

پایش پایداری ژئوتکنیکی معادن سنگ لاشه استان کردستان

محمد رضائی*^۱

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۳۱

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۲۰

چکیده

در این تحقیق، ۱۳ معدن سنگ لاشه مختلف در استان کردستان به عنوان مطالعه موردی جهت پایش پایداری ژئوتکنیکی در نظر گرفته شده است. بدین منظور، ابتدا بازدیدهای صحرایی از این معادن انجام و خصوصیات سنگ شناسی، ساختاری و هندسی پله این معادن برداشت و نمونه های بلوکی معرف جهت انجام مطالعات آزمایشگاهی جمع آوری گردید. سپس، عملیات مغزه گیری بر روی بلوک های فوق الذکر انجام و نمونه های استوانه ای استاندارد برای آزمایش های مقاومت فشاری تک محوره و بار نقطه ای و تهیه داده های ورودی به منظور تحلیل پایداری شیب تهیه شد. در نهایت، خصوصیات هندسی، مرزی و ژئومکانیکی این معادن با استفاده از نرم افزار AutoCAD ترسیم و شرایط واقعی و خصوصیات لایه های موجود در نرم افزار Slide شبیه سازی و تحلیل پایداری شیب انجام گردید. بر اساس نتایج مدل سازی عددی، مقدار ضریب ایمنی پله معدن بغده کندی سقر برابر با ۰/۷۸۴ بدست آمد که نشان دهنده شرایط ناپایدار و غیر ایمن معدن بوده و نیاز به کاهش و اصلاح شیب و یا اصلاح الگوی انفجار آن دارد. همچنین با توجه به مقادیر ضریب ایمنی به دست آمده برای شیب پله معدن هلوژان، خُشکین، سرنجیانہ علیا ۲، باباریز ۳، باباریز ۴، سمان، کانی پهن و عباس آباد، می توان نتیجه گرفت که شیب آنها پایدار بوده و احتمال شکست و ریزش پله این معادن در کوتاه مدت ضعیف است. در نهایت، ضرایب ایمنی بدست آمده نشان داد که پله معدن ذکریان، بیلوآرندان، دره باغ و عسکران در شرایط فعلی پایدار می باشد اما ممکن است در آینده ای نزدیک وارد فاز شکست و ریزش شده و لذا نیازمند پایش دوره ای منظم و کنترل جابجایی های احتمالی جهت تضمین ایمنی پله هستند.

کلید واژه ها: معدن سنگ لاشه، پایداری ژئوتکنیکی، نرم افزار Slide، تحلیل پایداری شیب، ضریب ایمنی.

۱. عضو هیات علمی گروه مهندسی معدن، دانشگاه کردستان، سنندج m.rezaei@uok.ac.ir

* مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

شن و ماسه از مصالح اولیه مورد نیاز در بخش عمرانی از جمله صنعت ساختمان سازی و راه سازی می باشد. لذا تأمین بهینه این مواد جزو نیازهای ضروری بوده و می تواند مشکلات موجود در این صنعت را کاهش دهد. لازم به ذکر است که بخش بسیار زیادی از نیازهای شن و ماسه استان کردستان از معادن سنگ لاشه تأمین می شود. در واقع، معادن سنگ لاشه بیشترین تنوع را در بین معادن در حال بهره برداری استان کردستان دارا بوده و سهم عمده ای از صنعت معدنکاری استان را به خود اختصاص داده است. یکی از مشکلات اساسی در این معادن عدم استخراج بهینه و برداشت نامناسب از ذخایر موجود است که می تواند آینده تأمین این مصالح را در استان به خطر بیندازد. از جمله مواردی که باعث مشکلات مذکور گردیده است وجود ناپایداری های ژئوتکنیکی ناشی از عدم طراحی بهینه ژئومتری پله های استخراجی و همچنین طراحی نادرست الگوی حفاری و انفجار می باشد. این امر می تواند ایمنی پرسنل و تجهیزات را به خطر انداخته و باعث کاهش بازدهی و تولید معدن شده و در شرایط بحرانی منجر به تعطیلی معدن و یا تضييع ماده معدنی گردد. پایش ناپایداری ژئوتکنیکی در معادن سنگ لاشه استان، شناسایی منشأ و عوامل ایجاد آن و ارائه راه حل به منظور رفع این مشکل می تواند به افزایش ایمنی در این بخش از صنعت معدنکاری استان کمک کرده، از تضييع این مصالح مهم جلوگیری نموده و استخراج پیوسته و ایمن آن را در استان تضمین نماید. این امر می تواند از نوسانات احتمالی قیمت شن و ماسه کاسته و به تأمین ثبات و ایمنی در این صنعت مهم کمک کند. به طور کلی، بهینه سازی عملیات معدن کاری سنگ لاشه می تواند منجر به کاهش اثرات جانبی، افزایش ایمنی و افزایش بازدهی تولید شود.

علی رغم اهمیت موضوع این تحقیق، تاکنون مطالعات گسترده ای از لحاظ تئوری بر روی ناپایداری ژئوتکنیکی معادن سنگ لاشه به صورت ویژه انجام نگرفته است. با این حال، تحقیقات کلی زیادی بر روی عوامل مختلف ناپایداری

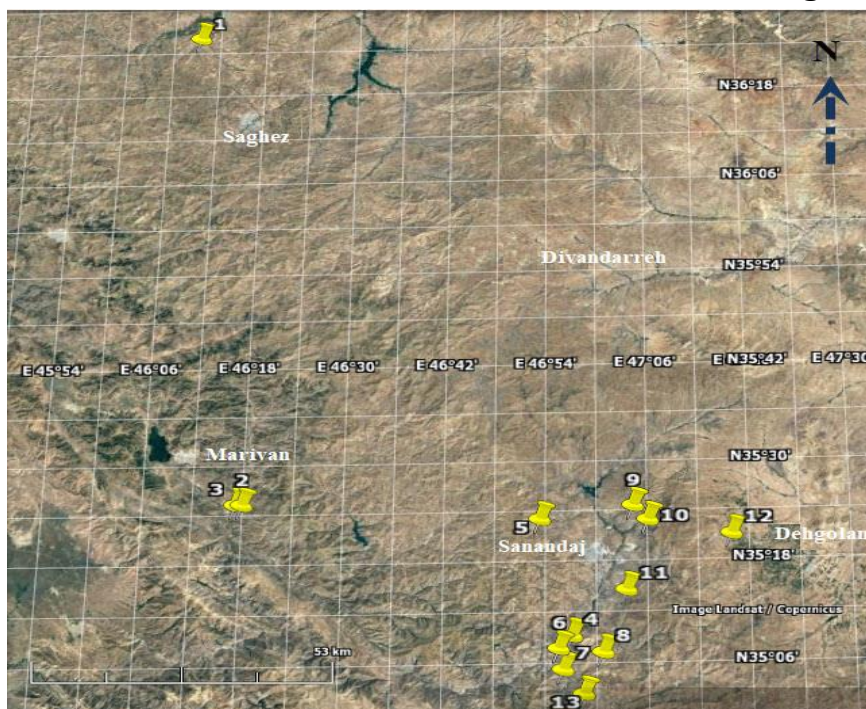
در معادن روباز انجام شده است (رضائی، ۱۳۹۲). همان طور که قبلاً هم اشاره شد، از عوامل ناپایداری در معادن روباز به صورت ویژه در معادن سنگ لاشه که به صورت روباز استخراج می گردند می توان به طراحی نامناسب پله ها و پیت استخراجی و عدم طراحی بهینه الگوی حفاری و انفجار اشاره کرد. بر این اساس، تحقیقات مختلفی به صورت جداگانه بر روی طراحی بهینه ژئومتری پله های استخراجی و پیت نهایی در معادن روباز (He et al., 1998; Careddu, and Siotto, 2011; Yang et al., 2012; Moradi and Osanloo, 2015; Adibi et al., 2015; Zhang et al., 2016; Arslan et al., 2017; Azarfar et al., 2019; Benjamin et al., 2019) و همچنین طراحی بهینه الگوی حفاری و انفجار در معادن سطحی (Sunu and Singh 1989; Kou and Rustan 1993; Scoble et al., 1997; Aldas and Bilgin 2003; Oliver 2003; Bajpayee et al., 2004; Wilkinson and Kecojevic 2006; Khandelwal and Singh 2005) توسط محققین مختلف انجام گرفته است. بعلاوه، تحقیقات مختلفی در زمینه تحلیل پایداری شیب در معادن روباز انجام گرفته است (Zuo et al., 2021; Silva et al., 2022; Bekele and Meten 2022; Yeh et al., 2022). با این حال، مطالعات اندکی در زمینه طراحی بهینه الگوی حفاری و انفجار در معادن سنگ لاشه به منظور رسیدن به خردایش مناسب و افزایش پایداری معدن انجام گرفته است (رضائی ۱۳۹۶، ۱۳۹۷). بررسی منابع فوق نشان می دهد که مهم ترین مرحله در طراحی مناسب پله ها و پیت استخراجی و طراحی الگوی انفجار در معادن روباز، شناخت پارامترهای تأثیرگذار است. بنابراین با شناخت پارامترهای تأثیرگذار در ناپایداری های اتفاق افتاده، می توان منشأ ناپایداری ژئوتکنیکی در معادن سنگ لاشه را شناسایی نموده و با ارائه و اجرای راه حل مناسب، مشکلات ایمنی و اقتصادی ناشی از آن را به حداقل رساند.

