



بسمه تعالی

تاریخ:

شماره:

پیوست:

شماره کد: FR/EA/۱۳

ویرایش: صفر

فرم شماره ۱۱ - فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه

تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تاییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

خانم: زهرا حسینی رشته زمین شناسی گرایش زیست محیطی

که در تاریخ ۱۳۸۶/۴/۲۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است:

مردود

دفاع مجدد

قبول (با درجه: عالی امتیاز ۱۹.۲۵)

۱- عالی (۱۸-۲۰)

۲- بسیار خوب (۱۶-۱۷/۹۹)

۳- خوب (۱۴-۱۵/۹۹)

۴- قابل قبول (۱۲-۱۳/۹۹)

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	ناصر حافظی مقدس	استادیار	
۲- استاد راهنما	پرویز امیدی	استادیار	
۳- استاد مشاور	غلام جوان دولویی	استادیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	فرج الله فردوست	استادیار	
۵- استاد ممتحن	ایرج پیروز	استادیار	
۶- استاد ممتحن	سید فضل الله ساغروانی	استادیار	

تایید رئیس دانشکده:

دستورالعمل نگارش پایان نامه کارشناسی ارشد

نحوه نگارش پایان نامه

مقدمه :

یکی از اهداف ارائه پایان نامه ، آشنایی دانشجویان گرامی با نحوه نگارش و تنظیم مطالب یک موضوع علمی است. در اینجا تمام نکات لازم را نمی توان بیان کرد، اما برای ایجاد هماهنگی بین پایان نامه ها ، لازم است دانشجویان نکات زیر را در تهیه پایان نامه رعایت نمایند.

یک پایان نامه به ترتیب شامل بخشهای زیر می باشد:

– بسم ...

– تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع (طبق نمونه فرم پیوست - * فقط برای پایان نامه‌ای که به زبان انگلیسی تدوین شده انگلیسی آن الزامی است) .

– درج آئین نامه چاپ – پایان نامه

– صفحه عنوان (طبق فرم پیوست در راهنمای پژوهشی دانشجویان)

– تقدیم (Dedication) (در یک صفحه) در صورت لزوم

– تشکر و قدردانی (Acknowledgements) (در یک صفحه)

– چکیده (Abstract) (حداکثر ۳۰۰ کلمه شامل کلمات کلیدی ، ترجیحاً در یک صفحه)

– فهرست مطالب (Table of Contents)

– فهرست نمودارها، عکسها و نقشه ها (Lists of Figures, Pictures and Maps) (در صورت نیاز)

– فهرست جداول (List of tables) (در صورت نیاز)

– فهرست علائم و نشانه ها (Abbreviations) (در صورت نیاز)

– متن اصلی پایان نامه که شامل قسمتهای زیر می باشد: (گروههای تخصصی با توجه به نیاز خود میتوانند در بند ۳ جزئیات بیشتری را اعمال کنند).

۱- مقدمه (Introduction)

۲- مروری بر مطالعات انجام شده (Literature Review)

۳- فصلهای مربوط به کار اصل تحقیق (در صورت نیاز)

۴- بحث (Discussion) نتایج (Results) ، و پیشنهادات (Suggestions)

۵- فهرست منابع و ماخذ (References)

۶- ضمائم (در صورت نیاز)

۷- چکیده به انگلیسی (الزامی است) : چکیده انگلیسی باید تا حد امکان ترجمه چکیده فارسی و شامل کلمات کلیدی باشد .

۸- صفحه عنوان انگلیسی (الزامی است – طبق فرم پیوست)

- اهداف و موارد بررسی شده باید مورد توجه قرار گیرد.

- تاکید روی اطلاعات تازه (یافته ها) و اصطلاحات جدید یا نظریه ها ، فرضیه ها ، نتایج و پیشنهادات متمرکز شود.

- اگر در پایان نامه روشی نوینی برای اولین بار ارائه می شود و تا به حال معمول نبوده است ، با جزئیات بیشتری ذکر شود.

شایان ذکر است چکیده باید حتماً به تائید استاد راهنما رسیده باشد.

۵ - فهرستها

بعد از چکیده پایان نامه به ترتیب فهرست مطالب ، فهرست علائم و نشانه ها ، فهرست جداول ، فهرست اسکال و سایر فهرستها قرار می گیرند. در فهرست مطالب صفحات اولیه پایان نامه (تقدیر ، تقدیم ، چکیده و ...) با شماره گذاری حرفی ذکر شود. فهرست مطالب شامل فهرستهای جداول ، اشکال ، علائم اختصاری ، عناوین فصول و بخشها و زیر بخشهای هر فصل پایان نامه با ذکر شروع شماره صفحه و عنوان مربوطه می باشد. عناوین ذکر شده در فهرست مطالب باید عیناً با عناوین خود متن مطابقت کند : (برای مثال شماره گذاری ، نقطه گذاری ، با حروف بزرگ نوشتن) . بعبارت دیگر فهرست عناوین باید کاملاً همانند عناوین در داخل متن اصلی باشد.

- در فهرست ها بین دو عنوان پشت سر هم باید فاصله بیشتر باشد که دو عنوان را از یکدیگر متمایز کند ولی برای یک عنوان که بیش از یک خط است باید فاصله معمولی بکار برده شود و شماره صفحه در خط دوم ذکر شود.

- برای جلوگیری از خطای چشم بین عنوان و شماره صفحه آن در فهرست مطالب نقطه چین تایپ شود.

- فهرستهای مطالب ، علائم و نشانه ها ، جداول ، اشکال و سایر فهرستها با حروف ابجد شماره گذاری شود.

- بترتیب مراجع ، ضمائم (در صورت نیاز) و چکیده انگلیسی که بدنبال متن اصلی پایان نامه / رساله قرار میگیرند بصورت تیرتی مجزا از فصول دیگر پایان نامه در فهرست مطالب تایپ میشوند.

۶ - مقدمه

اولین فصل از ساختار اصلی پایان نامه است . هدف از نوشتن مقدمه این است که زمینه اطلاعاتی لازم برای خواننده فراهم آید. در طول مقدمه باید سعی شود موضوع تحقیق با زبانی روشن ، ساده و بطور عمیق و جهت یافته به خواننده معرفی شود. مقدمه باید خواننده را مجذوب و اهمیت موضوع تحقیق را آشکار سازد. در مقدمه یا فصل ۲ با ارائه سوابق ، شواهد تحقیقی ، اطلاعات موجود و مطالعات انجام شده (با ذکر منبع) به روش منظم ، منطقی و هدف دار خواننده را جهت داد و به سوی راه حل مورد نظر هدایت کرد. بالاخره شاید اشاره به نتایج کلی در مقدمه خالی از فایده نباشد. همچنین در مقدمه میتوان به فصول اصلی مربوط به تحقیق حسب نیاز موضوع و نظر ساتاد راهنما اشاره کرد.

مقدمه مناسبترین جا برای ارائه اختصارات و بعضی توضیحات کلی است توضیحاتی که شاید نتوان در مباحث دیگر در مورد آنها توضیح داد.

۷- فصول اصلی مربوط به تحقیق حسب نیاز موضوع و نظر استاد راهنما تنظیم گردد.

در بعضی از فهرست منابع عنوان مقاله ها جزو مشخصات منبع ذکر میگردد در حالی که در بعضی دیگر اشاره ای به عنوان مقاله ها نمی شود.

فهرست منابع میتواند به صورتهای زیر در پایان نامه یا رساله قرار گیرد:

الف - در پایان هر فصل

ب - در آخر پایان نامه

- مشخصات کتاب و مجله ای که برای اولین بار ارائه میشود بایستی بصورت کامل ذکر شود.

- اگر بلافاصله از همان منبع استفاده شود، همان (در انگلیسی *ibid*) ، شماره صفحه ذکر میشود.

- اگر همان منبع با فاصله ارائه شود نام خانوادگی نویسنده (نام و نام خانوادگی) ، پیشین (در انگلیسی *op.cit*) ، شماره صفحه ذکر شود.

- اگر همان منبع با همان جلد ، همان صفحه دوباره ارائه شود فقط می نویسیم نام خانوادگی، نام، همان (در انگلیسی *loc cit*) . بدنبال آن هرگز شماره صفحه یا جلد قرار نمی گیرد.

مثالها :

علاقمند، علی جامعه شناسی آموزش و پرورش ، چاپ دوم ، تهران ، مؤسسه انتشارات بعثت، ۱۳۷۲، صفحه ۳۵.
اشرف ، احمد جامعه شناسی طبقات اجتماعی در آمریکا، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۴۶ ، ۱۴۰-۱۳۲ .
همان ، ص ۱۳۵

علاقمند ، علی ، پیشین ، ص ۸۵

علاقمند، علی ، همان

-Birkeland,P.W.Soils and geomorphology.Oxford University Press, 19984.

- Lattman, L.H. Calcium carbonate cementation of alluvial fans in southern Nevada.Geological Society of America Bulletin,vol.84,1973.pp.3013-3028

ibid. p.3020

Birkeland,P.W. *op.cit*. p.85.

Lattman.L.H. *loc. Cot*

رابطه بین فهرست منابع و متن مربوطه به سه روش زیر رایج است :

الف - بر حسب شماره مسلسل در متن و در فهرست منابع

ب - بر حسب نام نویسنده و سال در متن ، در این حالت باید بر حسب حروف الفبا نویسنده در فهرست منابع قید شوند.

ج - الفبایی و شماره مسلسل در فهرست منابع و شماره ناممسلسل در متن

هر گاه قسمتی از مطالب یک منبع مورد استفاده در بخشی از پایان نامه نقل شود باید آن منبع ذکر گردد. شروع مطالب نقل شده و اتمام آن با علامت () مشخص میگردد و بعد از اتمام مطلب مورد نظر منبع مورد استفاده در داخل کروشه [] به دو صورت مشخص میشود:

الف - شماره منبع

ب - نویسنده و سال

- در فهرست منابع ، نخست منابع فارسی و متعاقباً منابع انگلیسی قرار میگیرند.

شماره گذاری صفحات تا قبل از فصل مقدمه با اعداد به صورت حرفی (یک ، دو ، سه و ...) انجام میشود.
شماره گذاری با اعداد از اولین صفحه « مقدمه » آغاز میشود و تا آخرین صفحه ادامه می یابد. شماره صفحات باید در وسط و چسبیده به قسمت فوقانی حاشیه پایین صفحه درج شود. کلیه صفحات متن اصلی پایان نامه باید شماره گذاری شوند.

ب - شماره گذاری موضوعات

موضوعات اصلی پایان نامه به چند فصل و هر فصل به چند « بخش » تقسیم میشود. صفحه اول هر فصل باید از خط پنجم شروع شود.

هر یک از بخشهای هر فصل با دو شماره که با خط فاصل از یکدیگر جدا شده اند، مشخص میشود. عدد سمت راست بیانگر شماره فصل و عدد سمت چپ شماره ترتیب بخش مورد نظر است. در صورتیکه هر بخش دارای زیر بخش باشد، شماره هر زیر بخش در سمت چپ عدد فوق قرار میگیرد. به عنوان مثال اگر برنامه ریزی پویا دومین زیر بخش از بخش چهارم فصل سوم باشد، بصورت : ۳ - ۴ - ۲ برنامه ریزی پویا نوشته خواهد شد.

ج - شماره گذاری اشکال و جداول

شماره گذاری اشکال و جداول نیز از همان قانون بالا تبعیت می کند بعنوان مثال هفتمین شکل در فصل دوم به صورت (شکل ۲ - ۷ - نمودار تغییرات ...) نوشته میشود. دقت شود شماره گذاری جداول و اشکال مستقل از یکدیگر است.

د - شماره گذاری ضمائم

ضمائم پایان نامه با حروف ابجد نامگذاری میشوند. (ضمیمه الف یا ضمیمه ب) و شماره گذاری صفحات ضمائم به همان ترتیب متن اصلی پایان نامه می باشد. اشکال و جداول موجود در هر ضمیمه نیز با توجه به ضمیمه مربوطه شماره گذاری خواهد شد، به عنوان مثال دومین جدول در ضمیمه الف بصورت زیر نوشته می شود: (جدول الف - ۲)

هـ - شماره گذاری روابط و فرمولها

هر رابطه که در متن باشد با دو شماره که با خط فاصله از یکدیگر جدا میشوند مشخص می شود. عدد سمت راست بیانگر شماره فصل و عدد سمت چپ شماره رابطه مورد نظر است. مثلاً دهمین رابطه در فصل هفتم به صورت (۷ - ۱۰) نوشته میشود. روابطی که در ضمائم آمده است با توجه به حروف ابجد آن ضمیمه ، شماره گذاری میشود. مانند رابطه (الف - ۲)



دانشگاه تهران

دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی

گرایش زیست محیطی

بررسی زلزله های القائی مرتبط با برخی از سدهای

بزرگ ایران (از دیدگاه توسعه پایدار)

نگارش:

زهرا حسینی

اساتید راهنما:

دکتر ناصر حافظی مقدس

دکتر پرویز امیدی

استاد مشاور:

دکتر غلام جوان دولویی

تابستان ۱۳۸۶

تقدیم بہ
دستان یاریگر پدرم

و قلب پر مہر مادرم



لم بیشکر المخلوق لم بیشکر الخالق

«کسی که از مخلوق تشکر نکند از خالق نیز تشکر نمی کند»

تقدیر و تشکر

سپاس خداوند مهربان را که این توفیق را برایم عطا فرمود تا گامی هر چند ناچیز در تهیه این تحقیق بردارم و بتوانم بخش کوچکی از وظیفه خود را نسبت به جامعه علمی و تحقیقاتی کشور عزیزم ادا نمایم. بدیهی است که تلاش حاضر با راهنمایی و مساعدت اساتید بزرگوار آماده شده و به سرانجام رسیده است، اگر نکات مثبتی در این نوشتار به چشم می خورد از لطف و همکاری بزرگوارانی است که در ادامه اسامی برخی از آنها عنوان شده و اگر نقص و کاستی وجود دارد مربوط به اینجانب می باشد. که امید دارم بعد از این فرصتی برای رفع آنها داشته باشم.

آقایان دکتر ناصر حافظی مقدس راهنمایی اول و دکتر پرویز امیدی راهنمایی دوم پایان نامه حاضر را بر عهده داشته اند. آقای دکتر غلام جوان دولویی از پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله نیز به گرمی مسئولیت مشاوره این پایان نامه را پذیرا شدند، و مشاوره های ارزنده ای برای ارتقای سطح علمی این تحقیق ارائه نمودند. اینجانب برای انجام این تحقیق از کمک پرفسور گوپتا (Harsh K. Gupta) استاد محترم مؤسسه ملی تحقیقات ژئوفیزیک هند بهره مند بوده ام. آقایان دکتر پیروز و دکتر ساغروانی زحمت داوری این پایان نامه را بر عهده داشته اند. اساتید گروه زمین شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود بالاخص آقایان دکتر کاظمی، فردوست، رضانی اومالی همیشه نظرات خیرخواهانه ای در جهت بهبود کار داشته اند. آقایان شاه حسینی و دکتر طاهری و سرکار خانم سعیدی زحمات زیادی در رابطه با امور آموزشی متحمل شدند.

جناب آقای مهندس پرویز فتاح وزیر نیرو و جناب آقای مهندس محمد کیافر مدیریت شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس و دکتر سروش مدیری معاونت آب و خاک سازمان حفاظت محیط زیست کشور در ارائه اطلاعات و گزارشات مربوط به سدهای ایران حمایت های شایانی داشته اند. سرکار خانمها مهندس لواسانی و مهندس عشقی از سازمان مدیریت منابع آب وابسته به وزارت نیرو در ارائه داده های تراز آب مربوط به هر سد کمکهای ارزنده ای داشته اند. جناب آقای دکتر نصرالله کمالیان از مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و همکار ایشان آقایان مهندس غلامی از شرکت لرزه نگار پارسیان به لحاظ همکاری در ارائه اطلاعات و داده های لرزه نگاری سدهای کرخه و کارون ۳ و مهندس میرزایی مسئول بخش شتابنگاری سازمان تحقیقات مسکن و شهرسازی در ارائه شتابنگاشتهای تصحیح نشده سدهای سفیدرود و شهید رجایی و مهندس مهدی مسعودی از سازمان انرژی اتمی از هیچ کمکی دریغ ننموده اند. آقایان مهندس پناهی از شرکت مهاب قدس و مهندس مظفری و مهندس زندی از شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران در ارائه گزارشات و نقشه های سدهای کارون ۳ و کرخه از هیچ کمکی فروگذاری ننموده اند.

بایسته است تشکر و قدردانی خود را به کمال تقدیم این عزیزان بنمایم.

از بزرگوارانی دوستان عزیزم سرکار خانمها جعفرزاده، کثیری، شیخی، خاکشور، حاج ملک، حاجی جعفری، محمودی، آرمانپور، محمدپور، عاقل، انصاری، غلامی، نوری و حیدری که همواره مشوق من در مسائل علمی و تحقیقاتی بویژه در زمینه این پژوهش بوده اند، نهایت تشکر را می نمایم. و در نهایت بیش از هر کس لازم می دانم از تشویقها، بردباریها و دلسوزیهای پدر و مادرم و محبت های خواهران عزیزم سرکار خانمها مهندس فاطمه حسینی و مهندس صغری حسینی و برادر بزرگوارم آقای مهندس میر محمود حسینی سپاسگزاری نمایم.

چکیده

پژوهش حاضر، تحت عنوان « بررسی زلزله‌های القائی مرتبط با برخی از سدهای بزرگ ایران (از دیدگاه توسعه پایدار)» به مطالعه تأثیر احداث سد در تغییرات لرزه‌خیزی مناطق پیرامونی آنها می‌پردازد. برای این منظور اطلاعات لرزه‌ای تا شعاع ۶۰ کیلومتری اطراف ۱۵ سد بزرگ ایران تهیه و مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج بدست آمده از این بررسی، وقوع زمین لرزه‌های القائی بلافاصله بعد از آبگیری ۱۵ سد انتخابی مشاهده شده است. بررسی‌های دقیق‌تر بر روی سدهای کرخه و کارون ۳، نشان داد که: (۱) نرخ لرزه‌خیزی در مناطق اطراف سد تا شعاع ۳۰ کیلومتری با آبگیری سدها افزایش یافته است. (۲) لرزه‌خیزی القائی رابطه نزدیکی با زمین شناسی و ساختار منطقه دارد. (۳) کانون سطحی زمین لرزه‌های القائی در اطراف دریاچه و گسل‌های نزدیک مخزن سد قرار می‌گیرند. (۴) به طور کلی عمق کانونی زمین لرزه‌ها بعد از آبگیری سد کاهش یافته و در مورد کرخه، بزرگی زمین لرزه‌ها نیز بعد از آبگیری کاهش نشان می‌دهد. (۵) زمین لرزه‌ها با آبگیری سد شروع شده و با کامل شدن آبگیری و رسیدن تراز آب در دریاچه سد به حد ثابت، فراوانی وقوع رخداد‌های لرزه‌ای هم ثابت می‌گردد. (۶) بررسی تغییرات تراز آب و وقوع زمین لرزه‌ها در سد کرخه نشان می‌دهد که آستانه تغییر تراز آب جهت رخداد لرزه‌ای حدود ۷ متر می‌باشد.

زلزله‌های القائی - سد - سد کرخه - سد کارون ۳

فهرست مطالب

تقدیر و تشکر

چکیده

پیشگفتار

فصل اول

مقدمه

۱-۱-۱- احداث سد در ایران	۱
۱-۲-۱- سد و توسعه پایدار	۵
۱-۳-۱- زمین لرزه‌های القائی سد و تاریخچه آن	۶
۱-۵-۱- روش انجام تحقیق	۱۵
۱-۵-۱- مشخصات سدهای انتخابی	۱۸
۱-۵-۱-۱- مشخصات سد مخزنی کرخه	۱۸
۱-۵-۱-۱-۱- موقعیت جغرافیایی سد مخزنی کرخه	۱۸
۱-۵-۱-۱-۲- شرایط آب و هوایی ساختگاه سد کرخه	۱۸
۱-۵-۱-۱-۳- شرایط زمین شناسی ساختگاه سد کرخه	۱۹
۱-۵-۱-۱-۴- وضعیت نفوذپذیری در منطقه کرخه	۲۰
۱-۵-۲-۱- مشخصات سد مخزنی کارون ۳	۲۳
۱-۵-۲-۱-۱- موقعیت جغرافیایی سد مخزنی کارون ۳	۲۳
۱-۵-۲-۱-۲- شرایط آب و هوایی سد کارون ۳	۲۳
۱-۵-۲-۱-۳- شرایط زمین شناسی ساختگاه سد کارون ۳	۲۳

فصل دوم

زمین لرزه‌های القائی

۱-۲-۱- زمین لرزه‌های القائی	۲۶
۱-۲-۲- زمین لرزه‌های القائی ناشی از سد	۲۸
۱-۳-۲- ویژگی زمین لرزه‌های القائی سد	۳۰
۱-۴-۲- انواع زمین لرزه‌های القا شده از نظر زمان رخداد	۳۱
۱-۴-۲-۱- لرزه‌خیزی سریع	۳۲
۱-۴-۲-۲- لرزه‌خیزی تأخیری	۳۲
۱-۴-۲-۳- لرزه‌خیزی ممتد	۳۳

- ۲-۵- ساز و کار زمین لرزه‌های القائی ۳۳
- ۲-۶- بررسی نقش عوامل مختلف در پیدایش زمین لرزه‌های ناشی از سد ۳۷
- ۲-۶-۱- وضع مخزن سد و سرعت ذخیره آب ۳۷
- ۲-۶-۲- خصوصیات زمین شناختی محل احداث سد ۳۸
- ۲-۶-۲-۱- جنس لایه ها و طبقات زمین شناسی موجود در منطقه ۳۸
- ۲-۶-۲-۲- مقاومت سنگها ۳۸
- ۲-۶-۳- خصوصیات ساختاری محل احداث سد ۴۰
- ۲-۶-۳-۱- استعداد لرزه خیزی منطقه احداث سد ۴۰
- ۲-۶-۳-۲- تأثیر درزها و منافذ در لایه‌های زیر دریاچه ۴۰
- ۲-۶-۳-۳- وجود گسل‌ها و شکستگی‌های متعدد در منطقه احداث سدها ۴۰
- ۲-۶-۳-۱- واکنش انواع گسل‌ها به بار وارده ناشی از دریاچه ۴۲
- ۲-۷- پیامدهای ناشی از زمین لرزه‌های القائی ۴۶

فصل سوم

لرزه زمین ساخت زاگرس

- ۳-۱- واحدهای ریخت زمین ساختی زاگرس ۵۲
- ۳-۲- لرزه خیزی زاگرس ۵۴
- ۳-۳- گسل‌های کوآترنری پیرامون ساختگاه سدهای مورد مطالعه ۵۶
- ۳-۳-۱- سد کرخه ۵۶
- ۳-۳-۲- سد کارون ۳ ۵۸

فصل چهارم

معرفی ایستگاه‌های لرزه نگاری و شتابنگاری و تهیه بانک اطلاعات لرزه‌ای

- ۴-۱- لرزه نگاری در ایران ۶۲
- ۴-۲- شتاب نگاری در ایران ۶۵
- ۴-۳- شبکه‌های لرزه نگاری و شتاب نگاری سدهای مورد مطالعه ۶۶
- ۴-۳-۱- شبکه لرزه نگاری و شتاب نگاری سد کرخه ۶۶
- ۴-۳-۲- شبکه لرزه نگاری و شتاب نگاری سد کارون ۳ ۶۷
- ۴-۵- بانک داده‌های لرزه‌ای ۶۸

فصل پنجم

زمین لرزه‌هایی القائی سدهای ایران

- ۵-۱- مقایسه آماری رخداد‌های القائی ۱۵ سد انتخابی مرحله دوم ۷۰

۷۰	..... تعداد رخدادها	۱-۱-۵
۷۱	..... عمق کانونی و بزرگی رخدادها	۲-۱-۵
۷۲	..... پارامترهای لوزه‌خیزی رخدادها	۳-۱-۵
۷۴	..... موقعیت جغرافیای رخدادهای لوزه‌ای نسبت به محور سد	۴-۱-۵
۷۹	..... مقایسه نرخ وقوع زمین لوزه‌ها در سدهای مورد بررسی	۵-۱-۵
۸۰	..... بررسی رخدادهای لوزه‌ای سد کرخه و کارون ۳	۲-۵
۸۰	..... سد کرخه	۱-۲-۵
۸۰	..... مقدمه	۱-۱-۲-۵
۸۲	..... ارزیابی فراوانی زمین لوزه‌ها بعد از آنگیری	۲-۱-۲-۵
۸۴	..... تغییرات بزرگی زمین لوزه‌ها	۳-۱-۲-۵
۸۵	..... عمق کانونی زمین لوزه‌ها	۴-۱-۲-۵
۸۸	..... پارامتر لوزه‌خیزی β	۵-۱-۲-۵
۸۹	..... تغییر موقعیت کانون سطحی زمین لوزه‌ها	۶-۱-۲-۵
۹۲	..... رابطه بین تغییرات تراز آب و وقوع زمین لوزه‌ها	۷-۱-۲-۵
۹۷	..... سد کارون ۳	۲-۲-۵
۹۷	..... مقدمه	۱-۲-۲-۵
۹۸	..... ارزیابی فراوانی زمین لوزه‌ها بعد از آنگیری	۲-۲-۲-۵
۱۰۰	..... تغییرات بزرگی زمین لوزه‌ها	۳-۲-۲-۵
۱۰۲	..... عمق کانونی زمین لوزه‌ها	۴-۲-۲-۵
۱۰۴	..... عمق پارامترهای لوزه‌خیزی β	۵-۲-۲-۵
۱۰۵	..... تغییر موقعیت کانون سطحی زمین لوزه‌ها	۶-۲-۲-۵
۱۰۸	..... رابطه بین تغییرات تراز آب و وقوع زمین لوزه‌ها	۴-۲-۲-۵
۱۱۱	..... بحث و جمع بندی	۴-۵

فصل ششم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱۱۴	..... خلاصه نتایج	۱-۶
۱۱۶	..... کاربرد حاصل از نتایج	۲-۶
۱۱۶	..... پیشنهادات	۳-۶
۱۱۷	..... منابع	
۱۲۸	..... پیوست	

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- نقشه پراکندگی سدهای کشور در مراحل مختلف طراحی، ساخت و بهره برداری. ۳.....
- شکل ۱-۲- توزیع جهانی تغییرات لرزه خیزی تحریک شده ناشی از مخزن سد. ۹.....
- شکل ۱-۳- مقایسه لرزه خیزی بعد از آبگیری سد سفید رود (منجیل). پیروی زمین لرزه ها از تغییرات سطح آب کاملاً مشخص است. ۱۱.....
- شکل ۱-۴- مقایسه لرزه خیزی بعد از آبگیری سد لتیان. تبعیت زمین لرزه ها از تغییرات سطح آب تقریباً مشخص است. ۱۱.....
- شکل ۱-۵- مقایسه لرزه خیزی بعد از آبگیری سد دز. تبعیت زمین لرزه ها از تغییرات سطح آب تقریباً مشخص است. ۱۲.....
- شکل ۱-۶- مقایسه لرزه خیزی بعد از آبگیری سد زاینده رود. پیروی زمین لرزه ها از تغییرات سطح آب تقریباً مشخص است. ۱۲.....
- شکل ۱-۷- سدهای زنجیره ای در استان خوزستان و موقعیت سدهای کرخه و کارون ۳. ۱۴.....
- شکل ۱-۸- نمودار جریان مطالعات انجام شده. ۱۶.....
- شکل ۱-۹- نقشه زمین شناسی سد و مخزن کرخه. ۱۹.....
- شکل ۱-۱۰- وضعیت نفوذپذیری در لایه های زیر ساختگاه سد. ۲۰.....
- شکل ۱-۱۱- نقشه زمین شناسی منطقه کارون ۳. ۲۳.....
- شکل ۱-۲- گروه های اصلی چشمه های لرزه ای. ۲۵.....
- شکل ۲-۲- نقش افزایش فشار منفذی. ۳۳.....
- شکل ۲-۳- نفوذ آب و گسترش ترک ها و وسیع تر شدن ترک های موئین. ۳۳.....
- شکل ۲-۴- با کاهش تنش نرمال مؤثر دایره مور به سمت چپ حرکت می کند و جابجایی روی می دهد. ۳۴.....
- شکل ۲-۵- طرح شماتیک از چگونگی ایجاد زمین لرزه های القائی ناشی از اثر پر کردن دریاچه پشت سد. ۳۹.....
- شکل ۲-۶- طرح شماتیکی از موقعیت گسل های معکوس فرو رونده به زیر مخزن سد. ۴۰.....
- شکل ۲-۷- ارتباط بین تنش های اصلی و سه نوع گسل (الف) نرمال (ب) راستالغز (د) معکوس. ۴۱.....
- شکل ۲-۸- تغییر محل دایره مور نسبت به پوش گسستگی متأثر از تغییر تنش زمین ساختی در گسل نرمال. ۴۲.....
- شکل ۲-۹- تغییر محل دایره مور نسبت به پوش گسستگی متأثر از تغییر تنش زمین ساختی در گسل امتدادالغز. ۴۳.....
- شکل ۲-۱۰- تغییر محل دایره مور نسبت به پوش گسستگی متأثر از تغییر تنش زمین ساختی در گسل معکوس. ۴۴.....
- شکل ۳-۱- نقشه نمایانگر موقعیت زمین شناسی ایران در منطقه برخوردی عربی - اوراسیا (بخشی از کوهزایی آلپ - هیمالیا). ۴۸.....
- شکل ۳-۲- ساز کار کانونی و زمین لرزه های دستگاهی ایران تا سال ۲۰۰۳. ۴۹.....
- شکل ۳-۳- برش عرضی ساده شده از کمر بند فعال چین خورده - رانده زاگرس به همراه واحد های ریخت زمین ساختی و راندگی های عمیق جدا کننده این واحدها. ۵۱.....
- شکل ۳-۴- عوارض ریخت زمین ساخت اصلی و واحدهای کمر بند چین خورده - رانده زاگرس. ۵۱.....
- شکل ۳-۵- ساز و کار کانونی تعدادی از زمین لرزه های زاگرس در محدوده مورد مطالعه. ۵۳.....
- شکل ۳-۶- نقشه ساختاری منطقه سد کرخه. نزدیکترین گسل به مخزن سد گسل دزفول می باشد. ۵۵.....

- شکل ۳-۷- نقشه ساختاری منطقه سد کارون ۳..... ۵۸
- شکل ۴-۱- موقعیت ایستگاه های لرزه نگاری مؤسسه ژئوفیزیک در ایران. ۶۱
- شکل ۴-۲- شبکه باند پهن لرزه نگاری ایران. ۶۱
- شکل ۴-۳- موقعیت جغرافیایی شتابنگارهای ایران. ۶۴
- شکل ۵-۱- مقایسه تعداد زمین لرزه های ثبت شده در پیرامون ساختگاه سدهای مورد بررسی در بازه زمانی قبل و بعد از آگیری. ۶۹
- شکل ۵-۲- مقایسه متوسط عمق کانونی زمین لرزه های ثبت شده در پیرامون ساختگاه سدهای مورد بررسی در بازه زمانی قبل و بعد از آگیری. ۶۹
- شکل ۵-۳- مقایسه متوسط بزرگی زمین لرزه های ثبت شده در پیرامون ساختگاه سدهای مورد بررسی در بازه زمانی قبل و بعد از آگیری. ۷۰
- شکل ۵-۴- مقایسه مقدار ضریب β زمین لرزه های ثبت شده در پیرامون ساختگاه سدهای مورد بررسی در بازه زمانی قبل و بعد از آگیری. ۷۲
- شکل ۵-۵- موقعیت جغرافیایی رخداد های لرزه ای سدهای مورد مطالعه به شعاع ۶۰ کیلومتری از محور سد. ۷۳
- شکل ۵-۶- مقایسه فراوانی تجمعی سالیانه زمین لرزه های به وقوع پیوسته در شعاع ۶۰ کیلومتری از ساختگاه ۱۵ سد انتخابی. ۷۷
- شکل ۵-۷- مقایسه توزیع سالیانه زمین لرزه ها در بازه های زمانی قبل و بعد از آگیری سد کرخه. ۸۰
- شکل ۵-۸- مقایسه تعداد روزانه زمین لرزه ها در بازه زمانی بعد از آگیری سد. ۸۱
- شکل ۵-۹- نمودار تعداد زمین لرزه ها در بازه های مشخص بزرگی. ۸۲
- شکل ۵-۱۰- نمودار تجمعی زمین لرزه ها بر مبنای بزرگی. ۸۲
- شکل ۵-۱۱- متوسط بزرگی رخداد های لرزه ای به فواصل مختلف از ساختگاه سد در دوره قبل از آگیری و بعد از آگیری. ۸۲
- شکل ۵-۱۲- متوسط بزرگی رخداد های لرزه ای به فواصل مختلف از ساختگاه سد در دوره شروع آگیری و دوره نگهداشت آب در مخزن سد. ۸۲
- شکل ۵-۱۳- توزیع عمقی زمین لرزه ها در شعاع ۳۰ کیلومتری سد کرخه. الف) در مقطع شمالی- جنوبی گذرا از سد. ب) در مقطع شرقی- غربی گذرا از سد. ۸۳
- شکل ۵-۱۴- مهاجرت عمق کانونی رخداد های لرزه ای در فواصل مختلف از سد کرخه. ۸۴
- شکل ۵-۱۵- مقایسه متوسط عمق کانونی رخداد های لرزه ای به فواصل مختلف از ساختگاه سد در دوره قبل از آگیری و بعد از آگیری. ۸۵
- شکل ۵-۱۶- مقایسه متوسط عمق کانونی رخداد های لرزه ای به فواصل مختلف از ساختگاه سد در دوره شروع آگیری و نگهداشت آب در مخزن سد. ۸۵
- شکل ۵-۱۷- نمودار عمق در برابر بزرگی رخداد های لرزه ای واقع شده در ۳۰ کیلومتری محور سد کرخه. ۸۵
- شکل ۵-۱۸- مقایسه وضعیت پارامترهای لرزه خیزی در دوره های زمانی قبل و بعد از آگیری سد در فواصل مختلف از محور سد کرخه. ۸۶
- شکل ۵-۱۹- مقایسه ضریب β در فواصل مختلف از محور سد کرخه که کاهش آنرا با افزایش فاصله از سد نشان می دهد. ۸۷
- شکل ۵-۲۰- موقعیت جغرافیایی رخداد های لرزه ای واقع شده قبل از آگیری و بعد از آگیری در فاصله ۳۰ کیلومتری سد کرخه. ۸۸
- شکل ۵-۲۱- منحنی تجمع کانون سطحی رخداد های لرزه ای واقع شده در بازه های زمانی قبل از آگیری (a) و بعد از آگیری (b) سد کرخه در فاصله ۳۰ کیلومتری سد کرخه. ۸۹

- شکل ۵-۲۲- نمودار توزیع تخلیه انرژی رخدادهای لرزه ای واقع شده قبل از آبگیری (a) و بعد از آبگیری (b) سد کرخه در فاصله ۳۰ کیلومتری از محور سد کرخه. ۸۹
- شکل ۵-۲۳- مقایسه تراز روزانه سطح آب با فراوانی تجمعی تعداد رخدادهای لرزه ای در هر روز در فواصل ۷/۵، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ کیلومتری از ساختگاه سد کرخه. ۹۱
- شکل ۵-۲۴- مقایسه تراز روزانه سطح آب با انرژی تجمعی آزاد شده از رخدادهای لرزه ای در هر روز در فواصل ۷/۵، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ کیلومتری از ساختگاه سد کرخه. ۹۲
- شکل ۵-۲۵- مقایسه مقدار بیشینه زمین لرزه ها با تغییرات تراز آب در سد کرخه در طول دوره آبگیری سد کرخه. ۹۳
- شکل ۵-۲۶- مقایسه مقدار بیشینه زمین لرزه ها با تغییرات تراز آب در سد کرخه در طول دوره نگهداشت آب در سد کرخه. ۹۴
- شکل ۵-۲۷- فراوانی وقوع زمین لرزه ها در حالت آبگیری و تخلیه آب سد کرخه. ۹۵
- شکل ۵-۲۸- مقایسه تغییرات تراز آب (dH) با فراوانی وقوع زمین لرزه ها در حالت آبگیری و تخلیه آب. ۹۵
- شکل ۵-۲۹- مقایسه توزیع سالیانه زمین لرزه ها در بازه های زمانی قبل و بعد از آبگیری سد کارون ۳. ۹۶
- شکل ۵-۳۰- مقایسه توزیع تعداد روزانه زمین لرزه ها در بازه زمانی بعد از آبگیری سد کارون ۳. ۹۷
- شکل ۵-۳۱- نمودار تعداد زمین لرزه ها در بازه های مشخص بزرگی. ۹۸
- شکل ۵-۳۲- نمودار تعداد زمین لرزه های بزرگتر از مقدار مشخص بزرگی M. ۹۸
- شکل ۵-۳۳- متوسط بزرگی رخدادهای لرزه ای به فواصل مختلف از ساختگاه سد کارون ۳ طی سالهای ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷. ۹۸
- شکل ۵-۳۴- ترک های افقی و ترک های اریب ایجاد شده در ساختمان مدرسه روستای رکعت واقع در ۴ کیلومتری سد کارون ۳. ۹۹
- شکل ۵-۳۵- ترک های اریب ایجاد شده در ساختمان مسکونی روستای رکعت واقع در ۴ کیلومتری سد کارون ۳. ۹۹
- شکل ۵-۳۶- توزیع عمقی زمین لرزه ها در شعاع ۳۰ کیلومتری سد کارون ۳. الف) در مقطع شمالی - جنوبی گذرا از سد. ب) در مقطع شرقی - غربی گذرا از سد. ۱۰۰
- شکل ۵-۳۷- مهاجرت عمق کانونی رخدادهای لرزه ای در فواصل مختلف از سد کارون ۳ (۲۰۰۷-۲۰۰۱). ۱۰۱
- شکل ۵-۳۸- متوسط عمق کانونی رخدادهای لرزه ای به فواصل مختلف از ساختگاه سد. ۱۰۱
- شکل ۵-۳۹- نمودار عمق در برابر بزرگی رخدادهای لرزه ای واقع شده در ۳۰ کیلومتری محور سد کارون ۳. ۱۰۲
- شکل ۵-۴۰- پارامترهای لرزه خیزی دوره بعد از آبگیری در فواصل مختلف از سد کارون ۳. ۱۰۳
- شکل ۵-۴۱- مقایسه ضریب β در فواصل مختلف از محور سد کارون ۳. ۱۰۳
- شکل ۵-۴۲- موقعیت جغرافیایی رخدادهای لرزه ای واقع شده قبل از آبگیری و بعد از آبگیری در فاصله ۳۰ کیلومتری سد کارون ۳. ۱۰۴
- شکل ۵-۴۳- منحنی تجمعی زمین لرزه های واقع شده قبل از آبگیری (a) و بعد از آبگیری (b) در فاصله ۳۰ کیلومتری سد کارون ۳. ۱۰۵
- شکل ۵-۴۴- نمودار توزیع تخلیه انرژی رخدادهای لرزه ای واقع شده قبل از آبگیری (a) و بعد از آبگیری (b) سد کرخه در فاصله ۳۰ کیلومتری از محور سد کارون ۳. ۱۰۵
- شکل ۵-۴۵- مقایسه تراز روزانه سطح آب با فراوانی تجمعی تعداد رخدادهای لرزه ای در هر روز در از ساختگاه سد کارون ۳. ۱۰۷
- شکل ۵-۴۶- مقایسه تراز روزانه سطح آب با انرژی تجمعی آزاد شده لرزه ای در هر روز در از ساختگاه سد کارون ۳. ۱۰۸
- شکل ۵-۴۷- فراوانی وقوع زمین لرزه ها در حالت آبگیری و تخلیه آب سد کارون ۳. ۱۰۹

فهرست جداول

۳	جدول ۱-۱- فهرست سد های با ارتفاع بیش از ۶۰ متر در دست ساختمان.....
۴	جدول ۱-۲- فهرست سد هایی با ارتفاع بیش از ۶۰ متر که چند سالی از بهره برداری آنها می گذرد.....
۷	جدول ۱-۳- دسته بندی ۱۰۳ مورد زمین لرزه های تحریک شده بر اساس بزرگی رخدادها.....
۸	جدول ۱-۴- دسته بندی ساختگاه هایی که زمین لرزه القائی در آنها مشاهده شده بر حسب بزرگی رخداد.....
۱۴	جدول ۱-۵- مشخصات شناسنامه ای سدهای کرخه و کارون ۳.....
۵۶	جدول ۳-۱- بزرگترین زمین لرزه های قابل تصور در گسل های منطقه سد کرخه.....
۵۸	جدول ۳-۲- گسل های کوتاهتری عمده در محدوده سد کارون ۳.....
۶۵	جدول ۴-۱- نام محل و موقعیت جغرافیایی ایستگاه های لرزه نگاری طرح کرخه.....
۶۶	جدول ۴-۲- نام محل و موقعیت جغرافیایی ایستگاه های لرزه نگاری طرح کارون ۳.....
	جدول ۵-۱- رابطه گوتنبرگ - ریشتر برای زمین لرزه های واقع شده قبل از آنگیری سد و بعد از آنگیری سد
۷۱	در پیرامون سدهای مورد مطالعه.....

فهرست علائم

۳۳	..... تنش بحرانی $\tau_{(crit)}$
۳۳	..... مقاومت برشی ذاتی τ_0
۳۳	..... ضریب اصطکاک داخلی μ
۳۳	..... تنش نرمال σ_n
۳۴	..... فشار منفذی P
۴۰	..... تنش برشی τ
۴۱	..... زاویه بین خط عمود بر سطح و σ_1
۴۱	..... کسینوس هادی عمود بر سطح l
۴۱	..... کسینوس هادی عمود بر سطح m
۴۱	..... کسینوس هادی عمود بر سطح n
۷۰	..... بزرگی زمین لرزه‌ها M
۷۰	..... تعداد زمین لرزه‌های با بزرگی بیش از M
۷۰	..... ضریب ثابت، پارامتر لرزه خیزی گوتنبرگ-ریشتر α
۷۰	..... ضریب ثابت، پارامتر لرزه خیزی گوتنبرگ-ریشتر β
۹۰	..... مقدار انرژی آزاد شده از زمین لرزه‌ها E
۹۴	..... تغییرات تراز آب dH

آب دریا را اگر نتوان کشید
هم به قدر تشنگی باید چشید

پیشگفتار

با توجه به رشد زیاد جمعیت ایران در سال‌های اخیر و نیز قرار گرفتن قسمت بزرگی از کشور عزیزمان در اقلیم‌های گرم و خشک، و نیز به منظور استفاده بهینه و هدفمند از منابع آب‌های سطحی، مقابله با معضل بی‌آبی و کم‌آبی در مناطق مختلف کشور سدهای مخزنی بزرگ و کوچکی در ده‌های اخیر در مناطق مختلف کشور احداث گردیده است. در حال حاضر از سوی کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ (ICOLD)¹، ایران به عنوان سومین سدساز در سطح جهان بعد از کشورهای چین و ترکیه معرفی شده است [www.moe.org.ir]. ولی احداث و ساخت سدهای عظیم باید با توجه بیشتری صورت گیرد، چرا که بهره‌برداری از سدها باعث ایجاد تغییراتی در خصوصیات محل احداث سد و مخازن آب می‌گردد، که تحت عنوان کلی «تأثیرات زیست محیطی سد» از آنها یاد می‌شود و مواردی چون اثرات فیزیکی و شیمیایی، بیولوژیکی و اکولوژیکی، اجتماعی، اقتصادی و سیاسی را شامل می‌گردد، که شرح هر کدام از آنها در این مجال نمی‌گنجد. یکی از این تبعات، زمین لرزه‌های القائی مربوط به مخازن سدهای بزرگ بهره‌برداری شده می‌باشد، که در رده اثرات ژئوفیزیکی از تأثیرات زیست محیطی قرار می‌گیرد [۱] و بسته به شرایط می‌تواند تبعاتی مثبت یا منفی بر ساختار محیط زیست بر جای گذارد.

با توجه به ضرورت استفاده از مواهب و منابع طبیعی، بهره‌برداری از منابع آب سطحی یا رودخانه‌های یک منطقه به منظور دستیابی به یک توسعه پایدار امری حیاتی و اجتناب‌ناپذیر است. از طرفی حفاظت از طبیعت و محیط زیست، به منظور جلوگیری از هرگونه ناپایداری و عدم تعادل طبیعی بین عوامل مختلف نیز از جمله اهدافی است که به امر توسعه پایدار ارتباط می‌یابد.

