

تحلیل پایداری دامنه های مخزن سد زاوین تحت تاثیر بارگذاری لرزه ای (شمال شرق ایران)

الیاس قصابیان^{*1}

1- کارشناس ارشد زمین شناسی، مهندسی مشاور پژوهش، خط دو قطار شهری مشهد

elyas_ghasabiyani@yahoo.com

چکیده

سد بتونی وزنی زاوین با ارتفاع 42 متر از کف در منطقه ای با پتانسیل لرزه خیزی بالا در شمال شرق ایران ساخته شده و از سال 1383 مورد بهره برداری قرار گرفته است. بخش قابل توجهی از محدوده مخزن سد بر روی رسوبات شیل و مارن مربوط به کرتاسه تحتانی (سازند شوربچه) قرار گرفته که دارای پتانسیل لغزش می باشند. وجود چنین پتانسیلی سبب شده، پس از آبیگری در بخش جنوبی مخزن سد مجموعه ای از ترکها و شکافهای عمیق ناشی از لغزش ایجاد شود. در چنین شرایطی نگرانی های ناشی از وقوع زمین لغزش تحت تاثیر شتاب ناشی از رویداد زمین لرزه های آینده به شدت افزایش یافته است. بر اساس آنالیزهای انجام شده در صورت فعالیت گسلهای موجود در منطقه مورد مطالعه، با پذیرش 64 درصد ریسک، میزان شتاب افقی در محل سد زاوین برابر 0/21 g خواهد بود. چنین شتابی وقوع زمین لغزشهای متعدد از نوع دایره ای شکل را در بخش جنوبی مخزن ایجاد خواهد کرد. بعلاوه وقوع چندین مورد لغزشهای صفحه ای و گوه ای در بخشهای سنگی تکیه گاه راست سد دور از انتظار نخواهد بود. بنابراین احتمال آن وجود دارد که رویداد یک زمین لرزه نیرومند در زمان اوج آبیگری سد زاوین، با رویداد زمین لغزشهای متعدد همراهی گردد. چنین لغزشهایی علاوه بر سرریز شدن آب از روی تاج سد، مسدود شدن در پیچه های آبیگر و ایجاد خسارت به تاسیسات جانبی سد را به همراه خواهد داشت.

کلمات کلیدی: سد زاوین، زمین لغزش، سائز مولوژی، تاثیر زمین لرزه بر سدها.

1- مقدمه

محدوده مورد مطالعه در فاصله 100 کیلومتری شمال شرق شهرستان مشهد قرار دارد. (شکل 1) در طول جغرافیائی 59 درجه و 53 دقیقه و 39 ثانیه و عرض جغرافیائی 36 درجه و 43 دقیقه و 50 ثانیه.

منطقه در سازند کپه داغ واقع است و قسمت اعظم محدوده محور و مخزن سد زاوین را سازند های شوربچه و تیرگان پوشانده است که بررسی رفتار این تشکیلات در برابر عوامل تشدید کننده لغزش ضروری می باشد.

2- چینه شناسی

1-2- سازند شوربچه

این سازند از نظر لیتولوژی شامل ماسه سنگ و کنگلومر است که در انتهای شرقی کپه داغ به صورت یک رخساره ی پسروده در راس سازند مزدوران دیده می شود. سن رسوبات قرمز رنگ شوربچه کیمریجین است [2].

