

تحلیل پایداری دینامیکی دامنه‌های سنگی درزه‌دار تحت شرایط زمین لرزه  
(مطالعه موردی: محدوده فلر گاز فاز ۷ مجتمع گاز پارس جنوبی - عسلویه)  
محمد آذرافزا<sup>۱\*</sup>، ابراهیم اصغری کلجاهی<sup>۲</sup>، محمدرضا مشرفی فر<sup>۳</sup>،

دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۲۰ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۲/۰۵

چکیده

بررسی پایداری شیب‌های سنگی در موقع زمین لرزه از پیچیده‌ترین مسائل در بررسی پایداری شیبها محسوب می‌شود. داشتن درک صحیح از عملکرد نیروهای دینامیکی بر ساختارهای سنگ، نقش مهمی در تحلیل پایداری دامنه‌های سنگی درزه‌دار دارد. در این تحقیق تحلیل پایداری دامنه سنگی درزه‌دار کنار فلر گاز فاز ۷ مجتمع پارس جنوبی، تحت بارهای دینامیکی به کمک روشهای عددی المان مجزا توسط نرم‌افزار UDEC صورت گرفته است. توده سنگ این دامنه از سنگ‌های مارنی و ماسه‌سنگی سازند آغاچارای تشکیل یافته است. به عنوان بار دینامیکی، از نگاشت زمین لرزه ۱۳۹۱ منطقه عسلویه استفاده شده و به شتاب مبنای طرح  $0.42g$  مقیاس شده است. بر پایه نتایج بدست آمده از مدل‌سازی‌های به روش مدل‌سازی هیبریدی در محیط نرم‌افزار MATHEMATICA، ضریب اطمینان حالت استاتیکی برای دامنه مورد نظر  $1/26$  بدست آمده است. برای تحلیل دینامیکی، مدل تهیه شده به مدت ۶ ثانیه تحت امواج دینامیکی زمین لرزه مذکور با فرض میرایی  $0/5$  درصد قرار داده شده و نتایج حاصل نشان داد که تحت بار اعمالی ضریب اطمینان دامنه به  $0/54$  کاهش یافته و ناپایدار می‌گردد. بنابراین برای پایدار ماندن این دامنه در موقع زمین لرزه‌های قوی نیاز به طرح‌های پایدارسازی دارد.

کلید واژه‌ها: تحلیل پایداری دینامیکی، دامنه‌های سنگی درزه‌دار، مجتمع گاز پارس جنوبی، UDEC، MATHEMATICA

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه علوم پایه، دانشگاه یزد، m.azarafza.geotech@gmail.com

۲. استادیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، e-asghari@tabrizu.ac.ir

۳. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه یزد

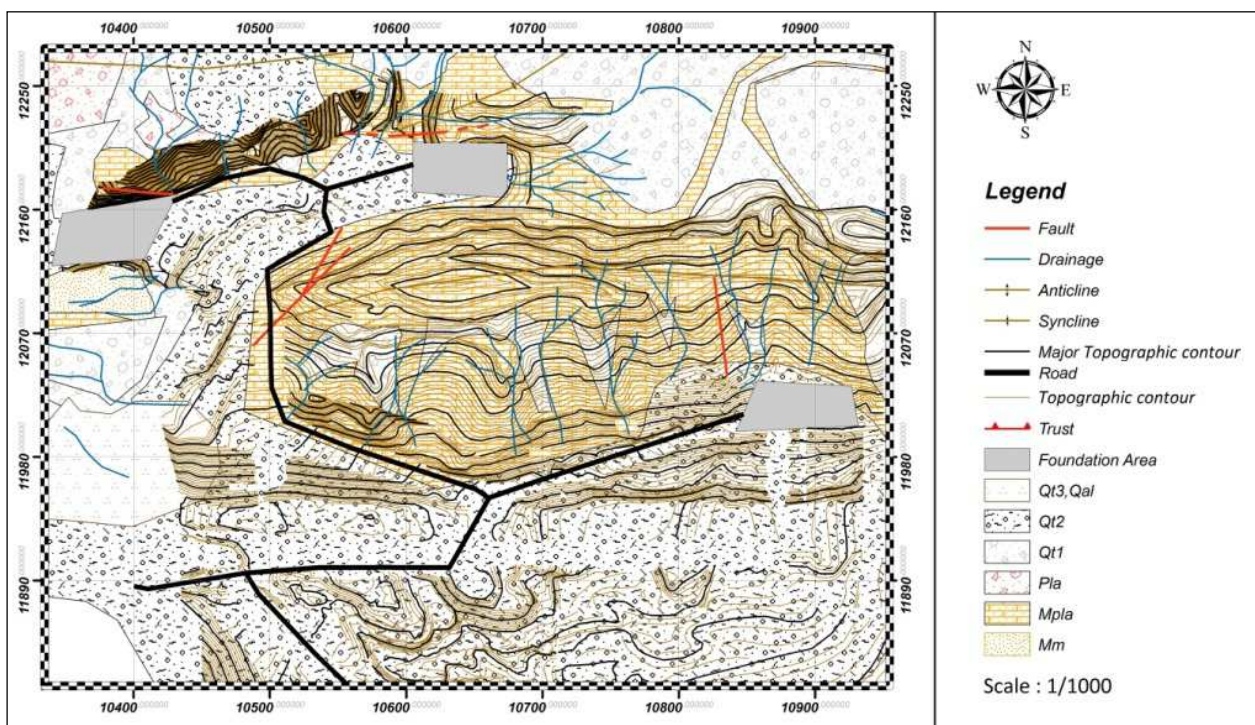
\* مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

امروزه طیف وسیعی از روش‌ها به منظور تحلیل پایداری شیب‌های سنگی و خاکی وجود دارد. این طیف از روش‌های ساده، تعادل حدی و شکست صفحه‌ای تا روش‌های ترکیبی کدهای المان مجزا/ محدود و روش‌های سطح بالای هیبریدی را شامل می‌شود (Bishop, 1952; 1966; Abramson et al., 2001; Thielen et al., 2005; Yarahmadi-Bafghi and Verdel, 2003; 2004; 2005; Eberhardt, 2003; Norozi et al., 2011 و آذرافزا، ۱۳۹۲؛ آذرافزا و همکاران، ۱۳۹۲- الف؛ ۱۳۹۲- ج). در طراحی شیب‌های سنگی در مناطق لرزه‌خیز باید تأثیر نیروهای دینامیکی زمین‌لرزه‌ها در نظر گرفته شود. مطالعات سائیزموتکتونیک و تحلیل خطر زمین‌لرزه در منطقه و آنالیز دینامیکی توده سنگ دامنه، نشانگر نیاز به پایدارسازی دامنه‌های مجاور سازه‌هاست. تحلیل‌های پایداری دینامیکی

دامنه‌های خاکی یا سنگی، پیش‌بینی و کنترل اثرات لرزه‌ای از مهم‌ترین مسائل در طراحی هر سازه بر روی دامنه می‌باشد. در این راستا مطالعات زیادی به وسیله محققین مختلف برای تحلیل و کنترل پایداری دینامیکی دامنه‌ها صورت پذیرفته که از جمله آنها می‌توان به بهاسین و کاینا (Bhasin and Kaynia, 2004)، کولدسکی و همکاران (Kveldsvik et al., 2009)، ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2012) و حسینی و نقدی (۱۳۹۲) اشاره نمود.