امروزه سیاست‌گذاری دولتها بر پایه توسعه پایدار استوار است. از این رو باید شناختی همه‌جانبه از امکانات و مشکلات داشت. برای نیل به این هدف بایستی تمام متخصصین علوم مختلف در این مهم مشارکت نمایند و هر یک بعدی از این اهداف را پیش ببرند. در این میان نقش زمین‌شناسی در

¹ International Committee On Large Dam

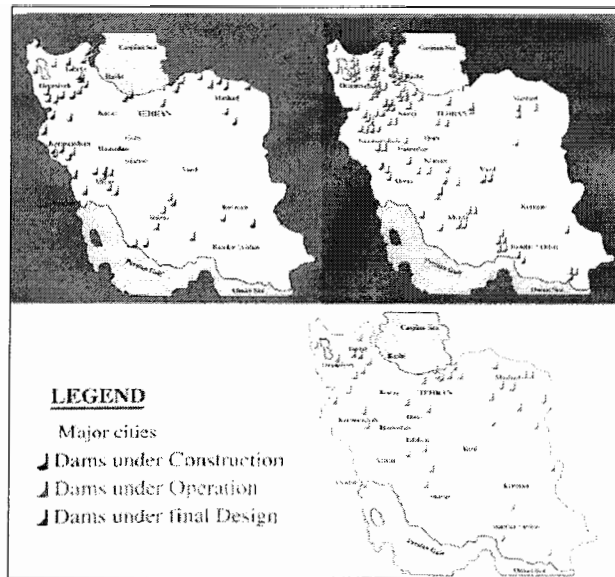
گرایش‌های مختلف آن می‌تواند به عنوان یک اصل باشد. زمین‌شناسی زیست محیطی به عنوان گرایشی نوپا در دنیا حوزه فعالیت وسیعی را در بر می‌گیرد، که یکی از آنها حیطه خطرات زمین‌شناختی و از آن جمله بحث زمین لرزه‌ها است.

نوشتار حاضر تحت عنوان «بررسی زلزله‌های القائی مرتبط با برخی از سدهای بزرگ ایران» (از دیدگاه توسعه پایدار) در راستای این مهم تدوین گشته است. برای این منظور تعدادی از سدهای بزرگ ساخته شده در مناطق مختلفی از ایران با پتانسیل‌های متفاوت لرزه‌خیزی که چند سالی از تاریخ بهره‌برداری آنها می‌گذرد جهت بررسی و مطالعه انتخاب شده است. ارزیابی مشخصات زمین لرزه‌های القائی برخی از این سدهای بزرگ، ارزیابی رابطه تراز آب و لرزه‌خیزی القائی و بررسی نقش شرایط زمین‌ساختی محل احداث سد بر روند بروز زمین لرزه‌های القائی از جمله هدف‌های تحقیقی این بررسی به حساب می‌آیند.

نگاهی به تاریخچه سد سازی در کشور بر کوشش و اهتمام نیاکان ما در ساخت سد و این گونه سازه‌های آبی در اقصی نقاط کشور گواهی می دهد. در ایران بقایای سدها و بندهایی از ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ سال پیش نمایانگر هنر مردم این سرزمین در ساخت و برپایی این قبیل سازه‌های آبی است. بطور طبیعی هم زمان با رشد جمعیت، نیاز به آب جهت تولید محصولات کشاورزی و شرب و تاحدی احتیاج به آب جهت مصرف در صنایع بالا رفته است. ایران نیز از این امر مستثنی نبوده و در طی سال‌های اخیر تهاجم گسترده به سفره‌های آبی، خطر زوال تعداد زیادی از سفره‌های زیر زمینی را به دنبال داشته است، اما بدلیل کمبود آب‌های زیر زمینی در دوران اخیر، طراحی و ساخت ده‌ها سد و بند شروع گردیده، که امروزه تعدادی از آنها به مرحله پیری رسیده و تعدادی نیز در مرحله بهره برداری و یا آغاز بهره برداری و گروهی نیز در مرحله ساخت و طراحی می‌باشند. با توجه به آمار موجود در سال ۱۳۸۲ از کل سیلاب رودخانه‌های کشور که بالغ بر ۱۰۰ تا ۱۲۰ میلیارد متر مکعب است، در حدود ۳۰ تا ۳۵ میلیارد متر مکعب ذخیره و استحصال شده است [۱].

صنعت سدسازی با شیوه‌های مدرن به ویژه سدهای با مقیاس بزرگ در حدود سه دهه قبل در ایران آغاز گردیده است. مطالعه و طراحی سدهای مخزنی بزرگ از حدود سال‌های ۱۳۲۷ شروع و احداث این سدها از اواخر دهه ۱۳۳۰ صورت عملی به خود گرفت. با وقوع انقلاب اسلامی ایران صنعت سدسازی در کشور وارد مرحله جدیدی گردید. با فراهم شدن زمینه‌های مختلف و با شروع برنامه اول (سال ۱۳۶۸) توسعه اجتماعی و اقتصادی کشور، بر اساس ظرفیت سازی که در کلیه ابعاد مورد نیاز این صنعت انجام گرفت، گام‌های اساسی عظیمی برداشته شد. مهار آب‌های سطحی و توسعه بهره‌برداری از منابعی که بدون مصرف از دست می‌روند، به طور بارز در سرلوحه برنامه‌های توسعه اقتصادی اجتماعی کشور قرار گرفت [www.soil-water.com]. با عنایت به اهمیت خاص کنترل هرچه بیشتر آب‌های سطحی، تلاش‌های گسترده‌ای از سوی وزارت نیرو صورت گرفت، تا جایی که آمار سدهای احداث شده طی دو دهه پس از پیروزی انقلاب از ۱۳ سد به ۶۰ سد افزایش یافت.

اهداف کلی از ساخت سد در کشور بر حسب مورد، محل و موقعیت و نیازها متفاوت است، اما تأمین آب کشاورزی، شرب و صنعت، کنترل سیلاب و تولید برق آبی از جمله اهم مسائلی است که در صدر اهداف سدسازی در کشور ایران قرار دارد. شکل ۱-۱ و جداول ۱-۱ و ۲-۱ بیانگر وضعیت سدسازی در ایران در دهه‌های اخیر است.



شکل ۱-۱- نقشه پراکندگی سدهای کشور در مراحل مختلف طراحی، ساخت و بهره برداری
 [www.soil-water.com]

جدول ۱-۱- فهرست سد های با ارتفاع بیش از ۶۰ متر در دست احداث.

ردیف	نام سد	رودخانه/حوضه	شهر	استان	ارتفاع (m)	هدف از پروژه	ظرفیت آبی (MW)	سال احتمالی تکمیل پروژه
۱	آق جای	آق جای	خوی	آذربایجان غربی	۱۰۸	آبیاری و هیدرو الکتریک	۹	-
۲	گلوارد-نکا	نکا	نکا	مازندران	۱۱۳	آبیاری و هیدرو الکتریک	۳	۲۰۰۷
۳	کارون ۴	کارون	ایذه	چهار محال و بختیاری	۲۳۰	هیدرو الکتریک	۱۰۰۰	۲۰۰۷
۴	نرماشیر(نسا)	نسا	بم	کرمان	۱۱۱	آبیاری و هیدرو الکتریک	۵	-
۵	شهریار (استور)	قرل اوزن	میانه	آذربایجان شرقی	۱۶۰	آبیاری و هیدرو الکتریک	۱۶۴	۲۰۰۷
۶	روئیس علی دلواری	شاپور	بrazجان	یوشهر	۱۱۷	آبیاری، کنترل سیلاب و هیدرو الکتریک	۱۹/۴	-
۷	رامهرمز (جاده)	رود زرد	رامهرمز	خوزستان	۱۱۳	آبیاری و هیدرو الکتریک	۹	۲۰۰۷
۸	سلمان فارسی	قره آغاج	قیر	فارس	۱۲۵	آبیاری، شرب، صنعت و هیدرو الکتریک	۱۳	-
۹	سازین	سیمره	ایلام	ایلام	۱۸۰	آبیاری و هیدرو الکتریک	۵۰۰	۲۰۰۷
۱۰	سیمره (هنی مینی)	سیمره	ایلام	ایلام	۱۸۰	آبیاری و هیدرو الکتریک	۴۸۰	۲۰۰۷
۱۱	شفارود	شفارود	رضوانشهر	گیلان	۱۵۹	آبیاری، شرب، صنعت و هیدرو الکتریک	۱۱	۲۰۰۷
۱۲	شوستر (کتوند علیا)	کارون	کتوند	خوزستان	۱۸۰	هیدرو الکتریک	۲۰۰۰	۲۰۰۷
۱۳	تهم	سارمساغلو(تهم جای)	زنجان	زنجان	۱۲۳/۷	آبیاری، شرب، صنعت و هیدرو الکتریک	۱/۲	-
۱۴	شهرجای	شهرجای	ارومیه	آذربایجان غربی	۱۱۸	آبیاری، شرب، صنعت و هیدرو الکتریک	۶	-

جدول ۱-۲- فهرست سد هایی با ارتفاع بیش از ۶۰ متر که چند سالی از بهره برداری آنها می گذرد. سدهای انتخابی برای انجام این تحقیق در جدول با علامت * مشخص شده اند.

ردیف	نام سد	رودخانه/حوضه	شهر	استان	ارتفاع (م)	طول تاج (م)	حجم مخزن (MCM)	سال شروع بهره برداری
۱	امیر کبیر (کرج)	کرج	کرج	تهران	۱۸۰	۳۹۰	۲۰۵	۱۳۴۰
۲	علویان	صوفی چای	مرغه	آذربایجان شرقی	۸۰	۹۳۵	۶۰	۱۳۷۴
۳	دز	دز	دزفول	خوزستان	۲۰۳	۲۱۲	۳۴۰	۱۳۴۲
۴	دروزن	کر	شیراز	فارس	۶۰	۷۱۰	۹۹۳	۱۳۵۲
۵	ایلام (چم گردلان)	بار آفتاب (کنجانچام)	ایلام	ایلام	۶۵	۱۶۲	۷۱	*
۶	حیرفت	هلیل رود	حیرفت	کرمان	۱۳۴	۲۴۰	۴۲۵	۱۳۷۰
۷	کارده	کارده	مشهد	خراسان	۶۷	۱۴۴	۲۸/۱	۱۳۶۶
۸	کرخه	کرخه	اندیمشک	خوزستان	۱۲۷	۳۰۳۰	۵۵۷۵	۱۳۸۰
۹	لار	لار (هراز)	تهران	تهران	۱۰۷	۱۱۵۰	۹۶۰	۱۳۶۱
۱۰	لتیان	جاجرود	تهران	تهران	۱۰۷	۴۵۰	۹۵	۱۳۴۶
۱۱	شهید رجایی (تجن)	تجن (دودانگه)	ساری	مازندران	۱۳۷/۵	۴۳۰	۱۹۱/۵	۱۳۷۵
۱۲	شهید یعقوبی	کال سالار	تربت حیدریه	خراسان	۶۱	۸۸۷	۷۲	۱۳۷۵
۱۳	شیروان (بارزو)	کالاجک	شیروان	خراسان	۸۳	۳۲۵	۹۲	۱۳۸۰
۱۴	سیرجان (تنگکویه)	تنگکویه	سیرجان	کرمان	۷۱	۱۱۰۰	۳۸/۸	*
۱۵	طرق (طرقو)	طرقو (طرق)	مشهد	خراسان	۸۱	۳۲۲	۳۲/۱	۱۳۶۷
۱۶	وحدت (قشلاق)	قشلاق	سندج	کردستان	۸۰	۳۰۰	۲۲۴	۱۳۵۸
۱۷	زاینده رود	زاینده رود	اصفهان	اصفهان	۱۰۰	۴۵۰	۱۲۵۰	۱۳۴۹
۱۸	مارون	مارون	بهبهان	خوزستان	۱۶۵	۳۴۵	۱۲۰۰	۱۳۷۸
۱۹	مسجد سلیمان	کارون	مسجد سلیمان	خوزستان	۱۷۷	۴۸۰	۲۲۸	۱۳۸۰
۲۰	پانزده خرداد	قم رود	قم	قم	۹۶/۸	۳۲۰	۲۰۰	۱۳۶۸
۲۱	پیشین	باهو (سرباز)	پیشین چاه بهار	سیستان بلوچستان	۶۳	۴۰۰	۱۷۵	۱۳۷۲
۲۲	ستارخان (اهر)	اهر چای	اهر	آذربایجان شرقی	۷۸	۳۵۰	۱۳۵	۱۳۷۷
۲۳	ساوه	قره چای	ساوه	مرکزی	۱۲۸	۲۶۵	۲۹۰	۱۳۷۲
۲۴	سفید رود	سفید رود	رشت	گیلان	۱۲۰	۴۲۵	۱۸۰۰	۱۳۴۰
۲۵	شهید عباسپور (کارون ۱)	کارون	مسجد سلیمان	خوزستان	۲۰۰	۳۸۰	۳۱۳۹	۱۳۵۶
۲۶	گاووشان	گاو رود	گامیاران	کردستان	۱۳۶	۶۴۸	۵۵۰	۱۳۸۳
۲۷	کارون ۳	کارون	ایذه	خوزستان	۲۰۵	۴۶۲	۲۷۵۰	۱۳۸۳
۲۸	کوثر (تنگ دوک)	خبر آباد	گچساران	کهکلوپه و بویر احمد	۱۴۴	۱۹۰	۵۸۰	۱۳۸۲

بر اساس گزارشات وزارت نیرو که متولی سدهای بزرگ در کشور است، در حال حاضر در حدود بیش از ۱۰۰ سد بزرگ در کشور در حال مطالعه و ساخت است. این امر از یک سو گواه بر اهمیتی است که به کنترل و مهار سیلاب رودخانه‌های کشور داده شده است و از سوی دیگر هشدار می‌دهد که برای این که احداث و بهره‌برداری از سد تبعات زیست محیطی خاص خود را در بر خواهد داشت.

۱-۲- سد و توسعه پایدار^۱

توسعه پایدار به منظور استفاده بهینه و مطلوب از محیط زیست در جهت توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی و در نتیجه تداوم حیات در پهنه سرزمین کشور و هماهنگ با حفظ محیط زیست تعریف شده است. در بین تمامی موجودات زنده، بشر متولی ایجاد تعادل در نظم متقابل بین اجزای محیط زیست می‌باشد. اگرچه خود مهمترین عامل ناپایداری و عدم توازن در پهنه کره زمین است. حال چنانچه بشر به محیط زیست تعرض نماید و در حراست آن کوشش نکند، نه تنها زندگی و حیات را برای موجودات دیگر سخت می‌نماید، بلکه خود به تدریج در این گرداب مخرب به نابودی کشیده می‌شود. هنگامی که صحبت از توسعه پایدار می‌شود، آب از عناصر اصلی این زیر مجموعه به حساب می‌آید. کشاورزی پایدار و عمران روستایی و حتی توسعه صنعت و معدن، تأمین انرژی، اسکان و استقرار مردم خود در گروهی تأمین آب و مهار و کنترل سیلاب‌های سطحی است. اما توسعه کشاورزی، صنعت و تأمین آب شرب مردم موجب پیامدهائی در منابع آبی خواهد شد. باید پذیرفت که رسیدن به نقطه بهینه که توسعه پایدار را همراه بیاورد، جز با تعقل، برنامه ریزی و استفاده از تکنولوژی‌های قدیم و جدید میسر نیست.

یکی از عوامل مهم در توسعه پایدار، جمعیت هر کشور است که دیدگاه‌های متفاوتی راجع به آن ابراز می‌شود. در هر حال با توجه به شرایط اقتصادی کشور، رشد بی رویه جمعیت در شهرهای جدید و توسعه روستاها و شهرها، با شرایط زیست محیطی و شرایط اقتصادی هماهنگ نیست. از این رو مهاجرت‌ها و اسکان در مناطق جدید و بدون برنامه سبب تخریب منابع خواهد شد و بطور مسلم تأمین آب برای تولید غذا، شرب و صنعت با توجه به وضع آب و هوای کشور و محدودیت در مقدار حجم رواناب‌ها و آب‌های زیر زمینی به صورت یک امر مشکل و پیچیده در می‌آید. لذا هرگونه توصیه و راه حل در مورد کنترل جمعیت می‌تواند بیشتر از ساخت سدها مفید باشد. با وجود تمامی مسائل یاد شده، هیچ عاملی در توجیه پذیری ساخت یک سد به اندازه عامل نیاز انسان به آب، برای کشاورزی، شرب و صنعت مؤثر نمی‌باشد. از این رو شاید غیرممکن و غیرمنطقی باشد که فی البداهه ضرورت ساخت یک سد را انکار نمود. بحث اساسی و اصلی در این است که چگونه می‌توان در ضمن تأمین این اهداف، مشکلات و گرفتاری‌های زیست محیطی را به حداقل رسانید. و از طرفی حداکثر

¹ Sustainable Development

استفاده و بهره‌وری را از آب ذخیره شده را برد. شاید این مسئله را بتوان در قالب شعار «توسعه پایدار» در حدود و مرزبندی مطمئنی جستجو نمود.

۱-۳- زمین لرزه های القائی سد وتاریخچه آن

حرکت زمین و لرزه‌خیزی ناشی از آن که رابطه خاص با دریاچه سد داشته و بوسیله تنش‌های غیر زمین ساختی راه‌اندازی شوند را لرزه‌خیزی القائی ناشی از حضور دریاچه سد گویند، ماهیت این رخدادهای لرزه‌ای به تفضیل در فصل دوم ارائه شده است. تحریک زمین لرزه با پر شدن سدهای آبی دست‌ساز انسان بیش از ۶۰ سال است که شناخته شده است. سدهای عظیم بنا شده در تمام دنیا به جهت اهداف تولید نیروی برق آبی، تولید غذا، کنترل سیلاب‌های فصلی و غیره احداث و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، بنابراین احداث و بهره‌برداری از سدهای عظیم امری اجتناب‌ناپذیر است.

زمین لرزه‌های مرتبط با مخازن سد اولین بار توسط کاردر^۱ (۱۹۴۵) [۳۲] در رابطه با دریاچه سد لیک مید^۲ در ایالات متحده آمریکا عنوان شد. بعد از آن زمین لرزه‌های خسارت باری در ارتباط با بهره برداری از سدها در نقاط مختلف دنیا به وقوع پیوست که بزرگی ۳ مورد از آنها بیشتر از ۶ ریشتر گزارش شده است، که عبارتند از: زمین لرزه سدهای هسین فنگ کیانگ^۳ در سال ۱۹۶۲ در چین، کاریبا^۴ (با ارتفاعی در حدود ۱۲۸ متر و حجم مخزن ۱۷۵ میلیارد متر مکعب) در مرز زامبیا-زیمبابوه در سال ۱۹۶۳ و کوینا^۵ (با ارتفاعی در حدود ۱۰۳ متر و حجم مخزن ۲/۷ میلیارد متر مکعب) در هند در سال ۱۹۶۷ از جمله زمین لرزه‌های القائی بسیار خسارت بار بودند که خسارات ناشی از زمین لرزه کوینا منجر به کشته شدن ۲۰۰ نفر و زخمی شدن ۱۵۰۰ نفر و بی خانمان شدن هزاران نفر گشت. از میان زمین لرزه‌های یاد شده زلزله‌های کوینا و هسین فنگ کیانگ باعث وارد آمدن خسارت به خود بدنه سد شد. سایر زمین لرزه‌های القا شده از جمله کاریبا، کرمستا^۶، اروویل^۷، آسوان^۸،

^۱ Carder

^۲ Lake Mead

^۳ Hsinfengkiang

^۴ Kariba

^۵ Koyna

^۶ Kremasta

^۷ Oroville

^۸ Aswan

سریناگاریند^۱ در تایلند باعث خساراتی در شهرها و روستاهای اطراف شدند [۳۳ و ۳۴]. در این میان مناطقی که قبلاً به لحاظ فعالیت لرزه‌ای فعال نبوده و یا از فعالیت ملایمی بر خوردار بودند بیشتر مورد توجه قرار گرفتند.

بررسی‌های بیچر^۲ در سال ۱۹۸۲ [۳۵] نشان داد که در ۲۳۴ سد بزرگ (با بلندی بیش از ۹۲ متر و حجم ذخیره بیش از یک میلیارد متر مکعب)، در حدود ۱۲/۴ درصد (۲۹ مخزن از ۲۳۴ مخزن)، زمین لرزه‌های القایی اتفاق افتاده است. گوها^۳ و پاتیل^۴ (۱۹۹۲) زمین لرزه‌های تحریک شده^۵ را بر اساس حداکثر بزرگی در ۴ گروه I، II، III و IV طبق جدول ۱-۳ تقسیم نمودند [۳۶].

جدول ۱-۳- دسته بندی ۱۰۳ مورد زمین لرزه‌های تحریک شده بر اساس بزرگی رخدادهای لرزه‌ای [۳۶].

ردیف	ماهیت/شدت لرزه‌خیزی	دامنه بزرگی	سطح زمین لرزه القایی
۱	خرد لرزه	≤ 2.0	IV
۲	متوسط	۳/۱-۳/۹	III
۳	آرام	۴/۰-۵/۹	II
۴	شدید	≥ 6.0	I

در ابتدا مخالفت‌های زیادی در بین جامعه مهندسی در قبول اهمیت و یا حتی وجود پدیده لرزه‌خیزی القایی ناشی از مخازن وجود داشت [۳۴]. با گذشت زمان بر اساس موارد مشاهده شده و نتایج بدست آمده تغییراتی در این نگرش به وجود آمد، به طوری که در گزارش سال ۱۹۹۷ کمیته سدهای بزرگ ایالات متحده آمریکا^۶ آمده است [۳۷] که، طی دوره تغییرات تراز آب تعدادی از سدها، افزایشی در زمین لرزه‌های القایی بوجود می‌آید و امکان زمین لرزه‌هایی از این نوع را باید برای هر سدی که عمق مخزن آن ۸۰ تا ۱۰۰ متر است را باید در نظر گرفت.

¹ Srinagarind

² Beacher

³ Guha

⁴ Patil

⁵ Reservoir Triggered Seismicity

⁶ USCOLD

بسیاری از کارهای انجام شده بر روی جنبه‌های مختلف لرزش القا شده از سدها تا سال ۱۹۹۰، توسط گوپتا^۱ (۲۰۰۲) مورد بازبینی قرار گرفت، گوپتا در این تحقیق زمین لرزه‌های ایجاد شده در اثر بهره‌برداری از مخازن سد را به سه دسته کلی سریع، تأخیری و ممتد تقسیم نمود و توزیع جهانی آنها را مورد توجه قرار داد.

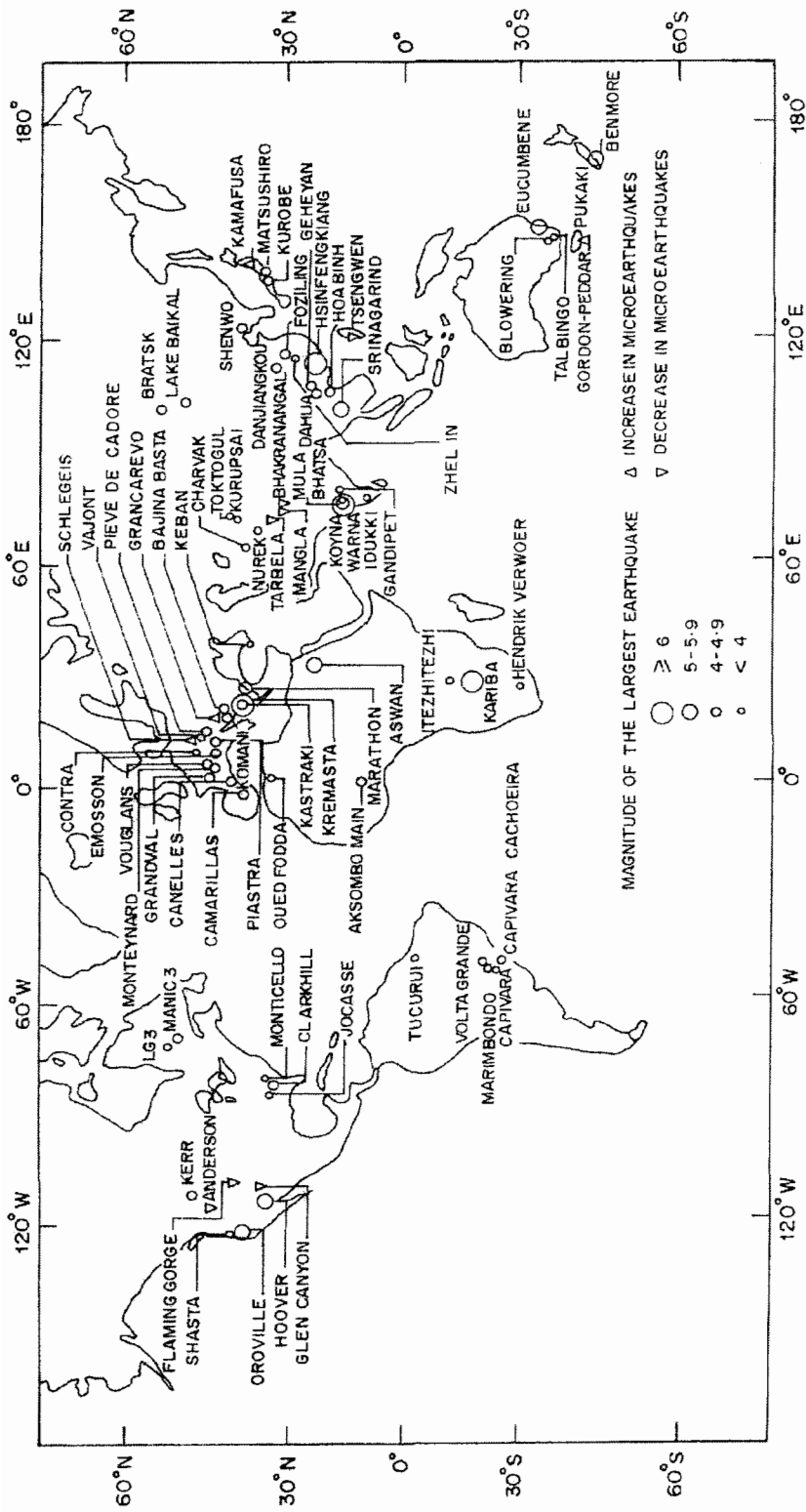
بر اساس مطالعات مختلف انجام شده هم اکنون، بیش از ۱۰۰ مورد ساختگاه سد در جهان وجود دارد که زمین لرزه‌های القائی از آنها گزارش شده است (پیوست الف). که می‌توان آنها را در مجموعه‌هایی به شرح جدول ۴-۱ تقسیم نمود [۳۴]. موقعیت جهانی این سدها در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱- دسته بندی ساختگاه‌هایی که زمین لرزه القائی در آنها مشاهده شده بر حسب بزرگی رخداد [۳۴].

تعداد ساختگاه	بزرگی
۴	$M \geq 6$
۱۰	$M5 - M5.9$
۲۸	$M4 - M4.9$
۵۳	$M < 4$

علاوه بر فهرست یاد شده در پیوست الف، در ۸ ساختگاه مخزنی دیگر کاهش فعالیت خرد لرزه‌ای گزارش شده است، همچنین ۱۶ ساختگاه دیگر نیز مشکوک به زمین لرزه‌های تحریک شده می‌باشند. ساختگاه‌های مخزنی که زمین لرزه‌های تحریک شده با بزرگی ۴ در آنها واقع شده است بسیار زیاد می‌باشند از این رو تمامی آنها در شکل ۱-۲ نیامده است. تلاش به منظور درک رابطه زمین لرزه‌های تحریک شده مخازن با ویژگی‌های مخزن و شرایط زمین شناسی موجود همچنان ادامه دارد. تغییرات تراز آب در مخزن سد، غالباً می‌تواند در این مورد پاسخ‌هایی قانع کننده را ارائه نماید، که بسیار جالب توجه نیز می‌باشند. ولی در غالب موارد نیز این رابطه ممکن است روشن‌گر نباشد. باید به این امر توجه داشت که چندین سد بزرگ و با ارتفاع زیاد وجود دارند که تا کنون از این بابت هیچ‌گونه زمین لرزه‌ای را باعث نشده‌اند، در مقابل در بسیاری از سدهای کوچک‌تر و با ارتفاع کمتر فعالیت‌های لرزه‌ای قابل توجهی مشاهده شده است [۳۳].

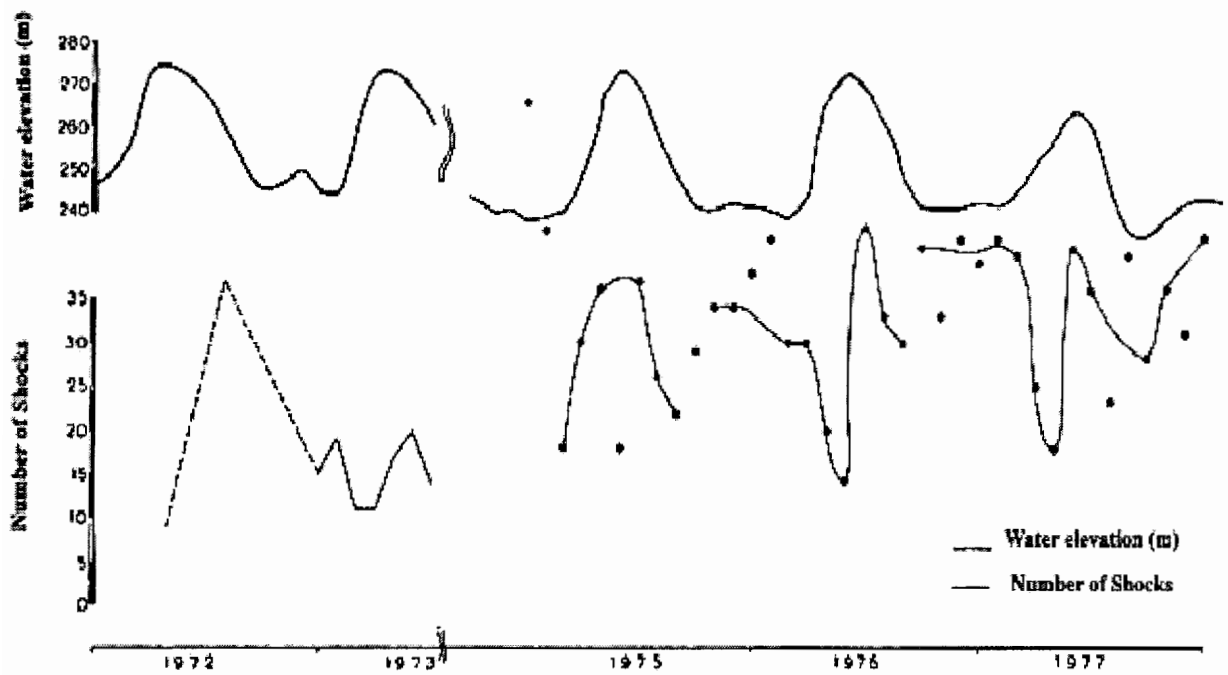
^۱ Gupta



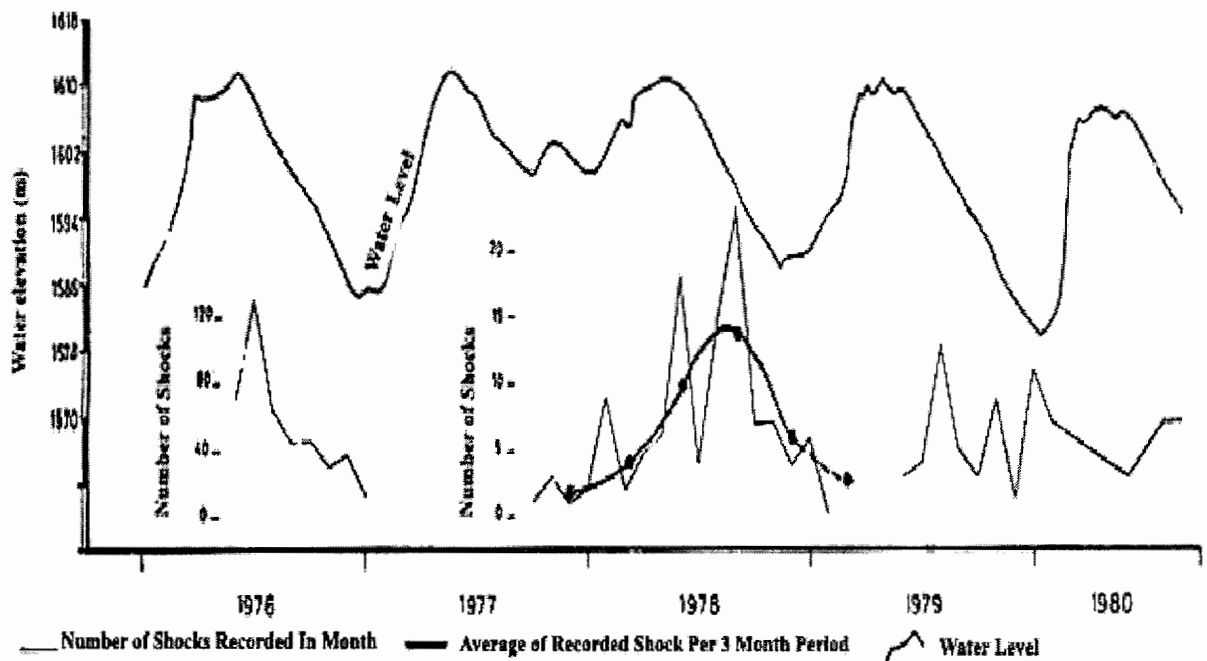
شکل ۱-۲- توزیع جهانی تغییرات لرزه‌خیزی تحریک شده ناشی از مخزن سد. این شکل تمام زمین لرزه‌های تحریک شده بزرگتر از ۴ را شامل می‌گردد [۳۸،۳۹].

مطالعات اثرات آبگیری دریاچه سدها در تغییر خصوصیات لرزه‌خیزی در ایران برای اولین بار بر اساس لرزه‌نگاشت‌های ایستگاه لرزه‌نگاری سد سفید رود در سال ۱۹۶۶ تا ۱۹۷۱ در سازمان آب و برق منطقه‌ای شمال صورت گرفت [۵]. بعد از آن پس از نصب دستگاه‌های لرزه‌نگار در مجاورت سدهای احداث شده در آن زمان در کشور بوسیله سازمان انرژی اتمی ایران، امکان انجام تحقیقاتی مشابه بر روی تعداد معدودی از سدهای دیگر ایران فراهم آمد. بر اساس این تحقیقات غالباً تعداد زمین لرزه‌های محلی متناسب با بالا رفتن ارتفاع ستون آب دریاچه‌ها افزایش یافته است (شکل‌های ۱-۳ تا ۱-۶). همانطور که مشاهده می‌شود تعداد رخدادها با تغییرات تراز آب هماهنگی خوبی برقرار کرده است ولی نوع هماهنگی در هر سد متفاوت است به عبارت دیگر فاصله زمانی بین شروع آبگیری هر سد و آغاز شدن زمین لرزه‌ها وجود دارد. میزان این تأخیر در مورد سد سفید رود و سد لتیان ۲ ماه است (شکل‌های ۱-۳ و ۱-۴) و در مورد سد دز و سد زاینده رود تا ۶ ماه می‌رسد (شکل‌های ۱-۵ و ۱-۶).

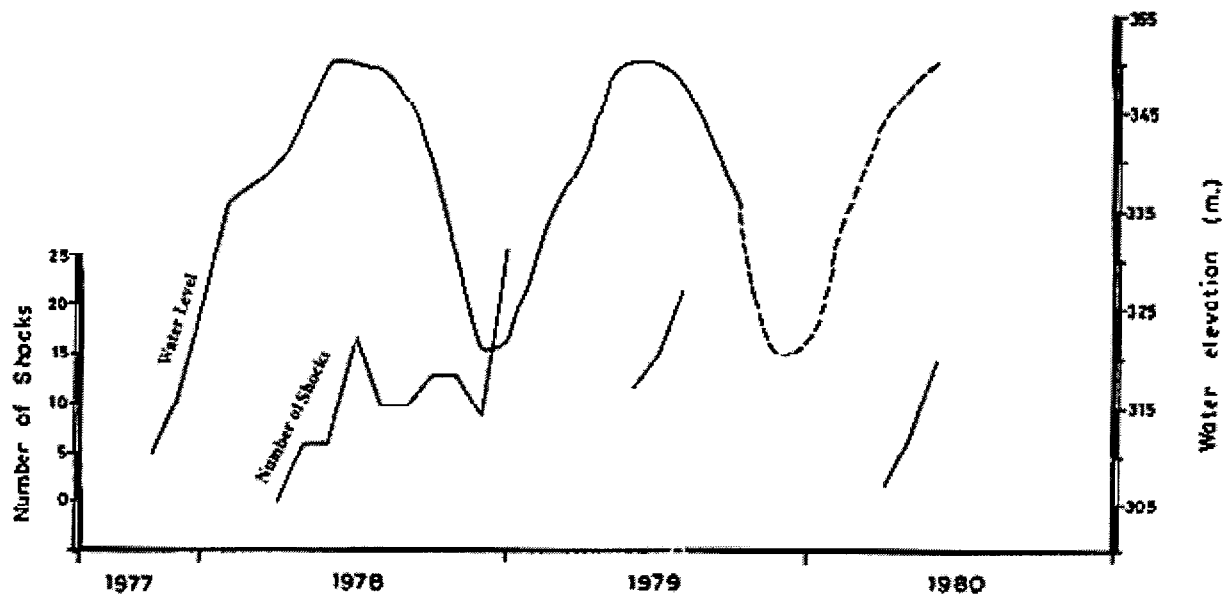
نکته قابل توجه این است که در چند مورد، زمانی که سطح آب دریاچه سدها به ارقام خیلی پایین نزدیک می‌شود، برخلاف انتظار تعداد زمین لرزه‌های ثبت شده افزایش می‌یابد. بر اساس مطالعات پیمان (۱۳۵۴) این وضع به طور مشخص در سدهای شهید عباسپور، امیرکبیر، زاینده رود و دز مشاهده شده است [۳، ۴ و ۵]. هیچکدام از نه مورد زمین لرزه القائی که توسط پیمان و همکار (۱۹۸۵) مطالعه شده، رفتار تأخیری با بزرگای زیاد که ویژگی این نوع رفتار است را نشان نداده است [۳]. البته در مورد سفید رود هنوز این مورد جای بحث دارد.



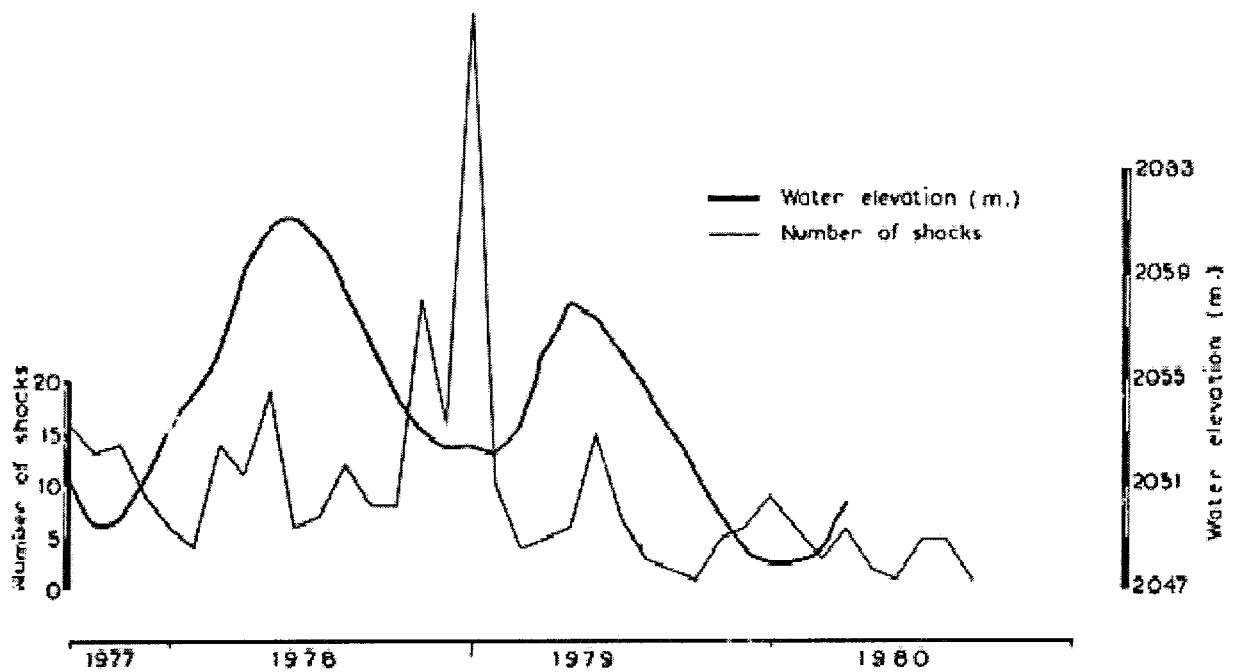
شکل ۳-۱- مقایسه لرزه‌خیزی بعد از آبیگری سد سفید رود (منجیل). پیروی زمین لرزه‌ها از تغییرات سطح آب کاملاً مشخص است [۳ و ۵].



شکل ۴-۱- مقایسه لرزه‌خیزی بعد از آبیگری سد لتیان. تبعیت زمین لرزه‌ها از تغییرات سطح آب تقریباً مشخص است [۳].



شکل ۱-۵- مقایسه لرزه‌خیزی بعد از آبگیری سد دز. تبعیت زمین لرزه‌ها از تغییرات سطح آب تقریباً مشخص است [۳].



شکل ۱-۶- مقایسه لرزه‌خیزی بعد از آبگیری سد زاینده‌رود. پیروی زمین لرزه‌ها از تغییرات سطح آب تقریباً مشخص است [۳].

۱-۴- اهمیت زمین لرزه‌های القائی برای ایران

عموماً پدیده زمین لرزه القائی در مورد سدهای بزرگ مطرح است. بر اساس تعریف سدهای بزرگ از دیدگاه کمیسیون بین المللی سدهای بزرگ، سد بزرگ سدی است که ارتفاع آن از پی بیش از ۱۵ متر باشد و یا سدهایی که ارتفاع آنها بین ۵ تا ۱۵ متر بوده ولی حجم مخزن سد بیش از ۳ میلیون متر مکعب ظرفیت داشته باشد را شامل گردد. بر مبنای این تعریف در حال حاضر بیش از ۱۰۰ سد بزرگ تاکنون در ایران احداث شده و هم اکنون در مرحله بهره‌برداری قرار دارند. از طرفی ایران کشوری است که لرزه خیزی فعالی در آن حاکم است [۷، ۸]، که وجود چنین رخدادهایی در موارد متعددی در دنیا باعث افزایش این لرزه‌خیزی در مناطق احداث سد شده است، بنابراین ایران در این میان مستثنی نخواهد بود، و با وقوع چنین لرزش‌هایی مشکلات ناشی از زمین لرزه برای کشور ایران دو چندان می‌شود. زمین لرزه‌های القائی از عمق کانونی کم برخوردار می‌باشند. کم بودن عمق کانونی باعث ایجاد شتاب زیادی می‌شود که می‌تواند برای سد و سازه‌های وابسته به آن اهمیت داشته باشد. ولی گاهی هم وقوع چنین لرزش‌هایی به علت تخلیه تدریجی انرژی انباشته شده باعث کاهش فعالیت لرزه‌خیزی در منطقه می‌شود [۴۰، ۴۱ و ۴۲]، در چنین حالتی هم این پدیده برای ایران اهمیت می‌یابد چون می‌توان به این طریق از میران لرزه‌خیزی مناطق فعال لرزه ای کاست. با توجه به این موارد شناخت این پدیده در سدهای ایران لازم و ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش سعی شده است که دریچه‌ای جهت شناخت زمین لرزه‌های القائی سد در ایران گشوده شود.