هدف از این تحقیق، پایش پایداری ژئوتکنیکی معادن سنگ لاشه استان کرستان است که در آن، وضعیت ایمنی شیب این معادن مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین، پارامترهای تأثیرگذار و عوامل ایجاد ناپایداری در این معادن شناسایی و به صورت دقیق بررسی شده و راهکارهای مناسب برای رفع

آزمایشگاهی تشریح و در نهایت، داده‌های اندازه‌گیری شده ارائه می‌شود.

۲-۱. معادن مورد بررسی

با هماهنگی کارشناسان اداره امور معادن سازمان صنعت، معدن و تجارت استان کردستان، تعداد ۱۳ معدن سنگ لاشه مختلف به‌عنوان معادن دارای پتانسیل بالقوه ناپایداری در استان به منظور انجام بررسی‌های تکمیلی در نظر گرفته شده است. معادن مورد نظر شامل ۷ معدن در محدوده شهرستان سنندج به نام‌های دره‌باغ، عسکران، بیلوارندان، سرنجیانه علیا ۲، باباریز ۳، باباریز ۴ و سمان، ۳ معدن در محدوده شهرستان سروآباد به نام‌های خُشکین، هلوژان و ذُکریان، معدن کانی‌پهن دهگلان، معدن عباس‌آباد کامیاران و معدن بغده‌کندی سقز می‌باشد. موقعیت معادن مورد مطالعه در محدوده جغرافیایی استان کردستان در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به معادن مورد مطالعه.

کاری و مشخصات درزه‌ها و گسل‌های موجود برداشت شده است. همچنین، از هر کدام از معادن مورد بررسی تعداد ۱ الی ۲ بلوک معرف بزرگ به‌منظور انجام عملیات مغزه‌گیری در آزمایشگاه و تهیه نمونه‌های مغزه‌ای برای انجام آزمایش‌های

مشکل ناپایداری ارائه خواهد شد که می‌تواند به افزایش بازدهی، ایمنی و شاخص‌های بهره‌وری در این معادن کمک شایانی نماید. همچنین، پایگاه داده مناسبی از معادن سنگ لاشه دارای مشکلات احتمالی در زمینه پایداری ژئوتکنیکی تهیه می‌شود که می‌تواند مبنای تحقیقات آتی در ارتباط با بهبود بهره‌وری در این معادن باشد. بر این اساس، هدف کلی این پژوهش شامل پایش پایداری معادن سنگ لاشه استان کردستان، شناسایی معادن دارای مشکل ناپایداری ژئوتکنیکی، تعیین نوع و منشأ ناپایداری و ارائه راهکار مناسب برای رفع مشکل ناپایداری است.

۲. مواد و روش‌ها

در این بخش، ابتدا به بررسی معادن مورد بررسی پرداخته می‌شود. سپس، عملیات میدانی و برداشت‌های صحرایی مرتبط با این معادن تشریح می‌گردد. در ادامه، مطالعات

۲-۲. برداشت‌های صحرایی

بازدید و برداشت داده‌های میدانی مورد نیاز در کل ۱۳ معدن مورد نظر انجام گرفته است. در بازدیدهای به‌عمل آمده، نوع سنگ و خصوصیات پترولوژیکی، تعداد و مشخصات پله‌های

مقاومت فشاری تک محوره و بارنقطه‌ای برداشت گردید. مشخصات معادن مورد مطالعه از جمله تعداد و مشخصات پله‌ها، وضعیت سنگ‌شناسی و زمین ساختاری و سایر اطلاعات مربوطه در جدول ۱ آورده شده است. همچنین، تصاویر مربوط به پله کاری معادن مورد مطالعه به همراه سیستم‌های درزه غالب آن‌ها و نمونه‌های بلوکی جمع‌آوری شده از این معادن به تفکیک در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱. اطلاعات کلی، نوع سنگ، خصوصیات ساختاری و مشخصات پله‌های معادن مورد مطالعه

Mine	Location	Rock type	Structural properties	Bench characteristics
Boghdeh Kandi	Saghez	Andesite and basaltic andesite	Multiple joint systems with different dips and dip directions	One bench with 40 m height and negative slope and one bench with 20 m height and 90° dip
Halozhan	Sarvabad	Limestone and alluvial	A reverse fault and a main joint set with north-south direction, 25° inclination and 215° azimuth	One limestone bench with 20 m height and 50° dip and one aluvial bench with 40 m height and 90° dip
Zekkryan	Sarvabad	Limestone	A main joint set with north-south direction, 42° inclination and 195° azimuth	One bench with 30 m height in eastern part, one bench with 30 m height in central part, and one bench with 80 m height in western part
Khoshkin	Sarvabad	Granite	Several parallel faults in the northeast-southwest direction, a joint set in the eastern part with 74° inclination and 275° azimuth, , a joint set in the central part with 50° inclination and 290° azimuth, and a joint set in the western part with 35° inclination and 265° azimuth	One bench with 40 m height, 10 m width and 45° dip, and one bench with 15 m height, 4 m width and 90° dip
Bilo Arandan	Sanandaj	Limestone	A joint set with north-south direction and a variable dips between 0° and 50° and a joint set with east-west direction and an almost vertical dip	One bench with 50 m height in central part, and one bench with 30 m height in eastern part
Darrebagh	Sanandaj	Limestone	A folded layer with 80° dip and N120S dip direction	One bench with 30 m height
Askaran	Sanandaj	Schistose limestone	A joint set with 42° dip and N325S dip direction, and a bedding system with a 55° dip and N10 dip direction	Three benches having 15 m height
Sernjyaneh Olya 2	Sanandaj	Coarse-grained gabbro	Completely tectonized	One bench with 20 m height, and two benches with 10 m height
Babariz 3	Sanandaj	Andesite	Completely jointed and exsisting a fault with east-west direction and dip direction towards the bench south	One bench having variable height between 30 to 40 m in different parts
Babariz 4	Sanandaj	Granite	Completely jointed	One height with 35 m height
Sman	Sanandaj	andesite	Completely jointed along with the schistosity and highly fractures	One height with 25 m height
Kani Pahn	Dehgolan	andesite	Three cross joint sets, first joint set with 12° dip and N160S dip direction, second joint set with 82° dip and N95S dip direction, and third joint set with 39° dip and N160S dip direction	One height with 20 m height
Abbas Abad	Kamyaran	Limestone		One height with 20 m height



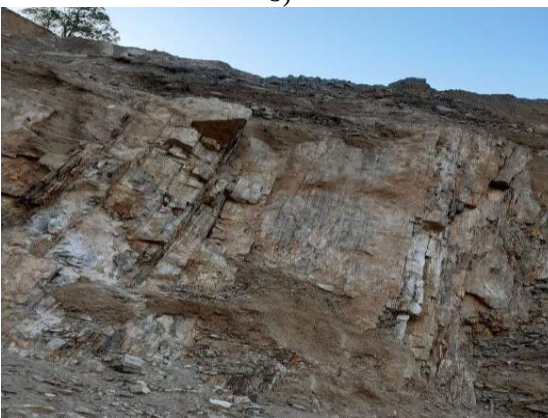
a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



h)



i)



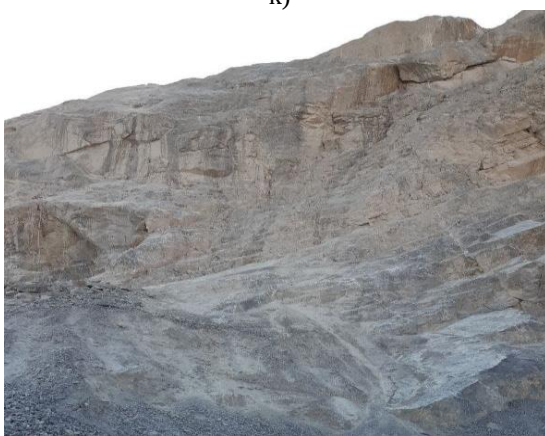
j)



k)



l)



m)



n)

شکل ۲. پله معادن مورد مطالعه به همراه سیستم درزه بندی غالب: (a) - بغده کندی، (b) - هلوژان، (c) - ذکریان، (d) - خُشکین، (e) - بیلو آرندان، (f) - دره باغ، (g) - عسکران، (h) - سرنجیانه علیا ۲، (i) - باباریز ۳، (j) - باباریز ۴، (k) - سمان، (l) - کانی پهن، (m) - عباس آباد، (n) - تعدادی از بلوک های سنگی جمع آوری شده.

