

## تحلیل خطر زمین لرزه در ساختگاه سد دورودزن با استفاده از رهیافت‌های تعینی و احتمالی

علی نقی دهقان<sup>۱</sup> و دکتر فریدون رضایی<sup>۲</sup>

### چکیده

با توجه به اهمیت ایمنی سازه‌های حیاتی که سدها یکی از آنها به شمار می‌آید و قرارگیری سد دورودزن در منطقه‌ای با پتانسیل لرزه خیزی بالا لازم است تا ایمنی طرح در مقابل خطر زمین لرزه تامین گردد. در این مقاله روشهای آنالیز خطر زمین لرزه شامل روشهای تعینی و احتمالی مورد استفاده واقع شده است. با توجه به اینکه گستره مورد مطالعه ساختگاه سد دورودزن در منطقه لرزه زمین ساخت زاگرس قرار دارد ویژگی‌های لرزه زمین ساختی این منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. پارامترهای لرزه خیزی نرخ رویداد سالیانه برای منطقه‌های لرزه زمین ساخت در برگیرنده گستره طرح، تعیین شده و با استفاده از مدل سرچشمه‌های خطی، نقطه‌ای و ناحیه‌ای، پارامترهای جنبش نیرومند زمین (بیشینه شتاب افقی و قائم) برحسب دوره بازگشت رویداد به روش احتمالی و تعینی برای سطوح مختلف لرزه‌ای برآورد شده است که میزان شتاب بدست آمده از روش تعینی بیشتر از روش احتمالی می‌باشد. در نتیجه، مقادیر بدست آمده از هر دو روش، خطر پایین زمین لرزه را در ساختگاه سد دورودزن نشان می‌دهند.

**کلید واژه‌ها:** تحلیل خطر زمین لرزه، روش‌های احتمالی و تعینی، سد دورودزن، لرزه زمین ساخت، بیشینه شتاب افقی، بیشینه شتاب قائم

## Earthquake Hazard Analysis of Dorudzan Dam Using Deterministic and Probabilistic Approaches

Ali Naghi Dehghan and Dr. Fereydoon Rezaie

### Abstract

According to safety of the important structures such as dams are vital. The Dorudzan dam is located in the seismotectonics province of Zagros. Due to high potential seismicity of the Zagros, design safety is vital. In this regard, we used deterministic and probabilistic approaches for earthquake hazard analysis. Moreover, the seismotectonic characteristics of Zagros determined carefully. Earthquake-fault hazard, both by probabilistic and deterministic approaches were analyzed, and the PGA (maximum of vertical and horizontal accelerations) are presented. The results show low seismic hazard in the Dorudzan dam site based on data is presented in both ways.

**Keywords:** Earthquake Hazard Analysis, Deterministic and Probabilistic Approaches, Dorudzan Dam, Seismotectonics, Maximum of Vertical and Horizontal Accelerations

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی و عضو باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران a.dehghan@srbiau.ac.ir

۲- عضو هیئت علمی پژوهشکده علوم زمین ایران rezaie8@yahoo.fr

## مقدمه

مطالعات تحلیل خطر زمین لرزه به منظور برآورد دقیق پارامترهای جنبش نیرومند زمین در طراحی ایمن لرزه‌ای و ارزیابی خطر پذیری (Risk) سازه و شریانه‌های حیاتی از نظر پی آمده‌های اجتماعی، اقتصادی، خسارات ناشی از زمین لرزه دارای اهمیت بسیار می‌باشد. جنبش نیرومند زمین بر حسب پارامترهای مختلفی نظیر بیشینه مقادیر شتاب جنبش زمین (PGA) یا سرعت و تغییر مکان، طیف پاسخ شتاب یا طیف فوریه و تاریخچه زمانی شتاب (شتابنگاشت‌ها) تعریف و از نظر مهندسی معنی دار می‌گردد (Bender and Perkims, 1987). از بین روش‌های تحلیل خطر زمین لرزه در جهان از روش‌های تعیینی (Deterministic Approach) و احتمالی (Probabilistic Approach) استفاده شده است (Ambraseys et al. 2005).

در روش تعیینی ترکیبی از بزرگای زمین لرزه و فاصله مرکز زمین لرزه تا ساختگاه فرضی که مطابق با زمین ساخت منطقه باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای برآورد ویژگی‌های جنبش زمین از روابط میرای مناسب استفاده می‌شود (Ambraseys et al. 2005). در روش احتمالی داده‌های زمین لرزه‌های به وقوع پیوسته به منظور تعیین ویژگی‌های لرزه خیزی گستره مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش مدل چشمه‌های مختلف لرزه‌ای شامل چشمه‌های نقطه‌ای، خطی و ناحیه‌ای در نظر گرفته شده است (Ambraseys et al. 2005).

این مقاله به منظور بررسی لرزه خیزی و آنالیز خطر زمین لرزه سد دورودزن تهیه گردیده است. ساختگاه سد در مختصات جغرافیایی ۳۰/۲۱۳ درجه عرض شمالی و ۵۲/۴۱۸ درجه طول خاوری، در حدود ۵۵ کیلومتری شمال شیراز واقع شده است. نتایج حاصل از این آنالیز می‌تواند در کنترل پایداری و تجهیزات وابسته به آن در برابر زمین لرزه مورد استفاده قرار گیرد. مطالعاتی که در این پژوهش جهت تعیین میزان حرکت زمین بر اثر رویداد زمین لرزه انجام شده است به قرار زیر می‌باشد:

۱- شناسایی سرچشمه‌های لرزه‌زا (خطی و ناحیه‌ای نقطه‌ای).

۲- بررسی پارامتر لرزه خیزی و برآورد نرخ رویداد زمین لرزه برای بزرگای مختلف زمین لرزه در منطقه‌های لرزه زمین ساخت گستره طرح.

۳- آنالیز خطر زمین لرزه به روش‌های احتمالی و تعیینی بر پایه سرچشمه‌های مختلف لرزه‌زا.

۴- معرفی بیشینه شتاب جنبش برای سطوح مختلف طراحی.

این سطوح عبارتند از: DBE (زمین لرزه سطح طراحی)، MDE (بیشینه زمین لرزه سطح طراحی) و MCE (بیشینه زمین لرزه باورکردنی)، که توسط روش‌های مختلفی بدست می‌آید.

