترین آبدهی را دارند در حالی که در فصل تابستان خشک و یا کم آب خواهند شد. همچنین چشمه‌های فراوانی در این منطقه به دلیل بالا بودن سطح ایستابی (ناشی از حجم بالای بارندگی و حضور سنگ بستر مارنی) به چشم می‌خورد که به دلیل پرتگاه‌ها و شیب زیاد دامنه جمع‌آوری و استفاده از آنها

دشوار می‌باشد. در شکل (۱-۱۴) نقشه‌ی حوضه‌ی آبریز منطقه تلوبین نمایش داده شده است. بر روی این نقشه محل رودخانه‌های فرعی و منشعب جاری در ناحیه‌ی مسکونی روستای تلوبین در شرق، غرب و مرکز روستا مشاهده می‌شود.



شکل ۱-۱۳: موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه‌ی اراضی شهرستان میامی (مهندسان مشاور سامان، ۱۳۹۷)



شکل ۱-۱۴: موقعیت روستای تلوبین بر روی نقشه‌ی حوضه‌ی آبریز منطقه مورد مطالعه

۱-۱۰ چینه شناسی منطقه مورد مطالعه

بر اساس نتایج حاصل از مطالعات پیشین، به ویژه نقشه زمین شناسی دوزین با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سهندی، ۱۳۸۰)، نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ کوه کورخود (سهیلی، ۱۳۵۷)، نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ جاجرم (افتخارنژاد و آقانباتی، ۱۳۷۰) و مشاهدات صحرایی نگارنده وجود واحدهای سنگی از پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک به اثبات رسیده است. دولومیت‌های سازند باروت به سن پرکامبرین، قدیمی‌ترین و نهشته‌های کواترنری (پادگانه‌های کهن و تراس‌های آبرفتی)، جدیدترین واحدهای رخنمون یافته منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. تشکیلات سنگی مربوط به مزوزوئیک شامل سازندهای چمن بید، مزدوران، کلات و واحد سنگی سنگ آهک توده‌ای متوسط تا ضخیم لایه (K_1^1) می‌باشد. سازندهای متعلق به دوران پالئوژن نیز شامل سازند پسته لیق، واحد مارنی-آهکی (Em_2) و واحد آهک نومولیت‌دار (El_3) می‌باشد. واحد کنگلومرانی (PLQ^C) در جنوب منطقه دارای سن میوسن-پلیوسن می‌باشند. با توجه به این مطلب که تمام سازندهای ذکر شده در بخش لغزش حضور ندارند، از توصیف یک به یک سازندها خودداری گردیده و تنها واحد سنگی مارنی-آهکی (Em_2) به عنوان سازند کلیدی در این مطالعه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۱۰-۱ واحد سنگی لغزیده (Em_2)

این واحد سنگی به عنوان سنگ کف منطقه تلوبین می‌باشد و متعلق به دوران پالئوژن است. رخنمون آن شامل تناوبی از سنگ آهک‌های دگرگونی با لایه‌بندی ضخیم تا متوسط، ماسه سنگ‌های قرمز رنگ، مارن‌های صورتی و قرمز رنگ تا زرد روشن با میان لایه‌هایی از فسیل نومولیت، مارن‌های تبخیری و سنگ‌آهک‌های مارنی می‌باشد. واحدهای چینه‌ای شامل گچ (gy)، سنگ آهک چرت دار توده ای تا ضخیم لایه خاکستری روشن به همراه شیل (E^{lsh}) به صورت همجوار با این واحد سنگی در بخش

کوچکی برونزد یافته‌اند. تراس‌های آبرفتی نیز به صورت پراکنده در جنوب روستای تلوبین بر روی این رسوبات واحد چینه‌ای ذکر شده ظهور پیدا کرده‌اند.

۱-۱ ساختار پژوهش

این پژوهش در چهار بخش مطالعات دفتری، مطالعات صحرایی، مطالعات آزمایشگاهی و مدل‌سازی لغزش رخ داده به انجام رسیده است. تحقیق مذکور در ۵ فصل با عناوین کلیات، تئوری تحقیق و مطالعات پیشین، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث و نتیجه‌گیری و پیشنهادها تدوین شده است. در ادامه به بیان مختصری از مطالب بیان گردیده شده در هر فصل می‌پردازیم.

الف) فصل اول

مطالب بیان شده در فصل اول شامل طرح مسئله و ضرورت انجام تحقیق، بررسی موقعیت جغرافیایی، وضعیت اقلیمی و پوشش گیاهی، زمین‌شناسی، تکتونیک و چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

ب) فصل دوم

در این فصل در ابتدا به بیان تئوری تحقیق شامل مشخصات و ابعاد زمین‌لغزش، عوامل موثر بر رخداد زمین‌لغزش‌ها، بررسی اجمالی وضعیت لغزشی روستای تلوبین، خصوصیات شیمیایی و مکانیکی مصالح مارنی و طبقه‌بندی زمین‌لغزش‌ها پرداخته شده است. در انتها مروری بر مطالعات پیشین پیرامون رخداد زمین‌لغزش در مصالح مارنی در مقیاس جهانی و کشوری انجام شده است.

ج) فصل سوم

عمده مطالب بیان شده در فصل سوم شامل مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی می‌باشد. در بخش مطالعات صحرایی مشخصات هندسی محل زمین‌لغزش اندازه‌گیری شده است و نمونه‌های لازم جهت انجام آزمایش‌ها از منطقه مورد مطالعه گرفته شده است. در بخش مطالعات آزمایشگاهی روش انجام هر یک

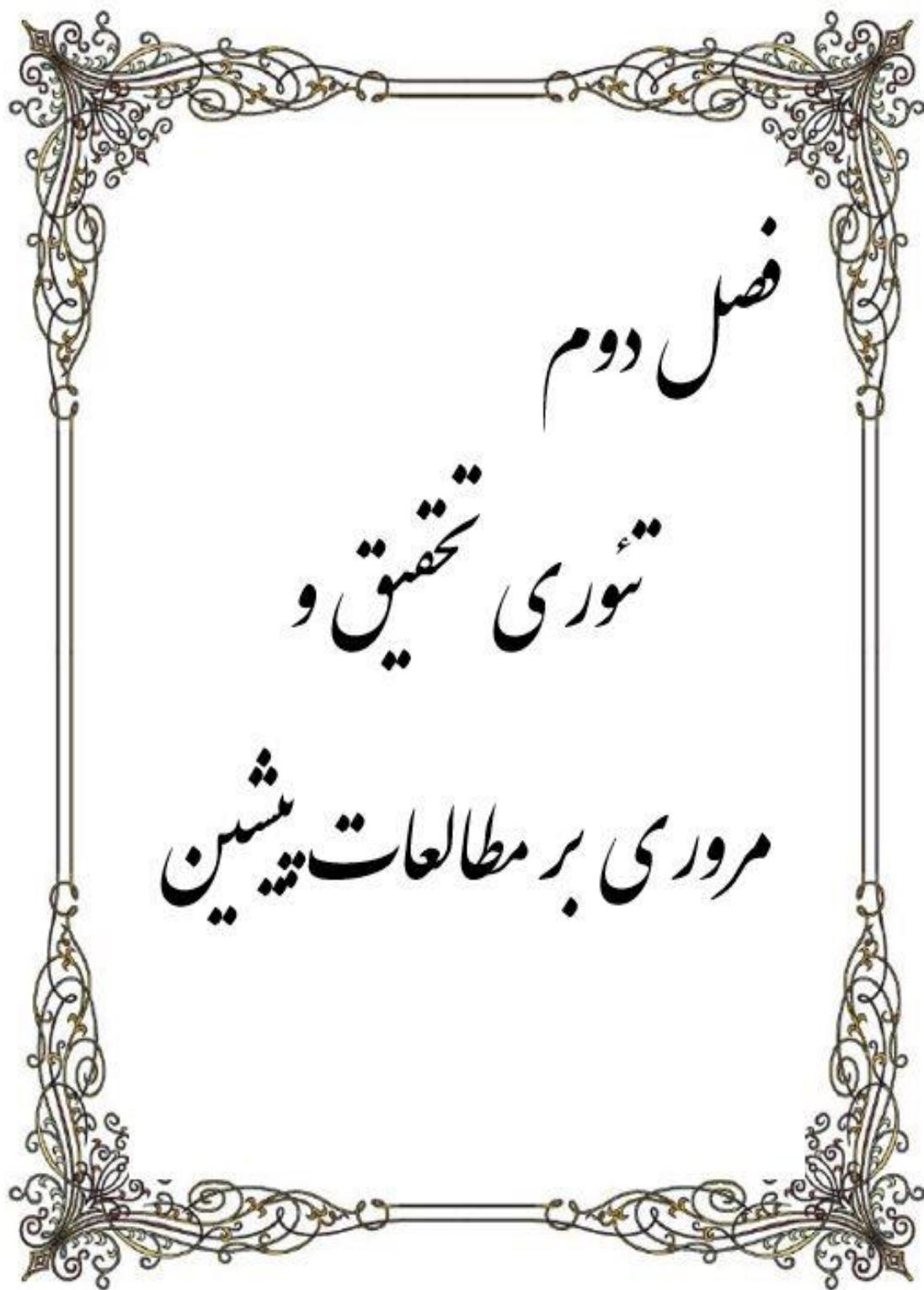
آزمون‌ها و آنالیزها به طور مفصل شرح داده شده است. آزمایشات خود به سه گروه تعیین مشخصات فیزیکی، شناسایی اجزای و ترکیب شیمیایی (کانی‌شناسی) و تعیین مشخصات مکانیکی مصالح دسته بندی می‌گردند.

د) فصل چهارم

نتایج مطالعات دفتری، صحرایی و آزمایشگاهی در این فصل مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. با استفاده از نتایج به دست آمده از مطالعات انجام گرفته شامل پارامترهای مقاومت برشی (چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی مصالح)، پارامترهای هندسی دامنه (شیب و ارتفاع) و دانسیته به مدلسازی زمین‌لغزش رخ داده در منطقه توسط نرم افزار slide6.20 پرداخته شده است. نتایج حاصل از مدلسازی در دو حالت استاتیک و دینامیک و با بهره‌گیری از روش بیشاپ و اسپنر مورد بحث و تحلیل قرار گرفته است.

ه) فصل پنجم

در این فصل به خلاصه‌ای از مهم‌ترین نتایج مطالعات مورد بحث قرار گرفته در فصل قبل اشاره گردیده است و با توجه به این نتایج به بیان مناسب‌ترین راهکارها و پیشنهادها جهت جلوگیری و کاهش رخداد لغزش در منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است.



فصل دوم

تئوری تحقیق و

مروری بر مطالعات پیشین

۱-۲ مقدمه

طیف وسیعی از رسوبات مناطق مختلف جهان و ایران از مارن‌ها و خاک‌های مارنی تشکیل شده است که جزء رسوبات مسئله ساز و مشکل آفرین بوده و از لحاظ دامنه تغییرات خصوصیات و رفتار مهندسی بسیار متنوع بوده و تحت تأثیر شرایط محیطی می‌باشند. هر ساله گزارش‌های فراوانی از رخداد زمین لغزش در این مصالح و خسارات ناشی از آن‌ها ارائه می‌گردد. لذا شناسایی و بررسی رفتار این نوع مصالح و پیش بینی پارامترها و رفتار مهندسی آن‌ها می‌تواند در مدیریت و پیشگیری از زمین‌لغزش‌ها موثر باشد. در پژوهش حاضر، عطف به اینکه رخداد زمین لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه در یک گستره‌ی از رسوبات مارنی اتفاق افتاده است، تئوری و پیشینه‌ی تحقیق تنها در زمینه زمین‌لغزش‌های محتمل در مارن‌ها بیان می‌شود.

۲-۲ تعریف زمین لغزش

زمین شناسان، مهندسان و دیگر متخصصان با توجه به زمینه‌ی کاری و مطالعاتی خود تعاریف متفاوتی را برای زمین لغزش (Landslide) ارائه نموده‌اند. آنچه باید در این مورد به آن اذعان داشت، وجوه مشترک قابل توجه در بین تعاریف مختلف می‌باشد. این تنوع در تعاریف منعکس کننده‌ی ماهیت پیچیده‌ی پدیده‌ی زمین لغزش است. عمده‌تاً این تعاریف تابع شکل و رفتار این پدیده می‌باشند. از معتبرترین تعاریف در این حوزه می‌توان به تعریف انجمن زمین شناسی مهندسی اشاره کرد. مطابق با این تعریف، زمین لغزش عبارتست از جابه‌جایی توده‌ای از مواد (سنگ بستر یا خاک) در امتداد شیب به سمت پایین دامنه. با توجه به این تعریف، زمین زمانی مستعد حرکت می‌شود که نوعی ناپایداری (به هر دلیل ممکن) در شیب حادث شود (IAEG¹, 1990).

1- international association engineering geology

کاتس^۲ (۱۹۷۷)، اصول اساسی و مورد توافق محققان در مورد تعاریف زمین لغزش را به شکل زیر بیان می‌کند:

الف) نیروی ثقل، نیروی اساسی دخیل در این فرآیند می‌باشد.

ب) صفحه یا پهنه‌ی لغزش با صفحه گسل تفاوت دارد.

پ) مواد جابه‌جا شده ممکن است سنگپوش‌ها و سنگ بستر را در بر بگیرد.

ت) حرکت توده‌ی گسیخته شده معمولاً سریع می‌باشد.

ث) حرکت باید رو به پایین و به سمت خارج باشد.

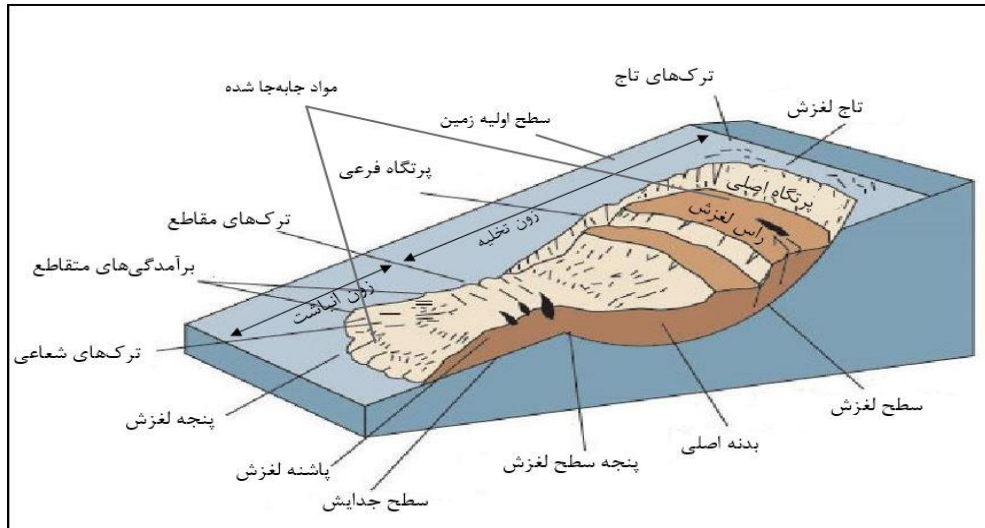
با در نظر گرفتن اصول ذکر شده زمین لغزش را بدین صورت می‌توان تعریف کرد:

کلیه حرکات و گسیختگی‌های شیبی یا دامنه‌ای نسبتاً سریع که وزن، نیروی اصلی ناپایداری شیب بوده و با کاهش ناگهانی ضریب اطمینان به سطح پایین‌تر از "یک" تحت تاثیر غلبه نیروهای مخرب، محرک یا مهاجم بر نیروهای مقاوم در سطوح شیب‌دار به وقوع می‌پیوندند (شریعت جعفری، ۱۳۷۵؛ غیومیان و فرهادی نژاد، ۱۳۸۴).

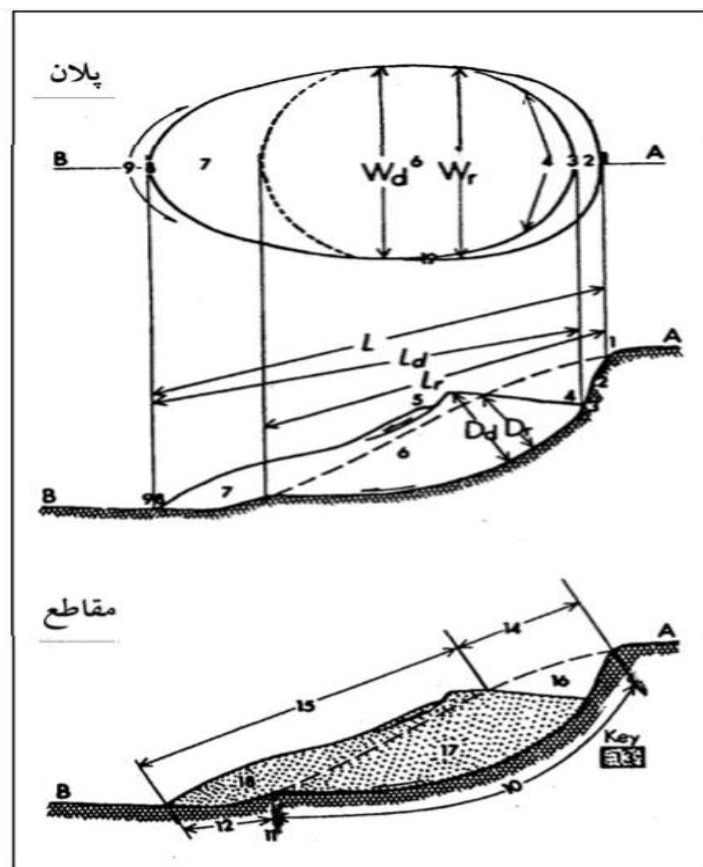
۳-۲ مشخصات و ابعاد زمین لغزش

زمین لغزش دارای مشخصات زمین ریخت‌شناسی ویژه‌ای است که در بازدیدهای صحرائی یا بر روی عکس هوایی قابل مشاهده است. هندسه و مشخصات زمین لغزش در سال (۱۹۷۸) توسط وارنز توصیف شد و در سال (۱۹۹۰) انجمن بین‌المللی زمین‌شناسی مهندسی وابسته به سازمان یونسکو (IAEG) در راستای طرح تهیه بانک اطلاعات زمین لغزش در قالب انتشار مقاله‌ای اقدام به انتشار فهرست اصطلاحات پیشنهادی برای توصیف یک زمین لغزش شاخص نمود.

برای توصیف ابعاد زمین لغزش از واژه‌های طول، پهنا و عمق برای صفحه گسیختگی و توده جابه‌جا شده استفاده می‌شود. اصطلاحات مرتبط با ابعاد و عناصر زمین لغزش به ترتیب در شکل‌های (۱-۲) و (۲-۲) آورده شده است.



شکل ۱-۲: اجزا و عناصر موجود در زمین لغزش (وارنز، ۱۹۷۸)



شکل ۲-۲: ابعاد زمین لغزش ارائه شده توسط انجمن زمین‌شناسی مهندسی (۱۹۹۰)

جدول ۱-۲: توصیف ابعاد زمین لغزش (پارسایی و علیمحمدی، ۱۳۹۱)

| ابعاد زمین لغزش | مفاهیم |
|-----------------------------|--|
| طول صفحه گسیختگی (Lr) | مسافت بین پنجه صفحه گسیختگی تا تاج لغزش |
| پهنای صفحه گسیختگی (Wr) | بیشینه پهنای پهلوهای لغزش که بر طول صفحه گسیختگی عمود باشد |
| عمق صفحه گسیختگی (Dr) | بیشینه مقدار عمق گسیختگی که بر سطح اولیه زمین عمود است |
| طول توده جابه‌جا شده (Ld) | فاصله بین قله تا نوک زمین لغزش |
| پهنای توده جابه‌جا شده (Wd) | بیشینه پهنای توده جابه‌جا شده که بر طول توده جابه‌جا شده عمود باشد |
| عمق توده جابه‌جا شده (Dd) | بیشینه عمق توده جابه‌جا شده که بر سطح توده جابه‌جا شده عمود است |
| حجم توده لغزیده (V) | $V = (\pi / 2) L_d D_d W_d$ |
| طول کلی زمین لغزش (L) | فاصله بین تاج لغزش تا نوک لغزش |

جدول ۲-۲: توصیف اجزا و عناصر موجود در زمین لغزش (پارسایی و علیمحمدی، ۱۳۹۱؛ شعاعی، ۱۳۹۵)

| اجزای زمین لغزش | مفاهیم |
|-------------------|---|
| تاج لغزش | بخش جابه‌جا نشده زمین لغزش در مجاورت بالاترین بخش پرتگاه اصلی |
| پرتگاه اصلی | دیواره پرشیب در بالاترین مرز بین مواد جابه‌جا شده و بخش ثابت (فوقانی‌ترین سطح لغزش) |
| راس | بالاترین بخش زمین لغزش بین مواد جابه‌جا شده و پرتگاه اصلی |
| پرتگاه فرعی | سطوحی با شیب تند در توده جابه‌جا شده حاصل از رخداد زمین لغزش‌های محلی |
| توده اصلی | بخشی از توده جابه‌جا شده که صفحه گسیختگی را پوشانده است |
| پاشنه لغزش | بخشی که از محدوده پنجه صفحه گسیختگی فراتر رفته و سطح زمین را می‌پوشاند |
| پنجه | انحنای لبه توده جابه‌جا شده مواد در پایین‌ترین سطح |
| نوک | دورترین و جلوترین نقطه از مواد جابه‌جا شده |
| قله | بالاترین بخش زمین لغزش بین مواد جابه‌جا شده و پرتگاه اصلی |
| صفحه گسیختگی | سطوحی در زیر توده جابه‌جا شده و راستای حرکت توده مواد |
| پنجه صفحه گسیختگی | محل تلاقی پایین‌ترین سطح صفحه گسیختگی با سطح ابتدایی زمین |
| سطح جدایش | بخشی از سطح کنونی و پوشیده شده زمین لغزش توسط پاشنه زمین لغزش |
| سطح اولیه زمین | سطح زمین پیش از رخداد زمین لغزش |
| زون انباشت (تجمع) | پهنه‌ای از زمین لغزش که پیش از رخداد در بالای سطح ابتدایی قرار داشته است |
| انباشت | حجمی از مواد جابه‌جا شده روی سطح اصلی زمین |
| توده تهی شده | حجمی از مواد جابه‌جا شده روی سطح لغزش در زیر سطح اصلی زمین |
| تهی شدگی | حجمی بین پرتگاه اصلی، توده تهی شده و سطح اصلی زمین |
| زون تهی شده | منطقه‌ای از لغزش که مواد جابه‌جا شده در آن زیر سطح اصلی زمین قرار می‌گیرند |
| جناحین لغزش | طرح طرفین زمین لغزش قابل جهت یابی با قطب نما |

۲-۴ عوامل موثر بر زمین لغزش

به طور کلی می‌توان عوامل عمده موثر در ناپایداری را به دو گروه عوامل مستعد کننده و تحریک کننده تقسیم نمود. عوامل مستعد کننده شامل شرایط زمین شناسی، مورفولوژی دامنه، هیدرولوژی، خاک شناسی و ... می‌باشند؛ که به صورت ذاتی در منطقه حضور داشته و کمتر امکان تغییر یا دستکاری دارند و عوامل تحریک کننده شامل فعالیت تکتونیک و زلزله، هوازگی و فرسایش، افت سریع سطح آب، تغییر در شیب و کاربری اراضی، از رفتن پوشش گیاهی و بارگذاری روی شیب و ... می‌باشند که به صورت ناگهانی بروز نموده و یا به علت فعالیت‌های انسانی ایجاد شده‌اند (علیمحمدی و همکاران، ۱۳۸۶). در واقع عوامل موثر بر زمین لغزش‌ها شامل دو دسته عوامل بیرونی (منجر به افزایش تنش برشی در سطح گسیختگی احتمالی) و عوامل درونی (منجر به کاهش مقاومت برشی سطح گسیختگی احتمالی) می‌شوند. این عوامل شامل:

- ۱- مشخصات مورفولوژیکی شامل ارتفاع و شکل دامنه، زاویه و جهت شیب
- ۲- عوامل زمین شناسی شامل لیتولوژی و جنس دامنه، ساختار مواد و میزان مقاومت آن‌ها، چین خوردگی و فعالیت‌های تکتونیک و ...
- ۳- عوامل اقلیمی و هیدرولوژی (شامل میزان و سرعت بارش، آب‌های زیرزمینی و سطحی)، پوشش گیاهی و ...
- ۴- عوامل ژئومورفولوژیکی مانند هوازگی و فرسایش
- ۵- فعالیت‌های بشری

۲-۴-۱ مشخصات مورفولوژیک (ارتفاع و شکل دامنه، زاویه و جهت شیب)

۲-۴-۱-۱ ارتفاع دامنه

در یک دامنه‌ی مشخص با افزایش مقدار شیب مقدار مولفه‌ی ناپایدار کننده‌ی وزن توده، افزایش یافته

و مقدار ناپایداری افزایش می‌یابد. به طور کلی زاویه شیب بحرانی در خاک‌های باقیمانده ۳۰-۴۰ درجه و در کوهرفت‌ها ۲۰-۱۰ درجه می‌باشد. در شیب‌های بسیار زیاد (نزدیک ۴۵ درجه) گر چه انتظار می‌رود با افزایش میزان شیب ناپایداری در خاک افزایش یابد اما میزان لغزش کاهش می‌یابد. زیرا با افزایش میزان شیب ماندگاری رواناب کم، در نتیجه میزان نفوذ آب در خاک کمتر شده و آب نفوذ کرده نیز بر اثر نیروی ثقل از خاک راحت‌تر زهکشی می‌شود. همچنین در این شیب‌ها به علت کمبود شرایط خاکسازی عمق خاک کم بوده زیرا عوامل هوازدگی کمتر اثر کرده و در عوض عوامل فرسایش بیشتر اثر می‌نمایند (پارسایی و علی‌محمدی، ۱۳۹۱؛ حافظی مقدس، ۱۳۹۰).

۲-۴-۱-۲ شکل دامنه

از نظر شکل دامنه‌ها می‌توانند به صورت مستقیم، محدب، مقعر یا مرکب باشند. دامنه محدب کمترین استعداد جهت بروز لغزش و دامنه مرکب بیشترین استعداد را دارا می‌باشد. دامنه‌ی مستقیم و مقعر در ردیف دوم و سوم قرار می‌گیرند. در دامنه‌های مقعر آب فرصت بیشتری جهت نفوذ در توده دارد. لذا در این دامنه‌ها عمق هوازدگی بیشتر است و در این شرایط لغزش‌های جریانی و دورانی را خواهیم داشت (حافظی مقدس و غفوری، ۱۳۸۸).

۲-۴-۱-۳ میزان زاویه شیب

افزایش زاویه‌ی شیب تعادل مواد سازنده دامنه را بهم زده و موجب بالا رفتن تنش‌های برشی در دامنه می‌شود (پارسایی و علی‌محمدی، ۱۳۹۱). در مورد مواد غیر متراکم و خشک زاویه‌ی استقرار حداکثر زاویه‌ی شیبی است که مواد در آن پایدار هستند. این زاویه بر حسب نوع ماده (خاک‌های مختلف) تغییر می‌کند. در ذرات گرد و صیقلی این زاویه کم است، در حالی که در ذرات با سطح ناهنجار و غیرهمگن و چسبنده این زاویه بیشتر می‌باشد (غضبان، ۱۳۹۲).

۲-۴-۱-۴ جهت شیب

جهت شیب ناپیوستگی‌ها با شیب دامنه نوع گسیختگی را کنترل می‌کند. همچنین جهت شیب دامنه درصد رطوبت، ضخامت خاک و نوع پوشش گیاهی را کنترل می‌کند. در نیمکره‌ی شمالی دامنه‌های جنوبی زمان بیشتری از نور خورشید بهره‌مند می‌شوند، لذا در این دامنه‌ها رطوبت و ضخامت خاک کمتر و پایدار هستند.

۲-۴-۲ عوامل زمین شناسی

۱-۲-۴-۲ لیتولوژی و جنس دامنه

لیتولوژی شامل بافت، ترکیب، ویژگی‌های کانی شناسی و دیگر خصوصیات است که می‌تواند رفتار شیمیایی و فیزیکی سنگ و خصوصیات مهندسی خاک را تغییر دهد. این خصوصیات مصالح شامل نفوذپذیری، مقاومت در برابر هوازدگی فیزیکی و شیمیایی، مقاومت برشی و ... است (جاگانتاهو^۳ و کومار^۴، ۱۹۹۲). پارامترهای مقاومت برشی مواد تشکیل‌دهنده‌ی شیب‌ها شامل چسبندگی (C) و ضریب اصطکاک داخلی (ϕ) ارتباط بسیار نزدیک با نوع لیتولوژی مواد دارند. مقدار عددی این پارامترها در مواد تشکیل‌دهنده‌ی یک شیب و تغییر آنها تحت تاثیر عوامل مختلف نقش تعیین‌کننده‌ای در شروع و نحوه‌ی گسیختگی شیب دارد. علاوه بر مورد فوق پارامترهای فیزیکی خاک مانند وزن واحد حجم، میزان تخلخل و پوکی مواد نیز به نحوی از نوع لیتولوژی و بافت تبعیت می‌کند و نقش موثری در پایداری شیب‌ها دارند (شریعت جعفری، ۱۳۷۵).

چنانچه مصالح زمین شناسی شیب یکنواخت باشد، گسیختگی احتمالی از نوع دورانی خواهد بود که عمق آن تابع سطح آب زیرزمینی و تغییرات مقاومت نسبت به عمق وابسته است. در مصالح غیر یکنواخت عامل کنترل‌کننده‌ی پایداری جهت و مقاومت ناپیوستگی‌هاست که نشان دهنده‌ی سطوح ضعیف در

3 - Jaganatha Rao

4 - Kumar

شیب‌ها می‌باشد. ساختارهای زمین‌شناسی شامل لایه‌بندی، ردیف چینه‌شناسی و تغییرات عمده در سنگ‌شناسی از عوامل اصلی ایجاد کننده غیر یکنواختی در توده‌های سنگی و خاکی می‌باشند. وجود رس و مارن یا شیل در افق‌های زیرین به صورت یک لایه‌ی نفوذناپذیر عمل نموده و با جذب رطوبت و نفوذ کم باعث سنگین شدن لایه‌های بالایی خاک شده و این مطلب می‌تواند منجر به ناپایداری گردد (علیمحمدی و همکاران، ۱۳۸۶). در مناطق سطحی چنانچه میزان رطوبت خاک‌های رسی از حد روانی بیشتر گردد، این مصالح روان شده و به جریان می‌افتند.

در تعداد کثیری از مطالعات و پژوهش‌ها در سراسر جهان از مارن‌ها به عنوان سنگ‌ها و خاک‌های منبسط شونده که عامل ناپایداری بسیاری از شیب‌های طبیعی هستند، یاد شده است. در ادامه به تفصیل در مورد خصوصیات فیزیکی- مکانیکی و مکانیسم رخداد لغزش، انواع زمین لغزش‌های محتمل و نمونه‌هایی از زمین لغزش‌های اتفاق افتاده در مارن‌ها و رس‌ها پرداخته خواهد شد.

۲-۲-۴-۲ فعالیت‌های تکتونیکی

حرکات تکتونیکی در پوسته‌ی زمین می‌تواند باعث افزایش ارتفاع و یا زاویه‌ی شیب شده و در دراز مدت به ایجاد زمین لغزش‌ها کمک کنند. این حرکات‌ها با ایجاد شکاف و ترک خوردگی در سنگ‌ها و خاک‌ها باعث ایجاد بلوک‌ها با پتانسیل لغزشی می‌شوند زیرا مقاومت برشی بلوک‌ها تابع زاویه‌ی اصطکاک داخلی شده و چسبندگی آن از بین می‌رود.

۳-۴-۲ عوامل اقلیمی و هیدرولوژی

۱-۳-۴-۲ آب‌های زیرزمینی و سطحی

شرایط آب و هوایی تعیین کننده نوع، شدت و عمق هوازدگی می‌باشد. بعد از نیروی ثقل، آب مهم‌ترین پارامتر موثر و موتور حرکت در لغزش‌ها می‌باشد. افزایش رطوبت از طرفی سبب نرم شدگی توده و کاهش مقاومت آن و از طرف دیگر موجب افزایش وزن توده و فشار آب منفذی و به دنبال آن گسیختگی

شیب را سبب می‌گردد. در واقع نوع و شدت گسیختگی‌های شیبی تابعی از الگوهای آب و هوایی می‌باشد (حافظی مقدس و غفوری، ۱۳۸۸). میزان تاثیر بارندگی در ناپایداری دامنه‌ها به توپوگرافی، ساختارهای زمین شناسی و نفوذپذیری مواد سازنده‌ی دامنه بستگی دارد (رفاهی، ۱۳۷۵). شدت بارش، مدت بارش و دوره‌ی بازگشت ریزش‌ها از عوامل اقلیمی موثر بر ناپایداری دامنه‌ها هستند. به طور کلی می‌توان گفت در مناطق مختلف با افزایش نزولات جوی درصد وقوع ناپایداری زیادتر می‌گردد. نوع و شدت ناپایداری هر منطقه متغیر می‌باشد، زیرا مقاومت محصولات حاصل از هوازدگی به علت تفاوت شرایط آب و هوایی، درجه حرارت، نوع و شدت بارش متغیر می‌باشد. در اقلیم‌های مرطوب و نیمه مرطوب و دامنه‌های رو به شمال که بارش برف و باران متوالی و بیشتری دارند، ضخامت خاک به دلیل هوازدگی بیشتر بوده و پتانسیل ناپایداری نیز بیشتر است (پارسایی و علیمحمدی، ۱۳۹۱). همچنین در این مناطق به علت میزان نزولات جوی بالا و ضخامت زیاد خاک، آب شستگی پای دامنه منجر به ناپایداری‌های وسیع در حاشیه‌ی رودخانه‌ها می‌گردد. بارندگی‌های انتهایی زمستان و ابتدای بهار تاثیر به‌سزایی در بروز زمین لغزش دارند زیرا دامنه‌ها در این زمان به شدت مرطوب بوده و با افزایش کمترین مقدار رطوبت به سرعت به حالت اشباع می‌رسند (مخصوصاً لایه‌های رسی) و منجر به گسیختگی می‌گردند. شعاعی (۱۳۹۵) به طور کلی عملکرد و نقش آب در ایجاد ناپایداری‌های شیبی را به صورت موارد زیر بیان می‌کند:

- ۱- اشباع شدن توده خاک و افزایش وزن آن که منجر به افزایش تنش برشی می‌شود.
- ۲- افزایش سطح آب زیرزمینی و ایجاد فشار آب منفذی (فشار هیدرواستاتیک) که موجب کاهش تنش موثر می‌شود.
- ۳- اشباع لایه‌های رسی که به دنبال آن کاهش زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) و کاهش مقاومت برشی ایجاد می‌شود.
- ۴- پیشرفت هوازدگی شیمیایی در لایه‌های رسی که عملکردی مشابه حالت سوم را سبب می‌گردد.

۲-۴-۳ پوشش گیاهی

پوشش گیاهی بسته به نوع گیاه، شیب دامنه، شرایط اقلیمی و وضعیت ساختاری می‌تواند نقش پایدار کننده‌ی شیب یا نقش تخریب کننده شیب داشته باشد. به طور کلی پوشش گیاهی در لغزش‌های سطحی نقش پایدار کننده و در لغزش‌های عمیق نقش ناپایدار کننده دارد. همچنین در شیب‌های خاکی عموماً نقش پایدار کننده و در شیب‌های سنگی نقش ناپایدار کننده دارند.

جدول ۲-۳: اثرات مثبت و منفی پوشش گیاهی بر پایداری شیب‌ها

| | |
|--|-------------|
| <p>محافظة و نگهداری توده از اثر عوامل اقلیمی و کاهش اثر فرآیندهای هوازدهی و فرسایش در اعماق بیشتر جذب مقدار قابل توجهی از نزولات جوی و یا آب‌های زیرزمینی موجود در توده و تبخیر آن ریشه گیاهان مقاومت برشی خاک را افزایش داده و با ایجاد فشار آب منفذی منفی بر چسبندگی می‌افزاید</p> | <p>مثبت</p> |
| <p>افزایش وزن توده و تشدید اثر نیروی ثقل در ایجاد گسیختگی به خصوص در دامنه‌های با شیب تند انتقال عمل مکانیکی نیروی باد به توده و کاهش مقاومت برشی عریض تر شدن درز و شکاف و توسعه‌ی سیستم‌های ناپیوستگی در توده به سبب رشد ریشه‌ی گیاهان اشباع شدن توده در اثر آبیاری برای گیاهانی که به آب فراوان نیاز دارند</p> | <p>منفی</p> |

۲-۴-۴ عوامل ژئومورفولوژیکی

۲-۴-۴-۱ هوازدهی و فرسایش

در مناطقی که هوازدهی شیمیایی شدید می‌باشد ضخامت خاک تشکیل شده زیاد بوده و پتانسیل لغزش دایره‌ای (دورانی) نیز بیشتر است. هر چه شدت مواد هوازدهی نابرجا بیشتر باشد، عملکرد عوامل فرسایشی آسان‌تر و بیشتر خواهد بود. همچنین در مناطق داری بارندگی بالا فرسایش آبی مشهودترین عملکرد را دارا است.