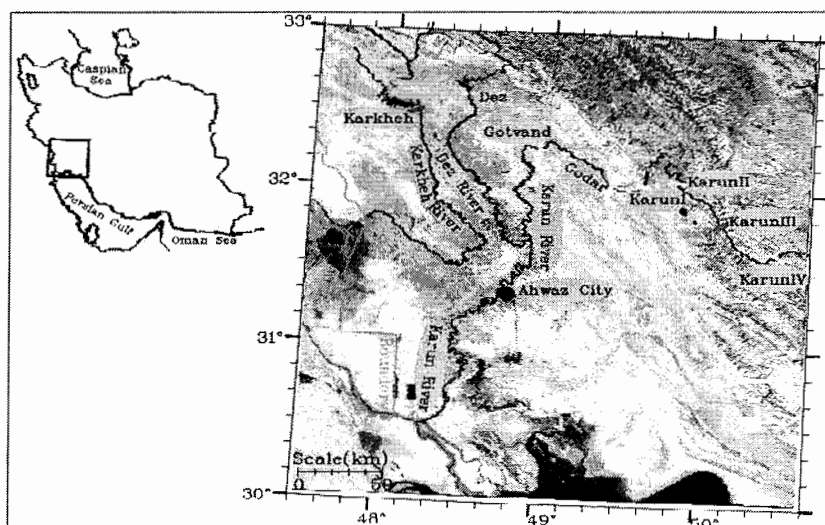
۱-۵- روش انجام تحقیق

به منظور مطالعه زمین لرزه‌های القائی در سدهای ایران در مرحله اول از مناطق مختلف زمین ساختی ایران، سدهایی که ارتفاع آنها بیشتر از ۶۰ متر بود و چند سالی از تاریخ بهره‌برداری آنها می‌گذشت، انتخاب شدند. فهرست سدهای انتخابی مرحله اول در جدول ۱-۲ آمده است. در مرحله بعد سعی بر این نهاده شد که با توجه به ایالت زمین ساختی محل احداث این سدها تعدادی از سدهای مرحله اول گزینش گردد ولی به علت محدودیت اطلاعات و داده‌ای این انتخاب به طور مطلوب صورت نگرفت و اجباراً از داده‌های سدهایی که تقریباً اطلاعات خوبی از آنها موجود بود

استفاده گردید. بنابراین در بعضی از ایالت‌های زمین‌ساختی بیش از یک سد انتخاب شدند. سدهای یاد شده در جدول ۱-۲ با علامت ستاره متمایز شده است. در نهایت، در مرحله سوم بعد از بررسی-های لازم و مراجعه به سازمان‌های مختلف دو سد کرخه و کارون ۳، از میان سدهای انتخابی در مرحله اول، بر اساس موجود بودن اطلاعات، که تقریباً مجموعه‌ای کامل از اطلاعات آنها در دسترس بود گزینش گردید.

جدول ۱-۵- مشخصات شناسنامه ای سدهای کرخه و کارون ۳.

نام سد	کرخه	کارون ۳
نوع	خاکی با هسته رسی	بتنی دو قوسی نازک
ارتفاع سد از بی (m)	۱۲۸	۲۰۵
طول تاج سد (m)	۳۰۳۰	۴۶۲
عرض سد در بی (m)	۱۱۰۰	۲۹/۵
عرض تاج سد (m)	۱۲	۵/۵
حداکثر تراز بهره برداری	۲۲۰	۸۴۵
حداقل تراز بهره برداری	۱۶۰	۸۰۰
حجم مخزن در حداکثر تراز بهره برداری	۵۳۴۶/۸ (قبل از رسوبگذاری) (MCM)	حدود ۳ میلیارد متر مکعب
حجم مخزن در حداقل تراز بهره برداری	۴۳۰ (MCM)	حدود ۱/۲۵ میلیارد متر مکعب
حجم مفید مخزن (MCM)	۴۸۷۰	۱۷۲۰
مساحت دریاچه در حداکثر تراز بهره برداری (کیلومتر مربع)	۱۶۲/۴۷	۴۸
طول دریاچه در حداکثر تراز بهره برداری (کیلومتر)	۶۰	۶۰
سال احداث	۱۳۷۲-۱۳۷۷	۱۳۷۲-۱۳۷۶
سال بهره برداری	۱۳۸۰	۱۳۸۳

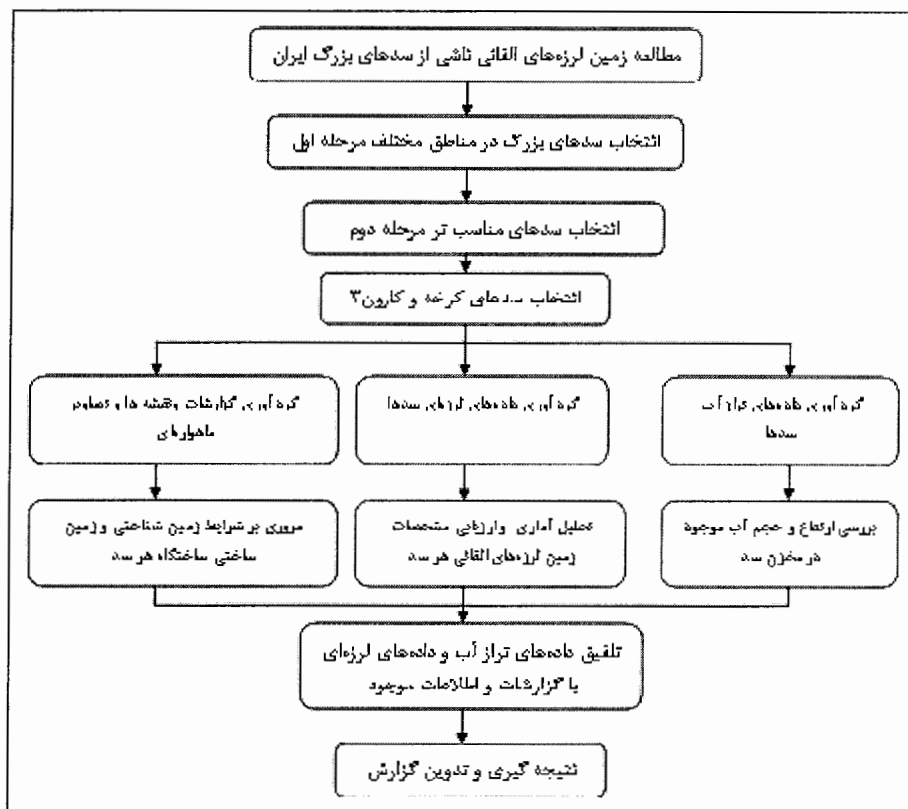


شکل ۱-۷- سدهای زنجیره ای در استان خوزستان و موقعیت سدهای کرخه و کارون ۳ [۴۳].

مشخصات شناسنامه‌ای دو سد یاد شده در جدول ۱-۵ ارائه شده است. موقعیت سدهای زنجیره‌ای بزرگ و سدهای مورد مطالعه در استان خوزستان که بر روی رودخانه‌های این استان احداث شده در شکل ۱-۷ ارائه شده است. در این شکل وضعیت قرارگیری سدهای کرخه و کارون ۳ به طور کامل مشخص است.

داده‌های لرزه‌ای استفاده شده در مورد ۱۵ سد از سایت پژوهشگاه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و داده‌های لرزه‌ای مربوط به مطالعه سدهای کرخه و کارون ۳ مربوط به رفتارنگاری لرزه‌ای سدهای کرخه و کارون ۳ توسط شرکت لرزه‌نگار پارسیان می‌باشد. داده‌های تراز آب مربوط به هر سد نیز از طریق وب سایت اختصاصی شرکت مدیریت منابع آب ایران استخراج شده و مورد استفاده قرار گرفت. البته با توجه به اینکه داده‌های یاد شده بعضاً از تاریخ بهره‌برداری سد ثبت نشده است لذا در مورد سد کرخه از ترازهای ثبت شده سطح آب سد کرخه در شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران نیز استفاده شد. گزارشات و نقشه‌ها و تصاویر مورد استفاده در این تحقیق نیز با مراجعه به سازمان‌ها، شرکت‌ها جمع‌آوری شده و مورد استفاده واقع شده‌اند. لازم به ذکر است با توجه به این که سدهای یاد شده چندین سال قبل مرحله مطالعاتی را پشت سر گذاشته‌اند گاهی به علت کوتاهی در نگهداری آنها از بین رفته‌اند و یا هیچ اطلاعاتی از وجود آنها در دست نمی‌باشد یا گزارشات موجود به علت اطلاعات قدیمی یا نادرست چندان قابل استفاده نیستند. نقشه‌های گردآوری شده هم نیازمند به بازنگری و اصلاح داشته‌اند که بعد از انجام اصلاحات مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

شکل ۱-۸ نمایی کلی از وضعیت و چگونگی جریان مطالعات زمین لرزه‌های القائی ناشی از بهره‌برداری سد در این نوشتار را به شکل خلاصه شده ارائه می‌نماید.



شکل ۱-۸- نمودار جریان مطالعات انجام شده.

۱-۵- مشخصات سدهای انتخابی

۱-۵-۱- مشخصات سد مخزنی کرخه

۱-۵-۱-۱- موقعیت جغرافیایی سد مخزنی کرخه

سد مخزنی و نیروگاه برقایی کرخه در فاصله ۲۴ کیلومتری شمال غرب اندیمشک در استان خوزستان (در جنوب غربی ایران) احداث گردیده است. این پروژه عظیم در نقطه‌ای به طول و عرض $48^{\circ}7'8''$ شرقی و $32^{\circ}29'6''$ شمالی در منطقه کرخه واقع شده است (شکل ۱-۷) [۹].

۱-۵-۱-۲- شرایط آب و هوایی ساختگاه سد کرخه

حوضه آبریز رودخانه کرخه به لحاظ وسعت بسیار زیاد از شرایط آب و هوایی متنوعی برخوردار است. بخش‌های شمالی دشت خوزستان و مناطق کوهستانی دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های

ملايم می‌باشند. درجه حرارت در سطح حوضه دشت خوزستان متغير بوده و از حداقل ۲۵- درجه تا حداکثر ۵۰ درجه سانتی‌گراد در طول سال تغيير می‌نماید. متوسط سالانه ریزشهای جوی در حوضه آبریز کرخه ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر در سال متغير بوده است و معمولاً نیمی از کل بارندگی سالانه در زمستان نازل می‌شود و پس از آن بیشترین بارندگی مربوط به فصل پاییز و بهار می‌باشد. میزان متوسط بارش سالیانه در محل سد مخزنی کرخه حدود ۲۹۰/۶ میلی‌متر می‌باشد.

میزان متوسط سالیانه درجه حرارت هوا در محل سد حدود ۲۴/۶ درجه سانتی‌گراد و بالاترین و پایین‌ترین میزان درجه حرارت به ترتیب ۴/۲- و ۵۳/۶ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. متوسط تبخیر سالیانه از سطح آزاد آب حدود ۲۰۷۹ میلی‌متر می‌باشد و میزان متوسط رطوبت نسبی سالیانه حدود ۴۵/۵ درصد است. تعداد روزهای یخبندان در محل طرح بسیار کم و معادل ۴/۵ روز در سال می‌باشد [۹، www.iran.dams.com، www.iwpc.com و www.tw.org.ir].

۱-۵-۱-۳- شرایط زمین‌شناسی ساختگاه سد کرخه

سد مخزنی کرخه و محدوده مخزن آن در حاشیه جنوب غربی بخش چین خورده رشته کوه‌های زاگرس قرار گرفته است. عمده سازندهای منطقه از کنگلومرای سازند بختیاری و رسوبات نرم سازند آغاچاری تشکیل یافته که به دوره میوسن مربوط می‌شود (شکل ۱-۹) [۹ و ۱۰]. با احداث سد مخزنی کرخه دریاچه‌ای به عرض متوسط حدود ۳ کیلومتر و طول حدود ۵۰ کیلومتر ایجاد شده است بخش عمده بالادست سد و ناحیه مخزن از سازند آغاچاری تشکیل یافته که از تناوب لایه‌های ماسه‌سنگ و گل‌سنگ تشکیل شده است و به سمت بالا دارای لایه‌های میکروکنگلومرای است. قسمت بالایی سازند آغاچاری را بخش لهبری تشکیل می‌دهد که تناوبی از ماسه‌سنگ و گل‌سنگ می‌باشد و وضعیت مناسبی را برای ایجاد سفره‌های تحت فشار، پدید آورده است. زمین ریخت‌شناسی سازندهای مزبور از نوع تپه‌ماهور می‌باشد. از نقطه نظر سنگ‌شناسی، دریاچه سد کرخه و ارتفاعات اطراف آن از رسوبات پلیوکواترنر به شرح زیر تشکیل شده است:

بخش لهبری: سنگ کف و دیواره‌های حدود ۴۵ کیلومتر بخش انتهایی دریاچه را رسوبات بخش لهبری متشکل از تناوب گل‌سنگ- ماسه‌سنگ تشکیل می‌دهد. تناوب گل‌سنگی دارای تیغه‌های ماسه‌سنگی و تناوب ماسه‌سنگی از لایه‌های ماسه‌سنگی با تیغه‌های گل‌سنگی تشکیل گردیده است.

سیکل ماسه سنگی لهبری دارای پتانسیل ذخیره و انتقال آب می‌باشد. شاید بتوان گفت علاوه بر اولین سیکل ماسه‌سنگی، بقیه سیکل‌های ماسه‌سنگی لهبری نیز می‌تواند چنین پتانسیلی را داشته باشند. به عبارت دیگر بخش لهبری از تناوب سیکل‌های گل‌سنگی نفوذناپذیر و سیکل‌های ماسه-سنگی با نفوذپذیری متوسط می‌باشد و قابلیت تشکیل لایه‌های آبدار تحت فشار را دارد.

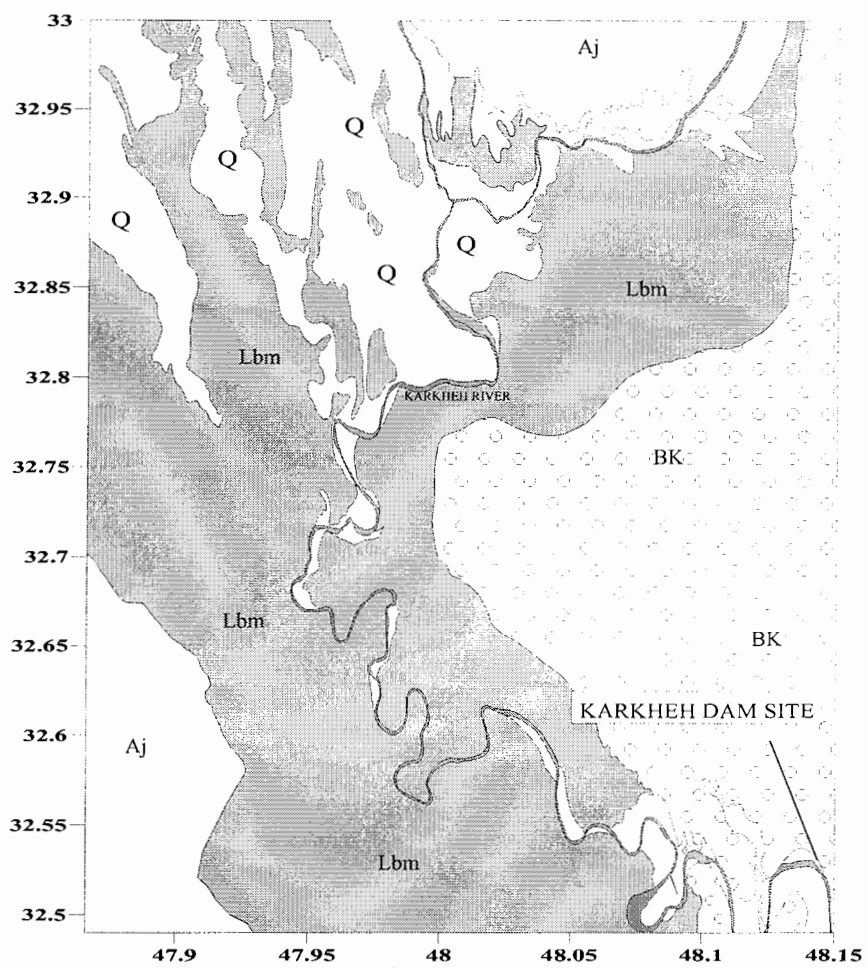
سازند بختیاری: حدود ۵ کیلومتر دریاچه واقع در بالادست بلافصل ساختگاه سد، بر روی رسوبات کنگلومرای بختیاری پلیوپلئستوسن با سیمان ضعیف ایجاد شده است. این سازند در واقع سنگ پی سد و سازه‌های جانبی آن را تشکیل داده است. کنگلومرای مزبور بطور دگرشیب بر روی بخش لهبری قرار دارد. این توده سنگ کنگلومرائی در جناحین دره کرخه کم نفوذپذیر تا نفوذناپذیر می‌باشد و در بستر رودخانه دارای نفوذپذیری متوسطی است. مرز بین بخش لهبری و کنگلومرا در عمق ۱۰۰ متری زیر بستر رودخانه قرار دارد.

رسوبات کواترنری: متشکل از مواد واریزه‌های دامنه‌ای شامل مخلوطی از شن و ماسه در زمینه‌ای از رس و رسوبات نیمه سیمانی پادگانه‌های آبرفتی بستر رودخانه و مسیل‌ها می‌باشند. ضخامت این رسوبات کم است و به شکل پراکنده رخنمون‌هایی از سنگ پی کنگلومرای (واحد BK۱) قابل رویت بوده و دارای نفوذپذیری متوسط تا زیاد است و از گستردگی کمی برخوردارند.

۱-۵-۴- وضعیت نفوذپذیری در منطقه کرخه

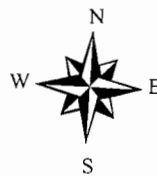
گزارشات زمین شناسی مهندسی سد کرخه [۹، ۱۰ و ۱۱] حاکی از آن است که قشر نازکی از سطح سنگ دارای نفوذپذیری بسیار زیادی است، که در واقع زون هوازده توده سنگ را تشکیل می‌دهد. در زیر زون مزبور، لایه‌ای با نفوذپذیری بسیار زیاد تا متوسط وجود دارد. چند متر از کنگلومرای بالای هر لایه گل‌سنگی دارای سیمان آهکی است که مقاومت نسبتاً خوبی را ایجاد می‌نماید. ۱۵ متر زیر سطح سنگ دارای نفوذپذیری متوسط تا بسیار زیاد می‌باشد و زیر عمق مزبور توده سنگ کم نفوذپذیر تا نفوذناپذیر می‌باشد (شکل ۱-۱۰).

GEOLOGICAL MAP OF KARKHEH

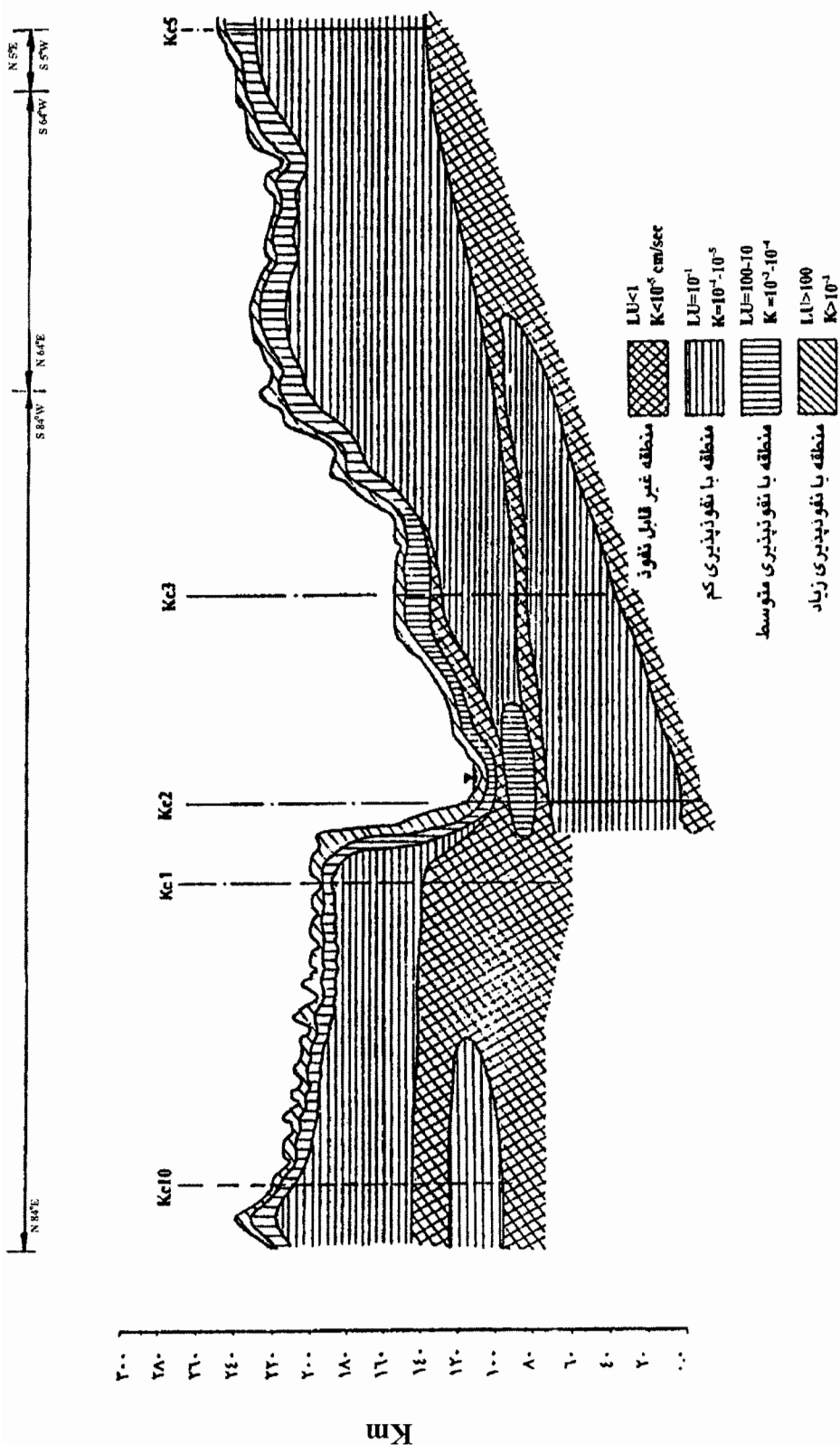


LEGEND

Q	Recent Deposits
BK	Bakhtyari Formation
Lbm	Lahbari Member
Aj	Aghajari Formation



شکل ۱-۹- نقشه زمین شناسی سد و مخزن کرخه [۱۲].



شکل ۱-۱- وضعیت نفوذپذیری در لایه های زیر ساختمانی سد [۹] و [۱۱].

۱-۵-۲- مشخصات سد مخزنی کارون ۳

۱-۵-۲-۱- موقعیت جغرافیایی سد مخزنی کارون ۳

ساختمان سد و نیروگاه برقابی کارون ۳ در رشته کوه های زاگرس، استان خوزستان واقع در جنوب غرب ایران می باشد. این سد بر روی رودخانه کارون و در چند کیلومتری پایین دست پل شالو احداث شده است. این ساختمان در ۲۵ کیلومتری شمال شرق شهر ایذه و از نظر موقعیت جغرافیایی در محلی به طول $۵۰^{\circ}۰۶'$ شرقی و عرض $۳۱^{\circ}۴۷'$ شمالی قرار گرفته است (شکل ۱-۷) [۱۳، ۱۴]، www.iran-dams.com و www.iwpc.com.

۱-۵-۲-۲- شرایط آب و هوایی سد کارون ۳

وضعیت هواشناسی حوضه رود کارون نیز کمابیش مشابه حوضه آبریز رودخانه کرخه است. سطح حوضه آبریز کارون در سلسله جبال زاگرس، حدود ۲۴۰۰۰ کیلومتر مربع است. اقلیم حوضه آبریز کارون، گرم با تابستان های خشک و زمستان های معتدل است. بخش اعظم بارندگی ها در فصل زمستان صورت می گیرد. متوسط بارندگی سالانه در حوضه آبریز کارون در پل شالو (حدود ۵ کیلومتری بالادست ساختمان سد)، ۶۲۰ میلی متر و ارتفاع بخش برف گیر حوضه آبریز، ۲۰۰۰ متر از سطح دریا و مساحت برف گیر حوضه آبریز، ۱۶۰۰۰ کیلومتر مربع است [www.iwpc.com] و www.iran-dams.com.

۱-۵-۲-۳- شرایط زمین شناسی ساختمان سد کارون ۳

سد کارون ۳ در نوار چین خورده ساده زاگرس واقع شده است. از نظر زمین ریخت شناسی این منطقه در مرحله جوانی بوده و ناهمواری های منطقه در جهت شمال غرب-جنوب شرق با برجستگی های محلی متناوب گسترش یافته اند. در منطقه مورد مطالعه ارتفاع کوه ها به ۳۰۰۰ متر می رسد. سازندهای منطقه توسط ساختارهای زمین شناختی حاکم بر منطقه کنترل می شود که عمدتاً به صورت تاقدیس و ناودیس می باشند. شاخص ترین تاقدیس منطقه، تاقدیس کیف ملک با طول ۲۰ تا ۳۰ کیلومتر می باشد. این تاقدیس ها دارای امتداد شمال غرب-جنوب شرق است. و از جنس سنگ

آهک تشکیلات آسماری با هسته‌ای از سنگهای کم مقاومت شیلی و مارنی تشکیلات پابده بوجود آمده است [۱۴ و ۴۴]. سازندهایی که در این منطقه رخنمون دارند عبارتند از:

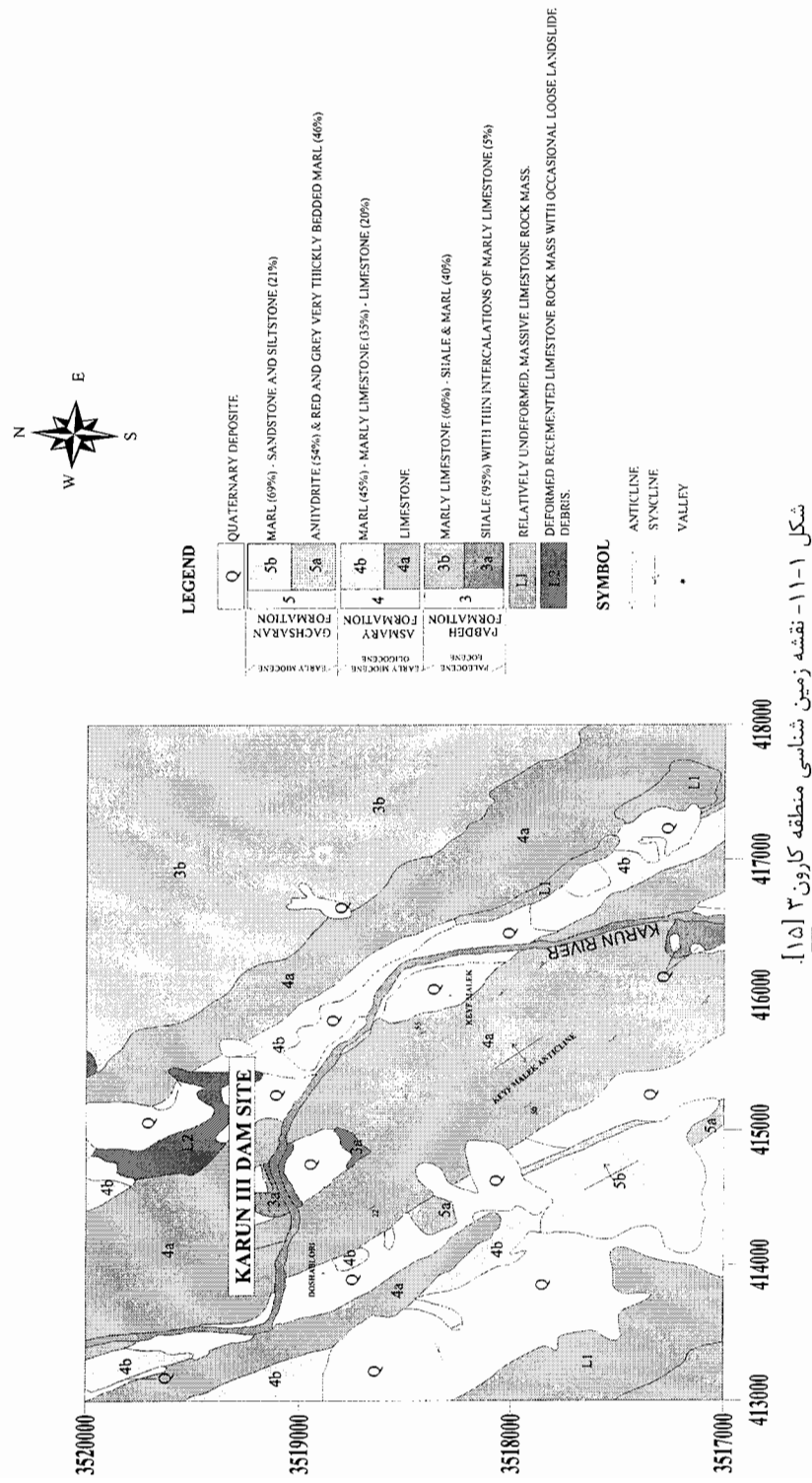
سازند پابده: مرکب از تناوب منظمی از شیل‌های هوازده خاکستری رنگ با آهک های نازک لایه و سنگ مارن است که متعلق به پالتوسن تا الیگوسن می باشد. این سازند با دو زیر واحد 3a و 3b در نقشه زمین شناسی مشخص شده است. واحد 3a اسن سازند در تکیه گاههای سد و در انتهای جنوبی دریاچه سد قرار می گیرند.

سازند آسماری: این سازند متعلق به الیگوسن تا میوسن زیرین و شامل سنگ آهک کرم تا قهوه ای رنگ با سطح هوازده خاکستری و حفره دار، آهک مارنی و سنگ مارن با واحدهای فرعی 4a و 4b می باشد. دریاچه سد کارون ۳ عمدتاً در قسمت 4a قرار می گیرد.

رسوبات کواترنری: نهشته های سطحی عمدتاً به صورت پادگانه‌های آبرفتی در امتداد دره های رودخانه‌ای بر جای گذاشته شده‌اند. وسیع‌ترین این نهشته‌ها در محدوده میانی مخزن سد کارون ۳ گسترش یافته است. این بخش به دو صورت آبرفت قدیمی با سیمان شدگی قوی در پادگانه‌های مرتفع و آبرفت جدید با سیمان شدگی ضعیف در پادگانه‌های کم ارتفاع رخنمون دارد.

شکل ۱-۱۱ نقشه زمین شناسی محدوده سد کارون ۳ و مخزن آن را نشان می دهد.

GEOLOGICAL MAP OF KARUN III



شکل ۱-۱- نقشه زمین شناسی منطقه کارون ۳ [۱۵]:

يَا أَيُّهَا النَّاسُ اتَّقُوا رَبَّكُمُ إِنَّ زَلْزَلَةَ السَّاعَةِ شَيْءٌ عَظِيمٌ

«ای مردمان خدا ترس و پرهیزگار باشید که زلزله روز قیامت حادثه بسیار بزرگی خواهد بود»
(سوره حج آیه ۱)

فصل دوم

پدیده لرزه خیزی القائی

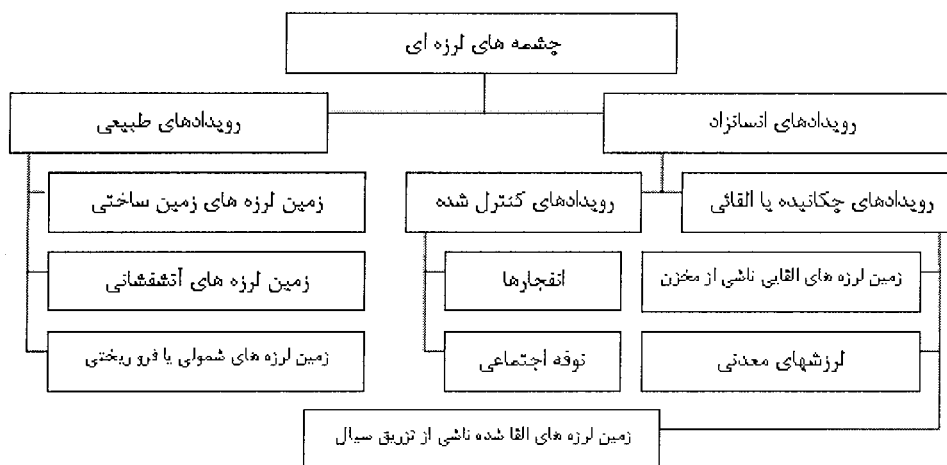
زمین لرزه‌ها نمایی توانمند از رها شدن ناگهانی انرژی کرنشی^۱، که طی مدت مدیدی در سنگ‌کره زمین ذخیره شده است، می‌باشند. زمین لرزه‌ها بسته به عامل ایجاد کننده آنها، انواع مختلفی را شامل می‌شوند که زمین لرزه‌های زمین ساختی، آتشفشانی و فروریختی از آنجمله می‌باشند. همچنین زمین لرزه‌ها را بسته به منشأ تولید آن هم می‌توان تقسیم‌بندی کرد، انواع زمین لرزه‌های ذکر شده در بالا همراه با خرد لرزه‌هایشان در گروه چشمه‌های لرزه‌ای طبیعی طبقه‌بندی می‌شوند. علاوه بر این، چشمه‌های مختلف لرزه‌ای انسان‌ساز هم وجود دارند که این نوع از زمین لرزه‌ها قابل کنترل هستند، که محل و زمان وقوع و شدت لرزش حاصل از این چشمه‌ها از پیش تعیین شده، یا حداقل بسیار قابل پیش‌بینی می‌باشند. این گروه از چشمه‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی به عنوان رویدادهای لرزه‌ای القائی یا تحریک شده (چکانیده یا کنشی) تلقی می‌گردند (شکل ۱-۲)، [۱۶].

۱-۲- زمین لرزه‌های القائی

به طور کلی رویدادهای لرزه‌ای القائی، زمین لرزه‌هایی را توصیف می‌کند که به طریقی در ارتباط با فعالیت‌های انسانی بر روی پوسته زمین می‌باشند، که در دهه‌های اخیر به علت دستکاری زیاد انسانی در محیط با چنین پدیده‌هایی مواجه هستیم. این رویدادهای لرزه‌ای یا به طور کامل انسان ساز باشند

^۱ Strain

(زمین لرزه‌های القا شده)^۱ و یا اینکه در مناطق زمین ساختی فعال، در اثر تغییر وضعیت کلی تنش، روی می‌دهند (زمین لرزه‌های تحریک شده)^۲. این حرکات معمولاً با آشفستگی و برهم زدن موازنه طبیعت همراه بوده و نسبت مستقیمی بین این زمین لرزه‌ها و فعالیت‌های انسانی وجود دارد [۸]. بنابراین باید انتظار داشت که مراکز این نوع زمین لرزه‌ها در نواحی فعالیت انسانها و حوالی آن قرار گیرد.



شکل ۱-۲- گروه‌های اصلی چشمه‌های لرزه‌ای [۱۶].

برخی از فعالیت‌های انسانی، از جمله انفجارهای صنعتی و نظامی، احداث سد و بهره برداری از آنها، بهره‌برداری حجیم از معادن و میدان‌های نفتی و گازی، تزریق مواد زائد مایع به لایه‌های زیرین زمین، آزمایشات هسته‌ای، انواع مختلف نوفه‌های اجتماعی (آمد و شد، صنعت، فعالیت‌های ساختمانی) و اثرات جذر و مد سبب تغییر در میدان تنش طبیعی زمین شده و می‌تواند موجب بروز زمین لرزه القائی گردد [۳۳، ۳۴، ۴۵، ۴۶ و ۴۷].

چنین تغییرات تنشی به دو صورت بارگذاری و باربرداری مصنوعی صورت می‌گیرد. معمولاً زمین لرزه‌های القائی در مناطق با لرزه‌خیزی آرام و متوسط بیشتر مورد توجه واقع شده‌اند. نکته قابل تأمل در این میان این است که این گونه زمین لرزه‌ها حتی در مناطقی که به لحاظ فعالیت لرزه‌خیزی غیر

¹ Induced Earthquakes

² Triggred Earthquakes

فعال می‌باشند نیز مشاهده شده است [۴۸ و ۴۹]. در این فصل نقش احداث سد و بهره‌برداری از آن در ایجاد زمین لرزه‌های القائی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۲- زمین لرزه‌های القائی ناشی از سد

روته در مقاله سال ۱۹۷۰ خود عنوان نمود: «امروز زمین لرزه‌های شدید و خفیفی را می‌توان ذکر نمود که همگی در اثر ساختن سد بوقوع پیوسته‌اند. بشر وقتی که این سدها را می‌سازد در واقع نقش آن شاگرد جادوگری را بازی می‌کند که با کوشش برای کنترل انرژی رودخانه‌ها باعث تمرکز غیر طبیعی فشارهای وارده بر زمین می‌شود که انرژی آن می‌تواند به طور ناگهانی و ویران کننده خود را رها سازد» [۵۰]. یکی از عمده‌ترین عوامل ایجاد کننده زمین لرزه مصنوعی، مخازن و دریاچه‌های سدهای بزرگی است که مخازن آنها بیش از ۸۰ تا ۱۰۰ متر عمق دارند یا حجم مخزن زیادی را دارا هستند [۵۱].

در حقیقت احداث سدها، از جمله فعالیت‌های مهندسی است که باعث بروز زمین لرزه در ساختگاه سد می‌گردد. با احداث سد و ایجاد یک مخزن بزرگ آب بر روی رودخانه، وضعیت طبیعی محیط که طی سالیان دراز حاصل شده است، برهم می‌خورد، و چند میلیارد تن بار جدید بر کف مخزن وارد می‌آید. چرا که قبل از ساخت سد، رودخانه جریان طبیعی خود را داشته و هرگز فشارهای هیدروستاتیکی ناشی از جمع شدن آب پشت سد را تحمل نکرده است و طبیعتاً اگر نیروهای قابل توجهی ناشی از حضور یا عدم حضور آب در مخزن سد به بدنه واحدهای سنگی اطراف رودخانه وارد شود در ابتدا مصالح طبیعی با تغییر شکل بخشی، آنرا به صورت انرژی کرنشی ذخیره می‌نمایند و اگر میزان انرژی وارده از میزان تحمل سنگ بیشتر شود، آنرا همانند انتشار امواج ارتجاعی آزاد می‌نماید که باعث ایجاد زمین لرزه‌های مصنوعی می‌شود.

مطالعات نشان می‌دهد که برخی از مخازن بلافاصله بعد از تکمیل آبیگیری موجب وقوع زلزله می‌شوند (به علت تغییرات کرنش الاستیک^۱)، در این حالت افزایش ناگهانی فشار آب در حالت زهکشی نشده در سطح گسل، عامل بروز زلزله می‌باشد، و بعضی از آنها با تأخیر و بعد از گذشت زمان

^۱ Elastic Strain

باعث ایجاد زمین لرزه می‌گردند (به علت پخش سیال منفذی و بالا رفتن فشار منفذی)، این زمان از چند ماه تا چند سال تغییر می‌کند. در حالت اخیر توزیع فشار آب منفذی به مناطق اطراف و اعماق بیشتر، عامل بروز زمین لرزه می‌باشد [۵۲ و ۵۳]. در بعضی مناطق هم چندین سال بعد، هنگامی که سطح آب مخزن تغییر می‌نماید، تغییرات ناگهانی وزن آب موجود در مخزن سد به علت تغییرات کرنش الاستیک موجب رخداد زمین لرزه می‌گردد. در ادامه به تفصیل به این مبحث خواهیم پرداخت. با توجه به واقعیت‌ها و شواهدی که از زمین لرزه‌های القائی نقاط مختلف گزارش شده است [۳۶، ۳۹، ۳۴، ۶۳، ۶۲، ۶۰، ۵۹، ۵۸، ۵۷، ۵۶، ۵۵، ۵۴، ۶۹، ۶۸، ۶۷، ۶۶، ۶۵ و ۷۰] چنین برمی‌آید که:

۱- در نتیجه بار اضافی ناشی از وزن ستون آب بر لایه‌های زمین و نفوذ آب در داخل بستر دریاچه سد، در خطوط یا نقاطی از لایه‌های زمین که از پیش تحت تنش قرار گرفته‌اند (به احتمال زیاد این قسمت‌ها در آستانه آزاد نمودن انرژی هستند) احتمال وقوع زمین لرزه‌های القائی وجود خواهد داشت.

۲- ساخت سد با کاهش مقاومت سنگ‌ها در اثر جذب آب، افزایش فشار آب منفذی در سطح شکستگی‌ها، گسترش ترک ناشی از تراوش آب و کاهش اصطکاک سطح گسل‌ها بخاطر نقش نرم‌کنندگی و روغن کاری آب، میدان تنش طبیعی را تغییر می‌دهد:

۳- با افزایش سطح آب دریاچه سد نمی‌توان زمین لرزه‌های القائی را کنترل یا کم اثر نمود.

۴- هر زمین لرزه‌ای که در ساختگاه و یا در مجاورت سد اتفاق بیافتد، لزوماً در نتیجه بار ناشی از آب مخزن دریاچه سد نیست.

همچنین بر اساس تجربیات گذشته، می‌توان نوع واکنش منطقه در مقابل بهره‌برداری از مخازن سدهای احداث شده را به سه دسته تقسیم نمود [۱]:

۱- در پاره‌ای از نواحی که سدهای بزرگ و مخازن عظیم ایجاد شده است، هیچ‌گونه زمین لرزه‌ای اتفاق نیافتاده است.

۲- در برخی از نقاط زمین لرزه‌هایی با بزرگی کم یا در حد خرد لرزه در محل ساختگاه سد همراه با تشکیل دریاچه سد رخ داده است. تناوب وقوع این زمین لرزه‌ها با بالا آمدن سطح تراز آب افزایش می‌یابد و پس از آنکه سطح آب به حداکثر ارتفاع خود رسید، تعداد زمین لرزه‌ها افزایش می‌یابد. مطالعاتی که در مورد سد لار (۷۵ کیلومتری شمال تهران)

انجام گرفته نشان می‌دهد که با افزایش سطح تراز آب مخزن، زمین لرزه‌ها از نظر تناوب و شدت افزایش یافته است [۱]. باید اضافه کرد که این گونه زمین لرزه‌ها مشکل حادی را از نظر پایداری سازه سد ایجاد نمی‌کنند ولی می‌توانند در بروز ناپایداری دامنه‌ای تأثیرگذار باشند.

۳- در حالت سوم، پس از آگیری سد، زمین لرزه‌های با بزرگی کم یا در حد خرد لرزه در منطقه اتفاق می‌افتد و تناوب و شدت آنها با افزایش حجم آب به شدت افزایش می‌یابد تا به یک حد خاص برسد. معمولاً هنگامی که ارتفاع آب به بیش از ۱۰۰ متر برسد و یا حجم آب ذخیره شده در حدود یک میلیارد متر مکعب باشد، یک زلزله شدیدتر به وقوع می‌پیوندد. شدت این زمین لرزه‌ها در حدود ۳ تا ۵ در مقیاس محلی و در موارد نادر به بیش از ۵ ریشتر می‌رسد و پس از آن مرحله، لرزه‌های خفیف شروع و نهایتاً قطع می‌شود. در این گونه مناطق خطر زمین لرزه بیشتر تهدید کننده است و بزرگی زمین لرزه‌های القائی از اهمیت خاصی برخوردارند و در محاسبات پایداری سازه سد بایستی به دقت مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. بررسی زمین لرزه‌های اطراف سدها از نظر تکرار، زمان و محل وقوع آنها بیانگر تأثیر چشمگیر تغییرات ارتفاع آب دریاچه سدها بر تشدید فعالیت‌های لرزشی منطقه است. البته این امر عمومیت ندارد بلکه تحت تأثیر عوامل و شرایط مختلف زمین شناسی و لرزه زمین ساخت محل، شرایط میدان تنش، خواص هیدرومکانیکی سنگ‌ها در زیر مخزن و نحوه پر و خالی کردن دریاچه‌ها صورت‌های متفاوتی از این پدیده نمایان می‌شود. در صورتی که گسل فعالی در نزدیکی مخزن سد وجود داشته باشد و یا اینکه زمین شناسی و داده‌های زمین لرزه‌ای در رژیم هیدرولیکی مخزن گویای پتانسیل رویداد زمین لرزه القائی باشد، زمین لرزه القائی باید به عنوان یک رویداد باور کردنی در نظر گرفته شود [۱ و ۳۴].