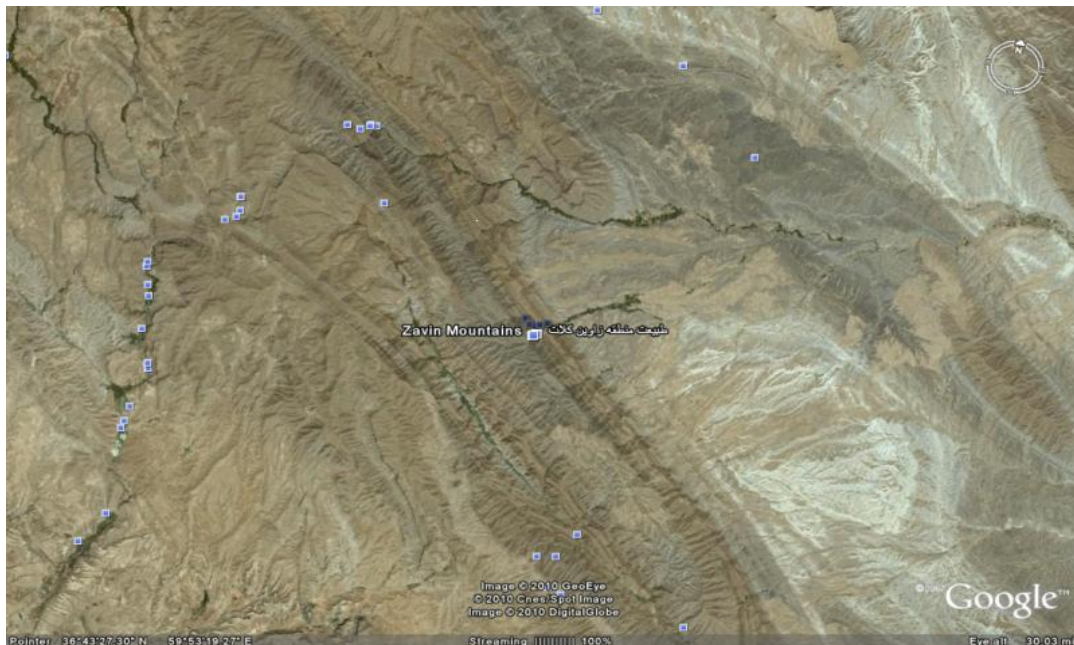
2-2- سازند تیرگان

این سازند از آهک های ضخیم لایه تا ماسیف الیتی و آلی تخریبی ساخته شده و در تمام رشته کپه داغ بیرون زدگی آن دیده می شود. به علت سختی و مقاومت در مقابل فرسایش ارتفاعات و قله منطقه را تشکیل می دهد [1].

سن سازند تیرگان اساساً نئوکومین بوده و در برخی نواحی ممکن است تا آپسین هم ممتد باشد [6].

2-1- سازند سرچشمه

این سازند شامل مارن های خاکستری و شیل های مدادی رنگی است که در آن به طور فرعی رسوبات آهکی اربیتولین دار به حالت بین لایه ای وجود دارد. سن سازند سرچشمه، آپسین (زیرین، و فوقانی) تعیین شده است.



شکل (1): تصویر ماهواره ای منطقه مورد نظر (منبع: google earth)

3- گسل های اصلی منطقه

مهمترین گسل توانمند در گستره پیرامون ساختگاه سد زاوین، زون گسل کپه داغ است که با روند شمال باختر در فاصله 16 کیلومتری شمال خاور ساختگاه قرار دارد. بررسی های انجام شده روی نگاره های ماهواره ای و هوایی، گسل مهم دیگری را در این فاصله نشان نمی دهد. زون گسل هزار مسجد، که شکستگی و خرد شدگی گسترده ای را در ارتفاعات هزار مسجد توسعه داده است، در نزدیکترین مقطع در فاصله 28 کیلومتری جنوب ساختگاه قرار دارد.

4- پتانسیل لرزه خیزی

4-1- برآورد پارامترهای لرزه ای به روش MLE

به منظور پی بردن به سرشت لرزه خیزی هر ایالت لرزه ای، بایستی پارامترهای لرزه خیزی آن ایالت را برآورد نمود. این پارامترها عبارتند از M_{max} ، λ و b در معادله گوتنبرگ ریشتر. پارامتر λ عبارتست از آهنگ رویداد سالانه یا نرخ پویایی [3]، پارامتر M_{max} حداکثر بزرگی زمین لرزه که یک گسل توان تولید آن را دارد [7] و پارامتر b بر اساس معادله گوتنبرگ-ریشتر

بصورت $\text{Log}N_c = a - bM$ مقابل بیان می شود که در این معادله N_c مقدار تجمعی زلزله های رخ داده با بزرگی M یا بیشتر از آن می باشد. مقادیر a و b تابعی هستند که برای هر منطقه فرق می کنند. در منطقه مورد مطالعه ارزیابی پارامترهای اصلی زمین لرزه شامل حداکثر بزرگی منطقه ای M_{max} ، نرخ فعالیت X و پارامتر گوتنبرگ-ریشتر b بر اساس روش MLE محاسبه شده است [4].

