



## تعیین پارامترهای جنبش نیرومند زمین به روش DBE و MCE در سافتگاه سد سلمان فارسی جنوب غرب فارس - ایران

مهرداد پژوهان\*<sup>۱</sup> و سید مصطفی مرتضوی مهدی آباد<sup>۲</sup>

۱) گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دشتستان- دشتستان، ایران (dr.pazhoohan@yahoo.com)

۲) گروه عمران، دانشگاه ولی عصر رفسنجان- رفسنجان، ایران (mortazavi\_mostafa@yahoo.com)

(\* عهده دار مکاتبات)

دریافت: ۹۳/۴/۱۱؛ دریافت اصلاح شده: ۹۳/۱۱/۵؛ پذیرش: ۹۳/۱۲/۷؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۴/۹/۱۵

### چکیده

یکی از سازه‌های مهم که در بحث علوم زلزله شناسی و مهندسی زلزله جایگاه مهمی دارد سدها می‌باشند. در این مقاله با استفاده از مطالعه وضعیت زمین ساختی و با بهره گیری از آخرین اطلاعات لرزشی گستره سد سلمان فارسی که بر روی رودخانه قره آغاچ که در جنوب استان فارس قرار دارد به روش‌های آماری گوناگون و روابط میرایی مختلف، آثار لرزشی در ساختگاه سد، مورد ارزیابی قرار داده شد و با در نظر گرفتن عمر مفید سد برابر ۱۰۰ سال میزان بزرگی زمین لرزه های نرمال، مبنای طرح و حداکثر زمین لرزه محتمل در گستره مورد مطالعه ساختگاه معرفی گردید. جهت برآورد بیشینه شتاب، سرعت و جابه جایی حرکت زمین در ساختگاه سد از دو روش سطح مبنای طراحی (DBE) و حداکثر زلزله‌ی محتمل (MCE) ارائه شده توسط محققین مختلف استفاده شد. همچنین در روش MCE فعالیت لرزه خیزی گسل‌های عمده و پویا و یا احتمالاً پویا در گستره مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت و بیشترین مقدار پارامترهای حرکت زمین در ساختگاه سد بدست آمد.

**واژه‌های کلیدی:** سطح مبنای طراحی، حداکثر زلزله‌ی محتمل، سد، زلزله.

### ۱- مقدمه

مهندسی زلزله یک ساختگاه و تجزیه و تحلیل رویدادهای گذشته آن می‌توان احتمال وقوع زمین لرزه‌های آن ساختگاه را تا حدود زیادی در طول عمر مفیدش پیش بینی کرد و به همین جهت از روش‌ها و روابط مختلف احتمالی، تحلیلی و آماری استفاده می‌شود. برآورد دقیق بزرگترین زلزله منطقه بر اساس داده‌های لرزه زمین ساختی مستند، می‌تواند مبنای مناسبی برای بررسی‌های آماری و احتمالاتی

کمتر از یک قرن است که علوم زلزله شناسی و مهندسی زلزله خدمات شایانی به جوامع بشری نموده و در دهه‌های اخیر پیشرفت قابل توجهی را کسب نموده است. اگر چه شرایط کنونی علم جوان زلزله شناسی امکان پیش گیری از وقوع زلزله را نداشته و پیش گویی زمان دقیق زلزله نیز وجود ندارد، اما با مطالعه دقیق وضعیت تکنیکی و

و محاسبه خطر زمین لرزه‌های واقع گرایانه باشد (آرین ۱۳۸۱). معمولاً بیشترین نیروهای جانبی وارد به سازه‌ها، با بیشینه شتاب افقی متناسب هستند (پورکرمانی و آرین ۱۳۷۶). بیشینه شتاب معمولاً به دو روش احتمالی و تحلیلی یا تعیینی برآورد می‌شود که لازم و ملزوم یکدیگر می‌باشند (McGuier 2000).

## ۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه

سد بتنی-وزنی سلمان فارسی (قیر) در استان فارس در ۱۸۰ کیلومتری جنوب شیراز و در شمال خاوری شهرستان قیر با مختصات جغرافیای ۲۸ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۷ دقیقه طول شرقی قرار دارد که بر روی رودخانه قره آغاج و در محل تنگه کارزین احداث گردیده است. رودخانه قره آغاج از منطقه چهل چشمه واقع در کوههای غرب شیراز سرچشمه گرفته و در مسیری با روند شمالی-جنوبی به خلیج فارس ختم می‌شود. (تصویر ۱).



تصویر ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

## ۳- زمین شناسی منطقه

ایران به منزله بخش وسیعی از کمربند کوهزایی آلپ-همیالیا در بین دو پهنه پایدار پرکامبرین عربستان و هرسنین اوراسیا با نرخ همگرایی ۲۵ تا ۳۰ میلی‌متر در سال در راستای شمالی قرار گرفته است (DeMets et al. 1994) که سطح بالایی از فعالیت‌های لرزه‌ای را نشان می‌دهد. از نظر لرزه زمین ساختی ایران را می‌توان به نوار چین خورده زاگرس، البرز، کپه داغ و ایران مرکزی و دشت لوت تقسیم نمود (Berberian 1976).