حسینی و نقدی (۱۳۹۲) در تحلیل پایداری سطوح شیبدار مشرف به نیروگاه سد خرسان ۳ تحت شرایط زمین‌لرزه از نرم افزار UDEC استفاده کردند. آنها نتیجه گرفتند که سطح سنگی شیبدار مورد مطالعه در ضرایب زلزله ۰/۲ و ۰/۳ ناپایدار می‌شوند.



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی

(Mm= سازند میشان، Mpla= سازند آغاچاری، Pla= سازند بختیاری و بقیه واحدها رسوبات آبرفتی کواترنری هستند)

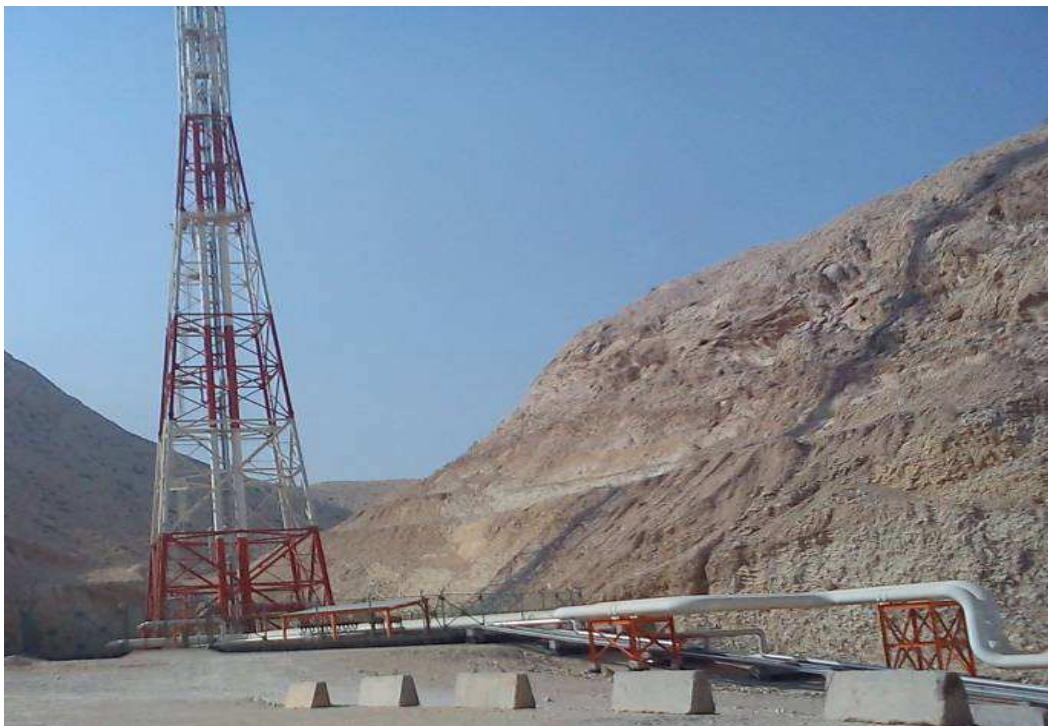
## ۲. زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی

سنگ‌های تشکیل دهنده این دامنه شامل تناوب سنگ‌های مارنی و ماسه‌سنگی سست سازند آغاچاری می‌باشد (آذرافزا و همکاران، ۱۳۹۲-ب). در شکل (۱) نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. در شکل (۲) نیز تصویری از دامنه مورد مطالعه ارائه گردیده است.

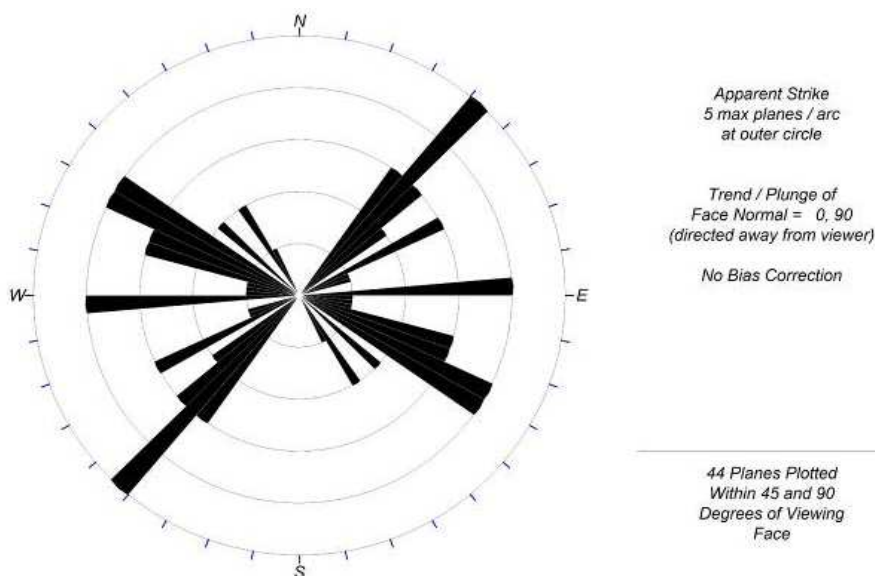
بر اساس بررسی‌های محلی و نتایج آزمایشات انجام شده، طبقه‌بندی توده سنگ این دامنه به شرح جدول (۱) است. مشاهده می‌شود که عدد RMR توده سنگ ۴۳ و عدد SMR حدود ۵۶ است.

همچنین دیاگرام گل سرخ سطوح ناپیوستگی توده سنگ این دامنه در شکل (۳) نشان داده شده است. امتداد بیشتر درزه‌ها ۴۳ و ۱۲۰ درجه است.

منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس (عسلویه) در ناحیه باریکی از کوهپایه‌های سواحل شمالی خلیج فارس با مساحت تقریبی بالغ بر ۱۴ هزار هکتار قرار گرفته که بخش اعظم آن را رسوبات آبرفتی پوشانده و باقیمانده آن را رخنمون‌های سنگی تشکیل می‌دهند. علیرغم جوان بودن آبرفت‌های درشت‌دانه منطقه، این رسوبات از استحکام نسبتاً زیادی برخوردار هستند (آذرافزا، ۱۳۹۲). دامنه مورد بررسی در فاز ۷ منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس جنوبی، در محدوده مجتمع گاز پارس جنوبی قرار دارد. دامنه سنگی مورد مطالعه یکی از دامنه‌های تاقدیس عسلویه است که در کنار بزرگراه عسلویه - کنگان واقع شده است. این دامنه سنگی که فلر (مشعل) فاز ۷ در کنار آن استقرار یافته بر اساس UTM در زون R39 با مختصات ۶۵۶۸۷۰ شرقی و ۳۰۴۷۴۴۰ شمالی واقع است.



شکل ۲. تصویری از دامنه مورد مطالعه در کنار فلر گاز فاز ۷ مجتمع گاز پارس جنوبی



شکل ۳. دیاگرام گل سرخ ناپیوستگی های توده سنگ از دامنه

جدول ۱. طبقه بندی مهندسی توده سنگ دامنه مورد مطالعه

SMR (Romana et al., 2003)	RMR (Bieniawski, 1989)	طبقه بندی
56 (IIIa)	43 (IV)	توصیف

در محدوده فرکانس طبیعی تعریف نمود. تعیین میرایی محیط به راحتی امکان پذیر نیست ولی بر اساس تجربه مقدار میرایی خاک ها و سنگ ها ۲ تا ۵ درصد میرایی بحرانی در نظر گرفته می شود. شایان ذکر است که در صورت استفاده از مدل های ویسکوز (مانند مور- کلمب)، به دلیل جریان پلاستیک ذرات، مقداری از انرژی بار تلف می شود. این اتلاف انرژی ایجاب می کند که میرایی، در مطالعات عددی به حدود ۰/۵ درصد برسد. جهت محاسبه فرکانس طبیعی، مدل قبل از اعمال بار زمین لرزه بر روی بستر سخت رها می شود و با شمارش تعداد نوسانات در نقاط شاهد می توان فرکانس طبیعی مدل را برآورد نمود. میرایی با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه می باشد (Itasca, 2008b):

$$C = aM + bK \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن، a ضریب میرایی جرم، b ضریب میرایی سختی

### ۳. اصول تحلیل دینامیکی به روش عددی

پیش از انجام تحلیل دینامیکی به کمک روش های عددی، پارامترهای دینامیکی میرایی، شرایط مرزی و ابعاد شبکه بندی در تحلیل باید مورد بررسی قرار گیرد.

#### ۳-۱. میرایی

از آنجایی که موج در طبیعت، با پیشروی در محیط میرا شده و انرژی آن کاهش می یابد، بنابراین بایستی این پدیده نیز جهت تحلیل دینامیکی مورد توجه قرار گیرد. در نرم افزار UDEC (Itasca, 2008a) جهت مشخص شدن میرایی محیط از میرایی رایلی یا میرایی محلی استفاده می شود که مدل ریاضی آن چنان انتخاب می شود که انرژی مستهلک شده در محاسبات عددی مشابه انرژی مستهلک شده در سیستم فیزیکی باشد. برای میرایی رایلی لازم است که ابتدا با تعیین مقدار فرکانس طبیعی مدل تهیه شده، مقدار میرایی رایلی را

انعکاس امواج زمین‌لرزه از سطح و مرزهای مدل و بازگشت آنها به درون محیط، لازم است تا نوع مرزها از حالت استاتیکی تغییر یابد و باید از مرزهای جاذب انرژی استفاده شود. این روش مبتنی بر استفاده از میراگرهای عمودی و برشی در مرزهای مدل است که انرژی امواج برخوردی را جذب و از بازتاب آن به داخل جلوگیری کند. بدین منظور می‌توان از دو روش زیر استفاده کرد (Itasca, 2008b):

الف) روش اول (طرفین مدل مرزهای آزاد و در پایه مدل مرز ویسکوز): وجود مرز ویسکوز در پایه باعث می‌شود که اعمال بار در زمین‌لرزه به صورت تاریخچه شتاب و یا سرعت امکان‌پذیر نباشد در نتیجه در ابتدا لازم است در نرم‌افزار UDEC (Itasca, 2008a) با استفاده از روابط زیر داده‌های شتاب زمین‌لرزه مبنا به صورت نگاشت تنش برشی تبدیل شوند. سپس می‌توان این تنش برشی را به صورت یک موج برشی که راستای حرکت آن به سمت سطح زمین است به مدل اعمال نمود. لازم به ذکر است در این روش به منظور ارضای شرایط مرزی در نرم‌افزار UDEC (Itasca, 2008a) در گره‌های موجود در مرز، تنش‌هایی معادل تنش نرمال و برشی موج ولی در خلاف جهت حرکت آن به گره وارد می‌گردد و به این ترتیب موج در گره‌های مرزی خنثی می‌شود (شکل ۴).

می‌باشد. از آنجایی که برابر شدن فرکانس سازه با فرکانس موج ورودی منجر به ارتعاش سازه گردیده است و خسارت وارده به آن حداکثر می‌شود بنابراین بایستی با استفاده از آنالیز مودال این فرکانس طبیعی را برآورد نمود و جهت تحلیل‌های دینامیکی مورد استفاده قرار دارد. آنالیز مودال با ارضای معادله زیر تحقق می‌یابد:

رابطه (۲)

$$m \ddot{a} + c \dot{a} + ka = f$$

$$m \ddot{a} + ka = 0$$

$$a = r \sin(\omega t)$$

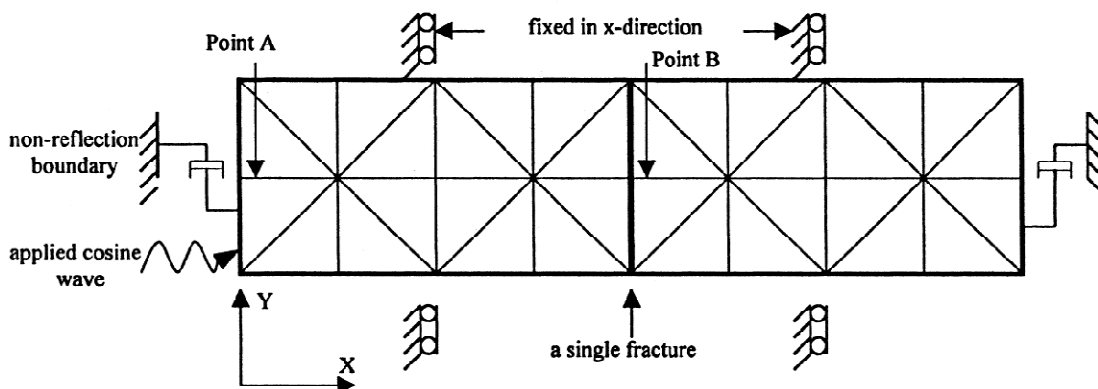
$$\ddot{a} = -\omega^2 \cdot r \cdot \sin(\omega t)$$

$$k - \omega^2 \cdot m = 0$$

که در آن،  $k$  فرکانس طبیعی سازه،  $\omega$  فرکانس زاویه‌ای موج،  $r$  دامنه موج می‌باشد. در تحلیل دینامیکی مورد نظر از معیار شکست موهر- کلمب استفاده شده است و چون معیاری الاستوپلاستیک می‌باشد، در قسمت پلاستیک این معیار، میرایی مستتر بوده و تنها پایداری و همگرایی حل، میرایی محلی به مقدار ۰/۵ درصد، می‌تواند جوابگوی تحلیل باشد.

۲-۳. شرایط مرزی

در اعمال شتاب زمین‌لرزه به پایه مدل جهت جلوگیری از



شکل ۴. اتصال میراگر به گره‌های مرزی (Itasca, 2008b)

باشد. بزرگترین بعد المان را می‌توان از طریق رابطه زیر

تعیین نمود (Itasca, 2008b):

$$l_{\max} = \frac{C_s}{8 \cdot f_{\max}} \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در آن،  $C_s$  سرعت عبور موج برشی در محیط و  $f$  بزرگترین فرکانس امواج زمین‌لرزه (بزرگترین فرکانسی که موج در آن دارای توان می‌باشد). به منظور بدست آوردن  $C_s$  از رابطه زیر استفاده می‌شود (Itasca, 2008b):

$$C_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad \text{رابطه (۸)}$$

#### ۴. تحلیل پایداری دینامیکی

به منظور تحلیل دینامیکی، ابتدا می‌بایست مدل از نظر استاتیکی حل شده و به تعادل برسد و در نتیجه، پاسخ مدل به بار دینامیکی به طور خالص بررسی شود. لذا باید مدل ابتدا برای حالت استاتیکی طراحی و محاسبات مربوط به ضرایب پایداری برای حالت استاتیکی تعیین گردد، سپس با اعمال بار دینامیکی به مدل اقدام به تغییر در شرایط تعادلی مدل گردیده و دوباره از نظر دینامیکی حل شود و به تعادل برسد.

#### ۴-۱. تحلیل استاتیکی

برای مدل‌سازی استاتیکی دامنه مورد مطالعه از الگوریتم هیبرید به منظور تحلیل پایداری و محاسبه ضریب اطمینان استفاده شده است. برای دستیابی به این مهم، سه مرحله مدل‌سازی هندسی، تعریف مدل رفتاری و تخصیص خواص و مرحله مدل‌سازی مکانیکی و تحلیل پایداری، صورت پذیرفته است. بر اساس مشخصات هندسی شبکه ناپیوستگی توده سنگ بدنه دامنه سنگی و تحلیل‌های انجام شده، سیستم نامحدود و ترتیبی به عنوان پایه مدل‌سازی هندسی این دامنه انتخاب گردیده است. بر همین اساس و به کمک نرم‌افزار KGM که در محیط Mathematica (Wolfram, 1999) اجرا می‌شود، عملیات مدل‌سازی هندسی دامنه صورت پذیرفته است. بعد از طراحی کامل مدل هندسی اقدام به تعریف شرایط مرزی، اختصاص خواص، مدل رفتاری و پارامترهای

$$\sigma_{xy} = -2(\rho C_s v) \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\sigma_n = -\rho \cdot c_p \cdot V_n \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\sigma_s = -\rho \cdot c_s \cdot V_s \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در روابط فوق،  $v$  سرعت حرکت زمین،  $\rho$  چگالی محیط،  $C_s$  سرعت عبور موج برشی در محیط،  $V_n$  و  $V_s$  سرعت‌های ارتعاشی برشی و عمودی گره در مرز و  $c_p$  و  $c_s$  سرعت انتشار امواج برشی و فشاری معرفی می‌گردند. در هر گام محاسباتی در هر گره‌ای که شرط مرزی جذب کننده دارد، محاسبه و بر آن گره شبیه سایر نیروهای مرزی اعمال می‌گردد.

روش دوم (طرفین مدل از مرزهای ویسکوز و در پایه مدل مرز آزاد): در این روش موج ورودی به صورت داده‌های سرعت با انتگرال‌گیری از داده‌های شتاب- زمان به مدل اعمال می‌شود. به این منظور از نرم‌افزار Seismosignal (Seismosoft, 2004) استفاده می‌شود. این نرم‌افزار با دریافت داده‌های شتاب- زمان، داده‌های سرعت- زمان و مکان- زمان را بدست می‌دهد.

#### ۳-۳. ابعاد شبکه‌بندی

ابعاد شبکه‌بندی نقش مهمی را در تحلیل‌های دینامیکی ایفا می‌کند چرا که بزرگ شدن ابعاد مش‌ها، باعث کاهش تعداد گره‌ها گردیده و دقت پایین می‌آید، همچنین اگر ابعاد خیلی کوچک باشند، زمان محاسبات بالا رفته و ممکن است مشکلات سخت‌افزاری بوجود آید. لذا از آنجایی که بزرگ و یا کوچک بودن ابعاد مش در تحلیل دینامیکی، منجر به خطای محاسباتی می‌گردد در نتیجه ابعاد مش بایستی از رابطه زیر تعیین گردد (Itasca, 2008b):

$$\Delta l \leq \frac{\lambda}{8} \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن،  $\Delta l$  ابعاد مش‌ها،  $\lambda$  طول موج می‌باشد. به منظور جلوگیری از اعوجاج موج زمین‌لرزه در مدل و انتشار صحیح آن، لازم است تا بزرگترین بعد المان کوچک‌تر از یک دهم تا یک هشتم طول موج بزرگترین فرکانس در موج زمین‌لرزه

توجه به نتیجه حاصل از مدل‌سازی، ناپایداری محتمل بصورت گوه‌ای تعیین گردیده است (جدول ۴). در مدل‌سازی دو بعدی برای گوه لغزشی، ناپایداری روی صفحه‌ای به موازات فصل مشترک تحلیل می‌گردد. هوازگی بالا و توان فرسایشی و گسترش آن در سطح درزه‌ها پایداری دامنه را بسیار پایین برده است.