۳-۲- ویژگی زمین لرزه‌های القائی سد

برخی از مشخصات زمین لرزه‌های القائی ناشی از دریاچه سدها بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط اشخاص مختلف [۳۳، ۳۴، ۳۶، ۳۹، ۴۶، ۵۴، ۵۵، ۶۰، ۶۱، ۶۲، ۶۵، ۶۸ و ۷۱]، اختصاراً به شرح زیر است:

- ۱- احتمال وقوع زمین لرزه‌های القائی در فواصل نزدیک به مخزن دریاچه سد و در محل گسل‌ها بیشتر است.
- ۲- تناوب زمین لرزه‌های کوچک به مراتب از زمین لرزه‌های بزرگ بیشتر است.
- ۳- بزرگی این نوع زمین لرزه‌ها کم بوده و معمولاً کمتر از بزرگی زلزله مبنای طراحی سد می‌باشد ولی مواردی وجود دارد که بزرگی به بیش از ۶ درجه نیز رسیده است (زمین لرزه کوینا با بزرگی ۶/۳)، و باعث صدمات زیادی شده است.
- ۴- این زمین لرزه‌ها در اعماق کم اتفاق می‌افتند و عمدتاً از عمق ۱۰ کیلومتری تجاوز نمی‌کنند. البته چنانچه زمین لرزه‌ها از نوع تأخیری باشند می‌توانند از اعماق زیادتری نیز منشاء بگیرند.
- ۵- خصوصیات قابل مشاهده زمین لرزه، نظیر افت تنش، حرکات زمین، پارامترهای منشاء در این زمین لرزه‌ها، قابل تشخیص از زمین لرزه‌های معمولی با منشاء تکتونیکی نیست.
- ۶- معمولاً حرکات و ارتعاشات شدید لرزه‌ای مصنوعی پس از تعداد زیادی پیش لرزه اتفاق می‌افتد. تکرار لرزش‌ها بطور ثابت در یک محدوده زمانی کم و بیش طولانی افزایش می‌یابد. فعالیت لرزه‌ای با توجه به میزان آب ذخیره شده افزایش یافته و در طی چند سال محو می‌گردد.
- ۷- ساز و کار کانونی این زمین لرزه‌ها در هر منطقه، تقریباً مشابه با زمین لرزه‌های طبیعی منطقه می‌باشد.
- ۸- در سدهای مخزنی که آب برای مدت طولانی‌تری در مخزن باقی می‌ماند احتمال بروز این زمین لرزه‌ها بیشتر است.
- ۹- زمین لرزه القائی می‌تواند در فاصله چند روز پس از تکمیل آبرگیری سد و در مواردی پس از یک یا چند سال اتفاق بیفتد. مثال‌هایی که می‌توان در این مورد بیان کرد، عبارتند از سد آسوان که ۱۷ سال پس از آبرگیری کامل و سد کوینا در هند و سد هسین فنگ کیانگ در چین که پس از یک یا دو سال در آنها زمین لرزه‌های القائی به وقوع پیوسته است [۷۲].

۲-۴- انواع زمین لرزه‌های القا شده از نظر زمان رخداد

زمین لرزه‌های القائی ناشی از سد را می‌توان بر حسب فاصله زمانی شروع آبرگیری و آغاز لرزه‌خیزی به سه گروه عمده زیر تقسیم نمود [۷۴، ۷۳، ۶۸، ۴۶، ۳۴]:

- ۱- لرزه خیزی سریع^۱
- ۲- لرزه خیزی تأخیری^۲
- ۳- لرزه خیزی ممتد^۳

۲-۴-۱- لرزه خیزی سریع

لرزه خیزی آغازین (اولیه)^۴ یا سریع، که معمولاً بیشتر مشاهده شده‌اند به گروهی از زمین لرزه‌های القائی اتلاق می‌شود که بعد از اولین آنگیری سد رخ می‌دهند و باعث افزایشی سریع در میزان لرزه خیزی منطقه سد می‌گردند، یا اینکه به دنبال تغییری ناگهانی در سطح آب سد تغییرات سریعی در لرزه خیزی پدیدار شود. از مثال‌های بارز این نوع پاسخ‌ها می‌توان به سدهای عظیم نورک^۵ و کاریبا و سدهای نسبتاً کوچک مونت سیلو و مانیک^۶ اشاره نمود. بزرگی کوچک، عمق کم و رویداد زمین لرزه‌ها در زیر یا در مجاورت بلافضل مخزن، از مشخصه‌های لرزش‌های پاسخ سریع می‌باشد. در این نوع لرزه خیزی با گذشت زمان از تعداد و بزرگی زمین لرزه‌ها کاسته می‌شود. لرزه خیزی اولیه معمولاً به علت بارگذاری یا باربرداری اتفاق می‌افتد. پاسخ سریع لرزه خیزی به تغییرات تنش الاستیک بر می‌گردد و با تغییرات فشار منفذی نیز رابطه دارد. بزرگترین رخداد، زمانی رخ خواهد داد که سطح آب مخزن به بالاترین حد ممکن برسد. لازم به ذکر است که لرزه خیزی اولیه در ابتدا افزایشی است که بوسیله یک کاهش تدریجی در فعالیت لرزه‌ای تا رسیدن به تنش اولیه محیط، دنبال می‌شود، و معمولاً بین چند ماه تا چند سال طول می‌کشد [۷۳].

۲-۴-۲- لرزه خیزی تأخیری

حوادث عمده‌ای را از نظر بزرگی زمین لرزه واقع شده شامل می‌شوند که نسبتاً بعد از گذشت مدتی از عمر سد روی می‌دهند. آسوان و اورویل مثال‌های کلاسیک از این گروه می‌باشند. این سدها

^۱ Rapid Response Seismicity
^۲ Delayed Response Seismicity
^۳ Continued Seismicity
^۴ Initial Seismicity
^۵ Nurek
^۶ Manic3

تعدادی سیکل مشابه از تغییرات تراز آب را قبل از وقوع رخدادهای لرزه‌ای پشت سر گذاشته‌اند. پاسخ تأخیری بالاترین سطح لرزه‌خیزی است که بوسیله تغییرات کوتاه مدت همراه با بیشینه تراز آب فصلی تحریک شده‌اند. موارد با پاسخ تأخیری معمولاً در فاصله بیشتری از مخزن سد (مساوی یا بیشتر از ۱۰ کیلومتر) واقع شده‌اند و بزرگی آنها زیادتر بوده و در اعماق بیشتری روی می‌دهند. پاسخ تأخیری لرزه‌خیزی به شکل وسیعی به مسئله انتشار فشار منفذی از مخزن به سمت ناحیه کانونی زلزله وابسته است [۷۳].

۲-۴-۳- لرزه‌خیزی ممتد

این نوع لرزه‌خیزی معمولاً نادر است، و برای مدت چند سال بدون کاهش در فرکانس یا بزرگی زمین لرزه‌ها ادامه می‌یابد. که به آن لرزه‌خیزی طولانی شده^۱ (ممتد) گفته می‌شود. در نوع طولانی شده، زمین لرزه‌ها در هر دو ناحیه عمیق و کم عمق (نواحی پیرامونی) مخزن رخ می‌دهند. لرزه‌خیزی ممتد (طولانی شده) به فرکانس و شدت تغییرات سطح دریاچه، ابعاد مخزن و خواص هیدرومکانیکی لایه‌ها زیر دریاچه سد بستگی دارد [۶۸].

در بعضی از سدها مثل کوینا و لیک مید^۲، یک یا ترکیبی از دو یا سه گروه از پاسخ‌ها مشاهده شده‌اند.

۲-۵- ساز و کار زمین لرزه‌های القائی

اساس فهم این پدیده از زمین لرزه‌های القائی ناشی از تزریق سیال در کوه‌های راکی آرسنال، نزدیکی دنور، کلرادو در اوائل دهه ۱۹۶۰ حاصل شد [۳۳]. عوامل گوناگونی برای توجیه چگونگی ایجاد زمین لرزه‌های القائی ناشی از سد توسط افراد مختلف گزارش شده-اند [۸۱، ۸۰، ۷۹، ۷۸، ۷۷، ۷۶، ۷۵، ۶۸، ۶۰، ۵۱، ۴۷، ۳۹، ۳۶، ۳۳].

افزایش فشار سیال و تأثیر فشار سیال منفذی، بار مخزن (بار مخزن، تنش‌هایی را در عمق کانونی زمین لرزه‌ها، القا می‌نماید که بسیار ناچیز بوده و فقط می‌تواند میدان تنش محصور را آشفته نماید)،

¹ Protracted Seismicity

² Lake Mead

خواص فیزیکی محل احداث سد و ناهمگنی در خواص لایه‌های زیرین، تغییرات پایداری گسل که در زیر مخزن تحت تأثیر تغییرات سطح آب مخزن قرار می‌گیرد، نرخ افزایش تراز آب مخزن، مدت زمان بارگذاری، حداکثر تراز آب و مدت نگهداشت آب در تراز حداکثر و تغییرات سطح دریاچه از جمله عوامل مهمی هستند که بر فرکانس و بزرگی زمین لرزه‌های مجاور دریاچه‌های مصنوعی اثر دارند.

بارگذاری سد سه اثر عمده را به دنبال دارد که به تحریک شدن زمین لرزه‌ها می‌انجامد:

۱- افزایش تنش الاستیک که خود پی‌آمد پر شدن مخزن است؛

۲- افزایش فشار سیال منفذی در سنگ‌های اشباع (ناشی از کاهش مقدار تخلخل که در

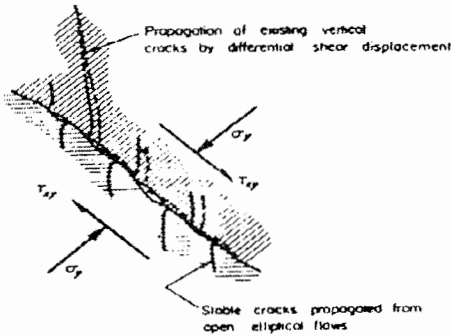
اثر فشردگی بوجود آمده است) در پاسخ به افزایش تنش؛

۳- تغییر فشار منفذی مرتبط با حرکت (مهاجرت) سیال.

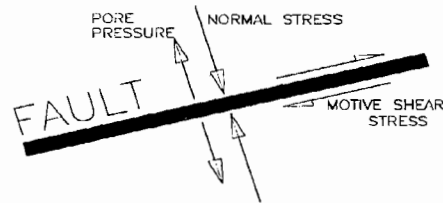
در مناطقی که تراز آب زیر زمینی قبل از آبرگیری سد پایین است، جریان آب از مخزن به لایه‌های غیر اشباع و در نتیجه بالا آمدن سطح آب زیرزمینی عامل مهم دیگری است.

در واقع نظریه واحدی برای شناخت ساز و کار زمین لرزه‌های القائی در نتیجه ذخیره آب وجود ندارد و لذا آنچه تاکنون مورد بررسی قرار گرفته بر اساس شواهد و گزارشاتی است که از مناطق مختلف دنیا در این مورد ارائه شده است. از این رو بطور کلی می‌توان ادعا نمود که این امر هنوز جنبه کیفی خود را حفظ نموده است. در واقع نظریه غالب در مورد علت وقوع زمین لرزه‌های القائی بر اساس افزایش تراز سطح آب دریاچه سد است که منجر به افزایش فشار منفذی داخل سنگها می‌شود و تحت این فشار ممکن است شکست داخلی سنگ‌های پوسته زمین شروع شود (شکل های ۲-۲ و ۲-۳). اثرات این شکست به صورت خرد لرزه‌های القائی مشاهده می‌شود. آب در خلل و فرج سنگ‌ها نفوذ می‌کند و به حرکت درمی‌آید و در نتیجه کشش‌های محلی ایجاد می‌شود و در عین حال شکستگی‌های درونی را صیقل می‌دهد و درزهای موئین سنگ را وسیع تر می‌کند. در این شرایط، آب در گسیختگی سنگ و بروز زمین لرزه مؤثر است.

در شرایط نادر با تغییرات جزئی در تنش و یا مقاومت سنگ، فشار منفذی به عنوان یک محرک باعث می‌شود تا مقدار عظیمی از انرژی تکتونیکی تجمع یافته در لایه‌ها آزاد گردد و در این حالت زمین لرزه‌های القائی در حد متوسط پدید خواهند آمد. در بعضی از گزارشات تحقیقاتی از سایر محرکات نظیر تغییرات دمایی، فشار جو و غیره نیز نام می‌برند.



شکل ۲-۳- نفوذ آب و گسترش ترکها و وسیع تر شدن ترکهای موئین [۱۷].



شکل ۲-۲- با افزایش فشار منفذی، مقدار تنش نرمال مؤثر، به اندازه فشار منفذی کاهش می‌یابد و تنش برشی دامنه عمل بیشتری پیدا می‌کند و شکستگی و جابجایی در سطح گسل ایجاد می‌شود.

فشار منفذی در سنگ‌های پوسته‌ای نقش مهمی را در تغییر شکل، گسلش و فرآیندهای زمین لرزه-ای ایفا می‌نماید. خواص سیال منفذی، فشار و جریان در سنگ‌های متخلخل از لحاظ اینکه نقش مهمی را در فرآیندهای پوسته‌ای مختلفی ایفا می‌نمایند شناخته شده هستند. نظر به این که، وضعیت تنش مؤثر بر تغییر شکل و شکستگی سنگ‌های اشباع از سیال تأثیر دارد، جهت فهم ساز و کار زمین لرزه‌های تحریک شده (القائی) ضروری است که رابطه مشهور ملاک گسیختگی مور-کلمب را بررسی نماییم:

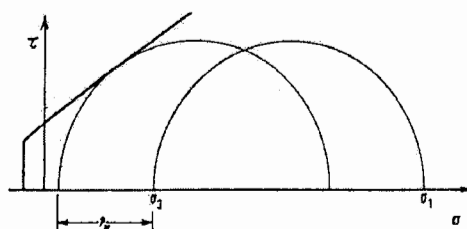
$$\tau_{(crit)} = \tau_0 + \mu(\sigma_n) \quad (1-2)$$

در رابطه (۱-۲)، $\tau_{(crit)}$ یا تنش بحرانی، مقدار تنش لازم جهت گسیختگی یک صفحه و τ_0 مقاومت برشی ذاتی (اصولی) یا چسبندگی توده سنگی، μ ضریب اصطکاک داخلی و σ_n تنش نرمالی است که به صفحه وارد می‌شود. با کاهش تنش نرمال و یا افزایش تنش برشی، گسیختگی در امتداد شکستگی‌های قبلی، رخ داده و تنش لازم برای گسیختگی نسبت به جهت شکستگی اولیه سنگ، افزایش خواهد یافت. این مسئله زمانی اهمیت می‌یابد که بخواهیم به نحوه وقوع زمین لرزه‌های القائی پردازیم. زمین لرزه‌های انسان‌ساز فقط زمانی رخ می‌دهند که تغییرات کوچک در تنش نرمال یا برشی بتواند منجر به گسیختگی سنگها شود. یکی از فاکتورهایی که منجر به تغییرات تنش می‌شود افزایش

فشار منفذی است (شکل ۲-۲). تغییرات تنش نرمال نیز همانند تغییرات تنش برشی می‌تواند منجر به زمین لرزه‌های القائی شود که توسط تغییر فشار منفذی قابل توصیف است. زمانی که مایعات به درون یک زون شکستگی راه می‌یابند، تنش نرمال موثر، به اندازه فشار منفذی، کاسته می‌شود و رابطه مور-کلمب به صورت زیر در می‌آید:

$$\tau_{(crit)} = \tau_0 + \mu(\sigma_n - P) \quad (2-2)$$

در رابطه (۲-۲)، P فشار منفذی است. کاهش تنش نرمال موثر منجر به حرکت دایره مور به سمت چپ می‌شود و می‌تواند گسیختگی روی دهد (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۴- با کاهش تنش نرمال موثر دایره مور به سمت چپ حرکت می‌کند و جابجایی در امتداد گسل روی می‌دهد [۱۷].

این شکنندگی ممکن است به وضعیت اولیه سنگ، وجود گسل و درز و ترک در سنگ، حضور آب و تغییراتی که آب در ایجاد تنش‌های محلی بوجود می‌آورد بستگی داشته باشد. بدیهی است که در این امر ضریب نفوذپذیری از اهمیت بسزایی برخوردار است. در صورتی که سنگ در اثر گسل خرد شده باشد مقدار τ_0 نزدیک به صفر است و مقدار μ معمولاً زیادتر از هنگامی است که سنگ خرد نشده باشد. از معادله (۲-۲) نتیجه می‌شود که ایجاد سد می‌تواند در ایجاد شکستگی یا پایداری پوسته به عنوان عاملی تسریع کننده نمود یابد. چون باعث تغییراتی در مؤلفه قائم تنش یا فشار منفذی می‌گردد. در بعضی مواقع بایستی دو عامل را با مشاهدات دقیق زمانی و مکانی وقوع زلزله‌ها تفکیک نمود. این تفکیک را می‌توان با مقایسه ساز و کار زمین لرزه‌ها و مطالعات تئوری توزیع تنش نیز بدست آورد.

زمین لرزه‌های کم عمق و بزرگ، تغییراتی را در فشار منفذی سیال قابل مقایسه با افت تنش روی گسل‌ها می‌توانند ایجاد کنند [۷۸]. توزیع فشار منفذی به عنوان نتیجه جریان سیال در داخل سنگ-ها و لایه‌های زیرین، به آرامی مقاومت سنگ را کاهش می‌دهد و شاید در نتیجه آن شکستگی‌های بعدی بوجود می‌آیند. این مکانیسم جالب توجه برای توضیح پس لرزه‌های زمین لرزه‌های کوچک به کار می‌رود. مقدار بیشینه زمین لرزه‌های تحریک شده مخزن شاید در ابتدا به وضعیت تنش در ناحیه مخزن مربوط باشد.

۲-۶- بررسی نقش عوامل مختلف در پیدایش زمین لرزه‌های ناشی از سد

۲-۶-۱- وضع مخزن سد و سرعت ذخیره آب

حجم و ابعاد دریاچه سدها از عمده‌ترین عوامل ایجاد کننده زمین لرزه مصنوعی، مخازن به حساب می‌آید. مخازنی که بیش از ۸۰ تا ۱۰۰ متر عمق دارند یا حجم مخزن زیادی را دارا هستند نقش بیشتری را در تولید زمین لرزه القایی ایفا می‌نمایند. البته در سدهایی که اندازه کوچکتری دارند ولی در نواحی فعال به لحاظ زمین ساختی قرار گرفته‌اند نیز این نوع زمین لرزه‌ها مشاهده شده است. از طرف دیگر در پاره‌ای از سدهای بلند و بزرگ دنیا هیچ‌گونه گزارشی در مورد وقوع زمین لرزه پس از آبیگیری سد نرسیده است. سطح مخزن سد هم در این جا نقش مؤثری را بر عهده دارد. چرا که حجم معینی از آب در مخزنی با سطح محدود ولی عمق زیاد می‌تواند باعث تحریک شدن تنش در منطقه شود. چون بار حاصل از وزن آب موجود در مخزن سد بر مساحت محدودی از زمین وارد می‌شود بنابراین این لایه‌های زیر بستر دریاچه سد متحمل نیروی بیشتری می‌شوند که این خود باعث تحریک بیشتر تنش در منطقه می‌شود. در حالت عکس، در مخزنی با همان حجم آب که از سطح بیشتر و عمق کمتری برخوردار است مقدار بار ناشی از وزن آب مخزن سد در سطح بیشتری اعمال می‌گردد. به عبارت دیگر نیروی وارده کمتر از حالت قبل است. علاوه بر این گستردگی زیاد دریاچه سد در مناطق گسلی با درز و شکاف‌های متعدد باعث می‌شود که آب با سهولت و در سطح وسیع‌تری به لایه‌های زیرین نفوذ نموده و منجر به تحریک شدن تنش و رخداد لرزش در منطقه گردد. سرعت آبیگیری سد نیز در این میان بی‌تأثیر نیست. روند افزایش ارتفاع آب (مخصوصاً افزایش سریع ارتفاع آب بعد از یک

دوران طولانی رکود نسبی تغییرات در ارتفاع آب)، بالاترین حد آب ذخیره شده، مدت زمانی که آب دریاچه در بالاترین حد نگهداشته شده است و طول مدت آبیگری (از ابتدای تشکیل دریاچه تا تکمیل عملیات آبیگری) از جمله عواملی هستند که در وقوع یا عدم وقوع زمین لرزه‌ها نقش دارند.

۲-۶-۲- خصوصیات زمین شناختی محل احداث سد

۲-۶-۲-۱- جنس لایه ها و طبقات زمین شناسی موجود در منطقه

با توجه به جنس لایه‌ها، زمین پاسخ‌های متفاوتی را در برابر بارگذاری و باربرداری ناشی از حضور یا عدم حضور آب در مخزن سد خواهد داشت. نفوذپذیری، شکل‌پذیری یا مقاومت سنگ‌ها و لایه‌های زیر مخزن سد در برابر شکستگی بسته به نوع جنس متفاوت است. شرایط زمین شناسی می‌تواند در کنترل بزرگی حداکثر زمین لرزه ناشی از سد دخیل باشد. امواج زمین لرزه تولید شده بسته به نوع جنس لایه‌های زمین در هر منطقه به شکل متفاوتی عمل می‌نمایند و می‌توانند باعث تشدید زمین لرزه‌های دیگر شوند و یا اینکه میرا شده و از بین می‌روند.

۲-۶-۲-۲- مقاومت سنگ‌ها

مقاومت سنگ عبارت است از حداکثر نیرو در واحد سطح سنگ است که سنگ می‌تواند تحمل کند بدون آنکه بشکند. در ادامه عواملی که می‌توانند در آبیگری مخزن سد بر مقاومت سنگ‌ها تأثیر گذار باشند به اختصار مورد بررسی قرار گرفته است [۱۷ و ۱۸].

الف- تأثیر وجود آب بر مقاومت سنگ‌ها

وجود آب به علت تأثیر بر خواص فیزیکی و شیمیایی و مکانیکی سنگ در مقاومت آن تأثیر محسوس دارد. علاوه بر تأثیر فیزیکی شیمیایی آب که موارد آن بسیار متنوع است، فشار آب در درزه‌ها و شکاف‌ها موجب کاهش مقاومت می‌گردد. پدیده شکست سنگ‌ها در اثر فشار آب منفذی ممکن است موجب فعال شدن گسل‌ها و نیز ایجاد درزه‌ها و شکستگی‌های جدید در سنگ‌ها گردد (شکل ۲-۳) که نتیجه آن بروز زمین لرزه‌های جدید یا فعال شدن کانون زمین لرزه‌های کم عمق است. به همین علت ایجاد دریاچه‌های بزرگ سدها نه تنها ممکن است لرزه‌خیزی منطقه را افزایش دهد بلکه

زمین لرزه‌های بزرگی را نیز می‌تواند پدید آورد این احتمال نه تنها در مناطق با زمین ساخت جوان کاملاً منطقی است بلکه با زمین ساخت قدیمی هم قابل طرح است و حتی در مناطقی که به طور طبیعی لرزه‌خیز نیستند نیز ممکن است احتمال وقوع زمین لرزه پس از پر شدن مخزن سد در آنجا صفر نباشد. وجود آب موجب می‌شود که دایره مور تنش‌ها به سمت پوش گسیختگی نزدیک گردد، در اینجا نیز می‌توان مقدار تنش‌های اصلی را به اندازه P_w (فشار آب) کاهش داد و با ترسیم دایره جدید مور وضعیت مقاومت یا شکست سنگ را بررسی نمود (شکل ۲-۴).

ب- تأثیر سرعت نسبی بارگذاری بر مقاومت سنگ‌ها

تجربه‌ها نشان می‌دهد که کندی و تندی افزایش بار تا رسیدن به مقدار بیشینه آن بر مقدار مقاومت سنگ تا حدود ۱۰٪ و بیشتر تأثیر دارد [۱۷]. هر چه افزایش بار در فاصله زمانی کوتاه‌تری صورت گیرد، مقاومت نهایی بزرگ‌تر خواهد بود. یعنی همان مفهوم سرعت کرنش که مقدار کرنش در واحد زمان را بیان می‌دارد. به طور کلی اجسام در سرعت‌های کم کرنش، رفتاری خمیری دارند و در سرعت‌های زیاد کرنش به صورت شکننده عمل می‌نمایند [۸۲]. به عبارت دیگر چنان‌چه آبیگری مخزن سد با سرعت و شتاب انجام گیرد به علت افزایش ناگهانی بار وارده بر پوسته مقاومت کمتر می‌شود. از این عامل می‌توان جهت کنترل زمین لرزه‌های ناشی از سد بهره برد.

ج- تأثیر ناهمسانگردی^۱ سنگ بر مقاومت آن

تفاوت مقدار مقاومت سنگ بر حسب امتداد تنش‌های اصلی، ناهمسانگردی نامیده می‌شود. در سنگ‌هایی که بافت لایه‌ای دارد، یا متخلخل و شکافدار هستند، وجود ناهمسانگردی پدیدار می‌گردد. بررسی‌ها نشان داده که ناهمسانگردی ساختاری سنگ‌های متخلخل و شکافدار باعث پیچیده‌تر شدن اثرات فشار منفذی سیال در آنها نسبت به سنگ‌های همگن می‌گردد [۸۳].

^۱ Anisotropy

۲-۶-۳- خصوصیات ساختاری محل احداث سد

۲-۶-۳-۱- استعداد لرزه‌خیزی منطقه احداث سد

در پاره‌ای موارد ایجاد دریاچه‌های مصنوعی در مناطقی که از نظر زلزله‌خیزی قبلاً به عنوان یک ناحیه با ثبات و آرامی شناخته شده بودند باعث تشدید فعالیت لرزه‌ای منطقه شده و موجب بروز زمین لرزه‌های شدیدی می‌گردند که با خصوصیات لرزه‌ای حاکم در منطقه تا آن زمان مغایر می‌باشد. این زمین لرزه‌ها ممکن است به تجدید فعالیت لرزه‌ای در منطقه در اثر حضور دریاچه کمک نماید. بدین معنی که این زمین لرزه‌ها باعث تحریک گسل‌هایی می‌شوند که در آستانه جنبش قرار دارند. مثال برای این مورد تأثیر دریاچه سد هسین فنگ کیانگ در ایالت کوانگ تونگ چین می‌باشد [۲]. محاسباتی که در شرایط حداکثر آبیگری دریاچه (عمق آب در حدود ۱۱۵ متر) در مورد اندازه‌گیری جابجایی‌های افقی و قائم کف دریاچه به عمل آمده نشان داده است که افزایش فشار در منطقه بر اثر ایجاد دریاچه سد هسین فنگ کیانگ مسلماً موجب افزایش فعالیت لرزشی و حدوث لرزش‌های خفیف متعددی در منطقه شده ولی فشار آب به حدی نیست که نقش اصلی در ایجاد زمین لرزه‌ای به شدت بیشتر از ۶ ریشتر را ایفا نماید.

۲-۶-۳-۲- تأثیر درزها و منافذ در لایه‌های زیر دریاچه

تأثیر درزها و منافذ در لایه‌های زیر دریاچه عامل تأثیرگذار بعدی است. وجود درزها و منافذ در لایه‌های زیر مخزن سد که موجب نفوذ آب به طبقات پایین‌تر و افزایش فشار بین منافذ سنگ (فشار منفذی^۱) در عمق و در نهایت باعث وقوع زمین لرزه‌ها می‌گردد (شکل ۲-۵).

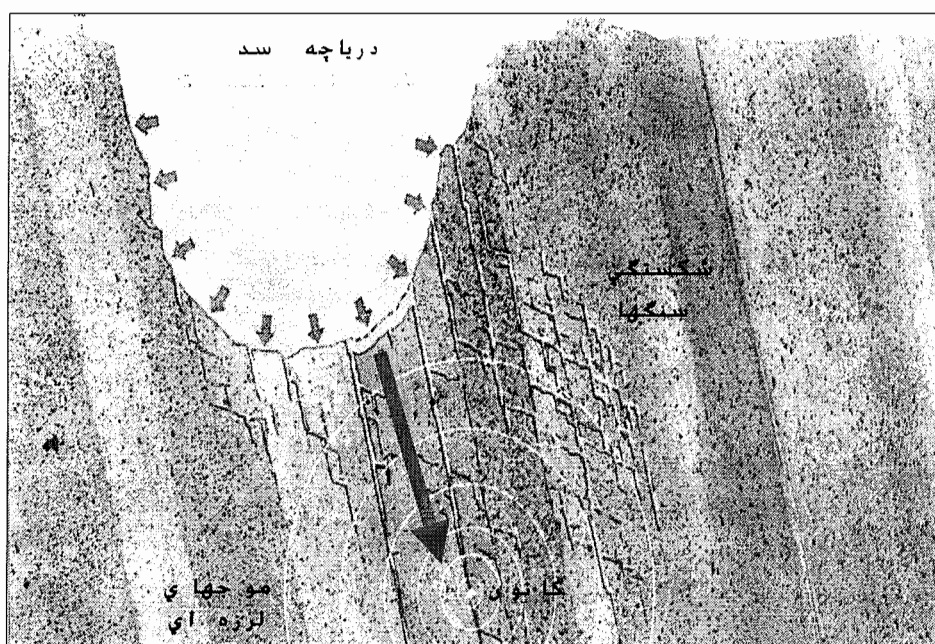
۲-۶-۳-۳- وجود گسل‌ها و شکستگی‌های متعدد در منطقه احداث سدها

وجود گسل‌ها و شکستگی‌های متعدد که از نظر نکتونیک می‌تواند موجب بی‌ثباتی منطقه می‌گردد به عنوان یکی دیگر از عوامل مؤثر در بروز زمین لرزه‌های القائی محسوب می‌شود. در این شرایط مخصوصاً نفوذ

^۱ Pore Pressure

آب در سطح جدائی گسلها و لغزنده ساختن آنها موجب سهولت حرکت لایه ها می شود. بارزترین مثال در این مورد تغییر وضع زلزله خیزی منطقه کرمستا می باشد [۲].

اگر گسل های موجود در منطقه فعال باشند در صورت بروز زمین لرزه القائی ناشی از سد حتی اگر گسل ها با فاصله زیادی از مخزن سد قرار گرفته باشند هم فعالیت این گسل ها بیشتر می شود. غالباً سدها در منطقی با لرزه خیزی فعال احداث می شوند. علت این موضوع را می توان در بهره گیری از توپوگرافی زمین به عنوان مکانی مناسب برای نگهداری آب جستجو نمود.

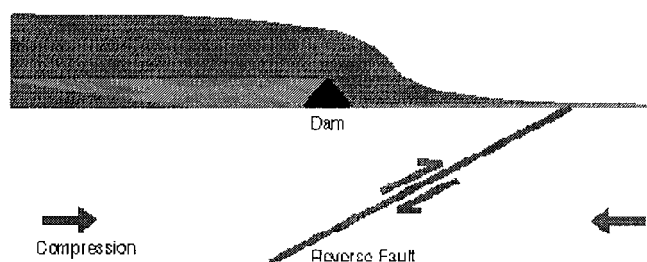


شکل ۲-۵- طرحی شماتیک از چگونگی ایجاد زمین لرزه های القائی ناشی از اثر پر کردن دریاچه پشت سد. آب جمع شده وزن مشخصی را در محل کف مخزن بر پوسته وارد می سازد که باعث تجمع نیروهای کرنشی در مصالح منطقه می گردد. همراه با نفوذ آب به داخل ترکها و حرکت آب به عمق، مقاومت اصطکاکی سنگ کاهش می یابد و لغزش در مسیر گسل بوجود آمده و انرژی لرزه ای آزاد می شود [۱۹].

معمولاً سدها در دره ها ساخته می شوند. و دره ها در مناطقی با فرسایش فعال بوجود می آیند. فرسایش فعال هم به نوبه خود بر وجود بالا آمدگی های اخیر پوسته زمین در منطقه اشاره می نماید. تحت یک رژیم زمین ساختی فشارشی گسل های معکوس یا راندگی ها باعث بالا آمدگی پوسته می شوند و شیب این گسل ها به سمت بلوک بالا رانده شده فرو می رود. از آنجایی که رود خانه ها معمولاً از ارتفاعات سرچشمه می گیرند، آب رودخانه بر روی این بالا زدگی به سمت مناطق با ارتفاع کم جریان

می‌یابند و شروع به کندن بستر خود با گذر زمان می‌نمایند. به این ترتیب دره‌ها پدیدار می‌شوند. بدین جهت، در مجاورت بسیاری از سدها یک گسل فعال به زیر سد پیشروی نموده است (شکل ۶-۲).

همراه با گسل‌های موجود شکستگی‌ها و شکاف‌های زیادی در منطقه وجود دارد که این درز و شکاف‌ها نقش عمده‌ای را در عبوردهی آب به طبقات زیرین ایفا می‌نمایند، که به نوبه خود می‌توانند باعث تحریک شدن زمین لرزه‌های منطقه گردند. بسته به موقعیت میدان تنش مسبب گسل نسبت به برآیند بار وارده بارگذاری، وزن آب ممکن است سبب افزایش لرزه‌خیزی یا کاهش آن گردد.



شکل ۶-۲- طرح شماتیکی از موقعیت گسل‌های معکوس فرو رونده به زیر مخزن سد [www.seis.com.au].

۶-۲-۱-۳-۳-۳-۱- واکنش انواع گسل‌ها به بار وارده ناشی از دریاچه

نوع واکنش گسل، نسبت به بار وارده ناشی از مخزن، بر اساس میدان تنش مسبب گسل متفاوت خواهد بود. برای توصیف این واکنش‌ها و تأثیر بارگذاری بر میدان تنش، می‌توان از دایره مور استفاده نمود. برای این منظور ابتدا لازم است به مفهوم وضعیت تنش در سطح داخل جسم اشاره شود.

برای محاسبه مؤلفه‌های تنش نرمال (σ_n) و تنش برشی (τ) در سطحی واقع در داخل جسم می‌توان از روابط ۳-۲ و ۴-۲ (در حالت دو بعدی) و رابطه‌های ۵-۲ و ۶-۲ (در حالت سه بعدی) و یا روش ترسیمی دایره مور (شکل ۴-۲) استفاده نمود [۸۴].

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\theta \quad (۳-۲)$$

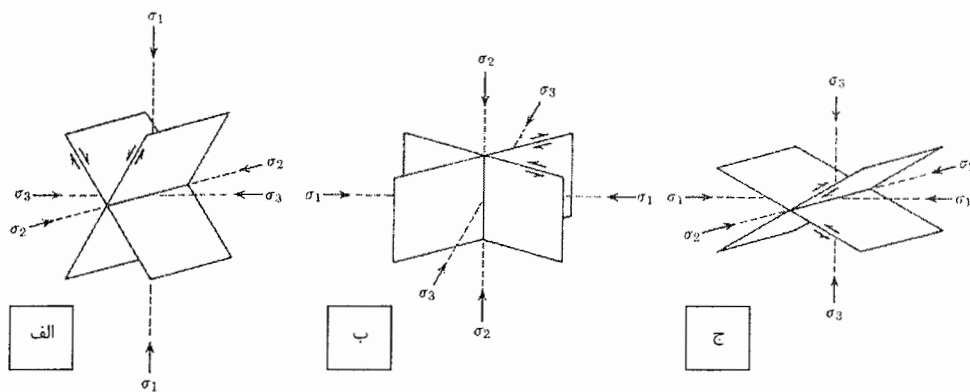
$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\theta \quad (۴-۲)$$

$$\sigma_n = \sigma_1 l^2 + \sigma_2 m^2 + \sigma_3 n^2 \quad (۵-۲)$$

$$\tau = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 l^2 m^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 m^2 n^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 n^2 l^2 \quad (۶-۲)$$

در حالتی که توده سنگ در منطقه گسل، تحت تأثیر فشار آب منفذی به اندازه P باشد، مقدار تنش به اندازه P کاهش خواهد یافت. برای تعیین موقعیت سطح گسل در درون توده سنگ می توان از زاویه θ در حالت دو بعدی (زاویه بین خط عمود بر سطح و σ_1) و در حالت سه بعدی از کسینوس-های هادی عمود بر سطح (l, m و n) استفاده نمود.

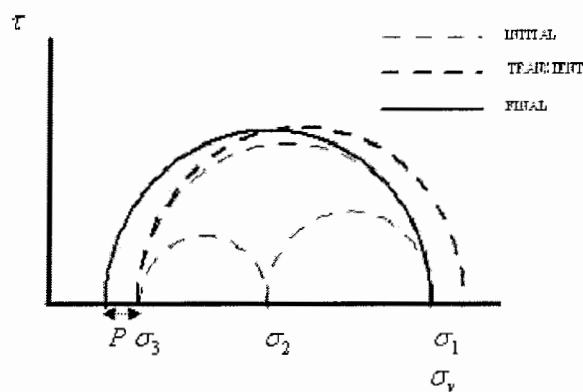
در ادامه به تشریح واکنش انواع گسل به بار وارده از سوی دریاچه سد و فشار آب منفذی به شکل جداگانه می پردازیم. قبل از پرداختن به این موضوع ضروری است که به نظریه آندرسون^۱ (۱۹۴۲) در خصوص موقعیت تنش های اصلی ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) در هر سه نوع گسل نرمال، معکوس و راستالغز اشاره کنیم (شکل ۷-۲) که به ترتیب σ_1, σ_2 و σ_3 در وضعیت قائم و دو تنش اصلی دیگر افقی هستند [۸۵].



شکل ۷-۲- ارتباط بین تنش های اصلی و سه نوع گسل (الف نرمال ب راستالغز د معکوس). [۹۰].

^۱ Anderson

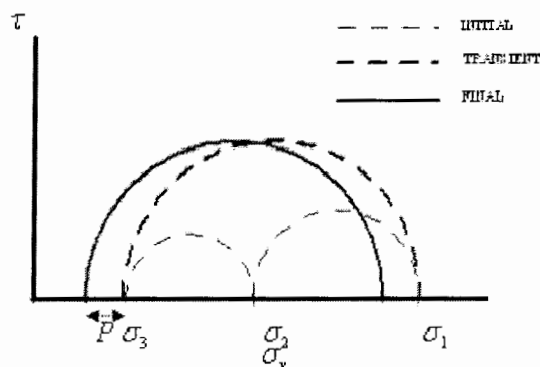
در گسل‌های نرمال σ_1 به صورت عمود عمل می‌کند. در چنین محیطی بار وارد بر سطح (وزن آب پشت سد) که به طور عمود وارد می‌شود، باعث افزایش σ_1 شده و مقدار آن برابر با ρgh می‌باشد که در آن h ارتفاع آب پشت سد و g شتاب ثقل و ρ وزن مخصوص آب است. در این حالت دایره $\sigma_1 - \sigma_2$ و $\sigma_1 - \sigma_3$ به علت افزایش σ_1 بزرگتر می‌شوند و نهایتاً باعث افزایش توأمان σ_n و τ می‌شوند (شکل بیضوی تنش در سطح $\sigma_1 - \sigma_2$ و $\sigma_1 - \sigma_3$ تغییر می‌کند) و سنگ به شرایط شکست نزدیک می‌شود. افزایش لرزه‌خیزی بسته به مشخصات شکستگی ممکن است در اثر پر کردن سد اضافه شده و یا نشود. به جز اثر وزن آب، فشار منفذی نیز با گذشت زمان در اثر نفوذ آب زیاد می‌شود. به طوری که نفوذ آب در اعماق کم، سریع‌تر بوده و در اعماق زیاد، با سرعت کمتری صورت می‌گیرد، که البته میزان نفوذ آب به نفوذپذیری محیط بستگی دارد. حداکثر فشار نفوذ ρgh می‌باشد. ازدیاد فشار منفذی باعث کم شدن تنش مؤثر σ_1 و σ_3 می‌گردد بنا بر این دایره مور به سمت مبدا حرکت می‌کند و به شرایط شکست نزدیک‌تر می‌گردد (شکل ۲-۸). در صورتی که تنش کوهزایی قبل از پر کردن سد نزدیک به قدرت مقاومت سنگ یا تنش بحرانی پوسته باشد ازدیاد فشار منفذی باعث ازدیاد لرزه‌خیزی می‌گردد. غالباً افزایش لرزه‌خیزی ناشی از سد نتیجه این پدیده است.



شکل ۲-۸. تغییر محل دایره مور نسبت به پوش گسستگی متأثر از تغییر تنش زمین ساختی در گسل نرمال. تنش اولیه (تنش با منشاء کوهزایی)، تنش بینابین (حالت بین تنش الاستیک ایجاد شده در اثر بار سد و تنش اولیه کوهزایی) و تنش نهایی (تنشی ایجاد شده بعد از به تعادل در آمدن سیستم سد و محیط).

ب- گسل امتدادلغز^۱ یا راستالغز

در گسل‌های امتداد لغز σ_2 تنش عمود بر سطح است. بار ناشی از ایجاد سد باعث تقویت تنش σ_2 که به طور عمود عمل می‌کند می‌شود. بنا بر این با تغییر بزرگی σ_2 اندازه دواير $\sigma_2 - \sigma_3$ و $\sigma_2 - \sigma_1$ تغییر می‌نماید ولی اندازه و مکان دایره $\sigma_1 - \sigma_3$ ثابت است. با توجه به این تغییرات شکل بیضوی تنش در سطح $\sigma_2 - \sigma_1$ و $\sigma_2 - \sigma_3$ دچار تغییر می‌شود. تمام این تغییرات هیچ تأثیری در مقادیر σ_{xx} و τ ندارد و شرایط مثل زمان قبل از آبرگیری سد باقی می‌ماند. ولی با گذشت زمان و نفوذ آب، عامل فشار آب منفذی افزایش یافته و دایره مور را به سمت مبدأ جابجا می‌کند. این امر باعث کم شدن مؤلفه‌های افقی تنش‌های مؤثر σ_1 و σ_3 می‌گردد (شکل ۲-۹). بنا بر این سیستم به شکستگی نزدیک‌تر شده و لرزه‌خیزی نسبت به زمان قبل از آبرگیری سد افزایش می‌یابد.



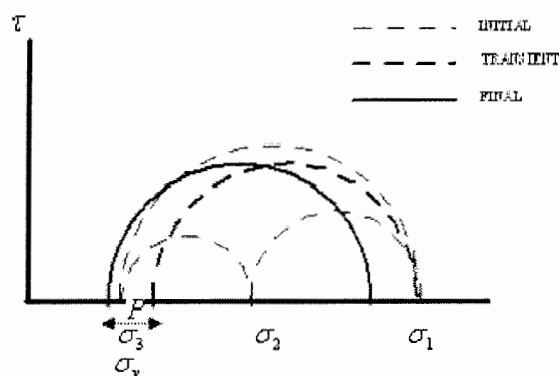
شکل ۲-۹- تغییر محل دایره مور نسبت به پوش گسستگی متأثر از تغییر تنش زمین ساختی در گسل امتدادلغز. تنش اولیه (تنش با منشاء کوهزایی)، تنش بینابین (حالت بین تنش الاستیک ایجاد شده در اثر بار سد و تنش اولیه کوهزایی) و تنش نهائی (تنشی ایجاد شده بعد از به تعادل در آمدن سیستم سد و محیط).

ج- گسل معکوس

در این نوع گسل تنش‌ها که عملکرد آن به صورت قائم است تنش σ_3 می‌باشد. بار ناشی از سد مقدار حداقل تنش یا σ_3 را حداکثر به مقدار ρgh خنثی می‌کند علاوه بر این باعث کاهش مقدار تنش بیشینه σ_1 که در امتداد افقی عمل می‌نماید می‌گردد میزان این کاهش کمتر از ρgh است و این امر

^۱ Wrench

باعث تغییر سیستم از حالت شکستگی می‌گردد. به عبارت دیگر با کاهش $\sigma_3 - \sigma_2$ دوایر $\sigma_3 - \sigma_2$ و $\sigma_3 - \sigma_1$ هم دچار تغییر می‌شوند و به دنبال آن شکل بیضوی تنش هم در سطوح $\sigma_3 - \sigma_2$ و $\sigma_3 - \sigma_1$ تغییر می‌یابد. با کوچک‌تر شدن دایره‌های $\sigma_3 - \sigma_2$ و $\sigma_3 - \sigma_1$ مقادیر σ_n و τ را همراه با هم کاهش می‌دهد و به این ترتیب سنگ از شرایط شکست فاصله می‌گیرد. هنگامی که فشار منفذی بطور تدریجی در عمق زیاد شد و به حد نهایی خود که برابر ρgh می‌باشد رسید مجدداً سیستم به وضعیت شکستگی نزدیک می‌شود (شکل ۲-۱۰). ولی با وجود این ممکن است هنوز از وضعیت شکستگی که قبل از پر کردن سد موجود بود فاصله داشته باشد. بنابراین بعد از کم شدن سریع اولیه در لرزه‌خیزی دو مرتبه لرزه‌خیزی به حالت اول نزدیک می‌شود، ولی برای این حالت مدت‌ها زمان لازم است، تا به حد لرزه‌خیزی قبل از پر کردن سد برسد و این امر ممکن است آن قدر ادامه پیدا کند تا تنش‌های ناحیه‌ای و کوهزایی مقدار تنش را به حد بحرانی برساند و دو مرتبه شدت لرزه‌خیزی مانند قبل زیادتر شود.