مورد بررسی، ابتدا عملیات مغزه گیری بر روی بلوک های سنگی جمع آوری شده از این معادن انجام و نمونه های مغزه ای کافی تهیه شده است (شکل ۳). سپس، آزمایش

۲-۳. مطالعات آزمایشگاهی

به منظور انجام آزمایش های مقاومت فشاری تک محوره و بارنقطه ای برای تعیین خصوصیات سنگ های شیب معادن

آزمایش بارنقطه‌ای بر روی نمونه‌ها به هر سه روش قطری، طولی و کلوخه‌ای با استفاده از دستگاه بار نقطه‌ای انجام گردید که در آن، حداکثر بار وارده در لحظه شکست نمونه، اندازه‌گیری می‌شود. لازم به ذکر است که نمونه‌های طولی و قطری در نسبت طول به قطر استاندارد ($L/D=1$) آماده‌سازی، برش و صیقل داده شد (ISRM, 1981). با اندازه‌گیری حداکثر بار وارد بر نمونه در لحظه شکست و داشتن قطر و سایر ابعاد نمونه، می‌توان میزان اندیس بارنقطه‌ای را با استفاده از روابط موجود محاسبه نمود. نحوه انجام آزمایش بار نقطه-ای و قرارگیری نمونه‌های تعدادی از معادن مورد مطالعه در بین صفحات بارگذاری و فرم شکست نمونه‌ها بعد از انجام آزمایش بارنقطه‌ای به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ نمایش داده شده است.

مقاومت فشاری تک محوره بر روی نمونه‌های استوانه‌ای تهیه شده بر اساس استاندارد پیشنهاد شده توسط انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ انجام گردید (ISRM, 1981). مطابق استاندارد فوق، نمونه‌های استوانه‌ای در نسبت طول به قطر $2-2/5$ آماده‌سازی، برش و صیقل داده شد. سپس، از دستگاه جک بتن شکن برای انجام این آزمایش و اندازه‌گیری حداکثر بار وارده در لحظه شکست نمونه استفاده گردید. با محاسبه سطح مقطع نمونه و با استفاده از رابطه تنش، میزان مقاومت فشاری تک محوره نمونه‌ها تعیین گردید. نحوه قرارگیری تعدادی از نمونه‌های معادن مورد مطالعه در بین صفحات بارگذاری دستگاه بارگذاری تک محوره و نحوه شکست نمونه‌ها در حین انجام آزمایش و همچنین فرم شکست نمونه‌ها به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.



شکل ۳. تعدادی از نمونه‌های مغزه‌ای تهیه شده برای انجام تست‌های آزمایشگاهی.



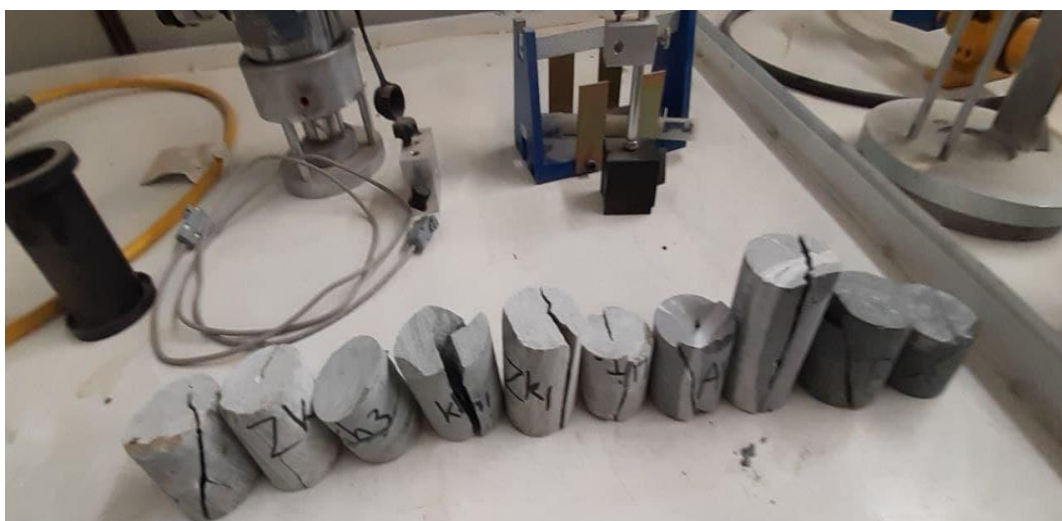
شکل ۴. آزمایش مقاومت فشاری تک محوره و نحوه شکست نمونه.



شکل ۵. شکل شکست تعدادی از نمونه‌ها بعد از انجام آزمایش مقاومت فشاری تک محوره.



شکل ۶. انجام آزمایش بار نقطه‌ای و نحوه قرارگیری نمونه در بین صفحات بارگذاری دستگاه.



شکل ۷. نحوه شکست نمونه‌ها بعد از انجام آزمایش بار نقطه‌ای.

۲-۴. داده‌های اندازه‌گیری شده

چسبندگی (c) و زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) محاسبه شد (Sivakugan et al., 2013). نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و محاسبات انجام شده در جدول ۲ آورده شده است.

$$\sigma_t = 1.25I_{S(50)} \quad (1)$$

$$\sigma_c = \frac{2cc \cos \phi}{1 - \sin \phi} \quad (2)$$

$$\sigma_t = \frac{2cc \cos \phi}{1 + \sin \phi} \quad (3)$$

همان‌طور که در بخش‌های قبلی هم اشاره شد، دو آزمایش مقاومت فشاری تک محوره و بارنقطه‌ای بر روی نمونه‌ها انجام گردید که در آن، دو پارامتر مقاومت فشاری تک محوره (σ_c) و مقاومت کششی (σ_t) نمونه‌ها محاسبه گردید. لازم به ذکر است که مقدار مقاومت کششی بر اساس اندیس بار نقطه‌ای ($I_{S(50)}$) و با استفاده از رابطه (۱) اندازه‌گیری شده است. سپس بر اساس دو پارامتر مقاومت فشاری تک محوره و مقاومت کششی و با استفاده از روابط (۲) و (۳)، دو پارامتر

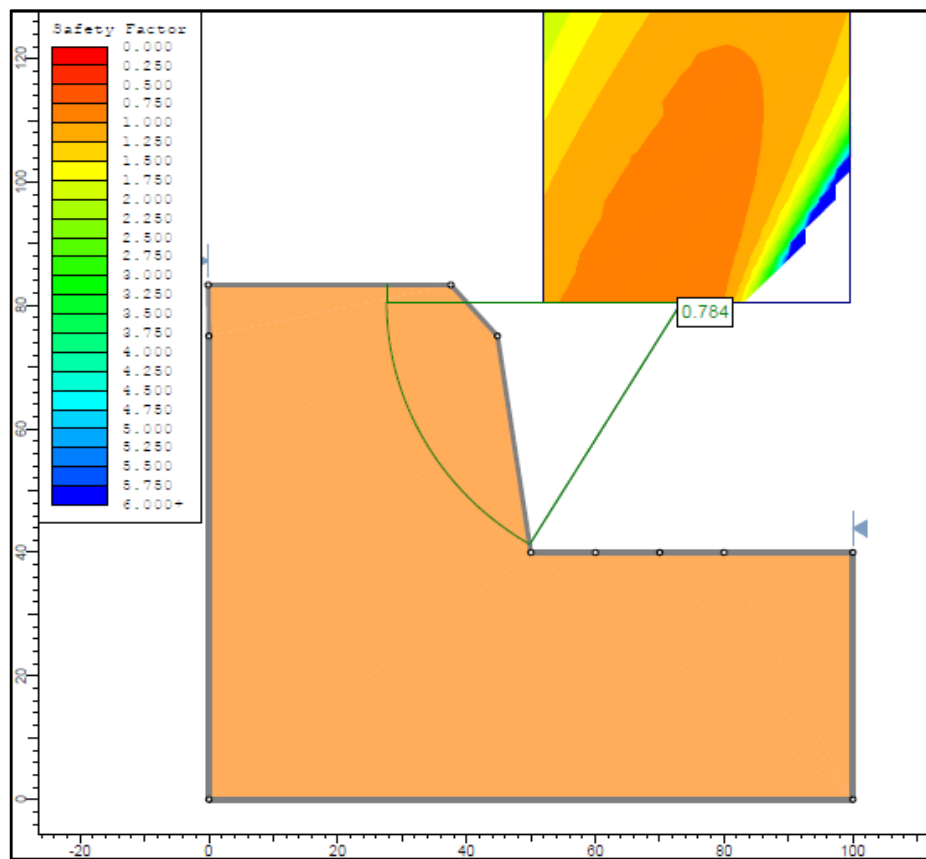
جدول ۲. داده‌های اندازه‌گیری شده برای تحلیل پایداری شیب.