۲-۴-۵ فعالیت انسانی

اثر فعالیت‌های بشری در ایجاد ناپایداری‌ها در جدول (۲-۴) به تفصیل بیان شده است. لذا در این پژوهش تاثیر فعالیت‌های انسانی منجر به افزایش درصد رطوبت خاک و کاهش مقاومت برشی خاک طی بازدیدهای صحرایی به عمل آمده مشهودتر است.

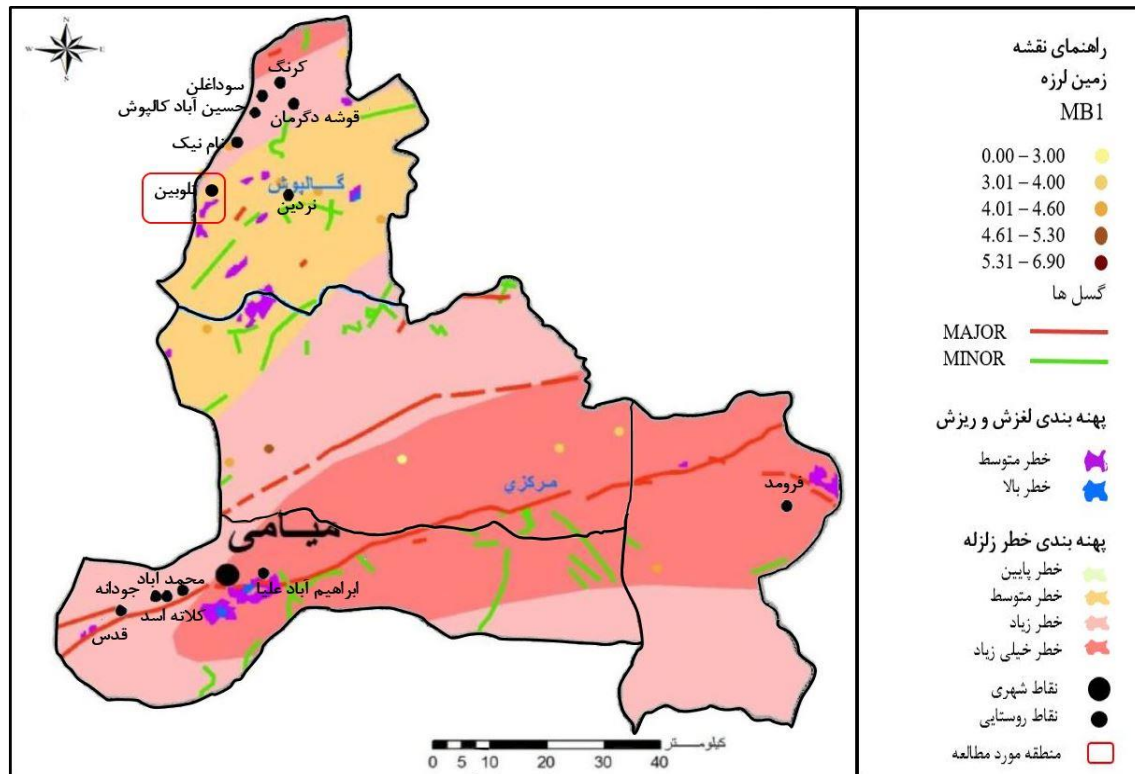
جدول ۲-۴: عملکرد انواع فعالیت‌های انسانی در ایجاد ناپایداری

| عملکرد | انواع فعالیت‌های انسانی |
|----------------------------------|--|
| ایجاد تنش‌های زودگذر در زمین | - ارتعاش ناشی از انفجارات و ماشین آلات ساختمانی و ترافیک - ارتعاش ناشی از تخلیه‌ی مخازن سد و پروژه‌های مصنوعی آب |
| از بین رفتن تکیه‌گاه زیرین دامنه | - ترانشه و تونل‌ها، گودال‌ها، معادن، کانال‌ها و غیره - ایجاد دریاچه‌های مصنوعی مخازن و نوسانات سطح آب در آن‌ها - برداشت بی‌رویه از مخلوط رودخانه‌ای و برهم زدن بستر و جریان |
| افزایش روباره و درصد رطوبت خاک | - احداث خاکریز - دپو کردن مواد معدنی و سنگ و یا مواد باطله و یا انباشت زباله - ساختمان سازی و سازه‌های دیگر - وزن آب ناشی از نشت لوله‌های آب و فاضلاب - کانال و مخازن آب - کشاورزی و آبیاری بر روی دامنه |
| کاهش مقاومت برشی خاک | - تغییر کاربری زمین با از بین بردن جنگل و تبدیل آن به مزارع - مسدود نمودن زهکش‌های طبیعی منطقه در اثر عملیات عمرانی - کاهش مقاومت مصالح مانند رس بر اثر بالا رفتن موضعی تراز آب زیرزمینی ناشی از ساخت مخازن - افزایش فشار آب منفذی در اثر فعالیت‌های عمرانی مانند ساخت سدها |

۲-۵ بررسی اجمالی وضعیت لغزشی روستای تلوبین

نقشه‌ی مخاطرات طبیعی شهرستان میامی نشان می‌دهد که روستای تلوبین در یک پهنه‌ی لغزشی قرار دارد (شکل ۲-۳). نقشه‌ی زمین شناسی و مشاهدات صحرایی نیز نشان می‌دهد سنگ بستر مارنی و سازندهای رس‌دار اغلب تشکیلات رسوبی منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. با در نظر گرفتن این

موضوع که مارن‌ها و رس‌ها از نظر زمین‌شناسی مهندسی از رسوبات مسئله‌دار هستند، در ادامه به بررسی خصوصیات و زمین‌لغزش‌های محتمل در این مصالح خاکی پرداخته می‌شود.

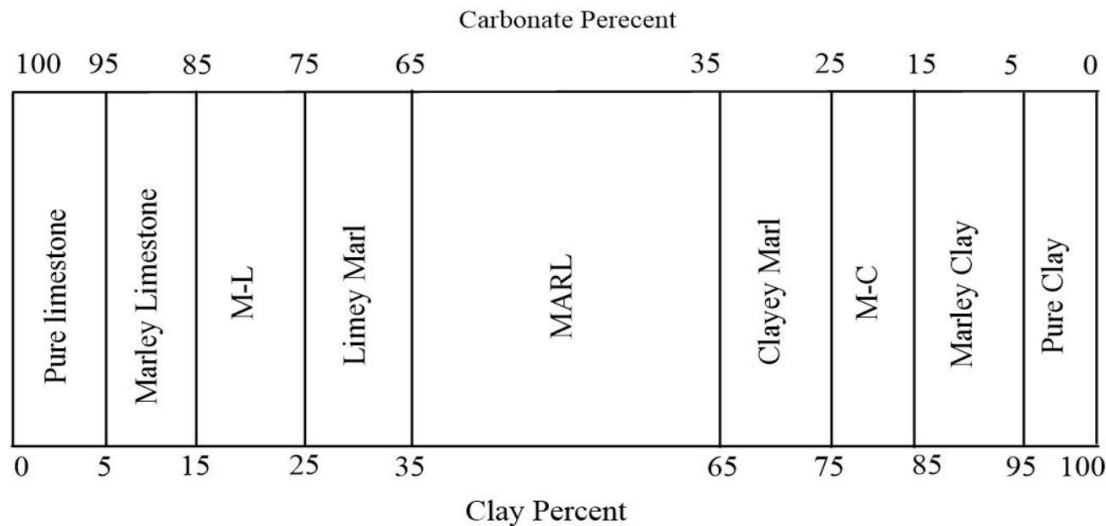


شکل ۲-۳: موقعیت منطقه تلویین بر روی نقشه مخاطرات شهرستان میامی (مهندسان مشاور سامان، ۱۳۹۷)

۲-۶ تعریف و طبقه بندی خاک‌های مارنی

تنوع و وسعت مارن‌ها در ایران و سایر کشورها از جمله آمریکا، اسپانیا و سایر کشورهای عربی زیاد می‌باشد. به همین سبب تعاریف زیادی توسط محققان در مورد مارن‌ها ارائه و معرفی شده است. عمومی‌ترین تعریفی که برای مارن‌ها اتخاذ گردیده، این است که شامل مخلوطی از کربنات کلسیم (CaCO_3) به همراه نسبت‌های گوناگون از سایر ذرات تخریبی می‌باشند. مارن‌ها معمولاً ریزدانه هستند، بنابراین اغلب مارن‌ها از کربنات کلسیم مخلوط با لای و رس تشکیل یافته‌اند. کانی کربناتی غالب در اکثر مارن‌ها کلسیت است اما کانی‌های کربناتی دیگر نظیر آراگونیت (شکل دیگری از کلسیت)، دولومیت [$\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$] و

سیدریت ($FeCO_3$) نیز ممکن است حضور داشته باشند. پتیجان^۵ (۱۹۷۵) از دیدگاه رسوب‌شناسی مارن را به آن دسته از نهشته‌های رسی اطلاق می‌کند که حاوی ۳۵-۶۵ درصد رس و ۳۵-۶۵ درصد کربنات کلسیم می‌باشد (شکل ۲-۴).

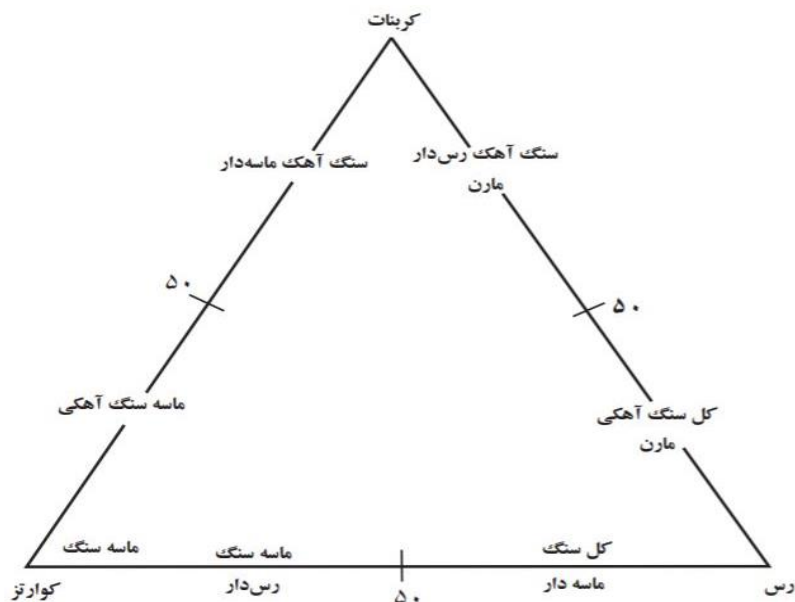


شکل ۲-۴: محدوده‌ی رسوبات مارنی (پتی‌جان، ۱۹۷۵)

نهشته‌های مارنی دانه‌ریزترین رسوبات تخریبی و در عین حال فراوان‌ترین سنگ‌های رسوبی هستند که حدود ۴۵ تا ۵۵ درصد توالی رسوبی را تشکیل می‌دهند (موسوی حرمی و محبوبی، ۱۳۸۴). مارن‌ها و به خصوص مارن‌های نئوزن در دسته‌ی سنگ‌های ضعیف تا بسیار ضعیف یا سنگ‌های نرم قرار گرفته‌اند. پارامترهای مهندسی این نهشته‌ها تحت تاثیر محیط‌های رسوبی زمان تشکیل آن‌ها می‌باشد، به طوری که در اثر باربرداری در سطح زمین و در تماس با رطوبت سریعاً هوازده شده و پتانسیل فرسایش‌پذیری بالایی دارند. خاک‌های مارنی حاصل از این سنگ‌ها تکامل نیافته و برجا هستند که خواص آنها بسیار شبیه خواص سنگ مادر است (پیروان و همکاران، ۱۳۸۴؛ پیروان و جعفری، ۲۰۱۳؛ میسکوویک^۶ و ولاستلیکا^۷، ۲۰۱۴).

5- Pettijohn
6- Miscevic
7- Vlastelica

براساس سیستم طبقه‌بندی خاک "اوهایو"، خاک‌های مارنی جزء خاک‌های رسی آلی یا ارگانیک طبقه‌بندی می‌گردند. مطابق با سیستم طبقه‌بندی خاک "ایندیانا" یک خاک با محتوای کلسیم کربنات از ۲۶ تا ۴۰ درصد را به عنوان خاک مارنی (Marly Soil) طبقه‌بندی می‌نمایند. بر اساس طبقه‌بندی آشتو^۸ هم مارن و هم خاک مارنی در کلاس (A-7) قرار می‌گیرند. فوکس^۹ و هیگینبوتوم^{۱۰} (۱۹۷۵)، با در نظر گرفتن پارامترهای ترکیب کانی‌شناسی و نوع کربنات موجود، مبداء و نحوه‌ی شکل‌گیری، دانه‌بندی، مقاومت و درجه سختی، نهشته‌های مارنی را به عنوان نهشته‌های کربناتی ناخالص طبقه‌بندی نمودند (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵: دیاگرام مثلثی طبقه‌بندی نهشته‌های کربناتی ناخالص (فوکس و هیگینبوتوم، ۱۹۷۵)

۷-۲ خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مارن‌ها

در زمین‌شناسی مهندسی، مارن‌ها در گروه سنگ‌های مسئله‌دار تقسیم‌بندی می‌شوند. به منظور شناخت رفتار ژئومکانیکی سنگ‌ها و خاک‌های مارنی، تعیین خصوصیات کانی‌شناسی، ویژگی‌های

8- AASHTO
9- Fooks
10- Higginbottom

فیزیکی و مکانیکی این مصالح، ضروری می‌باشد. آگاهی از چنین خصوصیات می‌تواند به ارزیابی شرایط پایداری شیب‌های مارنی، مدیریت و پیشگیری از رخداد حرکات توده‌ای در این شیب‌ها و عملیات عمرانی بر روی این مصالح کمک کند.

ماحصل نتایج مطالعات خصوصیات مهندسی خاک‌های مارنی در مناطق مختلف نشان می‌دهد که این خاک‌ها دارای خصوصیات بسیار متغیری نسبت به خاک‌های معمولی می‌باشند. نتایج تحقیقات انجام شده در نقاط مختلف حاکی از آن است که این خاک‌ها در رنگ، بافت، دانه‌بندی، حدود اتربرگ، چگالی، pH، ترکیبات شیمیایی، نوع کانی‌های موجود، مشخصات تراکمی، پارامترهای مقاومتی و سایر خصوصیات فیزیکی و مهندسی دارای محدوده تغییرات وسیعی می‌باشند. در ادامه محدوده‌هایی برای مشخصات فیزیکی و مکانیکی مارن‌ها که برگرفته از منابع مختلف می‌باشند، ارائه خواهد گردید.

رنگ مارن: در واقع تابعی از کانی‌شناسی و ژئوشیمی آن است. مقدار مواد آلی و حالت اکسیداسیون آهن از عوامل اصلی کنترل کننده رنگ مارن‌هاست. از نظر رنگ، مارن‌های مختلف جهان محدوده وسیعی را شامل می‌شوند. بر حسب منشاء و نحوه شکل‌گیری و ترکیبات موجود در نواحی مختلف، مارن‌ها به رنگ‌های کبود، خاکستری، زرد، بنفش، قهوه‌ای، سیاه، سفید، شیری، سبز و صورتی دیده شده‌اند (قریب، ۱۳۷۲).

دانه بندی: از نظر دانه‌بندی خاک‌های مارنی محدوده‌ی بسیار وسیعی از دانه‌های به ابعاد شن و با رده‌بندی GW در عربستان سعودی و کشورهای حوضه خلیج فارس تا خاک‌های بسیار ریزدانه و با رده‌بندی CH در جنوب ایران و برخی نقاط اروپا را شامل می‌شوند.

حدود اتربرگ: این نوع خاک‌ها نیز محدوده بسیار وسیعی را شامل می‌گردد. دامنه این گستردگی از خاک‌های غیر پلاستیک تا خاک‌هایی با دامنه خمیری حدود ۴۰ درصد را شامل می‌گردد.

Gs: وزن مخصوص این مارن‌ها نیز بر حسب ترکیبات آنها ۲/۳۶ برای مارن‌های لای دار یوگسلاوی تا ۲/۹۲ برای نمونه‌هایی از شرق عربستان متغیر بوده است.

pH از نظر تقریباً تمامی نمونه‌ها در محدوده بازها قرار داشته‌اند و مقادیری بین ۷/۵ تا ۱۰/۲۱ را شامل گردیده‌اند.

ترکیبات شیمیایی: از نظر ترکیبات نیز همانگونه که انتظار می‌رود در تمامی نمونه‌ها درصد بالایی از کربنات‌ها (کلسیت، دولومیت و بعضاً آراگونیت) وجود داشته است. علاوه بر کربنات‌ها کوارتز نیز در اغلب نمونه‌ها وجود داشته است و نیز گچ در تعداد زیادی از نمونه‌ها مشاهده شده است.

انواع کانی‌های موجود: از میان کانی‌های رسی نیز میزان ایلیت و مونت موریلونیت بیش از سایرین بوده است. همچنین اکسیدهای سیلیکات آلومینیوم و آهن نیز در بسیاری از نمونه‌ها دیده شده است که البته بایستی به این جمع فلدسپار و دولومیت را نیز اضافه نمود (به نقل از هوشمند، ۱۳۸۶).

پس از مطالعه و بررسی نظریات ذکر شده توسط محققین و نیز مطالعه گزارش تحقیقات انجام شده بر روی خاک‌های مارنی در نقاط مختلف جهان می‌توان عوامل موثر بر رفتار و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی این خاک‌ها را به شرح زیر بیان نمود (جلالی میلانی، ۱۳۹۵):

۱- نحوه شکل‌گیری، سیمانی شدن و بطور کلی آنچه ساختار خاک مارن را شکل می‌دهد.

۲- نوع، میزان و نحوه توزیع کربنات‌ها

۳- نوع و میزان کانی‌های رسی

۴- هوازگی

۵- نوع و میزان ناخالصی‌های موجود

در ادامه به تفصیل در مورد هر کدام از عوامل موثر بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مصالح مارنی پرداخته خواهد شد.

۲-۷-۱ سیمانی شدن

در توجیه اثر ساختار خاک مارن بر رفتار مکانیکی آن می‌توان گفت که مارن‌ها دارای ساختاری هستند که عمدتاً متشکل از اتصالاتی بین ذرات منفرد است که در اثر سیمانی شدن در زمان نهشته شدن

کربنات‌ها شکل گرفته‌اند. این ساختار به وسیله مقاومت برشی بالا به شکل چسبندگی ظاهری و سختی بالا در ترازهای تنش پائین و متوسط نمایان می‌شود (میچل^{۱۱}، ۱۹۷۵). به اعتقاد فوکس و هیگینبوتوم (۱۹۷۵)، سخت شدن نهشته‌های کربناته اغلب با سیمانی شدن در نقاط تماس بین دانه‌ای آغاز گردیده است. در مارن‌ها عموماً اثر اتصالات با اثر سایر عواملی که رفتار نهشته را تحت تاثیر قرار می‌دهند قابل مقایسه است و اتصال بین ذرات اثر قابل توجهی در مقاومت آنها دارد.

۲-۷-۲ کربنات کلسیم

میزان و نحوه توزیع کربنات کلسیم نیز تاثیر زیادی بر رفتار خاک مارن دارد. اگر کربنات کلسیم به صورت اتصال دهنده ذرات خاک باشد و یا اینکه به صورت پوششی بر روی ذرات رس باشد، باعث کاهش خاصیت خمیری خاک می‌شود و اگر حضور آن بصورت قطعات مجزای غیر پلاستیک باشد، باز هم باعث کاهش خاصیت خمیری (البته به میزان کمتری) می‌شود. تماس با آب، باعث حل شدن کربنات‌ها گردیده و موجب بوجود آمدن میزان تورم (و بنابراین کاهش مقاومت) بیش از آنچه از خاصیت خمیری ظاهری انتظار می‌رود، می‌گردد. در تایید اثر میزان کربنات کلسیم بر رفتار مارن می‌توان به تحقیق انجام شده توسط ال عمرانانی^{۱۲} و پازا^{۱۳} (۱۹۸۸)، بر روی خاک مارن جنوب شرقی حوضه گرانا در اسپانیا اشاره نمود که بر اساس نتایج به دست آمده حد روانی و دامنه خمیری نمونه‌های خاک به میزان قابل توجهی با افزایش میزان کربنات کلسیم کاهش نشان داده است.

۳-۷-۲ نوع و میزان کانی‌های رسی

به عقیده محققین دشواری متراکم ساختن خاک‌هایی که دارای میزان کربنات کمتری هستند به این مسئله برمی‌گردد که این خاک‌ها به نسبت خاک‌هایی که دارای میزان کربنات بیشتری هستند دارای

11- Mitchell
12- El Amrani
13- Paaza

فعالیت بیشتری می‌باشند. رابطه مستقیم حدود آتربرگ نمونه‌های خاک با حداکثر وزن مخصوص خشک و میزان رطوبت بهینه موید این مطلب است که فعالیت قسمت رسی نمونه‌ها کنترل‌کننده رفتار تراکمی آن‌ها بوده است.

هر چه میزان رس‌های غیر اشباع مانند مونت موریلونیت و ایلیت زیادتر باشد، سازند حساس‌تر به حرکات توده‌ای می‌باشد. همچنین وجود یک لایه رسی در هر شرایطی عامل ناپایداری است (معماریان، ۱۳۷۷). همچنین رفاهی (۱۳۷۵) در مطالعه‌ای که بر روی فرسایش خاک داشته است، عنوان نموده که بیشتر زمین لغزش‌ها مربوط به خاک‌های رسی یا چسبنده است و به ندرت می‌توان در طبیعت شرایطی را یافت که زمین لغزه در خاک‌های غیر چسبنده رخ داده باشد.

۲-۷-۴ هوازگی

بر اساس تحقیق انجام شده توسط جرمویک^{۱۴} (۱۹۹۴)، هوازگی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مارن‌های اطراف بلغراد در یوگسلاوی را به شدت تحت تاثیر قرار داده است. این تغییرات در رنگ و اندازه دانه‌ها و سایر خواص نمونه‌ها آشکار گشته است. همچنین بر اساس تحقیق انجام شده توسط سیگه^{۱۵} و همکاران ۱۹۹۴، روند تر و خشک شدن (هوازگی)، اسکلت خاک مارن گوادالکویر در جنوب اسپانیا را با شکستن ساختار پایدار موجود و تشکیل توده دانه‌ای ناپایدار شامل ذرات مستقل از یکدیگر تحت تاثیر قرار می‌دهد. همچنین نتیجه‌ی تحقیقات اوحدی و قلندرزاده (۱۳۷۰) بر روی نمونه‌های مارن هوازده و هوانزده در جنوب ایران به شرح زیر است:

الف) درصد مانده روی الک ۲۰۰ مش نمونه‌های هوازده بیشتر از نمونه‌های هوانزده بوده است.

ب) عمدتاً وزن مخصوص خشک G_s نمونه‌های هوازده بیشتر از نمونه‌های هوانزده بوده است.

ج) pH نمونه‌های هوازده کمتر از نمونه‌های هوانزده بوده است.

14- Jeremovic

15- Tsige

د) دامنه خمیری نمونه‌های هوازده نسبت به نمونه‌های هوازده ۰ تا ۳۸ درصد کمتر بوده است.

ه) حد روانی نیز تقریباً در همه نمونه‌های هوازده کمتر از نمونه‌های هوازده بوده است.

بنابراین آنچه به‌عنوان هوازده‌گی مارن در لایه‌ی سطحی مشاهده می‌شود، از نوع تخریب شیمیایی کانی‌های تشکیل دهنده مارن نبوده و بنظر می‌رسد صرفاً یک تغییر فیزیکی باشد.

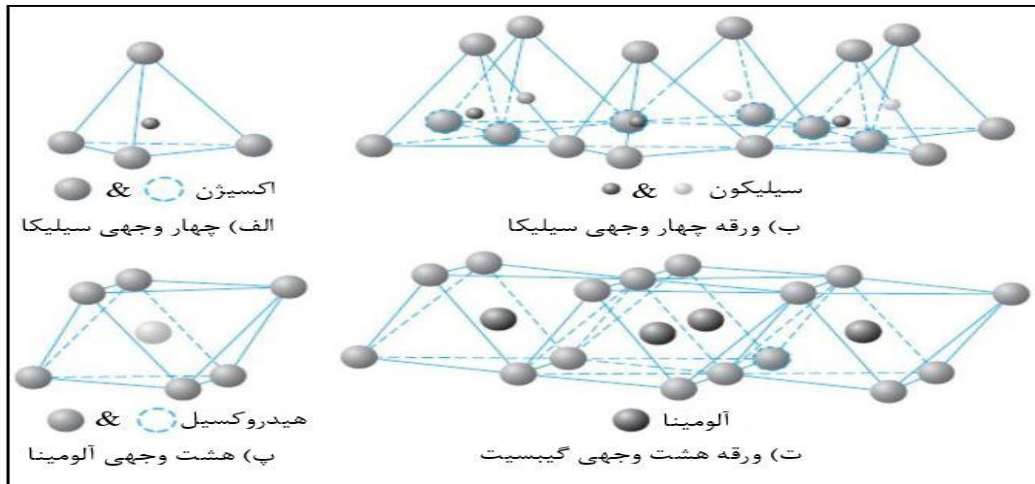
۲-۷-۵ ناخالصی‌های موجود

ایبان^{۱۶} (۱۹۹۵)، معتقد است که وجود گچ، انیدریت، ماسه، چرت، کوارتز و ناخالصی‌های دیگر در اغلب نقاط جهان خصوصیات ظاهری و مشخصات خاک‌های مارنی را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد و بدین دلیل است که این خاک‌ها دارای گستردگی بسیاری در مشخصات ظاهری، خصوصیات مهندسی و حتی در تعریف کلی هستند.

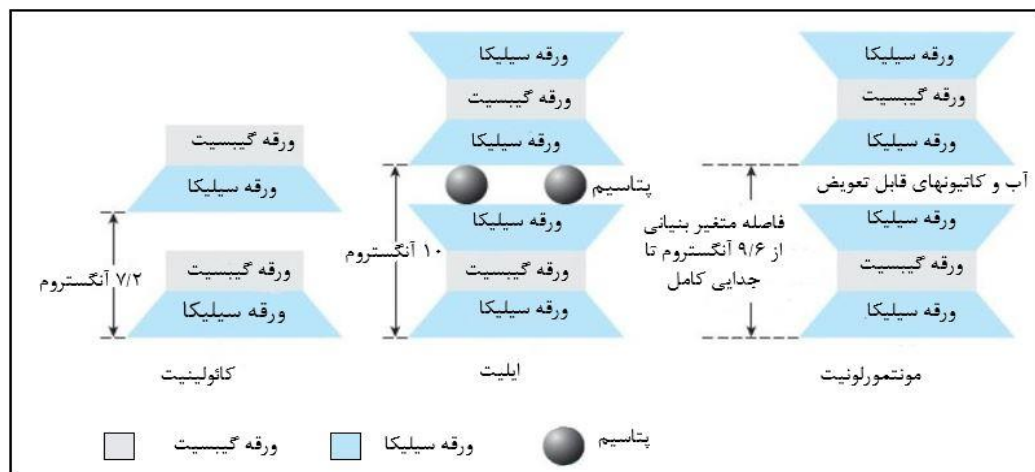
۲-۸ تعریف و ساختار شیمیایی کانی‌های رسی

کانی‌های رسی که یکی از اجزای مهم مارن‌ها هستند، از سیلیکات‌های آلومینیوم پیچیده‌ای می‌باشند که از دو واحد پایه چهار وجهی سیلیکا و هشت وجهی آلومینا تشکیل یافته‌اند. ترکیب واحدهای چهار وجهی سیلیکا تولید یک ورقه سیلیکا می‌کند. واحدهای هشت وجهی مرکب از شش اتم هیدروکسیل می‌باشند که یک اتم آلومینیوم را در برگرفته‌اند. ترکیب واحدهای هشت وجهی آلومینیوم هیدروکسیل تولید یک ورقه هشت وجهی می‌کند که این ورقه، ورقه گیبسیت نامیده می‌شود (شکل ۶-۲). گاهی مواقع در واحدهای هشت وجهی، اتم منیزیم جایگزین اتم آلومینیوم می‌گردد که در این حالت ورقه هشت وجهی، ورقه بروسیت نامیده می‌شود. کائولینیت از تکرار لایه‌هایی از ورقه‌های سیلیکا-گیبسیت تشکیل می‌یابد. ایلیت، مرکب از ورقه‌های گیبسیت می‌باشد که به دو ورقه‌ی سیلیکا، یکی در بالا و یکی در پایین متصل شده‌اند (شکل ۲-۷). لایه‌های ایلیت توسط یون‌های پتاسیم به یکدیگر متصل می‌شوند.

مونتموریلونیت دارای ساختمانی شبیه به ایلیت است. به عبارت دیگر یک ورقه گیبسیت بین دو ورقه سیلیکا قرار دارد (شکل ۲-۷).



شکل ۲-۶: چگونگی تشکیل یافتن ورقه های سیلیکا و گیبسیت در کانی رسی (داس، ۱۷، ۱۹۸۴)



شکل ۲-۷: ساختمان کانی های رسی از چپ به راست: کائولینیت، ایلیت، مونتموریلونیت (داس، ۱۹۸۴)

۹-۲ طبقه بندی زمین لغزش

زمین لغزش ها از دو جنبه علل و چگونگی وقوع مورد توجه قرار می گیرند و عموماً طبقه بندی های انجام گرفته بر روی زمین لغزش ها از این دو نگرش صورت می پذیرد (زابورا^{۱۸} و منسل^{۱۹}، ۱۹۸۲). در هر دو نگرش

17- Das
18- Zabura
19- Mencil

تلاش شده تا زمین لغزش‌ها در چند گروه طبقه‌بندی شوند. نگرش اول توسط هانچیسون^{۲۰} (۱۹۶۸) و اسکمپتون^{۲۱} (۱۹۶۹) مطرح شد، که بیشتر به مسئله پایداری وقوع زمین لغزش‌ها توجه داشت. در نگرش دوم که توسط وارنز^{۲۲} (۱۹۷۸) ارائه شد، بیشتر به نوع لغزش و پیچیدگی‌های بعد از حرکت توجه شده است.

هر طبقه‌بندی بر ویژگی‌های مشخصی در ارتباط با شناخت، اجتناب، کنترل، علاج بخشی و دیگر اهداف آن طبقه‌بندی تاکید دارند. در میان خصوصیات مختلفی که به عنوان معیارهای طبقه‌بندی و شناسایی حرکت‌های توده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است نوع حرکت، نوع مصالح، سرعت حرکت، شکل هندسی منطقه‌ی لغزشی، نهشته‌های حاصله، سن، میزان فعالیت، عوامل موثر، درجه‌ی بهم ریختگی توده جابه‌جا شده، رابطه یا عدم رابطه‌ی هندسی لغزش با ساختمان زمین شناسی، درجه توسعه و وضعیت فعالیت را می‌توان نام برد (پارسایی و علی‌محمدی، ۱۳۹۱).

طبقه‌بندی وارنز (۱۹۷۸)، یکی از متعارف‌ترین تقسیم‌بندی‌ها مورد استفاده‌ی محققین و مولفین در دهه‌ی اخیر می‌باشد که دو معیار اصلی به کار گرفته شده در این تقسیم‌بندی عبارتند از؛ ۱) ساز و کار و نوع حرکت ۲) نوع مواد جابه‌جا شده و نوع لغزش

کلیات این تقسیم‌بندی در جدول (۲-۵) ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود انواع مواد لغزشی به دو گروه اصلی سنگ و خاک مهندسی تقسیم‌بندی شده است. گروه خاک مهندسی خود به دو زیر گروه درشت‌دانه و ریزدانه تقسیم می‌شود. از نظر ساز و کار حرکت نیز زمین لغزش‌ها به شش گروه: ریزش، واژگونی، لغزش، گسترش جانبی، جریان و لغزش‌های پیچیده تقسیم می‌شوند. با توجه به مشاهدات صحرایی از لغزش‌های قدیمی رخ داده در منطقه مورد مطالعه مشخص شد لغزش‌های رخ داده در منطقه تلویین از نوع لغزش چرخشی می‌باشد، لذا در این پژوهش تنها به بیان لغزش‌های چرخشی پرداخته شده است.

20- Hatchinson
21- Skempton
22- Varnes

جدول ۲-۵: انواع گسیختگی‌های دامنه‌ای (وارنز، ۱۹۷۸)

| نوع مواد (قبل حرکت) | | | نوع حرکت | |
|--|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------|
| خاک از دید مهندسی | | سنگ بستر | | |
| خاک (غالباً ریزدانه) | واریزه (غالباً درشت دانه) | | | |
| ریزش خاکی | ریزش واریزه‌ای | ریزش سنگی | (۱) ریزش‌ها | |
| واژگونی خاکی | واژگونی واریزه‌ای | واژگونی سنگی | (۲) واژگونی‌ها | |
| لغزش چرخشی خاک | لغزش چرخشی واریزه‌ای | لغزش چرخشی سنگی | (۱-۳) چرخشی | (۳) لغزش‌ها |
| لغزش بلوک خاکی | لغزش واریزه‌ای | لغزش بلوک سنگی لغزش سنگی | (۲-۳) انتقالی | |
| گسترش بلوک خاک | گسترش جانبی واریزه‌ای | گسترش جانبی سنگ | (۴) گسترش جانبی | |
| جریان خاکی خزش خاک | جریان واریزه‌ای بهمن واریزه‌ای | جریان خرده سنگی خزش عمیق | (۵) جریان‌ها | |
| ترکیب دو یا چند از عوامل حرکت توده‌ای بالا | | | (۶) پیچیده | |

۲-۹-۱ لغزش‌ها (Slides)

لغزش‌ها در واقع نوعی از گسیختگی‌های دامنه‌ای هستند که در آن‌ها سطح گسیختگی به لحاظ هندسی قابل تعریف و مشخص است. از عوارض اولیه و مشهود این دسته از زمین لغزش‌ها وجود ترک‌های کششی است (شعاعی، ۱۳۹۵). ویژگی‌های توده متحرک و شکل سطح گسیختگی غالباً برای طبقه‌بندی لغزش‌ها به کار گرفته می‌شوند، بر این اساس لغزش‌ها به دو گروه لغزش انتقالی و چرخشی تقسیم‌بندی می‌شوند. در شکل (۲-۸) تصاویر مربوط به انواع لغزش‌ها آورده شده است.

۲-۹-۱-۱ لغزش چرخشی

معمولاً به حرکت آرام یک یا چند بلوک خاک یا سنگ یا مجموعه‌ای از هر دو در امتداد یک سطح گسیختگی دایره‌ای شکل اطلاق می‌گردد. رایج‌ترین گسیختگی در خاک می‌باشد که در آن گسیختگی

در راستای سطوحی منحنی و قاشقی شکل و دارای حداکثر تنش برشی اتفاق می‌افتد. این نوع لغزش‌ها بیشتر در دامنه‌های با شیب ۲۰ تا ۴۰ درجه رخ می‌دهند و نسبت عمق به طول سطح گسیختگی بین ۰/۳ تا ۰/۱ می‌باشد. سرعت حرکت آن‌ها از به شدت آهسته تا سریع می‌باشد. بارندگی شدید و مداوم یا ذوب برف که منجر به اشباع شدگی دامنه می‌شود، کاهش سریع آب رودخانه پس از سیلاب، بالآمدگی سطح آب زیرزمینی در نتیجه‌ی پر شدن مخزن سد یا افزایش سطح آب رودخانه‌ها که سبب فرسایش قانده‌ی دامنه‌ها می‌گردد، از عوامل مهم ایجاد این نوع زمین لغزش‌ها می‌باشد.

بر اساس موقعیت سطح گسیختگی نسبت به رویه‌ی شیروانی، این نوع زمین لغزش‌ها به سه نوع گسیختگی روی شیروانی، پای شیروانی و گسیختگی عمیق تقسیم بندی می‌گردند. همچنین این نوع زمین لغزش‌ها به سه تیپ زمین لغزش‌های چرخشی کم عمق، زمین لغزش‌های چرخشی مرکب و زمین لغزش‌های متوالی تقسیم بندی می‌گردند.

