فصلنامه زمین شناسی کاربردی سال۵ (۱۳۸۸)، شماره۳: ۲۵۱–۲۳۹ www.appliedgeology.ir



ناپایداری دامنههای رودغانهی رجدون تمت تأثیر بارگذاری لرزهای (شمال گناوه)

عباس کنگی^۱*، معفر رهنماراد^۳*، نادر سعادت غواه^۴، علی رومانی^۳

۱) گروه زمین شناسی، دانشکدهی علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شاهرود kangiabas@hotmail.com ۲) گروه زمین شناسی، دانشکدهی علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زاهدان jrahnama@appliedgeology.ir

مٍكيده:

دامنههای حاشیهی رودخانهی رجدون در شمال شهرستان گناوه از لحاظ لغزش، پتانسیل بالایی دارد. رویداد زمین لـرزههای نیرومنـد، ایـن پتانسـیل ناپایداری را به شدّت افزایش میدهد. نهشتههای پایین دست رودخانه که بیشتر از سیلتستون تشکیل شدهاند، توانایی تولید لغزشهای دایرهای و رسوبات بالا دست رودخانه که از مادستون ساخته شدهاند، پتانسیل لغزشهای صفحهای–ستونی دارند. در چنین شرایطی رویداد زمین لرزهای با شتاب افقی بـیش از g ۲۱/۴ در محدودهی رودخانهی رجدون، دامنههای با شیب بیش از ۲۰ درجه را ناپایدار می کند. چنین لغزشهایی سبب مسدود شدن مسیر جریان آب و در نتیجه تشکیل سدهای طبیعی در مسیر رودخانه می گردد. پی آمد این رویداد و شکسته شدن سدها، سبب تولید سیلابهای عظیم و در نتیجه تخریب بخشهایی از شهرستان گناوه را بههمراه خواهد داشت.

of(ههای کلیدی: زمین لغزش، شتاب افقی، زمین لرزه، سد های طبیعی، شکسته شدن سد.

۱– مقدّمه

منطقهی مورد مطالعه در محدودهی حوضهی آبریز رودخانهی در گپ در جنوب غرب کمربند چین -تراست زاگرس و شمال استان بوشهر قرار دارد (تصویر ۱). رودخانهی دره گپ از بههم پیوستن دو رودخانهی گپ و رجدون حاصل گردیده است. این رودخانه با طول خایج فارس جریان دارد و در شرق شهرستان گناوه وارد خور گناوه میشود. رودخانهی رجدون به عنوان یکی از سرشاخههای حوضه ی آبریز دره گپ در بخش جنوبی آن واقع گردیده است. با توجّه به وضعیّت اقلیمی و لیتولوژی سازندهای حوزه آبریز رودخانهی رجدون از و گپ، همه ساله جریانهای سیلابی مخربی همراه با حجم زیادی از بنابراین بارشهای تند و سیلابی در فصول بارانی همواره خطری جدی بنابراین شهر گناوه و خورهای اطراف میباشد. در چنین شرایطی

ناپایداری دامنه های رودخانه ی رجدون تحت تأثیر رویداد زمین لرزه، شرایط بسیار پیچیده ای را به وجود خواهد آورد. به گونه ای که این لغزش های دامنه ای، با ایجاد سدهای طبیعی در مسیر رودخانه و شکسته شدن آنها پس از آبگیری، پتانسیل تولید سیلاب های بسیار بزرگی را خواهد داشت. در این مقاله نخست پارامترهای لرزه ای مؤثّر بر دامنه های رودخانه ی رجدون محاسبه گردیده، سپس با توجه به خصوصیات فیزیکی و مکانیکی رسوبات حاشیه ی رودخانه، پتانسیل لغزش تحت بارگذاری لرزه ای مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲-جایگاه تکتونیکی زاگرس

رشته کوه زاگرس با سلسله چینهای تماشایی، یکی از کمربندهای چین-تراست بسیار زیبا در جهان است (Hessami et al. 2001). این کمربند کوهستانی مرز همگرا بین صفحههای عربستان و ایران مرکزی را در جنوب غرب ایران ساخته است. کمربند چین خوردهی سادهی زاگرس با ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر پهنا، در سنوزوئیک فوقانی شکل گرفته



تصویر ۱– موقعیّت منطقهی مورد مطالعه در استان بوشهر

و هنوز از نظر تکتونیکی فعّال است Berberian 1995, Farhoudi) & Poll 1993, Bosak et al. 1998, Farhoudi et al. 2008) تاقدیس های آهکی مقاوم در ساختمان های سطحی حکمفرما در کوه-های زاگرس، با امتداد شمال غرب- جنوب شرق، نقـش مهمّـی را در کنترل مورفولـوژی منطقـه دارنـد. در کـوههـای زاگـرس ۱۱ کیلـومتر رسوبات چین خوردہی بالایی بر روی ۳۵ کیلومتر پوستہی کریستالیزه ی ضخیم قرار گرفته است (Hatzfeld et al. 2003, کریستالیزه ک Safari et al. 2006) جفت نشدن این دو بخش امکان تغییر شکل مستقل هـر قسـمت را فـراهم نمـوده اسـت. پـیسـنگ کریسـتالیزه و رسوبات پوشاننده بهوسیلهی یک دکولمان شکلپذیر (نمکهای سازند هرمز) از یکدیگر جدا شدهاند , Mouthereau & Meyer 2006, هرمز) از یکدیگر (Kent 1979. آنالیزهای توپوگرافی و مطالعات سایزموتکتونیک دلالت بر آن دارند که گسل های تراستی کور موجود در پیسنگ، تغییر شکل-های مهمّی را در پوشش رسوبی ایجاد کردهاند. بدین ترتیب که فعّالیّت گسلهای تراستی کور،باعث تکامل چین،های نامتقارن در پوشش رسوبی شده است (Kangi & Heidari 2008). اغلب زمین لرزههای زاگرس توسّط فعّالیّت گسل های تراستی کور در پی سنگ کریستالیزه ایجاد میشود. جابجایی ایـن گسـلهـای تراسـتی اغلـب در نزدیکـی

پیشانی تاقدیس های نامتقارن و بدون رخنمون سطحی میباشد. در کمربند چین-تراست زاگرس ارتباطی بین لرزهخیزی و ساختمانهای سطحی مشاهده نمی شود (Berberian 1995).