ژئومکانیکی به مدل گردیده است. جدول (۲) مشخصات فیزیکی و مکانیکی توده سنگ دامنه بدست آمده از نتایج آزمون‌های صحرایی و آزمایشگاهی ارائه شده است. همچنین پارامترهای مقاومتی سطح درزه‌ها با استفاده از اطلاعات حاصل از برداشت درزه‌ها و آزمایشات انجام شده تعیین گردیده و در جدول (۳) نشان داده شده است. در شکل (۵) مدل تهیه شده از دامنه سنگی مورد نظر ارائه شده است. با

جدول ۲. مشخصات فیزیکی و مکانیکی ماده سنگ و ناپیوستگی‌های توده سنگ (آذرافزا، ۱۳۹۲)

پارامتر	Cj	$\phi_j$	$\rho$	E	G	K	T	$\nu$	Kn	Ks
واحد	MPa	degree	kg/m <sup>3</sup>	GPa	MPa	MPa	MPa	-	GPa	GPa
مقدار	۱/۱	۲۹	۱۶۷۰	۷۰	۲۸	۴۵	-۰/۰۹۷	۰/۲۴	۳/۹	۲۵

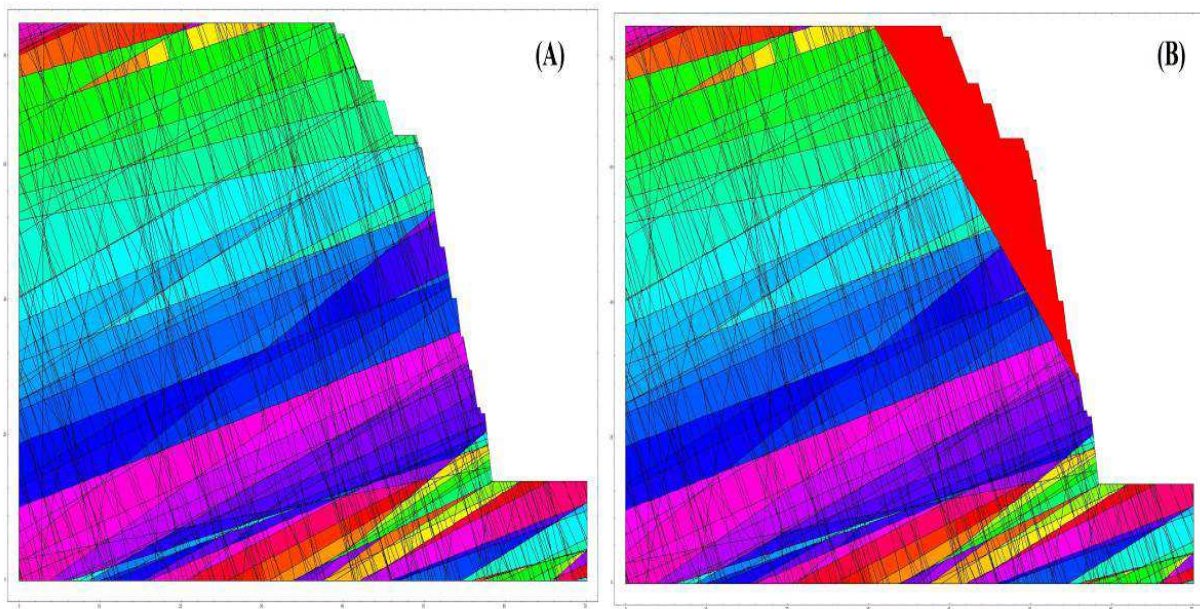
جدول ۳. پارامترهای استفاده شده در تحلیل استاتیکی دامنه و روش محاسبه آن‌ها (آذرافزا، ۱۳۹۲)

پارامترها	روش محاسبه	واحد	مقدار میانگین	انحراف معیار	توزیع
عدد RMR	طبقه بندی مهندسی سنگ		۴۳	-	-
مدول الاستیسیته معادل	$E_s = 10 \left( \frac{RMR-10}{40} \right)$	MPa	۷۰	-	-
وزن حجمی ماده سنگ	آزمایش	Kg/m <sup>3</sup>	۱۶۷۰	-	نرمال
چسبندگی سطح درزه‌ها	تعیین خواص مقاومتی معیار بارتن - باندیس	MPa	۱/۱	۰/۰۰۱	نرمال
زاویه اصطکاک درزه‌ها	تعیین خواص مقاومتی معیار بارتن - باندیس	درجه	۲۹	۳/۳۸	نرمال
کواریانس $\phi_j$ و Cj	Cov[ $\phi_j$ , C0]		۰/۲۷۶	-	-

جدول ۴. نتایج تحلیل به روش گروه‌های کلیدی

روش تحلیل	ضریب اطمینان (FS)	P (FS<1.0)	P (FS<1.5)	وزن گروه ناپایدار (Ton)	پایداری
FORM	۱/۲۵۸۲	۰/۹۹۸۸۴۷	۰/۰۰۹۱۴۷۵۳	۸/۳۵	نیاز دارد





شکل ۵. (A) مدل هندسی و (B) مدل مکانیکی و نتایج تحلیل پایداری دامنه به روش هیبریدی توسط نرم افزار Mathematica

#### ۲-۴. تحلیل دینامیکی

روش های تحلیل دینامیکی شامل روش های تجربی، مدل فیزیکی، نیومارک، شبه استاتیک و روش های عددی می باشد. روش های عددی خود به دو روش شبه دینامیکی و دینامیکی تقسیم می شود (Itasca, 2008b). در این پژوهش از روش عددی دینامیکی برای تحلیل لرزه ای دامنه سنگی درزه دار استفاده شده است. برای این کار از روش عددی المان مجزا توسط نرم افزار UDEC (Itasca, 2008a) استفاده شده است. بر پایه موارد ذکر شده در بخش ۳، پارامترهای مد نظر برای تحلیل دینامیکی دامنه مورد نظر به شرح زیر می باشد:

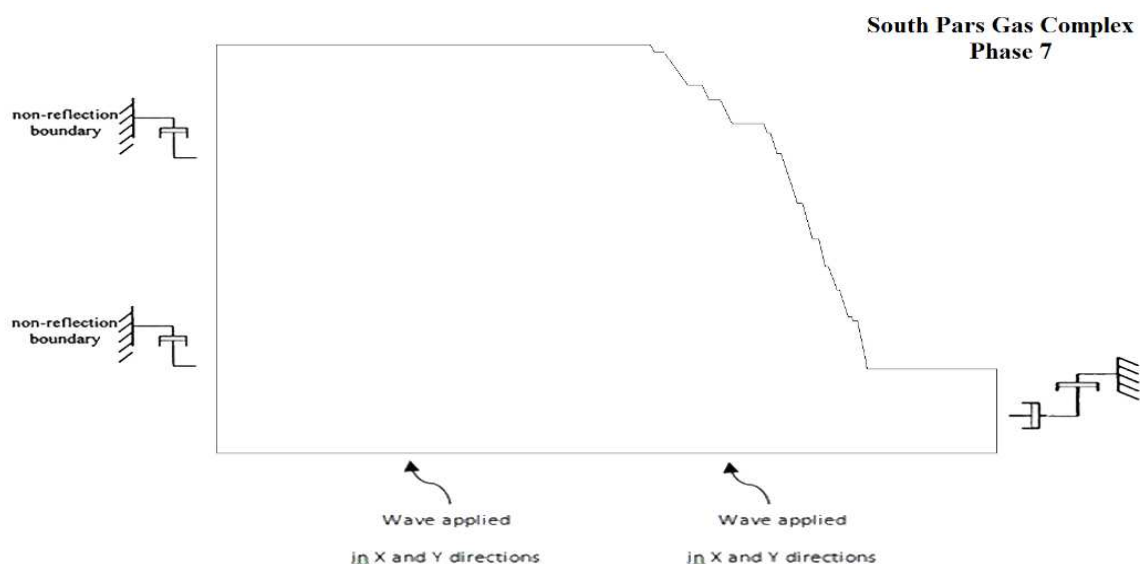
$$C_s = 1296 \text{ m/sec}$$

$$l_{\max} = 16.2 \text{ m}$$

در شکل (۶) مدل بعد از اعمال شرایط مرزی نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشاهده می گردد، سه طرف مدل به عنوان مرز ویسکوز و در پایه مدل مرزهای آزاد در نظر گرفته شده و ثابت گردیده است. برای اعمال بار

دینامیکی زمین لرزه از نگاهت زمین لرزه مورخه ۲۰۱۳/۱/۲۲ با بزرگی  $ML=3/3$  در فاصله ۷ کیلومتری محل استفاده شده است. زمین لرزه مذکور به فعالیت گسل عسلویه نسبت داده شده است (IEES, 2013). ویژگی های این زمین لرزه در جدول (۵) ارائه شده است. همچنین برای اعمال شتاب زمین لرزه برای دامنه مورد مطالعه از شتاب مبنای طرح  $0.42g$  پیشنهاد شده به وسیله پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (۱۳۸۰) برای منطقه عسلویه استفاده شده است. بار دینامیکی در مقاطع مورد نظر به صورت داده های سرعت-زمان در قالب جدولی به مدل اعمال می شود. به این منظور می بایست از داده های شتاب-زمان بدست آمده از شتابنگار انتگرال نسبت به زمان گرفته شود تا داده های سرعت-زمان بدست آیند. داده های بدست آمده از شتاب نگاشت در سه جهت X, Y و Z ثبت شده است که در نرم افزار UDEC فقط X و Y قابل اعمال می باشد. نتایج نمودارهای شتاب-زمان تهیه شده توسط نرم افزار Seismosignal (Seismosoft, 2004) در شکل (۷) ارائه شده است.

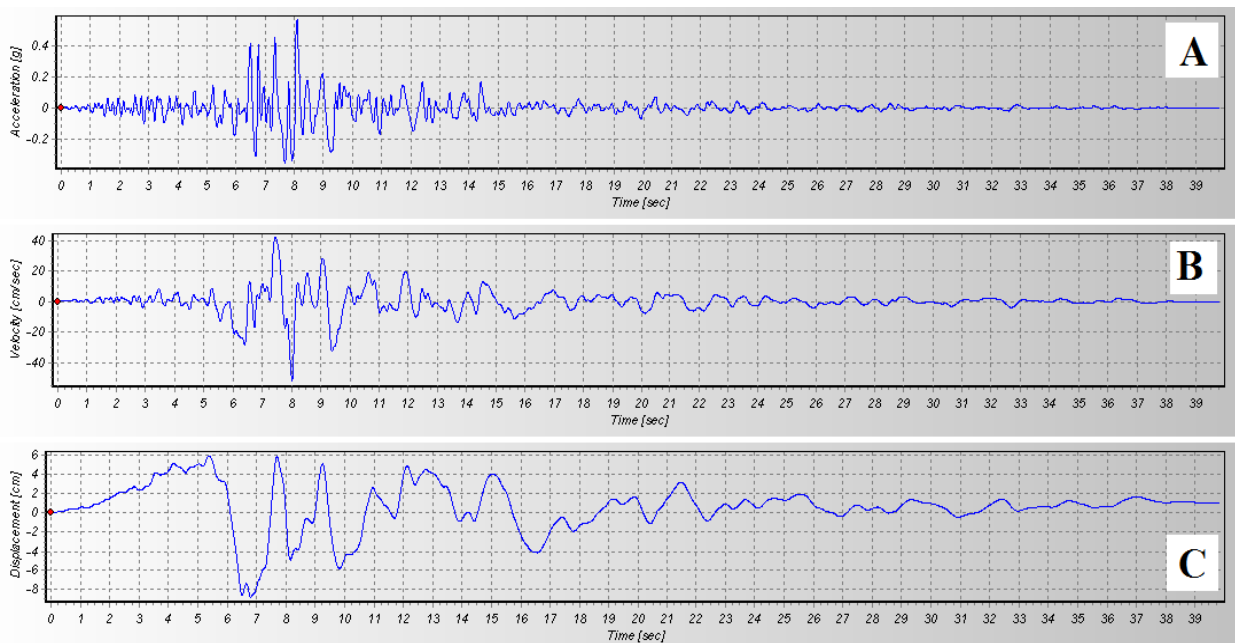




شکل ۶. مقطع دامنه بعد از اعمال شرایط مرزی جهت تحلیل دینامیکی

جدول ۵. ویژگی‌های زمین‌لرزه مورد استفاده در این مطالعه (IIIES, www.iiies.ac.ir)

محل وقوع	تاریخ وقوع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	بزرگی ML	عمق کانونی	فاصله از محل
منطقه عسلویه	۲۰۱۳/۰۱/۲۲	۵۲/۶۱ درجه	۲۷/۴۸ درجه	۳/۳	۱۴ km	۷ km



