وزارت صنایع و معادن

سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

GEOLOGICAL SURVEY & MINERAL EXPLORATION OF IRAN

مدیریت زمین‌شناسی مهندسی، مخاطرات و زیست محیطی

گروه مخاطرات، زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک

بررسی ناپایداری دامنه‌ای امامزاده ابراهیم، روستای تکیه سپهسالار، آسارا – جاده چالوس

محمد جواد بلورچی، سپهر رجبی بانیانی، مازیار میرتمیزدوست

تیر ماه ۱۳۸۹

Engeo ۸۹-۰۴-۱

مقدمه

بازدید و بررسی ناپایداری دامنه‌ای مشرف به امامزاده ابراهیم در روستای تکیه سپهسالار، بخش آسارا به‌دنبال درخواست کتبی شماره ۸۹/٤٤/۳۱٤۸٤ مورخ ۱۳۸۹/۰٤/۱۳ ستاد مدیریت بحران استان تهران انجام پذیرفت که در این راستا اکیپ مدیریت زمین‌شناسی مهندسی، مخاطرات و زیست محیطی این سازمان در تاریخ‌های ۸۹/۰٤/۱٤ و ۱۳۸۹/۰۵/۰٦ به منطقه اعزام شدند. گزارش حاضر نتیجه بازدید و بررسی‌های صورت گرفته می‌باشد.

۱- موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های طبیعی گستره

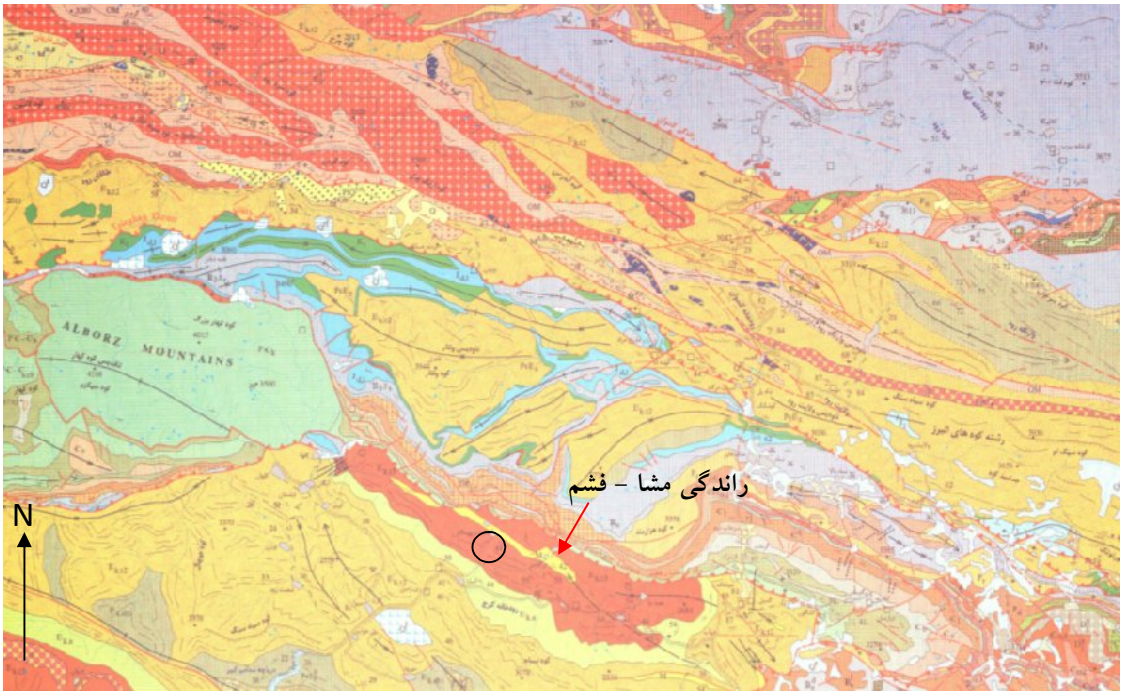
روستای تکیه سپهسالار در گذر از جاده کرج – چالوس و در فاصله تقریبی ٤۰ کیلومتری شمال شهر کرج و در منطقه آسارا واقع گردیده است. مسیر دسترسی این روستا جاده‌ای فرعی و کوهستانی به طول ۳ کیلومتر است که پس از منشعب شدن از جاده کرج – چالوس با حرکت به سمت شمال به روستای سپهسالار می‌رسد. گستره مورد مطالعه از دیدگاه تقسیمات کشوری در غرب استان تهران (استان البرز در حال تشکیل) واقع گردیده و جزو بخش آسارا و شهرستان کرج می‌باشد. مختصات جغرافیایی دامنه مورد مطالعه 36°03′25″ N و 51°12′19″ E و بلندای میانگین آن از سطح دریای آزاد ۲۰۹۰ متر می‌باشد.

این روستا از دیدگاه طبیعی بر روی دامنه‌ای جای دارد که مشرف به یکی از شاخه‌های فرعی رودخانه کرج می‌باشد، همچنین روستای تکیه سپهسالار دارای زمستانی سرد و پر بارش (حدود ۵ تا ۸ ماه)، همراه با یخبندان و تابستانی معتدل است.

۲- ریخت‌شناسی و زمین‌شناسی عمومی پهنه مورد مطالعه

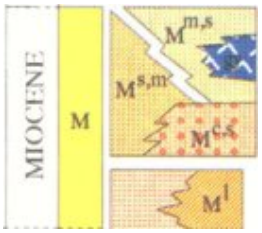
ریخت‌شناسی محدوده، تحت اثر روند کلی البرز مرکزی و گسله‌ها و راندگی‌های موجود دارای الگوی کوه – دره می‌باشد. تنوع سنگ‌شناسی در گستره بسیار زیاد است و قرارگیری سازندها با تفاوت سنی بسیار در کنار یکدیگر نشان از زمین‌ساخت پویا دارد (شکل ۱). گسله‌های بزرگ پهنه مورد مطالعه مانند گسله کندوان، رورانگی مشا – فشم و پهنه گسلی طالقان، بر اثر فازهای کوهزایی پیاپی و همچنین ناشی از آخرین فاز کوهزایی (کوهزایی پاسادنین) دگرگونی‌های زیادی در سنگ‌شناسی و ریخت‌شناسی پهنه مورد مطالعه بوجود آورده‌اند (ماخذ ۱). خردشدگی و چین‌خوردگی‌ها در گستره امامزاده ابراهیم نشان از پویایی

این روراندگی (مشا – فشم) دارد. اثر آن در محدوده امامزاده، قطعه قطعه شدن بلوک‌های سنگی و جدا شدن آنها از ساختگاه اولیه و نیز ایجاد زمین‌لغزش و سنگ‌افت (Rock Fall) در دامنه‌ها می‌باشد.