الف- لغزش‌های چرخشی کم عمق

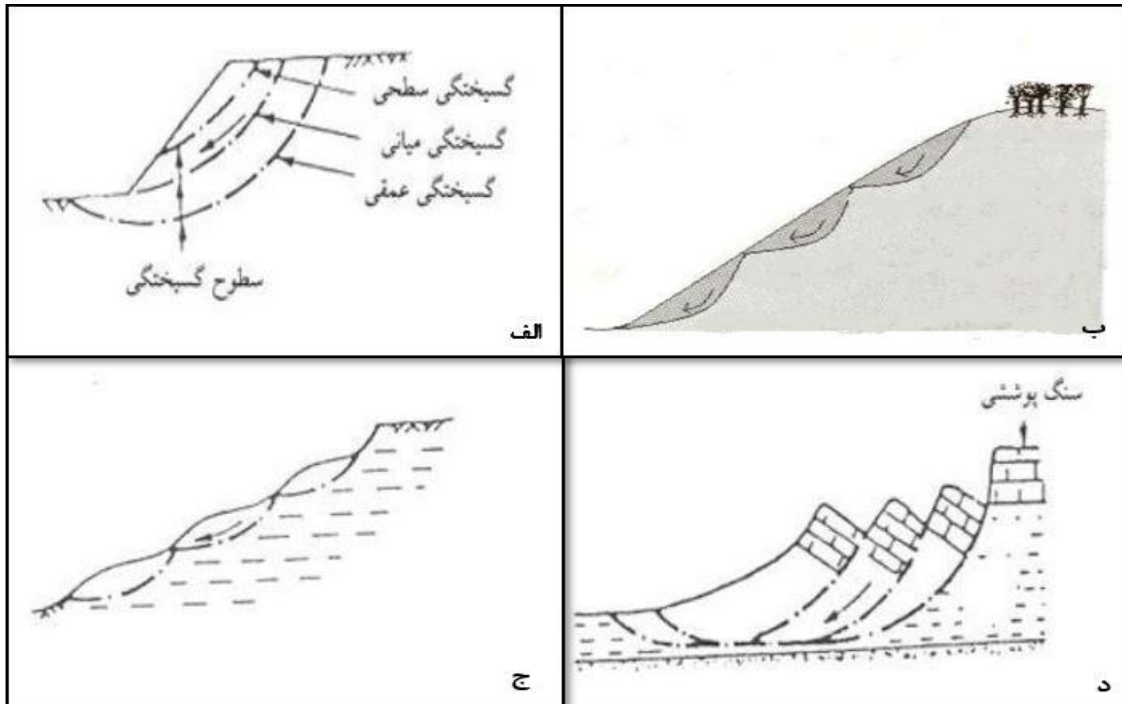
لغزش‌های چرخشی کم عمق در شیل‌های یکنواخت و رس‌ها و به طور کلی در طول سطوح گسیختگی مقعر بوقوع می‌پیوندند. این زمین لغزش‌ها دارای D/L بین ۰/۱۵ تا ۰/۳۳ هستند و این نسبت با ازدیاد زاویه شیب افزایش می‌یابد. همچنین آبی که به وسیله‌ی کج شدگی رو به عقب توده خاک لغزنده به دام افتاده ممکن است لغزش‌های ثانویه را فعال نماید.

ب- لغزش‌های چرخشی مرکب

لغزش‌های چرخشی مرکب به وسیله یک لغزش اولیه و اغلب منطقه‌ای، فعال می‌شوند. برطبق نظریه اسکمپتون و هانچیسون (۱۹۶۹) لغزش‌های چرخشی مرکب به صورت بسیار غالب در شیب‌های رسی پیش تحکیم یافته و بطور جدی فرسوده و در رس‌های شکافدار شده و یا شیب‌های رسی که بوسیله یک لایه خاک یا سنگ مناسب پوشیده شده‌اند، اتفاق می‌افتند.

ج- لغزش های متوالی

لغزش های متوالی بوسیله تعدادی لغزش های چرخشی کم عمق در شیب های رسی پیش تحکیم یافته شکافدار دیده می شوند. مشاهدات نشان دهنده آن است که این نوع گسیختگی ها در پای شیب آغاز شده و به سمت بالای شیب توسعه می یابند.



شکل ۲-۸: انواع لغزش چرخشی. الف) لغزش چرخشی بر اساس موقعیت سطح گسیختگی ب) لغزش چرخشی کم

عمق ج) لغزش چرخشی متوالی د) لغزش چرخشی مرکب (پارسایی و علیمحمدی، ۱۳۹۱)

۱۰-۲ مطالعات پیشین

بهره گیری از نتایج مطالعات پیشین جهت جمع آوری اطلاعات پایه و تطبیق نتایج به دست آمده به منظور ارائه ی مناسب ترین پیشنهادات از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. تحقیقات و بررسی ها پیرامون رخداد زمین لغزش در مصالح مارنی قدمت بسیاری داشته است اما در این نوشتار به بیان منابع سال های اخیر پرداخته شده است زیرا ماحصل تحقیقات اخیر با توجه به افزایش امکانات آزمایشگاهی از دقت بالاتری بهره مند می باشند.

۲-۱۰-۱ زمین لغزش‌های رخ داده در مارن‌ها در مقیاس جهانی

کریستاراس^{۲۳} (۱۹۹۷)، در پژوهشی عوامل مسبب رخداد زمین لغزش در شمال غربی یونان را نفوذ آب باران، ایجاد منطقه اشباع سطحی، هوازگی مارن‌ها و به دنبال آن فرورفتن بیشتر سازندهای مارنی در بستر ماسه سنگی معرفی نمود.

الحمود^{۲۴} و توبیله^{۲۵} (۱۹۹۸)، در مطالعه‌ای شکست عمده شیب را ناشی از لایه‌های چسبنده ضعیفی مانند مارن، خاک رس در سازندهای قوی‌تر و در زمانی که مقدار بارندگی از مجموع بارندگی سالانه بیشتر بوده است، نتیجه‌گیری نمودند.

زیر^{۲۶} و همکاران (۱۹۹۹)، بیشترین تعداد زمین لغزش‌های شمال منطقه لیسبون (پرتغال) را در مارن و سنگ آهک‌های مارنی کرتاسه و به دلیل دوره‌های طولانی مدت بارندگی که مسئول افزایش سطح آب زیرزمینی می‌باشد، گزارش دادند.

لوگینبل^{۲۷} و همکاران (۲۰۰۲)، کاهش مقاومت مارن‌ها در اثر فرآیند هوازگی و اشباع شدن طی دوره‌های بارندگی سنگین در توالی مارن، کنگلومرا، ماسه سنگ را به عنوان عامل زمین لغزش ملاس سوئیس بیان نمودند.

بونزا^{۲۸} (۲۰۰۲)، محتوای بالای رس در مارن‌ها را که زاویه اصطکاک داخلی، میزان چسبندگی و در نتیجه مقاومت برشی نسبت به رسوبات یخچالی کاهش می‌دهد، به عنوان عامل زمین لغزش در باواریان آلمانی نتیجه‌گیری نمود.

فریدمن^{۲۹} و همکاران (۲۰۰۷)، حضور لایه مارنی دارای پلاستیسته بالا و تاثیر عمده‌ی مقدار کربنات بر زاویه اصطکاک داخلی را عامل اصلی زمین لغزش در پروفیل‌های مارنی اسرائیل بیان نمودند.

23- Christaras
24- Al-Homoud
25- Tubeileh
26- Zêzere
27- Luginbuehl
28- Bunza
29- Frydman

دایمایو^{۳۰} و واسالو^{۳۱} (۲۰۱۱)، رخداد زمین لغزش در جنوب ایتالیا در سال ۱۹۹۸ را وجود مصالح رسی، بارندگی و عدم زهکشی مناسب در نهشته‌های رسی معرفی نمودند.

بورلی^{۳۲} و همکاران (۲۰۱۴)، خواص مکانیکی ضعیف مارن‌ها و افزایش فشار آب منفذی ناشی از بارندگی‌های مداوم قبل از رخداد لغزش را به عنوان مسبب زمین لغزش مایرتو در ایتالیا بیان نمودند. کریستاراس و همکاران (۲۰۱۴)، حضور لایه‌ی رسی با هسته‌ی اشباع نشده در بستر مارنی که سبب کاهش زهکشی دامنه و پارامترهای مقاومت برشی آن می‌شود را به عنوان مکانیسم رخداد زمین لغزش منطقه کپسالی در کشور یونان شرح دادند.

پرونتزوپولس^{۳۳} و همکاران (۲۰۱۴)، حضور رس‌های خیلی سخت و سازنده‌های رسی گراول‌دار در دامنه‌ی مارنی و سطح بالای آب زیرزمینی را از عوامل تحریک کننده‌ی و مسبب فعالیت مجدد زمین لغزش در شمال غربی یونان گزارش دادند.

ابوالماسوف^{۳۴} و همکاران (۲۰۱۵)، دلیل توسعه لغزش‌ها در مارن‌های نفوذ صربستان را فرسایش جانبی رودخانه در پنجه لغزش، بارش‌های شدید و ذوب ناگهانی برف بیان نمودند.

کومسار^{۳۵} و همکاران (۲۰۱۶)، توالی لایه‌های ماسه سنگ-مارن و افزایش سطح آب زیرزمینی در طول و بعد از فصول بارانی را به عنوان عوامل تسریع کننده رخداد زمین لغزش در منطقه گون‌دودو ترکیه بیان نمودند.

آماره^{۳۶} و همکاران (۲۰۱۸)، لایه‌ی مارن- شیل را عمدتاً مسئول لغزش منطقه‌ی ادیشو در شمال اتیوپی گزارش دادند، بدین ترتیب آب حاصل از نفوذ و تغذیه مجدد باعث اشباع و ایجاد فشار آب منفذی در این لایه و کاهش پارامترهای مقاومت برشی می‌شود.

30- Di Maio
31- Vassallo
32- Borrelli
33- Proutzopoulos
34- Abolmasov
35- Kumsar
36- Amare

هرن^{۳۷} و همکاران (۲۰۱۸)، تغییر حجم مارن نیکوزیا طی دوره‌های افزایش سطح آب زیرزمینی و همچنین بار اعمال شده از ساختمان‌های مسکونی از عوامل موثر در رخداد لغزش منطقه پیسوری قبرس معرفی کردند.

دسوداتو^{۳۸} و همکاران (۲۰۱۹)، لیتولوژی رسی-مارنی که دارای خواص مکانیکی ضعیف بوده به عنوان عامل اصلی آسیب ناشی از زمین لغزش به سازه‌ها در جنوب ایتالیا معرفی نمودند.

ال جزولی^{۳۹} و همکاران (۲۰۱۹)، با انجام مطالعات ژئوتکنیکی در حوضه رودخانه اووم رابیا در کشور مراکش، حضور شیب‌های تند حاوی مصالح رسی را که در اثر بارش‌های شدید به حد اشباع می‌رسند به عنوان عامل لغزش معرفی نمودند.

کاسترو^{۴۰} و همکاران (۲۰۲۰)، مسئول وقوع و تکامل بسیاری از زمین لغزش‌های جنوب شرق اسپانیا را برهم‌کنش آب‌های زیرزمینی و خاک مارنی-رسی (لایه‌ی رسی با پلاستیسیسه بالا) نتیجه‌گیری نمودند.

۲-۱۰-۲ زمین لغزش‌های رخ داده در مارن‌ها در مقیاس کشوری (ایران)

علیمحمدی و همکاران (۱۳۸۵)، حضور مواد آهکی بر روی سنگ بستر مارنی را در حوزه‌ی آبخیز رامیان در استان گلستان مخصوصاً در کنار رودخانه‌ها به علت شسته شدن پای شیب، به عنوان عامل مهم در وقوع زمین لغزش‌ها معرفی نمودند.

جعفری و همکاران (۱۳۸۷)، وجود لایه‌های رسی، مارنی و نفوذ آب‌های ناشی از آبیاری باغات و بارندگی را که سبب کاهش نیروی اصطکاک و مقاومت برشی مواد می‌شود، به عنوان عوامل لغزش حوضه زهکشی چناران معرفی نمودند.

37- Hearn
38- Del Soldato
39- El Jazouli
40- Castro

فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۸)، وجود مارن، نفوذ نزولات جوی و به دنبال آن افزایش وزن توده و کاهش مقاومت برشی خاک، ساخت و ساز در بالا دست دامنه را از عوامل اصلی لغزش دریاچه سد لتیان بیان نمودند.

صفایی و فتاحی بندپی (۱۳۸۸)، مهم‌ترین عامل استعداد لغزشی در منطقه ارزفون شهرستان ساری را به حضور مارن و کانی‌های رسی، بالا بودن تراز آب زیرزمینی و تغییر غیر اصولی کاربری زمین مرتبط دانستند.

رضانی گورابی و ابراهیمی (۱۳۸۸)، عوامل موثر در رخداد زمین لغزش حوضه آبخیز سد برنجستانک قائمشهر را ناشی از افزایش حد خمیری رسوبات رس و مارن موجود در دامنه‌های شمالی این حوضه به دلیل بهره‌گیری کمتر این دامنه‌ها از نور خورشید گزارش دادند.

احمدی (۱۳۹۰)، قرارگیری مساحت قابل توجهی از حوزه طالقان روی مارن‌های میوسن، ایجاد سد و دریاچه سد و به دنبال آن نفوذ رطوبت زیاد به داخل خاک اراضی حاشیه سد را به عنوان عامل مستعد کننده وقوع زمین لغزش در این حوزه برشمرد.

سرمدی سیفی و ادیب (۱۳۹۱)، وجود لایه‌های مارنی و تبخیری غیرقابل نفوذ، اقلیم نیمه مرطوب، وجود چشمه‌های متعدد در فرادست روستای قوزلو و همچنین پخش و نفوذ فاضلاب‌های روستا به داخل سازند مذکور را از عوامل موثر در وقوع زمین لغزش در این روستا دانستند.

محمدی واوسری و همکاران (۱۳۹۳)، رخداد بارندگی‌های کوتاه مدت با شدت بیشتر و همچنین زهکشی پایین در سنگ بستر مارنی و آهکی مارنی، خردشدگی و هوازدگی شدید سنگ بستر مارنی را از عوامل موثر در رخداد لغزش در حوضه‌ی آبریز رودخانه‌های تجن و نکارود برشمردند.

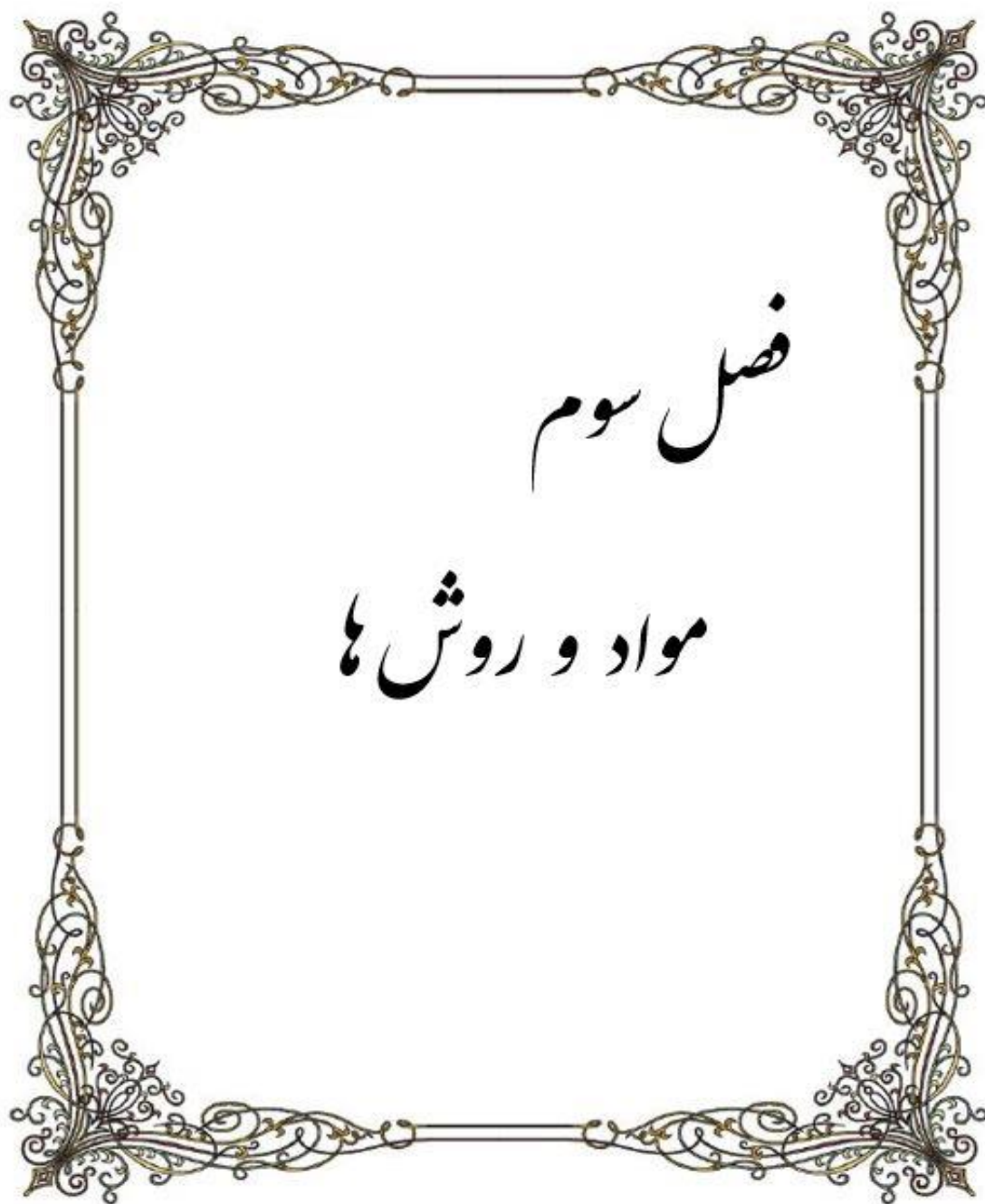
امامی و همکاران (۱۳۹۵)، سازندهای مارنی و مقدار فروان رس‌ها با خاصیت تورم پذیری بالا را به عنوان عوامل زمینه ساز، بارندگی‌های با شدت بالا به ویژه در ماه‌های اسفند و فروردین که افزایش درجه اشباع خاک و نهایتاً کاهش مقاومت برشی خاک را سبب شده است، به عنوان عامل اصلی شروع حرکت‌های توده‌ای در منطقه افسرآباد چهارمحال و بختیاری معرفی نمودند.

صفا مهر و همکاران (۱۳۹۶)، زمین لغزش نقل در منطقه پادنای سمیرم را بررسی کردند و اشباع شدن مصالح دامنه به خصوص مصالح مارنی را به عنوان عامل موثر در کاهش پارامترهای مقاومت مکانیکی و ناپایداری توده خاک معرفی نمودند.

نیکجو و همکاران (۱۳۹۶)، عوامل موثر در ناپایداری‌های دامنه‌ای رشته کوه بینالود را حضور ماسه سنگ و مارن مربوط به کرتاسه (معادل سازند شورپیجه) و ماسه سنگ و مارن (معادل سازند مزدوران) و همچنین میزان بارندگی بیشتر در این ناحیه، نتیجه گیری نمودند.

ستوهیان و همکاران (۱۳۹۸)، شیب زیاد، بارندگی فراوان، وفور خاک رسی و رسی-مارنی روی دامنه‌ها را به عنوان عوامل طبیعی موثر در وقوع زمین‌های لغزش‌های استان گیلان نتیجه گیری نمودند. طلایی و محمدعلیزاده (۱۳۹۹)، وجود خاک‌های رس‌دار با پتانسیل تورمی متوسط به بالا و نفوذ آب بارندگی به داخل این لایه‌ها (باعث تغییرات حجم خاک‌ها طی دوره‌های مرطوب و خشک) را به عنوان عامل گسیختگی دامنه‌های جنوب استان اردبیل را گزارش دادند.

فیض اله پور و مومی پور (۱۳۹۹)، مناطق مستعد زمین‌لغزش حوضه رودخانه سنگورچای را بررسی کردند. ساختارهای زمین شناسی شکل گرفته از مارن خاکستری در کنار منابع رطوبتی بالا را دلیل استعداد بالای ارتفاعات کوه‌های گنجگاه و اسلام آباد (در محدوده جنوب غربی حوضه) در رخداد زمین لغزش نتیجه گیری نمودند.



۱-۳ مقدمه

وقوع زمین لغزش در یک شیب نتیجه‌ی تغییر شرایط پایداری شیب و عوامل موثر بر این ناپایداری است که در فصل دوم به طور مفصل بدان پرداخته شد. با توجه به موقعیت منطقه تلوبین بر روی نقشه‌ی اراضی شهرستان میامی (شکل ۱-۱۳)، این منطقه در یک پهنه‌ی کوهستانی قرار دارد و بیشتر سازندهای منطقه را رسوبات مارنی، آهکی و کنگلومرایی تشکیل داده‌اند (شکل ۱-۱۰). با در نظر گرفتن این دو ویژگی که منطقه مورد مطالعه در یک پهنه کوهستانی با بارندگی بالای ۲۰۰ میلی متر واقع شده است و با تطبیق این منطقه بر روی نقشه‌ی مخاطرات طبیعی شهرستان میامی، مشخص می‌شود که روستای تلوبین در یک پهنه‌ی لغزشی با خطر لغزش متوسط قرار گرفته است (شکل ۲-۳). به منظور کاهش خطر یک پدیده‌ی خطر آفرین مانند زمین لغزش، می‌بایستی در ابتدا شناخت کامل و درستی از مکانیسم رخداد آن پدیده و پارامترهای موثر بر رخداد آن خطر، به دست آورد. لذا لازم است یک مطالعه جامع و سیستماتیک صورت پذیرد. مطالعه‌ی اصولی پدیده‌ی زمین لغزش نیاز به فاز مطالعاتی مختلفی نظیر مطالعه‌ی کتابخانه‌ای و جمع آوری و تحلیل اطلاعات موجود، مطالعات صحرایی مانند بررسی زمین شناسی، نمونه گیری دست خورده و دست نخورده و انجام آزمون‌های برجا، مطالعات آزمایشگاهی شامل انجام آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی مورد نیاز، تحلیل نرم افزار و نهایتاً جمع بندی و تحلیل نتایج می‌باشد.

۲-۳ مطالعات کتابخانه‌ای

در این پژوهش مطالعات کتابخانه‌ای شامل جمع آوری اطلاعات از کتاب‌ها، مقالات، پایان‌نامه‌ها و سازمان‌ها (اداره کل هواشناسی استان سمنان) در زمینه‌ی رخداد زمین لغزش و عوامل موثر بر آن، خصوصیات فیزیکی مکانیکی مارن‌ها و رس‌ها، انواع حرکات توده‌ای محتمل و مکانیسم رخداد زمین لغزش در این نوع مصالح خاکی و مطالعات انجام گرفته در منطقه تلوبین که در گذشته بدان پرداخته

شده، می‌باشد. برای مطالعات لیتولوژی، چینه‌شناسی و تکتونیک منطقه از نقشه‌ی زمین‌شناسی دوزین با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سلامتی، ۲۰۰۱)، نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ کوه کورخود (سهیلی، ۱۳۵۷)، نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ جاجرم (افتخارنژاد و آقابات، ۱۹۹۲) استفاده شده است.

۱-۲-۳ تحلیل وضعیت توپوگرافی

با توجه به اهمیت توپوگرافی و مشخصات هندسی شیب، اقدام به ترسیم نقشه‌ی توپوگرافی گردید. جهت ترسیم نقشه‌ی توپوگرافی منطقه تلوبین به لایه مدل ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه احتیاج می‌باشد. بدین منظور از مدل‌های رقومی ارتفاعی ۳۰ متری تهیه شده از سایت USGS و نرم افزار Arc GIS 10.8 استفاده گردید. چون لایه‌ی رقومی ارتفاعی ۳۰ متری بخش وسیعی از مناطق را شامل می‌شود، بعد از فراخوانی فایل DEM مورد نظر در محیط Arc map از اصول تعیین حوضه‌ها و ابزار Arc Toolbox بهره‌گیری شد. و در نهایت با استفاده از ابزار Spatial Analyst و از طریق اجرای دستور Contour خطوط منحنی میزان بر روی لایه‌ی DEM منطقه تلوبین ایجاد گردید. به منظور بررسی وضعیت توپوگرافی روستای تلوبین و ناحیه‌ی مسکونی نیز نرم افزارهای Google و Global Mapper و Earth به کار گرفته شد.

۲-۲-۳ تحلیل وضعیت شیب و جهت شیب

همانطور که در بخش ۱-۴-۲ گفته شد، شیب و جهت شیب دامنه از عوامل تاثیر گذار بر رخداد زمین لغزش می‌باشند. نقشه‌ی شیب و جهت شیب به ترتیب با اعمال دستور Slope و Aspect بر روی لایه ارتفاعی رقومی منطقه تلوبین ایجاد گردیدند.

۳-۲-۳ تحلیل اطلاعات اقلیمی و هیدرولوژی

با توجه به اهمیت بارش بر روی رخداد زمین لغزش و به خصوص در مصالحی که حاوی رس هستند،

نمودار تغییرات ماهانه‌ی بارندگی بر روی دو بازه سال ۹۰-۹۷ و سال ۹۷ ترسیم گردید که میزان تاثیر بارندگی بر رخداد لغزش در روستای تلوبین ارزیابی گردد. به منظور ایجاد نقشه‌ی حوضه‌ی آبریز منطقه تلوبین از لایه‌ی رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه تلوبین و ابزار Arc Toolbox در نرم افزار Arc GIS 10.8 استفاده به عمل آمد.

۳-۳ مطالعات صحرائی

۳-۳-۱ اندازه گیری مشخصات هندسی محل لغزش

در طی مطالعات صحرائی موقعیت خانه‌ها، زمین‌های لغزیده و ترک‌های کششی در محل زمین لغزش توسط GPS ثبت گردید. نیمرخ زمین لغزش در جناحین چپ و راست توسط متر و با استفاده از شاخص‌گذاری اندازه گیری شد و به منظور ترسیم نیمرخ طولی و بررسی سطح لغزش بحرانی به کار گرفته شد. در ادامه موقعیت نقاط برداشت به منظور بررسی شکل هندسی و الگوی پراکندگی آن‌ها بر روی نرم افزار گوگل ارث پیاده شد. شیب بخش لغزیده در هر فروافتادگی و محل تغییر شیب توسط کمپاس اندازه گیری و ثبت گردید. جهت ارائه مدل زمین لغزش رخ داده این اطلاعات در نرم افزار Slide 6.020 مورد استفاده قرار گرفت.

۳-۳-۲ نمونه برداری از محل زمین لغزش

طبق مطالعات انجام گرفته و مشاهدات صحرائی از منطقه مورد مطالعه، مشخص شد رطوبت و چسبندگی مصالح بالا می‌باشد. نمونه‌گیری از سه تیپ مصالح شناسایی شده در منطقه شامل مارن، مارن هوازده، خاک زراعی به دو روش دست خورده و دست نخورده انجام گرفت. آزمایش‌های دانه‌بندی، هیدرومتری، حدود ات‌برگ، پراش پرتو ایکس و کلیسیمتری بر روی نمونه خاک‌های دست خورده و آزمایشات برش مستقیم و مقاومت تراکمی تک محوری بر

روی نمونه‌های دست نخورده انجام گرفت. برای نمونه‌گیری به روش دست نخورده، جهت انجام آزمایش برش مستقیم، مطابق با قالب دستگاه آزمایش از قالبی به ابعاد تقریبی $10 \times 10 \times 4/5$ سانتی متر و به منظور انجام آزمون مقاومت تراکمی تک محوری از نمونه‌های استوانه‌ای جمع‌آوری شده توسط لوله پلاستیکی که نسبت قطر به طول به آن تقریباً دو برابر می‌باشد، استفاده گردید. به دلیل عدم تراکم ناشی از شخم زدن در نمونه تیپ ۱ امکان انجام نمونه‌برداری دست نخورده فراهم نشد، با توجه به مقدار دانسیته‌ی اندازه‌گیری شده در آزمایش دانسیته نسبی نمونه‌های مربوط به تیپ ۱ در آزمایشگاه ریمولد گردیدند. پس از جمع‌آوری جهت حفظ رطوبت و جلوگیری از بهم ریختگی در ساختمان خاک نمونه‌های دست نخورده، این نمونه‌ها توسط نایلکس و چسب نواری پهن مهر و موم گردیدند. تعداد ۲۷ نمونه جهت آزمایشات برش مستقیم، ۱۲ نمونه جهت آزمون مقاومت تراکمی تک محوری و ۶ نمونه به روش دست خورده جهت انجام سایر آزمون‌ها در فرآیند نمونه‌برداری تهیه گردید. موقعیت نقاط نمونه برداری در شکل (۳-۱) و جدول (۳-۱) آورده شده است. در شکل (۳-۲) تصویری از تهیه نمونه‌های دست نخورده در محل زمین لغزش توسط قالب‌های مخصوص و نمونه‌های مهر و موم شده نشان داده شده است.

جدول ۳-۱: موقعیت جغرافیایی نمونه‌های برداشت شده

| شماره نمونه | طول جغرافیایی (X) | عرض جغرافیایی (Y) |
|-------------|-------------------|-------------------|
| ۱ | 55°38.00'6.00"E | 37°3.00'N |
| ۲ | 55°38.00'6.00"E | 37°3.00'N |
| ۳ | 55°38.00'5.00"E | 37°2.00'59.00"N |
| ۴ | 55°38.00'3.00"E | 37°2.00'58.00"N |
| ۵ | 55°38.00'6.00"E | 37°2.00'56.00"N |
| ۶ | 55°38.00'5.00"E | 37°2.00'57.00"N |



شکل ۳-۱: موقعیت نقاط نمونه برداری بر روی تصویر گوگل ارث روستای تلوبین



شکل ۳-۲: تهیه نمونه‌های دست نخورده در محل زمین لغزش توسط قالب مخصوص و مهر و موم آن‌ها

۳-۴ مطالعات آزمایشگاهی

آزمایشات خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک شامل دانه‌بندی و هیدرومتری، درصد رطوبت، تعیین حدود اتربرگ (حدروانی و حد خمیری)، مقاومت تراکمی تک محوری و برش مستقیم می‌باشد. جهت شناسایی ترکیب شیمیایی و اجزای خاک از آنالیز طیف سنجی پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی (SEM) و آزمایش کلسیمتری استفاده و تمام آزمایش‌ها بر اساس استاندارد ASTM انجام گردید.

جدول ۳-۲: آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های برداشت شده روستای تلوبین

| ردیف | نوع آزمایش | تعداد نمونه | ردیف | نوع آزمایش | تعداد نمونه |
|------|---------------------------|-------------|------|------------------------|-------------|
| ۱ | تعیین وزن مخصوص خاک | ۳ | ۵ | مقاومت تراکمی تک محوری | ۱۲ |
| ۲ | حدود اتربرگ | ۱۲ | ۶ | برش مستقیم | ۲۷ |
| ۳ | دانه بندی الک و هیدرومتری | ۳ | ۷ | XRD | ۶ |
| ۴ | کلسیمتری | ۳ | ۸ | SEM | ۲ |

۳-۴-۱ تعیین مشخصات فیزیکی خاک

۳-۴-۱-۱ وزن مخصوص خاک

وزن مخصوص ویژه یا Gs عبارت است از نسبت وزن حقیقی حجم مشخصی از ذرات خاک به وزن حقیقی همان حجم آب مقطر در دمای ۴ درجه سانتیگراد که اغلب برای ارتباط وزن و حجم خاک به کار می‌رود. این آزمایش به روش استاندارد ASTM D 854-87 انجام شده و نتایج آن در محاسبات هیدرومتری مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۳-۳: آزمایش تعیین وزن مخصوص خاک

۳-۴-۱-۲ درصد رطوبت

درصد رطوبت در بسیاری از موارد یکی از مهم‌ترین پارامترهای شاخص در روابط همبستگی خاک است. در خاک‌های ریزدانه و چسبنده سفتی خاک تابعی از درصد رطوبت آن است. درصد رطوبت نمونه‌های خاک مارنی طبق استاندارد ASTM D2216 انجام شده است. بعد از اتمام عملیات آزمایش‌های حدود

اتربرگ، مقاومت تک تراکمی محوری و برش مستقیم درصد رطوبت نمونه‌های به کار گرفته تعیین شد. بر این اساس، مقدار مشخصی از نمونه مرطوب را که مورد آزمایش قرار گرفته برداشته و سپس وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری شده و برای خشک کردن، نمونه‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار داده شد. سپس از اختلاف وزن خشک و تر نمونه‌ها بر حسب درصد، جدول تعیین درصد رطوبت تهیه شد.

۳-۴-۱-۳ دانه بندی مکانیکی خاک

خاک‌ها مخلوطی از ذرات با اندازه‌های مختلف هستند که اندازه گیری تک تک ذرات امکان پذیر نیست لذا توسط الک‌ها تعدادی بازه‌ی اندازه تعیین می‌شود. برای جداسازی بخش درشت دانه خاک (ذرات بزرگتر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر) و توزیع اندازه آن‌ها بر حسب درصدی از وزن کل خاک، آزمایش دانه بندی به روش خشک بر اساس استاندارد ASTM D 422-87 انجام شد. شماره الک‌های استفاده شده در این آزمایش ۳/۸، ۴، ۱۰، ۴۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ مش می‌باشد. به منظور جداسازی ذرات درشت دانه از بخش ریزدانه خاک از وسیله شیکر دانه‌بندی استفاده شد (شکل ۳-۴). لازم به ذکر است با توجه به درصد بالای بخش ریزدانه در اکثر نمونه‌های خاک، از روش تر و شستشوی خاک بر روی الک‌ها استفاده گردید. از نتایج این آزمون جهت رده‌بندی مهندسی یونیفاید خاک استفاده گردید. به منظور انجام این آزمایش از هر سه نوع خاک شناسایی شده در محل زمین لغزش، یک نمونه به عنوان نماینده‌ای برای هر یک از سه تیپ خاک، مورد آزمایش قرار گرفت.

با توجه به عدم امکان تفکیک ذرات ریزتر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر نمونه‌های خاک به روش الک از آزمون هیدرومتری که بر پایه‌ی اصول ته نشینی دانه‌های خاک در آب بنا شده است، استفاده گردید. آزمایش مذکور به روش استاندارد ASTM D421-58 & D422-63 انجام شد و نتایج حاصل از آن با تلفیق نتایج دانه‌بندی مکانیکی خاک به منظور ترسیم منحنی دانه‌بندی و تعیین کلاس مهندسی خاک به کار گرفته شد. در شکل (۳-۵)، آزمایش هیدرومتری بر روی نمونه‌های معرف از هر تیپ خاک شناسایی شده در

محل زمین لغزش و ۵۰ گرم از رسوبات دانه ریز باقی مانده در تشتک در روش دانه‌بندی خشک که برای انجام آزمایش هیدرومتری مورد استفاده قرار گرفته است، نشان داده شده است.



شکل ۳-۴: مراحل آزمایش دانه‌بندی مکانیکی خاک



شکل ۳-۵: نمونه‌های معرف هر تیپ خاک در روستای تلوبین در حال ته نشینی

۳-۴-۱-۴ حدود اتربرگ

برای تعیین حدود اتربرگ نمونه‌های خاک روستای تلوبین از آزمایش تعیین حد روانی خاک مطابق با استاندارد ASTM D423-66 و آزمایش تعیین حد خمیری بر اساس استاندارد ASTM D423-59 استفاده شده است. این آزمایش‌ها به منظور بررسی تغییر رفتار خاک‌ها به علت افزایش رطوبت و

همچنین تعیین رده‌ی مهندسی خاک‌های ریزدانه و یا خاک‌های دارای مخلوطی از ذرات درشت‌دانه و ریزدانه انجام می‌شود. حد روانی، درصد رطوبتی است که در آن مخلوط آب و خاک از حالت خمیری به حالت مایع در می‌آید و برابر است با درصد رطوبتی که لبه شیار ایجاد شده با ۲۵ ضربه به اندازه‌ی ۱۲/۷ میلی‌متر بسته شود. حد خمیری، درصد رطوبتی است که در آن یک خاک چسبنده از حالت خمیری به حالت نیمه جامد تغییر می‌کند و برابر است با درصد رطوبتی که فیتیله‌های خاکی استاندارد ایجاد شده در آن درصد رطوبت شروع به ترک خوردن نمایند (شکل ۳-۶). در پایان هر آزمایش نیز درصد رطوبت را تعیین می‌کنیم (شکل ۳-۷). با داشتن این دو شاخص می‌توان شاخص خمیری خاک را که برابر با حاصل تفاضل حد روانی و حد خمیری است، به دست آورد. این شاخص یکی از شاخص‌های اصلی مورد استفاده در رده‌بندی یونیفاید خاک است.



شکل ۳-۶: آزمایش تعیین حدود اتربرگ



شکل ۳-۷: تعیین درصد رطوبت نمونه‌ها در آزمایش حدود اتربرگ

۵-۳ شناسایی اجزای خاک

۱-۵-۳ آنالیز طیف سنجی پراش پرتو ایکس (XRD)

هدف از آنالیز XRD استفاده از آن به عنوان مکملی برای بررسی دقیق تر ترکیب کانی شناسی به همراه مقاطع نازک میکروسکوپی است. با توجه به اینکه امکان مطالعه میکروسکوپی توسط مقطع نازک فراهم نگردید، لذا جهت مطالعات کانی شناسی و به ویژه برای شناسایی کانی های رسی از آنالیز طیف سنجی پراش پرتو ایکس (XRD) استفاده شد. برای آماده سازی ابتدا نمونه ها درون هاون کوبیده و خرد شده و از الک نمره ۲۰۰ عبور داده شد. سپس جهت حذف کربنات، نمونه ها توسط اسید استیک (CH_3COOH) و استات سدیم (CH_3COONa) هضم گردید. بعد از اینکه گاز دی اکسید کربن طی این مرحله به طور کامل از نمونه ها خارج شد و در نمونه ها عمل جوشش مشاهده نشد، نمونه ها را خشک کرده و به صورت پودری درون ظرف های مخصوص جهت انجام آزمایش توسط دستگاه قرار داده شد (شکل ۳-۹). نتیجه ی حاصل از آزمایش یک فایل ASCII است که داده های خام در آن قرار دارد. این داده ها در نرم افزارهای مناسب بصورت نمودار ترسیم می گردد. که در یک محور، فاصله شبکه ای و یا زاویه بین اشعه تابش و در محور دیگر، شدت بازتابش قرار دارد. در آخر پیک عناصر موجود در نمودار ترسیم شده توسط نرم افزار X'Pert HighScore Plus تفسیر و ارائه گردید.