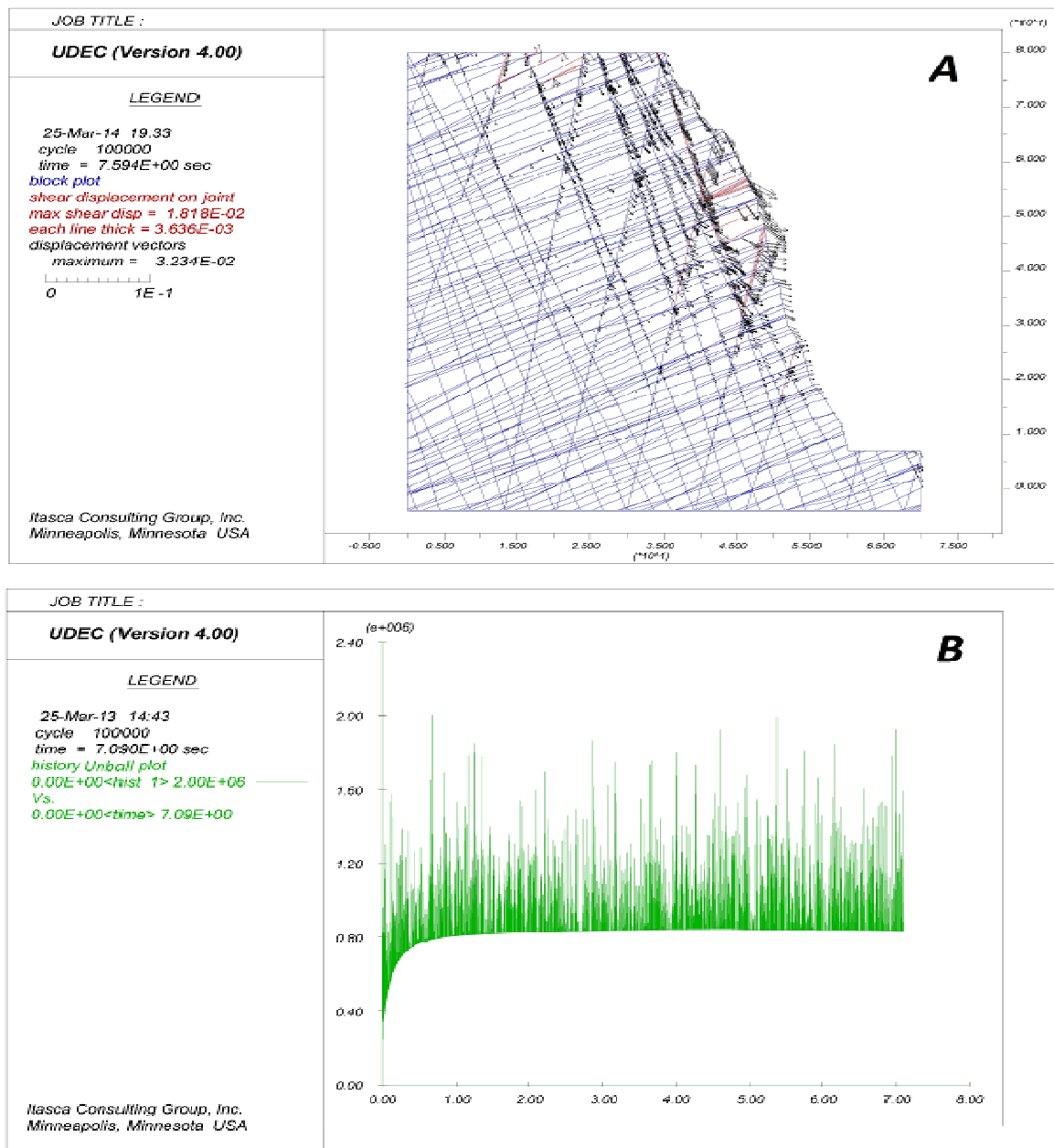
شکل ۷. (A) نمودارهای شتاب-زمان، (B) سرعت-زمان و (C) جابجایی-زمان زمین‌لرزه مقیاس شده با نرم‌افزار Seismosignal

به مدل اعمال می‌شود، البته این مسأله در تحلیل‌های دینامیکی رایج است و معمولاً ۳ ثانیه‌ای که شامل بیشترین شتاب‌ها

به دلیل این که اعمال کل زمان زمین‌لرزه به مدل بسیار زمان‌بر است، مدت زمانی که بیشترین شتاب زمانی را در بر می‌گیرد

برای پایداری دامنه ارائه شده است. برپایه نتایج بدست آمده از تحلیل دینامیکی دامنه، نظر با داشتن ضریب اطمینان (FS) برابر ۰/۵۴ نسبت به FS محاسبه شده در حالت استاتیکی (۱/۲۶) کاهش یافته است. حداکثر جابجایی رخ داده تحت بار دینامیکی اعمالی با ویژگی‌های ارائه شده در جدول (۵) تحت مدت ۶ ثانیه، برابر  $\pm 6 \text{ cm/sec}$  محاسبه گردیده است.

هستند اعمال می‌شود. ولی همان طور که اشاره شد طول مدت این زمین‌لرزه نسبت به دیگر زمین‌لرزه‌ها بیشتر بوده است، به همین دلیل در این مدل ۶ ثانیه (از ثانیه ۵ تا ۱۱) از زمان زمین‌لرزه اعمال شده است. شایان ذکر است که در تحلیل دینامیکی دو بعدی با نرم‌افزار UDEC فقط شتاب نگاشت‌های محور X و Y در محاسبات وارد می‌گردد. در شکل (۸) مدل دینامیکی تهیه شده و منحنی نیروهای نامتعادل



شکل ۸. (A) نتایج تحلیل دینامیکی و (B) منحنی نیروهای نامتعادل برای پایداری دامنه با نرم افزار UDEC

۵.

نتیجه‌گیری

حالت دینامیکی ۰/۵۴ بدست آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، در اثر زمین‌لرزه مبنای طرح (با شتاب ۰/۴۲g) ناپایداری دامنه مذکور حتمی است. ضروری است تمهیداتی برای بهبود وضعیت دامنه و پایداری آن اتخاذ شود. میخ کوبی یا انکراژ همراه با بتن پاشی از تمهیداتی است که می‌توان توصیه کرد.

سپاسگزاری

از مساعدت مدیریت محترم پالایشگاه چهارم و فازهای ۶، ۷ و ۸ شرکت مجتمع گاز پارس جنوبی در انجام مطالعات قدردانی می‌شود. همچنین از آقای دکتر علیرضا یاراحمدی بافقی به خاطر راهنمایی‌های ارزنده تشکر می‌شود.