۳_ چِينہ شناسی

منطقهی مورد مطالعه در بخشی از زاگرس چین خورده قرار دارد. هر چند رسوبات زاگرس چین خورده اغلب شامل تنوعی از آهک، دولومیت، مارن، ماسه سنگ، شیل و مادستون میباشد، اما در منطقهی مورد بررسی فاقد تنوع رسوبی است. محدودهی حوضه ی آبریز رودخانهی رجدون از سازندهای آغاجاری، بختیاری و رسوبات عهد حاضر تشکیل شده است، که بهدلیل پتانسیل بالا سازند بختیاری در ناپایدار نمودن دامنههای رودخانهی رجدون نقش عمدهای را ایفا می-نمایند (تصویر ۲).

۳_۱_ سازند بمْتَيارى

نام سازند بختیاری از کوههای بختیاری در شمال شرق خوزستان اقتباس شده است. مقطع تیپ این سازند با ۵۱۸ متر ضخامت در گدارلندر واقع در شمال مسجد سلیمان می باشد. سن این سازند به پلیوسن بالایی نسبت داده شده است. در استان خوزستان این سازند بهصورت دگرشیب بر روی رسوبات سری فارس قرار گرفته و شامل کنگلومراهای آهکی چرت دار سخت به همراه تناوبی از ماسه سنگ می باشد. قلوه سنگهای تشکیل دهنده یاین سازند گرد شده و با سیمانی از رس و آهک به یکدیگر متصل شدهاند. کنگلومرای بختیاری پس از کوهزایی آلپ پایانی (میوسن چلیوسن) و چین خوردگی و خروج از آب ارتفاعات زاگرس، به صورت رسوبات فورلند در اطراف این رشته کوه نهشته شده است (Alavi 2004).

سازند بختیاری به سمت استان بوشهر به تدریج ریز دانه شده به طوری که در منطقهی مورد مطالعه (شمال گناوه) به سیلتستون، مادستون، ماسه سنگ، لایه های گچ همراه با عدسی هایی از کنگلومرا با سیمان گچی تبدیل می شود (تصویر ۳). بنابراین لیتولوژی این سازند در استان بوشهر با ویژگی های تیپیک آن در خوزستان بسیار متفاوت است. در منطقهی مورد مطالعه، اطلاق سازند بختیاری به این رسوبات تنها از نظر همزمانی رسوب گذاری بوده و فاقد تشابه لیتولوژیک است. سازند بختیاری در محدودهی رودخانهی رجدون دارای شیبی در حلا ۸ تا ۱۰ درجه به طرف غرب می باشد. به دلیل زود فرسا بودن سیلتستون های سازند بختیاری، تحت تأثیر فرسایش آبر هه های بسیار عمیق با دیواره-های عمود در مجاور رودخانهی رجدون شکل گرفته است.



تصویر ۲ – مورفولوژی سازند بختیاری در حاشیه رودخانهی رجدون.





۲- گسلهای اصلی منطقهی مورد مطالعه

فعّالیّتهای لرزهای کمربند چین-تراست زاگرس با وضعیت لرزهای ایران مرکزی تفاوت آشکاری دارد. در پهنه ی زاگرس بخش قابل توجّهی از گسلها بهدلیل عدم وجود رخنمون سطحی (گسل کور) قابل شناسايي نيستند & King 1980, (Letouzey) ((Sherkati 2004. اغلب زمین شناسان بر این عقیدهاند که وجود لایه-های نمک سازند هرمز در مرز پیسنگ و پوشش رسوبی فانروزوئیک (تقریبا عمق ۱۰ کیلومتری)، ارتباط جنبشی پیسنگ را از پوشش رسوبي قطع كرده است. (Hessami et al. 2001, Hessami et al. ارسوبي قطع كرده است 2006, McQuillan 1991, Rahnama-Rad et al. 2009). بدين ترتیب زمین لرزههای بزرگ زاگرس به پیسنگ و زیر لایههای نمکی هرمز محدود شدهاند (Standridge 2005) . هرچند برخبی از زمین لرزههای زاگرس همانند زمین لرزه ۱۹۷۲ میشان با گسلش سطحی همراه بوده، اما در این زمین لرزه نیز ارتباط جابجاییهای سطحی و زلزله تا حدّ زیادی مبهم میباشد، به گونهای که نتایج حاصل از حلّ مکانیسم کانونی گسل در زمین لرزه ای میشان با جابجایی قابل مشاهده در سطح، سازگار نمیباشد.

از جمله مهمترین گسلهای موجود تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری منطقهی مورد مطالعه می توان به گسلهای کازرون، آغاجاری، بی بی حکیمه، بهبهان، میشان، ارژن، دو گنبادان، بشط و ده دشت اشاره نمود (تصویر۴). هرچند در طیّ برآورد پارامترهای لرزهای تأثیر کلیّهی گسلهای فوق مورد محاسبه قرار گرفته است، اما به دلیل تأثیر ویژهی گسلهای کازرون، بی بی حکیمه و میشان بر منطقهی مورد مطالعه، در این بخش تنها به تشریح آنها می پردازیم (Safari et al. 2009).

۲-۱- گسل کازرون

گسل کازرون با طول ۴۵۰ کیلومتر و راستای تقریبی شمالی جنوبی در فاصله ۱۵ کیلومتری غرب شهرستان کازرون قرار دارد & Sepehr) (Cosgrove 2005. این گسل پی سنگی و قدیمی، ضمن کنترل مرز باخترى حوضهٔ نمكي هرمز، بر رسوبات زاگرس نيز اثر گذار بوده به گونهای که ساختارهای زاگرس را با جهت راستگرد خمیده و جابهجا کرده است (Sepehr & Cosgrove 2004). برخی از نشانه های گسل کازرون دلالت بر جابجایی راست لغز این گسل در طول آن دارد. این زون گسلی با نفوذ دو گنبد نمکی همراهی شده است. درصورتی که صحّت رویدادهای لرزهای قبل از ۱۹۵۰ پذیرفته شود، تعیین رابطه بین موقعیت کانونی زمین لرزهها در طول این گسل دشوار نیست. موقعیّت کانون سطحی سه زمین لرزه (۲ سـپتامبر ۱۹۳۰، ۴ فوریـه ۱۹۳۴ و ۲۰ آگوست ۱۹۳۶) به درستی با راستای گسل کازرون منطبق می باشد. هیچ گونه اطِّلاعات مهلرزهای در رابطه با این زمین لرزهها وجود ندارد. بهعلاوه مدارک صحرایی مبنی بر فعّالیّت گسل درطیّ رویداد این زمین لرزهها قابل مشاهده نیست. در روستای شاه صالح واقع در نزدیکی گسل نیز آثار تغییرات توپوگرافی ناشمی از فعّالیّتهای اخیر گسل وجود ندارد. تنها در بخش جنوبی روستای شاه صالح، در مجاور رودخانهی شرقی غربی خط اثر گسل کازرون با یک متـر بـرش، بـه-صورت معکوس و شیب ۸۰ تا ۸۵ درجه بهطرف غرب مشاهده می-شود. این بخش از گسل در داخل سازند گچساران نفوذ کرده و توسّط نهشتههای آبرفتی کواترنر پوشیده شده است. بهطور کلّی نبود دادههای ریزلرزهای و کمبود کانون زلزله نشانگر عدم فعّالیّت جدید این گسل است، اما زمین لرزه های ۱۵ ژانویه ۱۹۶۷ و ۲۳ اکتبر ۱۹۷۱ در بخش جنوبی گسل کازرون، نشانگر فعّالیّت بخشی از گسل کازرون در دورهٔ کواترنری است (Berberian 1976). در این زمین لرزهها شوک اول به بزرگی ۴/۷ ریشتر به دو کاروانسرا خسارت وارد کرده و ریـزش کوه را به همراه داشته است. شوک دوم به بزرگی ۴/۵ ریشتر در منطقهی کمارج به چند خانه قدیمی خسارت وارد کرده و در کونار تخته با گسلش سطحی همراه شده است.