شکل ۳-۸: تهیه ی محلول جهت حذف کربنات و خروج گاز دی اکسید کربن

۳-۵-۲ آنالیز میکروسکوپ الکترونی (SEM)

برای اطمینان از نتایج آنالیز XRD و مطالعه‌ی دقیق تر اجزای رسی خاک از آنالیز میکروسکوپ الکترونی استفاده شد. دو عدد نمونه‌ی سنگ مارن برای انجام این آنالیز به کار گرفته شد و مطابق با روش‌های استاندارد آماده سازی در آزمایشگاه مهندسی مواد و آزمایشگاه مهندسی شیمی دانشگاه CSU چین مورد آزمایش قرار گرفت.

۳-۵-۳ آزمایش کلسیمتری

ویژگی‌هایی مانند حدود آتبرگ و مقاومت تک محوری مارن‌ها در ارتباط با میزان کربنات کلسیم در آن‌ها می‌باشد. به منظور اندازه‌گیری میزان کربنات کلسیم در نمونه‌های منطقه مورد مطالعه دو روش تیتراسیون و وزنی به کار گرفته شد که در ادامه به توضیح هر یک از روش‌ها پرداخته خواهد شد.

الف- روش تیتراسیون

در روش تیتراسیون از محلول اسید کلریدریک یک نرمال و محلول سود یک نرمال استفاده گردید. ابتدا یک گرم از نمونه‌ی رسوب پودر شده (اندازه ذرات $5/0 <$) در یک بشر ۲۰ سی سی با اسید کلریدریک به آرامی واکنش داده و پس از خاتمه‌ی جوشش، چند قطره معرف فنول فتالین به محلول اضافه گردید. سپس بورت را با محلول سود ۱ نرمال پر کرده و به آرامی به محلول اضافه کرده تا اسید باقی‌مانده در بشر با باز (NaOH) تیترا شود. به محض مشاهده‌ی رنگ ارغوانی شیر بورت را بسته و حجم باز مصرفی را یادداشت می‌کنیم (شکل ۳-۹). بر اساس میزان باز مصرفی شده برای تیتراسیون، حجم اسید باقی‌مانده پس از واکنش با استفاده از رابطه (۳-۱) محاسبه می‌شود. به این دلیل که حجم باز مصرفی برابر است با حجم اسید باقی‌مانده مطابق با رابطه (۳-۲) حجم اسید مصرفی محاسبه شده و با جای گذاری این مقدار در رابطه (۳-۳) میزان کربنات کلسیم نمونه‌ها محاسبه گردید.

$$N_1V_1 = N_2V_2 \quad \text{رابطه (۱-۳)}$$

حجم اسید باقی مانده - حجم اولیه ی اسید = حجم مصرفی رابطه (۲-۳)

$$\% \text{CaCO}_3 = \frac{\text{حجم اسید مصرفی}}{20} \times 100 \quad \text{رابطه (۳-۳)}$$

ب- روش وزنی

۱ گرم رسوب پودر شده را داخل بشر ۲۰ سی سی ریخته و مقدار مشخصی اسید کلریدریک ۱ نرمال به آن اضافه کرده و محلول را به هم میزنیم تا حبابهای گاز دی اکسید کربن از آن خارج شود. اضافه کردن اسید و همزدن محلول را تا زمانی که جوششی در محلول مشاهده نشود ادامه می دهیم. پس از اتمام واکنش، یک کاغذ صافی را وزن کرده و از آن برای جدا کردن مواد باقی مانده در بشر استفاده می کنیم (شکل ۳-۱۰). پس از خشک شدن کاغذ صافی درصد خلوص کربنات کلسیم نمونه از رابطه (۳-۴) محاسبه می شود. برای اطمینان بیشتر از داده های به دست آمده در روش وزنی و به سبب بالا بودن میزان کربنات کلسیم در برخی از نمونه ها آزمایش را با مقدار ۵۰ گرم رسوب پودر شده مجدد تکرار کردیم. در رابطه (۳-۴)، W وزن نمونه ها روی کاغذ صافی، W_1 وزن اولیه نمونه ها می باشد.

$$\text{CaCO}_3 = \frac{W - W_1}{W} \times 100 \quad \text{رابطه (۳-۴)}$$



شکل ۳-۹: تیتراسیون نمونه خاک توسط اسید کلریدریک و سود یک نرمال



شکل ۳-۱۰: اندازه‌گیری میزان کربنات کلسیم به روش وزنی با مقدار رسوب اولیه ۵۰ گرم

۳-۶ تعیین مشخصات مکانیکی

۳-۶-۱ آزمایش برش مستقیم

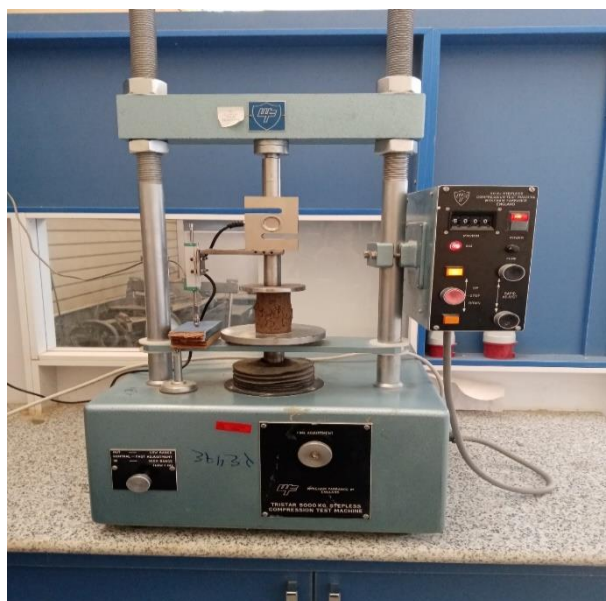
برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک از آزمایش برش مستقیم استفاده می‌شود. مقاومت برشی توده خاک، مقاومت داخلی واحد سطح آن خاک است که می‌تواند برای مقابله با گسیختگی یا لغزش در امتداد هر صفحه داخلی بروز دهد. در این آزمایش با حرکت دادن نیمه‌ی بالایی یک جعبه محتوی نمونه دست نخورده نسبت به نیمه‌ی پایینی آن، نمونه داخل جعبه را تحت تنش برشی قرار گرفته تا در امتداد صفحه برش گسیخته شود. آزمایش برش مستقیم با قالب متوسط (۱۰×۱۰×۴/۵) طبق استاندارد ASTM D 3080-90 بر روی ۲۷ نمونه خاک تحت بارگذاری با وزنه‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ کیلوگرمی در درصد رطوبت‌های مختلف انجام گرفت. سپس با رسم نمودارهای تنش قائم-مقاومت برشی حداکثر به‌وسیله‌ی مقادیر بدست آمده از آزمایش برش مستقیم، میزان زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نمونه خاک‌ها تعیین شد. در شکل (۳-۱۱) نمایی از دستگاه برش مستقیم مورد استفاده در این پژوهش نمایش داده شده است.



شکل ۳-۱۱: نمایی از دستگاه برش مستقیم در حین انجام آزمایش و برش نمونه

۳-۶-۲ آزمایش مقاومت تراکمی تک محوری

در این آزمایش نمونه در جهت محوری تحت بارگزاری قرار گرفته تا گسیختگی برشی در آن ظاهر گردد. لحظه‌ی گسیختگی به صورت ایجاد افت در مقدار بار قائم مشخص شده و در این لحظه صفحه گسیختگی ظاهر می‌شود. آزمایش مقاومت تراکمی تک محوری، علاوه بر تعیین مقاومت تراکمی تک محوری، برای تعیین مقاومت برشی با استفاده از دایره موهر-کلمب و استخراج مدول الاستیسته از روی منحنی تنش- کرنش، استفاده می‌گردد. مقاومت تراکمی تک محوری نمونه‌های خاک بر روی ۱۲ نمونه استوانه‌ای اخذ شده از محل زمین لغزش مطابق با استاندارد ASTM D216-87، در درصد رطوبت‌های متفاوت و به صورت کرنش کنترل مورد آزمایش قرار گرفت. برای انجام آزمایش نمونه مورد نظر را بر روی جایگاه دستگاه قرار داده و پس از زدن دکمه‌ی شروع دستگاه، بارهای مکانیکی توسط فک دستگاه به نمونه وارد شده و مقدار جابه‌جایی قائم توسط دیتالاگر متصل به دستگاه ثبت می‌شود. آزمایش را تا لحظه‌ای ادامه می‌دهیم که نمونه دچار گسیختگی شود. شکل (۳-۱۲) دستگاه مقاومت تراکمی تک محوری در حین بارگزاری را نشان می‌دهد.



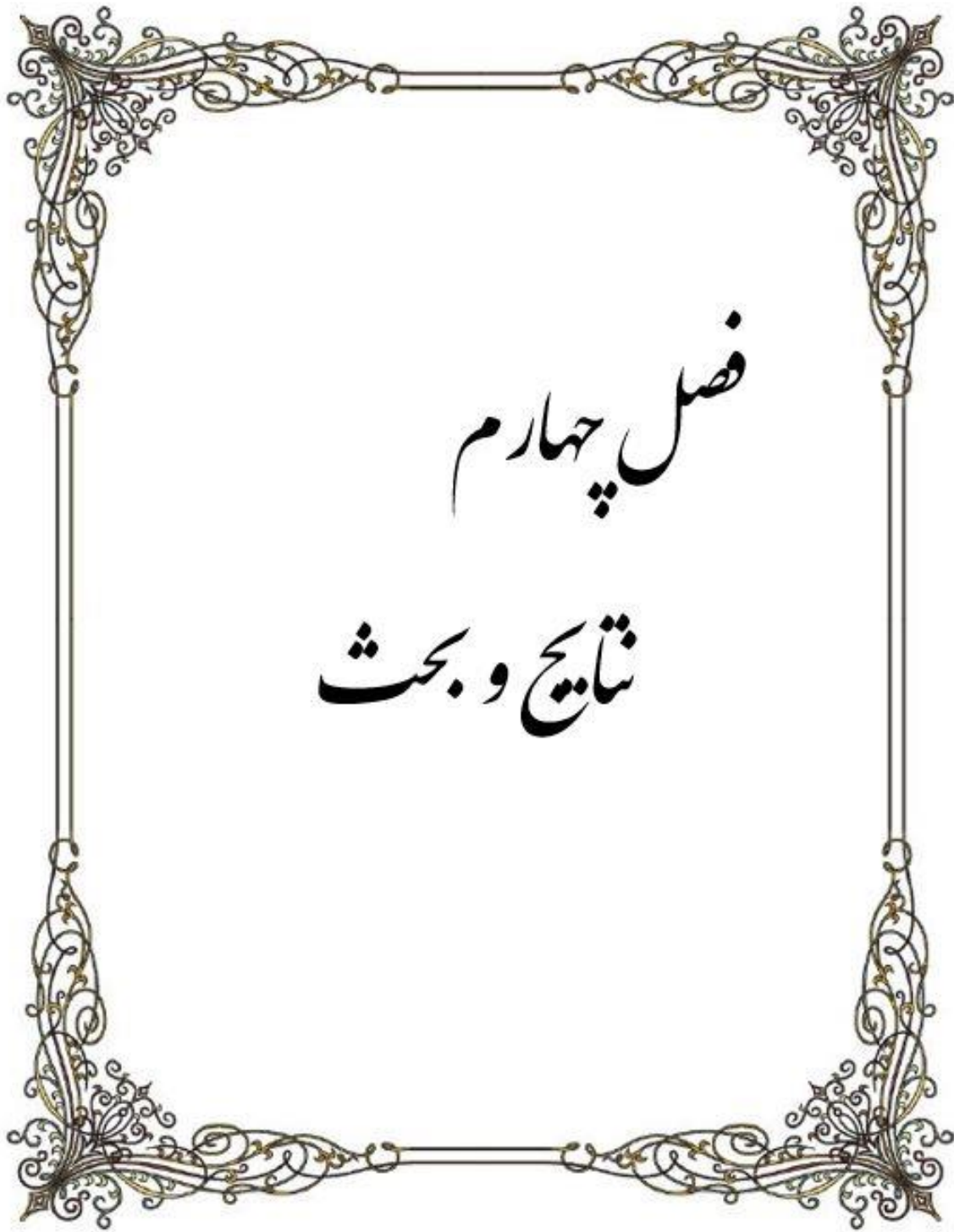
شکل ۳-۱۲: دستگاه مقاومت تراکمی تک محوری در حین بارگذاری و انجام آزمایش

۷-۳ ارزیابی و تحلیل پایداری شیروانی های خاکی

استفاده از نرم افزارهای با مبنای عددی یا نرم افزارهای با مبنای تعادل حدی کاربرد وسیعی داشته و چرا که قادر به آنالیز حساسیت بوده و می توان به راحتی تاثیر پارامترهای مختلف را بر روی زمین لغزش ارزیابی نمود. نتایج تحلیل پایداری با استفاده از نرم افزارها علاوه بر نشان دادن موقعیت سطح لغزش بحرانی، اطلاعاتی نیز در ارتباط با وضعیت پایداری و مقدار ضریب اطمینان داده و می توان عملکرد روش های بهسازی را مورد ارزیابی قرار داد.

۳-۷-۱ نرم افزار slide6.20

جهت تحلیل پایداری شیب های خاکی منطقه که زمین لغزش در آنها رخ داده است، از نرم افزار Slide استفاده به عمل آمده است. در نرم افزار مذکور با استفاده از داده های بدست آمده از برداشت های صحرایی هندسه ی شیروانی های مورد نظر ترسیم گردید. سپس با استفاده پارامترهای مقاومت برشی بدست آمده از نتایج آزمون های آزمایشگاهی انجام گرفته بر روی نمونه های خاک، سطح لغزش احتمالی و ضرایب اطمینان شیب ها تعیین و محاسبه گردیده است.



فصل چهارم

نتایج و بحث

۱-۴ مقدمه

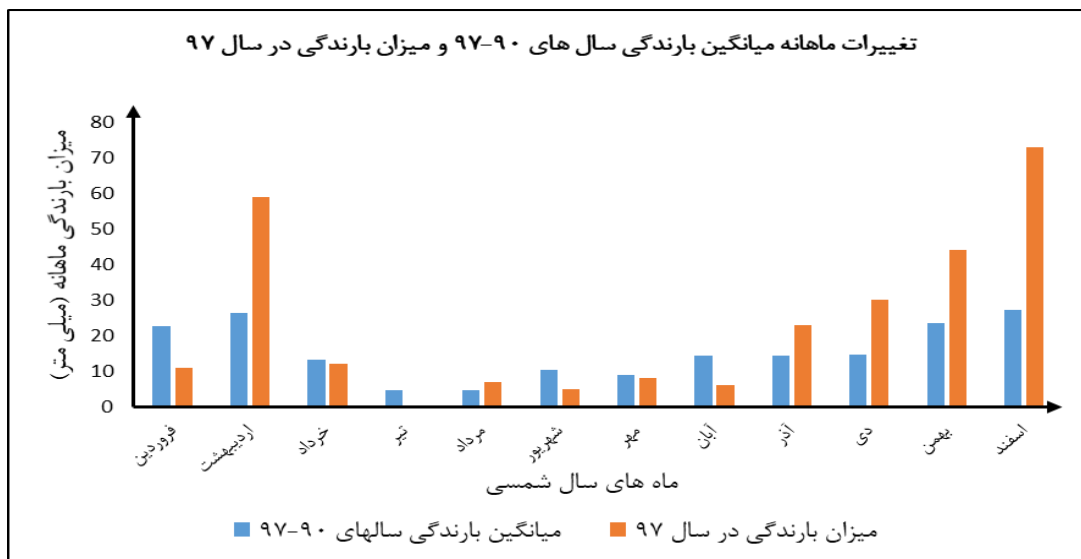
همانطور که در فصل قبل اشاره گردید این پژوهش در راستای بررسی مکانیسم رخداد زمین لغزش در روستای تلوبین انجام گردیده است. در این فصل نتایج مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی عنوان شده در فصل سوم مورد بحث و نتیجه‌گیری قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج حاصل از وضعیت اقلیمی و بارندگی، پارامترهای مقاومت برشی و خصوصیات ژئومکانیکی مصالح، اطلاعات مرتبط با شیب و وضعیت توپوگرافی مکانیسم زمین لغزش رخ داده در روستای تلوبین ارائه خواهد شد.

۲-۴ نتایج تحلیل اطلاعات اقلیمی و هیدرولوژی

مطابق با نقشه‌ی اقلیمی شهرستان میامی (شکل ۱-۴) روستای تلوبین دارای آب و هوای نیمه مرطوب سرد می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه منطقه تلوبین با توجه به نقشه‌ی هم بارش استان سمنان (شکل ۱-۵) و میزان بارندگی ثبت شده توسط ایستگاه نردین در بازه زمانی سال ۹۰-۹۷، ۲۴۹-۳۰۰ میلی‌متر برآورد شد (شکل ۱-۶). عمق آب زیرزمینی طی عملیات صحرایی در یک چاه فعال منطقه به وسیله‌ی متر اندازه‌گیری و عمق ۳/۲۰ متری ثبت گردید. در شکل (۱-۴) نمودار میانگین بارندگی در سال‌های ۹۰-۹۷ و میزان بارندگی در سال ۹۷ مورد مقایسه قرار گرفته است که نشان می‌دهد میزان بارندگی در سال ۹۷ در ماه‌های اردیبهشت، بهمن و اسفند نسبت به بازه سال‌های ۹۰-۹۷ افزایش چشمگیری داشته است که عمده خرابی‌ها و آسیب ناشی از لغزش‌ها نیز در همین سال به وقوع پیوسته است.

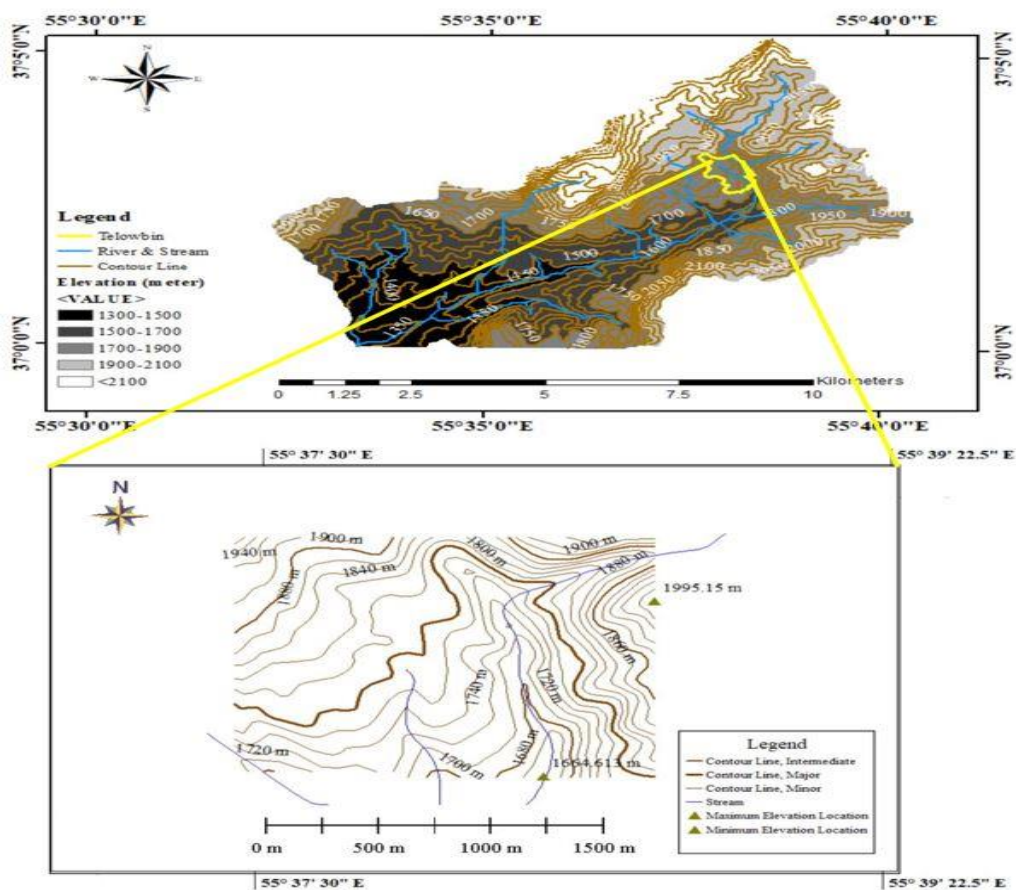
۳-۴ نتایج تحلیل وضعیت توپوگرافی

در شکل (۲-۴) نقشه توپوگرافی منطقه تلوبین، موقعیت نواحی مسکونی بر روی نقشه به همراه میزان تغییرات ارتفاعی در این ناحیه نشان داده شده است. ناحیه‌ی مسکونی بر روی نقشه توپوگرافی از نظر کلاس‌بندی ارتفاعی در محدوده‌ی ۱۷۰۰-۱۹۰۰ متری واقع شده است. این محدوده‌ی ارتفاعی قرار گیری روستای تلوبین در یک پهنه‌ی کوهستانی را همانند شکل (۱-۱۵) تصدیق می‌کند.



شکل ۴-۱: نمودار مقایسه تغییرات ماهانه میانگین بارندگی سال های ۹۷-۹۰ و میزان بارندگی در سال ۹۷ (ترسیم

شده بر مبنای داده های ایستگاه هواشناسی نردین)



شکل ۴-۲: موقعیت توپوگرافی روستای تلوبین بر روی نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه

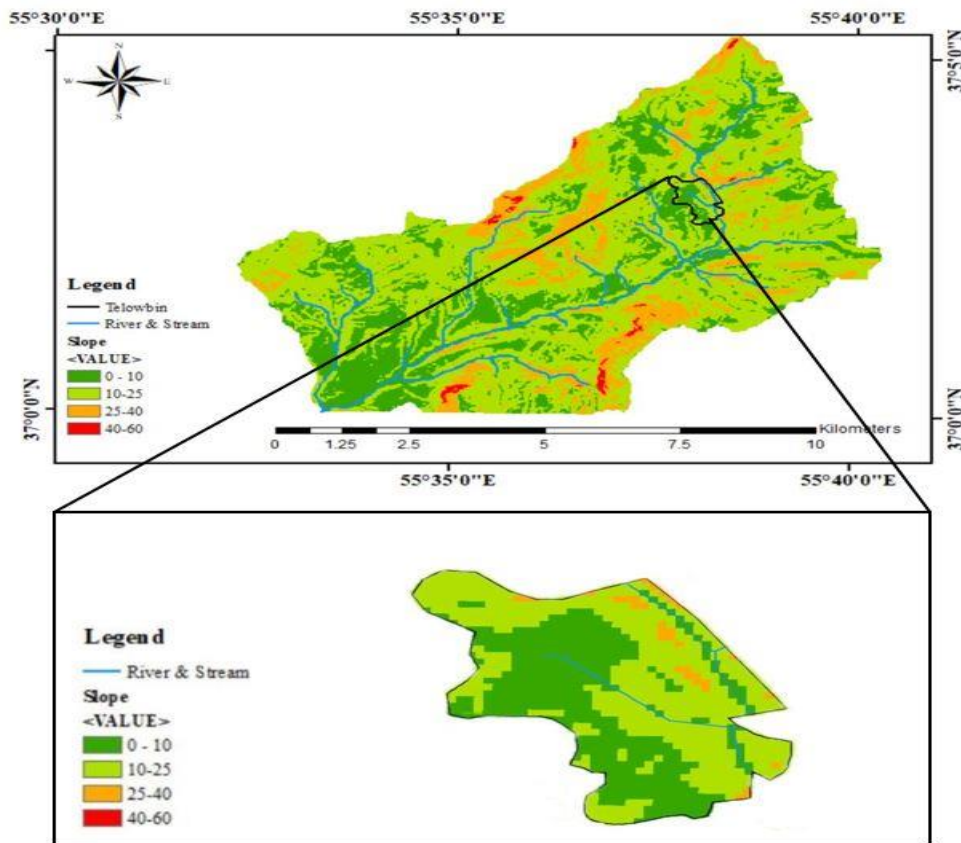
۴-۴ نتایج تحلیل وضعیت شیب و جهت شیب

در شکل (۳-۴) وضعیت شیب روستای تلوبین و ناحیه‌ی مسکونی بر روی نقشه‌ی شیب منطقه نشان داده شده است. وضعیت شیب در این منطقه به ۵ کلاس تقسیم‌بندی شده است. با توجه به نقشه‌ی شیب منطقه تلوبین مناطق مسکونی غالباً دارای شیب ۱۰ تا ۲۵ درجه می‌باشند. درحالی که زاویه‌ی شیب در حاشیه‌ی نواحی دره ۴۰-۶۰ درجه توسط کمپاس اندازه‌گیری گردید. با توجه به اینکه روستای تلوبین در یک پهنه‌ی کوهستانی واقع شده است (شکل ۱-۱۳) و مقدار زاویه‌ی شیب در مناطق مسکونی ۱۰-۲۵ و در نواحی حاشیه‌ی دره ۴۰-۶۰ درجه می‌باشد، لذا در مناطق مسکونی شیب می‌تواند به عنوان عامل مستعدکننده‌ی لغزش دامنه‌ها در این منطقه عمل نماید.

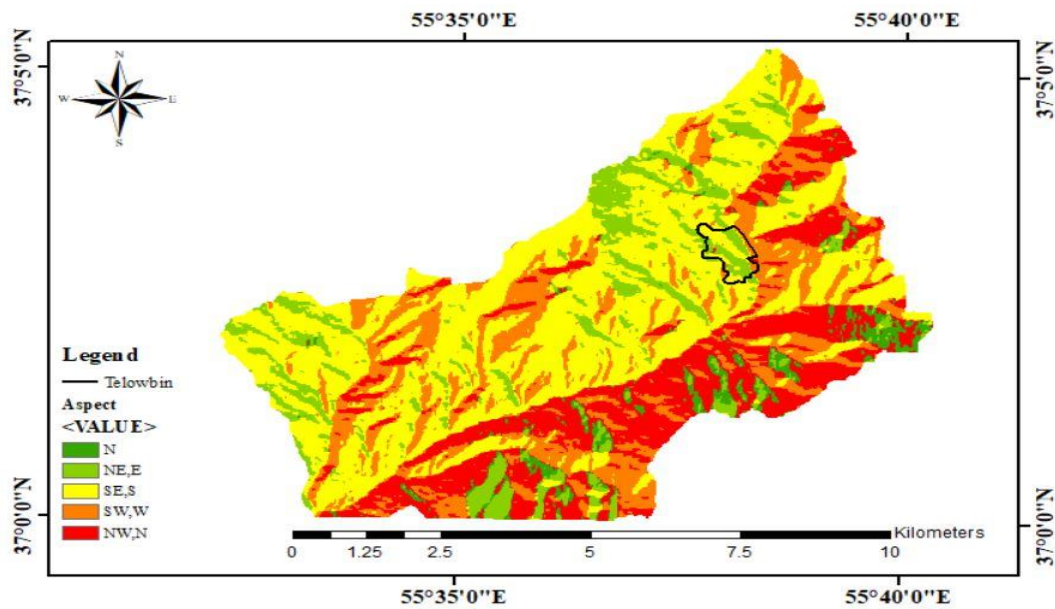
شکل (۴-۴) جهت شیب در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. محل قرارگیری روستای تلوبین و منازل مسکونی در نقشه جهت شیب حاکی از آن است جهت شیب در این نواحی به دو بخش عمده تقسیم می‌شود: الف) جنوب و جنوب شرقی ب) شمال و شمال شرقی

شیب‌های با جهت رو به جنوب آفتاب‌گیر بوده و رطوبت کمتری دارند، در نتیجه میزان هوازگی و ضخامت خاک در این شیب‌ها کمتر و پایدارترند، اما در شیب‌های دارای جهت شمال و شمال شرقی که سایه‌گیر هستند، برف‌گیری و میزان رطوبت بیشتر بوده، عمق هوازگی و ضخامت خاک نیز بیشتر می‌باشد و متعاقباً احتمال حرکات توده‌ای بیشتر خواهد بود.

همانطور که در مطالب بالاتر اشاره شد، روستای تلوبین در یک منطقه پرشیب مقرار گرفته است و اگر جهت شیب دامنه شمال و شمال شرقی باشد، عوامل هوازگی باعث ایجاد یک لایه‌ی خاک سست بر روی سنگ بستر گردیده و منطقه را مستعد برای لغزش می‌کند.



شکل ۳-۴: موقعیت روستای تلوبین بر روی نقشه شیب منطقه مورد مطالعه



شکل ۴-۴: موقعیت روستای تلوبین بر روی نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه

۵-۴ بررسی نتایج آزمایشگاهی

۱-۵-۴ نتایج آزمایشات خصوصیات فیزیکی خاک

۱-۱-۵-۴ آزمایش تعیین وزن مخصوص خاک (Gs)

نتیجه آزمایش تعیین چگالی در جدول (۱-۴) آورده شده است. نتایج حاصل از آزمایش تعیین وزن مخصوص ویژه خاک نشان داد که مقدار Gs برای هر سه نمونه تقریباً برابر و ۲/۵۶ است.

جدول ۱-۴: نتایج وزن مخصوص (Gs) نمونه های مورد مطالعه

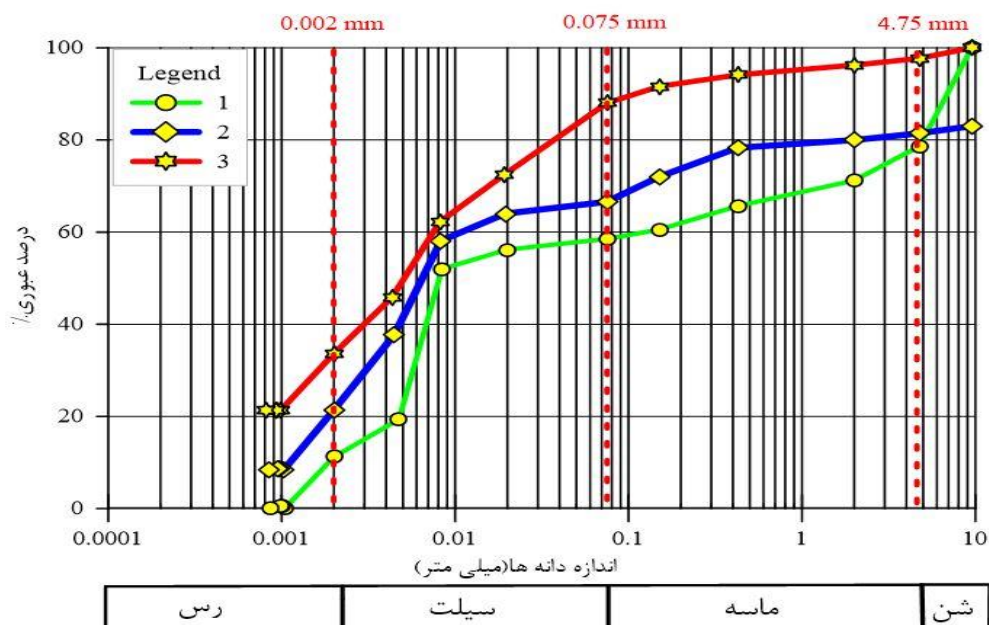
| شماره نمونه | ۱ | ۲ | ۳ |
|---|-------|-------|-------|
| وزن خاک (g) | ۵۰ | ۵۰ | ۵۰ |
| وزن پیکومتر + آب مقطر (g) | ۶۷۷/۵ | ۶۷۸/۵ | ۶۸۴/۰ |
| وزن پیکومتر + وزن آب مقطر + وزن خاک (g) | ۷۰۸ | ۷۰۹ | ۷۱۵ |
| Gs | ۲/۵۶ | ۲/۵۶ | ۲/۵۵ |

۲-۱-۵-۴ نتایج آزمایش دانه بندی و هیدرومتری

شکل ۴-۶، منحنی دانه بندی نمونه های خاک برداشت شده از پروفیل های مورد مطالعه روستای تلوبین را نشان می دهد. در این شکل نتایج آزمایش الک و هیدرومتری تلفیق شده است و همانطور که در شکل دیده می شود، نمونه های خاک دارای اجزای شن تا رس می باشند البته بخش قابل توجهی از ذرات خاک را اجزای ریزدانه سیلت و رس تشکیل داده اند. درصد ذرات و اجزای موجود در نمونه های خاک معرف هر پروفیل به تفکیک در جدول (۲-۴) آورده شده است. مطابق با جدول (۲-۴)، نمونه ۳ دارای بیشترین درصد رس و کمترین مقدار رس متعلق به نمونه معرف پروفیل ۱ می باشد.

جدول ۴-۲: درصد ذرات موجود در نمونه‌های خاک

| شماره نمونه | گراول (%) | ماسه (%) | سیلت (%) | رس (%) |
|-------------|-----------|----------|----------|--------|
| ۱ | ۲۱/۳۷ | ۲۰/۱۰ | ۴۷/۳۱ | ۱۱/۲۲ |
| ۲ | ۱/۵۶ | ۱۴/۸۶ | ۴۵/۱۷ | ۲۱/۴۲ |
| ۳ | ۲/۲۹ | ۲/۸۵ | ۵۴/۳۵ | ۳۳/۷۰ |



شکل ۴-۵: منحنی دانه‌بندی نمونه‌های معرف پروفیل‌های مورد مطالعه در روستای تلوبین

۴-۵-۱-۳ نتایج آزمایش تعیین حدود آتبرگ

همانطور که قبلاً اشاره شد، به منظور بررسی تغییر رفتار خاک‌ها به علت افزایش رطوبت و همچنین تعیین رده‌ی مهندسی خاک‌های ریزدانه و یا خاک‌های درشت‌دانه‌ی حاوی ذرات ریزدانه، آزمایش تعیین حدود آتبرگ بر طبق استاندارد ASTM انجام گرفته شده و نتایج آن برای هر یک از نمونه‌های مورد مطالعه در روستای تلوبین در جدول (۴-۳) آورده شده است. با توجه به جدول (۴-۳) کمترین و بیشترین شاخص خمیری به ترتیب مربوط به نمونه‌های ۵ و ۴ می‌باشد. با استناد به نتایج کلسیمتری و گراف XRD، نمونه ۵ دارای درصد قابل توجهی کربنات می‌باشد بنابراین مقدار رس در این نمونه نسبت به سایر نمونه‌ها کمتر و در نتیجه شاخص خمیری نیز کمتر می‌باشد. در حالی که نمونه ۴ دارای

کمترین مقدار کربنات کلسیم می‌باشد و وجود کانی ورمیکولیت به همراه کانی ایلیت در نتایج آنالیز XRD مقدار بالای رس این نمونه را تایید می‌کند.

جدول ۴-۳: نتایج حدود اتربرگ

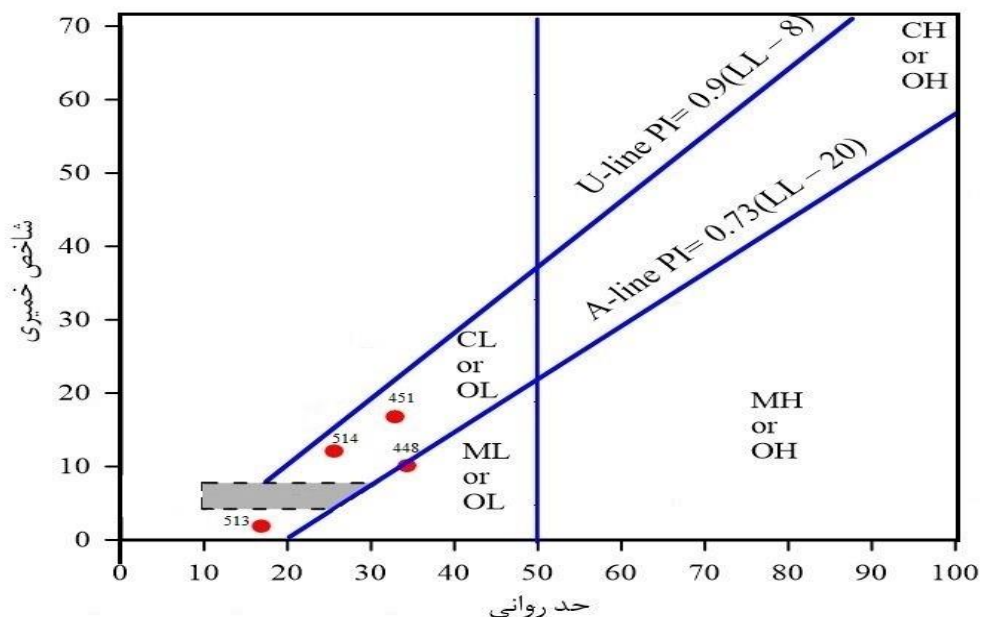
| شماره نمونه | حد روانی (LL) | حد خمیری (PL) | شاخص خمیری (PI) |
|-------------|---------------|---------------|-----------------|
| ۱ | ۳۴/۳۵ | ۲۴/۲۸ | ۱۰/۰۶ |
| ۲ | ۲۴/۹۷ | ۷/۸۰ | ۱۷/۱۸ |
| ۳ | ۳۲/۸۶ | ۱۶/۰۴ | ۱۶/۸۳ |
| ۴ | ۳۰/۰۲ | ۲/۶۷ | ۲۷/۳۵ |
| ۵ | ۱۶/۹۲ | ۱۴/۹۷ | ۱/۹۵ |
| ۶ | ۲۵/۵۸ | ۱۳/۵۳ | ۱۲/۰۵ |

۴-۱-۵-۴ رده بندی مهندسی خاک‌های مورد مطالعه

رده‌بندی مهندسی خاک یکی از مرسوم ترین مراحل در مطالعات ژئوتکنیکی خاک‌ها می‌باشد. هدف از رده‌بندی خاک این است که خاک‌هایی که دارای رفتار فیزیکی و مکانیکی مشابهی هستند در دسته‌ی یکسانی قرار گیرند، لذا با مشخص بودن رده خاک می‌توان حدود کلی رفتار خاک را استنباط کرد. باتوجه به اینکه در ایران رده‌بندی متحد خاک (یونیفاید) بیشترین کاربرد را داشته، بر مبنای آزمایش دانه‌بندی و حدود اتربرگ، رده مهندسی تمامی نمونه‌های اخذ شده مشخص گردیده که نتایج آن در جدول (۴-۴) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۴-۴)، خاک‌های ریزدانه با شماره‌های ۳، ۵ و ۶ از نوع خاک‌های رسی غیرآلی با خمیری کم تا متوسط می‌باشند. و نمونه خاک ۱ نیز خاک آلی حاوی درصدی از ذرات رس می‌باشد.