#### ۱- انتخاب مدل کاهیدگی جنبش نیرومند زمین:

به منظور برآورد پارامترهای جنبش زمین مناسبترین راهکار بکارگیری روابط کاهیدگی

زمین لرزه های کم عمق رویداده در پوسته تقسیم بندی می شود که روابط کاهیدگی زیادی نیز برای آن معرفی شده است. لذا استفاده از روابط تجربی برای تخمین پارامترهای جنبش نیرومند زمین مناسب ترین راه کار و روش مورد انتخاب برای این طرح می باشد. بر این اساس از آخرین روابط کاهیدگی تجربی ارائه شده توسط کمپل و بزرگ نیا (Campbell and Bozorgnia, 1994) و آمبرسیز و همکاران (Ambraseys et al. 2005) استفاده شده که برای مناطق پوسته ای کم عمق و فعال زمین ساختی سراسر دنیا ارائه شده و دارای ویژگی های فراوانی می باشد.

## ۲- لرزه زمین ساخت:

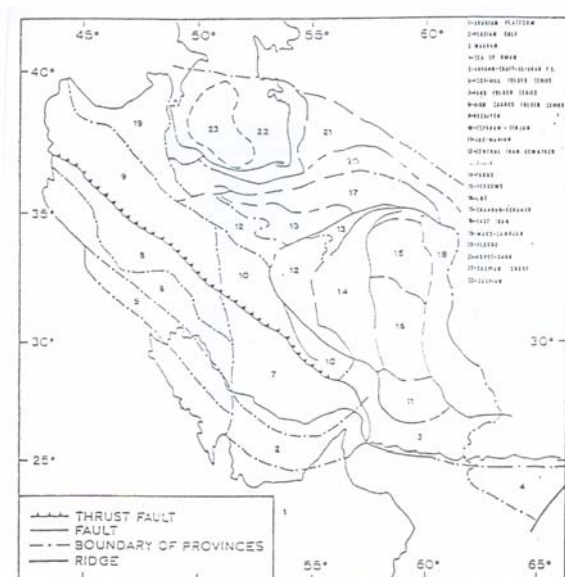
### ۲-۱ منطقه های لرزه زمین ساخت گستره طرح:

فلات ایران از نظر لرزه خیزی و ساختارهای زمین شناسی ناهمگن بوده و از الگوی پیچیده ای پیروی می نماید و از سوی پژوهشگران چندی مورد تقسیم بندی زمین ساختی و لرزه زمین ساختی قرار گرفته است. این تقسیم بندی ها تفاوت چندی از لحاظ تعداد منطقه ها مورد استفاده در تقسیم بندی نشان می دهند که الزاماً باید با توجه به هدف مورد نظر ساختگاه در دست مطالعه از تقسیم بندی مناسب استفاده نمود. منطقه لرزه زمین ساخت زاگرس (Berberian, 1976) توسط گسل کازرون به دو بخش جنوب شرقی - شمال غربی تقسیم

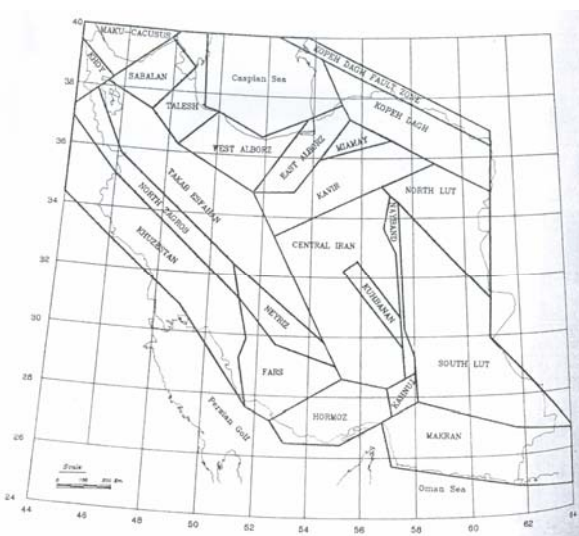
(Attenuation Relationship) می باشد که مشخص کننده میزان کاهش انرژی و دامنه جنبش زمین نسبت به فاصله از چشمه مورد نظر می باشد. این روابط پارامترهای جنبش نیرومند زمین را به توان لرزه زایی یک گسل و فاصله ساختگاه از آن گسل مرتبط می سازد که به این طریق محاسبه پارامترهای مورد نظر میسر می شود (Ambraseys et al. 2005, Kampbell and Bozorgnia, 1994).

بطور کلی روابط کاهیدگی به دو صورت نظری (با استفاده از مدل های لرزه زمین ساختی) و تجربی (با انجام مطالعات آماری بر روی بانک شتابنگاشتی ثبت شده از زمین لرزه های واقعی) بدست می آیند (Campbell, 1981, Slemmons, 1982, Reiter, 1990). روابط کاهیدگی توابعی هستند که پارامتر جنبش نیرومند زمین (نظیر بیشینه مقدار شتاب یا طیف پاسخ شتاب) را به متغیرهایی که وابسته به رویداد یک زمین لرزه هستند، مرتبط می سازند (Hadley et al. 1982). این متغیرها به سه عامل اساسی خصوصیات چشمه (نظیر بزرگا یا سازوکار گسل و غیره)، مسیر عبور امواج (خصوصیات طبیعی زمین که باعث کاهیدگی امواج لرزه ای در طول مسیر از کانون زمین لرزه به محل ثبت آن میسر می شود) و شرایط زمین شناسی ساختگاه (سنگی، خاکی یا آبرفتی) بستگی دارند (Berberian, 1981, Berberian, 1976, Blume, 1959).