سامانهٔ ساختاری کازرون هم اکنون از فعّالترین روندهای لرزهخیز در زاگرس مىباشد. همچنين اين پهنه به احتمال قريب به يقين، مرزى بین دو ایالت لرزه زمینساختی در دو سوی شمال-غرب و جنوب شرق خود در زاگرس میباشد و عملاً زاگرس را به دو ناحیه با ویژگیهای لرزه خیزی متفاوت تقسیم مینماید. خطواره کازرون به-طور مایل تاقدیس های زاگرس را با روند شمالی _ جنوبی قطع میکند (Sepehr & Cosgrove 2004). این گستره، از لرزه خیزی بالا و زمینلرزههایی با بزرگای متوسّط و دورهی بازگشتهای کوتاه برخوردار است. از دیدگاه لرزه زمین ساختی محدودهی گسل کازرون، یک ناحیهی بحرانی از نظر خطر زمینلرزه است. به هر حال کوتاه بودن زمان دورهی بازگشت زمینلرزهها در زاگرس از ویژگیهای این ایالت لرزه زمینساختی بهشمار میرود و به همین ترتیب بزرگی زمینلرزهها نیز اکثراً کم میباشد. بنابراین پهنـه ی گسـل کـازرون بسـیارفعّال و پرتکاپو، و آزادشدن انرژی در این ناحیه بهصورت مداوم ، مرحلهای و در فواصل زمانی کوتاه است. منطقهی مورد مطالعه در فاصله ۱۰۰ کیلومتری غرب گسل کازرون واقع شده است.

۴–۴–گسل بیبی مکیمه

گسل معکوس بیبی حکیمه با طول ۱۰۰ کیلومتر و روند شمال غرب-جنوب شرق و شیب تند به طرف شمال شرق در بخش شمالی بندر دیلم قرار دارد (Wennberg et al. 2007). این گسل در قسمت شمالی خمیده شده و به امتداد شمالی جنوبی تغییر راستا داده است. فرادیواره ی این گسل در شمال بندر دیلم سازندهای میشان و آغاجاری در ابر روی دشت ساحلی خلیج فارس تراست کرده است. گسل بیبی مکیمه با خط اثر کاملاً مشخص بر روی عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای در مرز بین کوه و دشت قرار دارد. به علاوه بریده شدن سازندهای فوق در مجاور گسل امکان شناسایی آن را بر روی زمین ممکن ساخته است. هرچند این گسل به کواترنری نسبت داده شده، اما هیچگونه اطلاعات لرزه ای مرتبط با فعالیت های اخیر گسل در دسترس نیست. این گسل در شمال غرب رودخانه ی رجدون واقع شده و کوتاه ترین فاصله ی آن تا منطقه ی مورد مطالعه ۵۰ کیلومتر است.

۴_۳_گسل میشان

گسل میشان با راستای شمال غرب-جنوب شرق و طول ۵۰ کیلومتر در شمال شرق رودخانهی رجدون قرار دارد. این گسل با شیب به-طرف شمال شرق، سازند گچساران را بر روی سازند میشان رانده است (Bachmanov et al. 2004). فعّالیّت بخش غربی این گسل در

۲ ژولای ۱۹۷۲ زمین لرزهی میشان به بزرگی Mb=5.4 را سبب شده است. نزدیکترین فاصلهی گسل میشان تا منطقهی مورد مطالعه ۵۰ كيلومتر است.

۵- يتانسيلهاي لرزەميزي

۵-۱- برآورد یارامترهای لرزهای به روش MLE, Maximum) Likelihood Estimation)

به منظور پی بردن به سرشت لرزهخیزی هر ایالت لرزهای، بایستی پارامترهای لرزهخیزی آن ایالت را برآورد نمود. این پارامترها عبارتنـد از λ , M_{max} از λ و λ , λ و λ , λ عبارت است از آهنگ رویداد سالانه یا نرخ پویایی (Kijko & Sellevoli 1989) ، پارامتر M_{max} حداکثر بزرگی زمینلرزه که یک گسل توان تولیـد آن را دارد (Ward 1997) و پارامتر β بر اساس معادله ی گوتنبرگ بیان می-شود. بر اساس معادلهی ۱، Nc مقدار تجمعی زلزلمهای رخ داده با بزرگی M یا بیشتر از آن میباشد. مقادیر a و b پارامترهایی هستند که برای هر منطقه فرق میکنند (1)

LogNc = a-bM

در منطقهی مورد مطالعه ارزیابی پارامترهای اصلی زمین لرزه شامل حدّاکثر بزرگی منطقهای M_{max}، نرخ فعّالیّت X و پارامتر β گوتنبرگی-ریشتر بر اساس روش (Kijko & Sellevoll 1992) محاسبه شده است. این روش تکنیـکهـایی بـرای شناسـایی گـپهـای لـرزهای و دستکاری بزرگی زمین لرزههای مشکوک را در اختیار قرار میدهد. به-طور کلّی داده های مهلرزهای قدیمی با خطای بسیار زیاد، به صورت ركوردهاى تاريخي ثبت مىشوند. در اغلب موارد توصيف ميزان خسارات ناشی از زمین لرزههای تاریخی به صورت نادرست و همراه با سوء تفاهمهای شخصی همراه میباشد (Ambraseys et al. 1983). علاوه بر ایـن تبـدیل اطِّلاعـات مهلـرزهای بـه دادههـای دسـتگاهی و تغییرات مشخصات سنسورهای لرزهای در ایستگاه های مختلف نیز خطاهای سیستماتیک به محاسبات وارد میکند & Chung) (Bernreuter 1981). به علاوه داده های دستگاهی به دو دسته تقسیم می شوند. نخست دادههای دستگاهی ناکامل شامل زمین لرزههایی که قبل از راه اندازی شبکه بین المللی لرزه شناسی (WWNSS, World) Wide Network of Standard Seismograph Stations) شده و دوم دادههای دستگاهی کامل که بهصورت یک پریود کوتاه مدت ۵۰ ساله پس از بهکارگیری شبکه بین المللی لرزه شناسی ثبت شده است. بنابراین کاتالوگ لرزهای منطقهی مورد مطالعه با داده ای مهلرزهای ناقص و دستگاهی کامل، اطِّلاعاتی ناهمگن می باشند که مورد پردازش فنّی قرار گرفته است.