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ پهنه مورد مطالعه، تعداد گسله‌ها و واحدهای سنگی گوناگون نشان از زمین ساخت پویا در گستره است. نشان دایره بیانگر موقعیت روستا می‌باشد.

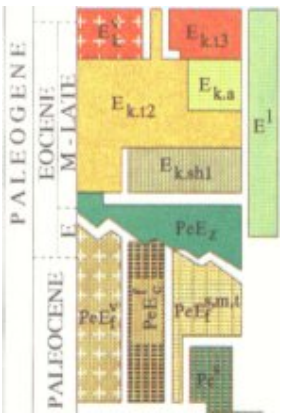
واحدهای سنگ‌شناسی در محدوده امامزاده به شرح زیر می‌باشند:



M نهشته‌های تفکیک نشده میوسن، مارن سیلت دار، سیلت سنگ، کنگلومرا،گچ، سنگ آهک میلیولیدار.

E_k^v تراکی آندزیت، تراکی بازالت، آگلومرا، توف، آذرآواری

$E_{k.t3}$ عضو توف بالایی سازند کرج، توف، آذرآواری‌ها، شیل آهکی، مادستون، ماسه سنگ، گدازه آندزیتی یا داسیتی



$E_{k.t2}$ عضو توف میانی سازند کرج، توف‌های سبز ضخیم لایه، کمی گدازه، شیل، آذرآواری‌ها، کنگلومرا، سنگ آهک

$E_{k.a}$ عضو شیل آسارا، شیل، سیلت سنگ و ماسه سنگ آهکی، توف

E^1 سازند زیارت، سنگ آهک، سنگ آهک مارنی

$E_{k.sh1}$ عضو شیل تحتانی، شیل‌های آهکی و سیلیسی، توفیت، آذرآواری‌ها، گدازه داسیتی یا آندزیتی

$DP_{j.r}$ سازند جیرود و روته

$P_{\epsilon k}$ سازند کهار، شیل اسلیتی، ماسه سنگ، سیلت سنگ، دولومیت، کوارتزیت (پرکامبرین)

گسله‌های منطقه از تکیه سپهسالار به سوی شمال به ترتیب عبارت است از :

راندگی مشاء – فشم، گسله معکوس بزرگ زاویه حسنکدر، گسله شمال کوه کهار، راندگی طالقان، گسله بزرگ زاویه گچسر، گسله آزادبر، گسله بزرگ زاویه وارنگه‌رود، گسله معکوس بزرگ زاویه آزادکوه، راندگی کندوان، گسله دونا – سیاه بیشه، راندگی سیاه بیشه، گسله معکوس بزرگ زاویه ولی‌آباد، گسله بزرگ زاویه نسن، راندگی چیتن – دزبن، گسله معکوس بزرگ زاویه شمال دزبن، گسله معکوس بزرگ زاویه مکارود – دلیر.

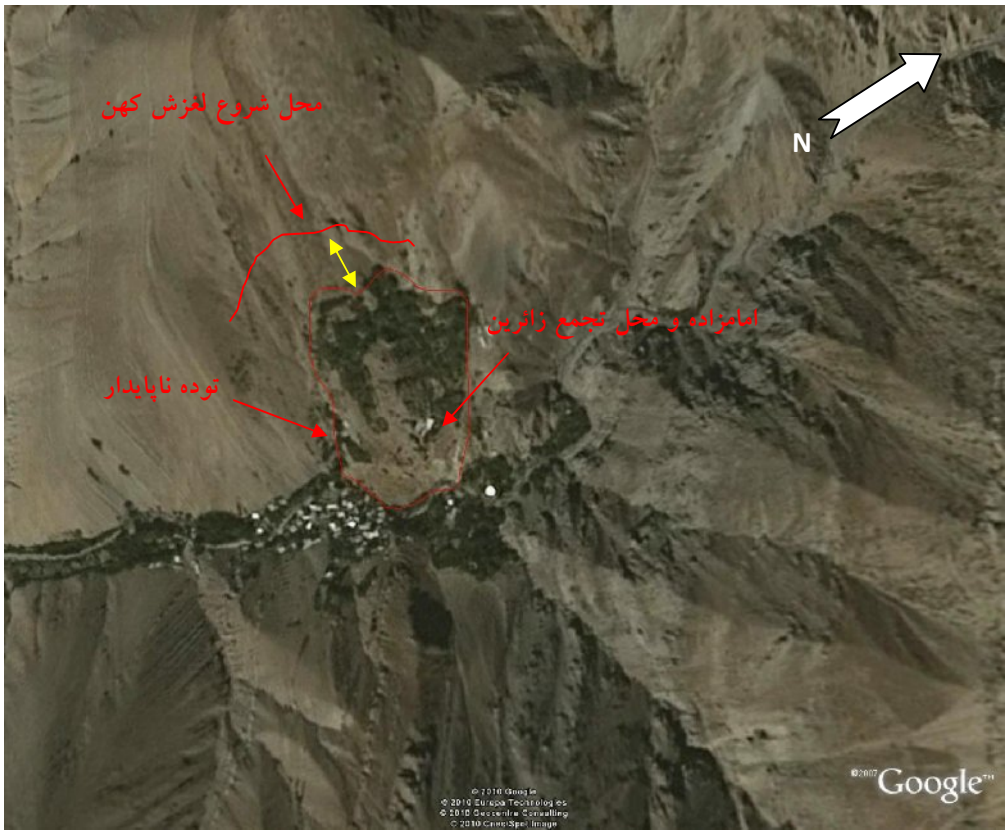
گسله‌های منطقه تکیه سپهسالار به سوی جنوب به ترتیب زیر است:

راندگی باغستان، راندگی شمال تهران، راندگی اشتهارد (ماخذ ۱و۲).