جدول ۴-۴: رده‌بندی مهندسی نمونه‌های خاک بر اساس رده‌بندی یونیفاید

| شماره نمونه | نوع خاک | شماره نمونه | نوع خاک |
|-------------|---------|-------------|---------|
| ۱ | OL | ۴ | CL |
| ۲ | CL | ۵ | CL |
| ۳ | CL | ۶ | CL |

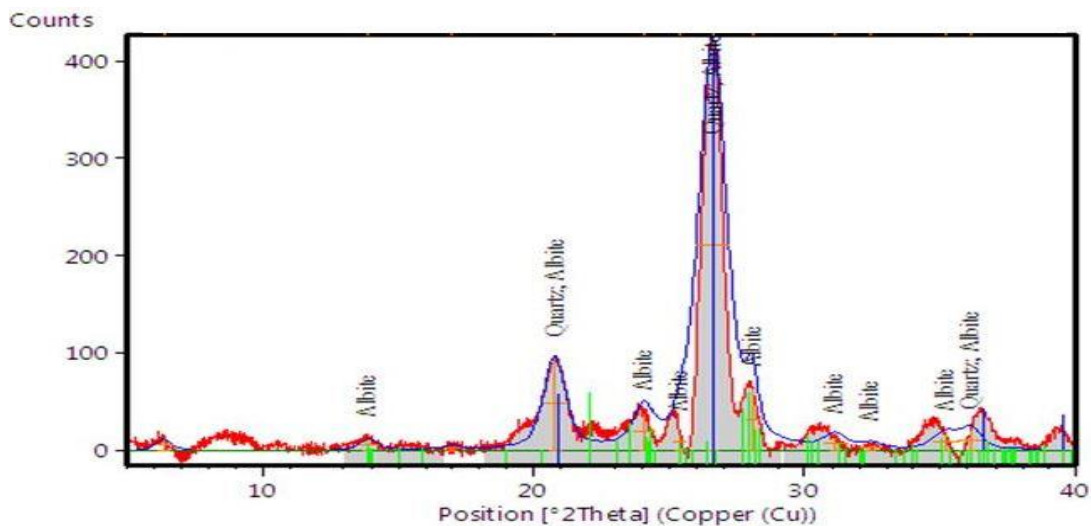


شکل ۴-۶: موقعیت قرارگیری خاک‌های ریزدانه در نمودار شاخص خمیری-حد روانی

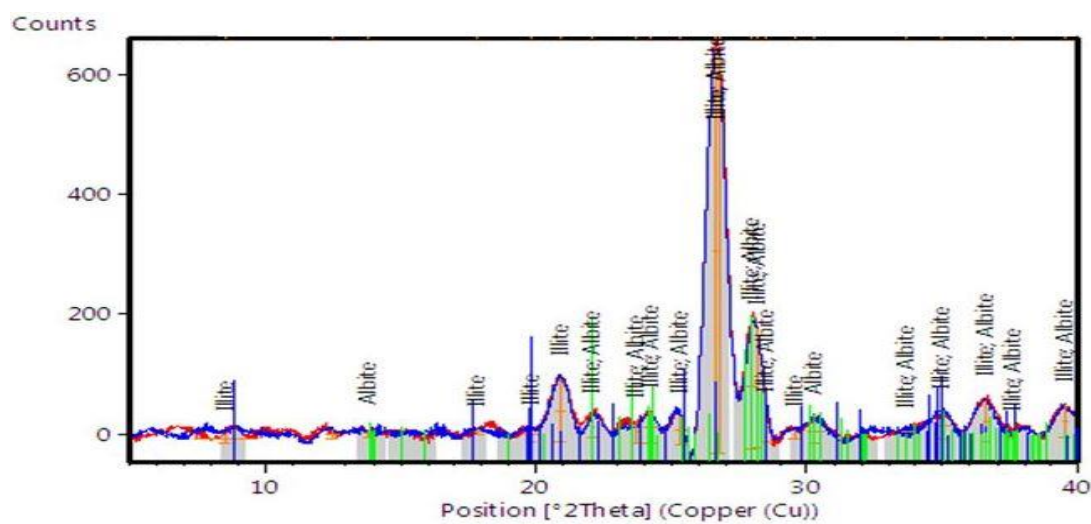
۴-۶ شناسایی ترکیب شیمیایی و اجزای خاک

۴-۶-۱ نتایج آنالیز طیف سنجی پراش پرتو ایکس (XRD)

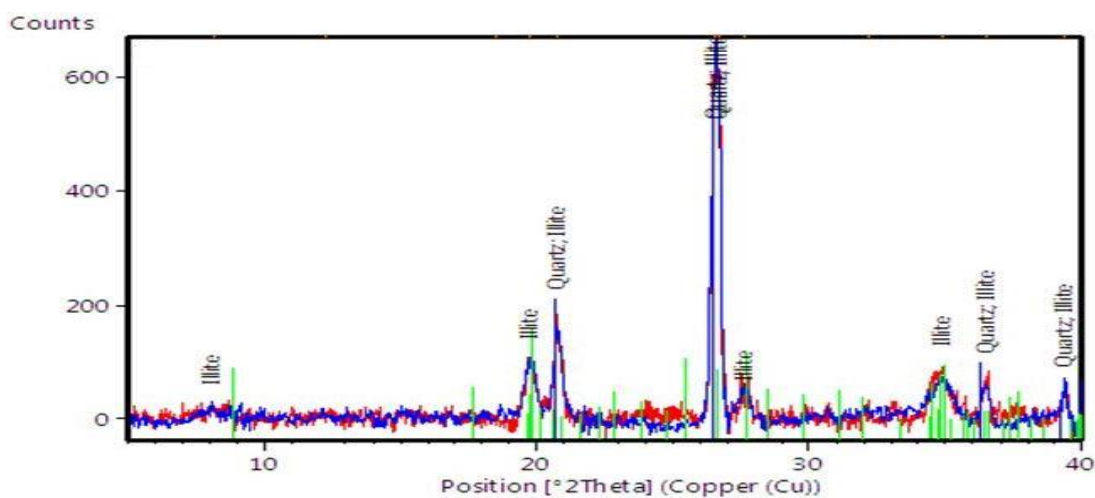
همانطور که در فصل روش انجام پژوهش بیان شد، نمونه‌ها بعد از تیمار شدن و حذف کربنات کلسیم مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج آنالیزهای طیف سنجی نشان می‌دهد بزرگترین پیک در نمودارهای تحلیلی تمام نمونه‌ها مربوط به کانی کوارتز و یا آلپیت می‌باشد. از آوردن سایر فلدسپارها مانند ارتوکلاز و میکروکلین نیز به دلیل درصد ناچیز و طیف جزئی در نتایج آنالیز خودداری شده است. از میان کانی‌های رسی کانی ایلیت در نمونه‌ها تشخیص داده شد. در نمونه ۴ مقداری کانی رسی ورمیکولیت به همراه ایلیت مشاهده شده است. در نمونه ۵ پیک‌های مرتبط با کانی‌های رسی رویت نشد. واضح‌ترین طیف قابل تشخیص در نمونه ۵، طیف مربوط به کانی کوارتز می‌باشد که مطابق با نتایج کلسیمتری دلیل آن مقدار بالای کربنات در نمونه است. نتایج آنالیز مربوط به هر نمونه به همراه کانی‌های شناسایی شده در آن‌ها به صورت گراف در ادامه آورده شده است.



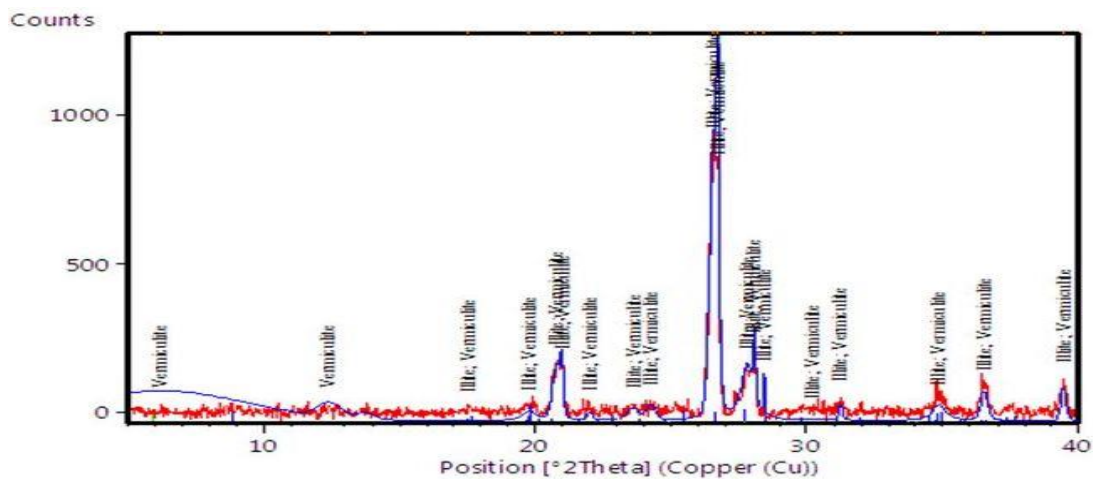
شکل ۴-۷: گراف آنالیز پراش پرتو ایکس نمونه ۱



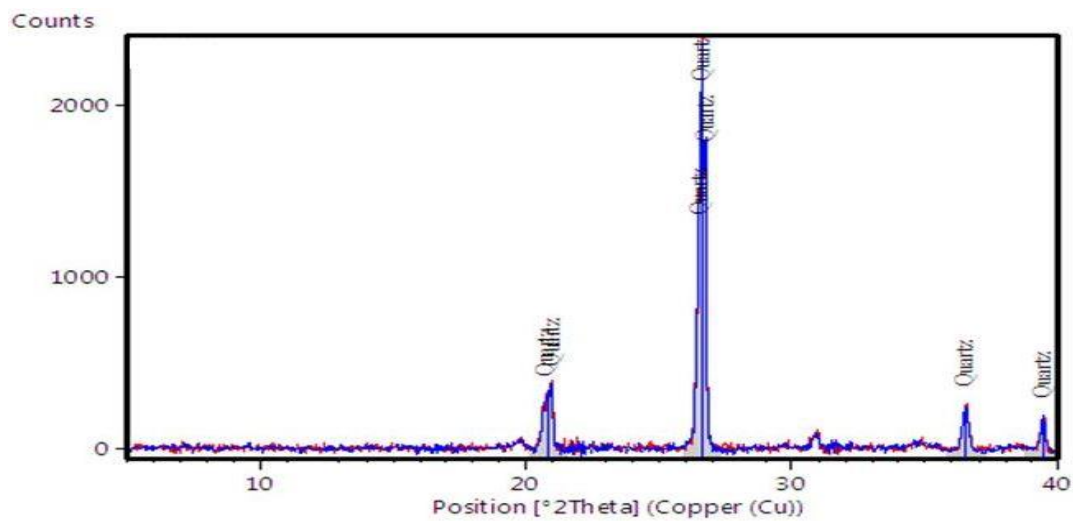
شکل ۴-۸: گراف آنالیز پراش پرتو ایکس نمونه ۲



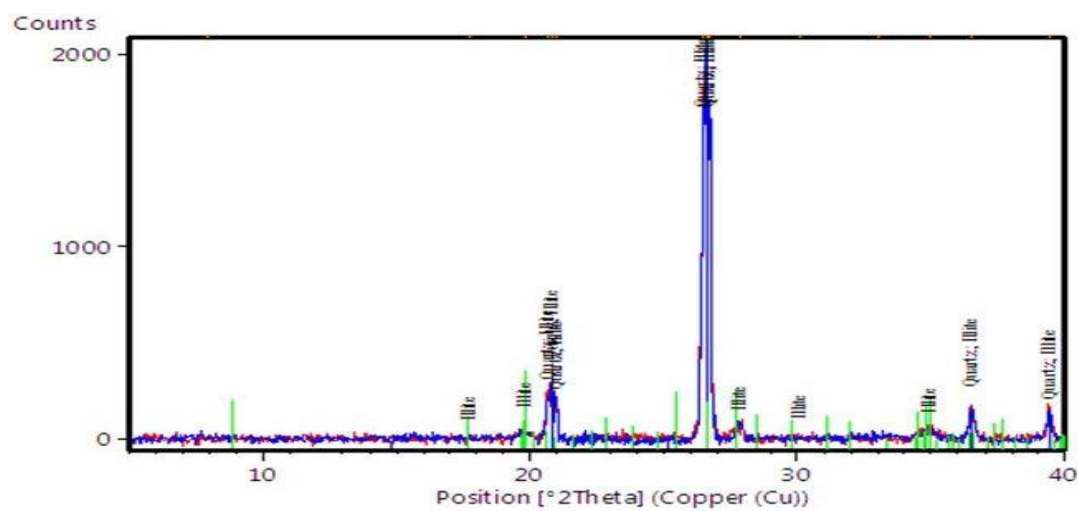
شکل ۴-۹: گراف آنالیز پراش پرتو ایکس نمونه ۳



شکل ۴-۱۰: گراف آنالیز پراش پرتو ایکس نمونه ۴



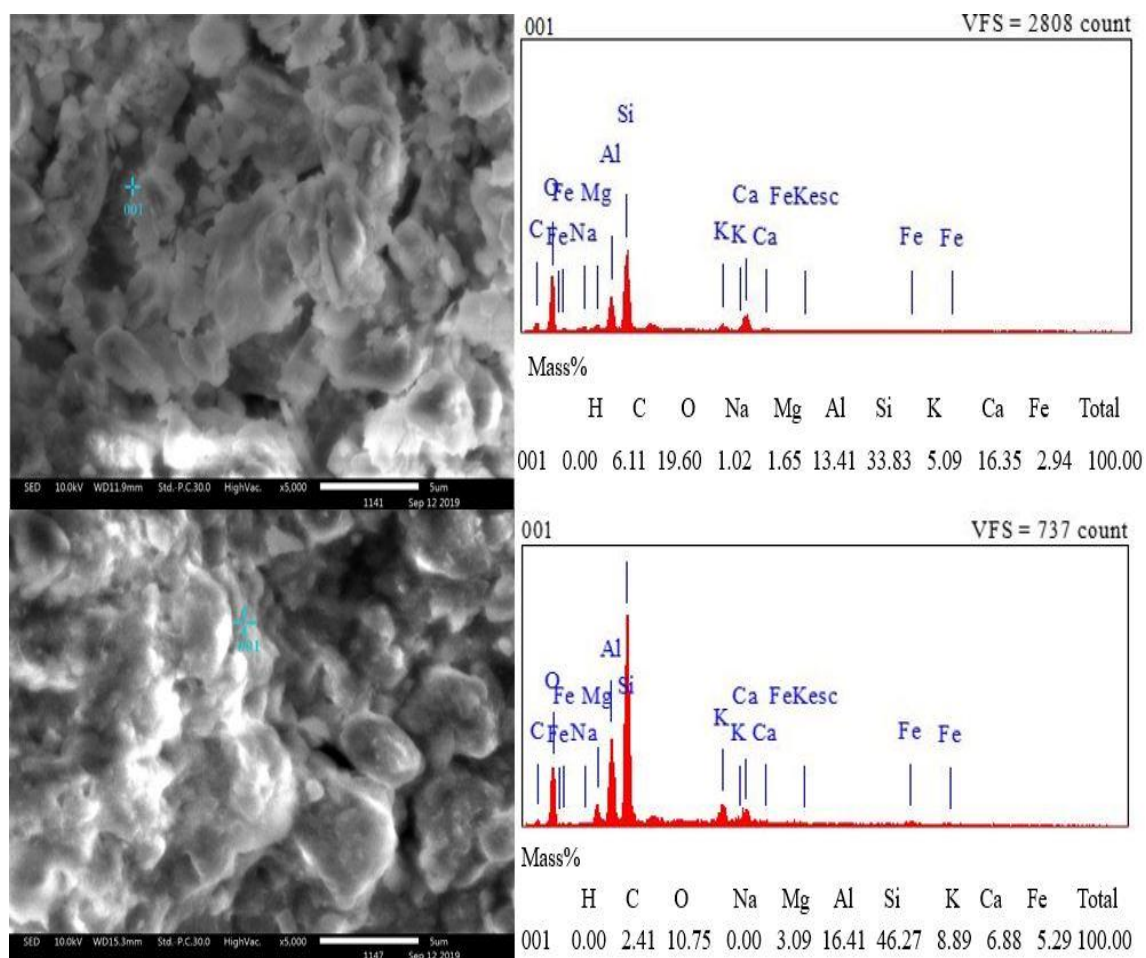
شکل ۴-۱۱: گراف آنالیز پراش پرتو ایکس نمونه ۵



شکل ۴-۱۲: گراف آنالیز پراش پرتو ایکس نمونه ۶

۲-۶-۴ نتایج آنالیز میکروسکوپ الکترونی (SEM)

با توجه به کیفیت پایین تصویر (بزرگنمایی ۵۰۰۰) و عدم امکان بالا بردن وضوح آن به دلیل ایجاد گرد و غبار حین آزمایش که ناشی از مکش بالای خاک در نمونه‌ها می‌باشد و حساسیت بالای دستگاه SEM نسبت به این موضوع عملاً از روی تصویر تشخیص نوع کانی‌های رسی مشکل بوده، همچنین کانی رسی ایلیت دارای شکل مشخصی مانند سایر کانی‌های رسی نمی‌باشد، لذا شناسایی آن بر اساس نتایج EDX انجام شده است. با توجه به بالا بودن مقادیر عناصری مانند Al، Si و K در نتایج EDX نمونه‌های مورد مطالعه که در ترکیب شیمیایی ایلیت $[K_2 Al_4 (Si_6 Al_2) O_{20} (OH)_4]$ به وفور یافت می‌شوند، این آنالیز نیز همانند آنالیز XRD وجود کانی رسی ایلیت در نمونه‌ها را تصدیق نمود. در شکل (۴-۱۳)، تصاویر SEM انجام شده بر روی نمونه‌ها به همراه نتایج EDX حاصل از آزمایش آورده شده است.



شکل ۴-۱۳: تصاویر SEM مرتبط با کانی ایلیت به همراه EDX و درصد عناصر موجود در نمونه‌های مورد مطالعه

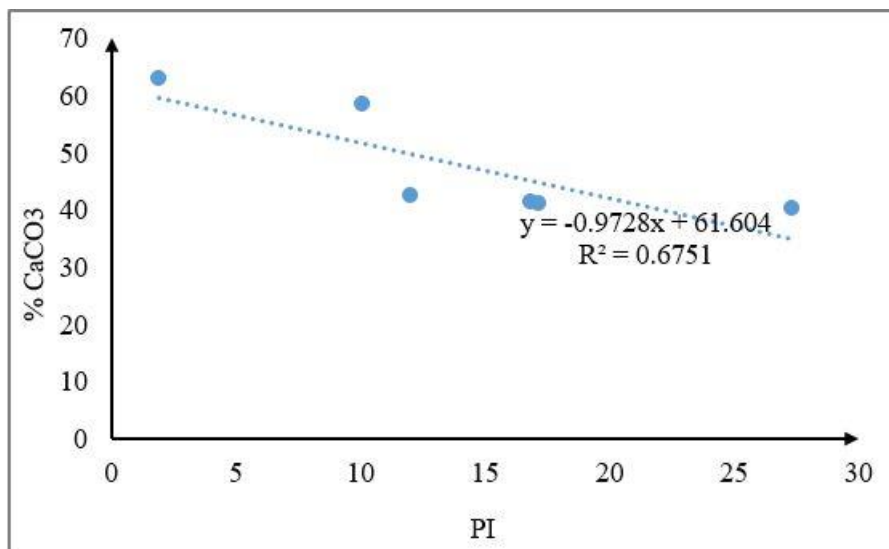
۴-۶-۳ نتایج آزمایش کلسیمتری

با توجه به اینکه سنگ بستر منطقه از مارن تشکیل شده است (شکل ۱-۱۰) و خاک‌های موجود در منطقه نیز تحت تاثیر عوامل هوازدگی از این سنگ‌ها تشکیل یافته‌اند، حاوی درصد قابل توجه کربنات کلسیم می‌باشند که نتایج آزمایش کلسیمتری نیز بر این موضوع تاکید دارد. در جدول (۴-۵)، میزان درصد کربنات کلسیم به دست آمده از سه آزمایش انجام شده به روش تیتراسیون و وزنی، بر حسب مقدار رسوب اولیه آورده شده است. نتایج به دست آمده از هر سه آزمایش مقادیر تقریباً مشابهی را نشان می‌دهد. مطابق با جدول، بیشترین میزان کربنات کلسیم در نمونه ۵ اندازه گیری شد و مقدار کربنات کلسیم سایر نمونه‌ها تقریباً بین ۴۰ تا ۶۲ درصد متغیر می‌باشد. با توجه به طبقه‌بندی ارائه شده توسط پتیجان (شکل ۲-۴) برای نامگذاری نمونه‌ها از اصطلاح مارن استفاده می‌شود، زیرا محتوای نمونه‌های آزمایش شده حدوداً از ۳۵-۶۵ درصد کربنات کلسیم و رس تشکیل شده است.

جدول ۴-۵: درصد کربنات کلسیم در نمونه‌های برداشت شده از روستای تلوبین

| میانگین درصد کربنات کلسیم | درصد کربنات کلسیم | | | شماره نمونه |
|---------------------------|-----------------------------------|----------|-------------|-------------|
| | روش آزمایش و مقدار رسوب اولیه (g) | | | |
| | تیتراسیون | وزنی (g) | وزنی (g ۵۰) | |
| ۵۸/۴۷ | ۵۵/۰۰ | ۶۰/۰۰ | ۶۰/۴۰ | ۱ |
| ۴۱/۰۷ | ۴۲/۵۰ | ۴۵/۰۰ | ۳۸/۲۰ | ۲ |
| ۴۱/۳۳ | ۴۲/۵۰ | ۴۰/۰۰ | ۳۹/۰۰ | ۳ |
| ۴۰/۳۴ | ۳۹/۰۰ | ۴۵/۰۰ | ۳۷/۰۴ | ۴ |
| ۶۲/۷۰ | ۶۵/۰۰ | ۶۰/۰۰ | ۶۳/۱۰ | ۵ |
| ۴۲/۶۲ | ۴۲/۵۰ | ۴۵/۰۰ | ۴۰/۳۷ | ۶ |

در شکل (۴-۱۴) ارتباط نمودار میانگین درصد کربنات کلسیم در مقابل شاخص خمیری رسم گردیده است و همانطور که انتظار می‌رود هر چه میزان کربنات کلسیم در نمونه‌ها بیشتر باشد، مقدار شاخص خمیری مقدار کمتری خواهد بود.



شکل ۴-۱۴: ارتباط میانگین درصد کربنات کلسیم با شاخص خمیری

۳-۵-۴ نتایج آزمایشات خصوصیات مکانیکی خاک

۱-۳-۵-۴ نتایج آزمایش برش مستقیم

جدول (۴-۶) مقادیر زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی و میانگین درصد رطوبت نمونه‌های معرف پروفیل‌های مورد مطالعه را ارائه می‌دهد. در شکل (۴-۱۵)، نمونه‌های مورد آزمایش قرار گرفته از یک پروفیل در درصد رطوبت‌های مختلف بعد از اتمام آزمایش و برش خوردن نمایش داده شده است. در شکل‌های (۴-۱۸ تا ۴-۲۰) منحنی تنش برشی-جابجایی برشی و نمودار پوش حاصل از آزمایش برش مستقیم تحت تنش‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال برای پروفیل‌های مورد مطالعه در درصد رطوبت‌های مختلف را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۴-۱۵) مشهود است و با توجه به نتایج نمودارهای تنش برشی-جابجایی برشی نمونه‌های مورد آزمایش حدوداً ۰/۶ تا ۰/۸ سانتی‌متر متحمل جابه‌جایی شده‌اند. با توجه به داده‌های ثبت شده در جدول (۴-۶) و شکل‌های (۴-۱۶ و ۴-۱۷)، هر چه میزان رطوبت یک نمونه افزایش یابد از میزان زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی کاسته می‌شود. با افزایش درصد رطوبت میزان زاویه اصطکاک داخلی و میزان چسبندگی به ترتیب در نمونه‌های خاک زراعی، مارن هوازده و سنگ مارن به ترتیب (۰/۸۰) و (۰/۱)، (۰/۶۹) و (۰/۷۵)، (۰/۶۱) و (۰/۷۸) کاهش

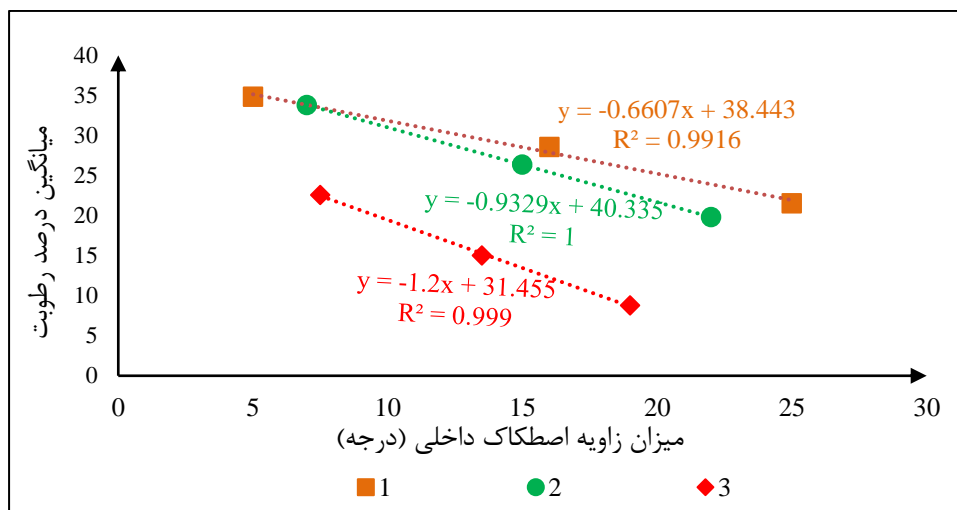
می‌یابد. در شکل (۴-۱۶)، شیب خطوط بیانگر عکس تاثیر پذیری نمونه‌ها از میزان درصد رطوبت می‌باشد. در این شکل با افزایش میزان رس در نمونه‌ها (درصد میزان رس نمونه‌ها $3 < 2 < 1$)، شیب خطوط بیشتر شده که نشان دهنده‌ی مقدار تاثیری پذیری بیشتر نمونه‌ها از مقدار رطوبت می‌باشد. برای مثال نمونه ۳ علی‌رغم داشتن دامنه رطوبت کمتر، به دلیل داشتن بیشترین مقدار رس (حدوداً $33/70$)، بیشترین شیب خط را با مقدار $1/2$ نسبت به شیب سایر خطوط دارا می‌باشد. برای بیان تاثیر میزان رس بر چسبندگی می‌توان از شیب خطوط در نمودار (۴-۱۷) استفاده کرد. برای مثال نمونه ۱، دارای بیشترین شیب خط (نزدیک به قائم) نسبت به نمونه‌های دیگر می‌باشد، این در حالی است که نمونه ۱ دارای کمترین مقدار رس (حدوداً $11/22$) می‌باشد. بنابراین هر چه شیب خط بیشتر باشد، درصد رس کمتر می‌باشد و مقدار چسبندگی کمتر خواهد بود همانند نمونه ۱ که مقدار چسبندگی به دلیل درصد رس کمتر مقدار تقریباً ثابتی را داراست و بازه تغییرات آن حدود 1% است.

جدول ۴-۶: مقادیر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نمونه‌ها در پروفیل‌های مورد مطالعه

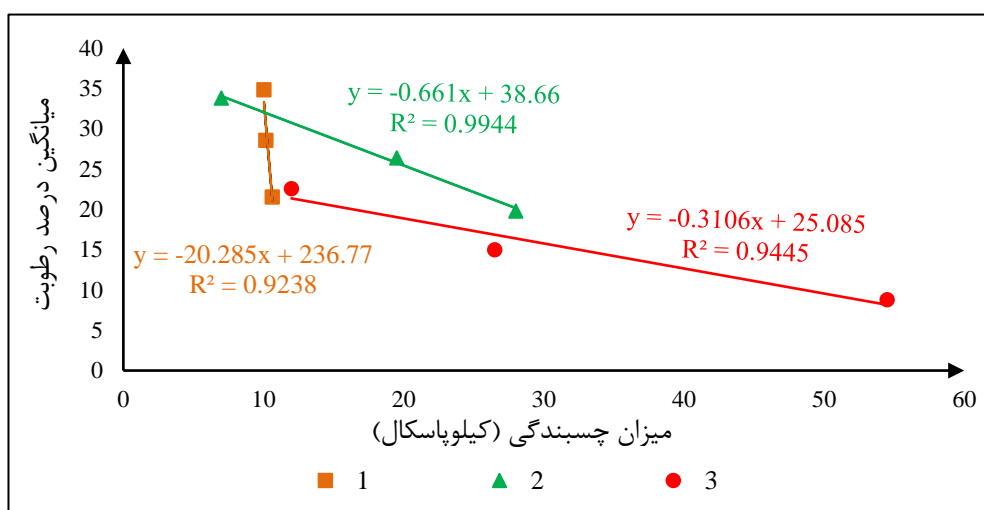
| شماره نمونه | نوع نمونه | میانگین درصد رطوبت | میزان چسبندگی (کیلوپاسکال) | زاویه اصطکاک داخلی (درجه) |
|-------------|-------------|--------------------|----------------------------|---------------------------|
| ۱ | رطوبت طبیعی | ۲۱/۵۴ | ۱۰/۶۳۲ | ۲۵ |
| ۱ | نیمه اشباع | ۲۸/۵۸ | ۱۰/۱۶۴ | ۱۶ |
| ۱ | اشباع | ۳۴/۸۲ | ۱۰/۰۳۳ | ۵ |
| ۲ | رطوبت طبیعی | ۱۹/۷۹ | ۲۸ | ۲۲ |
| ۲ | نیمه اشباع | ۲۶/۳۷ | ۱۹/۵ | ۱۵ |
| ۲ | اشباع | ۳۳/۷۹ | ۷ | ۷ |
| ۳ | رطوبت طبیعی | ۸/۷۸ | ۵۴/۵ | ۱۹ |
| ۳ | نیمه اشباع | ۱۵/۰۰ | ۲۶/۵ | ۱۳/۵ |
| ۳ | اشباع | ۲۲/۵۷ | ۱۲ | ۷/۵ |



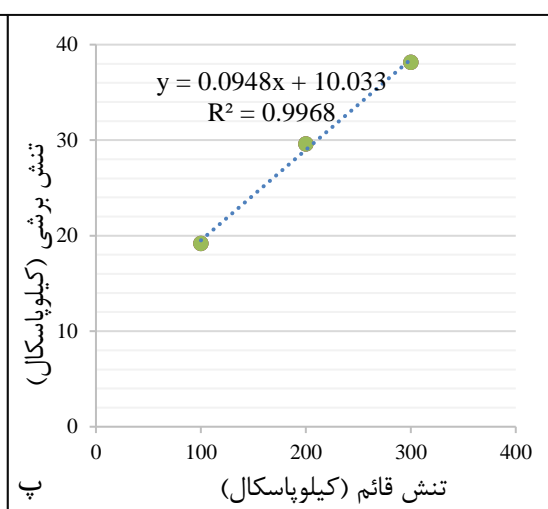
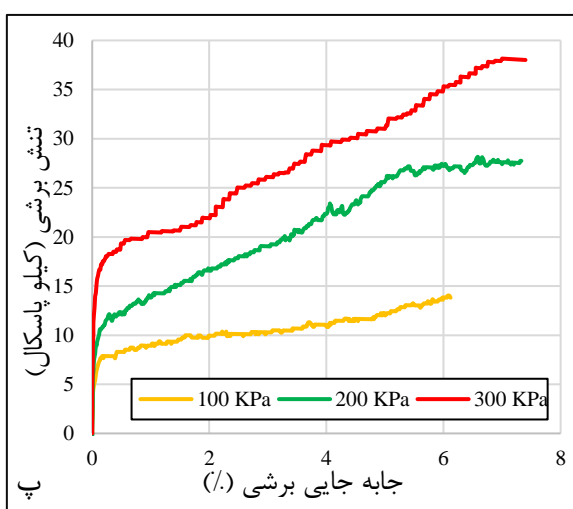
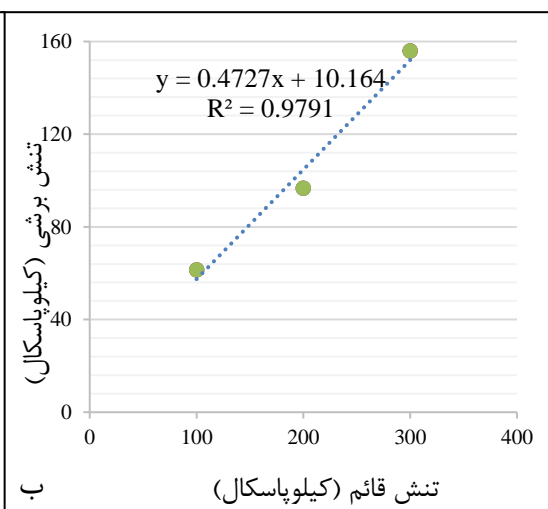
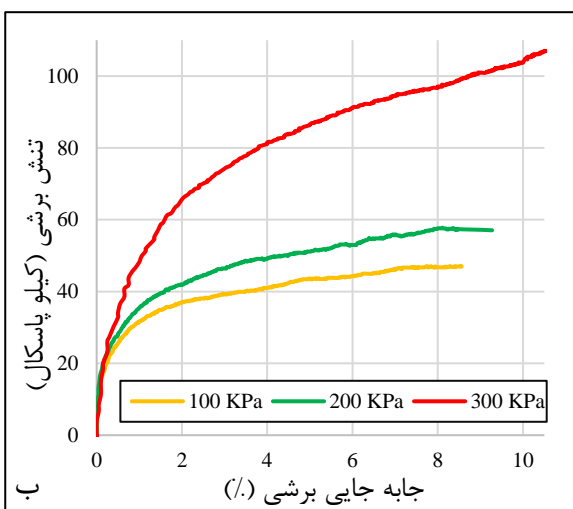
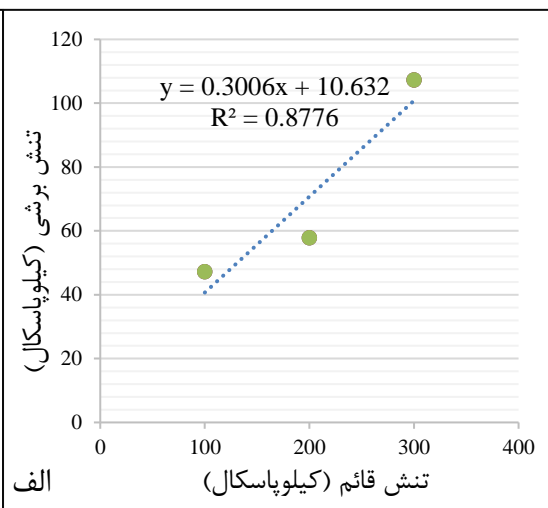
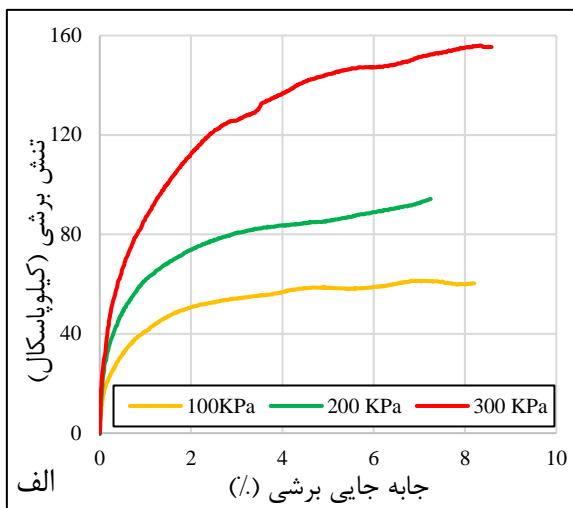
۴-۱۵: نمونه ۳ بعد از برش و اتمام آزمایش به همراه نمایی از مقدار جابه‌جایی اعمال شده بر روی نمونه‌ها