در ین مقاله برای محاسبهی خطر سالیانهی زمین لرزه و همچنین احتمالات رويداد از مـدل تصـادفي (stochastic model) بـا توزيـع يواسون (poisson process) استفاده شده است (منظور مستقل بودن هر رویداد است). بدین منظور از روش های پیشنهادی ,Kijko 2004) (Kijko & Sellevoll 1992 که از جمله کامل ترین روش ها برای برآورد پارامترهای لرزهای میباشد بهره گیری شده است. بنابراین به منظور تعیین بزرگی رویدادهای لرزمای در شعاع ۱۰۰ کیلومتری منطقهی مورد مطالعه از مدل سافت باوندز (Soft Bounds Model) استفاده می گردد. در این مدل بر اساس نظریهی (Tinti & Mulargia) (1985، و به کمک بزرگی قابل مشاهده، خطای تصادفی و توزیع (Gaussian) با انحراف استاندارد داده های مورد نیاز باسازی می گردد. بهطور کلّی انتخاب مدل وابسته به اطِّلاعـات مـا از روش جمـع آوری دادهها و تدارک کاتالوگ لرزهای است. در این میان نظرات شخصی نیز تا حدودی بر نتایج حاصله تـ أثیر دارد. در نهایـت کلیّـهی پارامترهـای لرزهای منطقهی مـورد مطالعـه (شـامل β ، Μ_{max} ، λ و مقـدار ت value) بهعلاوه دورهی بازگشت زمین لرزهها با دورههای زمانی مختلف بر اساس مدل كيجكو و سلهول (Kijko & Sellevoll 1992) به کمک نرم افزار ای-ای-چ-پی (EEHP, Estimation of Earthquake Hazard Parameters) محاسبه شده است. بر اساس این محاسبات در منطقهی مورد مطالعه پارامترهای مورد نظر به شـرح زیر (رابطههای۲ و ۳) و دوره بازگشت رویداد زمین لرزهها با بزرگی ۵، ۵/۵، ۶، ۶/۵ به ترتيب برابر ۲، ۱۹، ۹۶ و ۵۴۵ سال می باشد.

Beta = 3.12 ± 0.09 (b = 1.33 ± 0.04) (٢) Lambda = 614.92 (for min = 2.50) (٣)

۵-۷- بــرآورد بیشینه شتاب گرانش افقی زمین

یکی از مهمترین خطرهای ناشی از زمین لرزه ایجاد حرکت های شدید ناشی از گذر امواج الاستیک است که نه تنها می تواند بهطور مستقیم سبب تخریب و نایایداری سازه شود، بلکه عامل محرک برای ایجاد اثرات جنبی مانند کوه لغـزش، فرونشسـت و روانگرایـی خـاک است. شدّت اثر تخریبی تکانهای زمین لرزه بستگی به ویژگیهای سرچشمه آن از جمله بزرگی، چگونگی عملکرد نیروهای به وجود-آورنده گسل و همچنین فاصله کانونی و همگرایی میرایی زمین (attenuation) دارد. افزون بر این دادههای تجربی موجود نشان می-دهد که رسوبات روی زمین و نوع پیسـنگ اثـر قابـل ملاحظـهای در افزایش و یا کاهش میزان تخریب دارند. برای طراحی سازههای ویژه و پراهميّت، استفاده از تحليل رفتار پويا (dynamic response) و شبه

ایستایی (pseudo static) مورد استفاده قرار میگیرد. در سالیان اخیـر همگام با پیشرفتهای دانش و فنّی مهندسی زلزله، تکنیکهای جدیـد برای محاسبهی پارامترهای لرزهای توسّط مؤسّسات تحقیقاتی و دولتی جهان پیشنهاد شده است.

بهطور کلّی مبانی تئوری محاسبه احتمال رویداد زمین لرزه، بر ایـن فرض استوار است که از یک سرچشـمهی لـرزهای، زمین لـرزهای بـا بزرگی M در فاصله R جایگاه سازه مورد نظر را تحت تأثیر قرار داده و این رویداد از دیدگاه آماری برابر با الگوی متغیّر مستقل (random) (variable) محسوب می شود.

در منطقهی مورد مطالعه پهنهای به شعاع ۱۰۰ کیلومتر مورد بررسی قرار گرفته است. در این گستره، کلیّهی سرچشمههای لرزهای موجود اعم از پهنهای (area source) که با تجمع کانون زمین لرزهها مشخّص میگردد و یا سرچشمههای خطی (line source) در پیوند با گسله-

های جنبا شناسایی شده و توسّط نرم افزار سایزریسک تری (SeisRiskIII) مورد آنالیز قرار گرفتهاند (تصویر ۴). میزان شتاب گرانش افقی زمین معمولاً در دو حد با احتمال خطر ۶۴٪ و ۱۰٪ (DBL, Design میشود که حد اول سطح مبنای طراحی (MDL, (MDL, حد توم سطح حد تاکثر طراحی (MDL, (MDL, نودا در میشود. بر پایه پیشنهادهای مهندسی تجربی، می توان سازه های معمولی را بر پایه ی احتمال رویداد زیادتر یعنی بیش از ۵۰٪ خطر طراحی نمود و سپس با قبول امکان خسارت محدود، وضعیت پایداری عمومی سازه ها را در صورت رویداد بیشینه زمین لرزه ممکن Maximum Credible (MCL, Maximum Credible

در این مقاله به منظور محاسبه شتاب گرانش افقی با عمر مفیدهای



تصویر ٤- موقعیّت سرچشمههای خطی و ناحیهای در گسترهای به شعاع ۱۰۰ کیلومتری منطقهی مورد مطالعه

744

متف اوت، از رابط می میرایی (Campbell & Bozorgnia 2003) استفاده شده است. لازم به ذکر است که رابط می میرایی کمپیل بر اساس شتاب نگاشتهای ثبت شده در شمال آمریکا و بعضی قسمت-های جهان (از جمله زمین لرزهی طبس و منجیل در ایران) ارائه شده محدودهی مورد مطالعه، با فرض عمر مفید ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به-صورت جدول ۱ ارائه شده است. همان گونه که در این جدول مشاهده میشود، در طول عمر مفید ۵۰ ساله با احتمال رویداد ۶۴٪ (زمین لرزه مبنای طرح، LBD) شتاب گرانش افقی برابر g ۲۱/۰ خواهد بود. در حداکتر طراحی MDL)، شتاب گرانش افقی برابر g ۲۰/۰ است.