۳- ساختگاه امامزاده ابراهیم

دامنه‌ای که امامزاده بر روی آن قرار دارد در عضو توف بالایی سازند کرج و نهشته‌های تفکیک نشده میوسن (به‌طور مشخص کنگلومرای میوسن) قرار دارد. در بخش‌های پایین دامنه امامزاده وجود مارن و گچ و نزدیکی دامنه به راندگی مشا – فشم و تاقدیس بزرگ کهار، پایداری این دامنه را به شدت تحت تاثیر قرار داده است، به گونه‌ای که درزه‌های بزرگ باعث جداشدن بلوک‌های سنگی از یکدیگر شده است. گفتنی است رخداد زلزله ۱۳٤۱ بویین زهرا و ۱۳٦۸ رودبار و ۱۳۸۳ بلده، این ناپایداری‌ها را بیشتر کرده است. عبور رودخانه از پای دامنه و شسته شدن دیواره دامنه سبب افزایش ناپایداری شده است. این دامنه بخشی از یک زمین لغزش کهن می‌باشد که همچنان پویا است (شکل ۲). وجود ترک‌ها در دامنه خاکی

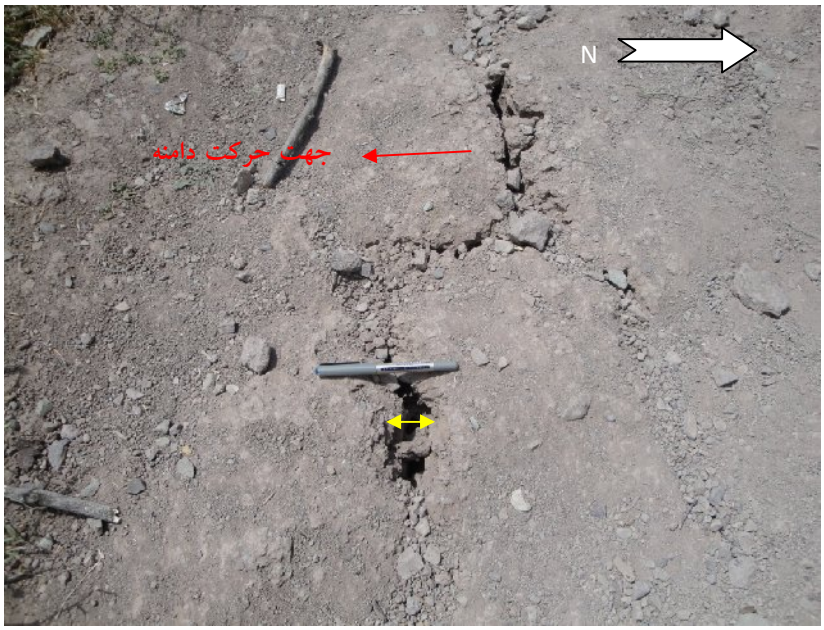
شمال خاوری امامزاده با بازشدگی میانگین ۲-۳ سانتیمتر (شکل ۵،٤،۳) و نیز بالا کشیدن آبراهه موجود در دامنه (شکل ٦و۷) گواه بر پویایی دامنه دارد.



شکل ۲: توده ناپایدار که امامزاده بر روی آن قرار دارد و ناشی از زمین‌لغزش کهن در گذشته می‌باشد. این لغزش سبب تغییر مسیر رودخانه در گذشته شده است.

دفع فاضلاب، آبیاری باغ‌های پیرامون امامزاده و نفوذ آب به دامنه پایین دست امامزاده، سبب جذب آب توسط مارن‌ها و گچ موجود در دامنه شده، در نتیجه ناپایداری آن تشدید می‌شود (شکل ۸).

شکل ۳: وجود ترک‌های کششی در دامنه و مسیر منتهی به امامزاده. (دید به سوی جنوب باختری).



شکل ٤: وجود ترک با بازشدگی ٤-٥ سانتیمتر در دامنه و مسیر منتهی به امامزاده.

شکل ۵: ترک طولی کششی ایجاد شده در دامنه مسیر منتهی به امامزاده. (دید به سوی شمال خاوری).

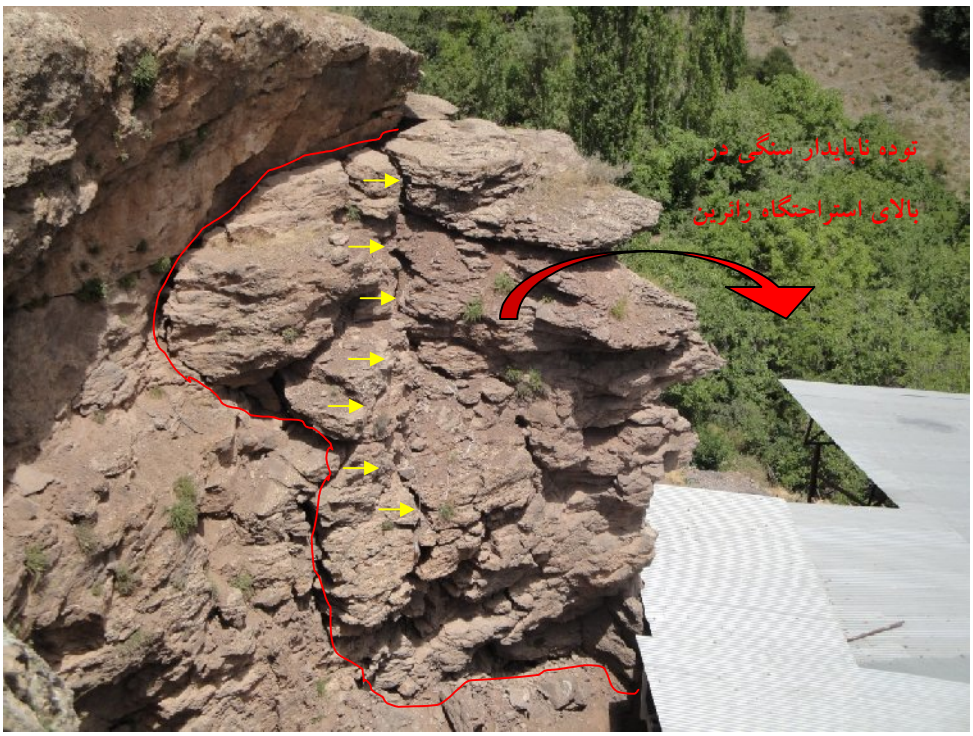
شکل ٦: ریزش و پیشروی فرسایش خندقی به سمت بالادست در پایین امامزاده. (دید به سوی جنوب باختری).