پژوهشگران بسیاری از کوه‌های زاگرس که بخشی از کوهزاد آلپ-همیالیا می‌باشد را مطالعه نموده‌اند. برخی از این پژوهشگران زاگرس را به چند بخش تقسیم نمودند که مشهورترین تقسیم بندی مربوط به (Falkon 1974) می‌باشد. وی سه ناحیه ساختاری را برای زاگرس مشخص نمود (تصویر ۲) که از شمال خاوری به جنوب باختری عبارتند از:

ناحیه ۱، ناحیه ساختاری پیچیده همراه با سنگ‌های دگرگونی

ناحیه ۲، ناحیه راندگی (فلسی) زاگرس درونی

ناحیه ۳، ناحیه بسادگی چین خورده

کمربند چین خورده-راندۀ زاگرس یکی از ساده‌ترین و لرزه خیزترین آنهاست (Tatar et al. 2004). بیش از ۵۰ درصد زمین لرزه‌های

زاگرس منطقه وسیعی است که به طور پیوسته در معرض دگر شکلی فشاری و کوتاه شدگی پی سنگ ناشی از برخورد قاره‌ای عربستان - اوراسیا قرار گرفته است (Maggi et al. 2000) با این فرض که برخورد قاره‌ای از اوایل مویسن شروع شده (Tartar et al. 2002) (Robertson 2000)، با استفاده از اندازه‌گیری‌های GPS، نرخ همگرایی در امتداد NNE-SSW را در بخش مرکزی زون چین

از گسله های عمده شناخته شده در شعاع ۳۰۰ کیلومتری سد می توان گسله هایی مانند کازرون، گسله کره بس، گسله ارژن، گسله بختگان، گسله های شمالی و باختری و شمال خاوری لار، گسله اصلی زاگرس، گسل سروستان، گسله ده بید، گسله ده شیر، گسله چارک، گسله میشان، گسله گهکم و گسله شهر بابک، گسل جویم، گسل شمال جویم و غیره را نام برد. (تصویر ۳) علاوه بر گسله های عمده شناخته شده فوق الذکر خرده گسله های مانند دره سیاه-افروز-جنوب دشت قیر- تنگ روئین خرده گسله های تاقدیس های نوراکره-بس-سیمکان-کر-گرم-سفیدار را می توان نام برد (جدول ۱).

#### ۴- روش کار

در طراحی لرزه ای سازه ها، مشخص نمودن اهداف طراحی، ضروری است. بیان اهداف طراحی لرزه ای، دقیقاً به مشخصات بارگذاری لرزه ای بستگی دارد. با توجه به مشکلات موجود در پیش بینی دقیق بار لرزه ای، معمولاً در تعریف آن ها از علم احتمالات استفاده می شود و مقدار نیروی زلزله متناسب با شرایط لرزه خیزی و سابقه ی وقوع زلزله در منطقه، تعریف می گردد. به منظور بیان اهداف طراحی

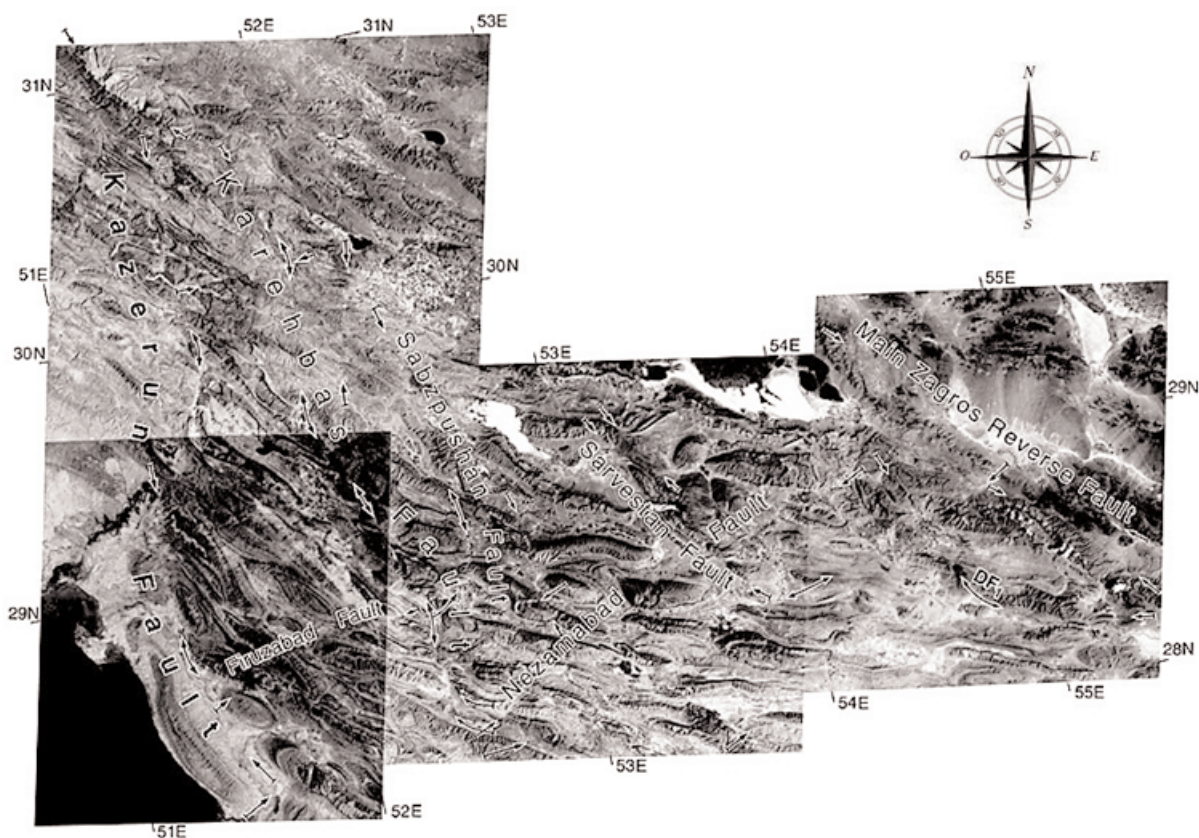
خورده ساده (در طول جغرافیایی  $E^{\circ} 52$ ) حدود ۱۰ میلیمتر در سال برآورد کرده اند (Blance et al. 2003).