جدول ۱– بیشینهی شتاب گرانش افقی زمین در محدودهی پر خطر رودخانهی رجدون به روش محاسبهی احتمالات (بر حسب درصد g).

(MDL) بیشینه زمین لرزه ممکن با ۱۰٪			زمین لرزه مبنای طرح (DBL) با ۲۶٪			
	احتمال رويداد		احتمال رويداد			
۱۰۰ سال	۵۰ سال	۲۰ سال	۱۰۰ سال	۵۰ سال	۲۵ سال	
٠/٢٢	•/٢•	•/1V	•/1۶	•/14	•/1٣	

+– پتانسیلهای ناپایداری +–۱–لغزش با سطم برش دایرهای ساده

آنالیز پایداری عددی برای نخستین بار در ۱۹۱۶ میلادی مط____رح، سپس جهت پایداری دیوارهای سواحل گوتنبرگ سوئد مورد استفاده قرار گرفت و در طیّ چند دههی اخیر توسّط دانشمندان (Spencer 1967, Morgenstern & Price 1965, Janbu متعدید بهعلاوه متعدید 1936, Janbu اصلاح گردید. بهعلاوه (Limiting دههی گذشته بر اساس تحلیل تعادل حدی (Methods of slices) در چهار دههی گذشته بر اساس تحلیل تعادل حدی (Methods of slices) راههای مؤثّر در جهت آنالیز پایداری دامنهها برداشته شده است. در این تحقیقات معمولاً از روش جستجوی شبکهای (Grid search) و این نظمات این تحقیقات معمولاً از روش جستجوی شبکهای (Initiag شکست استفاده میشود. ظهور کامپیوتر در ۱۹۶۰ امکان انجام آنالیزهای پیچیدهی ریاضی و تکرار توابع ریاضی دشوار را فراهم نمود. بنابراین نرمافزارهای متعادی جهت آنالیز پایداری دامنهها تهیه شده، که در این مطالعات از نرم افزار اسلاید (Slide) ،(Krahn 2003) ، استفاده شده

+-۱-۱- (وش تمليل

در روش های آنالیز پایداری دامنه ها، یافتن سطح بحرانی شکست با پیشرفت محاسبات و عملیات جستجو انتخاب می گردد (تصویر ۵).

> زمین شناسی کاربردی- سال۵ت شماره۳ www.SID.ir

بهعلاوه روش های ترکیبی جستجوی تصادفی بر اساس روش های مبتنی بر الگوی مونت کارلو (Robert & Casella 2004, 2009) ساختار سادهای از جستجوی تصادفی و فنون بهینه سازی دارند. در این روش تعداد زیادی از سطوح احتمالی برای یافتن ضریب اطمینان کمینه تولید می شود. روش استاتیکی آنالیز پایداری بر اساس رابطهی نیروهای برشی و نرمال در هر یک از قطعات تحت لغزش مورد استفاده قرار می گیرد (تصویر ۶). تأثیر این نیروها بر قاعده یقطعه ی برش خورده و پهلوهای آن مهم ترین پارامتر در پایداری و یا عدم پایداری توده می باشد. در روش های اولیّه آنالیز پایداری به منظور ساده نیروهای درونی نادیده گرفته شده است. اما روش & Morgenstern بروهای درونی نادیده گرفت کلیّه ی پارامترهای اساسی از جمله زیروهای درونی نادیده گرفت کلیّه ی پارامترهای تعیین کننده امکان آنالیز پایداری را با کمترین خطای ممکن میسّر ساخته است.



تصویر ٦- رابطهی نیروهای برشی و نرمال بر یک قطعه لغزشی (Krahn 2003).

محاسبات مورد نظر بر اساس روش تعادل حلی و ضرایب ایمنی خروجی حاصل از روش تعادل گشتاوری انجام می شود. بدین ترتیب دادههای مربوط به ساختارها و گمانهها در موارد ممکن مطابق با گمانههای ژئوتکنیکی (به عنوان دقیق ترین اطّلاعات ژئوتکنیکی موجود)، مقاطع عرضی منتخب به عنوان معرف هر یک از حوزهها تهیه می گردد. چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی نیز برای واحدهای مختلف از مقادیر میانگین، ویژگی مواد تعیین شده می باشد. آنالیز پایداری دامنههای رودخانهی رجدون بر اساس روش مورگنستر-پرایس (تابع نیمه سینوسی half-sine function) انجام شده است.

مورگنسترن-پرایس در سال ۱۹۶۵ روش آنالیز پایداری دامنههای ارائه شده توسّط اسپنسر را اصلاح نمود. در این روش از توابع ثابت، نیمه سینوسی، ذوزنقهای و دادههای نقطهای معین استفاده شده است. در روش مورگنستر-پرایس فاکتور ایمنی با لنگر پایداری و معادلهی ایمنی با تعادل نیروهای افقی در ارتباط است. در هر دو معادله نیروی نرمال در قاعدهی لغزش بهوسیلهی مجموع نیروهای عمودی محاسبه میشود. این روش بر اساس دو فاکتور اساسی معادلهی ایمنی و محدوده نیروهای برشی/ نرمال داخل قطعات لغزشی پایهگذاری شده است. بهعلاوه در این آنالیز سطح لغزش دایرهای ساده مرتبط با (FS) روی به با فرض تعادل لنگرهای مستقل در داخل قطعه برشی فرض شده است. بر این اساس تودهی لغزشی همانند یک جسم آزاد در طی نفزش، چرخش مینماید.