در این مقاله برای محاسبه خطر سالیانه زمین لرزه و همچنین احتمالات رویداد از مدل تصادفی (stochastic model) با توزیع پواسون (poisson process) استفاده شده است (منظور مستقل بودن هر رویداد است). بدین منظور از روشهای پیشنهادی Kijko Kijko 2004 & and Sellevoll, 1992 که از جمله کاملترین روشها برای برآورد پارامترهای لرزه ای می باشد و برنامه رایانه ای KZ2 استفاده شده است [4]، [5].

به منظور تعیین بزرگی رویدادهای لرزه ای مشکوک در شعاع 100 کیلومتری ساختگاه سد از مدل Soft Bounds Model استفاده شده است [8]. در این مدل، به کمک بزرگی قابل مشاهده، خطای تصادفی و توزیع Gaussian با انحراف استاندارد داده های مورد نیاز بازسازی می گردد. بطور کلی انتخاب مدل وابسته به اطلاعات ما از روش جمع آوری داده ها و تدارک کاتالوگ لرزه ای است. در این میان نظرات شخصی نیز تا حدودی بر نتایج حاصله تاثیر دارد.



شکل (2): نمائی از مخزن و سد زاوین

در نهایت کلیه پارامترهای لرزه ای منطقه مورد مطالعه (شامل λ ، M_{max} ، β و مقدار b - value) بعلاوه دوره بازگشت زمین لرزه ها با دوره های زمانی مختلف بر اساس مدل Kijko 1992 و نرم افزار HZ2 محاسبه شده است. بر اساس این محاسبات در ساختگاه سد زاوین پارامترهای مورد نظر به شرح زیر و دوره بازگشت رویداد زمین لرزه ها با بزرگی 7 و 7/5 به ترتیب 110 و 607 سال می باشد.

$$\text{Beta} = 1.72 + 0.11 (b = .73 + 0.04) \quad (1)$$

$$\text{Lambda} = 4.72 + 1.08 \text{ (for } M_{min}) = 3.00 \quad (2)$$

2-4- برآورد بیشینه شتاب گرانج افقی زمین

بطور کلی مبانی تئوری محاسبه ی احتمالات رویداد بطور کلی بر این فرض است که از یک سرچشمه لرزه ای، زمین لرزه ای با

بزرگی M در فاصله R جایگاه سازه مورد نظر را تحت تاثیر قرار داده و این رویداد از دیدگاه آماری برابر با الگوی متغیر مستقل (random variable) محسوب می شود.

در این مقاله بررسی آماری سابقه های لرزه خیزی گذشته گستره طرح مورد تاکید قرار گرفته و با احتساب احتمالات و تعمیم آن به عمر مفید سازه در آینده، بیشینه شتاب مورد انتظار برآورد می گردد. تمامی سرچشمه های لرزه ای موجود اعم از پهنه ای (area source) که با تجمع کانون زمین لرزه ها مشخص می گردد و یا سرچشمه های خطی (line source) که در پیوند با گسله های جنبای شناخته شده است، در پهنه ای به شعاع 100 کیلومتر پیرامون محور سد زاوین در محاسبات برآورد خطر زمین لرزه وارد برنامه رایانه ای SeisRiskIII شده است.

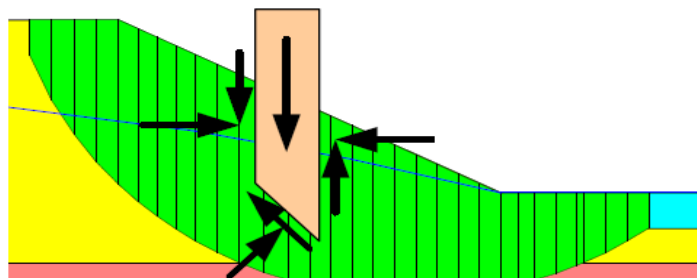
میزان شتاب گرانش افقی زمین معمولاً در دو حد با احتمال خطر 4% و 10% انتخاب می شود که حد اول سطح مبنای طراحی (Design Basis Level) و دومی سطح حداکثر طراحی (Maximum Design Level) نامیده می شود. یاد آوری می شود که زمین لرزه مبنای طرح (DBL)، زمین لرزه ایست که در طول عمر مفید سازه، احتمال رویداد آن قابل انتظار است و بیشترین نیرو را بر سازه وارد می کند. نتیجه به دست آمده از محاسبات احتمالات خطر زمین لرزه در ساختگاه سد زاوین با فرض عمر مفید 20، 50 و 100 ساله بصورت جدول ارائه شده است. (جدول 1)