لرزه خیزی در زاگرس از نوع کم عمق است (Talebian & Jackson 2002; Maggi et al. 2000; Mirzaei et al. 1998; Jackson & Fitch 1979; Berberian, M. 1976)، هر چند که اظهارات

نیز وجود دارد. مدل سازی قابل اعتماد شکل موج، نشان می دهد که منشأ زمین لرزه های بزرگ در زاگرس معمولاً در ۸ تا ۱۵ کیلومتری پوسته فوقانی زمین می باشند.

(Maggi et al. 2000; Ni & Barazangi 1986; Baker et al. 1993; Jackson & McKenzie 1984; Jackson et al. 1981) با بررسی نتایج مطالعات لرزه زمین ساخت و لرزه خیزی در مورد تاریخچه زمین لرزه های بزرگ منطقه و نیز توان لرزه ای گسل ها دیده می شود که بزرگی زمین لرزه های مهم قابل انتظار برای منطقه ۶/۵ تا ۷/۵ می باشد (وتر و همکاران ۱۳۹۰).

بررسی گسل ها و شناخت خصوصیات ژئومتری آنها اهمیت زیادی دارد بطوریکه از روی سیستم گسل ها می توان مکان های ایجاد زلزله، میزان انرژی آزاد شده، بزرگی، میزان جابه جایی احتمالی و محل های با خطر لرزه زایی بالا را شناسایی و محاسبه کرد.



تصویر ۳ - محل گسل های شاخص منطقه بر روی عکس ماهواره ای

جدول ۱ - خصوصیات گسلها و خرده گسلهای مهم گستره مورد مطالعه

ردیف	نام گسل	سن	طول گسل Km	نوع حرکت	امتداد	فاصله تا سد Km	ماکزیمم زلزله (ریشتر)
۱	گسل بختگان	پری کوآترنر	۲۸۰	راستگرد تراستی	NE	۱۰۰	۵/۸
۲	گسل سروستان	پری کوآترنر	۹۰	نرمال	NW	۵۶	-
۳	گسل کره بس	کوآترنر	۱۶۰	امتداد لغز	SW	۴۱	-
۴	گسل باختری لاز	پری کوآترنر	۱۰۰	راستگرد امتداد لغز	S	۱۰۰	۶/۸
۵	خرده گسل سیمکان	-	۱۰	نرمال	NE	۷	-
۶	خرده گسل گرم	-	۲۰	نرمال	W	۱۸	-
۷	خرده گسل افزر	پری کوآترنر	۳/۵	تراستی	W	۱۸	۶/۹
۸	خرده گسل تنگ روئین	پری کوآترنر	۱۹	نرمال-تراستی	E	۲۲	-
۹	خرده گسل دشت قیر	کوآترنر	۱۰	تراستی	W	۱۴	۶/۹
۱۰	خرده گسل دره سیاه	پری کوآترنر	۱۰	نرمال	NE	۱۰	-
۱۱	خرده گسل کر	-	۱۰	نرمال	NE	۱۰	-

به وقوع بپیوندد. سازه می بایست توانائی مقاومت در مقابل چنین زمین لرزه ای را بدون آنکه آسیب قابل ملاحظه ای به آن وارد شود داشته باشد. مناسب ترین روش در تعیین پارامترهای این سطح از طراحی، روش های احتمالی می باشد.

**ب: سطح بالای طراحی (MDE- Maximum Design Earthquake)**

در این سطح لرزه ای در طراحی جنبشی زمین ناشی از زمین لرزه نیرومندتر ولی با احتمال رویداد کمتر و دوره بازگشت طولانی تر از DBE در نظر گرفته می شود. دوره بازگشت چنین زمین لرزه های از ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ سال بر اساس خطر پذیری و اهمیت سازه تعیین می شود. در مقابل چنین زمین لرزه ای آسیب های سازه ای در طراحی تا آن حد پیش بینی می شود که قابل ترمیم باشند. مناسب ترین روش برای تخمین پارامترهای این سطح از طراحی روش احتمالی می باشد.

**ج: سطح حداکثر پذیرفتنی (MCE- Maximum Credible Earthquake)**

در بخش هایی از کارهای طراحی که مقوله حداکثر زلزله ی طراحی مطرح می شود. حداکثر زلزله ی محتمل (MCE) محاسبه می شود. حداکثر زلزله ی محتمل، نیرومندترین جنبش زمین است که با توجه به سابقه لرزه خیزی و فعالیت چشمه های لرزه زا در گستره ی مورد مطالعه، امکان وقوع آن ممکن و پذیرفتنی است. احتمال وقوع چنین زمین لرزه هایی در طول عمر سد بسیار کم و دوره ی بازگشت آن بسیار طولانی است که در روش های احتمالاتی اغلب تا حدود

لرزه ای، ضروری است نخست به مشخصات زلزله و سطوح مختلف آن پرداخت تا با توجه به آن ها، اهداف طراحی لرزه ای، بهتر تعریف شود. (محمودی صاحبی ۱۳۹۲).