شکل ۷: پیشروی فرسایش و ریزش در پایین دست امامزاده. (دید به سوی جنوب).

شکل ۸: تزریق آب ناشی از آبیاری باغ‌ها و دفع فاضلاب به ترک‌های ایجاد شده در دامنه سبب سرعت بخشیدن به حرکت دامنه می‌شود. (دید به سوی جنوب خاوری).

گسیختگی و جدایش بلوک‌های سنگی از توده اصلی ناشی از رخدادهای کوهزایی، چین‌خوردگی و زمین‌ساخت، رویداد زمین‌لرزه‌ها، بارش‌های فصلی، یخبندان‌های دوره‌ای، فرسایش و هوازدگی سنگ‌ها، فرسایش و شسته شدن پاشنه شیب‌ها، باعث تشکیل بلوک‌های سنگی، خردشدگی شدید، تشکیل و توسعه درزه‌و شکاف‌ها ، افزایش گسیختگی و احتمال پدیده سنگ‌افت در بالای امامزاده می‌گردد، همچنین خطر رویداد زمین‌لغزش در گستره مورد مطالعه را بالا می‌برد و امکان رویداد حادثه‌ای تلخ را در محل تجمع زائرین، بیش از پیش می‌نماید (شکل ۹ و ۱۰).

شکل ۹: جدایش بلوک‌های سنگی از توده اصلی بر اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی و رخداد زلزله. (دید به سوی شمال).



شکل ۱۰: توده ناپایدار سنگی در بالای استراحتگاه زائرین. وضعیت درزه نشان داده شده بوسیله پیکان زرد بحرانی است. (دید به سوی شمال خاوری).

۴- ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی

سنگ‌های دامنه بالای امامزاده دو سیستم درزه اصلی کمابیش عمود بر هم و یک سیستم درزه در امتداد لایه‌بندی را از خود نشان می‌دهد. سیستم درزه‌داری در دامنه به شدت پیرو گسله‌ها و فعالیت‌های زمین‌ساختی پیرامون روستای سپهسالار است و ویژگی‌های اقلیمی سبب گسترش درزه‌ها در دامنه شده است. درزه‌های موجود در سنگ دارای سطوحی ناصاف هستند اما بازشدگی آنها تا حدود ٦٠ سانتیمتر نیز می‌رسد که در اثر جابجایی دامنه‌ای بیشتر نیز شده است (جدایش بلوک‌های سنگی). قرارگیری بلوک‌های سنگی بر روی دامنه لغزشی و حرکت دامنه در گذشته، می‌تواند سبب کشش در بلوک‌های سنگی و بازشدگی زیاد آنها شده باشد. تداوم درزه‌ها در توده‌های سنگی محدود به اندازه بلوک‌ها است. درزه‌ها بیشتر خشک می‌باشند، فاصله‌داری درزه‌ها در برخی نقاط حدود ۱۰ سانتیمتر و یا کمی کمتر است (جدول ۱).

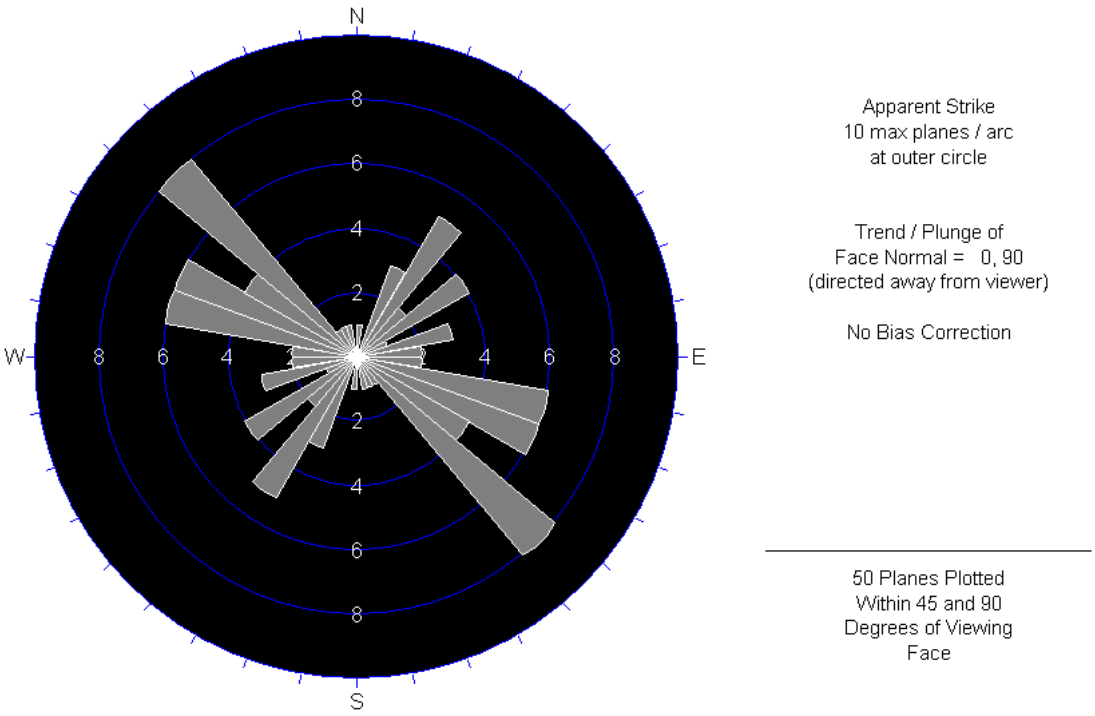
طول ناپیوستگی‌ها (تداوم)	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
امتیاز	6	4	2	1 ❊	0
جدایش دهانه	0	<0.1mm	0.1-1mm	1-5mm	>5mm
امتیاز	6	5	4	1 ❊	0
زبری	بسیار زبر	زبر	کمی زبر	صاف	خش لغزش
امتیاز	6	5 ❊	۳	1	0
مواد پر کننده	هیچ	پرکننده‌سخت	پرکننده سخت	پرکننده نرم	پرکننده نرم
امتیاز	6 ❊	<5mm 4	>5mm 2	<5mm 2	>5mm 0 ❊
هوازدگی	هوانزده	کمی هوازده	هوازدگی متوسط	بسیار هوازده	تجزیه شده
امتیاز	6	5	3	1 ❊	0