جدول (1): بیشینه شتاب گرانش افقی زمین در ساختگاه سد زاوین

زمین لرزه مبنای طرح (DBL) با 64 درصد احتمال رویداد		
100 سال	50 سال	20 سال
.23	.21	.19

5- پتانسیل های ناپایداری

در روش های آنالیز پایداری دامنه ها، یافتن سطح بحرانی شکست با پیشرفت محاسبات و عملیات جستجو انتخاب می گردد. به علاوه روش های ترکیبی جستجوی تصادفی بر اساس روش های مبتنی بر الگوی مونت کارلو ساختار ساده ای 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 رابطه نیروهای برشی و نرمال در هر یک از قطعات تحت لغزش مورد استفاده قرار می گیرد (شکل 3). در این مقاله تحلیل پایداری دامنه ها با استفاده از نرم افزار اسلاید (Slide) صورت گرفته است.



شکل (3): رابطه نیروهای برشی و نرمال بر یک قطعه لغزشی

6- پتانسیل لغزش‌های دایره‌ای در مخزن سد زاوین

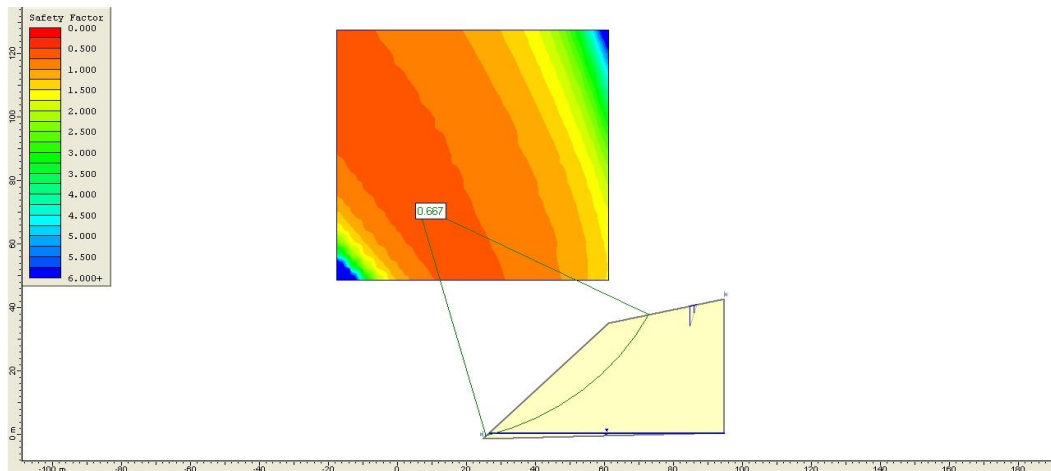
نتایج آنالیزهای انجام شده توسط نرم‌افزار Slide بیانگر آن است که، دامنه آبرفتی واقع در بخش جنوبی مخزن سد زاوین در حالت طبیعی (شکل 6) و در حالت اعمال پارامترهای لرزه‌ای (شکل 7)، دارای ضریب ایمنی پائین (0.667 و 0.531) و مستعد لغزش می‌باشد که وجود ترک‌های کششی (tension crack) در بخش بالائی دامنه (شکل 4) که در حال توسعه می‌باشد موید این مطلب است. همچنین ایجاد ترک‌های غیر طبیعی در استخر بتنی واقع در محدوده مخزن و روی توده مذکور که مربوط به مراحل اجرائی سد بوده و از آن جهت نگهداری آب در فرآیند ساخت بتن استفاده می‌شده است نشانگر حرکات غیر عادی و نامتوازن در پی استخر است. (شکل 5). اگر لغزش در مواقع بالا بودن تراز دریاچه رخ دهد، باعث ایجاد امواج شده و وقوع پدیده روگذری (over top) دور از انتظار نیست. و اگر در زمان پایین بودن تراز باشد احتمال آسیب دیدن و گرفتگی دریاچه‌های آبگیر هست. در صورتی که بهره‌بردار تصمیم به کاهش تراز آب دریاچه سد داشته باشد، ضروری است انجام این کار با توجه به اشباع بودن قاعده توده (شکل 7) بسیار حساب شده صورت پذیرد. زیرا در زمان تخلیه، جهت خطوط جریان در قاعده توده، رو به بیرون می‌باشد که نتیجه آن سرعت گرفتن لغزش می‌باشد.