برای تعیین سطح فعالیت های لرزه ای در هر ساختگاه، لازم است مطالعات لرزه خیزی در سطحی متناسب با سطح مطالعات در مراحل مختلف مطالعاتی (شناسایی، مفهومی، تفصیلی) انجام شود. (فریدونی ۱۳۹۳).

به منظور بررسی یک زمین لرزه از پارامترهایی که توصیف کننده جنبش نیرومند زمین ناشی از وقوع یک رویداد لرزه ای باشد، نظیر پیشینه مقادیر شتاب یا سرعت، طیف پاسخ و شتاب نگاشت های ثبت شده (نگاشت های ثبت شده از مؤلفه های افقی و قائم شتاب زمین نسبت به زمان) استفاده می شود.

بر این اساس و با توجه به مشخصات زمین لرزه هایی که قادر به ایجاد پارامترهای جنبش موردنظر زمین می باشند سطوح لرزه ای در طراحی مطابق با تعاریف و رهنمودهای کمیته های بین المللی همچون کمیته های بین المللی سدهای بزرگ و کمیته تنظیمی نیروگاه های هسته ای آمریکا، تعریف و تقسیم بندی می شوند.

**الف: سطح مبنای طراحی (DBE- Design Base Earthquake)**  
سطحی از حرکت زمین است که احتمال وقوع آن در یک دوره ۵۰ ساله، ۱۰٪ می باشد یعنی زمین لرزه ای با دوره بازگشت ۴۷۵ سال. (آل رسول و همکاران ۱۳۸۷) در طراحی این سطح لرزه ای انتظار می رود که جنبش نیرومند زمین در طول عمر مفید سازه با احتمال رویداد زیاد

دارد، برآورد بزرگی، دوره بازگشت و حداکثر نیروی افقی ناشی از زلزله های شدید به ساختمان سد، اهمیت ویژه ای دارد. برآوردهای مذکور، باید آنقدر محتاطانه و متکی به واقعیت لرزه زمین ساختی و آمار زمین لرزه های تاریخی و عهد حاضر منطقه باشد، تا پایداری تأسیسات و سازه سد، در طول عمر مفید آنها تأمین کند.

برای ارزیابی و محاسبات آنالیز ریسک زمین لرزه ها از معادله خطی گوتنبرگ-ریشتر (رابطه ۱) استفاده شده است که ضرایب  $a$  و  $b$  آن ثابت می باشند. جهت پی بردن به دوره بازگشت رویداد زمین لرزه ها با بزرگی های گوناگون از رابطه گوتنبرگ-ریشتر (رابطه ۲) و ضرایب  $a$  و  $b$  بهره گرفته شده است.

$$\log(N)=a-b(M) \quad N=10^{a-b(M)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$Ms=[\log(T/N)+a]/b \quad \text{رابطه (۲)}$$

که پارامترهای آن به شرح زیر می باشد:

$T=$  دوره بازگشت زلزله  $a=5.80765$   $b=0.77039$   $N=$  مدت زمانی که مقادیر  $a$  و  $b$  برای آن برآورد شده که در اینجا ۱۰۵ سال می باشد.

با بکارگیری رابطه شماره (۱) و تعمیم آن در رابطه (۲) می توان بزرگی زلزله های گستره برای دوره های بازگشت ۱۰ و ۲۵ و ۵۰ و در نهایت ۳۰۰ ساله طبق (جدول ۲) محاسبه و تنظیم کرد.

در صورتی که عمر مفید ساختمان سد معادل ۱۰۰ سال در نظر گرفته شود احتمال رخداد زلزله ای به بزرگی  $Ms=7/5$  ریشتر در ژرفای کانونی ۱۳/۵ کیلومتری وجود دارد.

### برآورد ماکزیمم شتاب افقی و قائم به روش احتمالی

برای ارزیابی ماکزیمم شتاب افقی و قائم حرکت زمین در ساختمان سد، همانطور که قبلاً محاسبه گردید ابتدا به روش گوتنبرگ-ریشتر بزرگی زلزله در طول عمر مفید ۱۰۰ ساله سد برآورد گردیده می شود و با محاسبه فراوانی تجمعی ۱۰ درصد عمق کانونی زمین لرزه های گستره طرح، شتاب استاتیکی معادل به روش Donovan و

$$Y_{max}=C_1 e^{XM} \quad \text{Esteva \& Rosenblueth از طریق فرمول}$$

جدول ۲- دوره بازگشت و بزرگی زمین لرزه در گستره مورد مطالعه بر حسب سال

دوره بازگشت به سال (T)	۱۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰
بزرگی زلزله به ریشتر Ms	۶/۲	۶/۷	۷/۱	۷/۳	۷/۵	۷/۷	۷/۹	۸	۸/۱

۱۰۰۰ سال یا بیش تر در نظر می گیرند (فریدونی ۱۳۹۳). مقابل زمین لرزه های در این سطح، آسیب های سازه ای (حتی غیر قابل ترمیم) در طراحی سازه در نظر گرفته می شود. ولی در همه حال چنین زمین لرزه ای نباید باعث انهدام سازه و فاجعه اجتماعی شود، در نتیجه زمین لرزه های در سطح MCE را می توان برای کنترل پایداری سازه مورد استفاده قرار داد.