شکل ۲-۱۰- تغییر محل دایره مور نسبت به پوش گسستگی متأثر از تغییر تنش زمین ساختی در گسل معکوس. تنش اولیه (تنش با منشاء کوهزایی)، تنش بینابین (حالت بین تنش الاستیک ایجاد شده در اثر بار سد و تنش اولیه کوهزایی) و تنش نهایی (تنشی ایجاد شده بعد از به تعادل در آمدن سیستم سد و محیط).

۲-۷- پیامدهای ناشی از زمین لرزه‌های القائی

معمولاً بزرگی زمین لرزه‌های القائی کوچک است و خیلی کمتر از زلزله مبنای طراحی در سدها می‌باشد لذا زمین لرزه‌های مزبور بطور مستقیم تاثیری در پایداری سازه سدها ندارند. باید توجه داشت

که اکثر رخدادهای القائی از نظر بزرگی جزو خرد زمین لرزه‌ها محسوب می‌گردند. البته در مقایسه با سایر زمین لرزه‌های القائی نظیر معدنکاری، استخراج سوخت‌های فسیلی و انفجارات هسته‌ای، شوک اصلی زمین لرزه‌های القائی ناشی از سد بزرگی بیشتری داشته‌اند. از جمله معضلات در این زمینه، جداسازی زمین لرزه‌های القائی و تکتونیک از یکدیگر می‌باشند که تقریباً می‌توان گفت که نسبت به یکدیگر دارای مشخصه قابل توجهی نیستند. مگر اینکه از روی مشخصاتی از قبیل میزان تراز آب مخزن، موقعیت دقیق رخدادهای و نحوه آگیری سد، یک زلزله را به عنوان زلزله القائی به سد نسبت داد.

اما وقوع زمین لرزه‌های مکرر با بزرگی پایین ممکن است منجر به سست شدن دامنه‌ها، ناپایداری کانال‌های انتقال آب و وقوع لغزش در داخل مخزن و اطراف آن شده و بسته به نوع سازندهای منطقه باعث ایجاد گسیختگی و گسلش در منطقه به ویژه بر روی گسل‌هایی که در آستانه جنبش قرار دارند گردد. علاوه بر این چنانچه منطقه کوهستانی و گسلی باشد در صورت بروز لرزش‌های مکرر حوادثی چون سقوط و ریزش سنگ را نیز به دنبال دارد. مشکل خطرناکی که ممکن است خرد لرزه‌های القائی در پی داشته باشند، به جلو انداختن زمین لرزه‌های طبیعی و یا تشدید آنها می‌باشد. به این ترتیب که در بعضی مناطق، نبوده‌های لرزه‌ای چند ساله وجود دارد که این نبود لرزه‌ای به وضعیت تنش در گسل لرزه‌زا و میزان تحریک ایجاد شده بستگی دارد، با تکرار زمین لرزه‌های کوچک چنین بخش‌های قفل شده گسلی فعال شده و انرژی ذخیره شده چندین ساله خود را آزاد نموده و زمین لرزه‌های بزرگی را پدید می‌آورند. به خصوص زمانی که زمین لرزه القائی پیامد جنبش گسلی باشد که با گسل دیگری به صورت هم درد^۱ ارتباط دارد این مسئله بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. چنان چه گسل دوم، دوره آرامش طولانی را گذرانده باشد می‌تواند جنبش لرزه‌ای بزرگ‌تری را در پی داشته باشد.

با اینکه بزرگی زمین لرزه‌ها، کوچک است ولی شرایط زمین می‌تواند دامنه امواج لرزه‌ای را تقویت نماید. حضور رسوبات نرم، به ویژه باعث تقویت چشمگیر امواج لرزه‌ای می‌شود. فرونشست در مناطقی که مستعد این خطر می‌باشند از پیامدهای دیگر حاصل از لرزش‌های متوالی است.

^۱ Symphatetic fault

ناگفته نماند که سیمای اولیه زمین لرزه، لرزش زمین است در حالی که پدیده‌های ثانویه حاصل از زمین لرزه‌ها (گسلش، لغزش بین لایه‌ای و اثرات آن در سطح زمین، نشست زمین، روان شدن خاک، حرکت توده‌ای، رخداد سیل به دلیل شکسته شدن سدها، آتش سوزی در نواحی شهری و غیره) می‌توانند به مراتب خطرناک‌تر باشند [۲۰، ۲۱، ۵۴]. در ایران عموماً مناطق احداث سدها منطبق با محل اسکان روستانشینان می‌باشد. لذا در صورت بروز چنین لرزش‌هایی در منطقه روستائیان بیش از سایرین در معرض خطر خواهند بود. چرا که مصالح مورد استفاده در خانه‌های روستایی عموماً مصالح ابتدایی ساختمان‌سازی و عمدتاً از خشت و چوب می‌باشد. قدر مسلم چنین خانه‌های مقاومت لازم در برابر زمین لرزه‌هایی با بزرگی‌های کم را ندارند. بنابراین لازم است قبل از آبگیری سدهای عظیم تصمیمات جدی برای مصون داشتن سکنه پیرامون از حوادث لرزه‌ای اتخاذ گردد و سکنه حاضر تا شعاع اطمینان مشخصی از پیرامون سد تخلیه شوند.

علاوه بر موارد یاد شده، به احتمال زیاد زمین لرزه‌های القائی می‌توانند پیامد مثبت هم به دنبال داشته باشند بدین معنی که می‌توانند با تخلیه انرژی الاستیک در گسل‌های منطقه به خصوص گسل‌های با قفل شدگی‌های چند ساله باعث کاهش نرخ لرزه‌خیزی منطقه شده و از بروز زمین لرزه-های بزرگتر جلوگیری نمایند [۴۰، ۴۱ و ۴۲]. البته این مورد در بازه زمانی محدودی می‌تواند مؤثر باشد چرا که با نفوذ بیشتر آب در زمین و افزایش فشار منفذی در طی زمان لرزه‌خیزی فعال می‌شود. به این ترتیب با داشتن شناخت بیشتر در این زمینه و برنامه‌ریزی صحیح و شایسته شاید بتوان لرزه-خیزی مناطق فعال لرزه‌ای را تحت کنترل درآورد.

فصل سوم

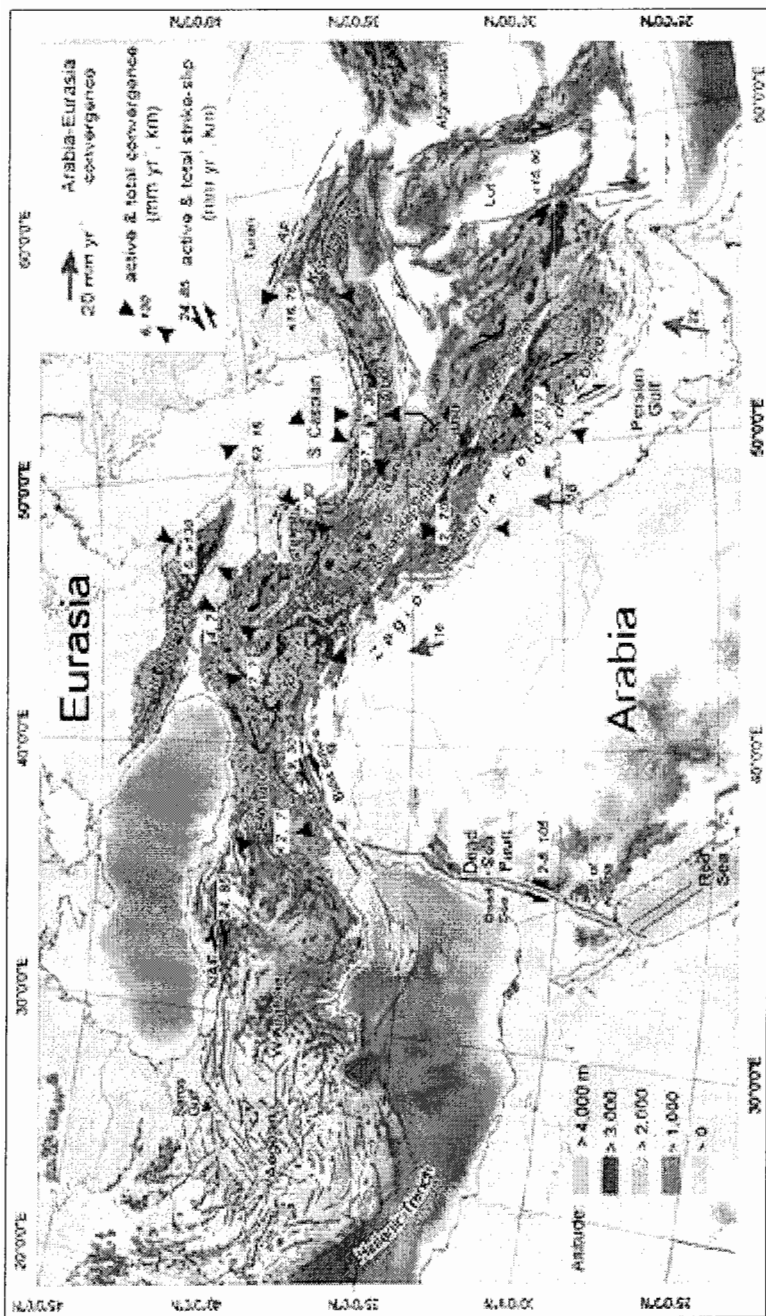
لرزه زمین ساخت زاگرس

ایران زمین بخشی از کمربند عظیم کوهزایی آلپ - هیمالیا به شمار می‌آید و از نظر موقعیت تکتونیکی بین دو صفحه همگرای عربستان در جنوب غرب و اوراسیا در شمال قرار گرفته است [۲۳ و ۷، ۶] (شکل ۱-۳). میزان همگرایی صفحات اوراسیا و عربستان بر اساس کارهای انجام شده به طور متوسط حدود ۲۰ تا ۳۵ میلی متر در سال برآورد شده است [۸۶، ۸۷، ۸۸ و ۸۹]. به علت شرایط خاص زمین ساختی، غالب گسل‌های موجود در ایران دارای ساز و کار فشاری یا با مؤلفه مهم فشاری همراه با مؤلفه راستالغز می‌باشند، ساز و کار کانونی زمین لرزه‌های دستگاهی مؤید این الگو می‌باشد (شکل ۲-۳). چندین تقسیم‌بندی به لحاظ زمین ساختی بر اساس داده‌های لرزه‌ای و زمین ساختی در ایران صورت گرفته است. عمدتاً ایران شامل ایالت‌های مهم لرزه زمین ساختی زیر می‌باشد:

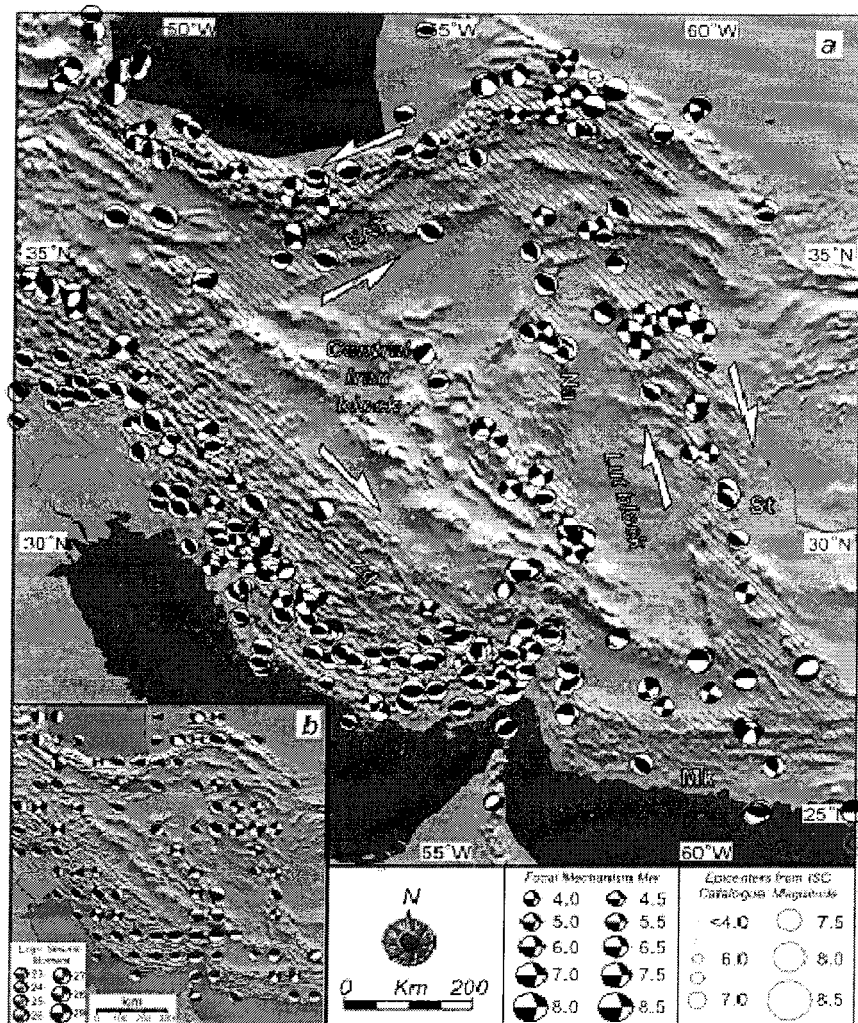
۱- زاگرس ۲- البرز ۳- کپه داغ ۴- مکران ۵- ایران مرکزی

این ایالت‌های زمین ساختی هر یک لرزه‌خیزی متفاوتی را از خود نشان داده‌اند، به طوری که ایران مرکزی پایین ترین سطح لرزه‌خیزی و منطقه زاگرس با بالاترین سطح لرزه‌خیزی از جمله لرزه-خیزترین ایالت‌های ایران است.

مطالعه تاریخچه لرزه‌خیزی زاگرس نشان می‌دهد که رویداد زمین لرزه‌های ویرانگر تاریخی و دستگاهی متعدد مناطق بسیاری را در این گستره از کشور ویران نموده است. حضور گسل‌های بنیادی



شکل ۳-۱- نقشه نمایانگر موقعیت زمین شناسی ایران در منطقه برخوردی عربی - اوراسیا (بخشی از کوهزایی آلپ - هیمالیا). توپوگرافی، ساختار، سرعت‌های دگربرخشی کنونی و کرنش نهایی در منطقه مذکور نشان داده شده است. اعداد ایتالیک سرعت کوتاه شدگی یا لغزش را بر حسب میلی‌متر در سال را بیان نموده و در کنار آن کوتاه شدگی نهایی یا امتداد لغز به کیلومتر آمده است. حروف اختصاری استفاده شده در متن نقشه عبارتند از: AF گسل عمیق آبد، E گسل اسمیش، EAF گسل شرق آناتولی، M-O گسل مالانیا- اواسیک، MRF گسل جوان اصلی، NAF گسل شمال آناتولی. خطوط قرمز رنگ نشان دهنده، که راندگی آنها با پیکان مشخص شده است. سرعت کنونی همگرایی عربستان - اوراسیا از Segall و همکاران ۲۰۰۲ اقتباس شده است [۸۶].



شکل ۳-۲- ساز کار کانونی و زمین لرزه های دستگاهی ایران تا سال ۲۰۰۳ [۹۰].

جنبا و کواترنری باعث شده است که گستره زاگرس به عنوان لرزه خیزترین گستره ایران، از خطر لرزه- ای^۱ بالایی برخوردار باشد [۲۴].

همچنین به علت قرار گرفتن رودخانه‌های پر آبی چون دز، کرخه و کارون در این پهنه جغرافیایی از کشور سدهای متعددی نیز در این ناحیه احداث شده و یا در حال ساخت و طراحی می‌باشند. از آنجا که سدهای مورد مطالعه نیز در این ناحیه از کشور واقع است معرفی مختصری از ایالت زمین ساختی

^۱ Seismic Hazard

زاگرس در این فصل آمده است و به دنبال آن گسل‌های کواترنری مناطق احداث سدهای کرخه و کارون^۳ معرفی شده‌اند.

۳-۱- واحدهای ریخت زمین ساختی زاگرس

بربریان (۱۹۹۵) بر اساس توپوگرافی و عوارض ریخت زمین ساخت سطحی، نوع تغییر شکل، داده‌های زمین شناختی - زمین ساختی زیر سطحی و لرزه‌خیزی ناحیه‌ای، نوار چین‌خورده-رانده شده زاگرس^۱ را از شمال خاوری به سمت جنوب باختری به ۵ واحد ریخت زمین ساختی تقسیم می‌کند [۸۷].

که هر یک از این واحدها دارای مقادیر متفاوتی چین خوردگی، بالاآمدگی، فرسایش و رسوبگذاری می‌باشند:

۱- نوار راندگی زاگرس مرتفع^۲

۲- نوار چین خورده ساده^۳

۳- پیش ژرفای زاگرس^۴

۴- دشت ساحلی زاگرس^۵

۵- منطقه پست خلیج فارس- بین‌النهرین^۶

این پنج واحد ریخت زمین ساخت در زاگرس توسط راندگی‌های اصلی عمیق و ناپیوسته‌ای از یکدیگر جدا می‌شوند. راندگی‌های اصلی عمیقی که مرز واحدهای ریخت زمین ساختی زاگرس را تشکیل می‌دهند عبارتند از:

۱. گسل معکوس اصلی زاگرس (MZRF)^۷ و گسل اصلی جوان زاگرس (MRF)^۸ که مجموعاً

زمین درز زاگرس^۹ را می‌سازند و مرز بین زاگرس و ایران مرکزی می‌باشند.

۲. گسل زاگرس مرتفع (HZF)^{۱۰}.

۳. گسل پیشانی کوهستان (MFF)^۱.

^۱ Zagros Fold – Thrust Belt

^۲ The High Zagros Thrust Belt

^۳ The Simple Fold Belt

^۴ The Zagros Foredeep

^۵ The Zagros Coastal Plain

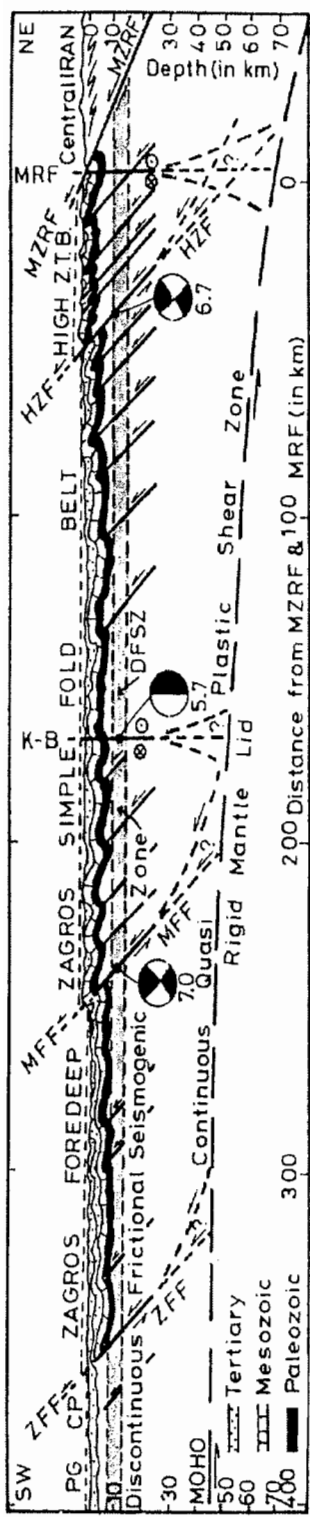
^۶ The Persian Gulf-Mesopotamian lowland

^۷ Main Zagros Revers Fault

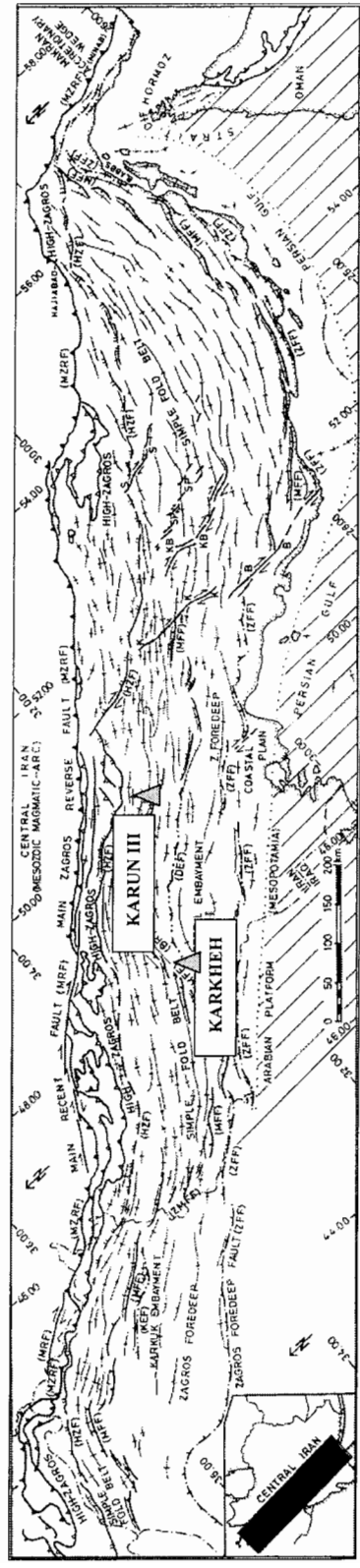
^۸ Main Recent Fault

^۹ Zagros Geosuture

^{۱۰} Haigh Zagros Fault



شکل ۳-۳- برش عرضی ساده شده از کمربند فعال چین خورده - رانده زاگرس به همراه واحد های ریخت زمین ساختی و راندگی های عمیق جدا کننده این واحدها [۱۸۷].



شکل ۳-۴- عوارض ریخت زمین ساخت اصلی و واحدهای کمربند چین خورده-رانده زاگرس. گسل های معکوس طولی اصلی عبارتند از: DEF گسل فروافتادگی دزفول، گسل زاگرس مرتفع، گسل KEF فروافتادگی کرکوک، MFF گسل پیشانی کوهستان، MZRF گسل معکوس اصلی زاگرس، ZFF گسل پیش زرفای زاگرس. گسل راستگرد طولی اصلی، MRF گسل اصلی جوان زاگرس. گسل های عرضی اصلی در این گستره عبارتند از: B گسل برازان، K گسل کارزون، KB گسل کره سی، S گسل سروستان، SP گسل سبزپوشان، BR پهله برشی چگورد بالاوود در شمال باختری فروافتادگی دزفول [۱۸۷].

۴. گسل فروافتادگی دزفول (DEF)^۱.

۵. گسل پیش ژرفای زاگرس (ZFF)^۲.

پنج واحد ریخت زمین ساختی و گسل‌های جدا کننده آنها در برش شکل ۳-۳ و نقشه شکل ۳-۴ قابل مشاهده است.

نوار چین خورده رانده زاگرس در حاشیه شمال خاوری پوسته قاره‌ای عربی واقع شده و دارای پی سنگ متامورفیک پرکامبرین می‌باشد. نوار زاگرس را می‌توان بر اساس رویداد چین‌خوردگی، حداقل به دو بخش رانده چین‌خورده و ساده چین‌خورده تقسیم کرد. زون چین‌خورده ساده دارای ساختاری شبیه به زون تراستی زاگرس است با این تفاوت که شدت چین‌خوردگی در آن کمتر است. صفحات محوری چین‌ها عموماً به سمت شمال خاوری شیب دارند و همچنین گهگاه گسلش رانده با شیب به سمت شمال خاوری دیده می‌شود. به نظر می‌رسد که این چین‌خوردگی در رابطه با کوتاه‌شدگی پوسته در پی سنگ متامورف باشد، جایی که حرکت‌ها در طول گسل‌های تراستی مدفون که معمولاً در سطح زمین رخنمون ندارند ایجاد می‌شود.

۳-۲- لرزه‌خیزی زاگرس

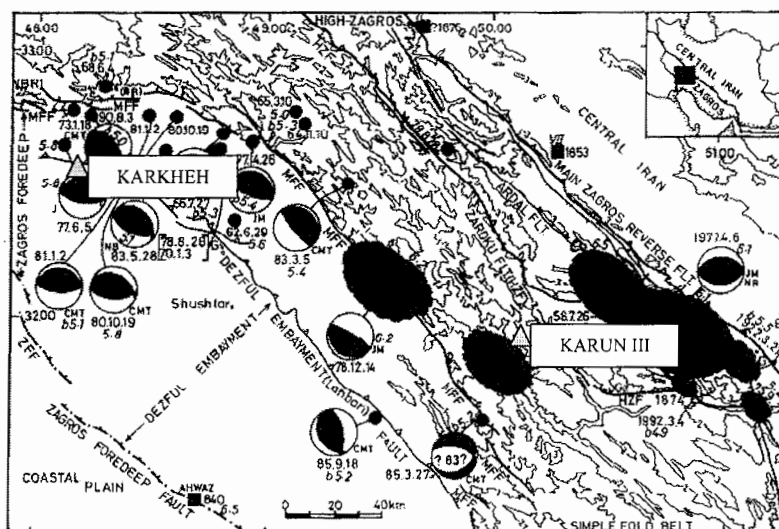
رویداد زمینلرزه‌های تاریخی و دستگاهی در گستره رسوبی - ساختاری زاگرس و قرارگیری روندهای ساختاری جنبا در این گستره نمایانگر لرزه‌خیزی بالای این بخش از کشور است. بربریان (۱۹۹۵) لرزه‌خیزی زاگرس را نتیجه فعالیت در طول دو دسته گسل اصلی می‌داند [۸۷]:

۱. راندگی‌های اصلی طولی که به موازات روند کلی زاگرس، دارای امتداد شمال باختری-جنوب خاوری می‌باشند؛ مانند گسل‌های اردل، زاگرس مرتفع، جبهه کوهستان زاگرس، پیش ژرفای زاگرس.
۲. گسل‌های راستالغز عرضی که نوار چین‌خورده - رانده شده زاگرس را قطع می‌کنند؛ مانند گسل‌های کازرون و سبزویشان.

¹ Dezful Embayment Fault

² Zagros Foredeep Fault

به لحاظ تاریخی، تعداد نسبتاً کمی زمین لرزه قبل از سده بیستم در گستره مورد مطالعه گزارش شده است. این موضوع احتمالاً به خاطر توزیع کم جمعیت در این منطقه بوده است و نه به خاطر عدم رویداد زمین لرزه، ولی در سده بیستم نرخ بالایی از فعالیت لرزه‌ای در این گستره ثبت شده است. لرزه‌خیزی در زاگرس در ۲۰۰ کیلومتری جلویی (شمال خاوری) این نوار رورانده گسترش دارد [۸۸]. ساز و کار کانونی برای این زمین لرزه‌ها به طور مشخص گسلش معکوس با شیب زیاد (۴۰ تا ۵۰ درجه) را نشان می‌دهد، که در عمق ۸ تا 4 ± 13 کیلومتری بالاترین بخش پی سنگ دگرگونی و زیر نمک‌های هرمز پوشش رسوبی فوقانی واقع شده‌اند و بزرگی آنها ۴ تا ۶ است. محققین این طور پیشنهاد کنند که زمین لرزه‌ها در بالاترین بخش پی سنگ متمرکز شده‌اند [۴، ۹، ۸۷، ۸۹، ۹۱، ۹۲ و ۹۳].



شکل ۳-۵- ساز و کار کانونی تعدادی از زمین لرزه‌های زاگرس در محدوده مورد مطالعه [۸۷].

ساز و کار چیره گسل‌ها در نوار چین‌خورده - رانده شده زاگرس نشان دهنده حرکت معکوس بزرگ زاویه است و امتداد آنها به موازات روند عمومی محور چین‌ها است. ساز و کار کانونی تعدادی از زمین لرزه‌های زاگرس مربوط به گسل‌های جبهه کوهستان و فرو افتادگی دزفول در شکل ۳-۵ مشاهده می‌شود که محدوده سدهای کرخه و کارون ۳ نیز در این شکل نشان داده شده‌اند.

۳-۳- گسل‌های کوتاه‌تری پیرامون ساختگاه سدهای مورد مطالعه

۳-۳-۱- سد کرخه

در این بخش گسله‌های اساسی در گستره ۶۰ کیلومتری پیرامون ساختگاه سد معرفی شده‌اند. (شکل ۳-۶) [۹۴].

گسل دزفول: این گسل کوتاه‌تر با درازای بیش از ۲۰۰ کیلومتر و راستای شمال غرب-جنوب شرق با شیب به سوی شمال شرق، از نوع راندگی است. دره لهری در نتیجه عملکرد این گسل به وجود آمده است. این گسله در فاصله حدود ۵ کیلومتر و کمتر شرق مخزن سد قرار دارد. بر طبق جابجایی زهکش‌ها یک مؤلفه امتداد لغز می‌توان برای این گسله تخمین زد.

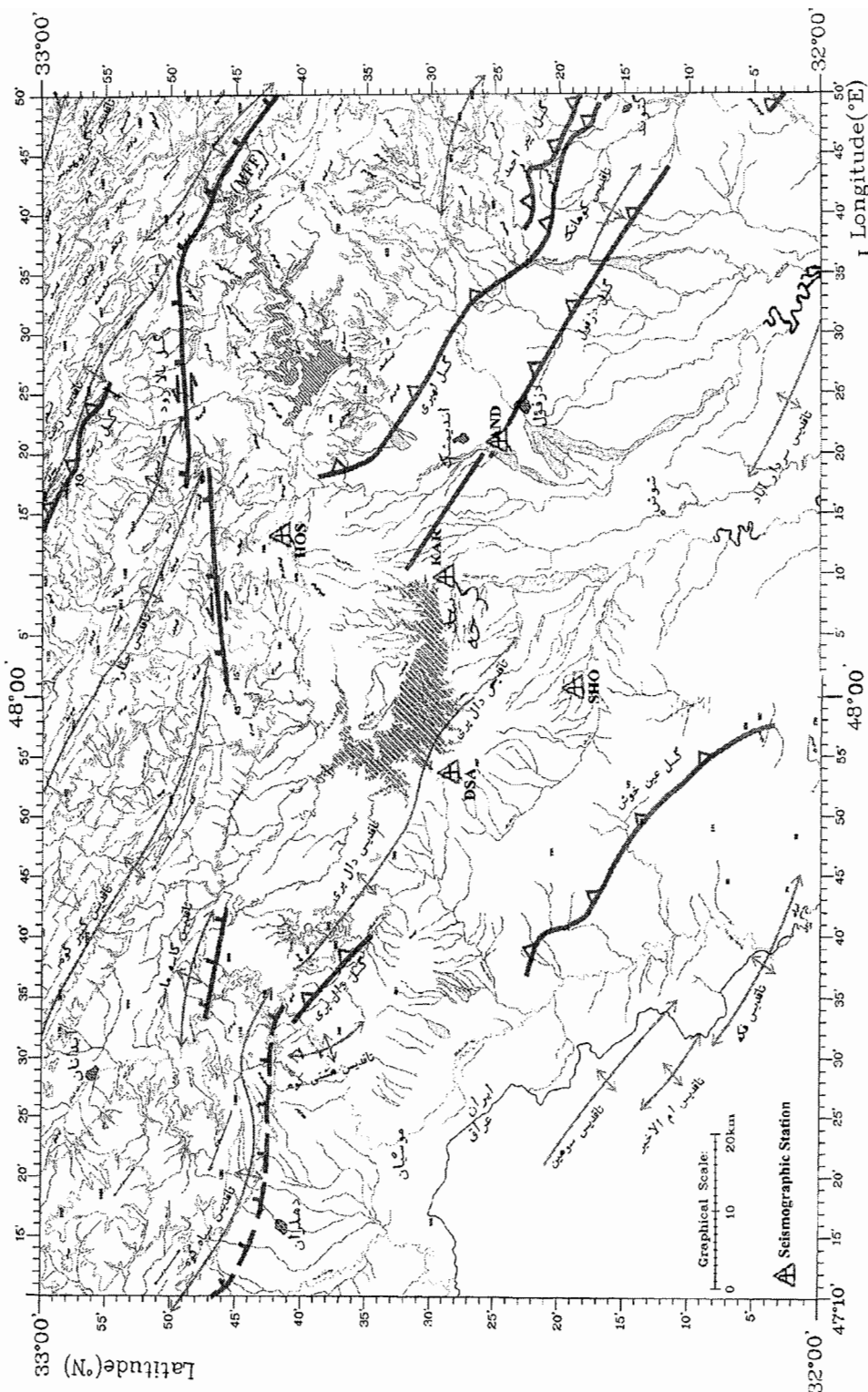
گسل لهری: این گسل چپگرد دارای درازای حدود ۱۵۰ کیلومتر است که با روند شمال غرب-جنوب شرق و با شیب به سمت شمال شرق از ۱۷ کیلومتری شمال شرقی دریاچه کرخه می‌گذرد.

گسل دالپری: گسل دالپری در غرب تاق‌دیس دالپری قرار دارد و درازای آن حدود ۲۰ کیلومتر می‌باشد. در اثر حضور این گسل تشکیلات آجاجاری بر روی تشکیلات بختیاری و جوانتر (کواترنر بالایی) رانده شده است. کمترین فاصله این گسله تا ساختگاه سد حدود ۴۵ کیلومتر است.

گسل عین‌خوش: گسل عین‌خوش یا چشمه خوش در ادامه بخش شمال باختری راندگی میشداخ قرار دارد. امتداد این گسل شمال غرب - جنوب شرق است که به سمت شمال شرق شیب دارد. طول آن حدود ۵۰ کیلومتر است و در فاصله حدود ۴۲ کیلومتری از ساختگاه سد قرار دارد.

گسل ریت: این گسل حدود ۲۵ کیلومتر طول دارد و به موازات بخش شمال خاوری راندگی سیکوند می‌باشد. فاصله این راندگی تا ساختگاه سد حدود ۵۵ کیلومتر است.

گسل پیر/حمد: دارای شیب بسیار کم است و در طول آن تشکیلات گچساران بر روی تشکیلات بختیاری رانده شده است. روند این گسله شمال باختری-جنوب خاوری است و به سمت شمال خاوری شیب دارد. طول آن حدود ۲۷ کیلومتر و فاصله آن تا ساختگاه سد حدود ۵۰ کیلومتر است.



شکل ۳-۶- نقشه ساختاری منطقه سد کرخه. نزدیکترین گسل به مخزن سد گسل دزفول می باشد [۲۵].

گسل پیشانی کوهستان: در واقع به عنوان یک گسله اصلی پنهان از آن یاد می‌شود که حرکت آن موجب رشد لبه خمیدگی کوهستان زاگرس شده است که مرز بین زاگرس چین خورده ساده در شمال شرق و پیش ژرفای زاگرس در جنوب غرب است. این یک گسله پر شیب و اساسی است که در تمامی طول ایالت لرزه زمین ساخت زاگرس ادامه دارد. این گسله به عنوان یک گسله لرزه‌زای پنهان در زاگرس معرفی شده است.

بیشتر گسل‌ها در نزدیکی ساختگاه سد کرخه به عنوان گسل‌های مولد زمین لرزه‌های تاریخی شناخته نشده‌اند ولی این گسل‌ها به عنوان گسل‌های توانمند در ایجاد زمین لرزه‌های بزرگ معرفی شده‌اند. بنابراین بیشینه زمین لرزه‌ای که ممکن است توسط آنها ایجاد شود باید تخمین زده شود. جدول ۱-۳ نمایانگر بزرگترین زمین لرزه قابل تصور در ارتباط با فعالیت گسل‌های محلی است.

جدول ۱-۳- بزرگترین زمین لرزه‌های قابل تصور در گسل‌های منطقه سد کرخه [۹ و ۴].

گسل	طول (Km)	مهاجر اشجعی و نوروزی (۱۹۷۸)	امبرسبز و ملویل (۱۹۸۲)	نوروزی (۱۹۸۵)	میانگین	نزدیکترین فاصله تا ساختگاه (Km)
دالیری	۲۰	۶،۴	۶،۱	۶،۲	۶،۲	۴۵
چشمه خوش	۵۰	۶،۸	۶،۶	۶،۷	۶،۷	۴۲
دزفول	۲۰۰	۶،۸	۶،۷	۶،۸	۶،۸	۵
لهبری	۱۵۰	۷،۳	۷،۳	۷،۳	۷،۳	۱۷
ریت	۲۵	۶،۵	۶،۲	۶،۴	۶،۴	۵۵
پیر احمد	۲۷	۶،۵	۶،۲	۶،۴	۶،۴	۵۰
پیشانی کوهستان	۸۵	۷	۷	۷	۷	۴۰

گسل‌های بالارود، ریت و دزفول در مقایسه با دیگر گسل‌ها فعالیت بیشتری از خود نشان می‌دهند از میان تمامی این گسل‌ها، گسل دزفول و لهبری کمترین فاصله را تا ساختگاه سد دارند.

۳-۳-۲- سد کارون ۳

ساختگاه سد کارون ۳ نیز همانند سد کرخه در ایالت لرزه زمین ساختی زاگرس واقع شده است. شکل ۷-۳ نشان دهنده نقشه ساختاری گستره ساختگاه این سد می‌باشد. در ادامه گسل‌های اساسی در گستره ۶۰ کیلومتری پیرامون ساختگاه سد معرفی شده‌اند. مهمترین گسل‌های منطقه در جدول ۲-۳ آمده است [۹۴ و ۹۵].

گسل زاگرس مرتفع: گسل بلند زاگرس از روند شمال غرب-جنوب شرق تبعیت کرده، و مرز شمالی کمربند چین خورده زاگرس با بلوک ایران مرکزی را تشکیل می‌دهند. طول اثر گسلش در سطح بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر است و از ۵۰ کیلومتری ساختگاه سد کارون ۳ عبور می‌نماید. گسل دوشابلری: نزدیک‌ترین گسل به ساختگاه سد، گسل دوشابلری است که گسلی معکوس و بزرگ زاویه با امتداد شمال غرب می‌باشد، این گسل به طول ۱۰ کیلومتر از ۵۰۰ متری ساختگاه سد کارون ۳ عبور می‌نماید. روند این گسل شمال غرب-جنوب شرقی که تا حدی به سمت لایه‌بندی متمایل شده‌اند. احتمالاً این گسل از نوع معکوس با شیب زیاد همراه با جابجایی جانبی است. این گسل رسوبات واریزه‌های کواترنری را در چند محل قطع کرده و هیچ نشانی از جابجایی گسل که بتواند مواد جوانتر را به هم بریزد در دست نیست. گسل دوشابلری ساختاری نسبتاً کم عمق است که برش سیمان شده آن و نیز عدم آشفستگی نهشته‌های کواترنری بر غیر فعال بودن این گسل دلالت دارد. بنابراین ظاهراً هیچ خطر لرزه‌ای را در این ساختگاه مطرح نمی‌سازد. ولی بعد از ابگیری سد کارون ۳ می‌تواند از نظر لرزه‌ای فعال گردد.

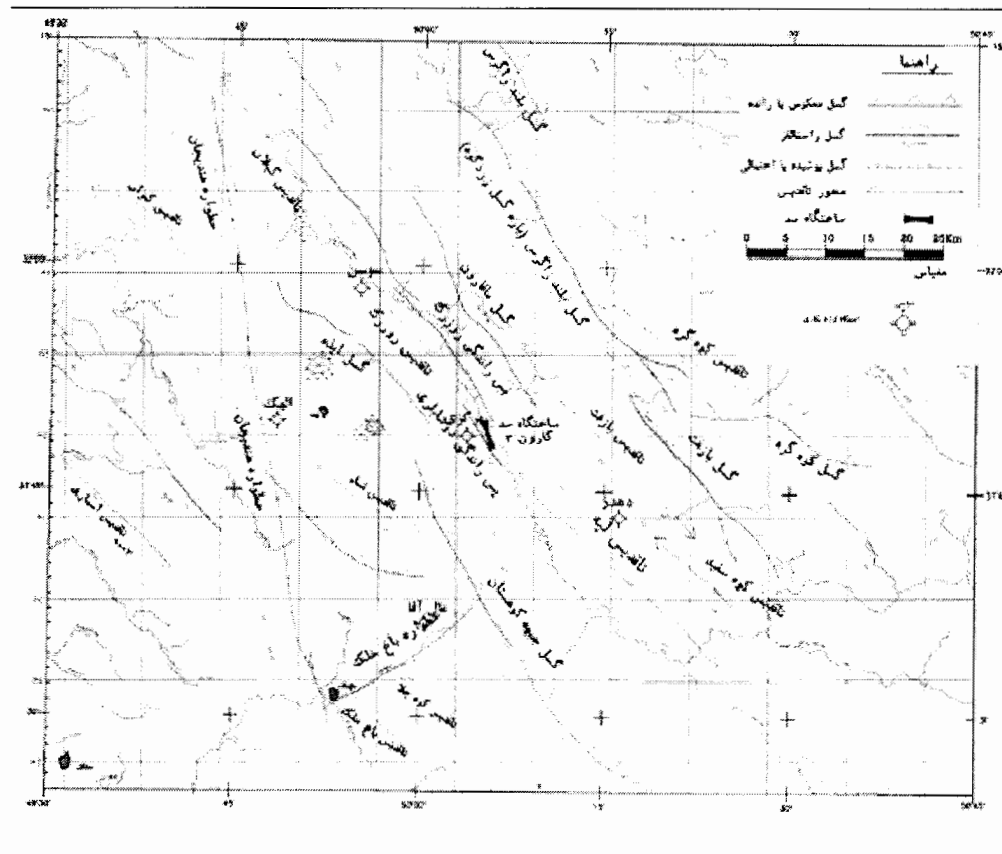
گسل ایذه: گسل ایذه به طول تقریبی ۵۰ کیلومتر از حوالی ۳۰ تا ۵۰ کیلومتری غرب ساختگاه سد عبور می‌کند. گسل از نوع معکوس و بزرگ زاویه‌بده و در امتداد جنوب شرقی - شمال غربی قرار دارد. این روند منشاء تعدادی از زمین لرزه‌های با بزرگی $M5/0$ تا $M6/5$ می‌باشد.

گسل مافارون^۱: این گسل با روند شمال غرب - جنوب شرق و از نوع رورانده می‌باشد که به جهت شمال شرق متمایل گشته است. طول گسل مافارون ۸۵ کیلومتر است، و انتهای جنوبی آن از $17/3$ کیلومتری ساختگاه سد کارون ۳ عبور می‌نماید. هیچ‌گونه فعالیت لرزه‌ای به گسل مافارون نسبت داده نشده است.

زون رورانده مال آقا: این زون یک زون گسلی به طول ۴۰ کیلومتر است که از حدود ۲۲ کیلومتری جنوب غرب ساختگاه سد کارون ۳ عبور می‌کند. این زون یک واحد ساختمانی ممتد و منفردی نیست. در دهکده مال آقا، این زون شامل ۳ گسل کاملاً موازی تا تقریباً موازی است. زون گسلی مال آقا

^۱ Mafarun

شامل گسل‌های نسبتاً کم عمقی است که هیچ زمین لرزه یا فعالیت لرزه‌ای با گسل مذکور رابطه‌ای ندارد.



شکل ۳-۷- نقشه ساختاری منطقه سد کارون ۳ [۲۶].

جدول ۳-۲- گسل‌های کواترنری عمده در محدوده سد کارون ۳ [۹۴ و ۹۵]

نام گسل	ساز و کار گسل	روند اصلی گسل	آخرین جایجایی (پزیران، ۱۹۷۶)	طول گسل (Km)	کمترین فاصله گسل از محل ساختگاه (Km)
زاگرس مرتفع	راندگی	NW	قبیل کواترنری	۱۳۰۰	۵۰
دوشابلری	معکوس بزرگ زاویه	NW	نامعلوم	۹	۰/۵
ماقارون	راندگی	NW	کواترنری	۸۵	۱۷
روززک	پس راندگی	NW	کواترنری	۴۵	۳
ایذه	معکوس	NW	-	۵۰	۲۰
مال آقا	راندگی	NW	کواترنری	۴۰	۲۲
باغ ملک	-	NE	-	۲۰	۱۶
بادامزار	معکوس با شیب زیاد	NW	-	۷	۳

گسل باد/مزار: این گسل با طول گسلش حدود ۷ کیلومتر، و امتداد شمال غرب - جنوب شرق در منطقه واقع شده است، که انتهای جنوب شرقی آن از ۳ کیلومتری ساختگاه سد کارون ۳ می‌گذرد. نوع گسل معکوس با شیب زیاد می‌باشد.