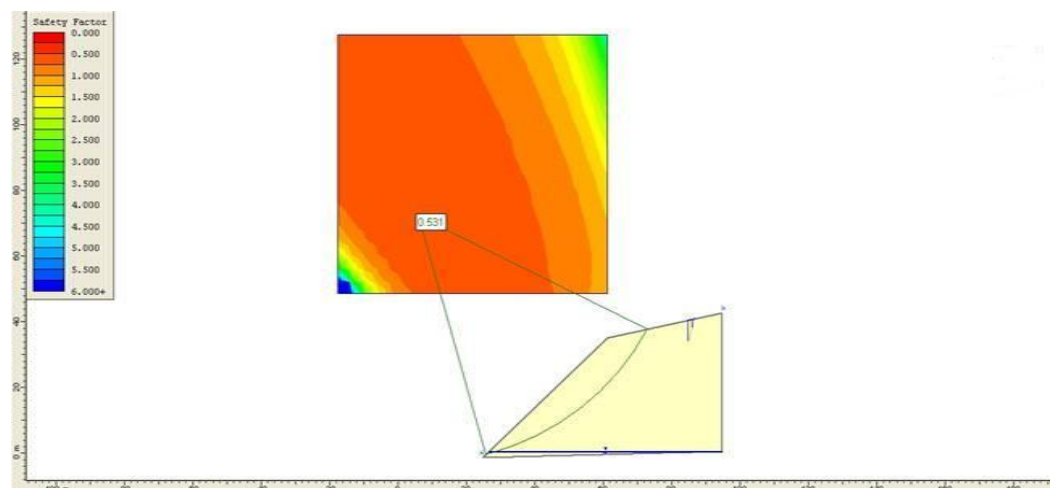
شکل (4): ترک‌های کششی ایجاد شده در سطح توده که به طرف عمق گسترش دارد



شکل (5): ترک‌های ایجاد شده در اطراف استخر بتنی واقع بر روی دامنه مذکور



شکل (6): تعیین ضریب ایمنی دامنه با توپوگرافی موجود (شیب 45 درجه و سرشیب 20 درجه) در شرایط طبیعی به کمک نرم افزار SLIDE



شکل (7): تعیین ضریب ایمنی دامنه با توپوگرافی موجود (شیب 45 درجه و سرشیب 20 درجه) تحت بارگذاری لرزه ای با شتاب افقی 0.21 g به کمک نرم افزار SLIDE

7- آنالیز پایداری توده سنگ

ناپوستگی های توده سنگ شامل ساختمانهای زمین شناسی همچون گسل ها، درزه ها، سطوح لایه بندی و سطوح تورق سنگهای دگرگونی است. مهمترین نقطه ضعف یک توده سنگ همین سطوح ناپوستگی است، که در فرایند آنالیز پایداری توده های سنگی مورد نقشه برداری و آنالیز قرار می گیرد با توجه به اینکه رفتار مکانیکی توده سنگ ها متأثر از سیستم های شکستگی است، به منظور مدلسازی محیط های با حضور انواع ناپوستگی و تعیین وضعیت ناپایداری آنها، بررسی امتداد، شیب، فاصله داری و تداوم یافتگی، زبری و ... ناپوستگی ها در سطح و عمق ضروری می باشد. در راستای تعیین خصوصیات مکانیکی و ذاتی سنگ بکر، مقادیر چسبندگی، زاویه اصطکاک، مقاومت فشاری و برشی، مدول الاستیسیته، مدول حجمی و ... از طریق آزمایشهای مربوطه اندازه گیری و محاسبه می گردد. جهت تعیین مشخصات مربوط به ناپوستگی ها از برداشتهای سطحی در محدوده محور و مخزن

سد استفاده شده است. تکیه گاههای سد زاوین به روش Line mapping و محدوده مخزن سد به روش Window mapping درزه نگاری شده است. به منظور سهولت مطالعه مشخصات کلیه ناپیوستگی ها طبق روش پیشنهادی Watts ارائه شده است [9].