جدول ۱: شرایط حاکم بر ناپیوستگی‌ها در گستره مورد مطالعه (ماخذ ٤).

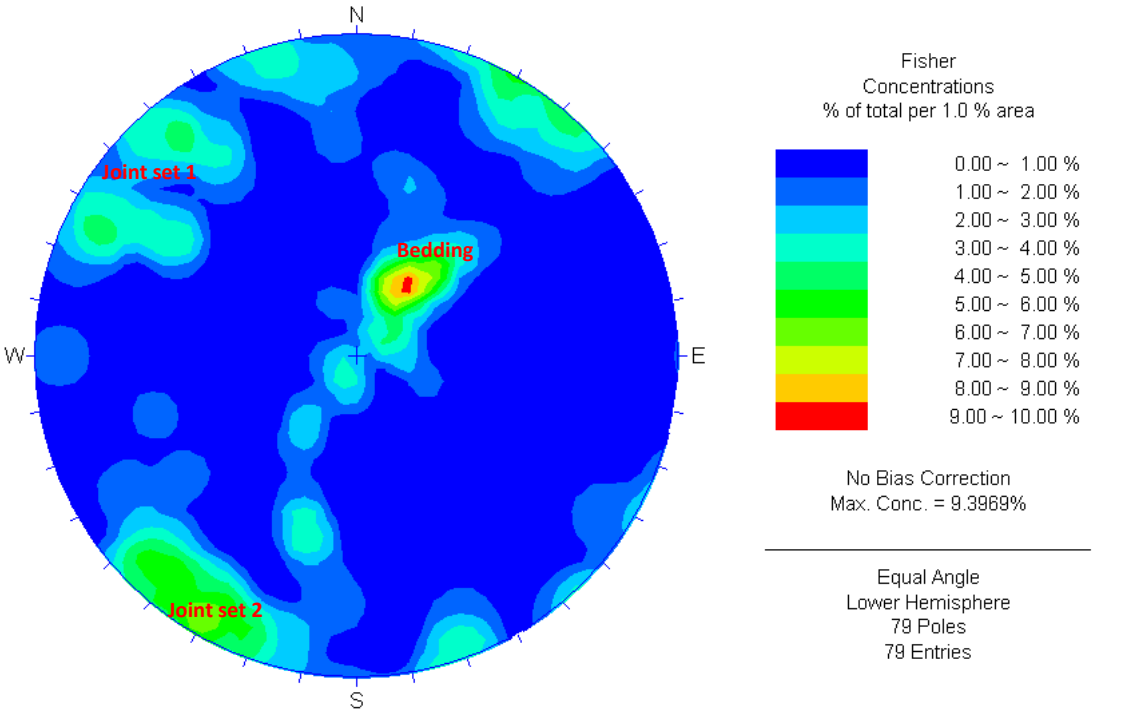
جمع امتیازهای مربوط به شرایط حاکم بر ناپیوستگی‌ها در جدول ۱، در محدوده ۸ تا ۱٤ از ۳۰ امتیاز می‌باشد که نشان از وضعیت نامناسب و ناپایدار در ناپیوستگی‌ها است و این شرایط بوسیله محرکی مانند زمین لرزه می‌تواند شرایط خطرناکی را بوجود آورد.