سطوح مختلف خطرپذیری به صورت دوره متوسط بازگشت و یا احتمال وقوع در طول عمر مفید سازه تعریف می شوند. دوره متوسط بازگشت نشان دهنده متوسط زمان بر حسب سال بین وقوع زلزله های با بزرگی برابر و یا بزرگتر از یک حد مشخص می باشد. احتمال وقوع زلزله، نشان دهنده احتمال وقوع یک زلزله با بزرگی مشخص و یا بزرگتر از این حد مشخص در طول یک دوره خاص زمانی (غالباً عمر مفید سازه) می باشد.

به طور عمومی احتمال اینکه ساختمان در عمر مفید خود وقوع زلزله های با سطح خطر پایین را تجربه کند بسیار بالا می باشد، در حالی که احتمال وقوع زلزله با سطح خطر بالا در طول عمر مفید سازه بسیار کم است. بنابراین مهندسی زلزله، براساس عملکرد، به دنبال کنترل کردن سطوح خسارت تجربه شده به وسیله ساختمان در طیف کاملی از رویدادهایی است که ممکن است رخ دهد. با مشخص شدن سطوح زلزله و سطوح عملکردی می توان اهداف عملکردی را تعریف نمود.

اولین گام در تحلیل خطر لرزه ای به روش احتمالاتی مرسوم، توسط Cornell (1968) برداشته شده که توسط Reiter (1990) توصیف شده است. در روش احتمالی پتانسیل لرزه خیزی در منطقه، بر اساس مشخصات زلزله های قبلی و بررسی آماری و احتمالی آنها، تهیه می شود. هدف اساسی در روش فوق برآورد احتمال وقوع زلزله ای با بزرگی مشخص در منطقه می باشد. به عبارت دیگر، هدف از این کار، تعیین بزرگی زلزله ها با یک دوره بازگشت مشخص می باشد (خسرو برگی ۱۳۷۳).

### ۵- برآورد خطر زمین لرزه

#### روش احتمالی D.B.E

در مناطق فعال زمین ساختی مانند ایالت لرزه زمین ساخت سری چین خورده فارس (Fars Folded series) که فعالیت لرزه خیزی بالایی

$$a=Cm/Sec2 \quad \delta = (C_2 e^{\theta M + R})^{-\delta}$$

و پارامترهای زیر برآورد شد.

SOURCE	M	C1	X	C2	$\theta$	$\eta$	$\delta$
E&R	۷/۵	۲۰۰۰	۰/۸	۰	-	۱	۲
D	۷/۵	۱۳۲۰	۰/۸	۲۵	۰	۱	۷۵۲

پس از بررسی دقیق لرزه زمین ساخت هر گسل فعال باید حداکثر توان لرزه زایی گسل، شناخته و محاسبه شود تا بتوان با توجه به فاصله میان ساختگاه و گسل فعال موجود، حداکثر شتاب افقی به وجود آمده از جنبش گسل به ساختگاه را پیش بینی کرد (پورکرمانی و آرین ۱۳۷۶).

به همین سبب توان لرزه ای گسله های مهم منطقه و گسل هایی که در فاصله نزدیک ساختگاه سد قرار دارند با روابط تجربی ارائه شده توسط محققانی نظیر:

Tocher  $M=\log L+5.7$   
 Mohajer-Ashjai & Nowroozi  $M=\log L+5.4$   
 Bonilla, Mark & lienkaemper  $M=0.708\log L+6.04$

محاسبه شده که در آنها L طول گسل (کیلومتر) و Ms بزرگی زلزله در مقیاس ریشتر می باشد (جدول ۳). همانطور که در جدول مذکور ارائه شده، نتایج حاصل از روش Mohajer & Nowroozi از پاسخ های مناسب تری برخوردار است و با نتایج حاصله از بررسی های آماری منطقه تطابق دارد.

گسل های لرزه زای شناخته شده در گستره طرح، شامل بختگان، کره بس، باختری لار و سروستان -خرده گسل های گرم، تنگ روئین و سیمکان و غیره می باشد که به ترتیب زلزله هایی به بزرگی ۷/۸، ۷/۶، ۷/۴، ۷/۳، ۶/۷، ۶/۷، ۶/۷، ۶/۴، ۶/۴ و در نهایت ۵/۹ ریشتر تولید می کنند. با توجه به تون لرزه زایی گسل ها، ماکزیمم زمین لرزه محتمل در گستره برابر  $Ms=7/8$  درجه ریشتر برای گسل بختگان برآورد و انتخاب گردیده است.

جدول ۳- برآورد پتانسیل لرزه زایی به روشهای مختلف

ردیف	نام گسل	طول گسل Km	برآورد پتانسیل لرزه زایی گسلها به روش های مختلف		
			B, M & L	M-A & N	T
۱	بختگان	۲۸۰	۷/۸	۷/۸	۸/۱
۲	کره بس	۱۶۰	۷/۶	۷/۶	۷/۹
۳	باختری لار	۱۰۰	۷/۵	۷/۴	۷/۷
۴	سروستان	۹۰	۷/۴	۷/۳	۷/۶
۵	خرده گسل گرم	۲۰	۷/۰	۶/۷	۷/۰
۶	خرده گسل تنگ روئین	۱۰	۶/۹	۶/۷	۶/۹
۷	خرده گسل سیمکان	۱۰	۶/۷	۶/۶	۶/۷
۸	خرده گسل جنوب دشت قیر	۱۰	۶/۷	۶/۴	۶/۷
۹	خرده گسل دره سیاه	۱۰	۶/۷	۶/۴	۶/۷
۱۰	خرده گسل کرد کره بس	۱۰	۶/۷	۶/۴	۶/۷
۱۱	خرده گسل افروز	۳/۵	۶/۷	۵/۹	۶/۲

بر پایه این محاسبات بیشینه شتاب افقی حرکت زمین برای زمین لرزه ای به بزرگی  $Ms = 7/5$  ریشتر و ژرفای کانونی ۱۳/۵ کیلومتر بر طبق رابطه Esteva معادل ۲۶۳/۳۴ سانتیمتر بر مجذور ثانیه و براساس رابطه دونوان Donvan برابر ۴۴۳/۳۱ سانتیمتر بر مجذور ثانیه برآورد شده است.