8- آنالیز پایداری به کمک استریونت

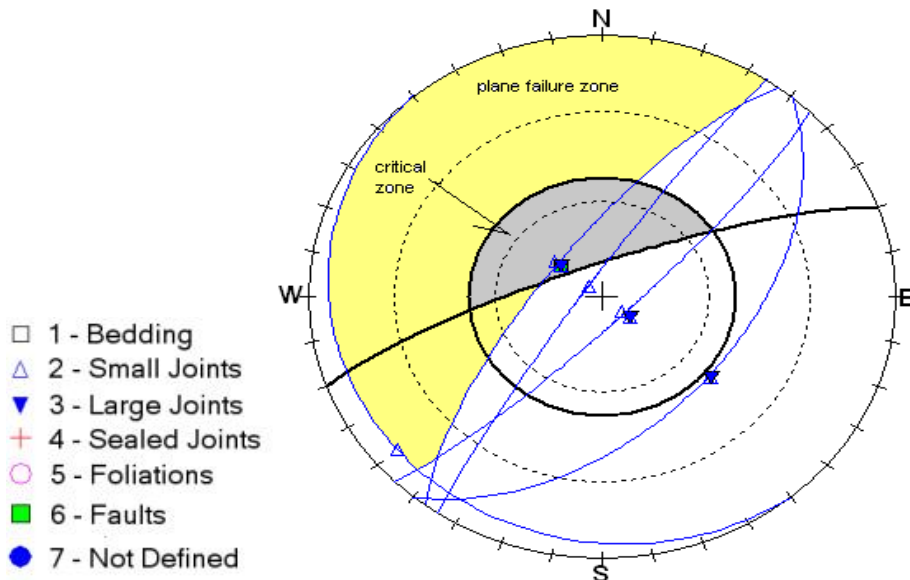
آنالیز پایداری به کمک استریونت به ما اجازه می دهد، توده سنگ را بصورت سه بعدی مورد آنالیز قرار دهیم. این توانایی امکان شناسایی جهت یافتگی های نامطلوب را در یک دامنه سنگی فراهم نموده، بعلاوه شناسایی بهینه هندسه لغزش را ممکن می سازد. بطور کلی در یک توده سنگ شکستگی های بسیار به همراه چندین دسته درزه مجزا وجود دارد که وقتی بر روی استریونت پیاده شود قابل شناسایی است. در این بخش آنالیز جنبش سنجی بر اساس تئوری Markland و با فرض گسیختگی صفحه ای بطرف پایین انجام گردیده است. بعلاوه در شرایط متفاوت با در نظر گرفتن زاویه اصطکاک و مختصات رویه سنگی (Slope Face) منطقه بحرانی مشخص گردیده و پتانسیل ناپایداری هر یک از بلوک ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. نرم افزار RockpackIII امکانات لازم برای انجام آنالیزهای فوق را فراهم می کند. بنابراین کلیه آنالیزهای این بخش به کمک این نرم افزار انجام گردیده است. مشخصات سیستم شکستگی های تکیه گاه راست، چپ و مخزن سد وارد نرم افزار RockpackIII گردید و پتانسیل لغزش برای هر بخش مورد بررسی واقع شد. نتایج حاصل بیانگر عدم وجود پتانسیل لغزش در تکیه گاه ها بود اما در بخش جنوبی مخزن (شکل 8) احتمال وقوع لغزش با تیپ صفحه ای وجود دارد. به منظور آنالیز رفتار دامنه ها در شرایط اشباع و لرزه ای در محدوده مخزن سد در مرحله نخست اطلاعات شکستگی ها به نرم افزار RockPackIII وارد شد و بر اساس روش مارکلند پنج دسته ناپیوستگی اصلی شناسایی گردیده است. همانگونه که مشاهده میگردد به علت وجود درزه در جهات مختلف قطب ناپیوستگی ها در پنج خوشه متمرکز شده اند که مختصات صفحه منتخب آنها به ترتیب $Dr: 308/78$ و $Dr: 306/85$ و $Dr: 128/80$ و $Dr: 132/50$ و $Dr: 227/10$ است. در مرحله دوم با در نظر گرفتن زاویه اصطکاک و رویه سنگی برای دامنه ها منطقه بحرانی ترسیم شده و موقعیت فصل مشترک سطوح ناپیوستگی منتخب نسبت به این منطقه نمایش داده شده (شکل 9).