تعدادی گسل کوتاه (به طول تقریبی ۰/۵ تا ۱ کیلومتر) در لایه‌بندی ساختگاه پروژه وجود دارد. این گسل‌ها به همراه بریدگی‌های صفحات لایه‌بندی بی‌شمار طی چین‌خوردگی طاق‌دیس کیف ملک ایجاد شده‌اند، و از نظر لرزه‌ای فعال نیستند. البته ذکر این نکته مهم است که معمولاً وقوع زلزله‌های القائی بزرگ در نواحی با زمین ساخت جنبا و احتمال گسیختگی‌های کواترنر قابل انتظار است. از سوی دیگر گسیختگی سطحی زمین لرزه‌ای نیز امکان دارد در اثر لرزه‌خیزی القائی روی دهد، و بدیهی است که چنین گسیختگی‌هایی در زیر خود محور سد نیز می‌تواند رخ دهد. از آنجا که مخزن سد توزیع تنش را در گسل‌های منطقه (حتی گسل‌هایی که غیر فعال شناخته می‌شوند) تغییر می‌دهد گسل‌های غیر فعال نیز در چنین شرایطی فعالیت لرزه‌ای از خود نشان می‌دهند.

فصل چهارم

معرفی ایستگاه‌های لرزه نگاری و شتاب‌نگاری و

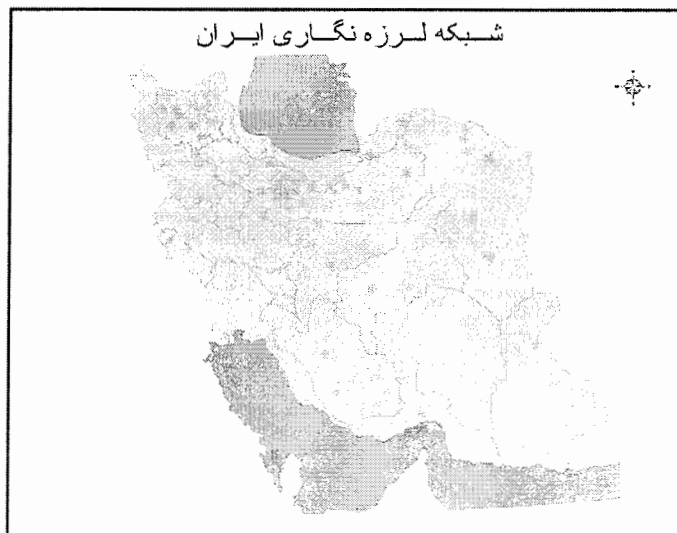
تهیه بانک اطلاعات لرزه‌ای

در این فصل اشاره کوتاهی به چگونگی تهیه اطلاعات لرزه‌ای مربوط به سدهای مورد مطالعه و روش انجام تحقیق شده است. قبل از آن لازم است مروری بر وضعیت ایستگاه‌های لرزه‌نگاری و شتاب‌نگاری در ایران داشته باشیم.

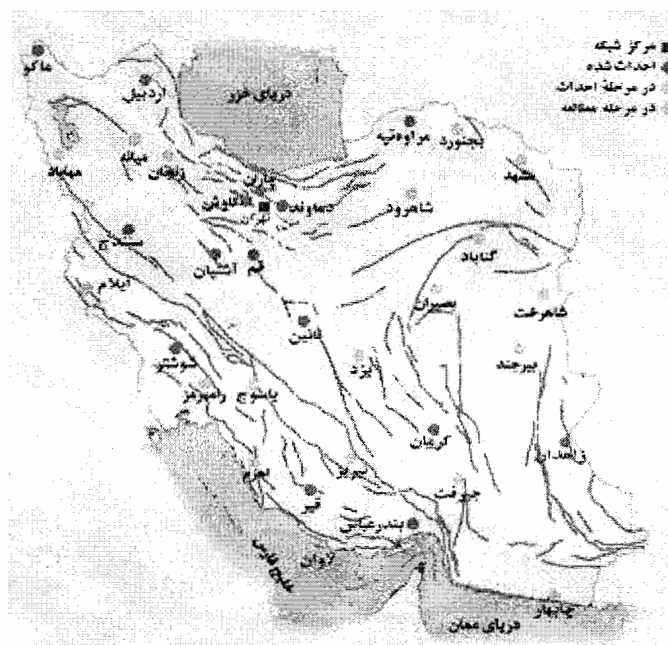
۴-۱- لرزه نگاری در ایران

تاریخچه لرزه‌نگاری ایران با تاریخچه مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران پیوسته است. این مؤسسه به دعوت سازمان جهانی ژئودزی و ژئوفیزیک که فعالیت آن در زمینه هماهنگ نمودن تحقیقات کلی در سطح زمین (از جهت منابع اقتصادی و انرژی) می‌باشد در سال ۱۳۳۶ پایه‌گذاری شد. با شروع به کار این مرکز، شبکه‌های لرزه‌نگاری محلی در تهران، مشهد، کرمانشاه، کرمان، شیراز، منجیل (سد سفیدرود) و تبریز نیز راه اندازی شدند. بعدها ایستگاه‌های دیگری برای ثبت زمین لرزه‌ها از جمله دامغان، مینودشت، گنبد کاووس، قمصر کاشان و مسجد سلیمان و بروجن و قلعه قاضی در بندر عباس احداث گردید که تا کنون مشغول به کار بوده‌اند، ولی ایستگاه لرزه‌نگاری منجیل به دلیل بروز برخی اشکالات در حال حاضر فعال نمی‌باشد. در شکل ۴-۱ پراکندگی ایستگاه‌های یاد شده نشان

داده شده است. البته شبکه دیگری نیز تحت عنوان ایلیا (شبکه لرزه‌نگاری قم ساوه کرج) با ۷ ایستگاه وجود دارد که در جنب ایستگاه‌های مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران قرار دارند [www.ngdir.com].



شکل ۴-۱- موقعیت ایستگاه‌های لرزه‌نگاری مؤسسه ژئوفیزیک در ایران [www.ngdir.com].



شکل ۴-۲- شبکه باند پهن لرزه‌نگاری ایران [www.iiees.ac.ir].

سابقاً شبکه ایلیا برای کنترل فعالیت‌های هسته‌ای شوروی سابق احداث شده و مورد استفاده قرار می‌گرفته است [www.ngdir.com]. علاوه بر این، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله هم با نصب ایستگاه‌های لرزه‌نگاری در نقاط مختلف کشور در زمینه ثبت و برداشت داده‌های لرزه‌ای کشور گام‌های مؤثر و قابل توجهی برداشته است.

در سال‌های اخیر به خصوص بعد از سال ۱۳۷۹ شمسی (۲۰۰۰ میلادی) شبکه لرزه‌نگاری کشور به تجهیزات و دستگاه‌های دقیق‌تری مجهز شده و دقت ثبت زمین لرزه‌ها بعد از این تاریخ بسیار افزایش یافته است. فعالیت‌های پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله با راه‌اندازی شبکه لرزه‌نگاری باند پهن کشور امکان بیشتری را جهت بررسی و مطالعات دقیق لرزه‌ای را در سال‌های اخیر فراهم آورده است (شکل ۴-۲). اهداف شبکه لرزه‌نگاری باند پهن ایران وابسته به پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله موارد زیر را شامل می‌گردد [www.iiees.ac.ir]:

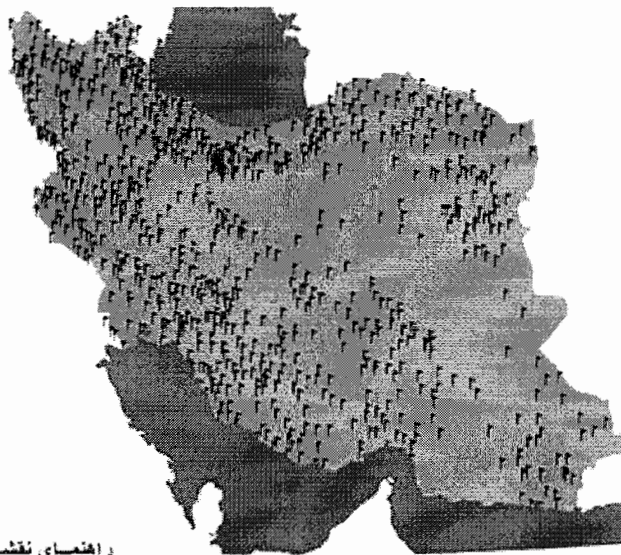
- ۱- ثبت دقیق و قابل اعتماد رویدادهای لرزه‌ای طبیعی و مصنوعی در ایران و منطقه؛
 - ۲- محاسبه دقیق مشخصات زمین‌لرزه‌ها (محل، زمان، بزرگ، عمق و ...) و اطلاع‌رسانی سریع به مراکز زیربسط از طریق وب سایت پژوهشگاه، پست الکترونیکی و SMS؛
 - ۳- پردازش نهایی و جمع‌آوری اطلاعات جامع رویدادهای لرزه‌ای به منظور دسترسی سریع محققین در راستای اجرای پژوهش‌های علمی و کاربردی؛
 - ۴- تدوین اطلاعات دقیق برای استفاده در مطالعات پیش‌بینی زلزله‌ها و تعیین پارامترهای فیزیکی ساختار پوسته و جبه ایران؛
 - ۵- برآورد قابل اعتماد احتمال خطر وقوع زلزله در سراسر پهنه ایران زمین.
- در انتهای فاز اول، توانمندی‌ها و خروجی شبکه لرزه‌نگاری باندپهن کشور پس از نصب و راه‌اندازی ۲۷ ایستگاه لرزه‌نگاری شامل موارد زیر می‌باشد:
۱. محاسبه پارامترهای رویدادهای لرزه‌ای با بزرگی بیش از ۲/۵ و با دقت ۵ کیلومتر در مکان‌یابی حداکثر ۱۰ دقیقه پس از وقوع هر رویداد لرزه‌ای؛
 ۲. تعیین مشخصات زمین‌لرزه‌های با بزرگی بیش از ۳ حداکثر ۵ دقیقه پس از وقوع رویداد؛
 ۳. افزایش دقت در تعیین مکان رویدادهای لرزه‌ای کشورهای همسایه و رویدادهای لرزه‌ای دورلرزه‌ای .

در انتهای فاز دوم، خروجی شبکه لرزه‌نگاری باندپهن کشور شامل مراحل زیر می‌باشد:

۱. ثبت، پردازش و محاسبه پارامترهای رویدادهای لرزه‌ای (محلی، منطقه‌ای و دورلرزه‌ای) با دقت و کیفیت مطلوب؛
 ۲. تعیین پارامترهای هندسه گسل‌های مسبب زمین‌لرزه‌های کوچک و بزرگ در پهنه ایران زمین؛
 ۳. محاسبه پارامترهای تغییر میدان‌های تنش در پهنه ایران؛
 ۴. محاسبه پارامترهای ناهمسان‌گردی امواج برشی و طولی در اعماق گوشته و پوسته در ایران؛
 ۵. ثبت پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه‌های بزرگ و متوسط.
- مرکز تحقیقات سازمان مسکن و شهرسازی وابسته به وزارت مسکن و شهرسازی هم‌با نصب و راه‌اندازی دستگاه‌های شتاب‌نگار در اقصی نقاط کشور نیز به نحو دیگری در زمینه جمع‌آوری اطلاعات لرزه‌ای ایران فعالیت دارد.

۴-۲- شتاب‌نگاری در ایران

شبکه شتاب‌نگاری کشور در سال ۱۳۵۲ تأسیس گردید، و تا سال ۱۳۷۱ حدود ۲۷۶ دستگاه شتاب‌نگاری آنالوگ آماده‌بکار در سراسر کشور موجود بوده است. بعد از زمین‌لرزه رودبار-منجیل طرح توسعه شبکه شتاب‌نگاری در دستور کار مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن قرار گرفت، و از سال ۱۳۷۲ نصب دستگاه‌های شتاب‌نگار دیجیتال شروع شد. در حال حاضر شبکه شتاب‌نگاری کشور دارای ۹۸۷ دستگاه شتاب‌نگار دیجیتال و تعداد ۷۵ دستگاه شتاب‌نگار آنالوگ در سراسر کشور می‌باشد که تا کنون حدود ۴۲۰۰ شتاب‌نگاشت را به ثبت رسانده‌اند. همانطور که در شکل ۳-۴ ملاحظه می‌گردد در استان خراسان به دلیل شرایط لرزه زمین‌ساختی و وسعت آن بیشترین دستگاه‌های شتاب‌نگار نصب شده است (۱۱۹ شتاب‌نگار) و عمده نگاشت‌های شتاب (۸۲۶) در استان فارس ثبت شده است [www.ngdir.com].



راهنمای نقشه

۱- دستگاه های سنجشگر اسلوگ

۲- دستگاه های سنجشگر دبیومتری

شکل ۳-۴- موقعیت جغرافیایی شتابنگارهای ایران [www.ngdir.com].

۳-۴- شبکه‌های لرزه‌نگاری و شتابنگاری سدهای مورد مطالعه

۱-۳-۴- شبکه لرزه‌نگاری و شتابنگاری سد کرخه

به منظور مطالعه لرزه‌خیزی گستره طرح کرخه در هنگام ساخت، آبگیری و بهره‌برداری، اقدام به طراحی شبکه‌های لرزه‌نگاری و شتابنگاری پیرامون ساختگاه سد گردی ده است. در سال ۱۳۸۴ مسئولیت بهره‌برداری از شبکه لرزه‌نگاری طرح سد و نیروگاه کرخه به شرکت لرزه‌نگار پارسیان، واگذار گردید. شبکه لرزه‌نگاری سد کرخه، شامل پنج ایستگاه لرزه‌نگاری است، که به منظور دستیابی به بیشترین پوشش جغرافیایی، با توزیع متقارن در اطراف ساختگاه سد و در گستره‌ای به شعاع تقریبی ۲۵ کیلومتر، در نظر گرفته شده است. نام ایستگاه و مختصات دقیق آنها در جدول ۱-۴ و شکل ۳-۶ ارائه شده‌اند. یک ایستگاه سه مؤلفه‌ای در مرکز شبکه و در نزدیکی ساختگاه سد طراحی گردیده و چهار ایستگاه دیگر، از نوع ایستگاه‌های تک مؤلفه‌ای بوده و بصورت تله متریک اطلاعات خود را از طریق یک فرستنده رادیویی، بطور مداوم به مرکز کنترل شبکه ارسال می‌دارند.

جدول ۴-۱- نام محل و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های لرزه‌نگاری طرح کرخه [۲۷].

نام ایستگاه	نام اختصاری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)
۱ مرکزی	KAR	۴۸.۱۵۴۳	۳۲.۴۸۳۲	۲۶۵
۲ اندیمشک	AND	۴۸.۳۲۵۶	۳۲.۴۲۵۰	۱۳۵
۳ شوش	SHO	۴۸.۰۲۲۳	۳۲.۲۸۹۱	۱۴۰
۴ حسینییه	HOS	۴۸.۲۲۶۰	۳۲.۶۷۹۳	۴۴۵
۵ دشت عباس	DSA	۴۸.۸۴۱۶	۳۲.۴۸۲۸	۱۹۰

اطلاعات دریافت شده از پنج ایستگاه، در مرکز کنترل اصلی شبکه، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و بدین ترتیب، دستیابی به پارامترهای مختلف زمین لرزه‌های روی داده نظیر مرکز، عمق کانون، بزرگی و زمان دقیق وقوع آن میسر می‌گردد. شبکه‌های لرزه‌نگاری معمولاً چند سال قبل از احداث سد در منطقه نصب می‌گردند تا با مشخص کردن لرزه‌خیزی گستره طرح قبل از زمان ساخت، بتوان اثر آبیگری سد را در رویداد زمین لرزه‌های القائی بدست آورد [۲۷].

شبکه شتاب‌نگاری سد کرخه نیز، که به منظور اندازه‌گیری جنبش نیرومند زمین طراحی گردیده شامل شش دستگاه شتاب‌نگار سه مؤلفه‌ای است که در بخش‌های مختلف بدنه سد قرار گرفته‌اند. یک دستگاه در تکیه‌گاه چپ، یک دستگاه در تکیه‌گاه راست، سه دستگاه در روی بدنه (نزدیک پی، اواسط بدنه و تاج سد) و یک دستگاه نیز به عنوان دستگاه آزاد خارج از بدنه سد در نظر گرفته شده است. این دستگاه‌ها از نوع دیجیتال بوده و قادرند در صورت وقوع زمین لرزه‌های متوسط و بزرگ در منطقه شتاب ناشی از آن را ثبت نمایند [www.iwpc.com].

۴-۳-۲- شبکه لرزه‌نگاری و شتاب‌نگاری سد کارون ۳

عملیات پایش لرزه‌خیزی گستره سد کارون ۳ به منظور داشتن آگاهی لازم و مقایسه وضعیت لرزه‌خیزی در دوره‌های قبل و بعد از آبیگری سد، از حدود ۱۰ سال قبل از آبیگری صورت گرفته است. طی این مدت سازمان‌های انرژی اتمی ایران و مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران به ترتیب مسئولیت بهره‌برداری از این ایستگاه‌ها را عهده‌دار بوده‌اند. هیچ گزارش مدونی از داده‌های ۱۱ ساله برداشت شده در رابطه با خرد لرزه‌های این منطقه در دست نمی‌باشد [۹۵].

از تاریخ چهارم شهریور ماه سال ۱۳۸۳ به بعد شرکت لرزه‌نگار پارسیان، بهره‌برداری از شبکه لرزه‌نگاری طرح سد و نیروگاه کارون ۳ را بر عهده گرفت. نام محل و موقعیت ایستگاه‌های این شبکه

در پیرامون سد در جدول ۲-۴ و شکل ۳-۷ ارائه شده است. نوع دستگاه‌های نصب شده در این ایستگاه‌ها دیجیتالی بوده و داده‌های ثبت شده در دیسک‌های سخت ذخیره می‌شوند [۲۸].

جدول ۲-۴- نام محل و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های لرزه‌نگاری طرح کارون ۳ [۲۸].

ارتفاع (m)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نام اختصاری	نام ایستگاه	
۱۰۱۲	۳۱.۸۰۳۸	۵۰.۰۸۱۸	CNT	مرکزی	۱
۱۱۰۱	۳۱.۵۹۵۲	۵۰.۰۲۷۲	MGA	مال آقا	۲
۱۱۳۶	۳۱.۸۲۰۳	۴۹.۸۲۵۴	LHK	الاهک	۳
۱۶۳۰	۳۱.۷۱۴۲	۵۰.۲۸۹۶	DDZ	دهدز	۴
۸۴۹	۳۱.۹۹۶۰	۴۹.۹۳۶۰	SSN	بردزرد (سوسن)	۵

۴-۵- بانک داده‌های لرزه‌ای

در این بررسی برای ارزیابی زمین لرزه‌های القائی، زمین لرزه‌های دستگاهی اطراف محدوده سدهای انتخابی مرحله دوم، در شعاع ۶۰ کیلومتری، از سایت پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله استخراج شد. در مورد سدهای سفیدرود و شهید رجائی از مشخصات لرزه‌ای رکوردهای شتاب‌نگاری سازمان تحقیقات مسکن و شهرسازی و در مورد سد کرخه و کارون ۳ به منظور بررسی دقیق‌تر، از داده‌های لرزه‌نگاری ایستگاه‌های محلی این سدها استفاده شد. فهرست داده‌های مربوط به هر سد در جداول ویژه هر سد در پیوست (ب) ارائه شده است. با توجه به این که بزرگی‌های بدست آمده برای این رخدادها در مقیاس‌های متفاوتی گزارش شده می‌شوند، بنابراین مقدماتاً تمام بزرگی‌ها به مقیاس واحد بزرگای دوگانه ناتولی تبدیل و سپس مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور داده‌های بزرگی بر اساس روابط تبدیل Mb و Ms به Mw تبدیل شد.

فصل پنجم

زمین لرزه‌هایی القائی سدهای ایران

جهت انجام مطالعه بر روی تغییر خصوصیات لرزه‌خیزی مناطق احداث سد در دوره بعد از آبیگری سد، بهترین روش بررسی آماری زمین لرزه‌ها در بازه‌های مشخص زمانی^۱ است. در این بررسی برای ارزیابی زمین لرزه‌های القائی، زمین لرزه‌های دستگاهی اطراف محدوده سدهای انتخابی مرحله دوم، در شعاع ۷/۵، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ کیلومتری، به کمک نرم افزار Excel مورد بررسی آماری قرار گرفت و نتایج حاصل از رخدادهای لرزه‌ای فقط نسبت به تاریخ آبیگری لحاظ شد و هیچ‌گونه مقایسه‌ای با داده‌های تراز آب صورت نگرفت. ولی در سدهای کرخه و کارون ۳ داده‌های تراز آب مربوط به هر سد از طریق وب سایت اختصاصی شرکت مدیریت منابع آب ایران استخراج و مورد استفاده قرار گرفت. البته با توجه به اینکه داده‌های یاد شده بعضاً از تاریخ بهره‌برداری سد ثبت نشده است لذا در مورد سد کرخه ترازهای ثبت شده سطح آب سد در شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران نیز به کار گرفته شد. در مجموع کارهای صورت گرفته در سه بخش در این فصل گنجانده شده است. در بخش اول مقایسه آماری از زمین لرزه‌های واقع شده طی دوره‌های قبل از آبیگری و بعد از آبیگری در فاصله ۶۰ کیلومتری پیرامون ۱۵ سد مخزنی انتخابی مرحله دوم ارائه شده است. در بخش دوم ویژگی رخدادهای لرزه‌ای واقع شده در شعاع ۳۰ کیلومتری سدهای کرخه و کارون ۳ در بازه‌های زمانی مشخص قبل از آبیگری و بعد از آبیگری برای هر یک از این سدها به طور جداگانه ارائه گردیده و در

۱ - منظور از بازه زمانی مشخص مدتی زمانی است که از آبیگری سد می گذرد، برای مقایسه بهتر طول بازه زمانی قبل از آبیگری سد نیز برابر با طول دوره بعد از آبیگری در نظر گرفته شده است.

بخش سوم جمع‌بندی از موارد یاد شده و علت بروز واکنش‌های متفاوت در سدهای کرخه و کارون^۳ عنوان شده است.

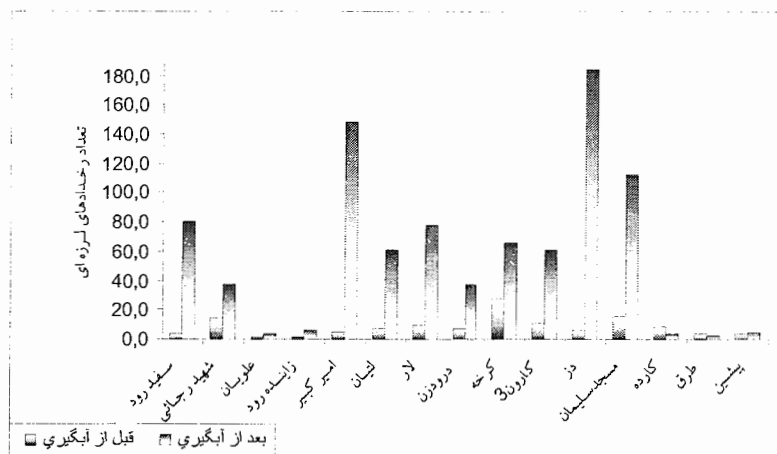
۱-۵-۱- مقایسه آماری رخدادهای القائی ۱۵ سد انتخابی مرحله دوم

در مبحث زمین لرزه‌های القائی عموماً خرد لرزه‌ها بیشتر خودنمایی می‌کنند و در مطالعاتی از این دست رخدادهای محلی مطرح می‌باشد. با توجه به اینکه عموماً بیشترین بزرگی ثبت شده ناشی از زمین لرزه‌های القائی سد بزرگی ۴ ریشتر است و از طرفی شعاع اثر زمین لرزه‌ای به این بزرگی کمتر از ۶۰ کیلومتر است، بنابراین شعاع ۶۰ کیلومتر فاصله مناسبی جهت انتخاب داده‌های لرزه‌ای محلی شناخته شد. در مورد سدهای انتخابی مرحله دوم ویژگی رخدادهای از نظر تعداد رخدادهای عمق کانونی و بزرگی رخدادهای پارامتر لرزه خیزی و موقعیت جغرافیایی رخدادهای نسبت به محور سد در فاصله ۶۰ کیلومتر و در بازه‌های زمانی یکسان قبل از آبگیری و بعد از آبگیری سد صورت گرفت. و در نهایت نرخ وقوع رخدادهای لرزه‌ای در این سدها با هم مقایسه شد.

۱-۵-۱-۱- تعداد رخدادهای

برای این منظور تعداد زمین لرزه‌های ثبت شده به طور مجزا^۲ برای هر سد در دوره‌های قبل از آبگیری و بعد از آبگیری ارزیابی شده و در نهایت تمام این موارد به شکل یک نمودار واحد درآمد که در شکل ۱-۵ نشان داده شده است. طبق این شکل مشاهده می‌شود که در اکثر سدهای مورد مطالعه با آبگیری سد فراوانی وقوع زمین لرزه‌ها افزایش یافته است. علاوه بر اطلاعات ثبت شده، اظهارات ساکنین محلی در مناطق پیرامون سدهای سفیدرود، مسجد سلیمان، کرخه و کارون^۳ نیز حاکی از این امر می‌باشد که منطقه بعد از بهره‌برداری از این سدها در معرض زمین لرزه‌های بیشتری قرار گرفته است.

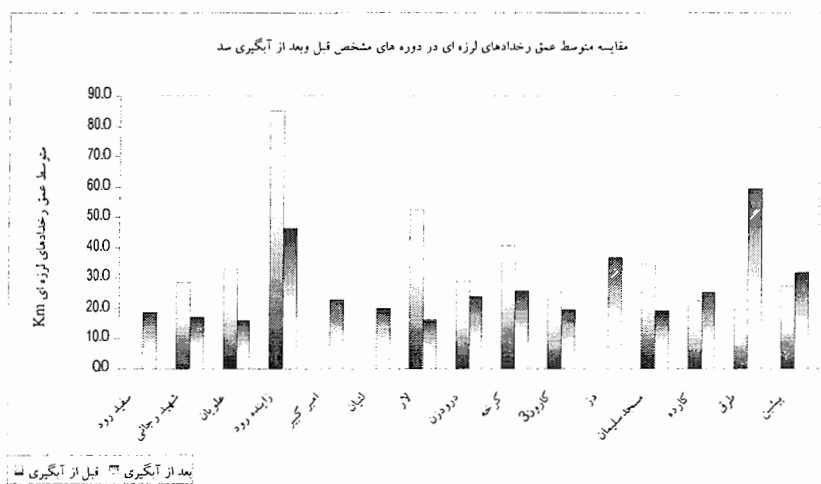
^۱ - بازه زمانی برای هر یک از این سدها متفاوت از بقیه می‌باشد، که از تفاوت زمان آبگیری آنها ناشی می‌گردد.



شکل ۵-۱- مقایسه تعداد زمین لرزه‌های ثبت شده در پیرامون ساختگاه سدهای مورد بررسی در بازه زمانی قبل و بعد از آبگیری. این شکل نمایانگر افزایش تعداد زمین لرزه‌ها پس از آبگیری در اکثر این سدها می‌باشد.

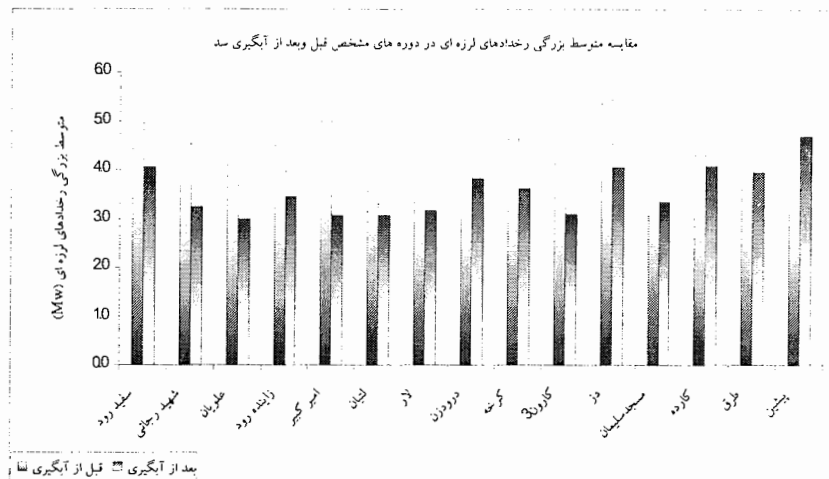
۲-۱-۵- عمق کانونی و بزرگی رخدادها

جهت مقایسه عمق کانونی و بزرگی رخدادهای واقع شده ابتدا متوسط عمق کانونی رخدادهای و متوسط بزرگی آنها در هر سد تعیین و در نهایت برای هر کدام از موارد نمودارهای جداگانه ای رسم گردید (شکل‌های ۲-۵ و ۳-۵).



شکل ۵-۲- مقایسه متوسط عمق کانونی زمین لرزه‌های ثبت شده در پیرامون ساختگاه سدهای مورد بررسی در بازه زمانی قبل و بعد از آبگیری. این شکل نمایانگر کاهش عمق کانونی زمین لرزه‌ها پس از آبگیری در اکثر این سدها می‌باشد.

مقایسه متوسط عمق کانونی و بزرگی زمین لرزه‌ها در بازه‌های زمانی مشخص قبل و بعد از آبگیری سد نشان دهنده کاهش متوسط عمق کانونی و بزرگی زمین لرزه‌ها بعد از آبگیری سد در بیشتر این سدها می‌باشد.



شکل ۳-۵- مقایسه متوسط بزرگی زمین لرزه‌های ثبت شده در پیرامون ساختگاه سدهای مورد بررسی در بازه زمانی قبل و بعد از آبگیری. این شکل نمایانگر کاهش بزرگی زمین لرزه‌ها پس از آبگیری در اکثر این سدها می‌باشد.

۳-۱-۵- پارامترهای لرزه‌خیزی رخدادها

علاوه بر موارد فوق پیامد دیگری که آبگیری سدها در برداشته است، تغییر پارامترهای لرزه‌خیزی در اطراف دریاچه سدها می‌باشد. پارامترهای لرزه‌خیزی که اساس آن بر توزیع فراوانی زمین لرزه‌ها در دامنه مشخصی از بزرگی در ناحیه‌ای خاص استوار است، به صورت رابطه‌ای ساده به شکل زیر عنوان می‌شود:

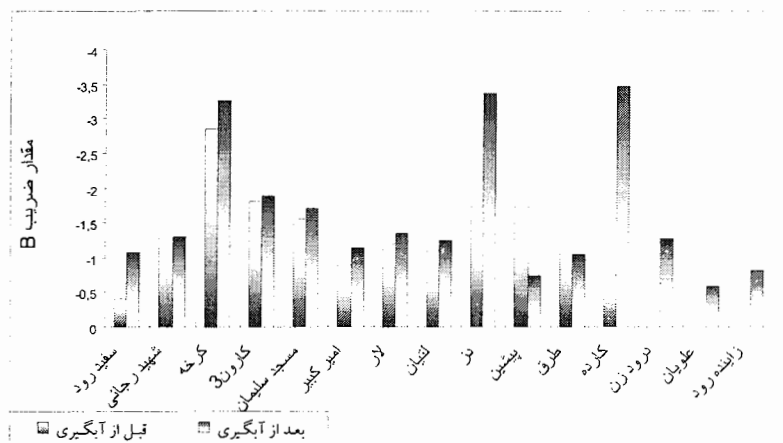
$$\log N = \alpha - \beta M \quad (۱-۵)$$

در این رابطه که به رابطه گوتنبرگ - ریشتر نیز معروف است، N تعداد زمین لرزه‌های با بزرگی بیش از M و α و β ضرایب ثابت هستند. مقدار ضریب α به زمان ثبت زمین لرزه‌ها، وسعت منطقه مورد مطالعه و سطح فعالیت لرزه‌ای منطقه بستگی دارد، در حالی که مقدار ضریب β به نسبت تعداد زمین

لرزه‌های با بزرگی کوچک به زمین لرزه‌های با بزرگی زیاد، شرایط تنش و ناهمسانگردی توده سنگ منشاء زمین لرزه، وابسته است. ضریب α به طور مشخص از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر تفاوت دارد ولی ضریب β تغییرات چندانی ندارد. در مناطقی که زمین لرزه‌های القائی ناشی از بهره‌برداری سد به وجود می‌آید ضریب β نسبت به ضریب β زمین لرزه‌های طبیعی قبل از آبیگری افزایش نشان می‌دهد که علت همان افزایش خرد لرزه‌ها (زمین لرزه‌های با بزرگی کوچک) بعد از آبیگری سد می‌باشد. در سدهای مورد مطالعه نیز با توجه به رابطه گوتنبرگ - ریشتر بدست آمده برای هر سد که در جدول ۵-۱ ارائه شده است، مشاهده گردید که بعد از آبیگری سد، ضریب β منطقه نسبت به ضریب β قبل از آبیگری افزایش یافته است (شکل ۵-۴).

جدول ۵-۱- رابطه گوتنبرگ - ریشتر برای زمین لرزه‌های واقع شده قبل از آبیگری سد و بعد از آبیگری سد در پیرامون سدهای مورد مطالعه.

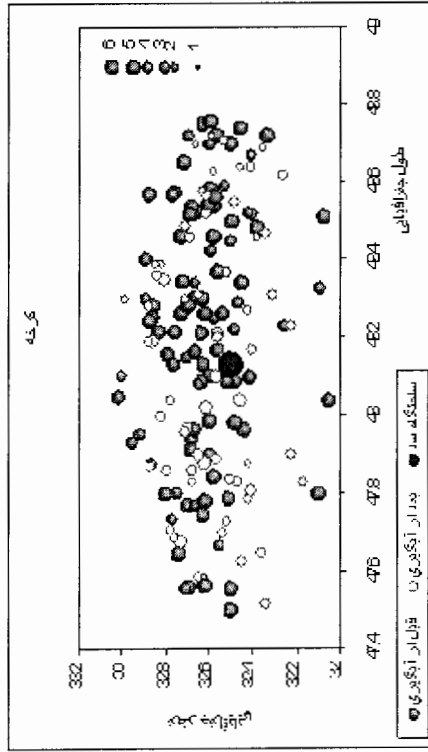
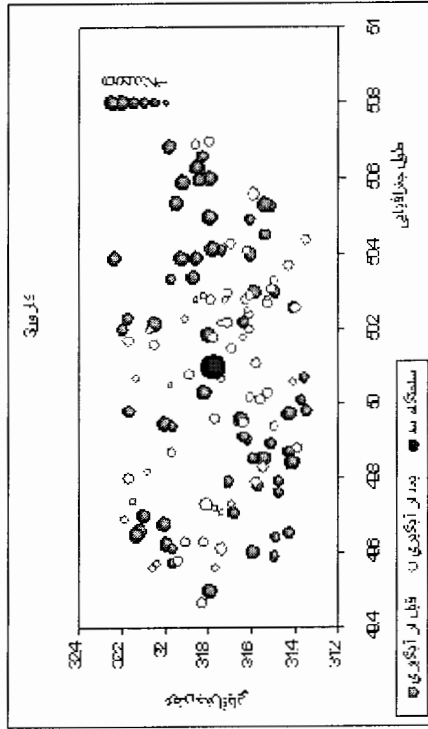
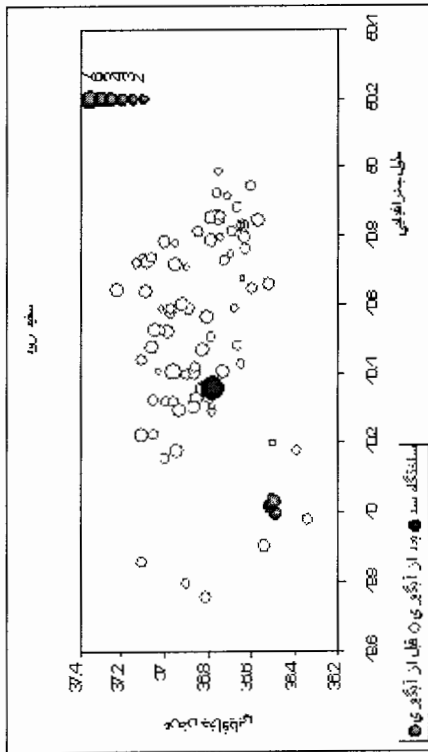
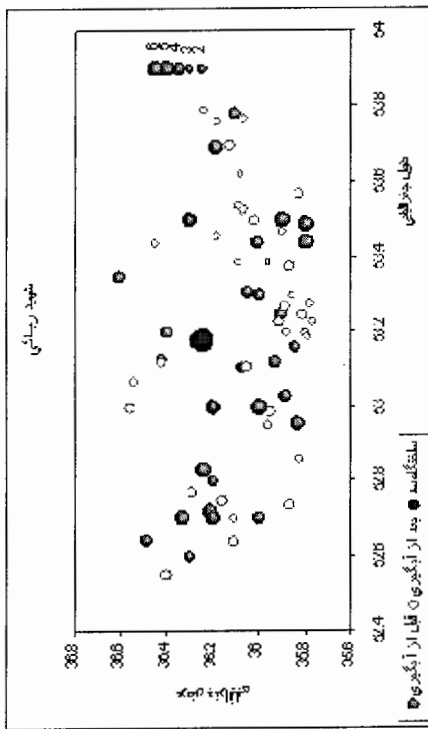
نام سد	قبل از آبیگری	بعد از آبیگری
سفید رود	Log N = -0,4055M - 10,941	Log N = -1,0638M - 5,5374
شهید رجائی	Log N = -1,2768M - 4,9044	Log N = -1,3071M - 4,4386
کرخه	Log N = -2,8638M + 3,8373	Log N = -3,272M + 5,9512
کلون ۳	Log N = -1,8042M - 2,087	Log N = -1,8744M - 1,0454
مسجد سلیمان	Log N = -1,5649M - 3,6395	Log N = -1,6979M - 1,1531
امیر کبیر	Log N = -0,8875M - 9,9877	Log N = -1,1526M - 6,3412
لار	Log N = -1,2074M - 6,7234	Log N = -1,3549M - 4,7802
لتیان	Log N = -1,0986M - 7,8646	Log N = -1,2411M - 6,1597
دز	Log N = -1,7329M - 3,7758	Log N = -3,3533M + 6,8677
پیشین	Log N = -1,7329M - 3,7715	Log N = -0,7509M - 7,7534
طرق	Log N = -1,3135M - 6,6876	Log N = -1,0397M - 7,8911
کارده	Log N = -0,7426M - 8,7775	Log N = -3,4657M + 3,3185
دروذن	-	Log N = -1,2836M - 5,1751
علویان	-	Log N = -0,5885M - 9,372
زاینده رود	-	Log N = -0,8205M - 9,0209



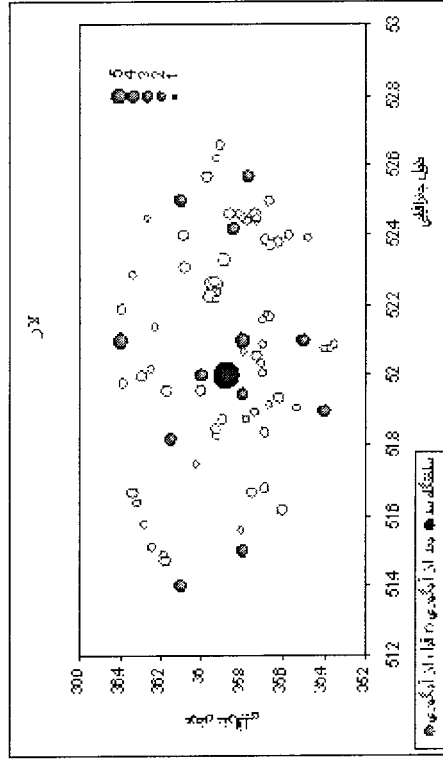
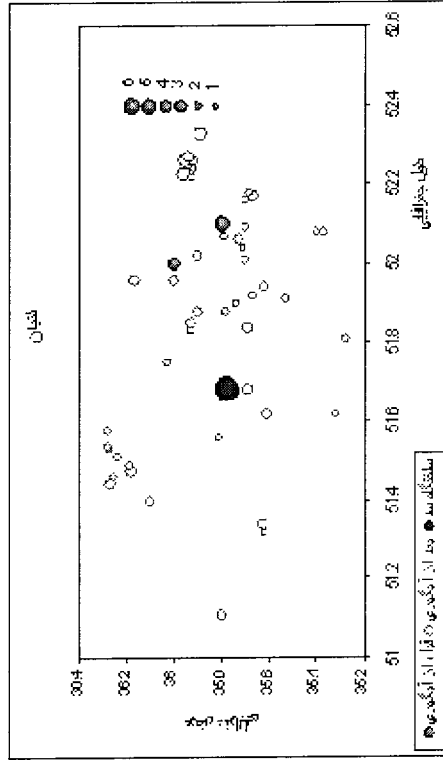
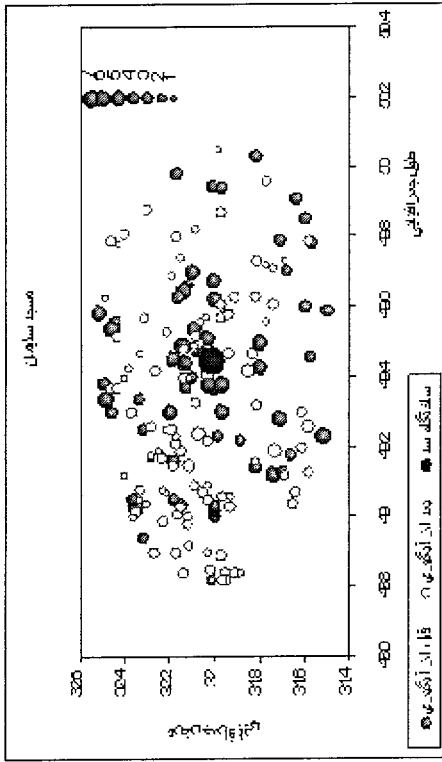
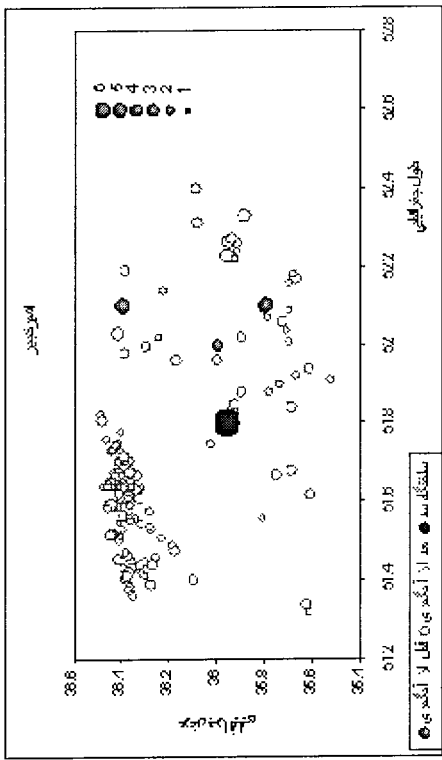
شکل ۵-۴- مقایسه مقدار ضریب β زمین لرزه‌های ثبت شده در پیرامون ساختگاه سدهای مورد بررسی در بازه زمانی قبل و بعد از آبگیری. این شکل نمایانگر افزایش ضریب β زمین لرزه‌ها پس از آبگیری در اکثر این سدها می‌باشد.