۵- تصاویر استریوگرافیکی درزه‌ها و لایه‌بندی

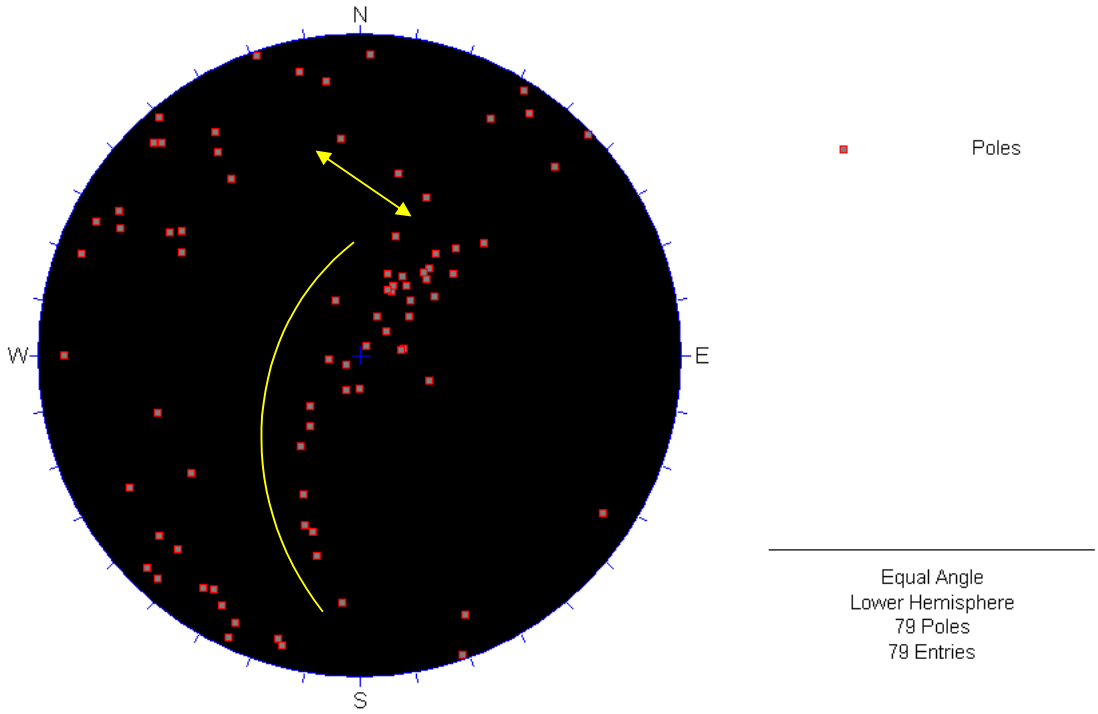
در گستره مورد مطالعه حدود ۷۹ درزه و سطح لایه‌بندی برداشت شد که با تحلیل و بررسی به کمک نرم‌افزار Dips تصاویر استریوگرافیکی آنها به دست آمد. گفتنی است این تصاویر برای تحلیل پایداری به روش دانکن کاربرد دارند. تحلیل درزه‌های موجود در محل در نمودار ۱، ۲ و ۳ آمده است.



نمودار ۱: نمودار گل‌سرخی به دست آمده از وضعیت درزه‌ها.



نمودار ۲: نحوه تجمع و پراکندگی قطب درزه‌ها و لایه‌بندی.



نمودار ۳: قطب درزه‌ها و لایه‌بندی‌های برداشت شده. قرار نگرفتن قطب درزه‌ها در یک منطقه مشخص نشان از جابجایی و حرکت دامنه دارد. کمان و پیکان زرد جابجایی و حرکت درزه‌ها در دامنه را نشان می‌دهد.

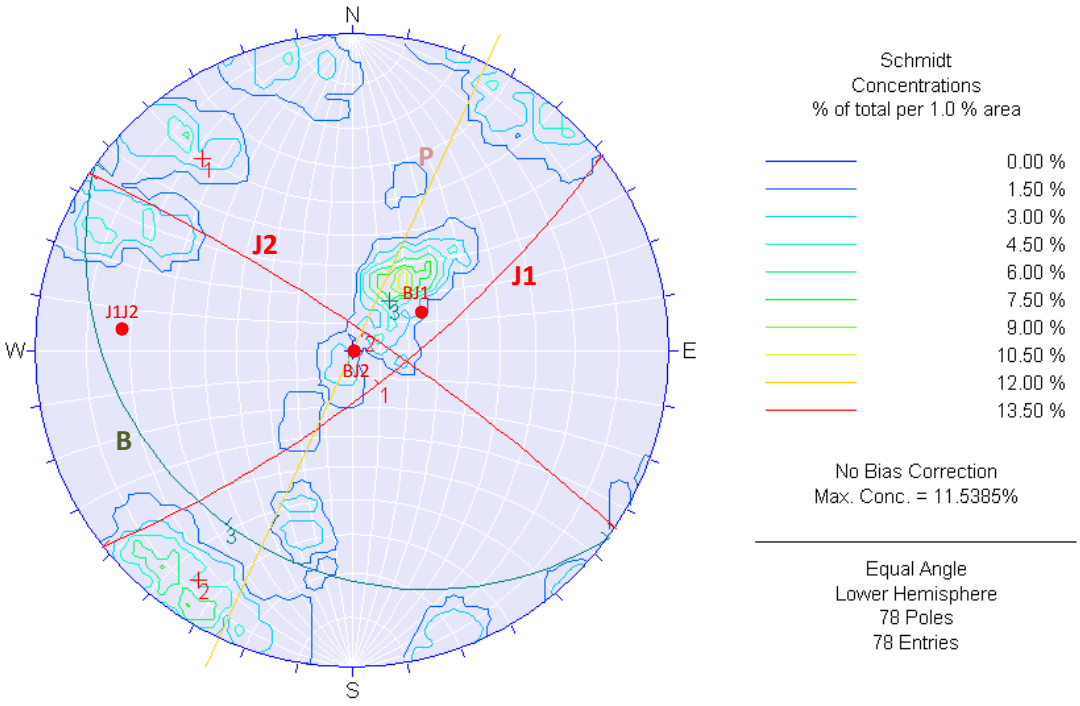
۶- تحلیل درزه‌ها به روش دانکن (Duncan Method)

هدف از تحلیل به روش دانکن، تعیین پایداری دامنه با استفاده از شبکه استریونت، و با بهره‌گیری از داده‌های برداشت شده شیب و جهت شیب درزه‌ها و لایه‌بندی است. بر این اساس می‌توان حرکت گوه‌ای، گسیختگی صفحه‌ای و واژگونی را در دامنه‌ها محاسبه کرد.

٦-١- واژگونی (Toppling failures): اگر قطب برخورد درزه‌ها با یکدیگر یا با لایه‌بندی در داخل محدوده $^{\circ}$۱۰ $^{+}_{-}$عمود بر جهت شیب دامنه قرار گیرد واژگونی رخ می‌دهد.

٦-٢- لغزش صفحه‌ای (Plane failures): اگر قطب برخورد درزه‌ها با یکدیگر یا با لایه‌بندی در داخل محدوده $^{\circ}$۲۰ $^{+}_{-}$عمود بر شیب دامنه (در جهت مخالف شیب دامنه) قرار گیرد، لغزش صفحه‌ای رخ می‌دهد.