میانگین دو محاسبه فوق الذکر معادل ۳۵۳/۳۲ سانتیمتر بر مجذور ثانیه یا ۳۵ درصد شتاب ثقل زمین می باشد که به عنوان شتاب افقی گستره طرح پیشنهاد می گردد.

با توجه به اینکه شتاب قائم در حدود ۳۹ درصد ماکزیمم شتاب افقی می باشد بر پایه آن و از رابطه آمبرسیز، ماکزیمم شتاب قائم ناشی از زمین لرزه فوق الذکر برابر ۱۳ درصد شتاب ثقل زمین می باشد.

### روش تحلیل M.C.E

همانطور که می دانیم شکستگی های پوسته زمین (گسل ها) بعنوان زون های کم مقاومت در برابر نیروهای زمین ساختی تلقی می گردد و امکان ایجاد لرزش ها در روی و امتداد آنها نیز وجود دارد.

بررسی گسل ها و شناخت خصوصیات ژئومتری آنها اهمیت زیادی دارد بطوریکه از روی سیستم گسل ها می توان مکان های ایجاد زلزله، میزان انرژی آزاد شده، بزرگی زلزله، میزان جابه جایی احتمالی و محل های با خطر لرزه زایی بالا را شناسایی و محاسبه کرد.

برای ارزیابی ماکزیمم زمین لرزه محتمل چندین روش آماری و تحلیلی وجود دارد که توسط محققان مختلفی ارائه شده است.

روش های فوق الذکر براساس ارتباط بین بزرگی زلزله و گسل های کلیدی شناسایی شده در هر منطقه استوار می باشد. به همین سبب با مشخص کردن نوع، طول، عرض، جا به جایی و توزیع مراکز بیرونی زلزله در امتداد آنها، می توان بزرگترین زمین لرزه محتمل را برآورد کرد. از آنجا که توان لرزه زایی گسل ها با درازای شکسته شده و جا به جا شده آن در پیوند است، رابطه مستقیمی میان توان لرزه زایی و در ازای بخش مستقیم گسل های کوتاه تر وجود دارد. آنچه روشن است

## برآورد بیشینه شتاب حرکت زمین ناشی از توان لرزه های

### گسل ها به روش تملیلی

به منظور بررسی بیشینه شتاب افقی حرکت زمین در ساختگاه طرح، به روش تحلیلی و با در نظر گرفتن توان لرزه زایی گسل ها، کلیه منشأهای خطی لرزه زا در گستره طرح شناسایی شدند و با کمک گرفتن از روابط تجربی ارائه شده توسط محققان مانند Mc.Guire, Donovan, Esteva & Villiaverde پارامتر مذکور برآورد گردید که محاسبه و نتایج حاصل در جدول ۴ تنظیم گردیده است.

یادآور می گردد که ژرفای کانونی زمین لرزه در پیوند با گسل ها برابر ۱۳/۵ کیلومتر انتخاب گردیده است زیرا کمتر از ۱۰ درصد زمین لرزه های قرن حاضر در گستره مورد مطالعه در این ژرفا روی داده اند. همانطور که در جدول ۴ دیده می شود خرده گسل دره سیاه به علت نزدیکی به ساختگاه سد بیشترین شتاب محتمل را ایجاد خواهد کرد. و میانگین مجموع شتاب های حاصل از سه رابطه موجود برای خرده گسل دره سیاه برابر ۲۹۸ سانتیمتر بر مجذور ثانیه می باشد.

## برآورد بیشینه سرعت حرکت زمین ناشی از توان لرزه زایی

### گسل ها به روش تملیلی

جهت بررسی بیشینه سرعت به روش تحلیلی بزرگی محتمل زمین لرزه در پیوند با گسل های عمده گستره مورد مطالعه قرار داده و با استفاده از روابط تجربی گوناگون بیشینه سرعت محتمل حرکت

زمین در ساختگاه سد، محاسبه و نتایج آن در (جدول ۵) تنظیم گردیده است.

بر اساس جدول بیشینه سرعت (Maximum Velocity) ناشی از پتانسیل لرزه زایی گسل ها به وسیله روابط تجربی مختلف مانند: Esteva & Villiaverde, Orphal & Lahoud, Mc.Guire پاسخ مناسب تری برخوردار هستند و میزان سرعت ناشی از خرده گسل دره سیاه بعلاوه نزدیکی به سد، بیشترین سرعت محتمل را در ساختگاه سد ایجاد خواهد کرد. بنابراین بیشینه سرعت محتمل بر سد بر پایه روابط E&V برای خرده گسل دره سیاه برابر ۴۵ سانتیمتر بر ثانیه برآورد گردیده است.