بر اساس طبقه بندی های انجام شده برای سراسر جهان، لرزه خیزی در فلات ایران و گستره مورد مطالعه در گروه ناحیه زمین ساختی فعال و همراه با



شکل ۱- منطقه‌های مختلف لرزه زمین ساختی ایران بر اساس مدل نوروزی (۱۹۷۶)



شکل ۲- منطقه‌های لرزه زمین ساختی فلات ایران بر اساس مدل نوگل (۱۹۹۴)

## ۲-۲ لرزه زمین ساخت ناحیه ساختگاه سد دورودزن:

ساختگاه سد دورودزن در منطقه زمین ساختی زاگرس قرار دارد. بزرگترین زمین لرزه های روی داده در این منطقه زمین لرزه ۱۰ آوریل ۱۹۷۲ قیر با

می شود. که در این تحقیق هر بخش به عنوان یک منطقه لرزه زمین ساخت در نظر گرفته شده است. منطقه لرزه زمین ساخت زاگرس جنوب شرقی، مرزهای این منطقه حاصل راندگی اصلی زاگرس در شمال شرق و گسل زندان در شرق، محور خلیج فارس در جنوب و خطواره کازرون در سوی غربی خود تعریف می شود. این منطقه سری چین خورده فارس می باشد (شکل ۱). در این منطقه هیچگونه پیوند روشنی میان لرزه‌ها و ساخت‌های روی زمین دیده نمی شود لذا می توان علت آن را در وجود لایه های پلاستیک هرمز و لایه های شکل پذیر دیگری مانند گچساران در این دانست. از ویژگی های با اهمیت این منطقه می توان از رویداد زمین لرزه ها با ژرفای اندک و احتمال ناچیز رسیدن شکستگی ها به سطح زمین، سازوکار چیره رانده برای زمین لرزه های این منطقه و توزیع زمین لرزه ها در نواری منحنی با تقعر به سمت شمال شرق نام برد. بر مبنای تقسیم بندی نوروزی (۱۹۷۶)، (مستخرج از کتاب زمین شناسی ایران، درویش زاده، ۱۳۸۲) ساختگاه سد دورودزن در منطقه لرزه زمین ساختی جنوب شرقی و بر مبنای تقسیم بندی نوگل (۱۹۹۴) در منطقه لرزه زمین ساخت نیریز واقع شده است (شکل ۲). بر پایه روندهای ساختاری مثل محور چین ها و امتداد گسلها این منطقه دارای روند ساختاری چیره شمال غرب- جنوب شرق می باشد. حل های صفحه گسلی درون این منطقه عموماً روند زاگرس و سازوکار چیره رانده را نشان می دهد.

$M_b$  و  $M_s$ ، تعیین پارامتر (b)، رابطه گوتنبرگ-ریشتر و بررسی لرزه خیزی منطقه می‌باشد.

### ۳-۱ رابطه بزرگی $M_b$ و $M_s$ :

به منظور تکمیل لیست زمین لرزه‌های گستره مورد مطالعه، استفاده از یک رابطه مناسب که بزرگی حاصل از امواج سطحی ( $M_s$ ) و بزرگی حاصل از امواج درونی ( $M_b$ ) را همبسته کند، ضروری است. داده‌هایی که از زمین لرزه‌های قرن حاضر در دو منطقه لرزه زمین ساخت نیریز و فارس در اختیار قرار دارد، همبستگی مناسبی را بین دو نوع بزرگی  $M_b$  و  $M_s$  ایجاد نمود این رابطه بصورت زیر می‌باشد (Reiter, 1990, Kampbell and Bozorgnia, 1994, Ambraseys et al. 2005):

$$M_s = 1.2M_b - 1.31 \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه فوق، خطای محاسبات برای هر بزرگای  $\pm 0.3$  در نظر گرفته شده است. شکل (۳) نتایج بدست آمده را نشان می‌دهد. با بهره‌گیری از رابطه (۱) لیست زمین لرزه‌های گستره مورد مطالعه تکمیل شده و در آنالیز خطر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$M_s = 6/9$  و زمین لرزه ۲۱ مارس ۱۹۷۷ خورگو با  $M_s = 7$  می‌باشد. مطالعه پیشینه لرزه خیزی نشان می‌دهد که در هزاره اخیر گستره پیرامون ساختگاه نسبت به نواحی اطراف خود از تراز لرزه خیزی پایین تری برخوردار بوده و بیشتر این زمین لرزه‌ها در غرب و جنوب غرب گستره، اطراف گسل قطر-کازرون با بزرگای متفاوت رخ داده است. سازوکار چیره زمین لرزه احتمالی مربوط به چشمه‌های خطی لرزه زا در گستره ساختگاه بصورت رانده می‌باشد و در ناحیه اطراف گسل قطر-کازرون با سازوکار چیره راستالغز راستگرد می‌باشد. ژرفای کانونی زمین لرزه‌ها بر اساس مطالعات (Ni and Barbazangi, 1986) کم و بین ۶-۱۲ کیلومتر پیشنهاد می‌گردد. ژرفای پی سنگی مغناطیسی در محدوده ساختگاه بیش از ۶ کیلومتر و ستبرای پوسته بین ۵۲-۵۴ کیلومتر می‌باشد. مهمترین چشمه‌های لرزه‌ای خطی موجود در این گستره از دیدگاه پدید آوردن جنبش‌های نیرومند و با اهمیت در ساختگاه راندگی دره باد و گسل قلاتون می‌باشد و از گسل‌های بنیادی می‌توان به گسل کازرون-قطر در جنوب غرب و راندگی اصلی زاگرس در شمال شرق ساختگاه اشاره نمود.

### ۳- ویژگی‌های لرزه خیزی گستره مورد مطالعه:

مطالعه ویژگی‌های لرزه خیزی گستره شامل بررسی ژرفای کانونی زمین لرزه‌ها، رابطه بزرگی

گوتنبرگ- ریشتر در گستره مورد مطالعه بصورت رابطه زیر (۲) بدست آمده است ( Reiter, 1990, Kampbell and Bozorgnia, 1994, Ambraseys et al. 2005):

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{LOG NC} = 5.67 - 0.83M$$

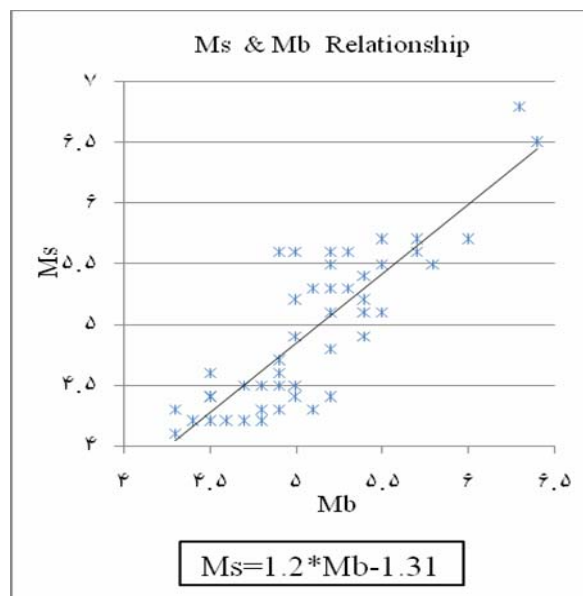
ضریب انطباق  $r = -0.98$  می‌باشد. در رابطه فوق خطای جذر میانگین مربعات (RMS) برای هر بزرگا  $\pm 0.3$  در نظر گرفته شده است.