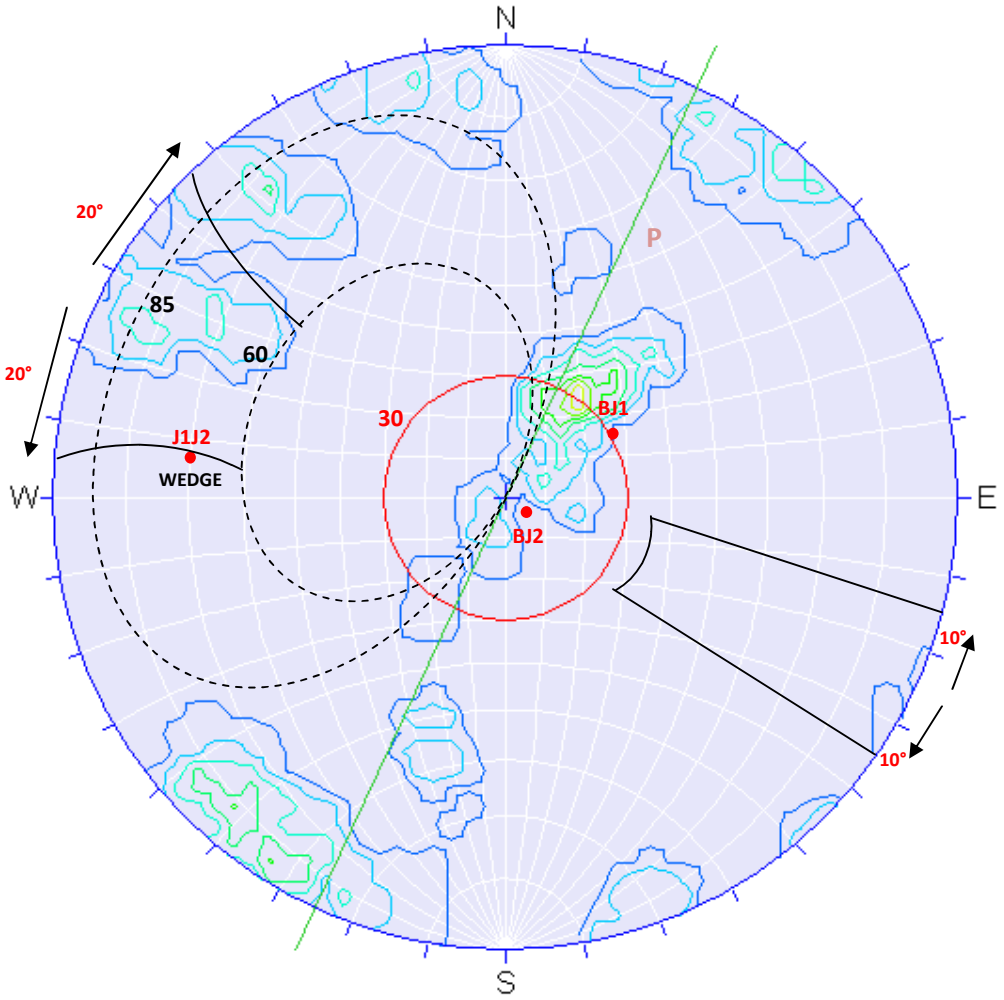
٦-٣- گوه (wedge): اگر قطب برخورد درزه‌ها با یکدیگر یا با لایه‌بندی داخل کمان $^{\circ}$۸۵ در سمت مخالف جهت شیب دامنه قرار گیرد، پدیده گوه‌ای شدن رخ می‌دهد (ماخذ ۳).



نمودار ٤: نمودار استریوگرافیکی از صفحه دامنه، درزه‌ها و همچنین قطب صفحه و سیستم‌های درزه‌بندی، که در آن:

***J1** = سیستم درزه شماره ۱، **J2** = سیتم درزه شماره ۲، **B** = سطح لایه‌بندی، **P** = شیب دامنه.*

- *قطب برخورد درزه‌ها با یکدیگر یا با لایه‌بندی.*

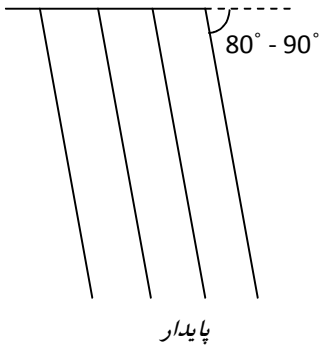


*نمودار ۵: تحلیل پایداری دامنه به روش دانکن (**Dancan**).*

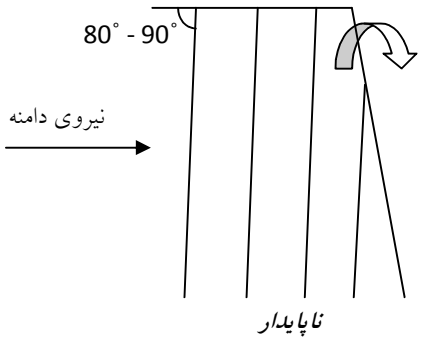
۷- نتایج به دست آمده از تحلیل دانکن

بر اساس خروجی نرم‌افزار Dips و تحلیل دانکن، در محل برخورد سیستم درزه‌های J1 و J2 در منطقه، توانایی ایجاد گوه (Wedge) و لغزش صفحه‌ای وجود دارد. همچنین در محل برخورد لایه‌بندی (B) و J1 با اینکه قطب محل برخورد صفحات در خارج از محدوده واژگونی قرار می‌گیرد اما نزدیکی به منطقه واژگونی و روند تغییر جهت شیب درزه‌ها در پهنه مورد مطالعه بر اثر حرکت دامنه امکان رخداد واژگونی بلوک‌های سنگی (Toppling) بر اثر عوامل محرک مانند زلزله یا لغزش دامنه‌ای را نشان می‌دهد. گفتنی است هم اکنون تعدادی از درزه‌ها بر اثر فشار ناشی از لغزش دامنه جهت شیبی مخالف شیب دامنه پیدا

کرده‌اند که این موضوع می‌تواند شرایط واژگونی بلوک‌های سنگی (Toppling) را فراهم کند. همچنین شسته شدن زیر بلوک‌های سنگی رخداد یاد شده را سرعت می‌بخشد و نیز می‌تواند باعث سنگ افت (Rock Fall) شود. پدیده سنگ افت هم اکنون درسقف آرامگاه امکان رخ دادن دارد.