Mine	Uniaxial compressive strength (MPa)	Point load index (MPa)	Tension strength (MPa)	Cohesion (MPa)	Friction angle (Degree)
Boghdeh kandi	78.57	6.42	8.032	8.31	66.1
Halozhan	23.08	1.44	1.8	3.35	57.66
Zekkryan	26.49	1.68	2.1	3.73	58.54
Khoshkin	18.54	1.16	1.45	3.12	52.75
Bilo Arandan	37.12	2.44	2.8	4.78	61.12
Darrebagh	33.04	3.62	4.52	4.3	60.81
Askaran	63.09	4.36	5.45	6.81	65.62
Sernjyaneh Olya 2	20.4	0.98	1.225	3.21	54.31
Babariz 3	136.93	9.98	12.47	13.16	68.23
Babariz 4	46.02	3.61	4.51	5.5	63.1
Sman	7.8	0.7	0.875	1.93	37.18
Kani Pahn	90.58	6.92	8.65	9.22	66.97
Abbas Abad	75.36	5.96	7.45	7.97	66.1

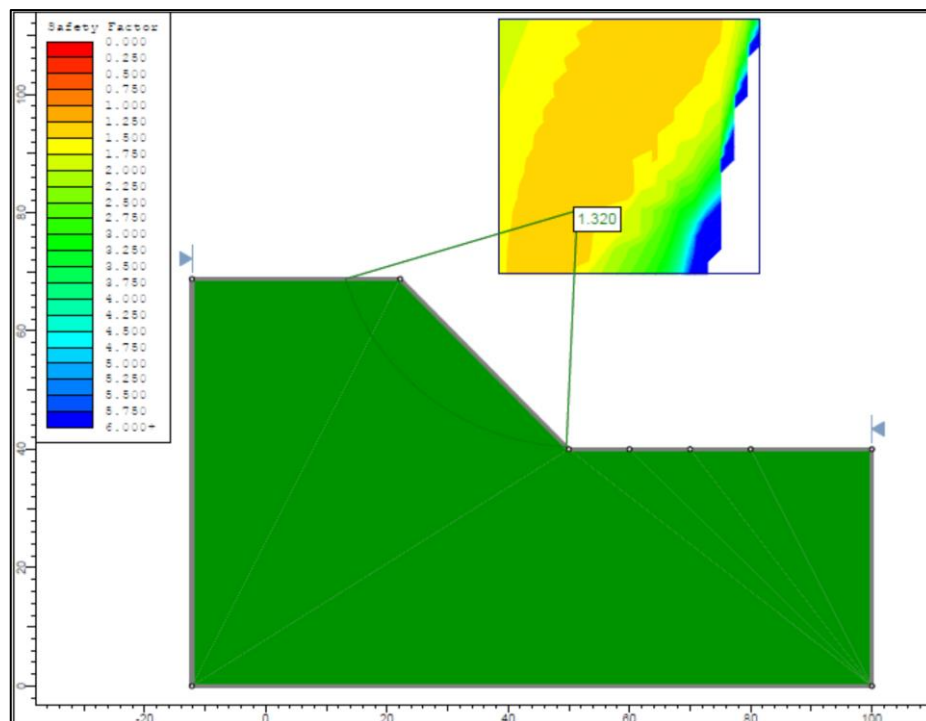
۳. تحلیل پایداری مقاطع شیب معادن مورد مطالعه

پایداری دیواره‌های معدن وضعیت مناسبی ندارد. بنابراین، توصیه می‌شود تمهیداتی جهت اصلاح و کاهش شیب، پایدارسازی دیواره و اصلاح الگوی انفجار معدن انجام گردد. همچنین، مشاهده می‌شود که ضرایب اطمینان به دست آمده برای معادن هلوژان، خُشکین، سرنجیانه علیا ۲، سمان، باباریز ۳، باباریز ۴، کانی‌پهن و عباس‌آباد بالاتر از ۱/۳ است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که شرایط پایداری دیواره این معادن مناسب بوده و احتمال ریزش آنها کم می‌باشد. بعلاوه، با توجه به اینکه مقادیر ضریب اطمینان به دست آمده برای معادن ذُکریان، بیلوآرندان، دره‌باغ و عسکران کمتر از ۱/۳ است لذا پله این معادن بایستی در آینده مورد پایش دوره‌ای قرار گیرد تا شکست‌های احتمالی به موقع تشخیص داده شده و پایدارسازی گردد.

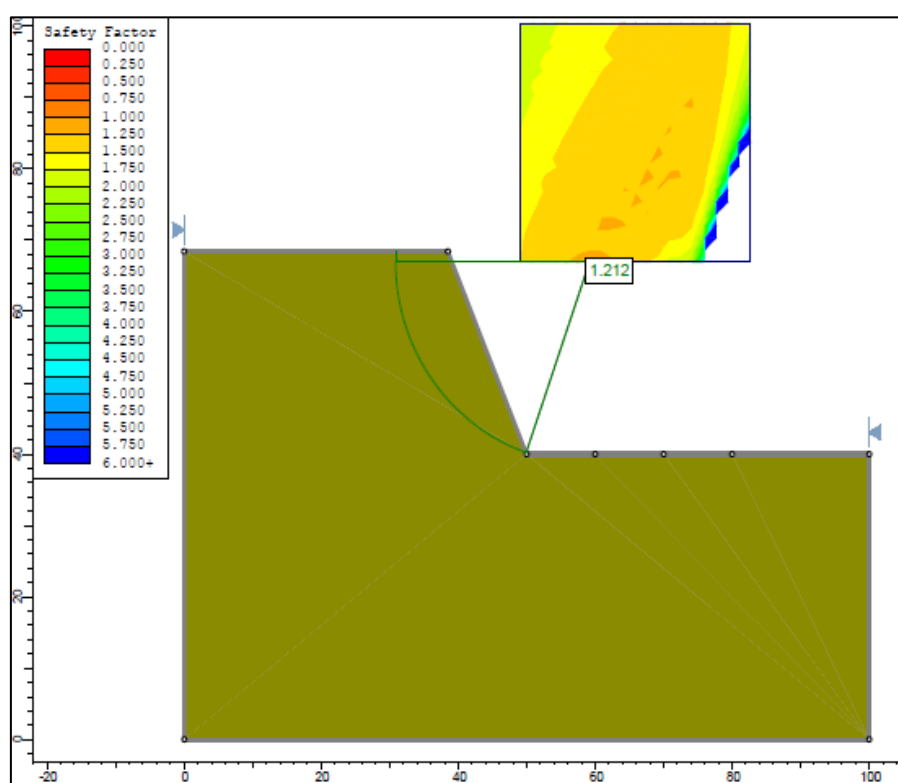
به منظور انجام مدل‌سازی عددی و تحلیل پایداری شیب مقاطع معادن مورد مطالعه، ابتدا هندسه مقاطع شیب معادن مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار AutoCAD ترسیم شده، سپس در نرم‌افزار Slide شرایط واقعی زمین شبیه‌سازی گردیده و خصوصیات لایه‌های موجود در معادن به مقاطع ترسیمی اختصاص داده شده است. در مرحله بعد، شرایط مرزی به مدل اعمال شده و آنالیز پایداری برای هر معدن انجام شده و پایداری دیواره‌های این معادن مورد ارزیابی قرار گرفته است. شرایط هندسی، مرزی و ژئومکانیکی ۱۳ معدن مورد نظر شبیه‌سازی شده و نتیجه تحلیل پایداری شیب پله این معادن به تفکیک در شکل‌های ۸ تا ۲۰ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ضریب اطمینان به دست آمده برای معدن بغده‌کندی سقر کمتر از ۱ بوده و شرایط