۵-۱-۵- موقعیت جغرافیای رخدادهای لرزه‌ای نسبت به محور سد

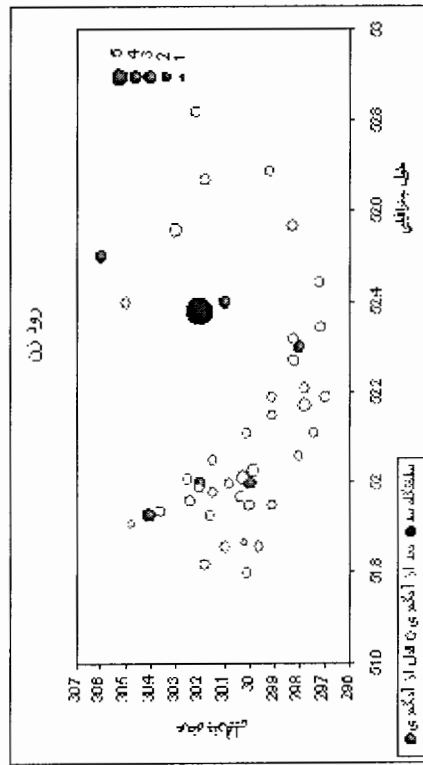
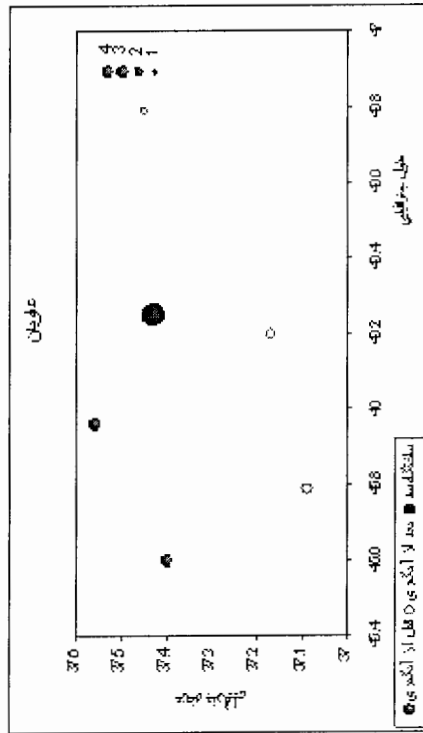
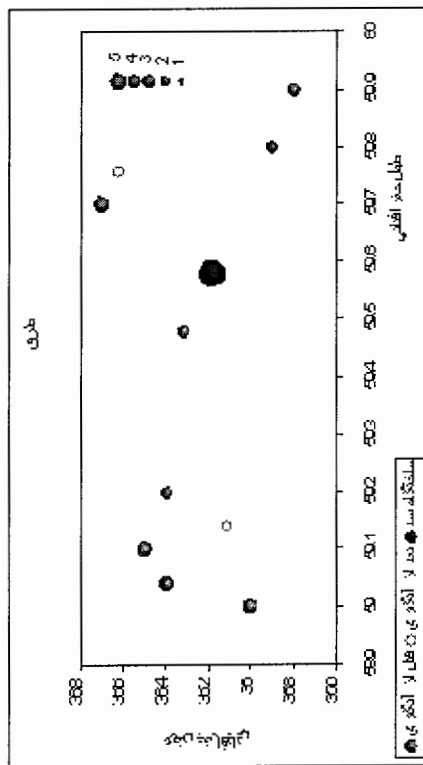
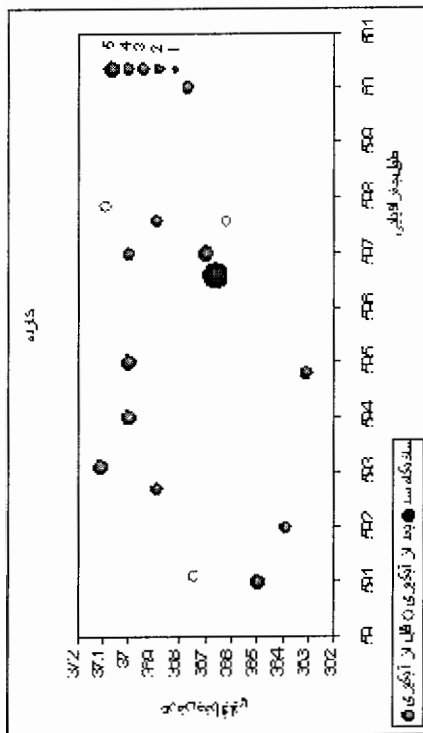
مکان‌یابی رخدادهای زمین لرزه‌ای واقع شده در زمان قبل از آبگیری و بعد از آبگیری بر حسب مختصات جغرافیایی برای هر ۱۵ سد صورت گرفت و نتایج بدست آمده نشان داد که رخدادهای لرزه‌ای بعد از آبگیری سد بیشتر در سمت دریاچه سد و عمدتاً در بخشی که گسل‌های منطقه در آن سمت گسترش یافته‌است، قرار می‌گیرند. روند زمین لرزه‌های واقع شده بعد از آبگیری هر سد نیز بسته به فاصله این گسل‌ها از دریاچه سد از روند گسل‌های موجود در پیرامون مخزن سد پیروی نموده است. شکل ۵-۵ موقعیت مکانی رخدادهای قبل از آبگیری و رخدادهای بعد از آبگیری را نسبت به ساختگاه هر سد نشان می‌دهد.



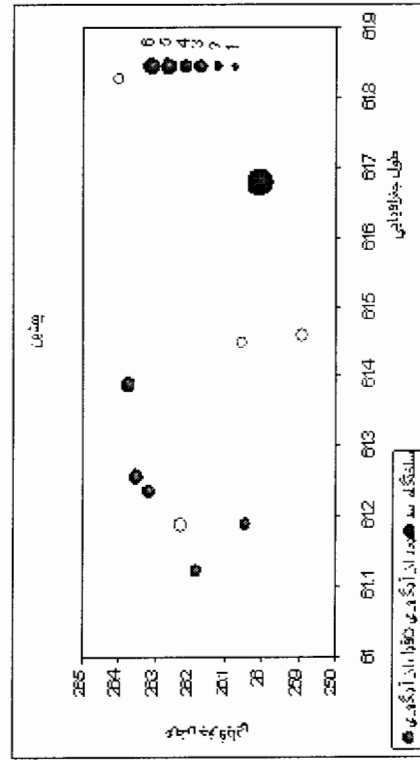
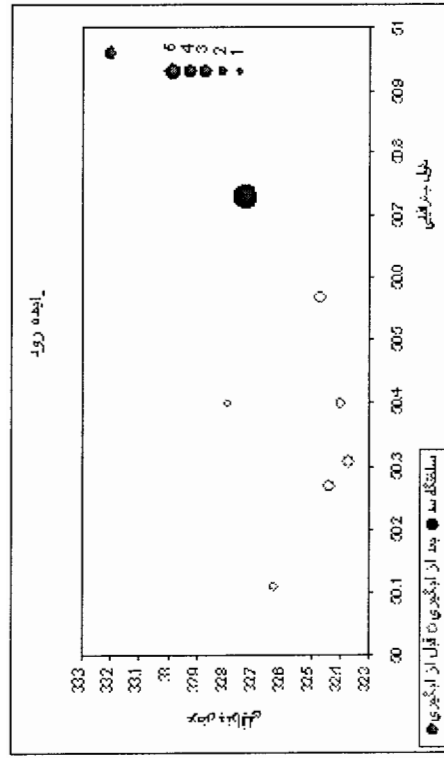
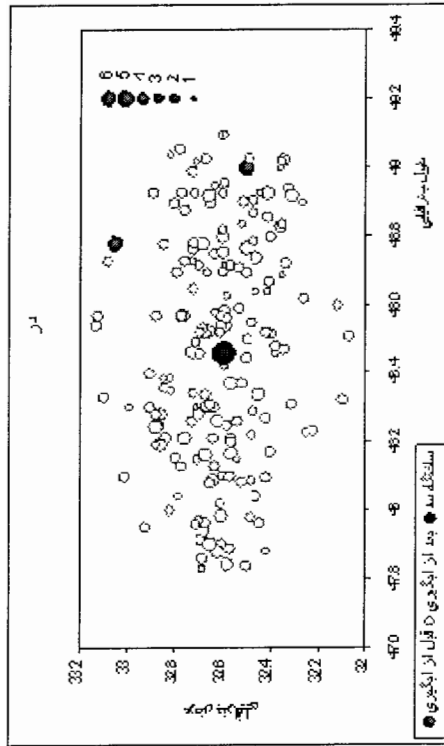
شکل ۵-۵- موقعیت جغرافیایی رخدادهای لرزهای سدهای مورد مطالعه به شعاع ۶۰ کیلومتری از محور سد.



ادامه شکل ۵-۵- موقعیت جغرافیایی رخدادهای لرزهای سدهای مورد مطالعه به شعاع ۶۰ کیلومتری از محور سده.



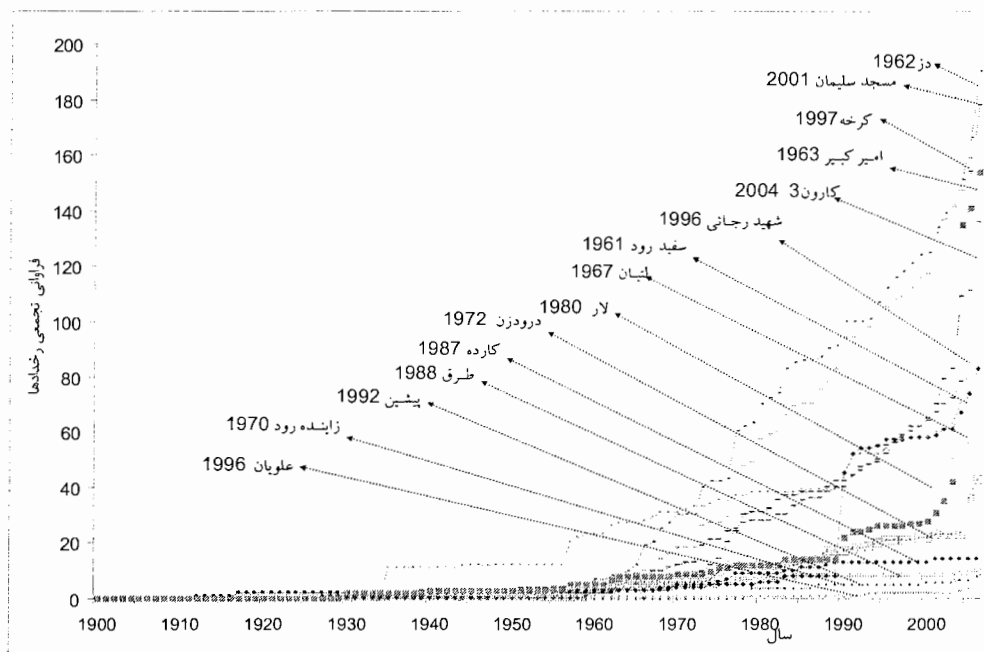
ادامه شکل ۵-۵- موقعیت جغرافیایی رخدادهای لرزه‌های سدهای مورد مطالعه به شعاع ۶۰ کیلومتری از محور سده.



ادامه شکل ۵-۵- موقعیت جغرافیایی رخدادهای لرزهای سدهای مورد مطالعه به شعاع ۶۰ کیلومتری از محور سد.

۵-۱-۵- مقایسه نرخ وقوع زمین لرزه‌ها در سدهای مورد بررسی

برای مشخص نمودن این مطلب فراوانی زمین لرزه‌های به وقوع پیوسته با بزرگی بیشتر از $M1$ در شعاع ۶۰ کیلومتری از سد ساختگاه سدهای مورد مطالعه برای هر سال بدست آمد و در ادامه فراوانی تجمعی زمین لرزه‌ها بر حسب سال وقوع با هم مورد مقایسه قرار گرفت. نتیجه بدست آمده از این بخش به صورت نموداری که در شکل ۵-۶ ارائه شده است نشان می‌دهد که نرخ وقوع رخدادهای لرزه‌ای به ترتیب برای سدهای دز و کرخه بالاترین سطح را داراست، و سدهای مسجد سلیمان، کارون ۳ و امیرکبیر در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند. همانطور که در بخش ۴-۱ عنوان شد در سال‌های اخیر تعداد دستگاه‌های لرزه‌نگار در مناطق مختلف کشور و مناطق اطراف سدها و همچنین دقت آنها افزایش یافته است و این مسئله سبب افزایش قابل توجه فراوانی زمین لرزه‌های کوچک در سال‌های اخیر شده است.



شکل ۵-۶- مقایسه فراوانی تجمعی سالیانه زمین لرزه‌های به وقوع پیوسته در شعاع ۶۰ کیلومتری از ساختگاه ۱۵ سد انتخابی. نام سد و سال آگیری آن برای هر سد مشخص شده است.

بیشتر این سدها در استان خوزستان واقعند که به علت قرار گرفتن در منطقه زاگرس به طور ژنتیکی از نرخ زمین لرزه‌های زمین ساختی منطقه زاگرس هم بهره‌مند می‌باشند. ملاحظه می‌شود

که سد امیرکبیر هم از سال ۲۰۰۰ به بعد به طور ناگهانی سیر صعودی را نشان می‌دهد که احتمالاً به علت افزایش تعداد یا دقت ایستگاه‌های لرزه‌نگاری در اطراف آن می‌باشد. ولی سدهای کرخه و دز هم از نرخ فعالیت بالایی برخوردارند، چرا که در منطقه زاگرس واقع شده‌اند. از طرفی فاصله کمی بین ساختگاه‌های این دو سد وجود دارد که به همین علت زمین لرزه‌های پیرامون این دو سد در فاصله ۶۰ کیلومتری در هم تداخل می‌نمایند. بنابراین به این علت نرخ بیشتری از وقوع زمین لرزه‌ها به نمایش می‌گذارند. البته این سدها از نظر ارتفاع و حجم مخزن نیز بزرگتر از سایر سدها می‌باشند. کمترین تعداد زمین‌لرزه مربوط به سدهای علویان، زاینده‌رود، پیشین، طرق و کارده است که به لحاظ ارتفاع و حجم مخزن سد کوچکترند.

۲-۵- بررسی رخدادهای لرزه‌ای سد کرخه و کارون ۳.

در رابطه با سدهای کرخه و کارون ۳ مطالعات در شعاع ۶۰ کیلومتری از محور سد آغاز شد و در ادامه در شعاع‌های کم‌تر ۳۰، ۱۵ و ۷/۵ کیلومتری ادامه یافت. با توجه به نتایج حاصل مشخص شد که تأثیرات آبگیری در تغییرات لرزه‌خیزی تا شعاع ۳۰ کیلومتری از محور سدها بیشتر نمود داشته است. لذا نمودارها و شکل‌های گنجانده شده در کارهای مربوط به این دو سد فاصله ۳۰ کیلومتری ساختگاه سد می‌باشند. برای مقایسه تغییرات لرزه‌خیزی، داده‌های لرزه‌ای هر سد با توجه به تاریخ آبگیری هر سد در پنجره‌های مشخص زمانی مورد بررسی قرار گرفتند.

۲-۵-۱- سد کرخه

۲-۵-۱- مقدمه

در مورد سد کرخه با توجه به ابعاد سد و حجم مخزن آن و نیز فعالیت بالای لرزه‌خیزی منطقه زاگرس انتظار وقوع زمین لرزه‌های القائی از قبل هم پیش‌بینی شده بود. عملیات اجرایی سد مخزنی کرخه و سازه‌های وابسته از سال ۱۹۹۳ میلادی آغاز شد. مطابق برنامه زمان‌بندی اولیه، بهره‌برداری از سد کرخه در سال ۱۹۹۷ انجام گردید. لیکن به دلایل اجرایی و مشکلات فنی حادث شده عملیات آبگیری متوقف شده و آب مخزن تخلیه شد. بعد از انجام تمهیدات لازم مجدداً در اواخر بهمن ماه

۱۳۷۸ ش. (اواسط فوریه سال ۲۰۰۰ م.)، آبگیری سد آغاز شد. آبگیری سد کرخه در شرایطی انجام می‌گرفت که سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ از خشک‌ترین سال‌های آبی در ایران بوده است. سال ۲۰۰۰ خشک‌ترین سال آبی در ۵۰ سال عنوان شده است.

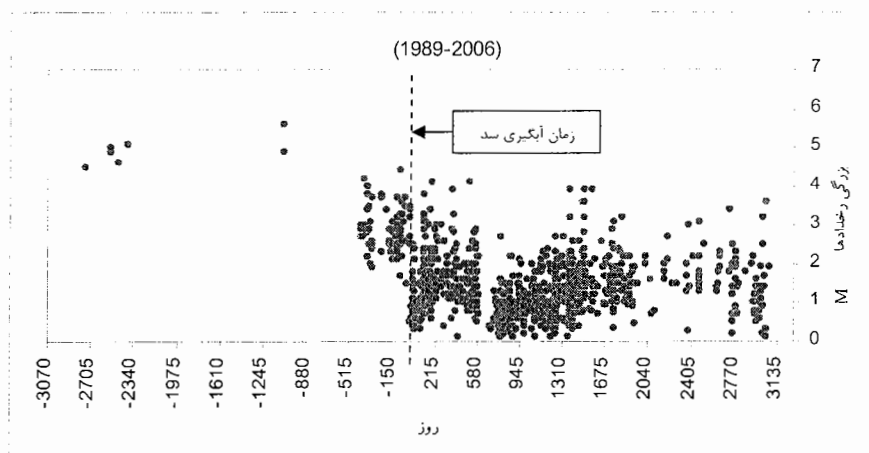
رقوم آب مخزن قبل از آبگیری، ۸ متر بالاتر از کف رودخانه و در تراز ۱۱۸ متر بالاتر از دریا قرار داشت. با آبگیری سد در اواسط فوریه ۲۰۰۰ م.، رقوم آب مخزن شروع به بالا رفتن کرد و در نیمه اردیبهشت ماه ۱۳۷۹ (اوائل ماه می) به ۱۵۷ متر رسید و در حدود ۳۴۰ میلیون متر مکعب آب در مخزن سد ذخیره گردید. به دلیل خشک بودن ۷ ماه اردیبهشت تا آبان (می تا نوامبر) و نیز مصارف آبی پایین دست، تراز مخزن در طی این مدت (طول تابستان و پاییز) رو به کاهش گذاشت. به طوری که در اوائل آذر ماه (اواخر نوامبر ۲۰۰۰ م.) به حداقل مقدار خود یعنی حدود ۱۳۵ متر رسید و حجم ذخیره آب مخزن به پایین تر از ۴۷ میلیون متر مکعب رسید. با شروع بارندگی‌های نسبتاً قابل ملاحظه در اواسط آذر ماه (اوایل دسامبر) تراز آب مخزن به طور چشم‌گیر و نسبتاً سریع مجدداً رو به افزایش گذاشت. به نحوی که در اواسط دی ماه (شروع سال ۲۰۰۱ م.) رقوم آب مخزن از ۱۶۰ متر تجاوز نمود و روند افزایش آب مخزن تا ۴ ماه ادامه یافت و رقوم آب مخزن در اواسط اردیبهشت ماه (اوایل ماه می ۲۰۰۱ م.) به ۱۸۲ متر رسید و حجم آب ذخیره شده مخزن به ۱۳۰۰ میلیون متر مکعب بالغ گردید. از این پس و با شروع ماه‌های خشک، تراز مخزن رو به کاهش گذارد. از اوایل دی ماه و با شروع ماه‌های پر آب در حوزه کرخه، روند بالا آمدن آب در مخزن آغاز شد. شایان ذکر است که در طی مدت آبگیری سد، سعی گردیده آبگیری به صورت تدریجی انجام گیرد و سرعت افزایش ارتفاع آب در مخزن از نظر فنی قابل قبول باشد. علاوه بر مسائل فنی طرح، حفظ محیط زیست پایین دست سد از مسائل مورد توجه بوده است.

با آبگیری سد، پیژومترهای نصب شده در سنگ پی فعال شدند. مقادیر و روند تغییرات فشار آب منفذی در پی سد کرخه بدلیل طول قابل ملاحظه سد و تنوع لایه‌های گل‌سنگ و کنگلومرای موجود در ساختگاه کرخه از ویژگی و اهمیت خاصی برخوردار است. به علت نفوذپذیری زیاد کنگلومرا هیچ تأخیر زمانی بین بالا و پایین رفتن آب در دریاچه و پیژومتر بالادست دیوار آب بند مشاهده نشد [۲۹] و [۳۰].

۵-۲-۱-۲- ارزیابی فراوانی زمین لرزه‌ها بعد از آبگیری

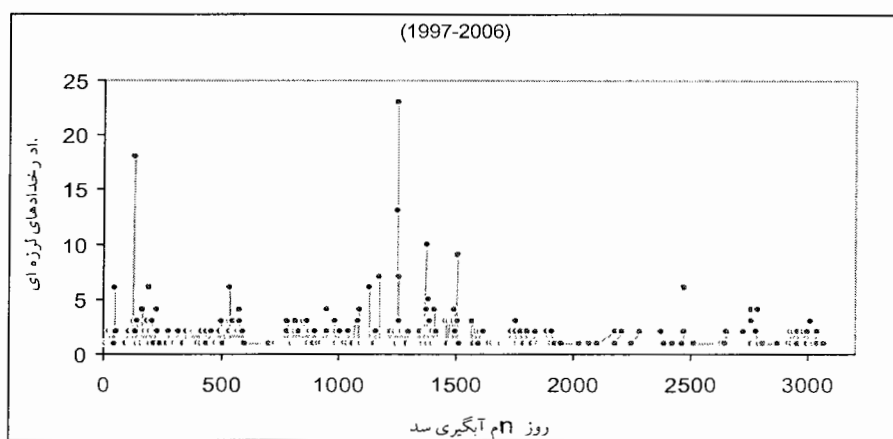
تعداد کل زمین لرزه‌های ثبت شده در شعاع تقریبی ۶۰ کیلومتر حول ساختگاه سد ۱۶۱۸ رکورد در مدت ۳۰۶۵ روز بوده است. بررسی زمانی رخدادهای لرزه‌ای در اطراف سد کرخه نشان می‌دهد که همزمان با آبگیری سد از تاریخ ۱۹۹۷/۷/۶ تعداد زمین لرزه‌ها افزایش یافته ولی بعد از پر شدن سد تعداد لرزش‌ها بطور محسوسی کاسته شده است.

شکل ۵-۷ توزیع زمانی رکوردهای لرزه‌ای ثبت شده به فاصله ۳۰ کیلومتری از ساختگاه سد را در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۷، در مقابل بزرگی آنها نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که برخی دوره‌های زمانی تجمع بیشتری از نظر تعداد رخدادهای لرزه‌ای داریم که نشان دهنده فعالیت بالاتر لرزه‌خیزی منطقه در آن دوره می‌باشد. لازم به یادآوری است که علاوه بر افزایش دقت دستگاه‌های ثبت لرزه‌ای در سالهای اخیر، از سال ۱۹۹۶ به بعد کار ثبت لرزه‌ها توسط دستگاه‌های نصب شده در ایستگاه‌های محلی پیرامون سد انجام گرفته است. ولی می‌توان بیان نمود که به طور کلی بزرگی رخدادهای لرزه‌ای در منطقه بعد از آبگیری سد کرخه کاهش یافته است. این مسئله در مقایسه بازه زمانی ۹ ساله بعد از آبگیری و بازه ۹ ساله قبل از آبگیری کاملاً مشخص است. در کل در طی مدت ۳۰۶۵ روز بعد از آبگیری سد ۸۶۷ رکورد لرزه‌ای در فاصله ۳۰ کیلومتری از محور سد برداشت شده است.



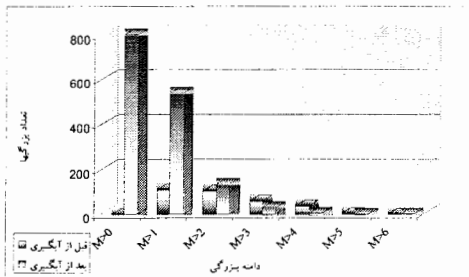
شکل ۵-۷- مقایسه توزیع سالیانه زمین لرزه‌ها در بازه‌های زمانی قبل و بعد از آبگیری سد کرخه.

خوشه رخدادهای موجود در دوره قبل از آبگیری به علت افزایش دقت دستگاههای لرزه‌نگار در سالهای اخیر می باشد. بزرگترین رخدادها دو زمین لرزه با بزرگی ۴/۱ است که در روز ۱۹۶ و روز ۵۱۰ از آبگیری سد واقع شده‌اند، هر دو رخداد می‌توانند از نوع القائی باشند چون هم در محدوده مخزن کرخه و هم در مرحله آبگیری سد واقع شده‌اند. شکل ۵-۸ نمودار نشان دهنده نرخ لرزه‌خیزی بعد از آبگیری سد بر حسب زمان رخداد زلزله‌ها می‌باشد

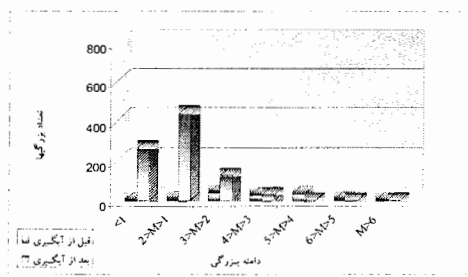


شکل ۵-۸- مقایسه تعداد روزانه زمین لرزه‌ها در بازه زمانی بعد از آبگیری سد.

بیشترین تعداد زمین لرزه‌ها در روز ۱۲۵۰ از آبگیری سد ثبت شده است که ۲۳ رکورد می‌باشد. بزرگی لرزش‌های ثبت شده در این روز بین ۰/۵ تا ۲/۷ است. به طور متوسط در هر بازه ۳ تا ۴ روز یک زمین لرزه در محدوده ۳۰ کیلومتر سد ثبت شده است. از میان تمام رکوردهای ثبت شده بیشترین تعداد، رخدادهای محدوده بزرگی ۱ تا ۴ را شامل می‌شود (طبق آنچه که در مورد زمین لرزه‌های القائی انتظار می‌رود). در شکل ۵-۹ بازه‌های مختلف بزرگی زمین لرزه‌ها بر حسب تعداد رکوردهای موجود در هر بازه از بزرگی در دو مقطع زمانی قبل و بعد از آبگیری نشان داده شده است. نمودار شکل ۵-۱۰ آمار تجمعی زمین لرزه‌ها را برای بزرگی‌های بیشتر از یک مقدار مشخص را نشان می‌دهد. مثلاً زمین لرزه‌های با بزرگی بزرگتر از ۲ در بازه زمانی بعد از آبگیری سد (۹ ساله) در حدود ۱۳۲ رخداد بوده است. این در حالی است که تعداد بزرگی‌های بیشتر از ۲ در دوره قبل از آبگیری سد (۳۳ سال) بر اساس داده‌های ثبت شده در حدود ۱۰۳ رکورد می‌باشد.



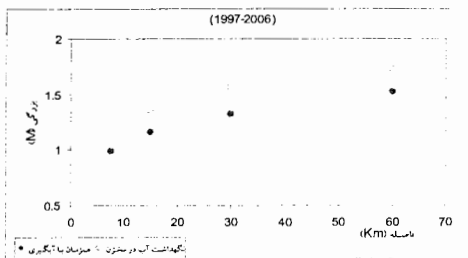
شکل ۵-۱۰- نمودار تجمعی زمین لرزه‌ها بر مبنای بزرگی.



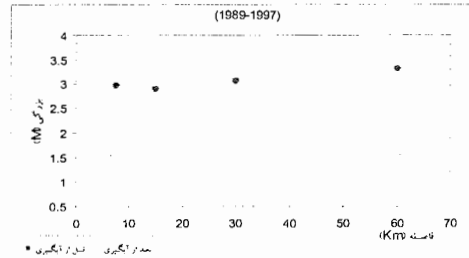
شکل ۵-۹- نمودار تعداد زمین لرزه‌ها در بازه‌های مشخص بزرگی.

۵-۱-۲-۳- تغییرات بزرگی زمین لرزه‌ها

مقایسه مقادیر بزرگی متوسط زمین لرزه‌ها در دو مقطع زمانی قبل و بعد از آبیگری به شعاع $7/5$ ، 15 ، 30 و 60 کیلومتر نشان داد که با آبیگری سد بزرگی زمین لرزه‌ها کاهش قابل توجهی را نشان می‌دهد و با دور شدن از محور سد بزرگی زمین لرزه‌ها افزایش می‌یابد (شکل ۵-۱۱).



شکل ۵-۱۲- متوسط بزرگی رخدادهای لرزه‌ای به فواصل مختلف از ساختگاه سد در دوره شروع آبیگری و دوره نگهداشت آب در مخزن سد.



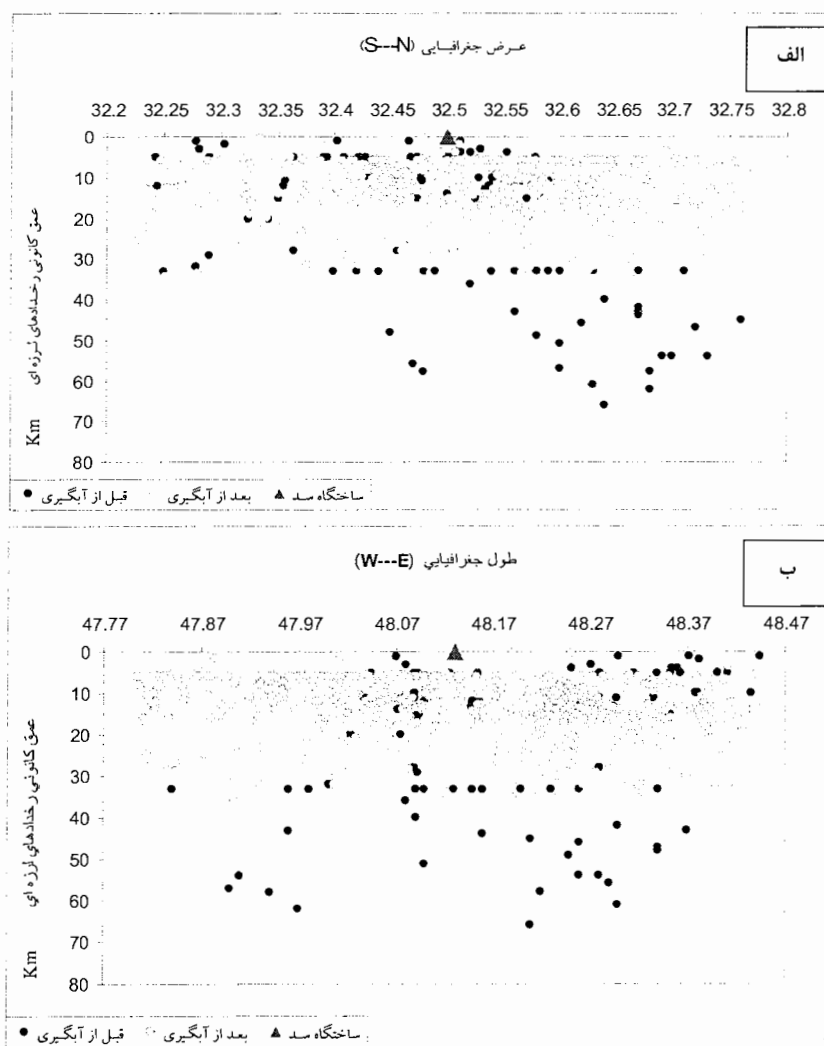
شکل ۵-۱۱- متوسط بزرگی رخدادهای لرزه‌ای به فواصل مختلف از ساختگاه سد در دوره قبل از آبیگری و بعد از آبیگری.

کاهش بزرگی با آبیگری سد می‌تواند ناشی از کاهش مقاومت برشی سطح گسل به علت حضور آب باشد. در شکل ۵-۱۲ بزرگی رخدادهای لرزه‌ای واقع شده در دو بازه زمانی آبیگری سد و نگهداشت آب در مخزن سد با هم مقایسه شد. با گذشت زمان و برقرار شدن تعادل در منطقه، بزرگی رخدادها نیز در تمامی فواصل افزایش می‌یابد که می‌تواند به علت برگشت به وضعیت قبل از بارگذاری مخزن سد باشد. به عبارت دیگر می‌توان گفت با گذشت زمان و پیشرفت آبیگری و افزایش بار وارده ناشی از

مخزن، اثر گذاری σ_{H} بر روی سطح گسل از کاهش مقاومت برشی سطح گسل در اثر نفوذ آب بیشتر شده و بزرگی زمین لرزه‌ها افزایش می‌یابد.

۵-۲-۱-۴- ارزیابی عمق کانونی زمین لرزه‌ها

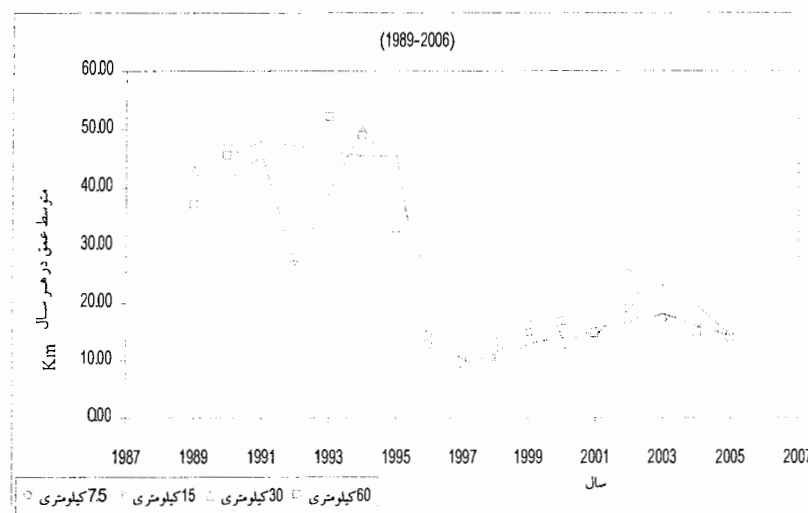
جهت بررسی عمق کانونی زمین لرزه‌ها تمام رخدادها با عمق ۱۸ کیلومتری که به طور پیش فرض گزارش شده‌اند، از نمودارهای عمق حذف شده‌اند.



شکل ۵-۱۳- توزیع عمقی زمین لرزه‌ها در شعاع ۳۰ کیلومتری سد کرخه. الف) در مقطع شمالی - جنوبی گذرا از سد. ب) در مقطع شرقی - غربی گذرا از سد. کلیه کانونها به سطح مقطع قائم تصویر شده‌اند.

توزیع جغرافیایی زمین لرزه‌ها بر اساس عمق کانونی رخدادها، نشان می‌دهد که، تجمع عمق کانونی رخدادها در مرز ۵ تا ۱۵ کیلومتری می‌باشد که طبق مشخصات زمین لرزه‌های ناشی از آبیگری مخزن سد، مورد انتظار است. بر اساس شکل ۵-۱۳ می‌توان چنین بیان نمود که تا قبل از آبیگری سد کرخه عمق کانونی زمین لرزه‌ها تا اعماق ۷۰ کیلومتری زیر زمین پراکنده شده‌اند، این در حالی است که عمق کانونی رخدادهای بعد از آبیگری سد از ۴۰ کیلومتر تجاوز نکرده است و عمده تمرکز عمق زمین لرزه‌ها در حد فاصل ۵ تا ۱۵ کیلومتری زیر سطح زمین می‌باشد.

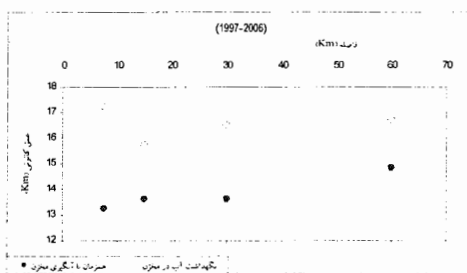
مقایسه عمق کانونی رخدادهای لرزه‌ای در دو بازه ۸/۵ ساله قبل و بعد از آبیگری در فواصل مختلف از محور سد، حاکی از کاهش عمق کانونی زمین لرزه‌ها بعد از آبیگری سد در سال ۱۹۹۷ میلادی می‌باشد (شکل ۵-۱۴).



شکل ۵-۱۴- مهاجرت عمق کانونی رخدادهای لرزه‌ای در فواصل مختلف از سد کرخه.

از سال ۱۹۹۷ به بعد تا مدت کوتاهی عمق زمین لرزه‌ها در حدود عمق ۱۰ کیلومتری زمین قرار داشته که با گذشت زمان مقدار آن به مرور افزایش یافته و تا ۲۰ کیلومتری نیز رسیده و مجدداً رو به کاهش گذاشته است، که این افزایش عمق با زمان می‌تواند به علت تأخیر زمانی حاصل از نفوذ آب در لایه‌های زیرین و افزایش فشار منفذی آب در این لایه‌ها باشد، که باعث فعال شدن گسل‌ها در این عمق می‌شود. در این بازه نوساناتی هم مشاهده می‌شود که متأثر از عوامل زیادی می‌تواند باشد که

نوسانات فصلی سطح آب دریاچه سد و تغییرات زمین شناسی پی سد و بستر دریاچه از جمله مهمترین آنها به شمار می آید. در شکل ۵-۱۵ مقادیر متوسط عمق کانونی زمین لرزه‌ها به شعاع ۷/۵، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ کیلومتر آورده شده است. ملاحظه می‌گردد که با دور شدن از محور سد عمق کانونی زمین لرزه‌ها افزایش می‌یابد.

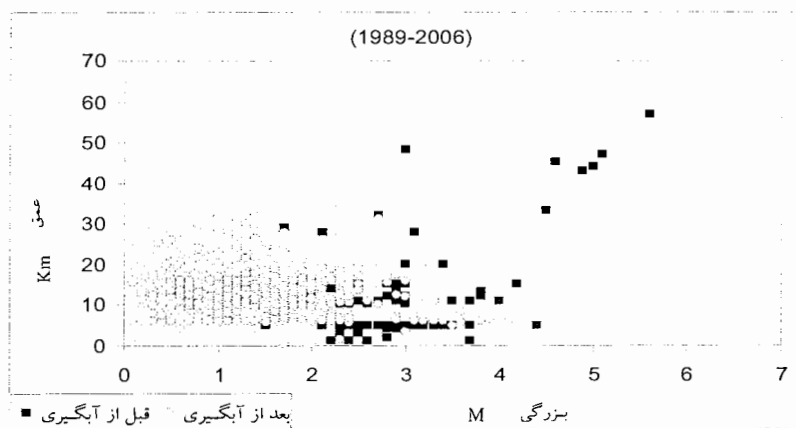


شکل ۵-۱۶- مقایسه متوسط عمق کانونی رخدادهای لرزه‌ای به فواصل مختلف از ساختمان سد در دوره شروع آنگیری و نگهداشت آب در مخزن سد.



شکل ۵-۱۵- مقایسه متوسط عمق کانونی رخدادهای لرزه‌ای به فواصل مختلف از ساختمان سد در دوره قبل از آنگیری و بعد از آنگیری.

با مقایسه عمق متوسط رخدادهای لرزه‌ای در دوره آنگیری با دوره نگهداشت آب در مخزن این نتیجه حاصل شد، که عمق زلزله‌ها با گذشت زمان در تمام فاصله‌ها افزایش نشان می‌دهد که این امر به علت مدت زمان صرف شده برای نفوذ آب به لایه‌های پایین‌تر می‌باشد. این موضوع با توجه به شکل ۵-۱۶ کاملاً مشخص می‌گردد.

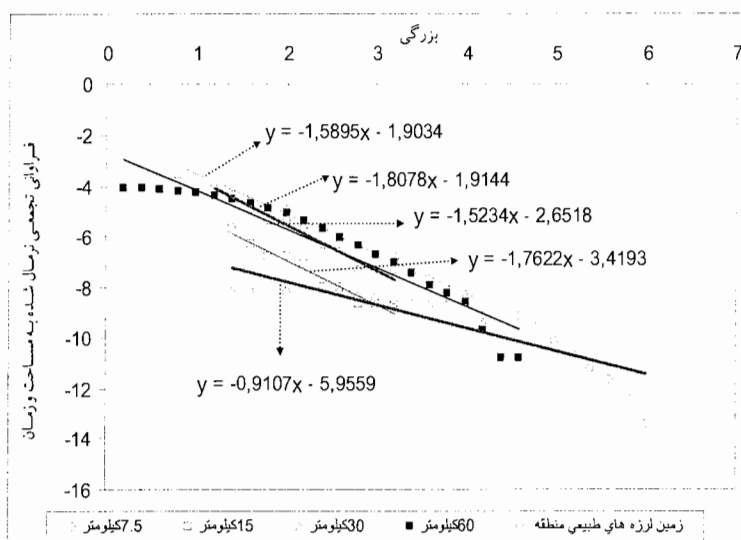


شکل ۵-۱۷- نمودار عمق در برابر بزرگی رخدادهای لرزه‌ای واقع شده در ۳۰ کیلومتری محور سد کرخه.

بنابر آنچه که از این بحث بر می آید، خصوصیات لرزه خیزی منطقه به تبعیت از نحوه آبرگیری مخزن سد و تحت شرایط خاص زمین شناسی محل دریاچه سد دستخوش تغییر گشته است. یعنی با آبرگیری سد کرخه علاوه بر افزایش تعداد زمین لرزه‌ها در فاصله‌های نزدیک عمق کانونی و بزرگی زمین لرزه‌ها نیز در فواصل نزدیک کاهش یافته است که این نشان دهنده رابطه خرد لرزه‌ها با حضور دریاچه سد در منطقه می‌باشد (شکل ۵-۱۷).

۵-۲-۱-۵-۰ ارزیابی پارامتر لرزه خیزی β

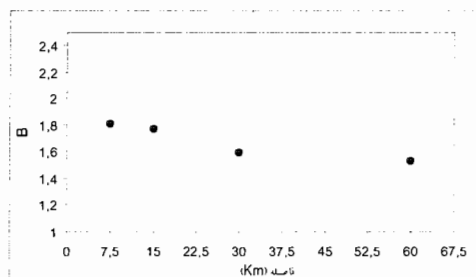
با بررسی پارامترهای لرزه خیزی طبق رابطه (۵-۱) مشخص شد که با آبرگیری مخزن سد ضریب β افزایش یافته است به این معنی که تعداد زمین لرزه‌های با بزرگی کوچک نسبت به زمین لرزه‌های با بزرگی بیشتر در منطقه افزایش یافته است.



شکل ۵-۱۸- مقایسه وضعیت پارامترهای لرزه خیزی در دوره‌های زمانی قبل و بعد از آبرگیری سد در فواصل مختلف از محور سد کرخه.

شکل ۵-۱۸ رابطه گوتنبرگ-ریشتر داده‌های لرزه‌ای (نرمال شده به مساحت و زمان) برای شعاع‌های ۷/۵، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ کیلومتری محور سد در بازه زمانی ۸/۵ ساله بعد از آبرگیری با بازه زمانی مشابه قبل از آبرگیری مخزن سد کرخه مقایسه شده است.

با مقایسه مقادیر β برای فاصله‌های ۷/۵، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ کیلومتر نیز مشخص شد، که مقدار β با دور شدن از محل سد کاهش می‌یابد (شکل ۵-۱۹) که این امر دلیل بر متمرکز شدن زمین لرزه‌های با بزرگی کوچک‌تر در اطراف سد است.