شرایط کنونی و مقدار شیب کلی درزه‌ها.



شرایط درزه‌ها و تغییر جهت شیب در راستای تقویت شرایط لازم برای واژگونی (Toppling)، بر اثر حرکت‌های دامنه‌ای.

۸- ساختمان آرامگاه

آرامگاه در زیر توده سنگی ناپایدار بالای امامزاده قرار دارد. با توجه به خردشدگی توده‌های سنگی (شکل ۱۱) و همچنین با کمی دقت در بنای آرامگاه (شکل ۱۲)، اثر حرکت توده سنگی به سمت رودخانه و پایین دست را می‌توان به خوبی دید. بنابراین و با بررسی موارد ذکر شده در بالا به این نتیجه می‌توان رسید که موقعیت فعلی امامزاده جهت زیارت و اسکان زائرین مناسب نمی‌باشد و بررسی‌های زمین‌شناسی، خطر واژگونی توده سنگی بر روی ساختمان امامزاده را تایید می‌کند. این حادثه می‌تواند در اثر رخداد زلزله یا زمین‌لغزش سرعت یابد و تشدید شود.

۱۱-۱

۱۱-۲

۱۱-۳

۱۱-٤

۱۱-٥

شکل ۱۱: ۱-۱۱ وضعیت درزه‌داری توده سنگ در بالای استراحتگاه زائرین. ۲-۱۱ وضعیت بلوک‌های سنگی ناپایدار نسبت به استراحتگاه زائرین. ۳-۱۱ وضعیت بلوک‌های ناپایدار نسبت به بنای امامزاده. ٤-۱۱ نمونه‌ای از درزه شکل گرفته در بالای امامزاده. ٥-۱۱ جمعیت زائرین در استراحتگاه پایین دست توده سنگی ناپایدار.

۱۲-۱

۱۲-۲

۱۲-۳

۱۲-٤

شکل ۱۲: ۱-۱۲، ۲-۱۲و ۳-۱۲ترک‌های ایجاد شده بر روی سنگ نمای درون امامزاده و بیرون‌زدگی برخی سنگ‌ها بر اثر فشار و حرکت توده ناپایدار سنگی. ٤-۱۲ ریزش و ترک‌خوردگی در محل برخورد توده ناپایدار و بنای آرامگاه امامزاده.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها:

- امامزاده و تاسیسات جانبی آن در داخل یک توده ناپایدار زمین‌لغزش کهن قرار دارند.
- این توده ناپایدار در اثر بارگذاری ناشی از توسعه ساخت و ساز، رخداد زمین‌لرزه‌ها، بارش‌های جوی، یخبندان‌ها، آبیاری و تزریق فاضلاب در حال تغییرشکل و حرکت به سمت پایین دست است.
- با توجه به اینکه رویداد پدیده‌های ذکر شده چندان قابل کنترل و پیش‌بینی نیستند تمرکز جمعیت و استقرار آنها برای مدت طولانی به ویژه در شب‌ها بطور اکید خطرآفرین خواهد بود و می‌بایست از آن جلوگیری نمود.
- با توجه به نمودار ۳ و جابجایی جهت شیب‌درزه‌های نشان داده شدن در آن، امکان تغییر جهت شیب درزه‌ها در توده سنگی ناپایدار، رخ دادن پدیده واژگونی (Toppling) در آینده دور از ذهن نیست.
- استراحتگاه زائرین به محلی دیگری انتقال یابد تا در صورت واژگونی توده سنگی تلفات جانی در برنداشته باشد. همچنین زائرین به صورت گروه‌های کم جمعیت به آرامگاه فرستاده شوند و مدت زمان زیارت کوتاه گردد تا زائرین به مدت طولانی در منطقه خطر قرار نگیرند.
- آبیاری باغ‌های دامنه با استفاده از آبیاری قطره‌ای کاهش یابد.
- دامنه پایین دست امامزاده زهکش شود تا از فشار آب منفذی کاسته شود.
- انجام بررسی‌های دقیق، برای ساخت سازه نگهبان با ابعادی مناسب، در دامنه پایین دست امامزاده و کنار رودخانه صورت پذیرد.
- با توجه به گسله بودن گستره و قرارگیری گسله بزرگ مشاء – فشم در بالادست روستای سپهسالار و قرارگیری امامزاده بر روی لغزش کهن، هرگونه تغییر در بناها باید با رعایت اصول مهندسی زلزله و لغزش باشد و برای بناهای ساخته شده بازنگری در نحوه ساخت صورت گیرد.
- سازه‌های ایمن برای اسکان مردم روستا و زائرین در هنگام زلزله و یا لغزش ساخته شود.
- بازنگری در دفع فاضلاب و استفاده از روش جمع‌آوری فاضلاب به گونه‌ای که از نفوذ مواد دفعی به زمین جلوگیری شود.

- در مواردی که ساخت سازه‌های مهم یا مخاطرات زمین شناختی، سازه یا اثر با اهمیتی را تهدید کرده، با توجه به ملاحظات اقتصادی، اجتماعی، مذهبی و سیاسی برای حفظ آن بنا، از گزینه جابجایی به محل امن نیز بهره‌گیری شده است.

منابع:

۱- گزارش زمین‌شناسی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰، منطقه مرزن آباد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

۲- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه مرزن آباد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

1- Wyllie, Duncan. C. and Mah, Christopher. W. (2004), Rock Slope Engineering, by Spon Press, 270 Madison Avenue, New York, NY 10016.

2- Hoek, Evert. New Edi on (2007), Prac cal Rock Engineering. Evert Hoek Consul ng Engineer Inc.