## برآورد بیشینه جا به جایی حرکت زمین ناشی از توان لرزه

### زایی گسل ها به روش تملیلی

به منظور بررسی بیشینه تغییر مکان حرکت زمین در ساختگاه سد، از گسل های عمده لرزه زایی منطقه با بزرگی محتمل استفاده شده و از رابطه Mc.Guire یاری جسته و بیشینه محتمل جا به جایی حرکت زمین در ساختگاه سد محاسبه و نتایج آن برای لرزش های محتمل گسل های کره بس، سروستان، بختگان، باختری لار-خرده گسل تنگ روئین خرده گسل گرم، خرده گسل های دره سیاه (جدول ۶) تنظیم گردید. همانطور که ملاحظه می گردد بیشترین تغییر مکان مربوط به گسل کره بس با توان لرزه زایی ۷/۶ می باشد و مقدار آن حدود ۱۷ سانتیمتر می باشد.

جدول ۵- برآورد بیشینه سرعت محتمل حرکت زمین در ساختگاه

سد سلمان فارسی

نام گسل	بزرگی محتمل زمین لرزه (Ms)	فاصله کانونی (R)	برآورد بیشینه سرعت محتمل با روابط تجربی گوناگون Cm/Sec		
			Mc.G	O & L	E & V
بختگان	۷/۸	۱۰۰	۲۲	۱۷	۲۱
کره بس	۷/۶	۴۱	۴۰	۴۴	۵۰
باختری لار	۷/۴	۱۰۰	۱۵	۱۰	۱۴
سروستان	۷/۳	۵۶	۲۴	۲۰	۲۶
خرده گسل گرم (فار)	۶/۷	۱۸	۲۹	۴۵	۴۳
خرده گسل تنگ روئین	۶/۶	۲۲	۲۴	۳۱	۳۳
خرده گسل دره سیاه	۶/۴	۱۰	۲۸	۷۰	*۴۵

جدول ۴- برآورد بیشینه شتاب حرکتی زمین بر اساس توان لرزه ای

گسل های گستره

نام گسل	بزرگی محتمل زمین لرزه (Ms)	فاصله کانونی کیلومتر (R)	برآورد بیشینه شتاب محتمل با روابط تجربی گوناگون Cm/Sec <sup>2</sup>		
			D	Mc.G	E & V
بختگان	۷/۸	۱۰۰	۹۰	۱۳۰	۱۴۷
کره بس	۷/۶	۴۱	۱۹۱	۲۶۲	۳۷۲
باختری لار	۷/۴	۱۰۰	۷۴	۱۰۰	۱۰۶
سروستان	۷/۳	۵۶	۱۲۵	۱۶۶	۲۰۸
خرده گسل گرم	۶/۷	۱۸	۲۱۴	۲۵۸	۳۵۳
خرده گسل تنگ روئین	۶/۶	۲۲	۱۸۱	۱۱۳	۲۷۹
خرده گسل دره سیاه	۶/۴	۱۰	۲۴۲	۲۷۸	۳۷۴

جدول ۶- برآورد بیشینه جابه جایی حرکت زمین به روش تحلیلی

نام گسل	کره بس	سروستان	بختگان	باختری لار	خرده گسل تنگ روئین	خرده گسل گرم	خرده گسل دره سیاه
میزان جابه جایی براساس رابطه Mc.G	۱۶/۶	۱۰/۷	۱۷/۹	۷/۶	۱۷/۵	۱۳	۱۲/۲

## ۶- نتیجه گیری

با بررسی ها و مطالعاتی که انجام گرفته و به وسیله روش های تحلیلی و آماری برآوردهای خطر زلزله در ساختگاه سد سلمان فارسی ارائه شد منجر به نتایج زیر گردید:

بیشینه زمین لرزه محتمل (M.C.E) در ساختگاه سد سلمان فارسی بر پایه روش تحلیلی برای گسل بختگان معادل  $M_s=7/8$  ریشتر می باشد.

بیشینه شتاب محتمل (M.C.E) در ساختگاه سد سلمان فارسی برای خرده گسل دره سیاه برابر ۲۹۸ سانتیمتر بر مجذور ثانیه برآورد گردید. بیشینه سرعت محتمل در ساختگاه سد سلمان فارسی جهت خرده گسل دره سیاه معادل ۴۵ سانتیمتر بر ثانیه محاسبه شده است.

بیشینه تغییر مکان و جابه جایی در ساختگاه سد سلمان فارسی برای گسل کره بس حدود ۱۷ سانتیمتر برآورد گردیده است.

زمین لرزه های مبنای طرح بر پایه این بررسی دارای بزرگی  $M_s=7/5$  ریشتر می باشد.

شتاب افقی به روش احتمالی (D.B.E) معادل  $353/32$  سانتیمتر بر مجذور ثانیه برآورد گردیده است که برابر ۳۵ درصد شتاب ثقل زمین می باشد.

شتاب قائم به روش احتمالی (D.B.E) معادل ۱۳ درصد شتاب ثقل زمین می باشد.

## مراجع

فریدونی، و.، ۱۳۹۳. نشریه شماره ۴۲۴-الف. وزارت نیرو، معاونت امور آب و آبفا. گودرزی، خ.، ۱۳۵۱. منطقه بندی زلزله خیزی ایران قسمت اول شیراز. نشریه تحقیقاتی زمین و فضا، جلد دوم سال اول.