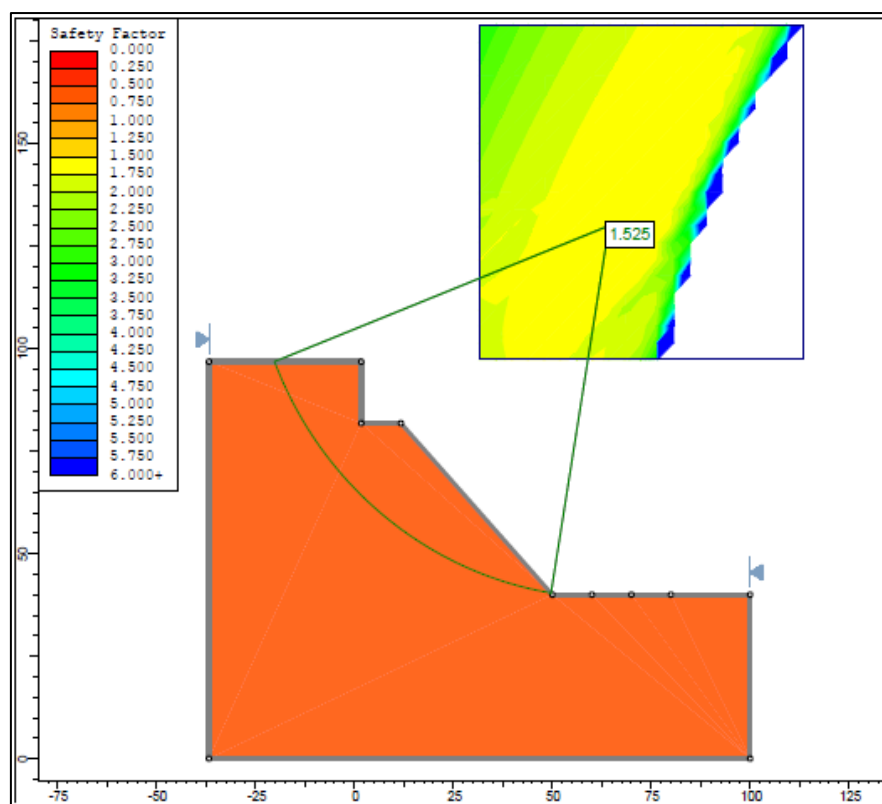
شکل ۸. آنالیز پایداری معدن بغده‌کنندی.



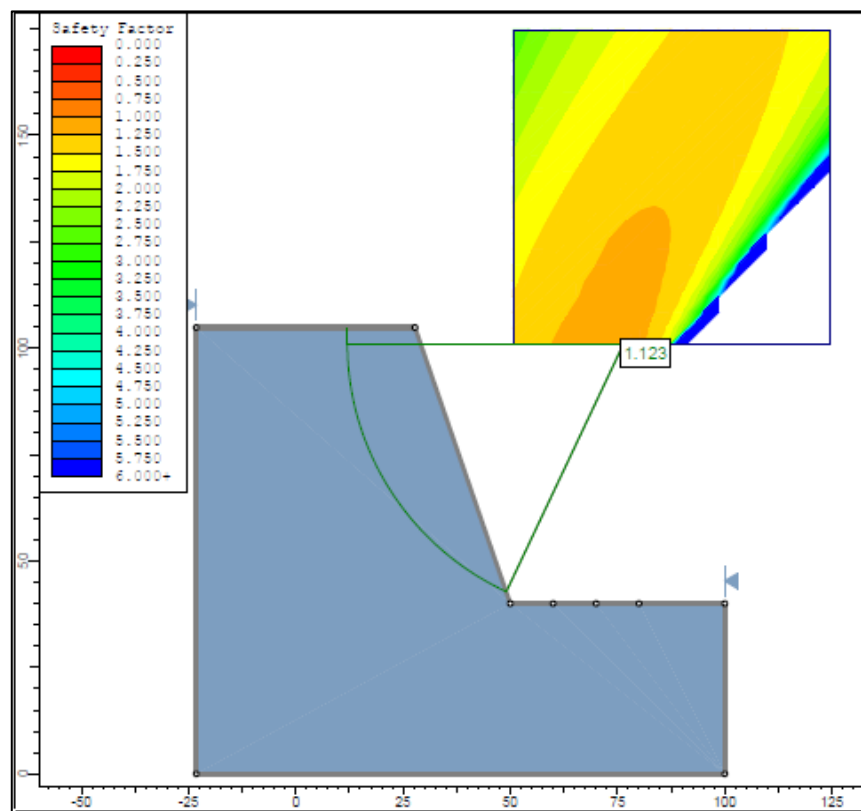
شکل ۹. آنالیز پایداری معدن هلوژان.



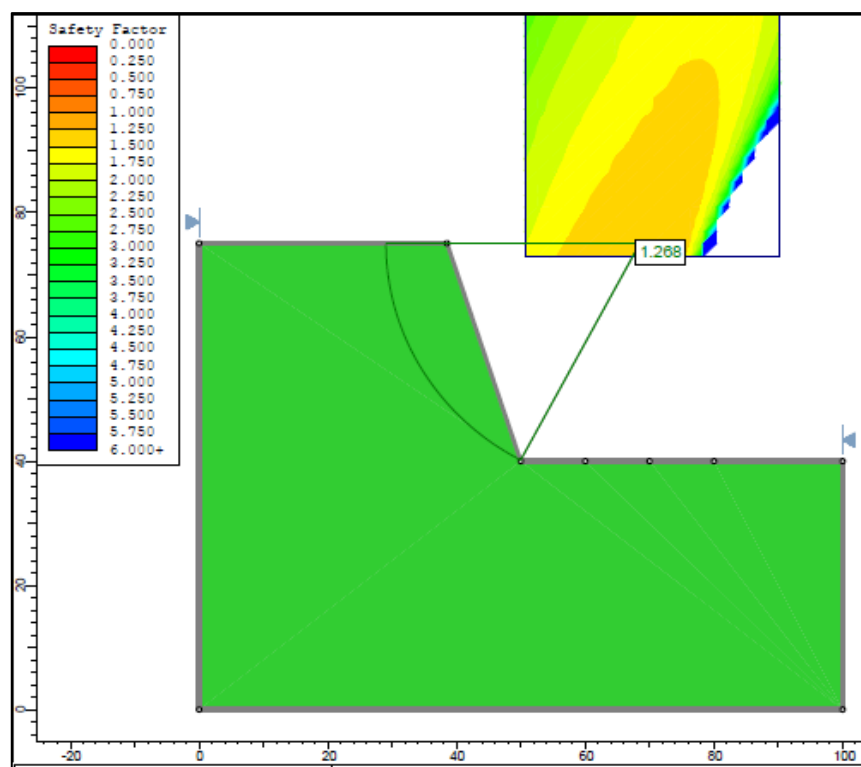
شکل ۱۰. آنالیز پایداری معدن ذکریان.



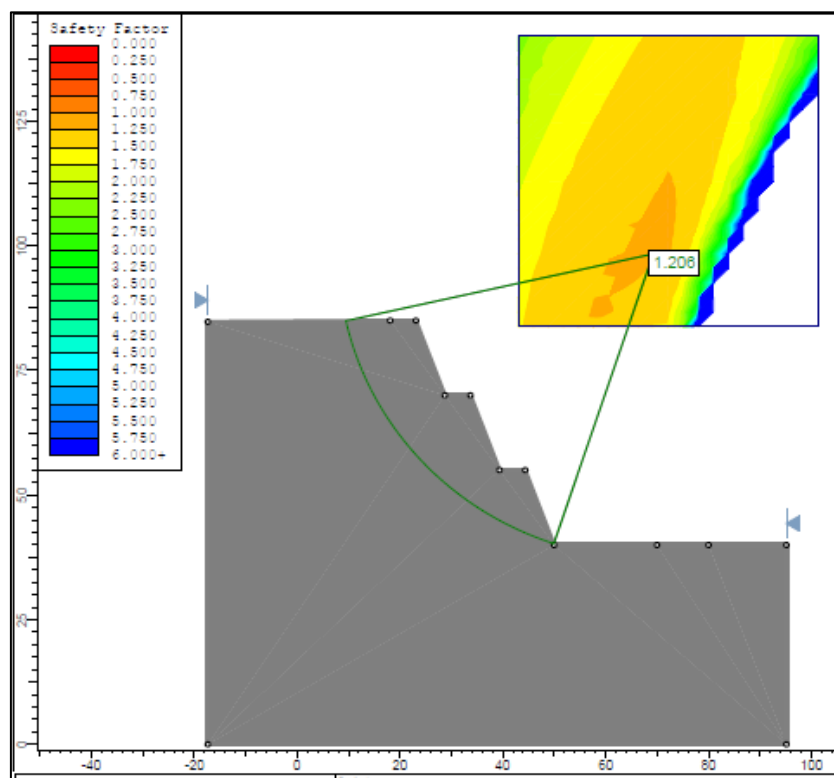
شکل ۱۱. آنالیز پایداری معدن خُشکین.