+۱-۷- پتانسیل لغزشهای دایرهای در ماشیهی رودفانهی رمدون

به منظور مشخص شدن خصوصیّات فیزیکی و مکانیکی سیلتستونها و مادستونهای سازند بختیاری در حاشیهی رودخانه ی رجدون، دو نمونه مغزهی حفّاری تحت آزمایش سه محوری قرار گرفت. نتایج آزمایشگاهی دلالت بر آن دارد که به طور متوسّط زاویه ی اصطکاک داخلی نمونه ها ۱۶ درجه، چسبندگی ۲۳ کیلونیوتن بر متر مربع و دانسیته ۱۵ کیلونیوتن بر متر مکعب میباشد (تصویر ۷). به-علاوه بر اساس طبقه بندی اصلاح شده بنیوسکی RMR, Rock (RMR, Rock مادستونها و سیلتستونهای حاشیه ی رودخانه ی رجدون با کسب ۱۶ امتیاز جزء سنگهای بسیار ضعیف و در کلاس ۵ طبقه بندی، قرار می گیرد. بر این اساس ضریب چسبندگی (2) این رسوبات کمتر از ۱۰ و مقدار زاویه اصطکاک داخلی φ برای کل توده سنگ کمتر از ۱۵ درجه خواهد بود.



تصویر ۷ – نمودار دوایر موهر و پوش گسیختگی آزمایش سه محوری در حالت خشک (نمونهی شماره ۱).

نتایج آنالیزهای انجام شده توسّط نرمافزار اسلاید، بیانگر آن است که دامنههای حاشیهی رودخانهی رجدون با شیب ۲۰ درجه در حالت

خشک و بارگذاری لرزهای پایدار می باشند. هرچند دامنه های مورد نظر تا شیب ۴۰ درجه بدون بارگذاری لرزهای پایدار هستند، اما رویداد زمین لرزهای با شتاب افقی g ۱۴/۰ در منطقهی مورد مطالعه، توانایی ناپایدار نمودن دامنه ها با شیب بیش از ۲۰ درجه را دارد (جدول ۲ تصویر ۸ و ۹). بنابراین رویداد زمین لرزه های نیرومند در منطقهی مورد مطالعه سبب لغزش های دامنه ای در حاشیهی رودخانه ی رجدون و مسدود شدن مسیر رودخانه می گردد. در چنین شرایطی سدهای طبیعی در مسیر رودخانه ایجاد شده و شکسته شدن پی در پی این سدها سیلاب های بزرگی را ایجاد میکند که شهر بندری گناوه را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

جدول ۲ – مقایسهی ضریب ایمنی دامنههای رودخانهی رجدون با تغییر پارامترهای مؤثّر.

٥٠	۴.	۳۵	۳.	۲۵	۲.	رجه)	شيب دامنه (د
1/•9	۱/۴۱	١/۴٧	1/07	۱/۷۵	۲/۴۱	بدون بارگذاری لرزهای	ضريب ايمني
•/9۵	•/\\	•/9٣	۱/۰۰	١/١١	1/47	شتاب افقی e = ۰/۲۰	
•/A•	۱/•۲	1/•4	۱/•۸	1/14	۱/۵۰	شتاب افقی g = ۰/۱۴	

۷–۷– لغزشهای ستونی

تکامل شکستگیهای فصل مشترک به همراه خصوصیّات مکانیکی سنگها، شرایط لازم جهت زمین لغزش های بزرگ مقیاس را در حاشیهی رودخانهی رجدون فراهم نموده است. در چنین شرایطی مادستون های ضخیم لایه بخش بالایی سازند بختیاری، بیشترین پتانسیل لغزش را دارند. هرچند این رسوبات در حاشیهی رودخانه به-صورت دیواره های کاملاً عمود ظاهر شدهاند، اما پس از تماس با آب (زمان سیلاب) مقاومت آن ها به شدت کاهش یافته و به صورت ستون-های عظیم به داخل رودخانه سقوط میکنند. مهمترین عامل کنترل کننده ی این ناپایداری ها طرح شکستگی های فصل مشترک، حصوصیّات مکانیکی سنگها و ضخامت رسوبات مورد نظر می باشد. در حاشیهی رودخانهی رجدون به دلیل ضخامت زیاد لایه های مادستون، طرح شکستگی های فصل مشترک ساختمان های ستونی شکل را ایجاد کرده است (تصویر ۱۰).

۷–۴–۱–شکستگی های فصل مشترک

ناپیوستگیهای موجود در منطقهی مورد مطالعه تنها در حاشیهی رودخانهی رجدون قابل اندازهگیری است. این ناپیوستگیها در ۱۲ ایستگاه در طول رودخانهی رجدون اندازهگیری شده و مورد آنالیزهای آماری قرار گرفتهاند. مجموع مطالعات انجام شده حکایت از آن دارد که درزههای فصل مشترک مهمترین سیستم درزههای موجود در منطقه میباشد.

749



تصویر ۹–مقایسهی ضریب ایمنی دامنههای با شیب ٤٠ درجه در شرایط طبیعی و تحت بارگذاری لرزهای با شتاب افقی ۰٬۱۴ g.



تصویر ۱۱–لغزشهای ستونی تحت تأثیر شکستگیهای فصل مشترک در حاشیهی رودخانهی رجدون.

ب. مطور کلّی سه نوع شکستگی فصل مشتر ک fracture (fracture) (notesection) در مرز لایه های چینه ای شکل می گیرد. نتایج مدل سازی های آزمایشگاهی ارتباط لایه بندی با این سه تیپ مختلف fracture-bed را نشان می دهد. غالباً در لایه هایی که کنتاکت (مرز) آن ها شدیداً جوش خورده، خوب سیمانی شده و یا مرز تدریجی دارند این سیستم شکستگی تکامل پیدا می کند (Kangi 2007). در بعضی شرایط، سطوح لایه بندی جداشونده ای وجود دارد، که با چسبندگی بسیار کم در مجاور یکدیگر قرار گرفته اند. بنابراین فصل مشترک دو لایه در برابر برش و بازشدگی بسیار سست و کم مقاومت است. مهمترین عوامل کنترل کننده ی شکستگی های فصل مشترک لایه،



تصویر ۱۲– رزدیاگرام شکستگیهای فصل مشترک در رسوبات حاشیهی رودخانهی رجدون.

در حاشیههای رودخانهی رجدون سیستم شکستگیهای فصل مشترک از نوع (fracture step-over) به صورت شبکه ای متقاطع، در مادستون ها و سیلتستون های سازند بختیاری تکامل یافته اند (تصویر ۱۱). دو دسته شکستگی اصلی از نوع فصل مشترک با مختصات زیر در منطقه شناسایی شده که به صورت روز دیاگرام در تصویر ۱۲ نمایش داده شده اند.