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۰. نقشه پهنه بندی خطر نسبی زمین لرزه در ایران. گزارش تحقیقی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

موسی صاحبی، م.، ۱۳۹۲. فلسفه طراحی لرزه ای بر اساس عملکرد. دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران.

وتر، م. ق.، مجتهدی، ح.، علی دوست، گ. و شیرخان، م.، ۱۳۹۰. تهیه طیف طرح ویژه ساختگاه سد بتنی قوس وزنی سلمان فارسی (قبر) به روش آماری. ششمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران.

**Baker, C., Jackson, J. & Priestley, K., 1993.** Earthquakes on the Kazerun line in the Zagros Mountains of Iran: Strike-slip faulting within a fold and- thrust belt. *Geophys. J. Int.*, 115, 41- 61.

**Berberian, M., 1976c.** Contribution to the Seismotectonics of Iran. (Part II). *Geological Survey of Iran.*

**Blance, E. J. P., Allen, M. B., Inger, S. & Hassani, H., 2003.** Structural Styles in the Zagros Simple Folded zone, Iran. *J. Geol. Soc. London.*, 160, 401-412.

**Cornell, C. A., 1968.** Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 58, 1583-1606.

**DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F. & Stein, S., 1994.** Effects of recent revisions to the geomagnetic time scale on estimates of current plate motions. *Geophys. Res. Lett.*, 21(20), 2191-2194.

**Falcon, N. L., 1974.** Southern Iran: Zagros Mountains, in Mesozoic-Cenozoic Orogenic Belts, Data for Orogenic Studies. ed. Spencer, A.M., *Geol. Soc. Spec. Pub.*, London.

**Jackson, J. A. & McKenzie, D. P., 1984.** Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, 77(1), 185-264.

**Jackson, J. A. & Fitch, T. J., 1979.** Seismotectonic implications of relocated aftershock sequences in Iran and Turkey. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, 57, 209-229.

**Jackson, J. A., Fitch, T. J. & McKenzie, D. P., 1981.** Active thrusting and the evolution of the Zagros fold belt, Thrust and Nappe Tectonics. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 9K. R. McClay, N. J. Price, 371-379.

**Maggi, A., Jackson, J., Priestley, K. & Baker, C., 2000a.** A reassessment of focal depth distributions in southern Iran, the Tien Shan and northern India: Do earthquakes really occur in the continental mantle?. *Geophys. J. Int.*, 143, 629- 661.

**Maggi, A., Jackson, J., Priestley, K. and Baker, C., 2000b.** A re- assessment of focal depth reappraisal of earthquake focal mechanism and active shortening in the

آقاباتی، س.، ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران. انتشارات وزارت صنایع و معادن.

آرین، م.، ۱۳۸۱. طراحی پایدار سازه های ویژه در برابر خطر زمین لرزه. پیام علوم پایه، شماره ۶. ج.

آل رسول، س.، روشنی باویلی، ب.، و عبداللهی، ر.، ۱۳۸۷. بررسی شاخص های دینامیکی ساختمانهای فولادی. اولین کنفرانس بین المللی مقاوم سازی لرزه ای، تبریز.

برگی، خ.، ۱۳۷۳. اصول مهندسی زلزله. انتشارات دانشگاه - تهران، انتشارات ماجد، صفحات ۴۴ و ۴۸.

پورکرمانی، م. و آرین، م.، ۱۳۷۶. ساینموتکتونیک، لرزه زمین ساخت. انتشارات شرکت مهندسی مشاور دز آب.



- Zagros mountains in Iran. *Geophys. J. Int.*, 156, 506-526.
- McGuire, R.K., 2000.** Probabilistic seismic hazard analysis and design earthquakes: Closing the loop. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 85, No. 5, pp. 1275-1284.
- Mirzaei, N., Gao, M. & Chen, Y. T., 1998.** Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: major seismotectonic provinces. *J. Earthquake Pred. Res.*, 7, 465-495.
- Ni, J. & Barazangi, M., 1986.** Seismotectonics of the Zagros continental collision zone and a comparison with Himalaya. *J. Geophys. Res.*, 91, 8205-8218.
- Reiter, L., 1990.** Earthquake hazard analysis: issues and insights. *Columbia University Press, New York.*
- Robertson, A. H. F., 2000.** Mesozoic-Tertiary tectonic-sedimentary evolution of a Tethyan oceanic basin and its margins in southern Turkey. in tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area. *Geol. Soc. Spec. Pub.*, 173, 97-138.
- Talebian, M. & Jackson, J.A., 2002.** Offset on the Main Recent Fault of NW Iran and implications for late Cenozoic tectonics of the Arabia- Eurasia collision zone. *Geophys. J. Int.*, 150, 422-439.
- Tartar, M., Hatzfield, D., Martinod, J., Walpersdorf, A., Ghafori-Ashtiany, M. and Chery, J., 2002.** the present-day deformation of the Central Zagros from GPS measurements. *Geophysics. Research Letters*, 29(19), 1927, doi: 10.1029/2002GL015427.
- Tatar, M., Hatzfeld, D., Moradi, A.S., Paul, A., Farahbod, M., Mokhtari, M 2004.** Aftershocks study of the 26 December 2003 Bam Earthquake. *JSEE* 5, 23- 31.
- Zare M., Bard, P-Y., Ghafory-Ashtiany, M., 1999.** Site Characterizations for the Iranian Strong Motion network, *Journal of Soil Dynamics and Earthquake engineering*. 18, no.2, 101- 123.