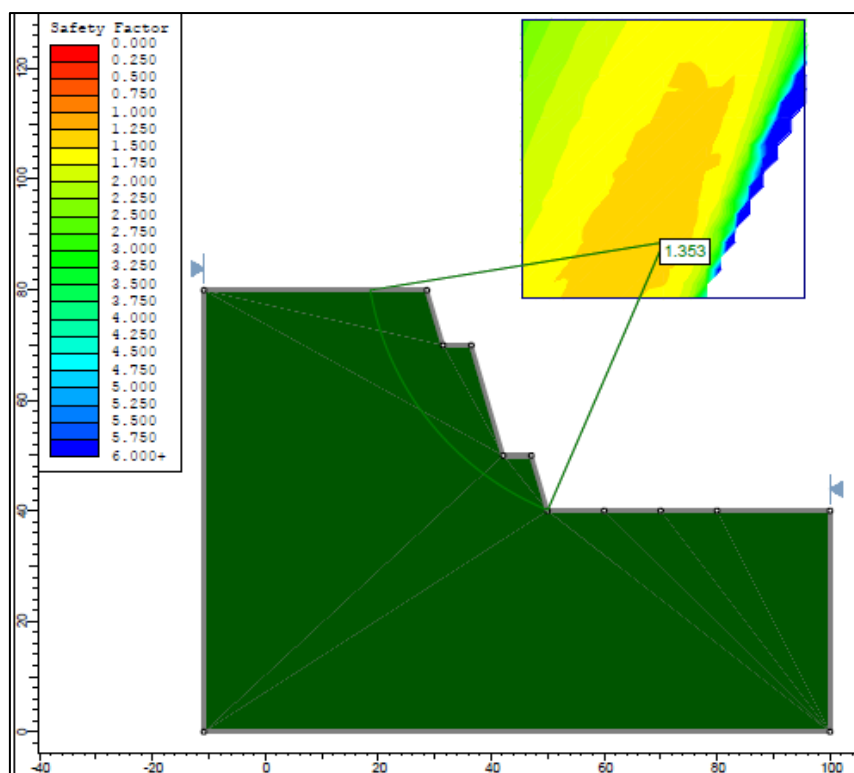
شکل ۱۲. آنالیز پایداری معدن بیلو آرندان.



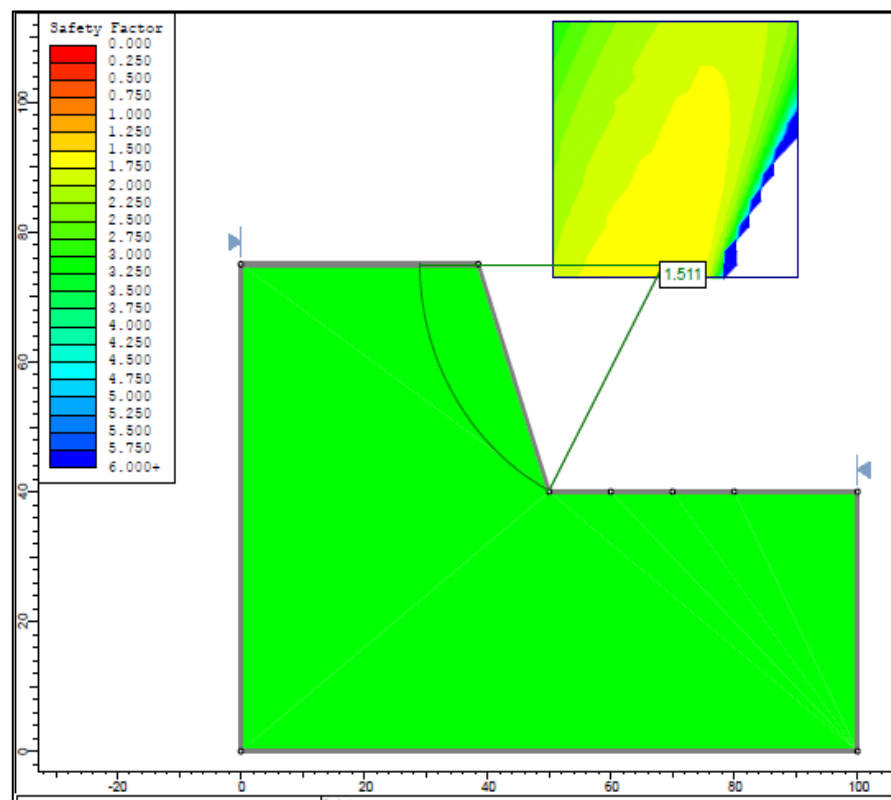
شکل ۱۳. آنالیز پایداری معدن دره باغ.



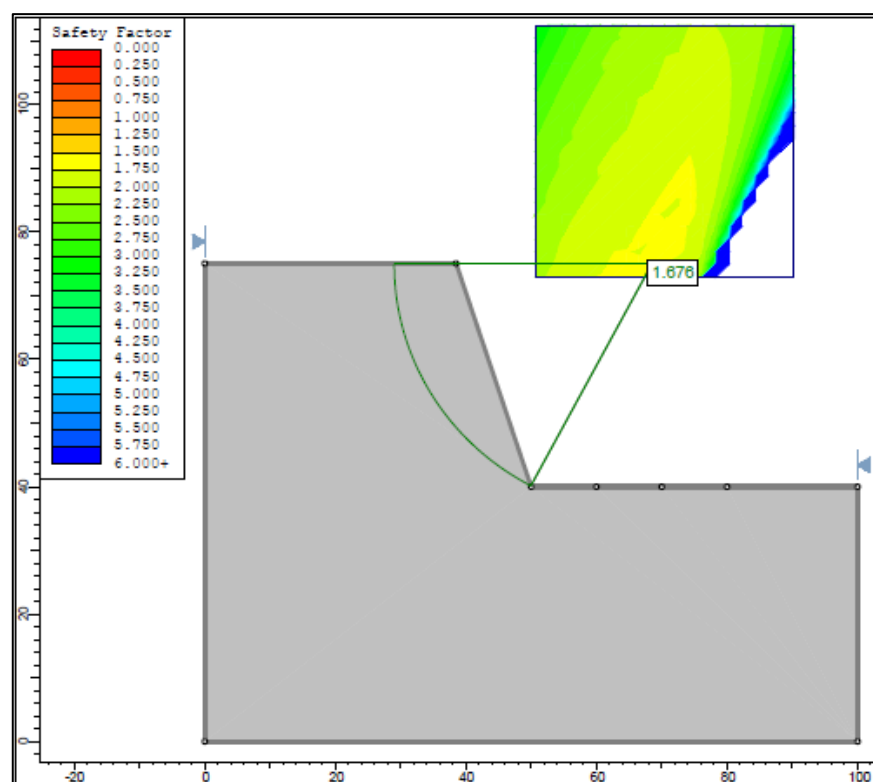
شکل ۱۴. آنالیز پایداری معدن عسکران.



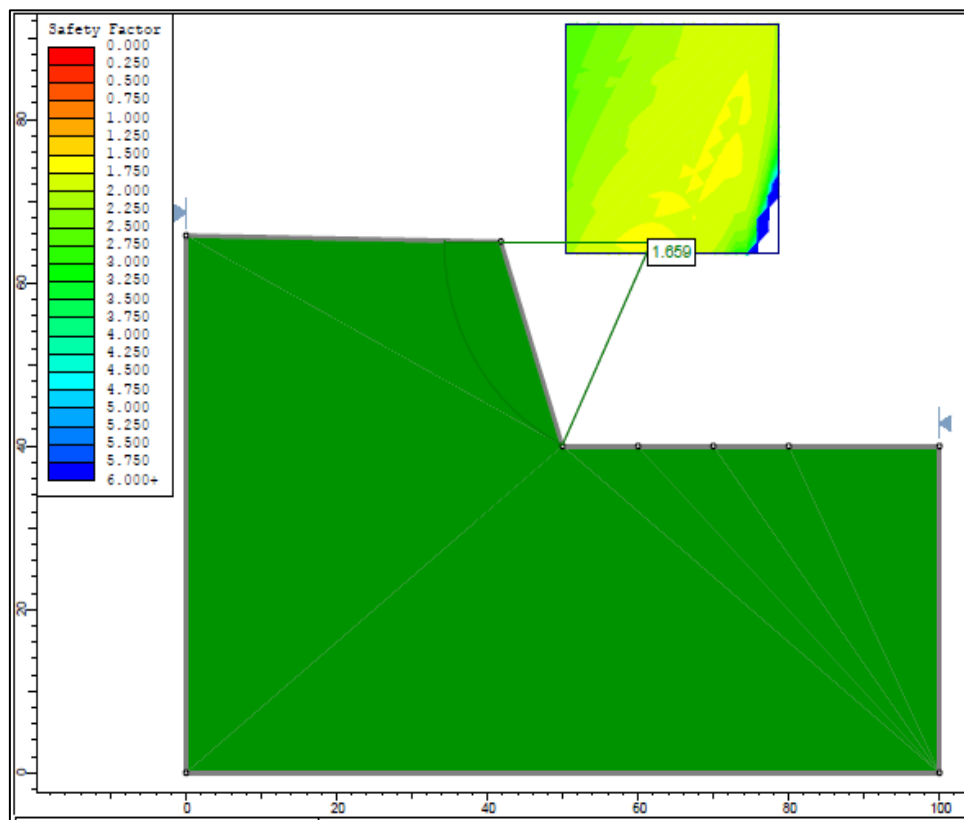
شکل ۱۵. آنالیز پایداری معدن سرنجیانه علیا ۲.