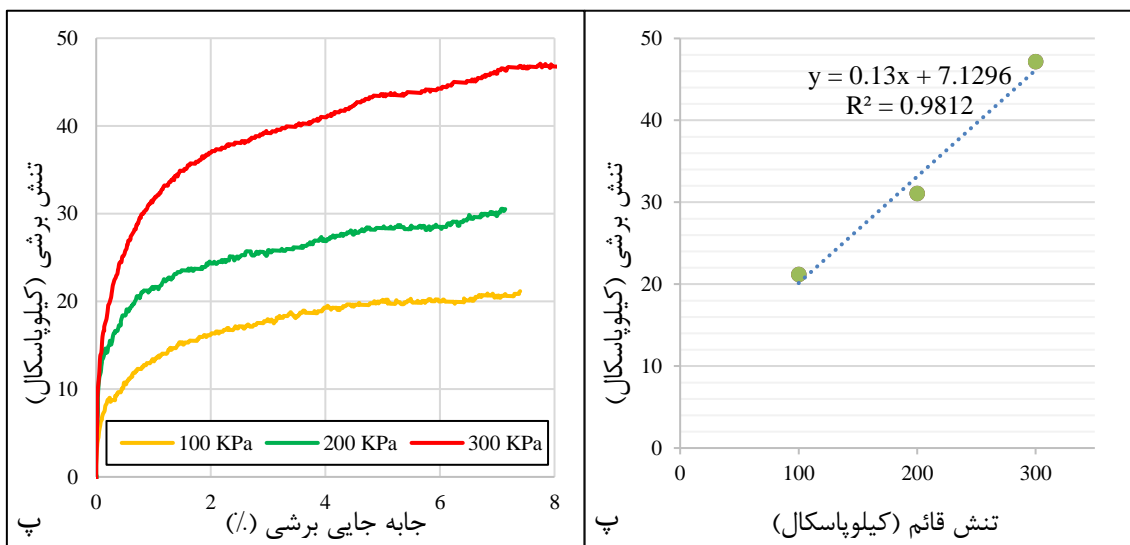
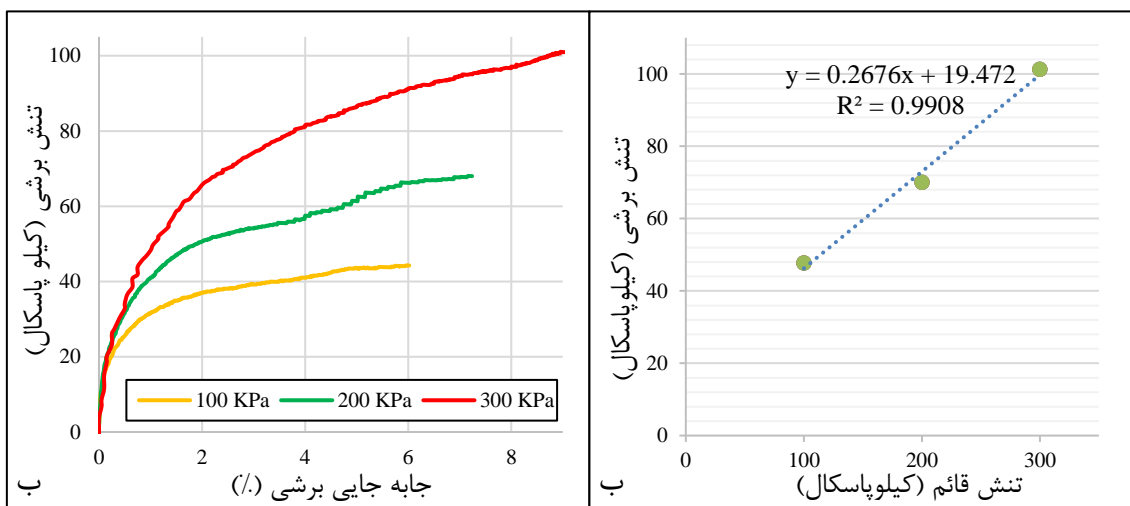
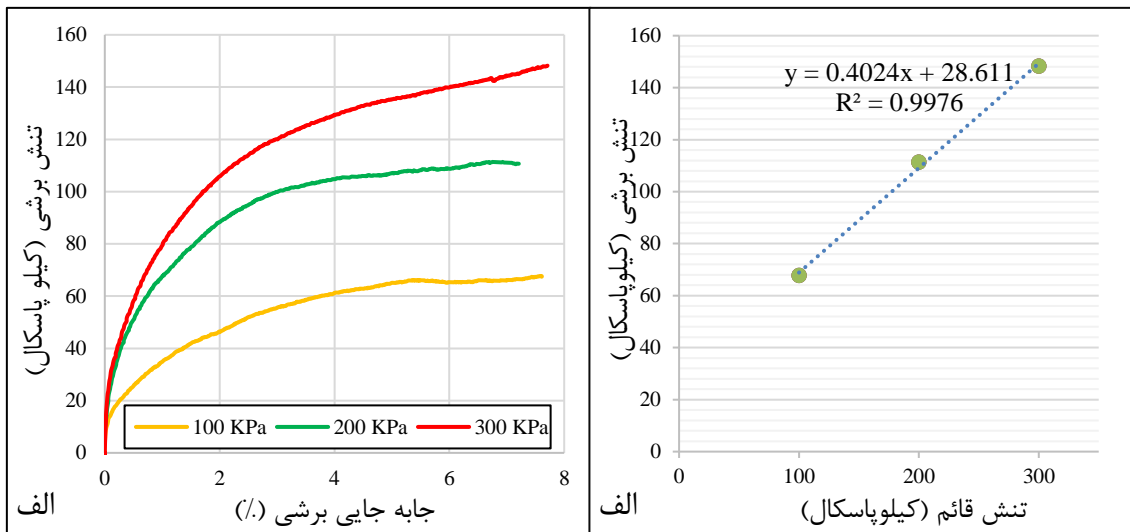
شکل ۴-۱۶: تاثیر درصد رطوبت بر زاویه اصطکاک داخلی در پروفیل‌های مورد مطالعه



شکل ۴-۱۷: تاثیر درصد رطوبت بر میزان چسبندگی پروفیل‌های مورد مطالعه



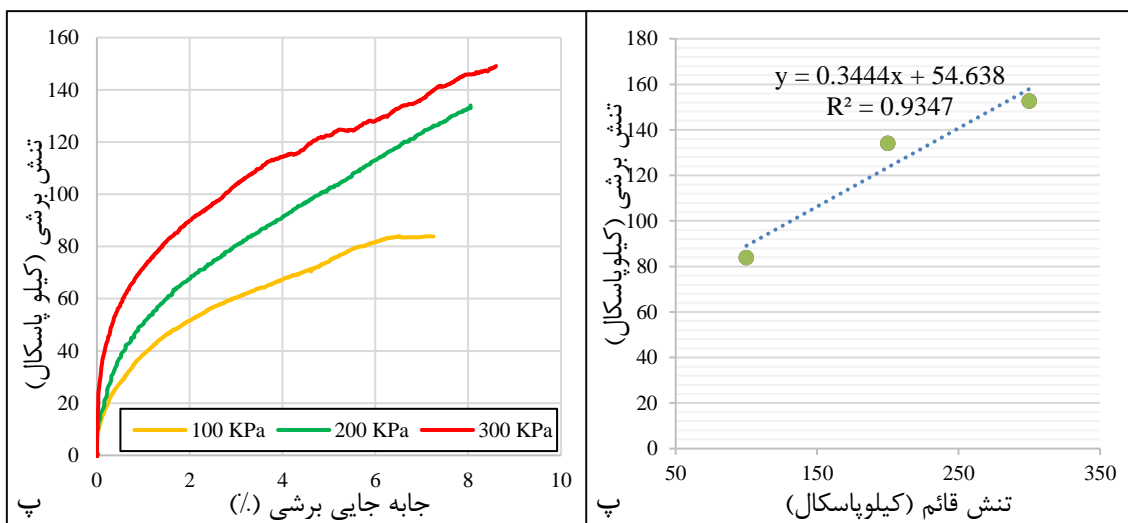
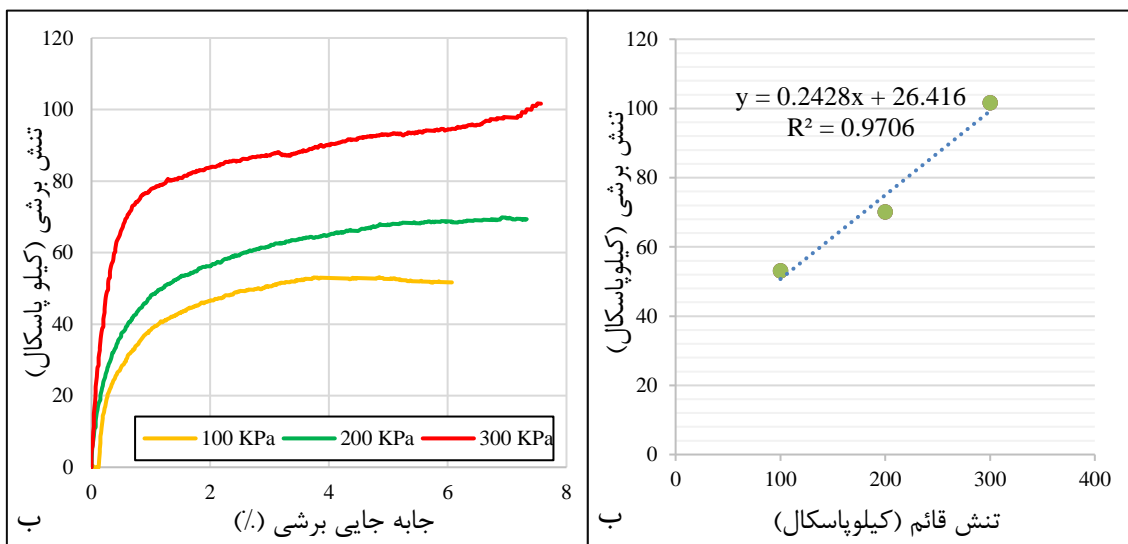
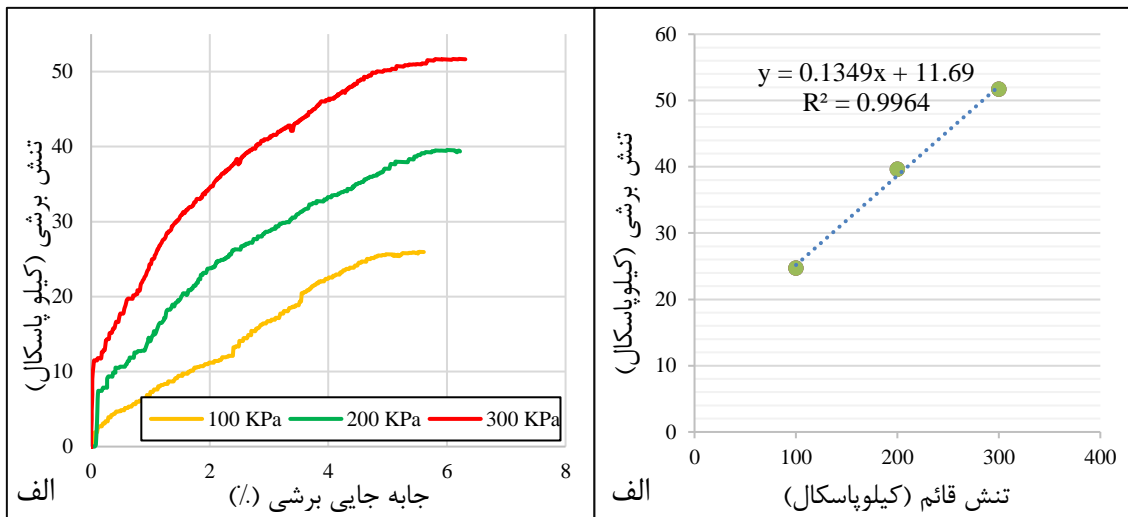
شکل ۴-۱۸: منحنی تنش برشی-جابه جایی برشی و پوش نمونه ۱ در وضعیت‌های رطوبتی مختلف
 الف) حالت مرطوب با درصد رطوبت ۲۱/۵۴ (ب) حالت نیمه اشباع با درصد رطوبت ۲۸/۵۸
 پ) حالت اشباع با درصد رطوبت ۳۴/۸۲



شکل ۴-۱۹: منحنی تنش برشی-جاب‌جایی برشی و پوش نمونه ۲ در وضعیت‌های رطوبتی مختلف

الف) حالت مرطوب با درصد رطوبت ۱۹/۷۹ (ب) حالت نیمه اشباع با درصد رطوبت ۲۶/۳۷

پ) حالت اشباع با درصد رطوبت ۳۳/۷۹



شکل ۴-۲۰: منحنی تنش برشی-جابه جایی برشی و پوش نمونه ۳ در وضعیت‌های رطوبتی مختلف

الف) حالت مرطوب با درصد رطوبت ۸/۷۸ (ب) حالت نیمه اشباع با درصد رطوبت ۱۵/۰۰

پ) حالت اشباع با درصد رطوبت ۲۲/۵۷

۴-۵-۳-۲ نتایج آزمایش مقاومت تراکمی تک محوری

در شکل (۴-۲۱)، حالت‌های مختلف گسیختگی بعد از بارگذاری و اتمام آزمایش را در نمونه ۱ نشان می‌دهد. در این شکل رطوبت نمونه‌ها به ترتیب از راست به چپ افزایش می‌یابد و وضعیت رطوبتی نمونه‌ها را در حالت نیمه خشک، رطوبت طبیعی، نیمه اشباع و اشباع به نمایش می‌گذارد. همانطور که در تصویر (۴-۲۱) مشاهده می‌شود، شکل گسیختگی نمونه‌ها در حالت اشباع و نیمه اشباع با ایجاد دو صفحه به وقوع پیوسته است و در حالت رطوبتی نیمه خشک و مرطوب در امتداد یک صفحه گسیختگی به صورت کامل و در امتداد صفحه دیگر به صورت نیمه توسعه یافته می‌باشد. در واقع نمونه‌ها با کاهش میزان رطوبت به صورت شکننده تر رفتار می‌کنند.



شکل ۴-۲۱: شکل‌های مختلف گسیختگی بعد از بارگذاری و اتمام آزمایش در نمونه ۱

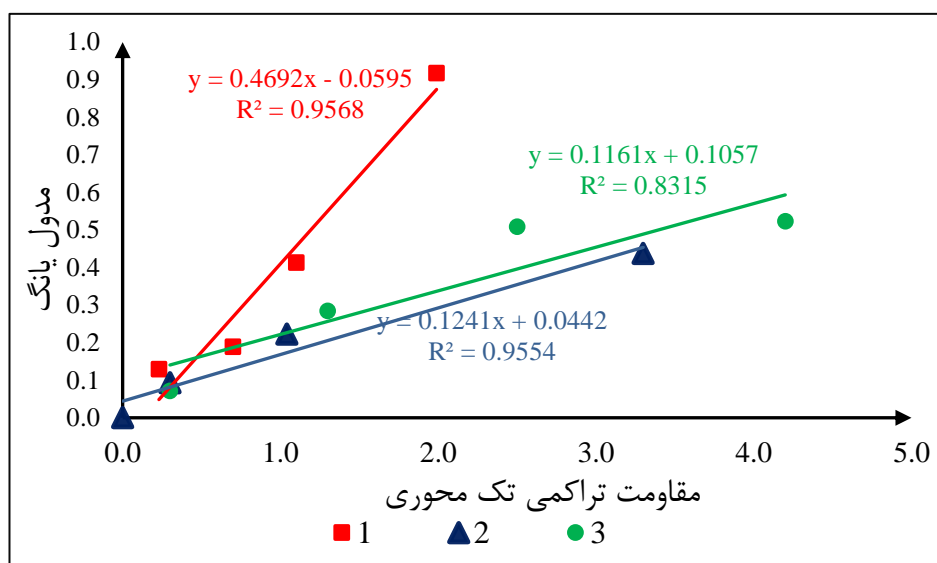
در شکل (۴-۲۴)، نمودار تنش-کرنش محوری آزمون مقاومت تراکمی تک محوری برای نمونه‌های پروفیل‌های مورد مطالعه در درصد رطوبت‌های مختلف آورده شده است. با توجه به شکل بیشترین تنش و میزان مقاومت نهایی مربوط به حالتی است که میزان رطوبت نمونه کمتر از رطوبت طبیعی آن می‌باشد. هر چه میزان رطوبت نمونه افزایش پیدا کند از میزان مقاومت کاسته می‌شود تا حدی که در نمونه‌های اشباع کمترین میزان تنش با مقادیر نزدیک به صفر مشاهده می‌شود. در جدول (۴-۷) نتایج آزمایش مقاومت تراکمی تک محوری هر یک از نمونه‌ها آورده شده است.

جدول ۴-۷: نتایج آزمایش مقاومت تراکمی تک محوری

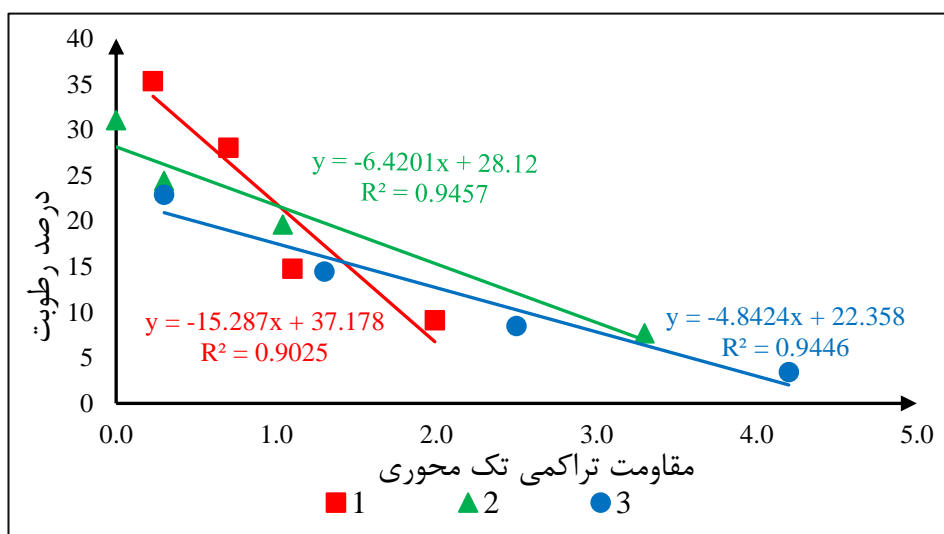
| شماره نمونه | نوع نمونه | درصد رطوبت | قطر (cm) | ارتفاع (cm) | کرنش شکست (%) | مقاومت نهایی (kg/cm ²) | مدول یانگ (kg/Cm ²) |
|-------------|------------|------------|----------|-------------|---------------|------------------------------------|---------------------------------|
| ۱ | مرطوب | ۱۴/۷۶ | ۵ | ۱۰ | ۵/۴ | ۱/۱ | ۰/۴۱۳ |
| ۱ | نیمه اشباع | ۲۸/۰۴ | ۵ | ۱۰ | ۶/۴ | ۰/۷ | ۰/۱۸۹ |
| ۱ | اشباع | ۳۵/۳۵ | ۵ | ۱۰ | ۳/۲ | ۰/۲۳ | ۰/۱۲۹ |
| ۱ | نیمه خشک | ۹/۱۱ | ۵ | ۱۰ | ۳/۲ | ۱/۹۹ | ۰/۹۱۷ |
| ۲ | مرطوب | ۱۹/۶۰ | ۵/۵ | ۱۱ | ۴/۲ | ۱/۰۴ | ۰/۲۲۲۷ |
| ۲ | نیمه اشباع | ۲۴/۳۷ | ۴ | ۷/۵ | ۳/۵ | ۰/۳ | ۰/۰۹۲۸ |
| ۲ | اشباع | ۳۱/۰۴ | ۴ | ۷/۵ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۲ | نیمه خشک | ۷/۶۸ | ۵/۵ | ۱۱ | ۴/۰۳۶ | ۳/۳ | ۰/۴۳۷۱ |
| ۳ | مرطوب | ۸/۴۹ | ۵/۵ | ۱۰ | ۷/۶ | ۲/۵ | ۰/۵۰۸ |
| ۳ | نیمه اشباع | ۱۴/۴۴ | ۵/۵ | ۱۰ | ۶/۵ | ۱/۳ | ۰/۲۸۴۴ |
| ۳ | اشباع | ۲۲/۸۸ | ۵/۵ | ۱۰ | ۵/۱ | ۰/۳ | ۰/۰۷۱۱ |
| ۳ | نیمه خشک | ۳/۴۳ | ۴/۲ | ۸/۵ | ۶/۱ | ۴/۲ | ۰/۵۲۳۱ |

در شکل (۴-۲۲) رابطه‌ی مقاومت تراکمی تک محوری و مدول الاستیسته نمایش داده شده است. با توجه به شکل زیر می‌توان بیان نمود که بین این دو پارامتر رابطه‌ی مستقیم و خطی وجود داشته و هر چه میزان مقاومت تراکمی تک محوری نمونه‌ها افزایش پیدا کند، مدول الاستیسته نیز افزایش یافته و نمودار روند صعودی خواهد داشت. همچنین در شکل (۴-۲۳)، میزان تغییرات درصد رطوبت با میزان مقاومت تراکمی تک محوری آورده شده است. این شکل رابطه‌ی معکوس دو پارامتر میزان رطوبت و مقاومت تراکمی تک محوری را نشان می‌دهد بدین صورت که هر چه میزان درصد رطوبت افزایش پیدا کند از میزان مقاومت تراکمی تک محوری کاسته می‌شود.

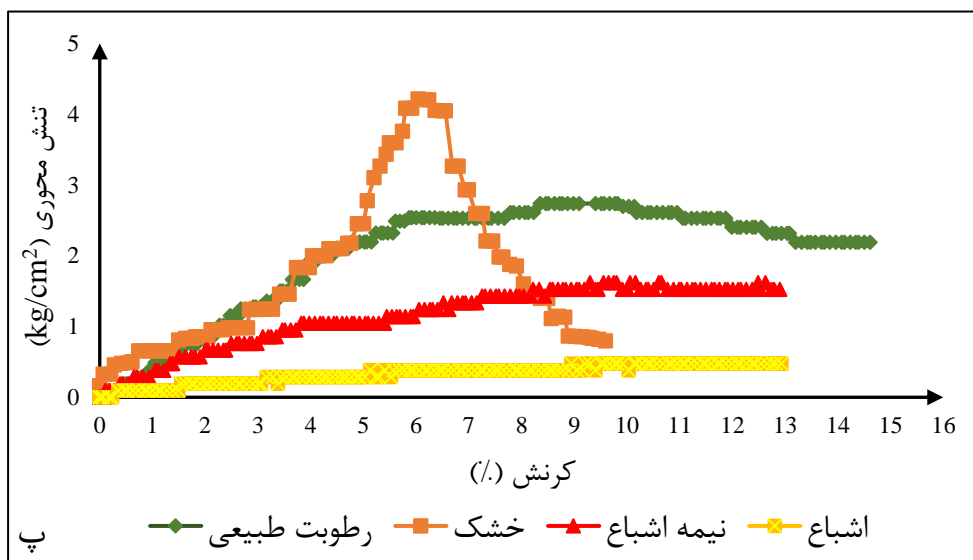
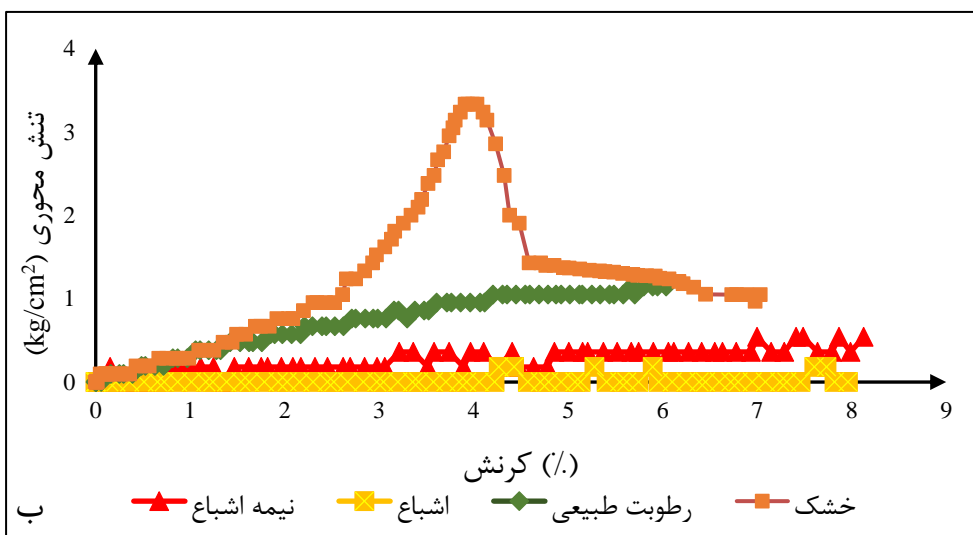
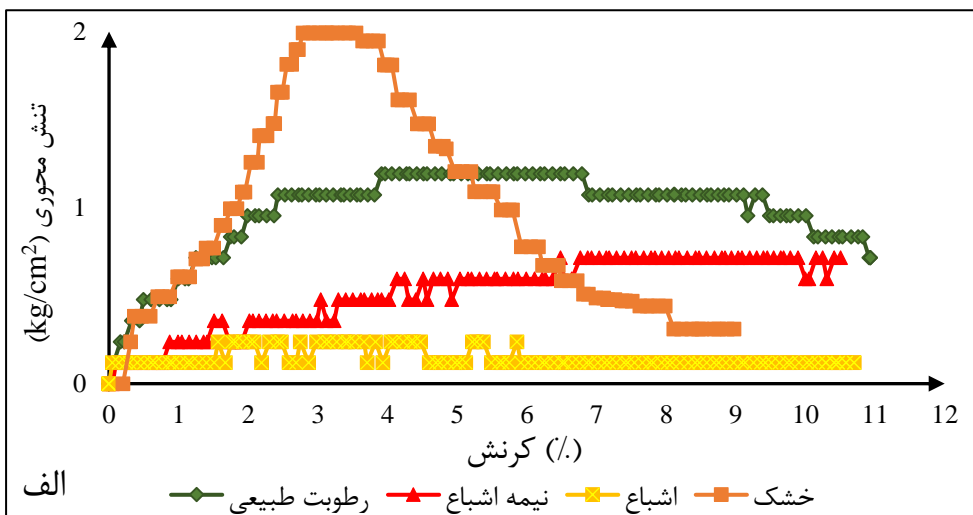
برای نشان دادن تاثیر میزان درصد رس بر مقاومت نمونه‌ها در پروفیل‌های مورد مطالعه از شیب خطوط در شکل (۴-۲۳) استفاده گردید. با توجه به درصد رس در نمونه‌ها ($1 < 2 < 3$)، هر چه میزان رس نمونه‌ها بیشتر باشد، نمونه‌ها مقاومت کمتری خواهند داشت و زودتر گسیخته می‌شود. به عبارت دیگر هر چه میزان چسبندگی در نمونه‌ها بیشتر باشد، نمونه سریع‌تر گسیخته خواهد شد. بر این اساس نمونه ۳ نسبت به سایر نمونه‌ها زودتر گسیخته می‌شود، زیرا بیشترین مقدار رس و کمترین مقاومت را نسبت به نمونه‌های دیگر دارد.



شکل ۴-۲۲: رابطه‌ی مقاومت تراکمی تک محوری و مدول یانگ



شکل ۴-۲۳: تغییرات میزان درصد رطوبت و تاثیر آن بر مقاومت تراکمی تک محوری

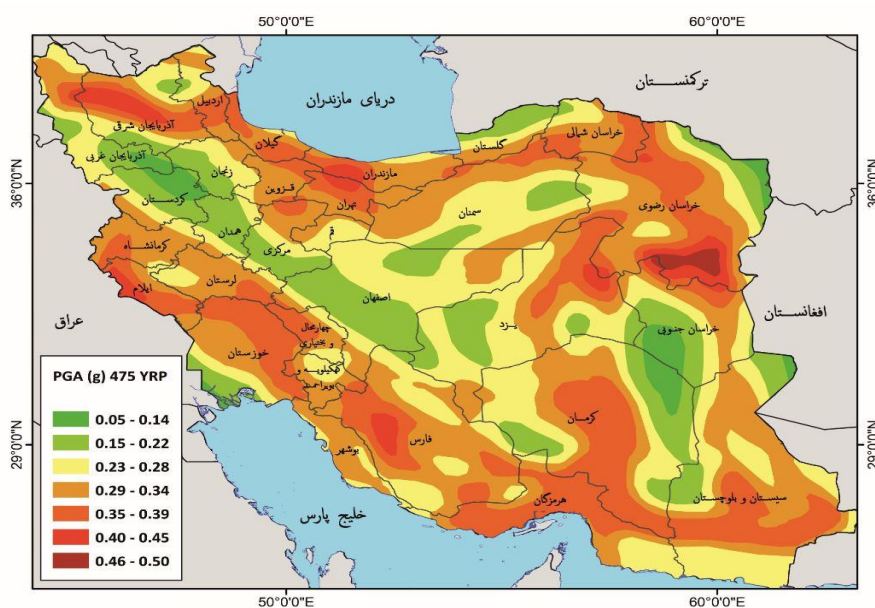


شکل ۴-۲۴: نمودار تنش-کرنش نمونه‌های ۱، ۲ و ۳ در رطوبت‌های مختلف

الف) نمودار تنش-کرنش نمونه ۱ (ب) نمودار تنش-کرنش نمونه ۲ (پ) نمودار تنش-کرنش نمونه ۳

۴-۶ تحلیل پایداری پروفیل‌های مورد مطالعه

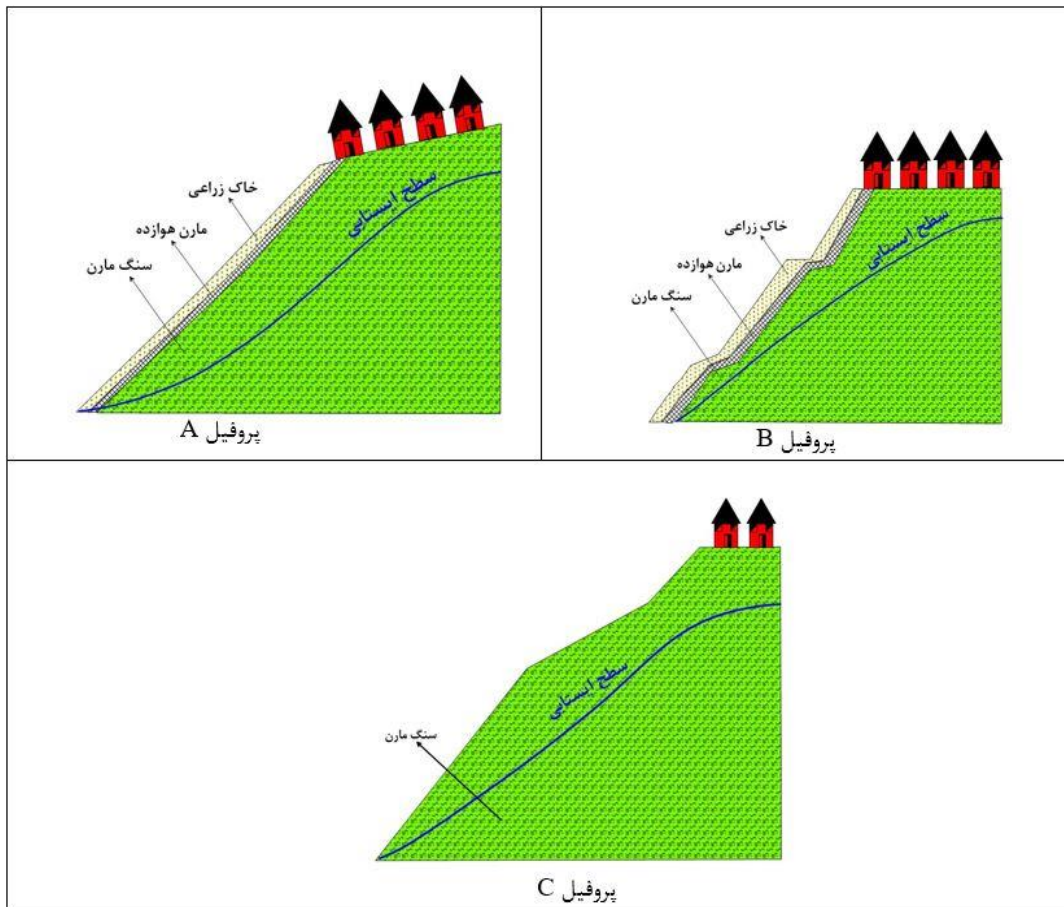
به منظور تحلیل پایداری پروفیل‌های مورد مطالعه در روستای تلوبین، تعیین سطح لغزش احتمالی و محاسبه ضریب اطمینان آن‌ها از نرم افزار اسلاید (slide6.20) استفاده شده است. در این نرم افزار برای تحلیل پایداری از پارامترهای مقاومت برشی (چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی)، پارامترهای هندسی دامنه (شیب و ارتفاع) و دانسیته در محل استفاده شده است. داده‌های حاصل از تحلیل نرم افزار نشان دهنده بحرانی‌ترین سطح لغزش می‌باشد. به منظور انجام تحلیل‌ها دو روش بیشاب ساده و اسپنسر در نرم افزار اسلاید به کار گرفته شد. و با توجه وضعیت ژئومکانیکی مصالح و مشاهدات صحرایی از تحلیل دایره‌ای استفاده گردیده است. با توجه به قرارگیری پروفیل‌های مذکور در منطقه مسکونی بار وارد شده حاصل از وزن خانه‌ها به صورت تنش گسترده در مدل لحاظ گردیده است. در شکل (۴-۲۶)، تصاویر زمین‌شناسی مرتبط با پروفیل‌های مورد مطالعه آورده شده است. مقادیر ضریب اطمینان هر پروفیل در هر دو حالت استاتیکی و دینامیکی در جدول (۴-۸) آورده شده است. در حالت دینامیک مقدار شتاب ثقل با توجه به نقشه‌ی هم شتاب زلزله ایران (شکل ۴-۲۵) و مطالعات پیشین در منطقه‌ی تلوبین (حمیدی، ۱۳۹۷)، در نظر گرفته شد.