۱ اولین دسته شکستگی با مختصات N50W/90 تا N80W/90
N80W/90
۲ دومین دسته شکستگی با مختصات N50E/90 تا

N70E/90

۷-۲-۴- آنالیز پایداری ستونهای سنگی

در حاشیهی رودخانهی رجدون، مجموعهای از شکستگیهای فصل مشترک با شیب قائم و بهصورت متقاطع در مادستونهای بخش فوقانی سازند بختیاری تکامل یافته است. حضور این سیستم شکستگی ساختمانهای ستونی شکلی را ایجاد نموده، که در صورت فرسایش بخشهای مجاور هر ستون، امکان سقوط آن فراهم می گردد. این ستونهای مادستون در بخش تحتانی بر روی سیلتستونهای ژیپس دار قرار گرفتهاند. در شرایط خشک این ستونهای پایدار، مورفولوژی پرتگاهی و کاملاً عمود را در حاشیهی رودخانه ایجاد نموده است. اما در تماس با آب سیلتستونهای قاعده هر ستون مقاومت خود را از دست داده و توان تحمل وزن ستون منشوری شکل را ندارند. بنابراین خصور آب ریزش ستونهای سنگی در حاشیهی رودخانه را سبب می-شود. ارتفاع این ستونهای ۲۰ متر و قطر آنها بسته به فاصلهی درزهها بین ۳ تا ۱۰ متر متغیّر است.

جدول شماره ۳– نتایج آنالیز لغزشهای ستونی در حاشیهی رودخانهی رجدون به کمک نرمافزار راک پک تری (RockPackIII)

شيب دامنه (درجه)	ارتفاعستون سنگی (متر)	ضریب ایمنی در شرایط خشک	ضریب ایمنی در شرایط اشباع	ضریب ایمنی در شرایط اشباع و رویداد زمین لرزه ای با شتاب افقی ۰/۲۰g
٩٠	۲.	۲/۰۲	١/٢٥	•/ V 1
٨.	۲.	۲/۲ ٤	1/01	۰/۸۳
٧.	۲.	۲/٤١	1/47	۰/۹۳
۶.	۲.	۲/۵۷	1/90	١/٠٢
۵۰	۲.	۲/۷٥	1/19	1/17
۴.	۲.	۲/۹۷	۲/٤٧	١/٢ ٤
۳.	۲.	۲/۳۲	1/91	1/28

با در نظر گرفتن شرایط موجود و نتایج حاصل از آزمایشات مکانیکی بر روی مغزههای حفّاری به کمک نرمافزار راک پک تری (RockPackIII) پایداری دامنههای حاشیهی رودخانه مورد آنالیز قرارگرفتهاند. آنالیزهای انجام شده دلالت برآن دارد که، این رسوبات در شرایط خشک، بدون بارگذاری لرزهای با شیب ۹۰ درجه، دارای ضریب ایمنی ۲۰۰۲ و در نتیجه پایدار خواهند بود. درصورتیکه رسوبات مورد نظر اشباع گردد، ضریب ایمنی به ۱/۲۵ کاهش یافته و در نتیجه ناپایدار خواهد شد. درصورت رویداد زمین لرزهای با شتاب افقی ۲۰۲۶ ضریب ایمنی تا ۲/۰ کاهش خواهد یافت. بنابراین نتایج horizontal and vertical components of peak ground acceleration and acceleration response spectra", *Bull. Seism. Soc. Am. Vol.* 93: 314–331.

Chung, D. H. & Bernreuter, D. L., 1981, "Regional relationships among earthquake magnitude scales", *Rev. Geophys. Space Phys. Vol. 19: 649-663.*

Farhoudi, G., 1978, "A Comparison of Zagros Geology to Island Arcs", *Journal of Geology, Vol. 86: 325-334.*

Farhoudi, G, Faghih, A., Mosleh, H., Keshavarz, T., Heyhat, M. R. & Rahnama-Rad, J., 2008, "Using GIS/RS techniques to interpret different aspects of salt domes in southern Iran", *Geophysical Research Abstracts*, *Vol. 10: EGU-A-06522*.

Farhoudi, G. & Poll, K., 1992, "A morphotectonic study of environmental impact on ground water in Southern Iran and under the Persian Gulf", *Geologische Rundschau*, *Vol.82* (4):581-587.

Fellenius, W., 1936, "Calculation of the Stability of Earth Dams", *Proceedings of the Second Congress of Large Dams*, Vol. 4: 445-462.

Hatzfeld, D., Tatar, M., Priestley, K. & Ghafory-Ashtyany, M., 2003, "Seismological constraints on the crustal structure beneath the Zagros mountain belt (Iran)", *Geophys. J. Int., Vol.155: 403-410.*

Hessami, Kh., Koyi, H. A. & Talbot, C. J., 2001, The significance of strike slip faulting in the basement of the Zagros fold-thrust belt. J. Petroleum Geol., Vol.24: 5-28.

Hessami, Kh., Koyi, H. A., Talbot, Ch. J., Tabasi, H. & Shabanian, E., 2001, "Progressive unconformities within an evolving foreland fold_thrust belt, Zagros Mountains", *Journal of the Geological Society of London, Vol. 158* (6): 969-981.

Hessami, Kh., Nilforoushan, F. & Talbot, C.T., 2006, Active deformation within the Zagros mountains deduced from GPS measurements J. Geol. Soc. London, Vol. 163: 143-148.

Janbu, N., 1954, Applications of composite slip surfaces for stability analysis", In Proceedings of the European Conference on the Stability of Earth Slopes, Stockholm, Vol. 3: 39-43.

Kangi, A., 2007, "Evolution of Joints in Sediments of Shemshak Group (Tezereh Coalmine)", *Journal of Applied Geology, Vol. 3 (2): 144-150.*

Kangi, A. & Heidari, N., 2008, "Reservoir-induced Seismicity in Karun III Dam (Southwestern Iran)", *Journal of Seismology, Vol. 12 (4): 350-361.*

Kent, P. E., 1979, "The emergent Hormuz salt plugs of Southern Iran", *Jour. Petroleum Geology, Vol.2 (2): 117-144.*

Kijko, A., & Sellevoll, M. A., 1989, "Estimation of Earthquake Hazard Parameters from Incomplete Data Files, Part I, Utilization of Extreme and Complete Catalogues with Different Threshold Magnitudes", *Bull. Seismol. Soc. Am. Vol.* 79: 645–654.

Kijko, A. & Sellevoll, M. A., 1992, "Estimation of

آنالیزهای مورد نظر با شرایط موجود رودخانهی رجدون کاملاً سازگار است.