جدول (۱) دوره بازگشت رویداد زمین لرزه را برای بزرگای گوناگون و با استفاده از رابطه فوق الذکر نشان می‌دهد. بر اساس این جدول زمین لرزه‌ای با بزرگای  $M = 7/2$  دارای دوره بازگشت ۲۰۰ سال می‌باشد.

جدول ۱- دوره بازگشت زمین لرزه‌ها برای بزرگای مختلف در

گستره صد و پنجاه کیلومتری پیرامون ساختگاه سد دورودزن

Return Period	Magnitude	Return Period	Magnitude
۱	۴/۵	۲۱	۶/۱
۲	۴/۸	۲۲	۶/۱
۳	۵	۲۳	۶/۱
۴	۵/۲	۲۴	۶/۱
۵	۵/۳	۲۵	۶/۲
۶	۵/۴	۵۰	۶/۵
۷	۵/۵	۷۵	۶/۷
۸	۵/۶	۱۰۰	۶/۹
۹	۵/۷	۱۲۵	۷
۱۰	۵/۷	۱۵۰	۷/۱
۱۱	۵/۸	۱۷۵	۷/۲
۱۲	۵/۸	۲۰۰	۷/۲
۱۳	۵/۸	۳۰۰	۷/۴
۱۴	۵/۹	۴۰۰	۷/۶
۱۵	۵/۹	۵۰۰	۷/۷
۱۶	۶	۶۰۰	۷/۸
۱۷	۶	۷۰۰	۷/۹
۱۸	۶	۸۰۰	۸
۱۹	۶	۹۰۰	۸
۲۰	۶	۱۰۰۰	>۸



شکل ۳- بررسی رابطه خطی مابین بزرگای Ms و Mb بر مبنای زمین لرزه‌های قرن حاضر در دو منطقه لرزه زمین ساخت نیریز و فارس.

### ۲-۳ فراوانی زمین لرزه‌ها:

بررسی فراوانی زمین لرزه‌های یک گستره می‌تواند توسط رابطه گوتنبرگ - ریشتر انجام پذیرد. این رابطه به شکل  $\text{Log NC} = a - bM$  است که به صورت نمایی نیز ارائه می‌گردد. رابطه گوتنبرگ- ریشتر در شکل نمایی به صورت  $\text{NC} = \alpha \text{EXP}(-\beta M)$  می‌باشد ( Reiter, 1990, Kampbell and Bozorgnia, 1994, Ambraseys et al. 2005). NC تعداد تجمعی زمین لرزه‌ها، M بزرگی و  $\alpha$  و  $\beta$  ضرائب فرمول می‌باشد. از آنجایی که تعیین پارامتر  $\beta$  (b) در آنالیز خطر زمین لرزه‌ها اهمیت به سزایی دارد، برای تعیین آن از روش‌های متعددی استفاده شده است.

### ۱-۲-۳ روش کمترین مربعات:

ضرائب رابطه خطی گوتنبرگ- ریشتر توسط روش کمترین مربعات قابل محاسبه می‌باشد. بر اساس داده‌های موجود از زمین لرزه‌هایی که در سده بیستم و در گستره مورد مطالعه روی داده اند، رابطه

## ۳-۲-۲ روش تخمین احتمال بیشینه:

محاسبه گردید. قبل از بکارگیری این روش سعی گردید که نسبت به حذف پس لرزه اقدام و شرط پواسونی بودن اعداد یا به عبارتی مستقل بودن زمین لرزه‌ها از یکدیگر بکار گرفته شود و پس از انتخاب زمین لرزه‌ها نسبت به اجرای روش تخمین احتمال بیشینه اقدام گردد. جداول (۲ و ۳) نتایج حاصل از این بررسی را نشان می‌دهد. در مورد بکار گرفتن زمین لرزه‌های تاریخی این دو منطقه سعی گردید که بهترین انتخاب صورت گیرد، لذا این محاسبات با در نظر گرفتن زمین لرزه‌های تاریخی و دستگامی گزارش شده انجام گرفت.

جدول ۲- دوره بازگشت، نرخ رویداد سالیانه و احتمال عدم رویداد برای بازه‌های زمانی ۱، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ سال برحسب بزرگای در ایالت لرزه زمین ساخت فارس.

Ms	LAMBDA	Return Period (year)	Improbability			
			T=1	T=50	T=100	T=1000
۴/۵	۰/۸۷	۱	۰/۴۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۴/۶	۰/۶۹	۱	۰/۴۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۴/۷	۰/۵۵	۲	۰/۵۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۴/۸	۰/۴۴	۲	۰/۶۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۴/۹	۰/۳۵	۳	۰/۷۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۵/۰	۰/۲۸	۴	۰/۷۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۵/۱	۰/۲۲	۵	۰/۸۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۵/۲	۰/۱۷	۶	۰/۸۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۵/۳	۰/۱۴	۷	۰/۸۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۵/۴	۰/۱۱	۹	۰/۸۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۵/۵	۰/۰۸	۱۱	۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰
۵/۶	۰/۰۷	۱۴	۰/۹۳	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰
۵/۷	۰/۰۵	۱۸	۰/۹۴	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰
۵/۸	۰/۰۴	۲۳	۰/۹۵	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۰۰
۵/۹	۰/۰۳	۲۹	۰/۹۶	۰/۱۷	۰/۰۳	۰/۰۰
۶/۰	۰/۰۲	۳۶	۰/۹۷	۰/۲۵	۰/۰۶	۰/۰۰

روش دیگری که جهت برآورد دوره بازگشت زمین لرزه بکار می‌رود، روش تخمین احتمال بیشینه است که نتایج دقیقتری را در اختیار قرار می‌دهد. برآورد دوره بازگشت زمین لرزه توسط این روش با استفاده از یک تابع توزیع تجمعی انجام می‌شود. یکی از توابعی که کاربرد وسیعی در مطالعات دوره بازگشت زمین لرزه داشته تابع توزیع تجمعی دو کرانه گوتنبرگ- ریشتر است (Reiter, 1990).