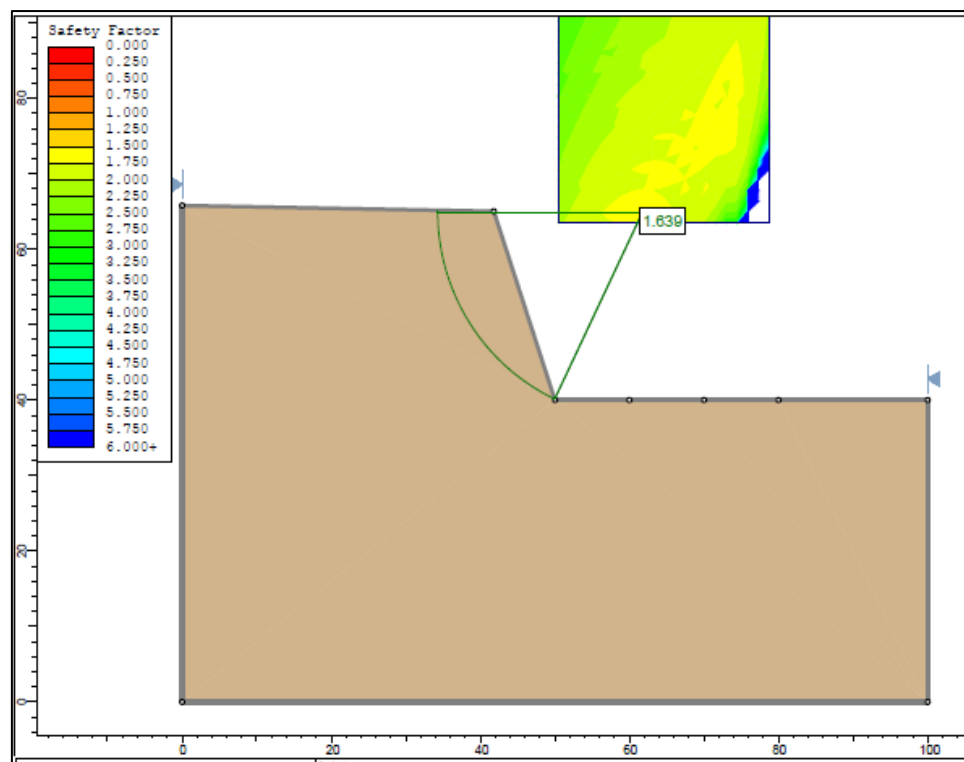
شکل ۱۶. آنالیز پایداری معدن باباریز ۳.



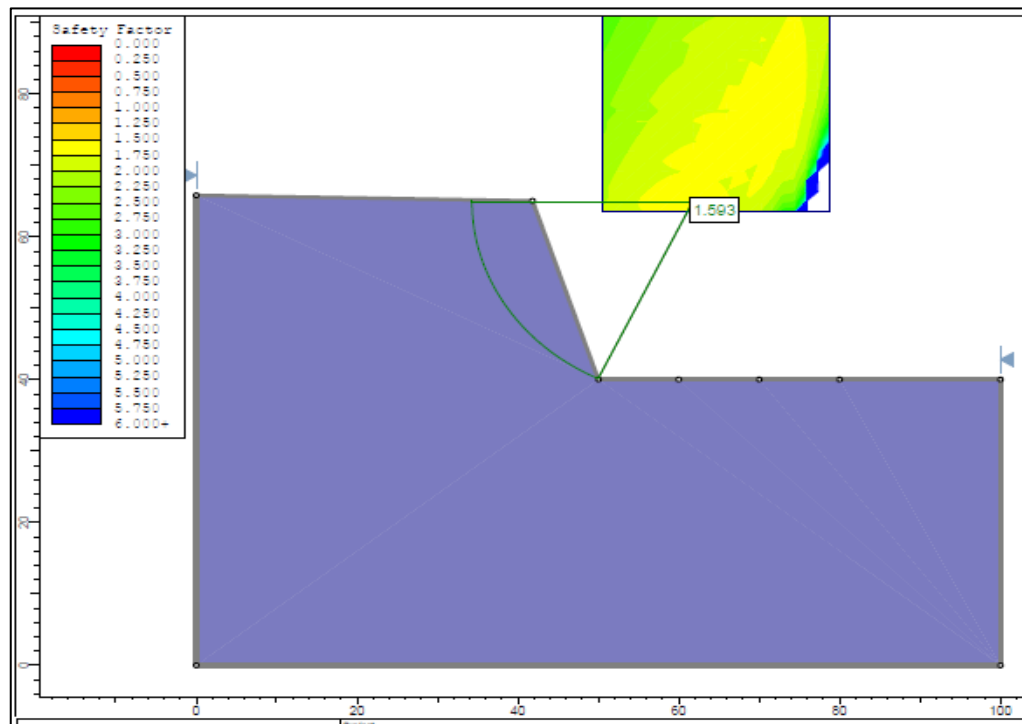
شکل ۱۷. آنالیز پایداری معدن باباریز ۴.



شکل ۱۸. آنالیز پایداری معدن سمان.



شکل ۱۹. آنالیز پایداری معدن کانی پهن.



شکل ۲۰. آنالیز پایداری معدن عباس آباد.

۴. نتایج و بحث

با توجه به نتایج تحلیل پایداری انجام گرفته، مقدار عددی ضرایب ایمنی به دست آمده برای شیب هر کدام از معادن مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، در شرایط فعلی فقط معدن بغده کندی کاملاً ناپایدار بوده و شرایط بحرانی دارد. بقیه معادن مورد بررسی هم اکنون در شرایط ریزش آنی نیستند اما برخی از این معادن

مانند ذکریان، بیلو آرنندان، دره باغ و عسکران ممکن است در آینده ای نزدیک وارد فاز شکست و ریزش شوند. بنابراین، این معادن نیاز به پایش مجدد دوره ای و اقدامات پیش گیرانه و پایدارسازی خواهند داشت. در نهایت، معادن هلوژان، خُشکین، سرنجیانه علیا ۲، باباریز ۳، باباریز ۴، سمان، کانی پهن و عباس آباد در حالت فعلی پایدار بوده و احتمال شکست و ریزش پله آنها پایین می باشد.

جدول ۳. مقادیر ضریب ایمنی به دست آمده برای دیواره معادن مورد مطالعه.

Mine	Safety factor	Remarks
Boghdeh Kandi	0.784	Unstable: Deed to correct and reduce the slope and optimize the blasting pattern
Halozhan	1.32	Permanent stable: Probability of slope failure is low
Zekkryan	1.212	Currently stable: Possible future slope failure (needs regular periodic monitoring)
Khoshkin	1.525	Permanent stable: Probability of slope failure is low
Bilo Arandan	1.123	Currently stable: Possible future slope failure (needs regular periodic monitoring)
Darrebagh	1.286	Currently stable: Possible future slope failure (needs regular periodic monitoring)
Askaran	1.206	Currently stable: Possible future slope failure (needs regular periodic monitoring)
Sernjyaneh Olya 2	1.353	Permanent stable: Probability of slope failure is low
Babariz 3	1.511	Permanent stable: Probability of slope failure is low
Babariz 4	1.676	Permanent stable: Probability of slope failure is low
Sman	1.659	Permanent stable: Probability of slope failure is low
Kani Pahn	1.639	Permanent stable: Probability of slope failure is low
Abbas Abad	1.593	Permanent stable: Probability of slope failure is low