شکل ۴-۲۵: مقدار شتاب ثقل بر روی نقشه خطر زلزله ایران با دوره بازگشت ۴۷۵ سال (زارع، ۱۳۹۹)

جدول ۴-۸: مقادیر ضریب اطمینان پروفیل‌های مورد مطالعه در روستای تلوبین

| شماره پروفیل | وضعیت رطوبت پروفیل | حالت استاتیکی | | حالت دینامیکی | |
|--------------|--------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| | | ضریب اطمینان (بیشاب) | ضریب اطمینان (اسپنسر) | ضریب اطمینان (بیشاب) | ضریب اطمینان (اسپنسر) |
| پروفیل A | اشباع | ۱/۱ | ۱/۷ | ۰/۸۶۴ | ۰/۸۶۹ |
| | نیمه اشباع | ۳/۸ | ۳/۸ | ۱/۸۲۵ | ۱/۸۳۶ |
| | مرطوب | ۴/۷ | ۵/۶ | ۳/۵۳۰ | ۳/۵۴۷ |
| پروفیل B | اشباع | ۰/۹ | ۱/۲ | ۰/۷۳۸ | ۰/۷۶۱ |
| | نیمه اشباع | ۱/۳ | ۲/۵ | ۱/۴۹۱ | ۱/۷۲۳ |
| | مرطوب | ۲/۰ | ۲/۷ | ۱/۰۱۲ | ۲/۲۲۴ |
| پروفیل C | اشباع | ۰/۸ | ۰/۹ | ۰/۵۵۸ | ۰/۵۵۳ |
| | نیمه اشباع | ۱/۶ | ۲/۲ | ۱/۱۹۶ | ۱/۱۹۳ |
| | مرطوب | ۳/۲ | ۴/۹ | ۲/۳۵۴ | ۲/۳۵۹ |



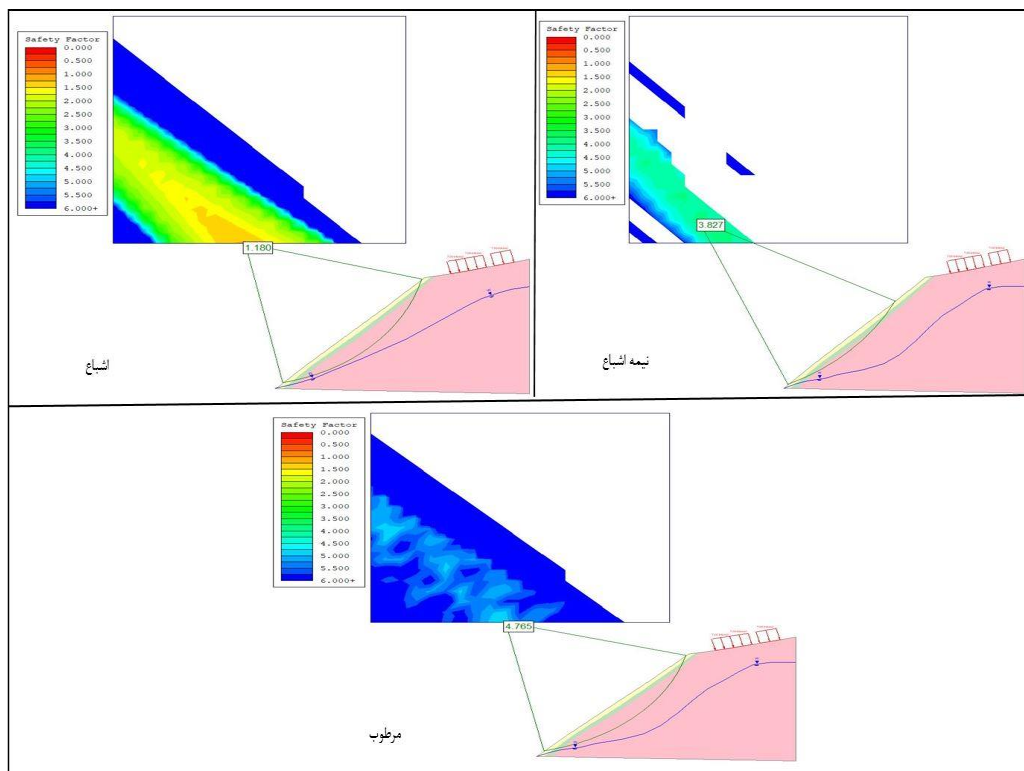
شکل ۴-۲۶: تصویر زمین شناسی پروفیل‌های مورد مطالعه

۴-۶-۱ تحلیل پایداری پروفیل A

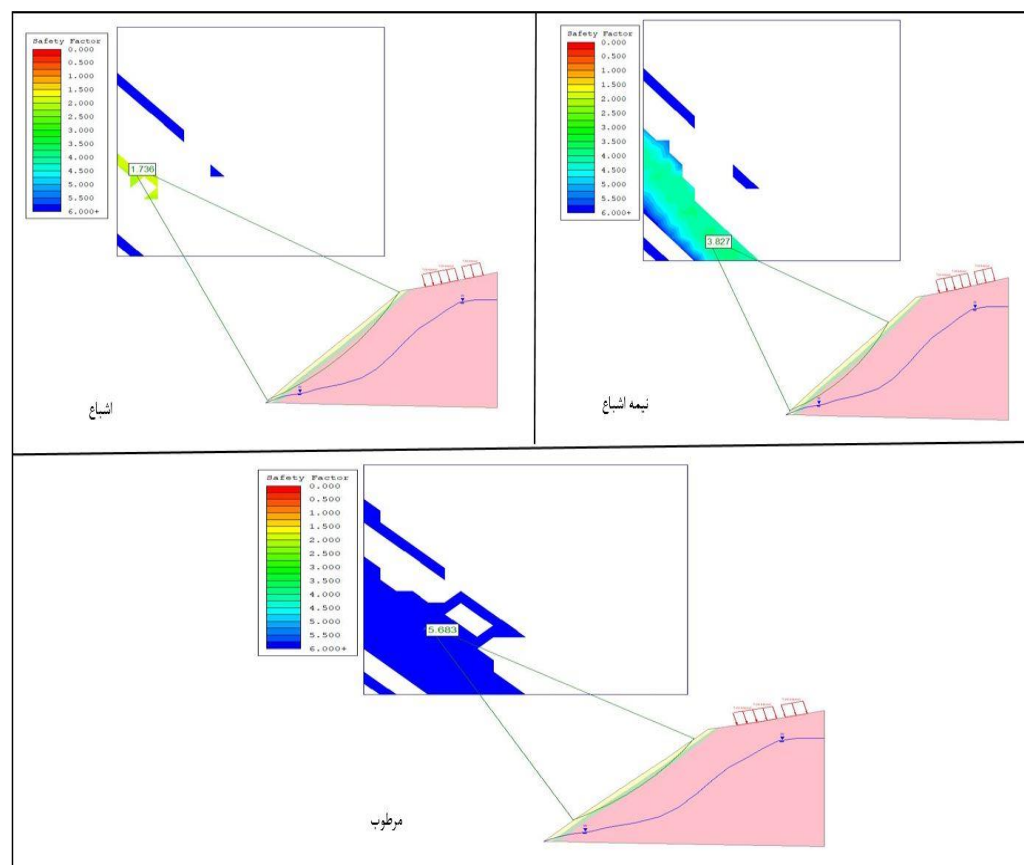
این پروفیل از ۳ لایه سنگ و خاک تشکیل گردیده است که به ترتیب از سطح به عمق خاک زراعی، مارن هوازده و سنگ مارن را شامل می‌شود (شکل ۴-۲۶). شکل‌های (۴-۲۸ و ۴-۲۹)، سطح لغزش بحرانی و مقادیر ضریب اطمینان پروفیل A را در حالت استاتیک وضعیت‌های رطوبتی مختلف نشان می‌دهد. با توجه به مقدار ضریب اطمینان این پروفیل با تغییر میزان رطوبت و حتی در بحرانی‌ترین حالت (حالت اشباع) از پایداری نسبی برخوردار می‌باشد. زیرا این پروفیل دوره‌ی لغزشی خود را طی نموده است و اگر لغزشی در این پروفیل رخ دهد، در بخش انتهایی شیب تاثیر گذار خواهد بود (شکل ۴-۲۷). شکل‌های (۴-۳۰ و ۴-۳۱)، سطح لغزش بحرانی و مقادیر ضریب اطمینان پروفیل A را در حالت دینامیک وضعیت‌های رطوبتی مختلف نشان می‌دهد. مقادیر ضریب اطمینان این پروفیل در حالت دینامیک در وضعیت‌های رطوبتی مختلف در روش بیشاب و اسپسرنر تغییر بارزی را نشان نمی‌دهد و مقدار ضریب اطمینان کمتر از ۱ بیانگر استعداد لغزش پروفیل نامبرده در حالت اشباع پس از رخداد زمین لرزه می‌باشد.



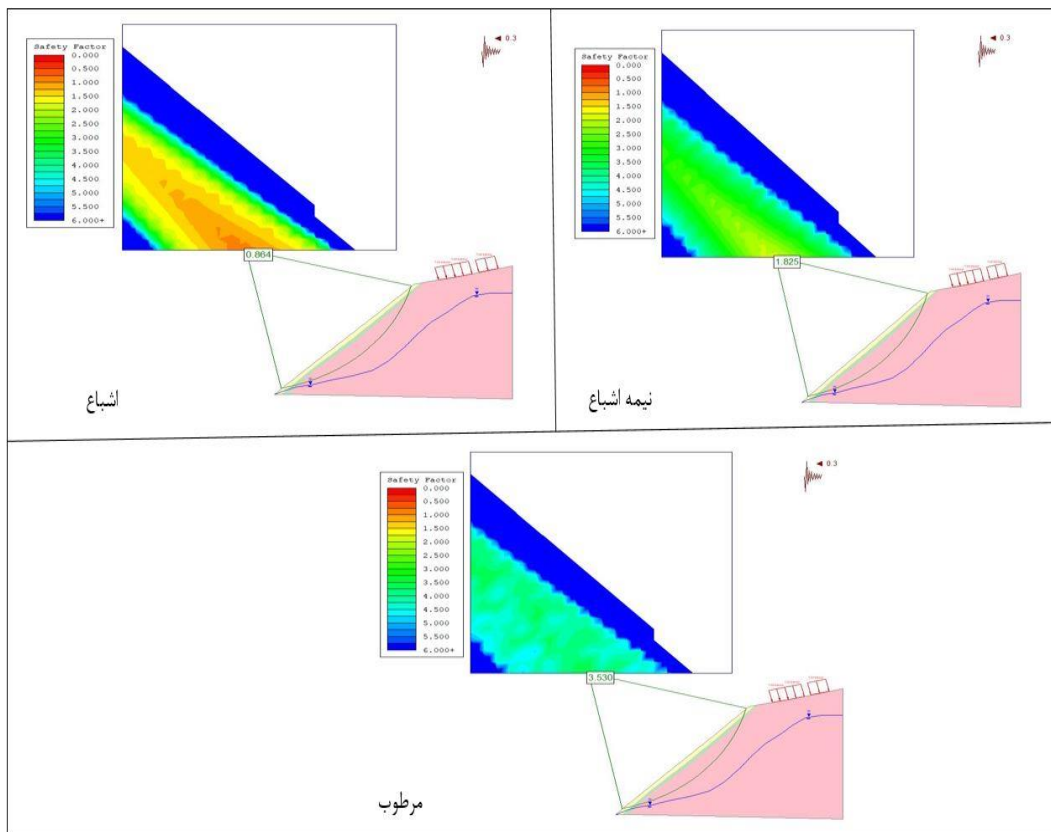
شکل ۴-۲۷: تصاویری از خانه‌های تخریب شده و لغزیده در پروفیل A



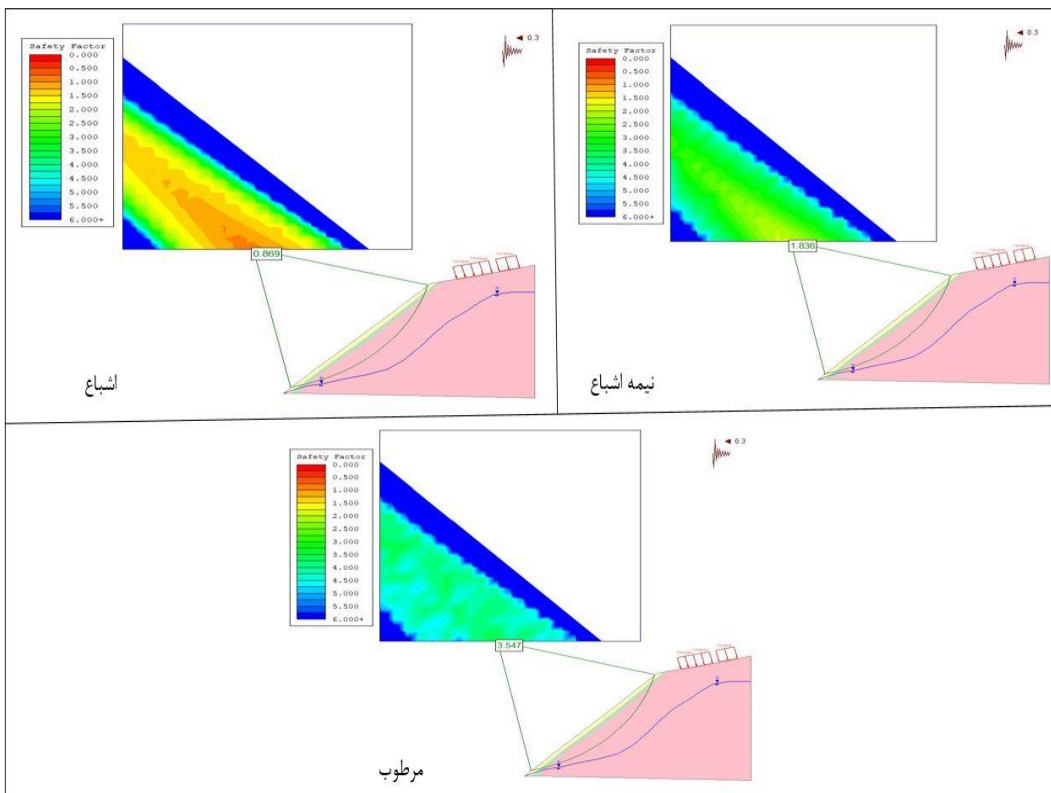
شکل ۴-۲۸: نتایج تصویری نرم افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش بیشاب در پروفیل A در حالت استاتیک



شکل ۴-۲۹: نتایج تصویری نرم افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش اسپنسسر در پروفیل A در حالت استاتیک



شکل ۴-۳۰: نتایج تصویری نرم افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش بیشاب در پروفیل A در حالت دینامیک



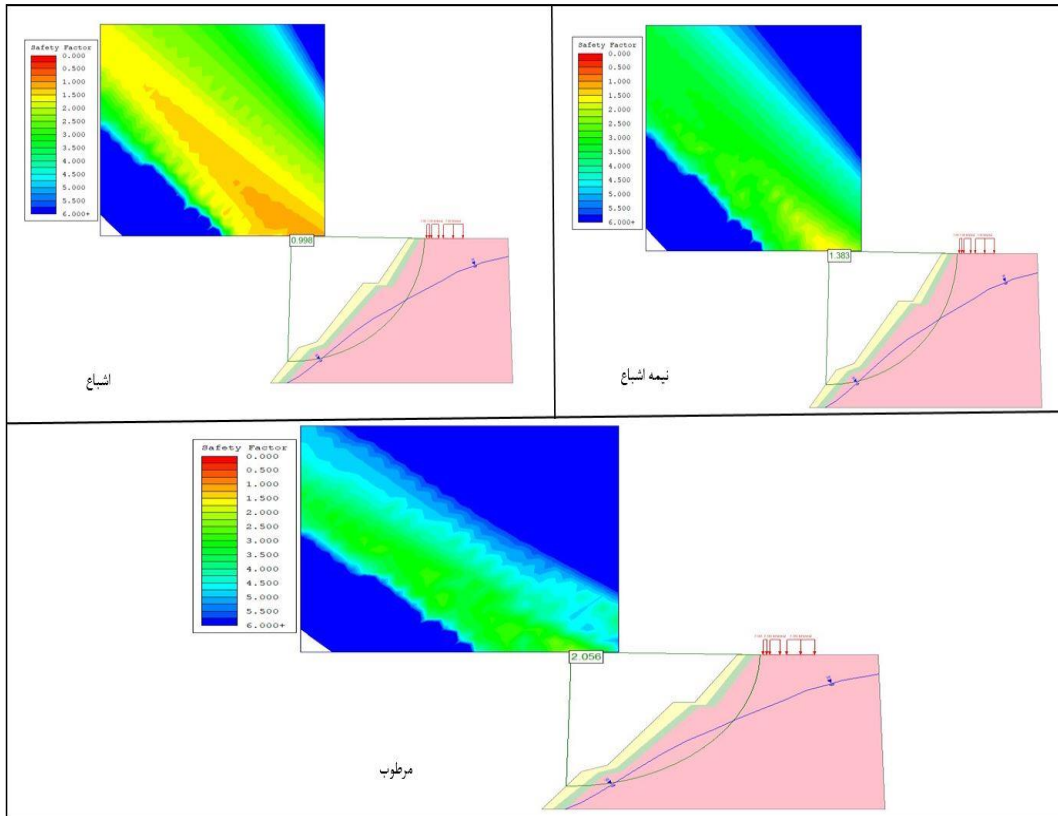
شکل ۴-۳۱: نتایج تصویری نرم افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش اسپنسر در پروفیل A در حالت دینامیک

۲-۸-۴ تحلیل پایداری پروفیل B

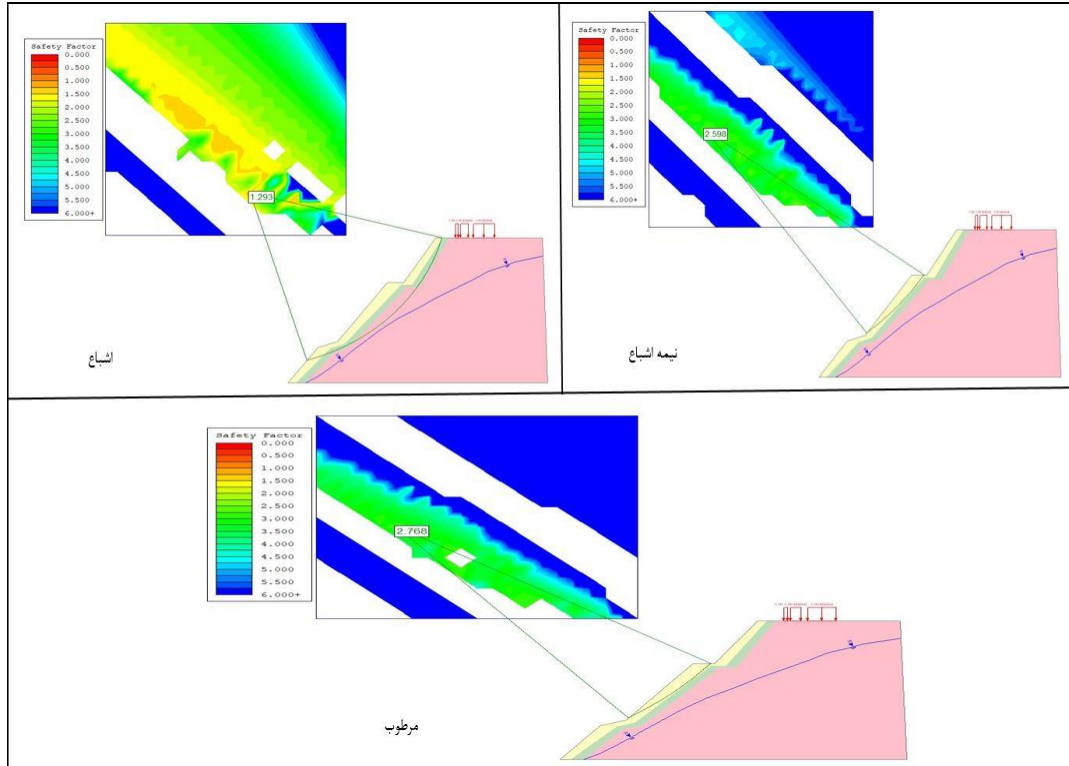
پروفیل B همانند پروفیل A از سه لایه سنگ و خاک با مصالح مشابه تشکیل گردیده است. با این تفاوت که میزان ضخامت لایه‌های خاک‌های زراعی و مارن هوازده در این پروفیل بیشتر است (شکل ۲۶-۴). مشهودترین آثار ناپایداری در این پروفیل حضور ترک‌های کششی می‌باشد (شکل ۴-۳۲). مقادیر ضریب اطمینان در پروفیل B با افزایش میزان رطوبت کاهش می‌یابد. مقدار ضریب اطمینان این پروفیل در حالت استاتیک در وضعیت رطوبتی اشباع بر رخداد لغزش در این پروفیل تاکید دارد (شکل‌های ۴-۳۳ و ۴-۳۴). مقادیر ضریب اطمینان پروفیل B در حالت دینامیک در وضعیت رطوبتی اشباع و نیمه اشباع در روش بیشاپ نیز رخداد لغزش را به طور قطعی ثابت می‌کند (شکل ۴-۳۵). مقدار ضریب اطمینان در روش اسپنسر در حالت دینامیک مشابه با روش بیشاپ رخداد لغزش در وضعیت اشباع را تصدیق می‌کند (شکل ۴-۳۶). با توجه به تحلیل‌های بیان شده و قرار گرفتن پروفیل B در فاصله‌ی نزدیک به منازل مسکونی، بالا بودن ریسک لغزش را در این پروفیل نسبت به سایر پروفیل‌ها می‌توان نتیجه گرفت.



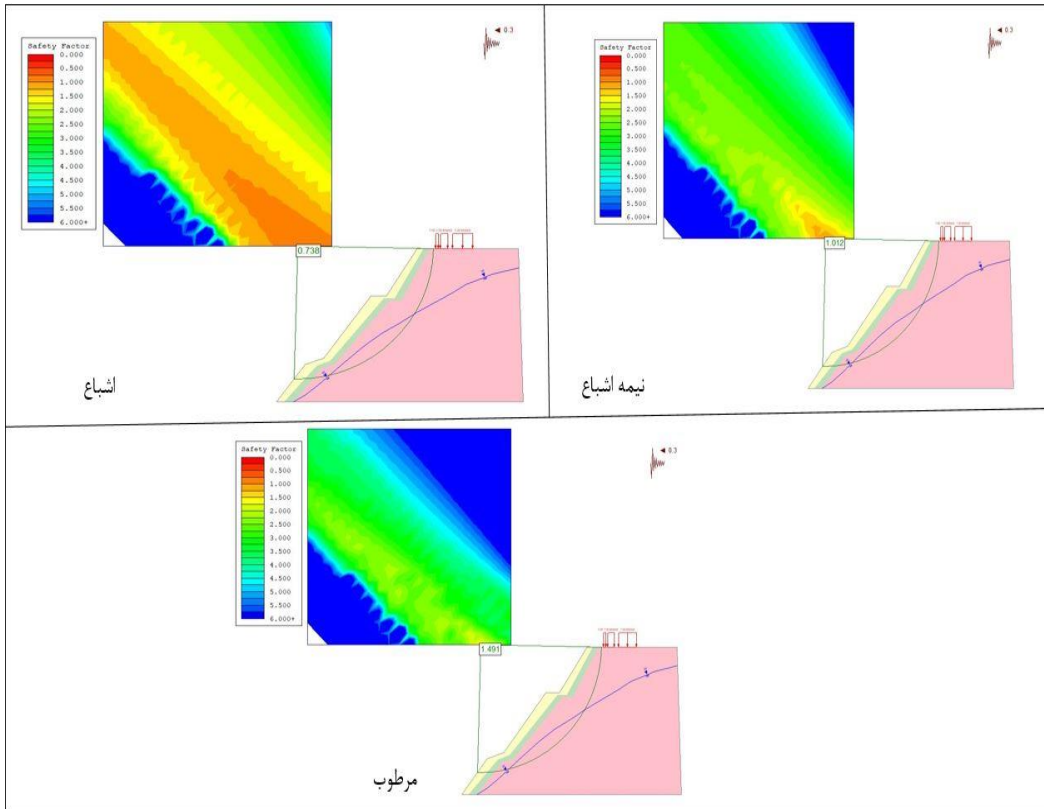
شکل ۴-۳۲: آثار ترک‌های کششی مشاهده شده در پروفیل B و C



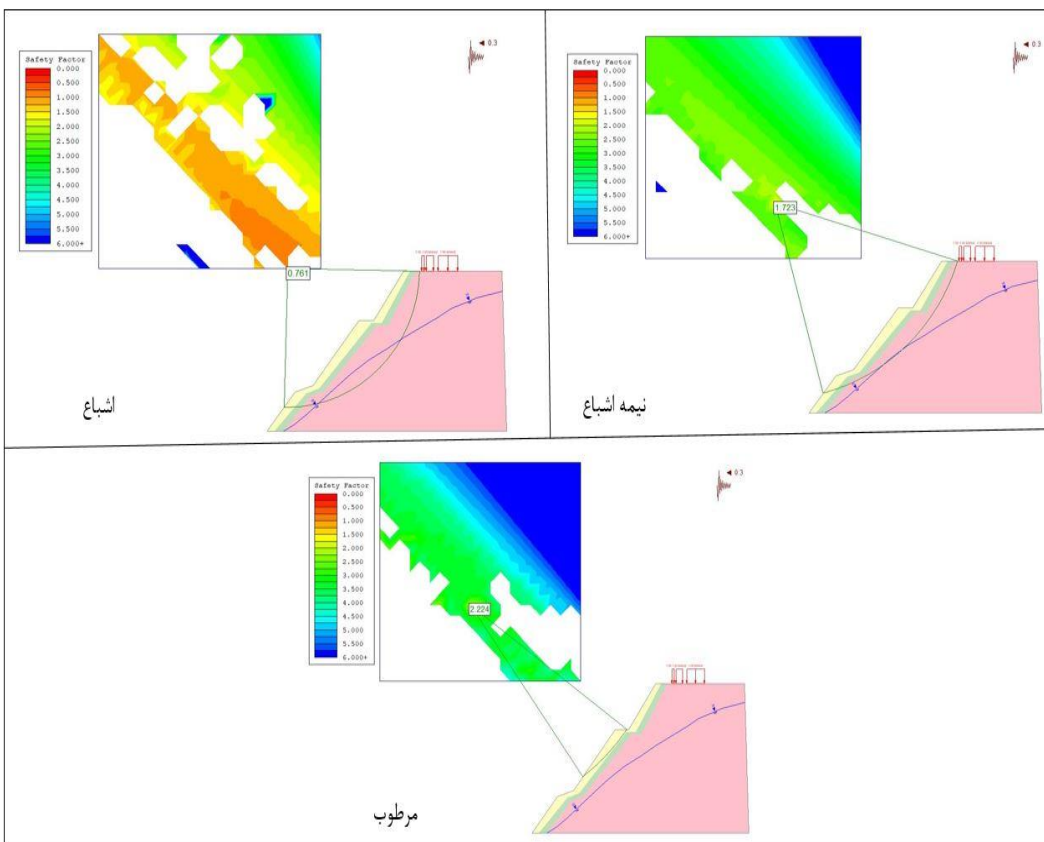
شکل ۴-۳۳: نتایج تصویری نرم افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش بیشاب در پروفیل B در حالت استاتیک



شکل ۴-۳۴: نتایج تصویری نرم افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش اسپنسسر در پروفیل B در حالت استاتیک



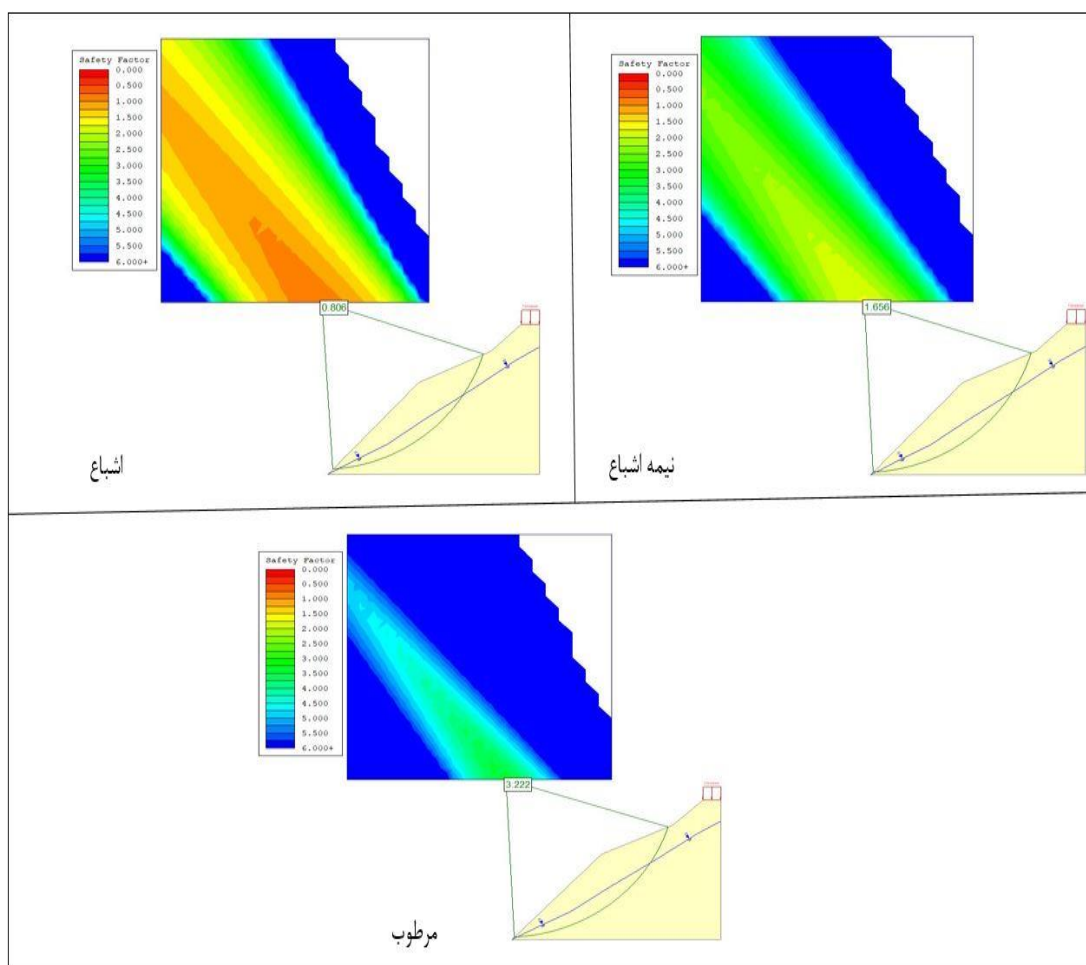
شکل ۳۵-۴: نتایج تصویری نرم افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش بیشاب در پروفیل B در حالت دینامیک



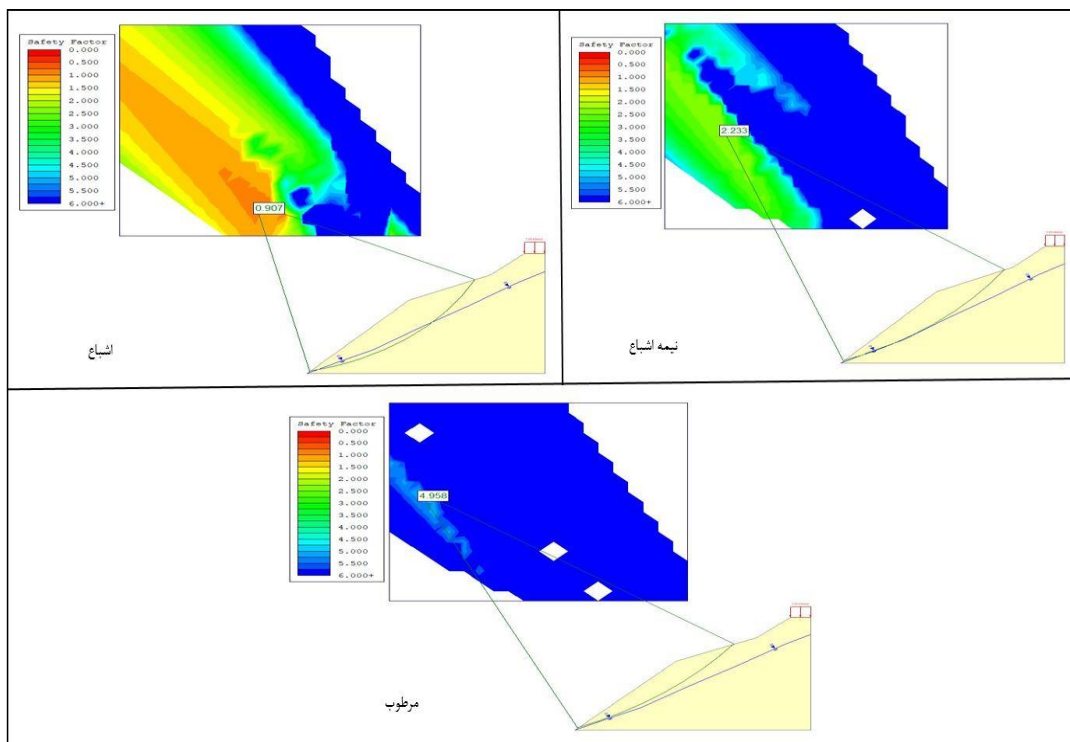
شکل ۳۶-۴: نتایج تصویری نرم افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش اسپنسر در پروفیل B در حالت دینامیک

۳-۸-۴ تحلیل پایداری پروفیل C

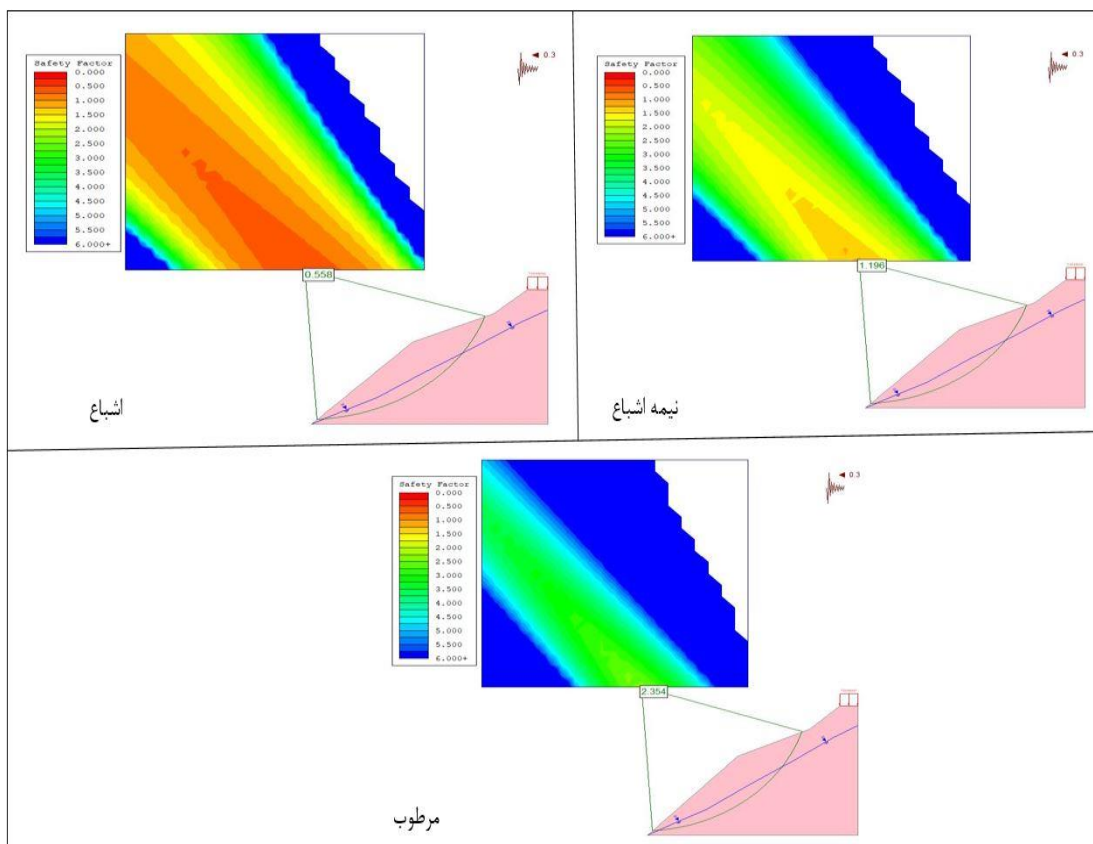
با توجه به اینکه جهت شیب در پروفیل C رو جنوب می باشد، عملکرد عوامل هوازدگی در این پروفیل تاثیر گذاری کمتری داشته و متعاقبا ضخامت خاک سطحی کمتر می باشد. بنابراین پروفیل مذکور به صورت یک لایه ی مارنی در نظر گرفته شده است (شکل ۴-۲۵). پروفیل C در حالت اشباع دارای ضریب اطمینان کمتر از ۱ می باشد و به همین سبب در پروفیل C در حالت استاتیک و دینامیک قطعا لغزش اتفاق خواهد افتاد در حالی که این پروفیل در حالت دینامیک در وضعیت نیمه اشباع احتمال رخداد لغزش بسیار بالا است (شکل ۴-۳۷ تا ۴-۴۰). در این پروفیل نیز آثار ترک های کششی همانند پروفیل B مشهود است (شکل ۴-۳۲).