در این روش فواصل زمانی که بزرگترین زمین لرزه‌ها در آن فواصل انتخاب می‌شود، می‌تواند متغیر باشد. این مورد موجب اجتناب از حذف بعضی از زمین لرزه‌های بزرگ می‌شود. در این روش می‌توان علاوه بر زمین لرزه‌های سده بیستم از زمین لرزه‌های تاریخی نیز استفاده کرد. در این برآورد زمین لرزه‌های تاریخی (Ambraseys and Mellville, 1982) گزارش شده در نظر گرفته شد. بزرگای این زمین لرزه‌ها بعلاوه اینکه اساساً از دقت بالایی برخوردار نمی‌باشد با خطای  $\pm 0.3$  واحد بزرگای به حساب آمده است. بخش عمده گستره طرح در برگیرنده دو منطقه لرزه زمین ساخت نیریز و فارس می‌باشد. لیکن محل ساختگاه در منطقه لرزه زمین ساخت نیریز قرار دارد و بنابراین مشخصه‌های لرزه خیزی این منطقه می‌توانند اثراتی را بر محل ساختگاه مورد نظر داشته باشد. بر اساس روش تخمین احتمال بیشینه محاسبات برای هر دو منطقه و به طور جداگانه بررسی گردیده و پارامتر  $\beta$

۶/۴	۰/۰۰	۴۲۸۸	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۶
۶/۵	۰/۰۰	۶۲۹۴	۰/۹۹	۹۹۲۱ ۰/	۰/۹۸	۰/۸۵
۶/۶	۰/۰۰	۵۹۵	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۰
۶/۷	۰/۰۰	۱۵۴۰۳	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۳
۶/۸	۰/۰۰	۲۷۸۷۲	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۶
۶/۹	۰/۰۰	۶۵۰۳۴	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸

جدول ذیل (جدول ۴)، دوره بازگشت زمین لرزه‌ها را برای تعدادی از بزرگ‌ها در دو منطقه لرزه زمین ساخت فارس و نیریز نشان می‌دهد.

جدول ۴- دوره بازگشت زمین لرزه‌ها برای دو منطقه لرزه زمین ساخت فارس و نیریز

منطقه لرزه زمین ساخت	Ms ۶/۸	Ms ۰/۷	Ms ۷/۲	Ms ۷/۴	Ms ۷/۶
فارس	۳۱۶	۶۹۲	>۱۰۰۰	>۱۰۰۰	>۱۰۰۰
نیریز	>۱۰۰۰	>۱۰۰۰	>۱۰۰۰	>۱۰۰۰	>۱۰۰۰

همانطور که مشاهده می‌شود براساس مدل لرزه زمین ساخت نوگل، (۱۹۹۴) منطقه لرزه زمین ساخت نیریز که ساختگاه مورد نظر را در بر دارد، منطقه‌ای است نسبتاً آرام و در گذشته، توان لرزه خیزی آن کمتر از منطقه‌های لرزه زمین ساختی مجاور بوده است.

۴- آنالیز خطر زمین لرزه به روش احتمالی:  
۴-۱ تئوری اصلی (مدل احتمالی) در مدل کردن سرچشمه‌های مختلف لرزه‌زا:  
مدل احتمالی اصلی که در آنالیز خطر زمین لرزه استفاده می‌شود عبارت است از ترکیب‌های ممکن

۶/۱	۰/۰۲	۳۶	۰/۹۷	۰/۳۳	۰/۱۱	۰/۰۰
۶/۲	۰/۰۱	۵۹	۰/۹۸	۰/۴۳	۰/۱۸	۰/۰۰
۶/۳	۰/۰۱	۷۶	۰/۹۸	۰/۵۱	۰/۲۶	۰/۰۰
۶/۴	۰/۰۱	۹۹	۰/۹۸	۰/۶۰	۰/۳۶	۰/۰۰
۶/۵	۰/۰۰	۱۲۹	۰/۹۹	۰/۶۷	۰/۴۵	۰/۰۰
۶/۶	۰/۰۰	۱۷۰	۰/۹۹	۰/۷۴	۰/۵۵	۰/۰۰
۶/۷	۰/۰۰	۲۲۹	۰/۹۹	۰/۸۰	۰/۶۴	۰/۰۱
۶/۸	۰/۰۰	۳۱۶	۰/۹۹	۰/۸۵	۰/۷۲	۰/۰۴
۶/۹	۰/۰۰	۴۵۳	۰/۹۹	۰/۸۹	۰/۸۰	۰/۱۱
۷/۰	۰/۰۰	۶۹۳	۰/۹۹	۰/۹۳	۰/۸۶	۰/۲۳
۷/۱	۰/۰۰	۱۱۹۷	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۴۳
۷/۲	۰/۰۰	۲۸۴۸	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۷۰

جدول ۳- دوره بازگشت، نرخ رویداد سالانه و احتمال عدم رویداد برای بازه‌های زمانی ۱، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ سال برحسب بزرگ‌ها در ایالت لرزه زمین ساخت نیریز.

Ms	LAMBDA	Return Period (year)	Improbability			
			T=1	T=50	T=100	T=1000
۴/۵	۰/۱۱	۸	۰/۸۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۴/۶	۰/۰۸	۱۲	۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰
۴/۷	۰/۰۶	۱۶	۰/۹۳	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰
۴/۸	۰/۰۴	۲۲	۰/۹۵	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۰۰
۴/۹	۰/۰۳	۳۰	۰/۹۶	۰/۱۹	۰/۰۳	۰/۰۰
۵/۰	۰/۰۲	۴۲	۰/۹۷	۰/۳۰	۰/۰۹	۰/۰۰
۵/۱	۰/۰۱	۵۸	۰/۹۸	۰/۴۱	۰/۱۷	۰/۰۰
۵/۲	۰/۰۱	۷۹	۰/۹۸	۰/۵۳	۰/۲۸	۰/۰۰
۵/۳	۰/۰۰	۱۰۹	۰/۹۹	۰/۶۳	۰/۴۰	۰/۰۰
۵/۴	۰/۰۰	۱۵۱	۰/۹۹	۰/۷۱	۰/۵۱	۰/۰۰
۵/۵	۰/۰۰	۲۰۸	۰/۹۹	۰/۷۸	۰/۶۱	۰/۰۰
۵/۶	۰/۰۰	۲۸۷	۰/۹۹	۰/۸۴	۰/۷۰	۰/۰۳
۵/۷	۰/۰۰	۳۹۶	۰/۹۹	۰/۸۸	۰/۷۷	۰/۰۸
۵/۸	۰/۰۰	۵۴۹	۰/۹۹	۰/۹۱	۰/۸۳	۰/۱۶
۵/۹	۰/۰۰	۷۶۲	۰/۹۹	۰/۹۳	۰/۸۷	۰/۲۶
۶/۰	۰/۰۰	۱۰۶۱	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۳۸
۶/۱	۰/۰۰	۱۴۸۶	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۵۰
۶/۲	۰/۰۰	۲۰۹۰	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۶۱
۶/۳	۰/۰۰	۲۹۷۱	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۷۱