۷– نتيجه گيری

مادستونها و سیلتستونهای سازند بختیاری در حاشیهی رودخانهی رجدون به دلیل خصوصیّات ژئوتکنیکی خاص، دارای پتانسیل ناپایداری می باشند. رویداد زمین لرزههای نیرومند با شتاب افقی بیش از g ۲۰/۰ در محدودهی رودخانهی رجدون، لغزشهای دامنهای حاشیهی این رودخانه را بهشدّت افزایش میدهد. بهدلیل مورفولوژی خاص رودخانه، رویداد چنین لغزشهایی سبب تشکیل سدهای طبیعی معدد در مسیر رودخانه میگردد. تشکیل چنین سدهای طبیعی در طول مسیر رودخانه علاوه بر شکسته شدن آنها، در برخی از محلها باعث تغییر مسیر رودخانه خواهد شد. در هر دوصورت پی آمد این رویداد، با وقوع سیلابهای بزرگ خسارات بسیاری زیادی به شهرستان گناوه در جنوب رودخانهی رجدون وارد میکند. بنابراین شهرستان گناوه در جنوب رودخانه ی رودخانه و احداث سازههای

مراجع

Alavi, M., 2004, "Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland Evolution", *American Journal of Science*, Vol. 304: 1-20.

Ambraseys, N., Banda, E., Irving, J., Mallard, S., Melville, C., Morse, T., Muir Wood, R., Mundoz, D., Serva, L., Shilston, D. & Vogt, J., 1983, Notes on historical seismicity", Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 73: 1917-1920.

Bachmanov, D. M., Trifonov, V. G., Hessami, Kh. T., Kozhurin, A. I., Ivanova, T. P., Rogozhin, E. A., Hademi, M. C. & Jamali, F. H., 2004, "Active faults in the Zagros and central Iran", *Tectonophysics, Vol. 380 (3-*4): 221-241.

Berberian, M., 1976, "Contribution to the seismotectonics of Iran: Part II", *Geol. Surv. Iran. Rep. No. 40, Tehran.*

Berberian, M., 1995, "Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds; active basement tectonics and surface morphotectonics", *Tectonophysics, Vol. 241: 193–224*.

Bishop, A. W., 1955, "The use of the slope circle in the stability analysis of slopes", *Geotechnique, Vol.5:* 7-17.

Bosak, P., Jaros, J., Spudil, J., Sulovsky, P. & Vaclavek, V., 1998, "Salt Plugs in the Eastern Zagros, Iran: Results of Regional Geological Reconnaissance", *GeoLines (Praha), Vol. 7: 3-174.*

Campbell, K. W. & Bozorgnia, Y., 2003, "Updated near-source ground motion (attenuation) relations for the

Island, Louisiana", SEG(Society of Exploration Geophysicists) Technical Program Expanded Abstracts: 1160-1163

Tinti, S. & Mulargia, F., 1985, "Effects of magnitude uncertainties on estimating the parameters in the Gutenberg-Richter frequency-magnitude law", *Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 75: 1681-1697.*

Ward, S. N., 1997, "More on Mmax", *Bull. Seismol. Soc. Am. Vol.* 87: 1199–1208.

Wennberg, O.P., Azizzadeh, M., Aqrawi, A. A. M., Blanc, E., Brockbank, P., Lyslo, K. B., Pickard, N., Salem, L. D. & Svånå, T., 2007, "The Khaviz Anticline: an outcrop analogue to giant fractured Asmari Formation reservoirs in SW Iran", *Geological Society, London, Special Publications, Vol. 270: 23-42.*

Earthquake Hazard Parameters from Incomplete Data Files. Part II, Incorporation of Magnitude Heterogeneity", *Bull. Seismol. Soc. Am. Vol.* 82: 120–134.

Kijko, A., 2004, "Estimation of the maximum earthquake magnitude, Mmax". *pure & applied geophysics PAGEOPH, Vol.161 (8): 1655-1681(27)*.

Krahn J., 2003, "The 2001 R.M. Hardy Lecture: The limits of limit equilibrium analyses", *Canadian Geotechnical Journal, Vol. 40 (3): 643–660.*

Letouzey, J. & Sherkati, S. 2004, "Salt Movement, Tectonic Events, and Structural Style in the Central Zagros Fold and Thrust Belt (Iran), In Salt sediments interactions and hydrocarbon prospectively", 24th Ann. GCSSEP Foundation, Bob

McQuillan, H., 1991, "The role of basement tectonics in the control of sedimentary facies, structural patterns and salt plug emplacements in the Zagros fold belt of Southwest Iran", *Journal of Southeast Asian Earth Sciences, Vol.* (5-4): 453-463

Morgenstern, N. R., & Price, V. E., 1965, The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces, *Geotechnique, Vol. 15: 79-93.*

Mouthereau O., & Meyer, B., 2006, "The Zagros folded belt (Fars, Iran): constraints from topography and critical wedge modeling", *Geophysical Journal International*, *Vol. 165 (1): 336–356*.

Rahnama-Rad, J., Farhoudi, G., Ghorbani, H., Habibi Mood, Sh. & Derakhshani, R., 2009, "Pierced salt domes in the Persian Gulf and in the Zagros mountain ranges in southern Iran and their relationship to hydrocarbon and basement tectonics", *Iranian Journal of Earth Sciences, Vol.1 (1): 157-72.*

Robert, C. & Casella, G., 2004, "Monte Carlo Statistical Methods", 2nd ed., Springer-Verlag, New York.

Robert, C. & Casella, G., 2009, "Introducing Monte Carlo Methods with R", *Springer-Verlag, New York*.

Safari, H. O., Pirasteh, S. & Pradhan, B., 2009, "Upliftment Estimation of the Zagros Transverse Fault in Iran Using Geoinformatics Technology", *Open access Journal of Remote Sens. Vol.1: 1240-1256.*

Sepehr, M. & Cosgrove, J.W., 2004, "Structural framework of the Zagros fold-thrust belt, Iran", *Marine Petroleum Geol.*, *Vol.* 21: 829-843.

Sepehr, M. & Cosgrove, J.W., 2005, "Role of the Kazerun fault zone, in the formation and deformation of the Zagros foldt-hrust belt, Iran". *Tectonics, Vol.* 24:TC5005.

Sepehr, M., Cosgrove, J. W. & Moieni, M., 2006, "The impact of cover rock rheology on the style of folding in the Zagros fold-thrust belt", *Tectonophysics, Vol. 427:* 265–281.

Spencer, E., 1967, "A Method of Analysis of Embankments assuming Parallel Interstices Forces", *Geotechnique, Vol 17 (1): 11-26.*

Standridge, D., Bishop, C. & Serpa, L., 2005, "A high-resolution seismic survey to image the top of salt at Avery

زمین شناسی کاربردی- سال۵ت شماره۳ www.SID.ir