تحلیل دیاگرامهای مورد نظر بیانگر آن است که دامنه، دارای پتانسیل لغزش با تیپ گوه ای نیست (چون محل تقاطع صفحات در منطقه بحرانی واقع نشده است) اما دارای پتانسیل لغزش با تیپ صفحه ای است (زیرا جهت بزرگترین شیب یکی از دسته درزه ها در زون بحرانی می باشد). لذا انجام آنالیز و تعیین safty factor برای این قسمت در دستور کار قرار گرفت.



شکل (8): نمایی از سیستم درزه های بخش جنوبی مخزن سد زاوین

آنالیزهای انجام شده دلالت بر آن دارد که دیواره مخزن در بخش جنوبی در شرایط خشک و با شیب موجود (80 درجه) دارای ضریب ایمنی 7/43 می باشد که این ضریب در شرایط اشباع تا 6/76 نزول خواهد کرد و نهایتاً در صورت رویداد زمین لرزه ای با شتاب افقی $g/0.21$ تا $2/82$ کاهش پیدا خواهد کرد که کماکان پایدار خواهد بود. (جدول 2)



شکل (9): تعیین موقعیت صفحه لغزنده نسبت به منطقه بحرانی بوسیله نرم افزار RockpackIII (دیواره جنوبی مخزن)

جدول (2): نتایج آنالیز لغزش های صفحه ای در بخش جنوبی مخزن سد زاوین به کمک نرم افزار RockpackIII

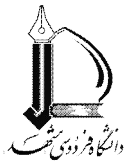
ضریب امنیت			جهت شیب	شیب روبه (درجه)	ارتفاع رویه (متر)	مکان
اشباع به همراه شتاب افقی $g/0.21$	اشباع	خشک				
2/82	6/76	7/43	340	80	40	داخل مخزن سد

9- نتیجه گیری

نهشته های کواترنر واقع در بخش جنوبی مخزن سد زاوین به علت مشخصات مکانیک خاکی که دارد در شرایط اشباع و تحت رویداد زمین لرزه با شتاب افقی $g/0.21$ می تواند لغزش های دایره ای ایجاد کند که در صورت پر بودن مخزن می تواند خطرناک باشد. اما در بخش های سنگی تکیه گاه ها و مخزن که آهک های سازند تیرگان می باشد، این پتانسیل دیده نمی شود.

منابع

- [1] Afshar-harb, 1969, a brief history of geological exploration and geology of the sarakhs area and the khangiran gas field. bulletin of the iranian petroleum institute, 37, pp. 86-96. (in farsi).
[2] Kalantari, 1969, Foraminifera from the middle jurassic-cretaceous successions of koppet-dagh region (N.E. Iran) Tehran, Nat. Iran. oil co. Geol. Labor Publ. no. 3, 298 p



- [3]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. 79, 645-654.
- [4]Kijko, A. & Sellevoll, M.A., 1992, "Estimation of Earthquake Hazard Parameters from Incomplete Data Files. Part II, Incorporation of Magnitude Heterogeneity", Bull. Seismol. Soc. Am. 82, 120-134.
- [5]Kijko, A., 2004, "Estimation of the maximum earthquake magnitude, M_{max} ". pure & applied geophysics PAGEOPH, Vol.161 (8): 1655-1681(27).
- [6]Stoklin,j,1972, iran central;septentrional et oriental.Lexique stratigrafique international.
- [7]Ward, S. N., 1997, "More on M_{max} ", Bull. Seismol. Soc. Am. Vol. 87: 1199-1208.
- [8]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.
- [9]Watts CF, Gilliam DR, Hrovatic MD, Hong H (2003) ROCKPACK III for Windows ROCK Slope Stability Computerized Analysis PACKage, Consulting Engineering Geologists, Radford University Office (540) 831-5637.