هستند که جنبش آنها تاثیر تعیین کننده‌ای بر ساختگاه ایجاد می‌کنند. جدول (۵) احتمال عدم رویداد بیشینه شتاب افقی و قائم در محل ساختگاه را نسبت به دوره بازگشت رویدادها نشان می‌دهد. نتایج حاصل برای دو دوره بازگشت بشرح ذیل (جدول ۶)، می‌باشد:

جدول ۵- بیشینه شتاب افقی و قائم حرکت زمین در ساختگاه

PGA (V)	PGA (h)	RP	P (Y>y)
۰/۰۶	۰/۱۱	۲۵	۰/۰۴
۰/۰۸	۰/۱۵	۵۰	۰/۰۲
۰/۱۰	۰/۱۷	۷۵	۰/۰۱
۰/۱۱	۰/۱۹	۱۰۰	۰/۰۱
۰/۱۳	۰/۲۱	۱۵۰	۰/۰۰
۰/۱۵	۰/۲۳	۲۰۰	۰/۰۰
۰/۱۷	۰/۲۶	۳۰۰	۰/۰۰
۰/۱۹	۰/۲۹	۵۰۰	۰/۰۰
۰/۲۱	۰/۳۲	۷۰۰	۰/۰۰
۰/۲۴	۰/۳۴	۱۰۰۰	۰/۰۰
۰/۲۷	۰/۳۸	۱۵۰۰	۰/۰۰
۰/۲۹	۰/۴۰	۲۰۰۰	۰/۰۰
۰/۳۲	۰/۴۳	۳۰۰۰	۰/۰۰
۰/۳۶	۰/۴۸	۵۰۰۰	۰/۰۰
۰/۳۹	۰/۵۱	۷۰۰۰	۰/۰۰
۰/۴۲	۰/۵۴	۱۰۰۰۰	۰/۰۰

جدول ۶- بیشینه شتاب افقی و قائم برای دو دوره بازگشت

دوره بازگشت (سال)	بیشینه شتاب قائم (G)	بیشینه شتاب میانگین افقی (G)
۱۰۰	۰/۱۲	۰/۱۹
۲۰۰	۰/۱۵	۰/۲۴
۵۰۰	۰/۲۰	۰/۳۰
۱۰۰۰	۰/۲۴	۰/۳۵
۲۰۰۰	۰/۲۹	۰/۴۰

بزرگا و فاصله چشمه زمین لرزه تا ساختگاه مورد مطالعه بطوریکه پارامتر جنبش زمین یا طیف پاسخ Y (در پیرو مشخص) از مقداری مانند آن (y) در ساختگاه بیشتر شود. هدف اصلی بدست آوردن احتمال سالیانه  $P(Y>y)$  با ترکیب‌های ممکن بزرگی و فاصله زمین لرزه تا ساختگاه است. در مدل احتمالی دو فرض کلیدی بشرح ذیل وجود دارد:

الف- زمین لرزه‌ها به لحاظ توزیع فضایی مستقل هستند بدین معنی که مکان رویداد یک زمین لرزه وابسته به مکان رویداد زمین لرزه نیست.  
ب- بزرگی و مکان یک زمین لرزه مستقل از هم می‌باشد بدین معنی که رابطه‌ای بین مکان یک زمین لرزه و بزرگی آن (و برعکس) وجود ندارد.  
رویداد زمین لرزه‌ها را می‌توان به چشمه‌های لرزه‌ای معینی محدود کرد و بر این اساس می‌توان مدل چشمه‌های نقطه‌ای، چشمه‌های خطی (گسلها) و در حالی که لرزه خیزی را نتوان به ساختار زمین شناسی معینی نسبت داد مدل چشمه‌های ناحیه‌ای در نظر گرفت.

۲-۴ برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین با بکارگیری مدل سرچشمه‌های خطی لرزه‌زا:

به منظور برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین در ساختگاه سد دورودزن توسط مدل سرچشمه‌های خطی لرزه‌زا از نرم افزار کامپیوتری (SHAZAP) استفاده شده است. شکل (۴) نمایانگر گسله‌هایی است که بصورت خطی مدل شده است. گسله‌های گستره ۱۵۰ کیلومتری ساختگاه مهمترین گسله‌هایی

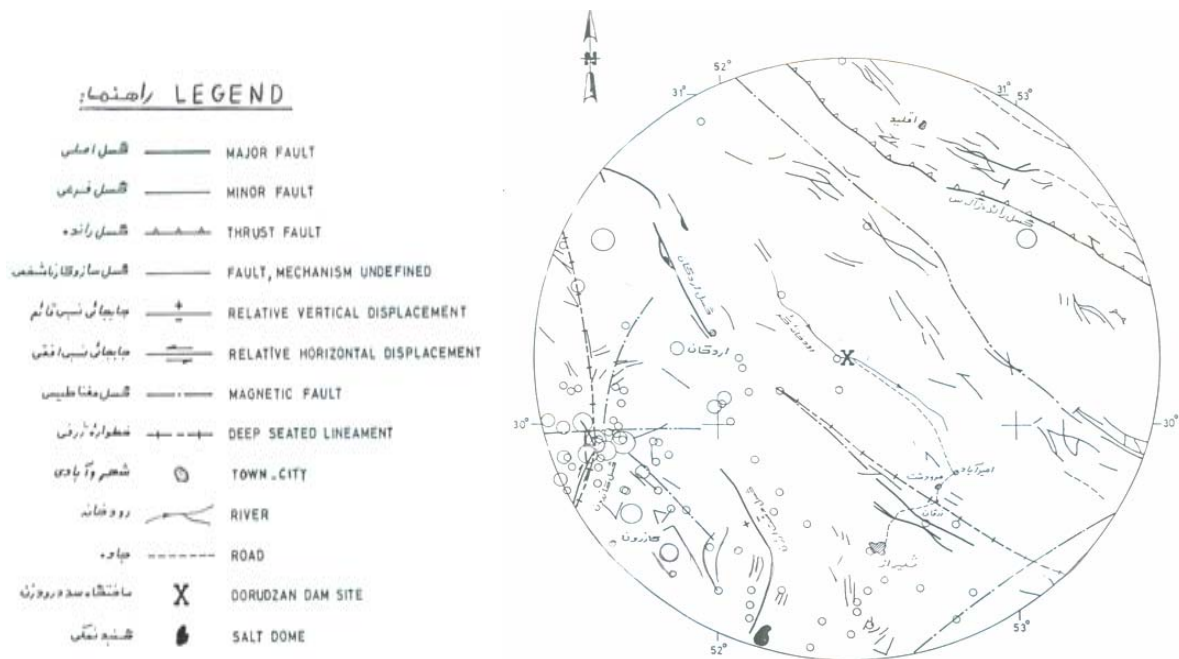
۵-۱ بیشینه پارامترهای جنبش باورکردنی به روش تعینی:

به منظور برآورد بیشینه شتاب افقی قابل انتظار در ساختگاه سد دورودزن اثر توان لرزه زایی گسلهایی که در جدول (۶) گیری روابط کمپیل (۱۹۹۰) بیشینه شتاب افقی (HPGA) و بیشینه شتاب قائم (HPGA) حرکت زمین را در ساختگاه سد دورودزن و برای مقادیر میان (۰/۵۰) و (۰/۸۴) محاسبه و نتایج در جدول (۶) منعکس شده است. بیشینه شتاب افقی قابل انتظار در اثر لرزه زایی مجدد گسل قلاتون می باشد که می توان حداکثر مقادیر شتاب افقی  $A=0.29-0.35g$  با احتمال ۵۰٪ و مقادیر  $A=0.43-0.53g$  را با احتمال ۸۴٪ در محل سد انتظار داشت. حداکثر توان لرزه زایی این گسل  $Ms=6-6.4$  و بر حسب اینکه ۵۰ تا ۱۰۰ درصد طول گسل شکسته شود، برآورد شده است. ضمناً فرض شده که این زمین لرزه در عمق ۱۰ کیلومتری بوقوع می پیوندد. جدول (۶) نشان دهنده مهمترین چشمه های خطی لرزه زا هستند که جنبش آنها تاثیر قابل توجهی در محل ساختگاه دارد.

پارامترهای جنبش زمین برای سطح DBE با دوره بازگشت ۲۰۰ سال و برای سطح MDE با دوره بازگشت ۵۰۰ سال انتخاب شده اند. این سطوح برای MCE برابر ۲۰۰۰ سال انتخاب شده است. در این تجزیه و تحلیل زمین لرزه شناور با بزرگای ۶/۹ در نظر گرفته شده است.

۵- آنالیز خطر زمین لرزه به روش تعینی یا تحلیلی:

با توجه به این که شکستگی های پوسته زمین به عنوان مناطق کم مقاومت در برابر نیروهای زمین ساختی تلقی می گردند و امکان ایجاد لرزشها در روی امتداد آنها وجود دارد، سعی گردیده است که توان لرزه زایی گسل ها را در پیوند با طول آنها بیابیم. در این پروژه به منظور بررسی توان لرزه زایی گسله ها از روابط مابین طول شکست و بزرگای زمین لرزه استفاده شده است. موقعیت گسلهای عمده ای که در گستره طرح قرار گرفته اند در شکل (۴) نشان داده شده اند. در جدول (۶) نام گسل ها، طول و توان لرزه زایی آنها نشان داده شده است. بطوریکه مشاهده شده است بیشترین توان لرزه زایی مربوط به بخشی از گسل اردکان می باشد که قادر است زمین لرزه ای با بزرگای  $Ms=6.7-7$  ایجاد نماید.



شکل ۴- نقشه لرزه زمین ساخت گستره به شعاع صد و پنجاه کیلومتر پیرامون ساختگاه سد دورودزن

#### ۶- برآورد نهایی پارامترهای جنبش زمین بر اثر زمین لرزه در ساختگاه سد دورودزن:

در قسمت های مختلف این تحقیق، به منظور مطالعات مربوط به برآورد خطر زمین لرزه برای ساختگاه از روشهای مختلفی استفاده شد تا بتوان مناسبترین پارامترهای جنبش زمین شامل بیشینه شتاب و همچنین طیف پاسخ مناسب همخوان با سطح مختلف طراحی DBE، MDE، MCE و معرفی شود. انتخاب صحیح این پارامترها در طراحی سازه از نظر پایداری و مسائل اقتصادی دارای نقش مهمی می باشد.

جدول ۶- نام گسلها عمده گستره طرح، طول، حداقل فاصله، پتانسیل لرزه خیزی و بیشینه پارامترهای قابل انتظار حرکت زمین در ساختگاه سد دورودزن

ردیف	نام گسل	طول گسل L(km)	طول گسیختگی LR=0.37Lf	Ms	Mw 0.91Ln LR+3.66	حداقل فاصله تا سایت	HPGA(g)	VPGA (g)
۱	کربلاغ و پلنگی	>۴۳	>۱۶	۲-۶/۲	۶/۱۸	۲۵/۲	۰/۱۵-۰/۱۹	۰/۱-۰/۱۲
۲	دره باد	۱۲	۴/۵	۶-۶/۳	۵/۰۲	۱۳	۰/۱۲-۰/۲۱	۰/۱-۰/۱۲
۳	F2	۸	۳	۵-۶/۱	۴/۶۵	۲۰	۰/۱-۰/۱۲	۰/۰۶-۰/۰۲
۴	F3	۶/۵	۲/۴	۵/۶-۶	۴/۴۵	۱۶	۰/۱-۰/۱۴	۰/۰۶-۰/۰۸
۵	دشتک	۶	۲/۲	۴-۶/۴	۴/۳۷	۲/۵	۰/۱۸-۰/۲۲	۰/۱-۰/۱۳
۶	قلاتون	۱۵	۵/۵	۵-۶/۱	۵/۳۱	۰	۰/۲۵-۰/۲۹	۰/۱۸-۰/۲۳
۷	F1	۸/۵	۳/۱	۵/۸-۶	۴/۶۸	۲۸/۵	۰/۰۲-۰/۰۹	۰/۰۴-۰/۰۵
۸	دشت بکان	۹/۵	۳/۵	۵-۸-۶	۴/۸۰	۲۵	۰/۰۸-۰/۱	۰/۰۵-۰/۰۶
۹	زرگران	۸/۵	۳/۱	۵/۸-۶	۴/۶۸	۲۴	۰/۰۸-۰/۱	۰/۰۵-۰/۰۶
۱۰	امامزاده فخرالدین	۸	۳	۵/۲-۶	۴/۶۵	۲۲	۰/۰۹-۰/۱	۰/۰۵-۰/۰۲
۱۱	اردکان	۴۲	۱۵/۵	۶-۶/۲	۶/۱۵	۴۵	۰/۰۲-۰/۱	۰/۰۵-۰/۰۶
۱۲	چشمه خون	۲/۵	۰/۹	۵-۶/۱	۳/۵۶	۲۱/۵	۰/۰۹-۰/۱۲	۰/۰۵-۰/۰۲
۱۳	ضرابی	۶/۵	۲/۵	۵/۶-۶	۴/۴۹	۲۱	۰/۰۹-۰/۱	۰/۰۵-۰/۰۶