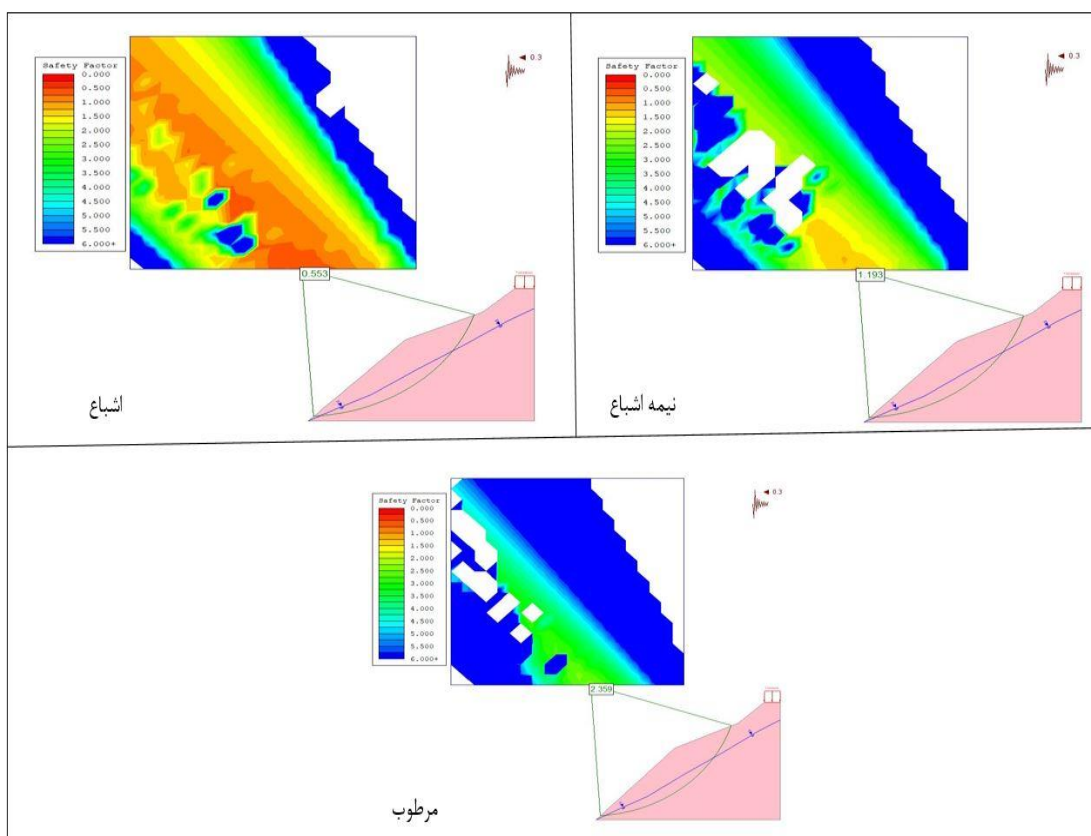
شکل ۴-۳۷: نتایج تصویری نرم افزار اسلاید با بهره گیری از روش بیشاب در پروفیل C در حالت استاتیک



شکل ۴-۳۸: نتایج تصویری نرم افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش اسپنسسر در پروفیل C در حالت استاتیک



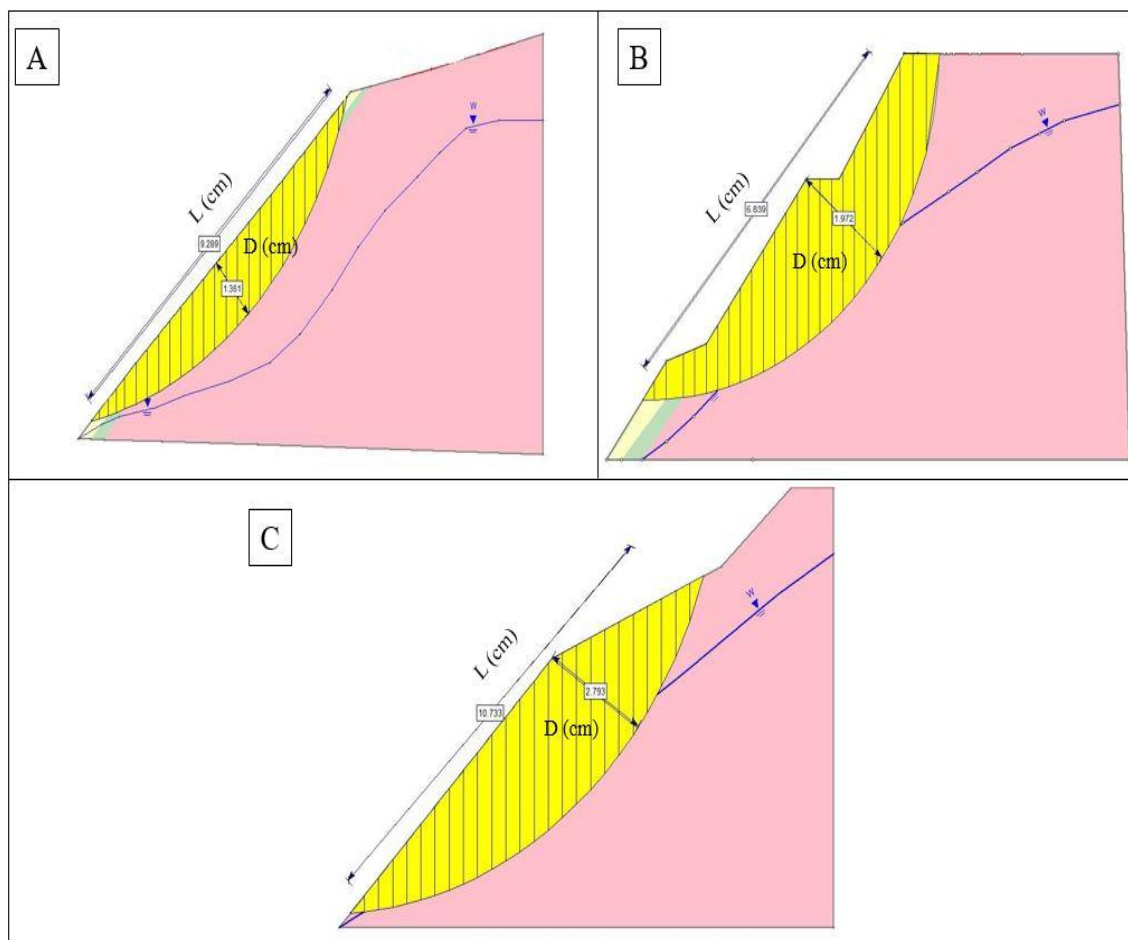
شکل ۴-۳۹: نتایج تصویری نرم افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش بیشاب در پروفیل C در حالت دینامیک



شکل ۴-۴: نتایج تصویری نرم افزار اسلاید با بهره‌گیری از روش اسپنسسر در پروفیل C در حالت دینامیک

۴-۹ طبقه‌بندی زمین‌لغزش‌ها در روستای تلوبین

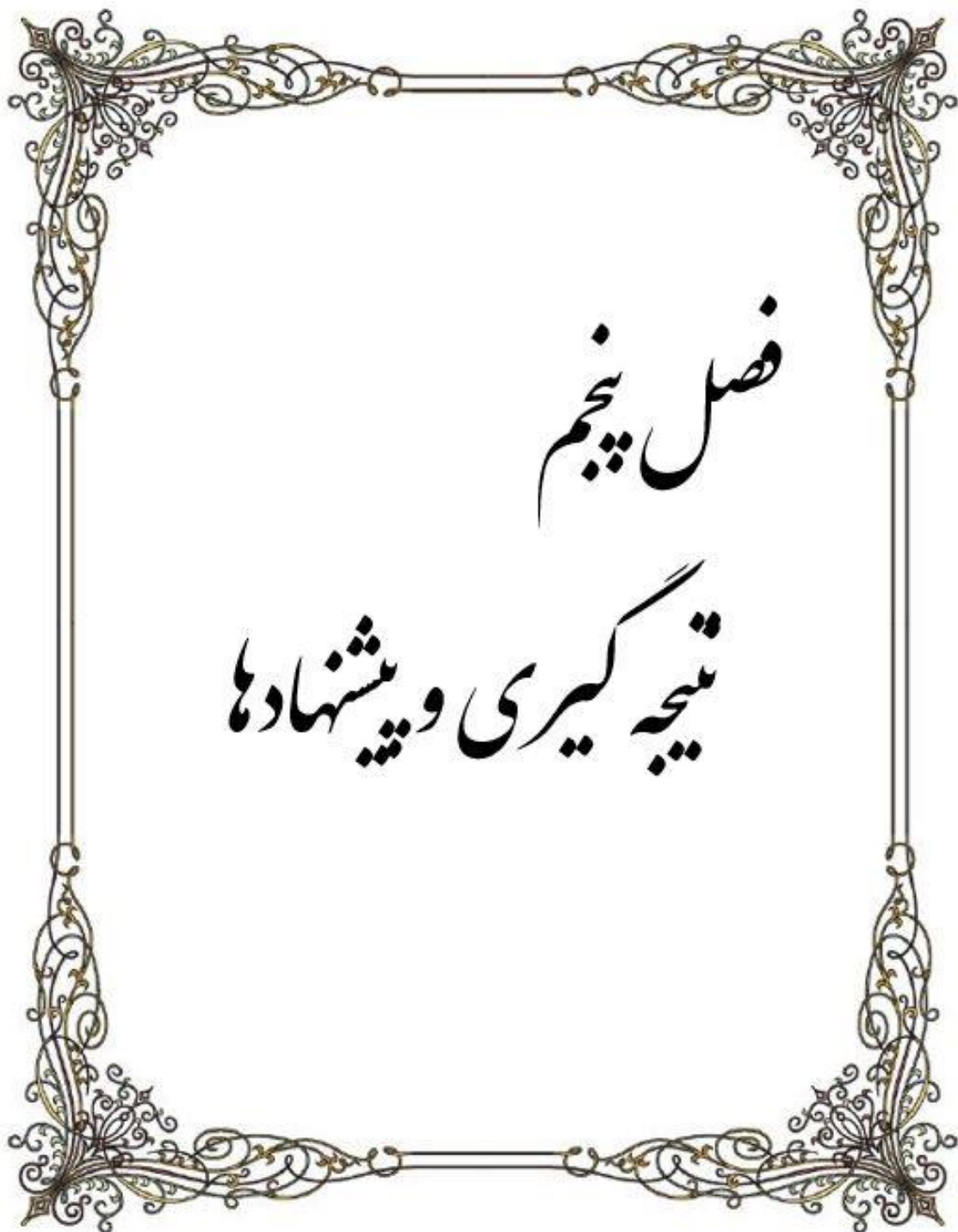
همانطور که در فصل دوم بیان شد، هر طبقه‌بندی بر هدف مشخصی تاکید دارد. اسکمپتون (۱۹۵۳) زمین‌لغزش‌ها را بر اساس نسبت حداکثر عمق لغزش (D) به حداکثر طول لغزش (L) برابر با (D/L) طبقه‌بندی نموده است. به منظور انجام طبقه‌بندی لغزش‌های رخ داده در روستای تلوبین بر اساس نسبت (D/L)، عمق و طول لغزش در هر پروفیل مطابق با شکل (۴-۴) اندازه‌گیری و با توجه به مقدار (D/L) نوع لغزش‌ها (در صورت رخداد) مشخص گردید. جدول (۴-۹) طبقه‌بندی لغزش‌های پیش‌بینی شده بر اساس نسبت (D/L) در روستای تلوبین را ارائه می‌دهد. بنابر مطالب بیان شده در تئوری تحقیق، لغزش‌های دارای نسبت (D/L) $0/1$ - $0/3$ که در مصالح رسی با شیب 10 - 20 درجه اتفاق می‌افتد، به عنوان لغزش‌های چرخشی کم عمق دسته‌بندی می‌گردند.



شکل ۴-۴: عمق و طول لغزش در پروفیل‌های مورد مطالعه در روستای تلوبین

جدول ۴-۹: طبقه بندی لغزش‌های پیش بینی شده بر اساس نسبت D/L

| شماره پروفیل | عمق لغزش (متر) | طول لغزش (متر) | D/L | نوع لغزش |
|--------------|----------------|----------------|-------|-------------------|
| پروفیل A | ۱۳ | ۹۲ | ۰/۱۴ | لغزش چرخشی کم عمق |
| پروفیل B | ۱۹ | ۶۸ | ۰/۲۷ | لغزش چرخشی کم عمق |
| پروفیل C | ۲۷ | ۱۰۷ | ۰/۲۵ | لغزش چرخشی کم عمق |



فصل پنجم

نتیجہ گیری و پیشہ ندادا

۱-۵ نتیجه گیری

با توجه به مباحث ارائه شده در این پژوهش، می توان نتایج به دست آمده از این تحقیق را در غالب موارد زیر دسته بندی کرد:

۱- مقایسه میزان بارندگی در سال ۹۷ با میانگین بارندگی در بازه سالانه ۹۰-۹۷ نشان داد که بارشها افزایش چشمگیری داشته است، به خصوص در سه ماه انتهایی سال، که عمده خرابیها و آسیب ناشی از لغزشها نیز در همین سال به وقوع پیوسته است.

۲- در منطقه مورد مطالعه نواحی دارای جهت شیب شمال و شمال شرقی به دلیل بهره مندی کمتر از آفتاب، دارای بیشترین ضخامت خاک و پتانسیل لغزش می باشند و عمده ی لغزش های به وقوع پیوسته و تخریب های انجام شده در این شیبها ملاحظه گردیده است.

۳- اکثر نمونه های برداشت شده از روستای تلوبین بر اساس سیستم طبقه بندی USCS در دسته CL قرار می گیرند و به عنوان خاک های رسی غیر آلی دارای خمیرایی پایین تا متوسط شناسایی می گردند.

۴- نمونه های معرف پروفیل های مورد مطالعه از نظر دانه بندی دارای بخش قابل توجهی از اجزای ریزدانه می باشند و مقدار درصد رس آنها بین ۱۱/۲۲ تا ۳۳/۷۰ متغیر می باشد.

۵- نتایج آنالیز XRD، پس از تیمار کردن و حذف کربنات درصد بالای کانی های کوارتز، ایلیت و آلپیت را در نمونه ها نشان می دهد و نتایج EDX حاصل از آنالیز میکروسکوپ الکترونی حضور کانی رسی ایلیت را در نمونه ها تصدیق می کند.

۶- میزان کربنات کلسیم نمونه ها مطابق با نتایج آزمایش کلیسمتری بین ۴۱/۰۷ تا ۶۲/۷۰ متغیر می باشد و هر چه میزان کربنات کلسیم نمونه ها بیشتر باشد میزان شاخص خمیری کمتر خواهد بود.

۷- با افزایش درصد رطوبت در آزمایش برش مستقیم، میزان زاویه اصطکاک داخلی در نمونه های خاک سطحی، مارن هوازده و مارن به ترتیب (۰/۸۰)، (۰/۶۹) و (۰/۶۱) کاهش می یابد.

- ۸- با افزایش درصد رطوبت در آزمایش برش مستقیم، میزان چسبندگی در نمونه‌های خاک سطحی، مارن هوازده و مارن به ترتیب (۰.۱٪)، (۰.۷۵٪) و (۰.۷۸٪) کاهش می‌یابد.
- ۹- با افزایش درصد رطوبت میزان مقاومت پیک کاهش و کرنش پذیری نمونه در تراز تنش پیک افزایش پیدا می‌کند.
- ۱۰- مکانیسم اصلی رخداد لغزش در روستای تلوبین مرتبط با جذب رطوبت توسط مصالحی است که نسبت به رطوبت حساسیت بالایی دارند و جذب آب باعث کاهش مقاومت برشی این مصالح می‌گردد.
- ۱۱- با توجه به حساسیت بالای نمونه‌ها به درصد رطوبت که در آزمایش برش مستقیم و مقاومت تراکمی تک محوری مشخص شد، نتایج تحلیل پایداری پروفیل‌های مورد مطالعه توسط نرم افزار اسلاید حاکی از آن است که دو پروفیل B و C در حالت اشباع و نیمه اشباع مستعد لغزش می‌باشند. و پروفیل B با توجه به مقدار ضریب اطمینان و نزدیکی به منازل مسکونی از ریسک خطر بالاتری برخوردار است. در حالی که پروفیل A در وضعیت‌های رطوبتی مختلف پایدار می‌باشد زیرا این پروفیل دوره‌ی لغزشی خود را طی نموده و در صورت لغزش انتهای شیب دارای ریسک بیشتری می‌باشد.
- ۱۲- با محاسبه‌ی نسبت D/L برای پروفیل‌های مورد مطالعه در روستای تلوبین مشخص که لغزش‌ها رخ داده در این منطقه از نوع لغزش چرخشی کم عمق می‌باشد.

۲-۵ پیشنهادها

با توجه به اینکه روستای تلوبین در یک پهنه کوهستانی پرشیب با بارندگی سالانه‌ی بالاتر از ۲۰۰ میلی‌متر واقع شده است و اشباع شدگی مصالح مارنی به عنوان عامل اصلی رخداد لغزش در این منطقه می‌باشد، لذا جهت جلوگیری و کاهش خسارات ناشی از آسیب لغزش به منازل مسکونی و تجهیزات، اقدامات نامبرده در زیر ضروری می‌باشد:

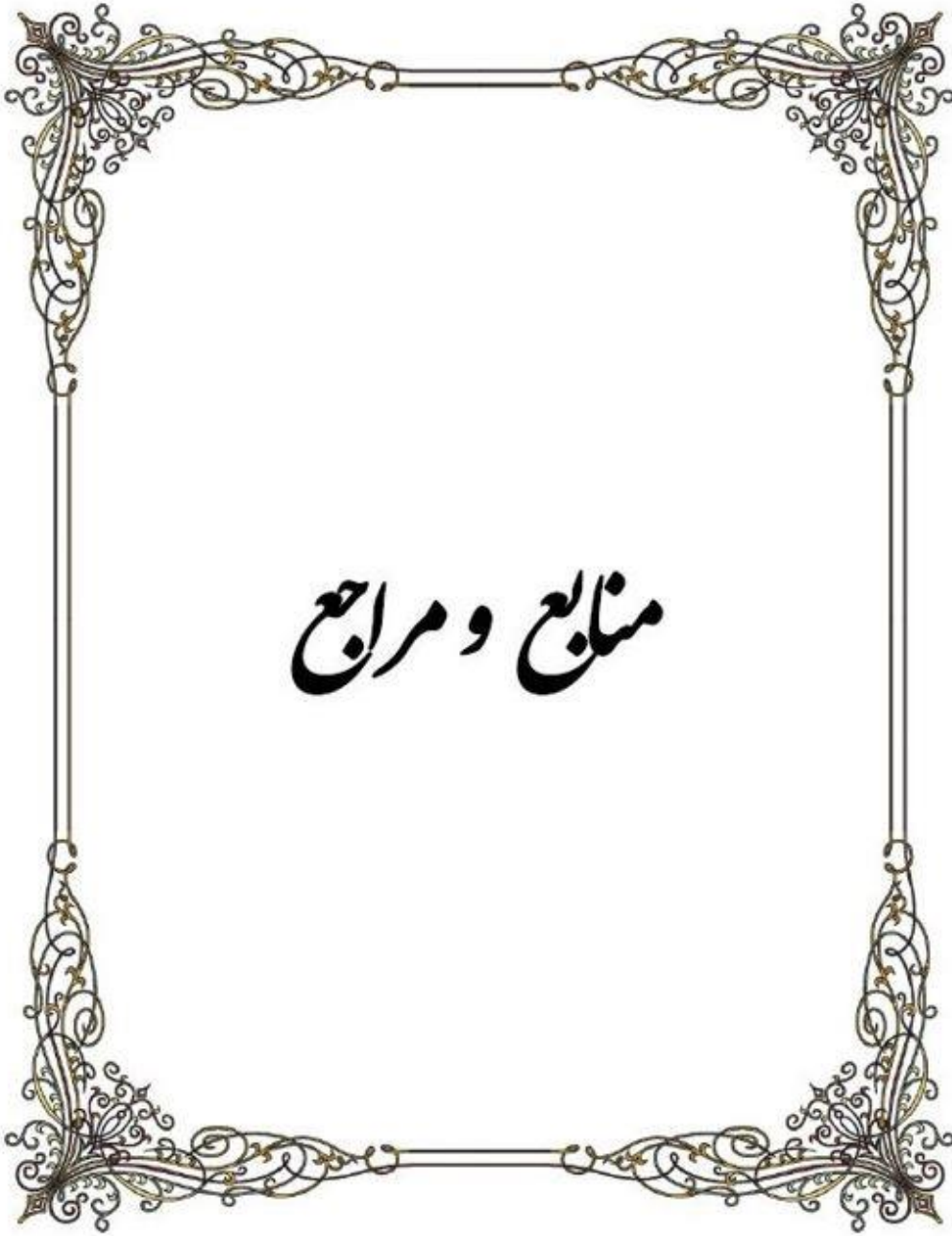
- ۱- پوشاندن حیاط منازل مسکونی با آسفالت، موزاییک و بتن به منظور عدم نفوذ بارندگی

۲- جدول گزاری معابر و هدایت آب جاری شده ناشی از بارندگی به سمت مسیل‌ها و رودخانه‌ها

۳- کاشت درختان به منظور مسلح کردن و افزایش مقاومت برشی خاک در پروفیل C

۴- خروج فاضلاب منازل و هدایت آن به محلی دورتر از مناطق مسکونی

با توجه به وجود مصالح مازنی در منطقه و کوهستانی بودن (پرشیب بودن) و بارندگی زیاد در این ناحیه، پتانسیل لغزش وجود خواهد داشت. لذا پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی در مقیاس بزرگتر اقدام به پهنه‌بندی پتانسیل لغزش نموده تا روستاها و مناطق مهمی که در رده مناطق با پتانسیل هستند مورد پایش قرار گیرند.



منابع و مراجع

- (۱) احمدی س، (۱۳۹۰). "بررسی پادگانه های کواترنری حوضه آبخیز طالقان رود به عنوان یک شاهد کواترنری". دومین همایش علوم زمین، آشتیان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آشتیان.
- (۲) افتخارنژاد خ، آقاباتای ع، (۱۳۷۰). "نقشه زمین شناسی جاجرم با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰". سازمان زمین شناسی کشور.
- (۳) افتخاریان ل، تی تی دژ ا، خاکباز ب، سارنگ ا، صادقیان پ، مهین روستا ر، نواری م، (۱۳۸۷). "آزمایشگاه مکانیک خاک". نشر کتاب دانشگاهی، چاپ دوم، ۲۶۴ ص.
- (۴) اکبری اریمی ح، (۱۳۹۸). "ارزیابی خطر و ریسک فرونشست زمین و رخداد شکاف در دشت سمنان". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- (۵) امامی ن، جلالیان ا، خسروی ع، (۱۳۹۵). "نقش ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک در وقوع زمین لغزش (مطالعه موردی: منطقه افسرآباد چهارمحال و بختیاری)". پژوهش نامه مدیریت حوزه آبخیز، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، سال هفتم، شماره ۱۳، ص ۱۸۲-۱۹۲.
- (۶) اوحدی و. ر، (۱۳۷۱). "شناسایی و بهبود خصوصیات خاک مارن حاشیه شمالی خلیج فارس و دریای عمان". پایان نامه کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه تبریز.
- (۷) پارسایی ل. ا، علیمحمدی ص، (۱۳۹۱). "زمین لغزش در ایران". انتشارات جهاد دانشگاهی، چاپ اول، ۲۲۸ ص.
- (۸) پیروان ح. ر، جعفری اردکانی. ع، غیومیان ج، شریعت جعفری. م، (۱۳۸۴). "بهسازی و تثبیت نهشته های مارنی به منظور کنترل فرسایش و رواناب". چهارمین همایش زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- (۹) جلالی میلانی، ش.، اصغری کلجاهی ا.، برزگری ق.، حاجی علیلو بناب م. (۱۳۹۵) " بررسی تغییر شکل پذیری مارن های منطقه باغمیشه تبریز " پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز

- ۱۰) حاجی م. ر، (۱۳۹۱). "جغرافیای تاریخی شهرستان میامی". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود.
- ۱۱) حافظی مقدس ن، (۱۳۹۰). "زمین شناسی مهندسی". چاپ اول، انتشارات آرسس، ۴۸۸ صفحه.
- ۱۲) حافظی مقدس ن، غفوری م، رضانی اومالی ر، (۱۳۸۸). "زمین شناسی زیست محیطی". انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ۲۷۲ صفحه.
- ۱۳) حمیدی ع، (۱۳۹۷). "مطالعه ساختاری و لرزه‌خیزی گسل چشمه نیک در منطقه نردین (شمال شرق میامی)". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۱۴) داس ب. ا، (۱۳۷۹). "اصول مهندسی ژئوتکنیک، جلد اول مکانیک خاک، ترجمه شاپور طاحونی، انتشارات پارس آیین، ۹۹۲ صفحه.
- ۱۵) درویش زاده ع، (۱۳۹۴). "زمین شناسی ایران: چینه شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسم". انتشارات شرکت چاپ و نشر بین الملل.
- ۱۶) رفاهی ح، (۱۳۷۵). "فرسایش آبی و کنترل آن". انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ۵۶۸ ص.
- ۱۷) رضانی گورابی ب، ابراهیمی ه، (۱۳۸۸). "شناخت عوامل موثر زمین لغزش در حوضه آبخیز سد برنجستانک قائمشهر". فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیای انسانی، سال اول، شماره چهارم، صفحات ۱۲۸-۱۳۶.
- ۱۸) زارع م، (۱۳۹۹). "نقشه خطر زلزله ایران با دوره بازگشت ۴۷۵ سال". پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله ایران.
- ۱۹) ستوهیان ف، رنجبران م، حق پرست ر، (۱۳۹۸). "بررسی علل وقوع زمین لغزش‌ها در استان گیلان". چهارمین کنگره بین‌المللی توسعه کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری ایران، تبریز.

- ۲۰) سرمدی سیفی ع. ا، ادیب ا، (۱۳۹۱). "بررسی علل وقوع زمین لغزش روستای قوزلو شمال غرب زنجان". فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر، دوره بیست و یکم، شماره هشتاد و چهارم، ص ۵۱-۵۳.
- ۲۱) سهندی م. ر، (۱۳۸۰). "نقشه زمین شناسی دوزین با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰". سازمان زمین شناسی کشور.
- ۲۲) سهیلی م، (۱۳۵۷). "نقشه زمین شناسی کوه کورخود با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰". سازمان زمین شناسی کشور.
- ۲۳) شریعت جعفری م، (۱۳۷۵). "مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی". انتشارات سازه، چاپ اول، ۲۱۸ صفحه.
- ۲۴) شعاعی ض، (۱۳۹۴). "زمین لغزش‌ها: شناخت، ارزیابی و کنترل". چاپ و نشر بازرگانی، چاپ اول، ۶۱۷ ص.
- ۲۵) صفامهر م، صالحی م، نصری م، رهنما م. ر، بور ح. (۱۳۹۷). "رفتار سنجی و پایدارسازی زمین لغزش بر اساس برداشت‌های نقشه‌برداری و داده‌های زمین شناسی مهندسی (مطالعه موردی: زمین لغزش نُقل در منطقه پادناهی سمیرم)". مسکن و محیط روستا، شماره ۱۶۲.
- ۲۶) صفایی م، فتاحی‌بندپی م، (۱۳۸۸) "بررسی و تحلیل زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی زمین لغزش سایت پیشنهادی کارخانه کمپوست شهرستان ساری، استان مازندران". مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد اول، شماره چهارم، صفحات ۲۶۶-۲۷۴.
- ۲۷) طلایی ر، محمدعلیزاده آ، (۱۳۹۹). "ارزیابی نقش رسوبات رسی نئوژن در وقوع زمین لغزش‌ها، جنوب استان اردبیل، شمال غرب ایران". نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد دوازدهم، شماره دوم، صفحات ۵۶۳-۵۷۹.

- ۲۸) علیمحمدی ص، (۱۳۸۶). "ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مورا و وارسون، حائری-سمیعی و اثر نسبی)، مطالعه موردی حوزه آبخیز سید کلاته رامیان". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۷۰ صفحه.
- ۲۹) غضبان ف، (۱۳۹۲). "زمین شناسی زیست محیطی". انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هفتم، ۴۶۰ صفحه.
- ۳۰) غیومیان ج، فرهادی‌نژاد ط، (۱۳۸۴). "پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه نوژیان سرخاب با استفاده از GIS". دومین کنفرانس مهندسی زمین‌شناسی و محیط زیست ایران.
- ۳۱) فاریابی آ، متین‌فرح ر، (۱۳۹۶). "ارزیابی کیفیت خاک‌های یک ناحیه نیمه خشک با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی- منطق فازی نمونه موردی منطقه تلویین در استان سمنان". فصلنامه علوم محیطی، دوره پانزدهم، شماره سوم، صفحات ۱۸۷-۲۰۲.
- ۳۲) فاطمی عقدا م، رهبر م، معجزی م، اسدالله فردی غ، (۱۳۸۸). "بررسی ویژگی‌های زمین شناسی محیطی و نقش آن‌ها در وقوع زمین لغزش‌های اطراف سد لتیان". فصلنامه علمی علوم زمین، سال نوزدهم، شماره ۷۴، صفحات ۶۹-۷۶.
- ۳۳) فیض‌اله‌پور م، مومی‌پور م، (۱۳۹۹). "پهنه‌بندی مناطق مستعد زمین لغزش با استفاده از پرسپترون چند لایه از نوع پیش خور با الگوریتم پس انتشار (مطالعه موردی: حوضه رودخانه سنگورچای)". فصلنامه علمی فضای جغرافیایی، سال بیستم، شماره ۶۹، صفحات ۹۷-۱۱۶.
- ۳۴) قریب ع، (۱۳۷۲). "شناخت سنگ‌ها". انتشارات و آموزش انقلاب اسلامی.
- ۳۵) محمدی واوسری م، شعاعی غ، شهیدی ف، (۱۳۹۳). "تعیین آستانه شدت-مدت بارندگی به منظور پیش بینی زمین لغزش‌های کم عمق در حوضه آبریز رودخانه‌های تجن و نکارود (شرق مازندران)". مجله انجمن زمین شناسی مهندسی ایران، جلد هفتم، شماره ۱ و ۲، صفحات ۱۵-۲۸.

۳۶) معماریان ح، (۱۳۷۷). "زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک". انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ۹۹۲ صفحه.

۳۷) موسوی حرمی ر، محبوبی ا، (۱۳۹۳). "سنگ شناسی رسوبی". انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، چاپ یازدهم، ۴۹۳ صفحه.

۳۸) مهندسان مشاور سامان، (۱۳۹۵). "مطالعات برنامه آمایش استان سمنان". فصل اول: تحلیل وضعیت استان سمنان.

۳۹) مهندسان مشاور سامان، (۱۳۹۷). "سند تفصیلی تدبیر و توسعه شهرستان میامی".

۴۰) نبوی م. ح، (۱۳۵۵). "دیاچه ای بر زمین شناسی ایران". انتشارات سازمان زمین شناسی، ص ۹۴.

۴۱) نیکجو م. ر، برومند ر، روستایی ش، امیراحمدی ا، (۱۳۹۶). "تحلیل شبکه‌ای عوامل موثر در

ناپایداری‌های دامنه‌ای رشته کوه بینالود با رویکرد مدیریت محیطی (مطالعه موردی: دامنه-

شمالی و جنوبی)". پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۲، صفحات ۴۵-۶۳.

۴۲) هوشمند ع، (۱۳۸۶). "بررسی ویژگی‌های مقاومتی و تغییر شکل مارن‌های میوسن

شرق تبریز". پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه

تهران، ۱۴۲ ص.

43) Abolmasov, B., Milenković, S., Marjanović, M., Durić, U., Jelisavac, B., (2015).

"A geotechnical model of the Umka landslide with reference to landslides in weathered Neogene marls in Serbia". *Landslides*, 12(4), 689-702.

44) Aiban, S. A., (1995). "Strength and compressibility of Abqaiq marl, Saudi Arabia". *Engineering Geology*, 39(3-4), 203-215.

45) Al-Homoud, A. S., Tubeileh, T. K., (1998). "Analysis and remedies of landslides of cut slopes due to the presence of weak cohesive layers within stronger formations". *Environmental Geology*, 33(4), 299-311.

- 46) Amare, K., Mebrahtu, G., Gebremiceal, A., (2018). "Landslide characterization and distribution in northern Ethiopia: a case study from the Adishu area". *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 77(2), 581-593.
- 47) Anagostopollus, A., Christoulas, S. T, Kalteziotis, N., Tsiamboas, G., (1989), "Some Geotechnical aspects of the marl of Corinth Canal". *Proc.12th ICSMFE Vol*, pp 491-494.
- 48) Borrelli, L., Antronico, L., Gullà, G., Sorriso-Valvo, G. M., (2014). "Geology, geomorphology and dynamics of the 15 February 2010 Maierato landslide (Calabria, Italy) ". *Geomorphology*, 208, 50-73.
- 49) Bunza, G., (2002). "Causes, processes and risk assessment of a landslide on a talus slope of the Bavarian Alps". In *Proceeding of the 1th European Conference on Landslides. Prague* (Vol. 1, pp. 343-348).
- 50) Castro, J., Asta, M. P., Galve, J. P., Azañón, J. M., (2020). "Formation of Clay-Rich Layers at the Slip Surface of Slope Instabilities": The Role of Groundwater. *Water*, 12(9), 2639.
- 51) Christaras, B., (1997). "Landslides in iliolitic and marly formations. Examples from north-western Greece". *Engineering Geology*, 47(1-2), 57-69.
- 52) Christaras, B., Argyriadis, M., Moraiti, E., (2014). "Landslides in the marly slope of the Kapsali area in Kithira Island, Greece". *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73(3), 839-844.
- 53) Del Soldato, M., Di Martire, D., Bianchini, S., Tomás, R., De Vita, P., Ramondini, M., Calcaterra, D., (2019). "Assessment of landslide-induced damage to structures: the Agnone landslide case study (southern Italy)". *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(4), 2387-2408.
- 54) Di Maio, C., Vassallo, R., (2011). "Geotechnical characterization of a landslide in a Blue Clay slope". *Landslides*, 8(1), 17-32.
- 55) El Amrani, N., Lamas, F., Irigaray, C., Chacon, J., (1998). "Engineering geological characterization of Neogene marls in the south-eastern Granada Basin, Spain". *Engineering geology*, 50 (102), 165-175.
- 56) El Jazouli, A., Barakat, A., Khellouk, R., (2020). "Geotechnical studies for Landslide susceptibility in the high basin of the Oum Er Rbia River (Morocco)". *Geology, Ecology, and Landscapes*, 1-8.

- 57) Frydman, S., Talesnick, M., Geffen, S., Shvarzman, A., (2007). "Landslides and residual strength in marl profiles in Israel". *Engineering geology*, 89(1-2), 36-46.
- 58) Fookes, P. G., & Higginbottom, I. E. (1975). The classification and description of near-shore carbonate sediments for engineering purposes. *Geotechnique* , 25(2), 406-411.
- 59) Hearn, G. J., Larkin, H., Hadjicharalambous, K., Papageorgiou, A., Zoi, G. E., (2018). "Proving a landslide: ground behaviour problems at Pissouri, Cyprus". *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 51(4), 461-482.
- 60) Hutchinson J. N., (1968). "Mass Movement". In *Encyclopedia of Geomorphology*, Reinhold, New York, pp. 688-695.
- 61) Jagantha Rao, P., Kumar k., (1992). "Landslide hazard zonation in Himalaya". *Regional Symposium on Rock Slope. India*. 53-59.
- 62) Jeremovic, D., (1994). "The influence of clay and marl weathering on their physical and chemical properties". *Proc. Of 7th int. IAEG congress, Balkmema, Rotterdam*.
- 63) Kumsar, H., Aydan, O., Tano, H., Çelik, S. B., Ulusay, R., (2016). "An integrated geomechanical investigation, multi-parameter monitoring and analyses of Babadağ-Gündoğdu creep-like landslide". *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49(6), 2277-2299.
- 64) Luginbuehl, M., Eberhardt, E., Thuro, K., (2002). "Primary sliding mechanisms in dipping interbedded conglomerates". In *Landslides: Proceedings of the First European Conference on Landslides, Prague, Czech Republic, 24-26 June 2002* (p. 387). CRC Press.
- 65) Miscevic, P., Vlastelica, G., (2014). "Impact of weathering on slope stability in soft rock mass". *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6(3), 240-250.
- 66) Mitchell, J. K. (1975). "Soil Behaviour". vol. 1. Wiley, New York.
- 67) Paaza, N. E. A., Lamas, F., Irigaray, C., Chacón, J., (1998). "Engineering geological characterization of Neogene marls in the Southeastern Granada Basin, Spain". *Engineering Geology*, 50(1-2), 165-175.
- 68) Pettijohn, F. J., (1975). "Sedimentary rocks (Vol. 3)". New York: Harper & Row.

- 69) Peyrowan, H. R., Shariat Jafari, M., (2013). "Presentation of a comprehensive method for determining erodibility rate of rock units with a review on Iranian geology". *Watershed Engineering and Management*. 5(3), 199-213.
- 70) Proutzopoulos, G., Fortsakis, P., Seferoglou, K., Chrysochoidis, F., Vassilopoulou, I., Perleros, V., (2014). "Assessment of failure mechanism and rehabilitation of a landslide within Marly formations in NW Greece". From the site investigation to the geotechnical design. *Geotechnical and Geological Engineering*, 32(6), 1485-1502.
- 71) Skempton a. W., Hutchinson, J. n., (1969). "Stability of natural slope and Embankment Foundations". In *proc., Seventh International Conference On Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, State of Art Volume*, pp. 291-340.
- 72) Tsige, M., Gonzalez de Vallejo, L., Doval, M., Barba, C., OTEO, C., (1994). "Microfabric of Guadalquivir blue marls and its engineering geological significance". In *International congress International Association of Engineering Geology*. 659-665 pp.
- 73) Varnes, D., (1978). "Slope Movement Types and Processes". In *Landslides Analysis and Control*, R.L. Schuster and R.J. Krizek,R., eds. National Research Council, Transportation Research Board, Special Report Journal, 176, 11-33.
- 74) Zabura Q., Mencle v., (1982). "Landslide and Their Control". Elsevier, Amaterdam, Netherlands, 324 pp.
- 75) Zezere, J. L., Ferreira, A. B., Rodrigues, M. L., (1999). "Landslides in the North of Lisbon Region (Portugal): conditioning and triggering factors". *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 24(10), 925-934.

Abstract

Slides are a type of mass movement that occurs under the influence of various factors on sloping ground and every year imports irreparable human and financial Damages to structures and residential areas, roads and highways, transmission lines, water and gas, forests and vegetation. In this study, landslide occurrence in Telowbin village was investigated in four stages including desk studies, site investigation, laboratory studies and stability assessment (analysis) by Slide6.20 software. To study the physical and mechanical properties of the materials which are prone to slide, laboratory tests were done on disturbed and undisturbed samples. Direct shear tests (27 specimens) and uniaxial compressive strength tests (12 specimens) were done on undisturbed samples in different moisture contents. Soil composition identification tests including particle size distribution, Atterberg limits, calcimetry, XRD and SEM were performed on disturbed samples. Finally, based on the shear strength parameters including internal friction angle (Φ) and cohesion (c), and determined geometric characteristics, the stability of the studied profiles in Slide software was done in both dynamic and static methods. The results indicated that marlstone bed rock and the soils resulted by its weathering have high sensitivity to moisture content and shear strength parameters (c and Φ) showed remarkable decrease by increasing moisture content. The results of the software model indicate that the profiles of B and C are unstable in saturated moisture conditions in the static state and in the saturated and semi-saturated moisture conditions in the dynamic state. Considering that the occurrence of landslides in the village of Telowbin is due to the high sensitivity of clay bearing materials to water absorption, some remedial works which prevent from water penetration and saturation of the slope have been proposed.

Keywords: slide, shear strength parameters, internal friction angle, cohesion



**Shahrood University of
Technology**

Faculty of Earth sciences

M.Sc. Thesis in Environmental geology

**Assessing the mechanism of landslide occurrences
in Telowbin village located in North of Mayamey**

By: Tahereh Danialnezad

**Supervisor:
Dr. AliAkbar Momeni**

June 2021