۵. نتیجه گیری

در این تحقیق، پایش پایداری ژئوتکنیکی معادن سنگ لاشه استان کردستان مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، ۱۳ معدن سنگ لاشه مخلف در استان به عنوان معادن مورد مطالعه انتخاب و بازدیدهای صحرایی مختلف از این معادن انجام شد. در بازدیدهای صحرایی انجام گرفته، ابتدا سیستم درزه‌داری و سایر ناپیوستگی‌های موجود و خصوصیات سنگ‌شناسی پله‌ها و سینه‌کار معادن برداشت گردید. سپس، نمونه‌های بلوکی معرف از هر کدام از معادن مورد مطالعه جهت انجام عملیات آزمایشگاهی تهیه شد. در ادامه، عملیات مغزه‌گیری و تهیه نمونه‌های مغزه‌ای استاندارد انجام گرفته و آزمایش‌های مقاومت فشاری تک محوره و بارنقطه‌ای به منظور تهیه داده‌های ورودی برای تحلیل پایداری شیب انجام گردید. در نهایت، هندسه مقاطع شیب معادن مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار AutoCAD ترسیم و در نرم‌افزار Slide شرایط واقعی زمین شبیه‌سازی و خواص لایه‌های موجود در معادن به مقاطع ترسیمی جهت تحلیل پایداری شیب اختصاص داده شد. بر این اساس، نتایج کلی زیر بدست آمد:

۱- ضریب ایمنی به دست آمده برای معدن بغده‌کندی سقز برابر با ۰/۷۸۴ به دست آمد که نشان‌دهنده ناپایداری پله این معدن است. پیشنهاد می‌شود که در جهت اصلاح و کاهش شیب معدن و اصلاح الگوی انفجار معدن اقدام گردد.

منابع

- رضائی، م.، ۱۳۹۲. طراحی معدن بیتومین سیاهگل ایوان غرب (طراحی کاواک، پله‌ها و دیواره نهایی معدن)، طرح تحقیقاتی- صنعتی، شرکت تولید بیتومین سیاهگل غرب، ۳۵ ص.
- رضائی، م.، ۱۳۹۶. طراحی الگوی حفاری و انفجار معدن سنگ لاشه بغده‌کندی سقز. طرح تحقیقاتی-صنعتی، شرکت کوهستان کاوه بوکان و دانشگاه کردستان، ۷۵ ص.
- رضائی، م.، ۱۳۹۷. مدل‌سازی و بهینه‌سازی الگوی چالزنی و انفجار معدن سنگ لاشه بغده‌کندی سقز. مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، جلد یازدهم، شماره ۴، زمستان، ۵۳-۴۱.
- Adibi, N., Ataee-pour, M., Rahmanpour, M., 2015. Integration of sustainable development concepts in open pit mine design. Journal of Cleaner Production, 108: 1037-1049.
- Aldas, G.G.U., Bilgin, H.A., 2003. An Interpretation of the Effects of Using Different Delay Intervals in Blasting at an Open-Cast Mine in Turkey. Rock Mechanics and Rock Engineering, 36: 409-421.
- Arslan, A.T., Kahraman, B., Özfirat, M.K., Frühwirth, T., Yıldızdağ, K., Köse, H., 2017. A Parametric study using numerical modelling to assess the stability of marble quarries. Procedia Engineering, 191: 646-655.

۲- مقدار ضریب ایمنی به دست آمده برای شیب پله معادن هلوژان، خُشکین، سرنجیانه علیا ۲، باباریز ۳، باباریز ۴، سمان، کانی‌پهن و عباس‌آباد به ترتیب برابر با ۱/۳۲، ۱/۵۲۵، ۱/۳۵۳، ۱/۵۱۱، ۱/۶۷۶، ۱/۶۵۹، ۱/۶۳۹ و ۱/۵۹۳ به دست آمد که نشان‌دهنده پایداری پله این معادن بوده و احتمال شکست و ریزش پله آن‌ها در کوتاه مدت پایین است.

۳- ضریب ایمنی به دست آمده برای معادن ذُکریان، بیلو آزدان، دره‌باغ و عسکران به ترتیب برابر با ۱/۲۱۲، ۱/۱۲۳، ۱/۲۶۸ و ۱/۲۰۶ به دست آمد که نشان می‌دهد پله این معادن فعلاً در حالت پایدار می‌باشد اما ممکن است در آینده‌ای نزدیک وارد فاز شکست و ریزش شود. بنابراین، این معادن نیاز به پایش دوره‌ای شیب پله و کنترل جابجایی‌های احتمالی جهت تضمین ایمنی دارند.

تشکر و قدردانی

نویسنده لازم می‌داند سپاس و قدردانی خود را از معاونت معدنی سازمان صمت استان کردستان آقای مهندس مهدی سیفی باغی خانی و کارشناس استخراج بخش امور معادن این سازمان، آقای مهندس سید فواد الیاسی به خاطر همکاری و کمک‌های آنها در ارتباط با بازدید از معادن سنگ لاشه استان، برداشت‌های صحرایی و تهیه و جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات دفتری مورد نیاز اعلام نماید.

- Azarfar, B., Ahmadvand, S., Sattarvand, J., Abbasi, B., 2019, Stability Analysis of Rock Structure in Large Slopes and Open-Pit Mine: Numerical and Experimental Fault Modeling. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 52: 4889–4905.
- Bajpayee, T.S., Rehak, R., Mowre, G.L., Ingram, D.K., 2004. Blasting injuries in surface mining with emphasis on flyrock and blast area security. *Journal of Safety Research*, 35: 47–57.
- Bekele, A., Meten, M., 2022. Modeling rock slope stability using kinematic, limit equilibrium and finite-element methods along Mertule Maryam–Mekane Selam road, central Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment*, <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01563-8>.
- Benjamin, G., Topal, E., Leenders, B., 2019. Examining system configuration in an open pit mine design. *Resources Policy*, 63: 101438.
- Careddu, N., Siotto, G., 2011. Promoting ecological sustainable planning for natural stone quarrying. The case of the Orosei Marble Producing Area in Eastern Sardinia. *Resources Policy*, 36: 304–314.
- He, M.C., Feng, J.L., Sun, X.M., 2008. Stability evaluation and optimal excavation design of rock slope at Antaibao open pit coal mine, China. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 45: 289–302.
- ISRM., 1981. Rock characterization testing and monitoring, ISRM suggested methods. Pergamon Press, Oxford.
- Khandelwal, M., Singh, T.N., 2006. Prediction of blast induced ground vibrations and frequency in opencast mine: A neural network approach. *Journal of Sound and Vibration*, 289(4-5): 711–725.
- Kou, S., Rustan, A., 1993. Computerized Design and Result Prediction of Bench Blasting. *Proceedings of the international symposium on rock fragmentation by blasting*, Vienna, Vol. 4: 263–271.
- Moradi, G., Osanloo, M., 2015. Prioritizing sustainable development criteria affecting open pit mine design: A mathematical model. *Procedia Earth and Planetary Science*, 15: 813–820.
- Oliver, P.H., 2003. Changes to drill pattern and adequate inter-row delay time improve blasting performance. *CIM Bulletin*, 96(10710): 60–65.
- Scoble, M.J., Lizott, Y.C., Paventi, M., Mohanty, B.B., 1997. Measurement of blast damage. *Mining Engineering*, 49: 103–108.
- Silva, R.F.E., Zingano, A.C., Lima, R.R., Silva, J.P.D., Holanda, C.C., 2022. Influence of geomechanical analysis on the stability of ornamental rock slopes. *Journal of South American Earth Sciences*, 116: 103859.
- Sivakugan, N., Shukla, S.K., Das, B.M., 2013. *Rock mechanics: An introduction*. CRC Press, Available on Taylor & Francis Group, London.
- Sunu, M.Z., Singh, R.N., 1989. Application of modified rockmass classification system to blasting assessment in surface mining operations. *Mining Science and Technology*, 8: 285–296.
- Wilkinson, W.A., Kecojevic, V.J., 2005. Element of drill-and-blast design and three-dimensional visualization in surface coal mines. *Mining Engineering*, 57: 77–82.
- Yang, J., Tao, Z., Li, B., Gui, Y., Li, H., 2012. Stability assessment and feature analysis of slope in Nanfen open pit iron mine. *International Journal of Mining Science and Technology*, 22: 329–333.
- Yeh, P.T., Chen, I.H., Lee, K.Z.Z., Chang, K.T., 2022. Graphical comparison of numerical analysis, slope mass rating, and kinematic analysis for the effects of weak plane orientations on rock slope stability. *Engineering Geology*, 311: 106900.
- Zhang, K., Cao, P., Ma, G., Fan, W., Meng, J., Li, K., 2016. A new methodology for open pit slope design in Karst-Prone ground conditions based on integrated stochastic-limit equilibrium analysis. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49(7): 2737–2752.
- Zuo, S., Zhao, L., Tan, H., Li, L., Deng, D., Song, Z., 2021. Reliability parameter back analysis of bedding rock slope with multi-layer slide surfaces. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 80: 7227–7239.