افقی مبنا و با رعایت استانداردهای معتبر جهانی از جمله (ICOLD) مقادیر زیر به عنوان بیشینه شتاب جنبش زمین در ساختگاه سد دورودزن پیشنهاد می گردد (جدول ۷).

جدول ۷- نتایج حاصل از برآورد بیشینه شتاب بوسیله روشهای گوناگون

روش های مورد استفاده		شتاب (g)	
		افقی	قائم
روش تعیینی (MCE)	۵۰٪ احتمال رویداد	۰/۲۹-۰/۳۵	۰/۱۸-۰/۲۳
	۸۴٪ احتمال رویداد	۰/۴۳-۰/۵۳	۰/۳۰-۰/۳۸
روش احتمالی (DBE)		۰/۲۴	۰/۱۵
مدل سرچشمه های (MDE)		۰/۳۰	۰/۲۰
لرزه زا (MCE)		۰/۴۰	۰/۲۹

شتاب های افقی فوق الذکر با توجه به اینکه در هیچ حال از دو سوم شتاب مندرج در آئین نامه (استاندارد ۲۸۰۰) کمتر نمی باشد می تواند ملاک طراحی قرار گیرد. مقادیری که برای بیشینه شتاب افقی و قائم زمین (جنبش نیرومند زمین) از طریق

## ۶-۱ معرفی بیشینه شتاب جنبش زمین برای سطوح مختلف طراحی:

نتایج حاصل از برآورد بیشینه شتاب جنبش زمین به روش های گوناگون در جدول ذیل آورده شده است. لازم به ذکر است که در این مقاله با توجه به تعاریف بیان شده و همچنین عمر مفید و اهمیت ساختگاه مورد نظر دوره های بازگشت با توجه به احتمال رویداد مناسب برای سطوح مختلف طراحی به صورت زیر تعریف شده اند:

سطوح مختلف طراحی در مقابل خطر زمین لرزه	دوره بازگشت به سال
DBE	۲۰۰
MDE	۵۰۰
MCE	>۲۰۰۰

## ۷- نتیجه گیری

نهایتاً با بررسی کلیه نتایج، ضمن رعایت ضابطه مندرج در استاندارد ۲۸۰۰ از نظر حداقل شتاب

- important installation near active faults. Procc. Third World Conf. On Eq. Engr. (New Zealand), IV-53.
- Campbell, K.W. 1990., Rock Ground Motion for the Diablo Canyon Plant site, San Luis Obispo Country, California, Report Prepared for Lowrence Livermore National Laboratory by Dames and Moore, (Job No.10805-476-166).
  - Campbell, K.W. 1981, Near Source attenuation of peak horzintal acceleration, Bulletin of the Sesmological Society of America, 71, 2039- 2070.
  - Kampbell, K.W. and Bozorgnia, Y. 1994., Near-Source attenuation of peak horzintal acceleration from worldwide accelerograms recorded from 1957 to 1993, proceeding. Fifth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute, Berkley, California, Vol. 1.pp. 283-292.
  - Hadley, D.M., et al., 1982. Peak acceleration sealing studies, Bulletin of the seismological Society of American, N. 72, pp. 959-979.
  - Ni, J. and Barazangi, M., 1986. Seismotectonics of Zagros Continental Collision Zone and a Comparision with Himalayas, Jour, of Geop. Res. Vol. 91 / No. B8, pp. 185-267.
  - Nogol-Sadat M.A., 1994., Seismotectonic Map of Iran. Teritise on the Geology of Iran, Geol. Sur. 1:1000,000 Scale.
  - Reiter, L., 1990. Earthqueke Hazard Analysis-Issues and Insights, Columbia University Press, New York, 254 pp.
  - Slemmons, D.B., 1982. Relationship between total fault length surface rupture length and maximum displacement and earthquake magnitude, abstract Earthquake Note 53, 66.
- روشهای احتمالی و تعینی (PGA) تعیین گردیدند (مطابق جدول ۷)، نشان دهنده پایین بودن خطر زمین لرزه در ساختگاه سد دورودزن می‌باشد. اگر چه نمی توان از طریق PGA به پاسخ دینامیکی سازه‌ها پی برد ولی می‌توان توان لرزه زایی یک زمین لرزه را پیش بینی کرد. آنچه که مشخص است شتاب بدست آمده از روش تعینی بیشتر از روش احتمالی می‌باشد. در هر صورت از هر دو روش مقادیر بدست آمده خطر پایین را نشان می‌دهند.
- منابع**
- درویش زاده، ع. ۱۳۸۲، زمین شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، ۹۰۱ صفحه.
  - Ambraseys, N.N. and Mellville, C.P. 1982., A history of Persion Earthquakes, Camb, Earth, Sci, Ser.
  - Ambraseys, N.N, Douglas, J, Sarma, S.K. and Smit ,P.M. 2005., Equation for the Estimation of Strong Ground Motions from Shallow Crustal Earthquakes Using Data from Europe and the Middle East. Vertical Peak Ground Acceleration and Spectral Acceleration. Bulletin of Earthquake Engineering. 55-77.
  - Bender, B. and Perkims, D.M., 1987. SELSRISK III, A Computer Program for Seismic Hazard Estimation, US Geological Survery, Bulletin No 1772.
  - Berberian, M. 1981. Active faulting and tectonics of Iran Zagros Hindukush Himalaya Geodynamic Evaluation American Geophysial Union. Washington DC. Geodyn. Ser. Vol 1.3.
  - Berberian, M. 1976. Contribution to the Seismotctonic of Iran (Part II), Geol. Surv. Iran, 40, 570 p.
  - Blume, J.A., 1959. Earthquake ground motion and engineering procedures for