دامنه پرسیب ایجاد شده برای استقرار فلر گاز فاز ۷ مجتمع گاز پارس جنوبی، بر روی یکی از دامنه‌های تاق‌دیس عسلویه در منطقه پارس جنوبی قرار گرفته است. این دامنه از سنگ‌های مارنی و ماسه‌سنگی درزه‌دار سازند آغاجاری تشکیل یافته است. عدد RMR توده سنگ ۴۳ برآورد شده است. بر پایه مطالعات میدانی و آزمایشگاهی، دامنه مذکور مدل سازی شده و پایداری دامنه در دو حالت استاتیکی و دینامیکی با نرم‌افزارهای UDEC و MATHEMATICA تحلیل شده است. در تحلیل دینامیکی از نگاهت زمین‌لرزه ۱۳۹۱ منطقه عسلویه استفاده شده است. مقادیر ضرایب اطمینان محاسبه شده برای حالت استاتیکی برابر ۱/۲۶ و برای

## منابع

- آذرافزا م.، ۱۳۹۲. بررسی مخاطرات ژئوتکنیکی ساختمان‌های فلرهای گاز فازهای ۶، ۷ و ۸ مجتمع گاز پارس جنوبی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، ایران، ۳۸۲ ص.
- آذرافزا م.، یاراحمدی ع.، اصغری کلجاهی ا.، بهمن‌نیاغ.، و مشرفی‌فر م.، ۱۳۹۲-الف. تحلیل پایداری دامنه‌های سنگی درزه‌دار به روش بلوک‌های کلیدی (مطالعه موردی: محدوده فلرهای گاز فازهای ۶ تا ۸ مجتمع گاز پارس جنوبی). نشریه زمین‌شناسی ژئوتکنیک، سال ۹ (۳): ص ۱۶۹-۱۸۵.
- آذرافزا م.، اصغری کلجاهی ا.، و مشرفی‌فر م.، ۱۳۹۲-ب. تعیین پارامترهای ژئومکانیکی توده‌سنگ‌های ساختمان‌های فلرهای گاز فازهای ۶، ۷ و ۸ مجتمع گاز پارس جنوبی. سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، ساری، ایران.
- آذرافزا م.، نیکوبخت ش.، اصغری کلجاهی ا.، و مشرفی‌فر م.، ۱۳۹۲-ج. تحلیل پایداری دامنه‌های سنگی درزه‌دار به روش تئوری بلوکی (مطالعه موردی: محدوده فلر فاز ۷ مجتمع گاز پارس جنوبی). سی و دومین گردهمایی علوم زمین و اولین کنگره بین‌المللی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ساری.
- پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۸۰. مطالعات پهنه‌بندی خطرات لرزه‌ای و ژئوتکنیک لرزه‌ای منطقه عسلویه (محدوده ۹۱۰ هکتاری): جلد سوم: لرزه‌خیزی و پاسخ لرزه‌ای زمین، ارائه شده به شرکت توسعه صنایع پتروشیمی.
- حسینی م.، نقدی ر.، ۱۳۹۲. تحلیل پایداری سطوح شیب‌دار مشرف به نیروگاه سد خرسان ۳ تحت بارگذاری زلزله به کمک نرم افزار UDEC. مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، جلد ششم، شماره ۱، صفحات ۹۷-۱۱۰.
- Abramson, L.W., Lee, T.S., Sharma, S., Boyce, G.M., 2001. Slope Stability and Stabilization Methods. 2nd Edition, Wiley, Hoboken, NJ.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering. 1st Edition, Wiley-Interscience, 272 p.
- Bishop, A.W., 1952. The stability of earth dams. PhD Thesis, Imperial College London, UK.
- Bishop A. W., 1966. "The strength of soils as engineering materials. Géotechnique, 16(2): 91-128.
- Bhasin, R., Kaynia, A.M., 2004. Static and Dynamic simulation of a 700m high rock slope in western Norway. Engineering Geology, 71(3-4): 213-226.

- Eberhardt, E., 2003. Rock Slope Stability Analysis- Utilization of Advanced Numerical Techniques ,University of British Columbia, Vancouver.
- IIIES (International Institute of Earthquake Engineering and Seismology), 2013. Recent events Earthquake, <http://www.iiies.ac.ir/fa/recentevents>.
- Itasca., 2008a. UDEC - Universal distinct element code. Itasca Consulting Group, Inc., Minneapolis. UDEC Version 4.00, USA, 2008.
- Itasca., 2008b. UDEC - UDEC User's Manual. Itasca Consulting Group, Inc., Minneapolis. UDEC Version 4.00, USA.
- Kveldsvik, V., Kaynia, A.M., Nadim, F., Bhasin, R., Nilsen, B., Einstein, H.H., 2009. Dynamic distinct-element analysis of the 800 m high Aknes rock slope. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46(4): 686-698.
- Noroozi, M., Jalali, S.E., Yarahmadi-bafghi, A.R., 2011. 3D key-group method for slope stability analysis. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 36(16):1780-1792.
- Romana, M., Serón, J.B., Montalar, E., 2003. SMR geomechanics classification: application, experience and validation. In: Merwe, J. N. (Ed.), *Proceedings of the 10th Cong. of the Int. Soc. for Rock Mech., ISRM 2003-Tech. Roadmap for Rock Mech. South African Ins. of Min. and Metal.*, 1-4.
- SEISMOSOFT., 2004. SeismoSignal V3.1. Software.
- Thielen, A., Friedel, S., Plotze, M., Springman, S.M., 2005. Combined approach for site investigation in terms of the analysis of rainfall induced landslides. *Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechancis and Geotechnical Engineering, Osaka Japan*.
- Wolfram, S., 1999. *The Mathematica Book*. 4th Edition, Wolfram Media - Cambridge University Press, 1496 p.
- Yarahmadi-Bafghi, A.R., Verdel, T., 2003. The key-group method. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 27 (6): 495-511.
- Yarahmadi-Bafghi, A.R., Verdel, T., 2004. The probabilistic key-group metho. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 28 (9): 899-917.
- Yarahmadi-Bafghi, A.R., Verdel, T., 2005. Sarma-based key-group method for rock slope reliability analyses. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 29 (10):1019-1043.
- Zhang, Y., Chen, G., Wu, J., Zheng, L., Zhuang, X., 2012. Numerical Simulation of Seismic Slope Stability Analysis Based on Tension-Shear Failure Mechanism. *Journal of the SEAGS & AGSSEA*, 43 (2): 18-28.