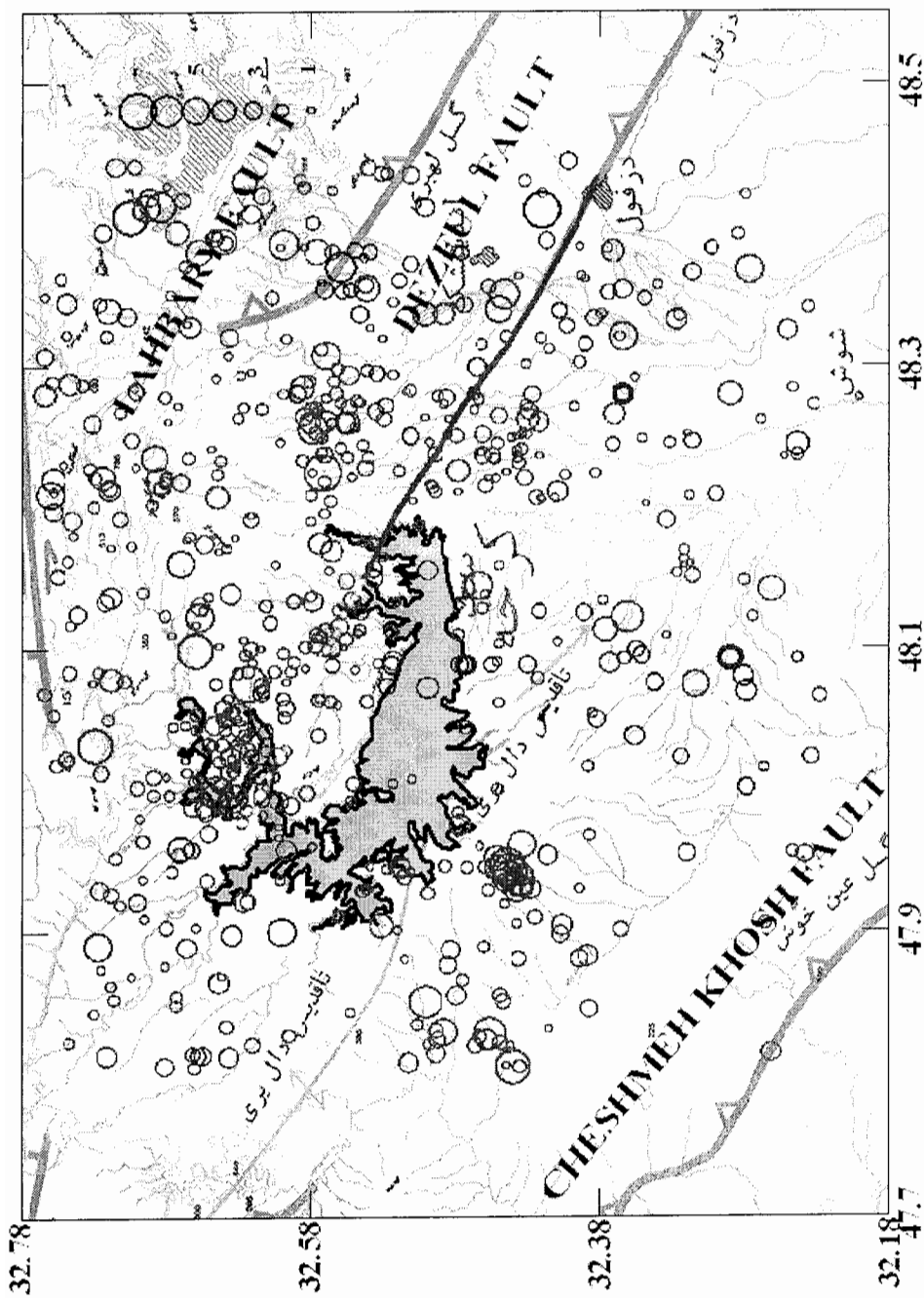
شکل ۵-۱۹- مقایسه ضریب β در فواصل مختلف از محور سد کرخه که کاهش آنرا با افزایش فاصله از سد نشان می‌دهد

۵-۲-۱-۶- تغییر موقعیت کانون سطحی زمین لرزه‌ها

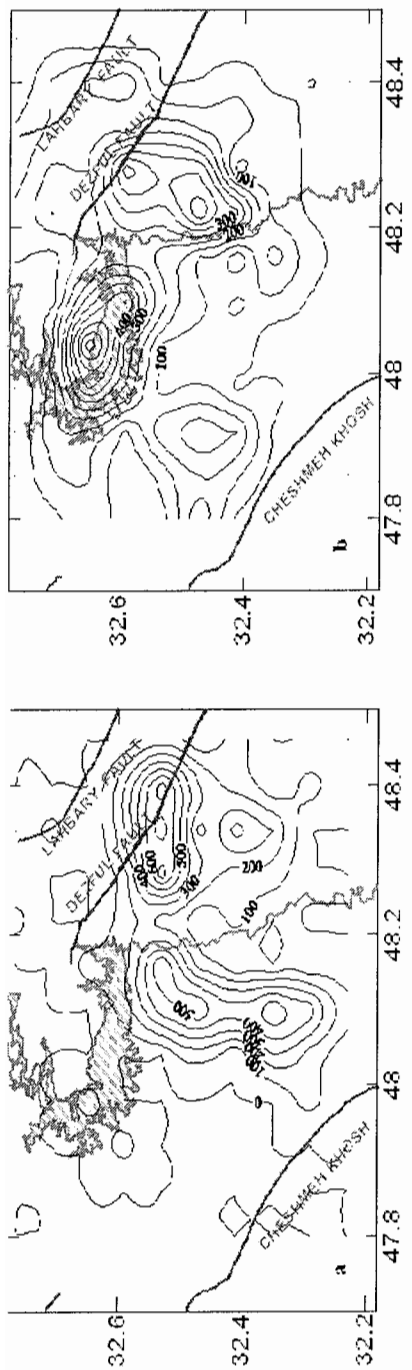
در شکل ۵-۲۰ پراکندگی کانون سطحی زمین لرزه‌های واقع در ۳۰ کیلومتری محور سد مربوط به بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل ملاحظه می‌گردد که رخداد‌های لرزه‌ای در دوره بعد از آبگیری نسبت به بازه زمانی قبل از آبگیری تغییر موقعیت داده‌اند.

بعد از سال ۱۹۹۷ زمین لرزه‌ها در شمال و شمال غرب محور سد که محل عبور گسل دزفول از محدوده مخزن سد می‌باشد تجمع بیشتری دارند. همچنین تجمعی از زمین لرزه‌ها در بخش شرقی ساختگاه مشاهده می‌شود که منطبق بر گسل دزفول می‌باشد که نزدیک‌ترین گسل به محور سد است. منحنی‌های تجمع زمین لرزه‌ها در دوره‌های قبل از آبگیری و بعد از آبگیری سد نیز همین موضوع را به اثبات رساند. با رسم این منحنی‌ها (شکل ۵-۲۱) مشخص شده که بیشترین تجمع رخدادها در جنوب شرقی محور سد در رابطه با گسل دزفول متمرکز شده بودند که بعد از آبگیری تجمع کانون سطحی زمین لرزه‌ها عمدتاً در نزدیکی مخزن سد واقع شده است. لازم به ذکر است که جنس سازنده‌های این بخش از سد عمدتاً از نوع کنگلومرای بختیاری است.

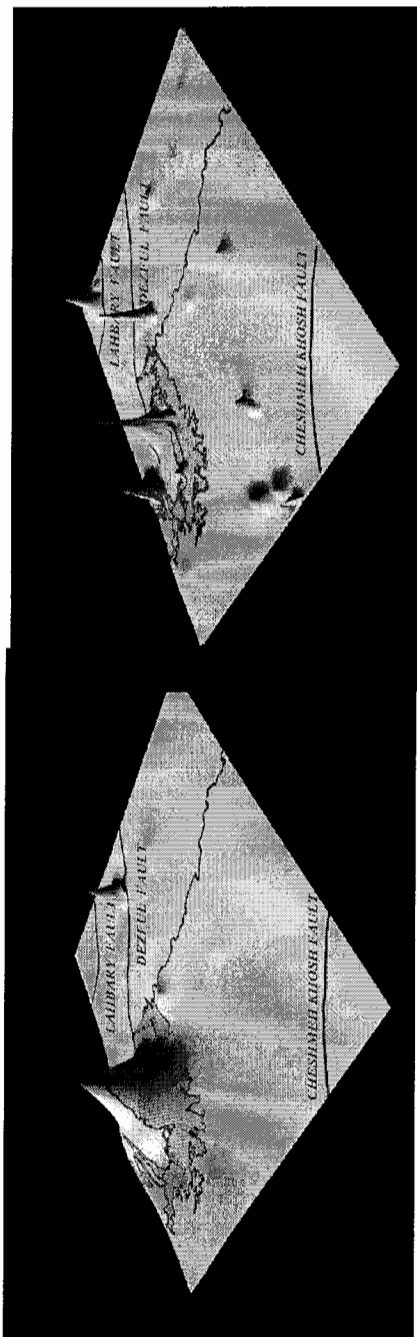
در شکل ۵-۲۲ نمودار توزیع تخلیه انرژی در منطقه در مدت مورد نظر آورده شده است. این نمودار بیانگر میزان انرژی آزاد شده در منطقه بر اثر زمین لرزه‌های ثبت شده می‌باشد. طبق روابط لگاریتمی



شکل ۵-۲- موقعیت جغرافیایی رخدادهای لرزهای واقع شده قبل از آنگیری و بعد از آنگیری در فاصله ۳۰ کیلومتری سد کرخه.



شکل ۵-۲۱- منحنی تجمع کانون سطحی رخدادهای لرزهای واقع شده در بازه‌های زمانی قبل از آنگیری (a) و بعد از آنگیری (b) در فاصله ۳۰ کیلومتری سد کرخه.



شکل ۵-۲۲- نمودار توزیع تخلیه انرژی رخدادهای لرزهای واقع شده قبل از آنگیری (a) و بعد از آنگیری (b) در فاصله ۳۰ کیلومتری از محور سد کرخه.

موجود بین بزرگ‌های مختلف و انرژی آزاد شده به ازای هر واحد افزایش در بزرگای زمین لرزه، انرژی آن ۳۳ برابر می‌شود. برای تعیین میزان انرژی رخدادهای لرزه‌ای در این مطالعه از رابطه گوتنبرگ- ریشتر (۱۹۵۶) استفاده شده است:

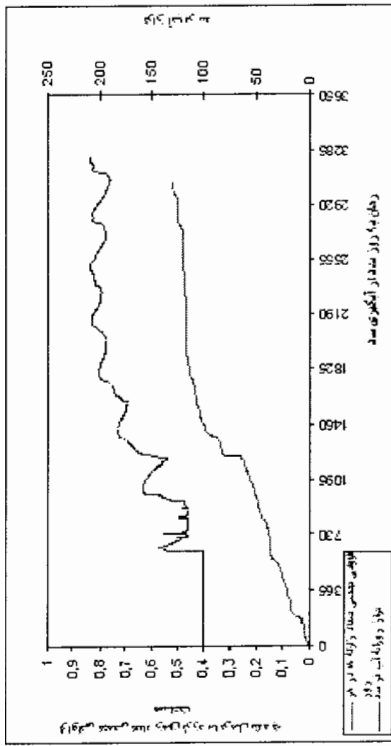
$$\log(E) = 1.5M + 11.8 \quad \text{رابطه (۲-۵)}$$

در رابطه (۲-۵) M بزرگی زمین لرزه‌ها و E مقدار انرژی آزاد شده از زمین لرزه‌هاست. همان طوری که از شکل پیداست، در دوره قبل از آبگیری سد کرخه در دو منطقه که در موقعیت شمال و شمال شرقی ساختگاه سد قرار دارند میزان بیشتری انرژی آزاد گردیده است که به علت رخدادهایی است که در این منطقه در رابطه با فعالیت انتهای شمال غربی گسل‌های دزفول به وقوع پیوسته‌اند و در مجموع نسبت به سایر زمین لرزه‌ها که در قسمت‌های دیگر رخداده، انرژی بیشتری داشته‌اند (شکل ۵-۲۲ a). بر اساس همین بررسی مشخص گردید که بعد از آبگیری سد کرخه، انرژی آزاد شده از زمین لرزه‌ها در تمام گسل‌های نزدیک به دریاچه سد کرخه، بسته به فاصله گسل تا محل دریاچه، متمرکز شده‌اند. یعنی در جاهایی که گسل نزدیک به مخزن است انرژی بیشتری آزاد شده است (شکل ۵-۲۲ b)، که می‌تواند به علت نفوذ آب در سطح گسل و لغزندگی ناشی از آن باشد و در نتیجه رها شدن انرژی جمع شده در محل قفل شدگی‌های گسلی را به دنبال بیاورد.

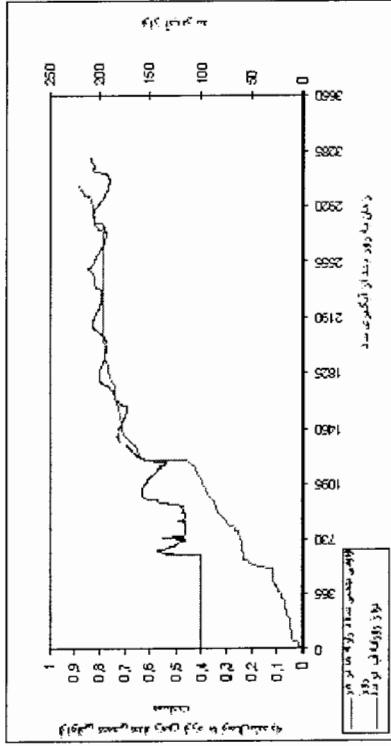
۵-۲-۱-۲-۷- رابطه بین تغییرات تراز آب و وقوع زمین لرزه‌ها

در شکل ۵-۲۳ منحنی فراوانی تجمعی تعداد زمین لرزه‌ها و تراز آب مخزن در روزهای بعد از آبگیری سد باهم مقایسه شده است. ملاحظه می‌گردد که هم‌خوانی مناسبی بین تراز آب و تعداد وقوع زمین لرزه‌ها برای همه فواصل ۷/۵، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ کیلومتری وجود دارد. البته تا شعاع ۳۰ کیلومتر از محور سد هم‌خوانی مناسب‌تر است.

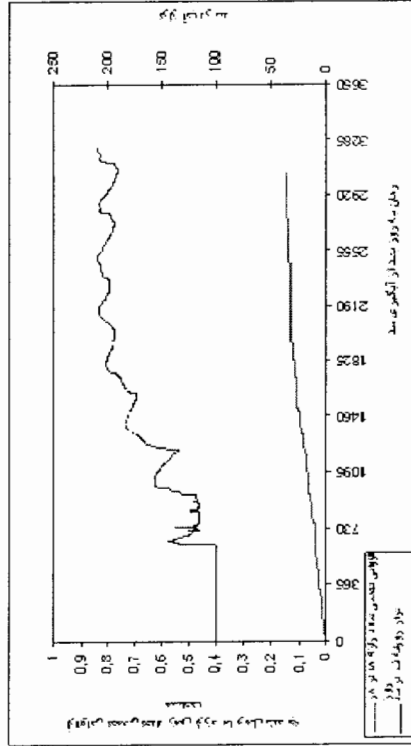
با توجه به این مقایسه مشاهده می‌گردد که، مدت زمان لازم برای مسطح شدن منحنی فراوانی تجمعی زمین لرزه‌ها برای فواصل نزدیک‌تر کوتاه‌تر و برای فواصل دور بلندتر است. به عبارت دیگر با افزایش ارتفاع آب لرزه‌خیزی القایی، به فواصل دورتر از مخزن منتقل می‌گردد.



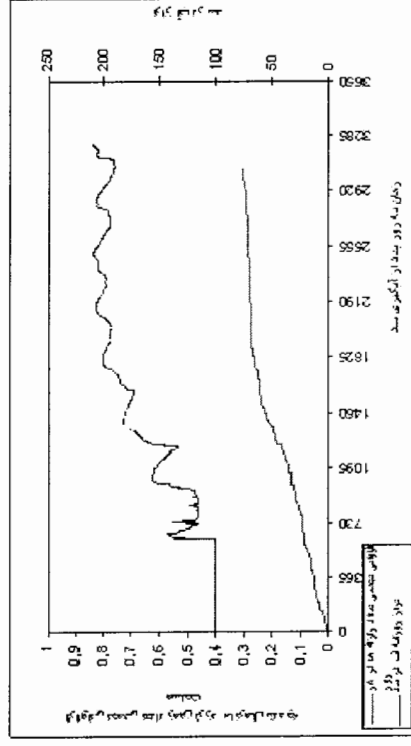
فاصله ۱۵ کیلومتری (۷/۵ کیلومتری)



فاصله ۷/۵ کیلومتری (۷/۵ کیلومتری)

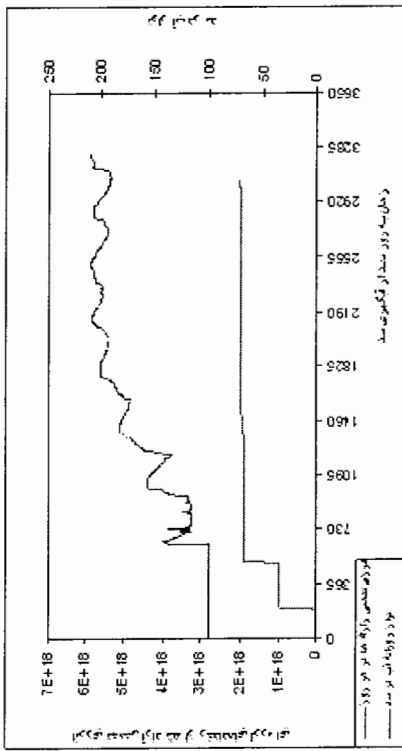


فاصله ۶۰ کیلومتری (۷/۵ کیلومتری)

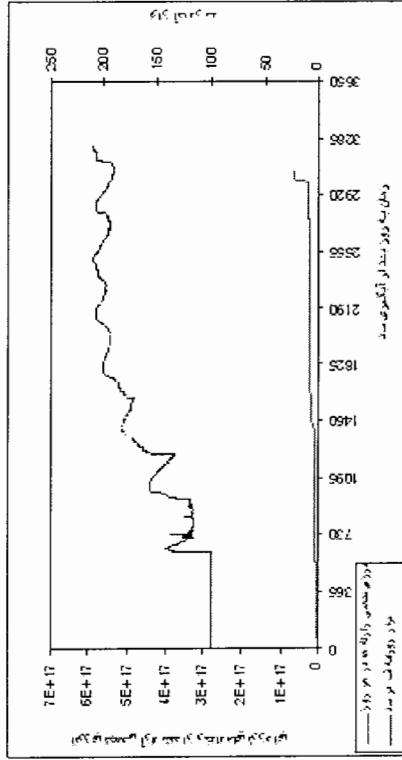


فاصله ۳۰ کیلومتری (۷/۵ کیلومتری)

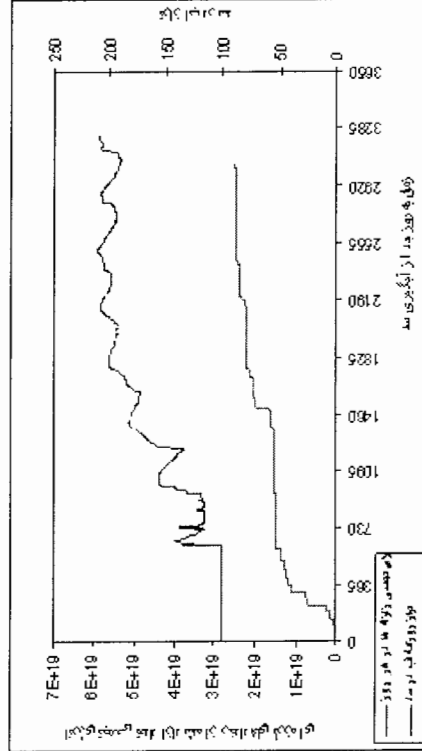
شکل ۵-۲۳- مقایسه تراز روزانه سطح آب با فراوانی تجمعی تعداد رخدادهای لرزه‌ای در هر روز در فواصل ۱۵، ۷/۵، ۳۰ و ۶۰ کیلومتری از ساختگاه سد کرخه.



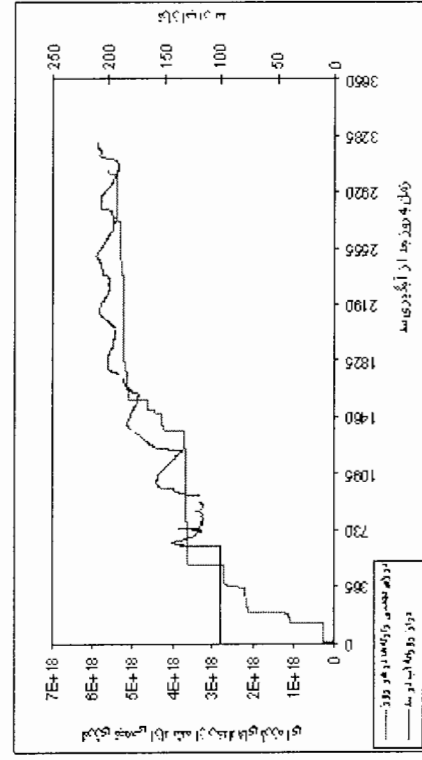
(فاصله ۱۵ کیلومتری)



(فاصله ۷/۵ کیلومتری)



(فاصله ۶۰ کیلومتری)

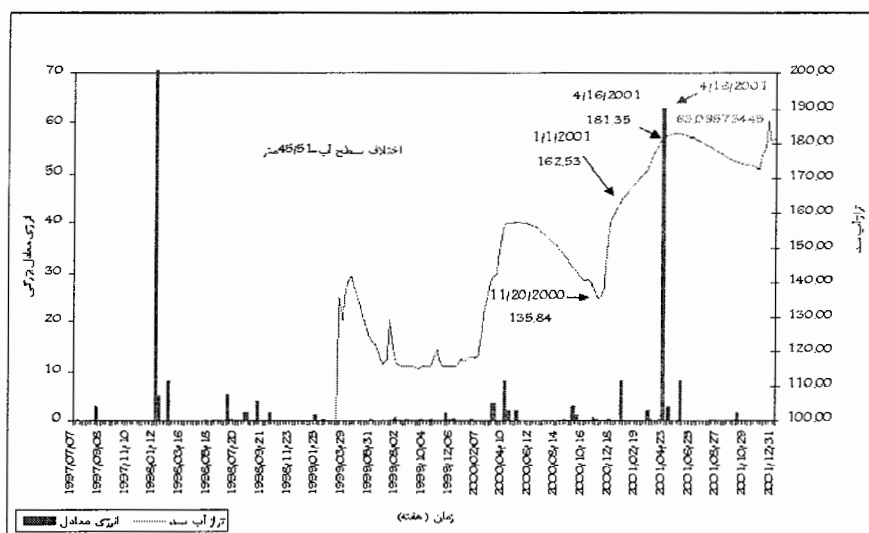


(فاصله ۲۰ کیلومتری)

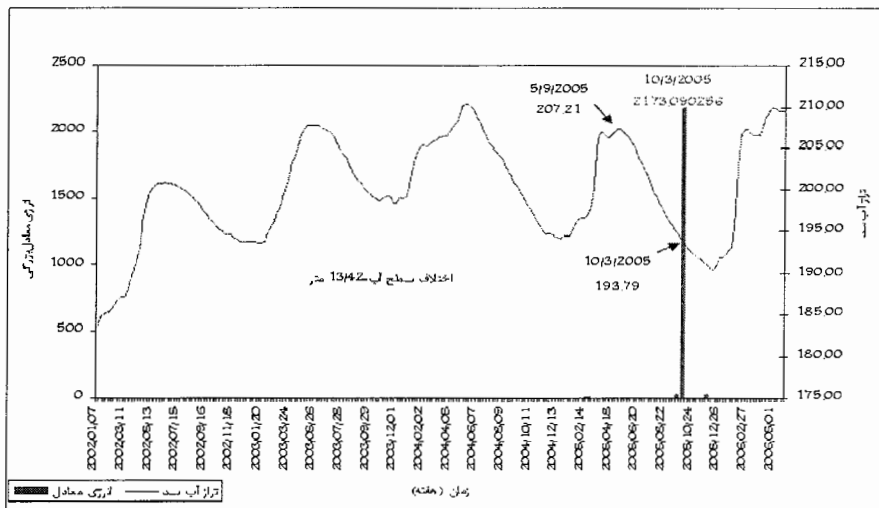
شکل ۵-۲۴- مقایسه تراز روزانه سطح آب با انرژی تجمعی آزاد شده از رخدادهای لرزه‌ای در هر روز در فواصل ۱۵، ۷/۵، ۳۰ و ۶۰ کیلومتری از ساختمان سد کرخه.

نمودارهای شکل ۵-۲۴ نیز مؤید این مطلب است، در این جا نیز نمودارهای انرژی تجمعی آزاد شده از رخدادهای لرزه‌ای در فواصل نزدیک‌تر سریع‌تر از فواصل دورتر مسطح می‌شوند. همچنین انرژی‌ها زمانی رها شده‌اند که کاهشی در ارتفاع آب سد داشته باشیم. تغییرات تراز آب در سد در بروز زمین لرزه‌ها کاملاً تأثیر گذار می‌باشد به طوری که در دوره‌هایی که ارتفاع آب پیک‌های ثابت با تغییرات کم را پشت سر گذاشته است، در فواصل نزدیک‌تر باعث کنترل زمین لرزه‌ها شده و حتی در فاصله ۷/۵ کیلومتری شاهد نبود لرزه به مدت ۹۹۳ روز (۴/۲۹/۲۰۰۲ تا ۱/۲۴/۲۰۰۵) می‌باشیم. تمامی این مطالعات نشانگر این واقعیت می‌باشند که الگوی لرزه‌خیزی منطقه کرخه بعد از آبیگری سد و بهره‌برداری از آن نسبت به زمان قبل از آبیگری دچار تغییر شده است.

در فصل دوم عنوان شد که بین آغاز آبیگری مخزن سد و شروع زمین لرزه‌ها یک فاصله زمانی وجود دارد که ناشی از به وجود آمدن پاسخ در مقابل تغییرات تنش در منطقه و تغییرات فشار آب منفذی به جهت نفوذ آب در لایه‌های زیرین می‌باشد.



شکل ۵-۲۵- مقایسه مقدار بیشینه زمین لرزه‌ها با تغییرات تراز آب در سد کرخه در طول دوره آبیگری سد کرخه.

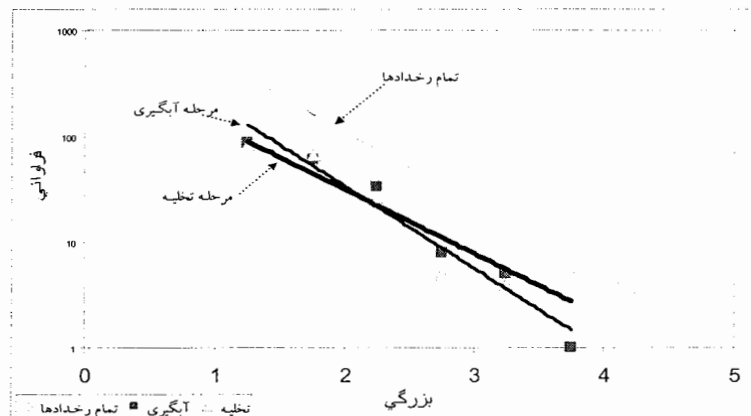


شکل ۵-۲۶- مقایسه مقدار بیشینه زمین لرزه‌ها با تغییرات تراز آب در سد کرخه در طول دوره نگهداشت آب در سد کرخه.

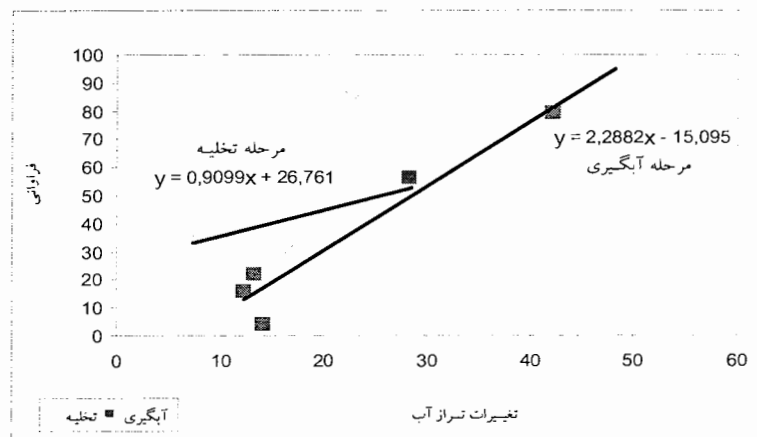
بر اساس مطالعات انجام گرفته، لرزه‌نگاشت‌های سدهای کرخه نشان می‌دهند که از هنگام حداکثر میزان آبداری و غرقاب شدن زمین تا تشدید فعالیت لرزشی منطقه، زمان تأخیر نزدیک به ۵ ماه (شکل‌های ۵-۲۵ و ۵-۲۶) می‌باشد.

با مقایسه فراوانی وقوع زمین لرزه‌های با بزرگی مختلف در بازه‌های زمانی آبداری و تخلیه سد کرخه و مقایسه آنها با فراوانی کلی زمین لرزه‌ها با هم ملاحظه می‌گردد که فراوانی زمین لرزه‌های کوچک در زمان آبداری بیشتر از زمان تخلیه می‌باشد (شکل ۵-۲۷) ولی در هر دو حالت آبداری و تخلیه، زمین لرزه‌های القائی مشاهده شده است.

در ادامه با مقایسه تغییرات تراز آب (dH) در مقابل فراوانی تعداد زمین لرزه‌ها در دوره‌های آبداری و تخلیه سد مشاهده شد که فراوانی زمین لرزه‌ها در هر دو دوره، از روند یکسانی پیروی نموده و هر دو حالتی افزایشی را نشان می‌دهند ولی مقدار این ازدیاد بسته به دوره آبداری و تخلیه متفاوت است. یعنی در دوره آبداری شیب افزایش تعداد رخدادها بیشتر از دوره تخلیه آب از مخزن سد است. شکل ۵-۲۸ به خوبی این مسئله را به نمایش می‌گذارد. بر اساس همین نمودار با توجه به روابط بدست آمده مقدار تغییرات تراز آب (dH) آستانه‌ای برای دوره آبداری سد کرخه در حدود ۷ متر بدست آمد.



شکل ۵-۲۷- فراوانی وقوع لرزه‌ها در حالت آنگیری و تخلیه آب سد کرخه.



شکل ۵-۲۸- مقایسه تغییرات تراز آب (dH) با فراوانی وقوع لرزه‌ها در حالت آنگیری و تخلیه آب.

۳-۲-۵- سد کارون ۳

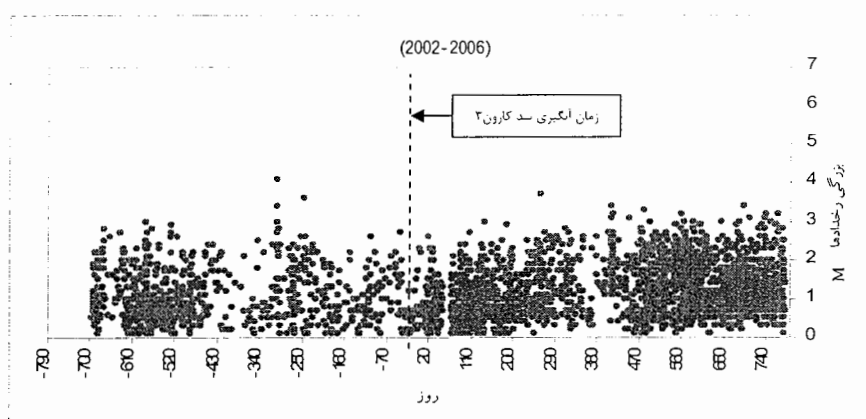
۱-۲-۲-۵- مقدمه

این سد اولین بار در تاریخ ۱۳۸۳/۸/۱۸ هجری شمسی (اکتبر سال ۲۰۰۴ میلادی) آنگیری شد. لذا دوره زمانی داده‌های لرزه‌ای بعد از آنگیری سد تا زمان این تحقیق ۲/۵ سال می باشد که جهت مطالعه زمین لرزه‌های القائی سد زمان کوتاهی می باشد. اما با توجه به ارتفاع ۲۰۳ متری سد کارون ۳ که بلندترین سد بهره برداری شده ایران تا تاریخ مذکور می باشد در اولویت بررسی قرار گرفت.

در زمان آغاز عملیات آبیگری مخزن این سد ارتفاع آب موجود در مخزن در روز آبیگری ۱۹ متر گزارش شده است (ارتفاع کف مخزن ۶۷۲/۷ متر از سطح دریای آزاد می باشد). پس از افزایش تراز مخزن از ۶۷۲/۷ متر به ۷۳۷/۹۷ متر، اختلاف ارتفاع از قرائت صفر در تاریخ ۱۳۸۳/۸/۱۸ به ۶۵/۲۷ متر در تاریخ ۱۳۸۳/۹/۲ رسید. به دنبال این آبیگری بیشترین تغییرات ارتفاعی در گمانه‌های پیژومتری نزدیک به مخزن مشاهده شد. با بررسی ایستایی دامنه‌های مشرف به دریاچه و همچنین احتمال آبیگری از بعضی از حفرات در مسیرهای کارستی درون مخزن مشخص شد که در آهک آسماری ساحل راست دریاچه شکاف‌هایی برای عبور آب وجود دارد [۱۳، ۳۱ و ۹۸].

۵-۲-۲-۲- ارزیابی فراوانی زمین لرزه‌ها بعد از آبیگری

منطقه مورد مطالعه به شعاع تقریبی ۶۰ کیلومتر حول ساختگاه سد کارون ۳ در نظر گرفته شده است. سد کارون ۳ در پهنه لرزه‌خیز زاگرس قرار دارد. تعداد کل زمین لرزه‌های برداشت شده بعد از آبیگری سد ۳۷۶۰ رکورد در مدت ۷۷۹ روز بوده است. بررسی زمانی رخدادهای لرزه‌ای در اطراف سد کارون ۳ نشان می‌دهد که همزمان با آبیگری سد از تاریخ ۱۳۸۳/۸/۱۸ هجری شمسی (۲۰۰۴/۸/۱۱ میلادی) تعداد زمین لرزه‌ها در این محدوده افزایش یافته است.



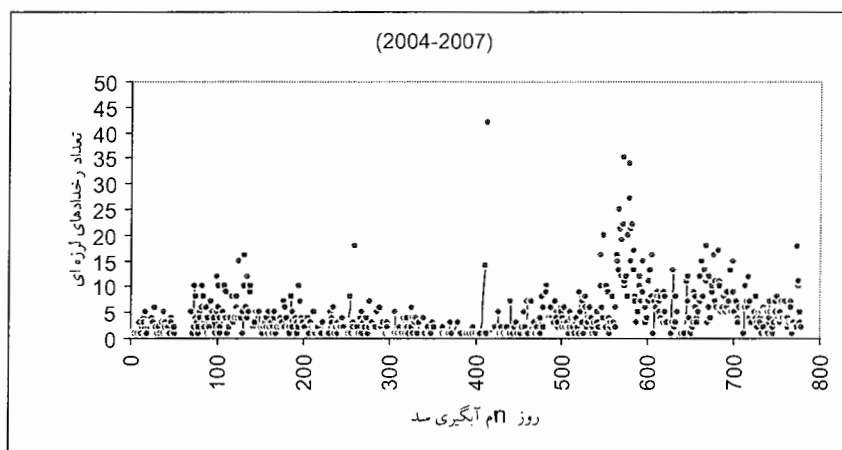
شکل ۵-۲۹- مقایسه توزیع سالیانه زمین لرزه‌ها در بازه‌های زمانی قبل و بعد از آبیگری سد کارون ۳.

نمودار توزیع زمانی وقوع رخدادهای لرزه‌ای ثبت شده به فاصله ۳۰ کیلومتری از ساختگاه سد در بازه زمانی ۲۰۰۴-۲۰۰۷، در مقابل بزرگی آنها نشان می‌دهد، که در برخی دوره‌های زمانی تجمع

بیشتری از نظر تعداد رکورد وجود دارد که نشان دهنده فعالیت زیاد لرزه‌خیزی منطقه در آن دوره می‌باشد (شکل ۵-۲۹).

به طور کلی بزرگی رخداد‌های لرزه‌ای در منطقه بعد از آبیگیری سد کارون ۳ با دوره قبل از آبیگیری تفاوت چندانی نداشته است. این مسئله در مقایسه بازه زمانی ۲ ساله بعد از آبیگیری و بازه زمانی ۲ ساله قبل از آبیگیری کاملاً مشخص است. بزرگی بزرگ‌ترین رخداد ثبت شده در دوره بعد از آبیگیری سد ۳/۷ می‌باشد. این رخداد در روز ۲۵۹ آبیگیری سد و به دنبال افزایش تراز آب مخزن سد به حداکثر سالیانه در سد کارون ۳ رویداده است.

توزیع روزانه زمین لرزه‌ها نشان دهنده نرخ لرزه‌خیزی در منطقه بر حسب زمان رخداد زمین لرزه‌ها می‌باشد. بیشترین تعداد زمین لرزه‌ها در روز ۴۱۳ آبیگیری سد یعنی درست زمانی که تراز آب سد در حال عبور از مرحله آغاز سیر صعودی در سال دوم آبیگیری می‌باشد، ثبت شده است که تعداد آنها ۴۲ رکورد و بزرگی لرزش‌های یاد شده بین ۱/۱ تا ۳/۲ برآورد شده است.

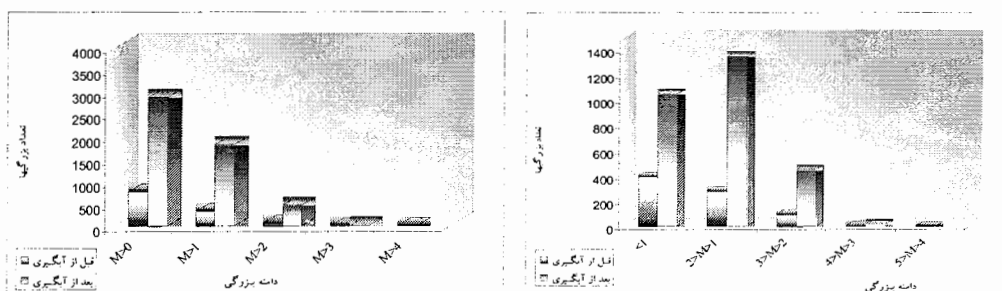


شکل ۵-۳۰- مقایسه توزیع تعداد روزانه زمین لرزه‌ها در بازه زمانی بعد از آبیگیری سد کارون ۳.

به طور متوسط در هر روز ۳ تا ۴ زمین لرزه در محدوده ۳۰ کیلومتر سد ثبت شده است. آبیگیری سد کارون ۳ در مقایسه با سد کرخه بیشتر باعث تحریک لرزه‌خیزی منطقه شده است. با توجه به ارتفاع بسیار زیاد سد و وجود گسل‌های زیاد در منطقه و در مجاورت مخزن سد کارون ۳ این مسئله را می‌توان توجیه نمود (شکل ۵-۳۰).

۵-۲-۳- تغییرات بزرگی زمین لرزه‌ها

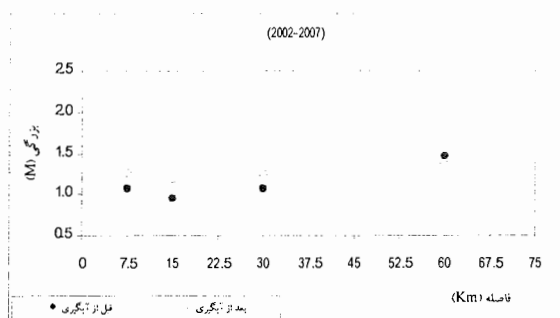
در شکل ۵-۳۱ بازه‌های مختلف بزرگی زمین لرزه‌ها بر حسب تعداد زمین لرزه‌های موجود در هر بازه از بزرگی در دو مقطع زمانی قبل و بعد از آبگیری نشان داده شده است. همان طور که از این نمودار پیداست بیشترین تعداد (طبق انتظار محدوده بزرگی‌های زمین لرزه‌های القائی) رخداد‌های بین محدوده بزرگی ۱ تا ۲ را شامل می‌گردد. همچنین با توجه به نمودار شکل ۵-۳۲، تعداد رخداد‌های لرزه‌ای با بزرگی بزرگتر از ۲ در بازه زمانی دو ساله قبل از آبگیری سد ۷۹ رکورد می‌باشد که بعد از آبگیری سد به ۴۷۴ رخداد افزایش یافته است.



شکل ۵-۳۲- نمودار تعداد زمین لرزه‌های بزرگتر از مقدار مشخص بزرگی M.



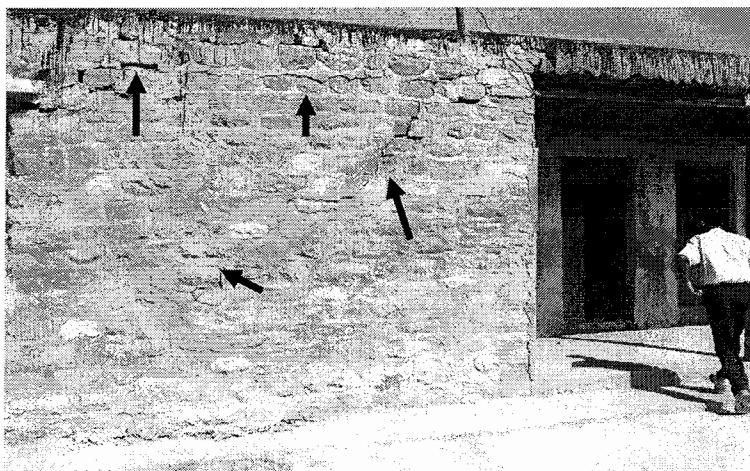
شکل ۵-۳۱- نمودار تعداد زمین لرزه‌ها در بازه‌های مشخص بزرگی.



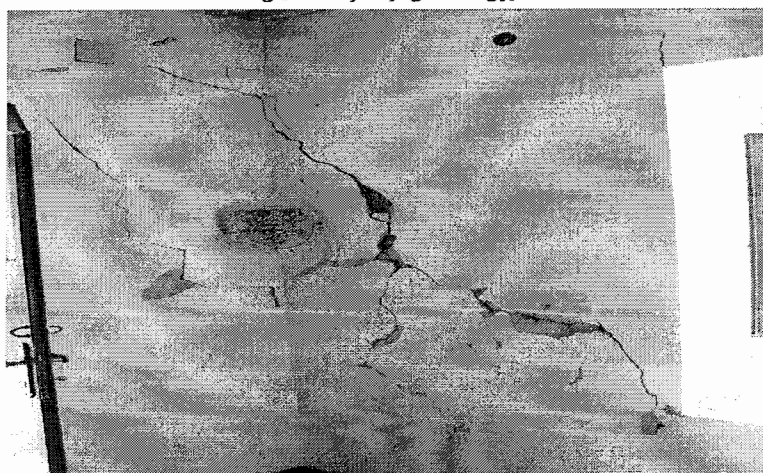
شکل ۵-۳۳- متوسط بزرگی رخداد‌های لرزه‌ای به فواصل مختلف از ساختگاه سد کارون ۳ طی سالهای ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷.

با مقایسه بزرگی متوسط زمین لرزه‌ها در دو مقطع زمانی قبل و بعد از آبگیری به شعاع ۷/۵، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ کیلومتر، ملاحظه می‌گردد که با دور شدن از محور سد بزرگی رخداد‌های لرزه‌ای افزایش یافته و با آبگیری سد بزرگی زمین لرزه‌ها در تمامی فواصل به جز ۶۰ کیلومتر بیشتر شده است. در دوره قبل از آبگیری سد در فاصله ۶۰ کیلومتری یک رخداد با بزرگی ۶/۲ ثبت شده که باعث افزایش

متوسط بزرگی نسبت به فواصل دیگر شده است (شکل ۵-۳۳). افزایش لرزه خیزی به نحو بارزی در منطقه کارون ۳ خود نمایی دارد. اهالی ساکن در محل نیز این افزایش را در لرزه خیزی تصدیق نموده اند.



شکل ۵-۳۴- ترک‌های افقی و ترک‌های اریب ایجاد شده در ساختمان مدرسه روستای رکعت واقع در ۴ کیلومتری سد کارون ۳ (عکس از نصر... کمالیان).

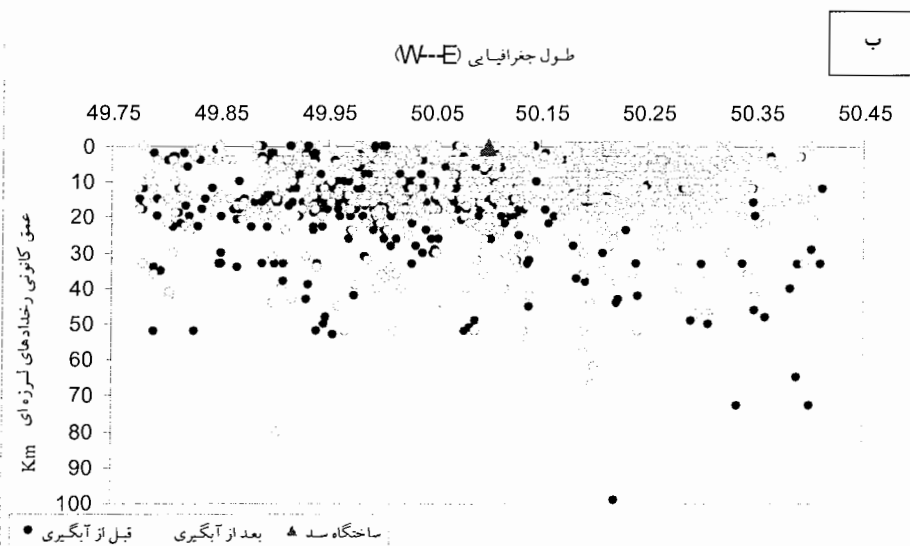
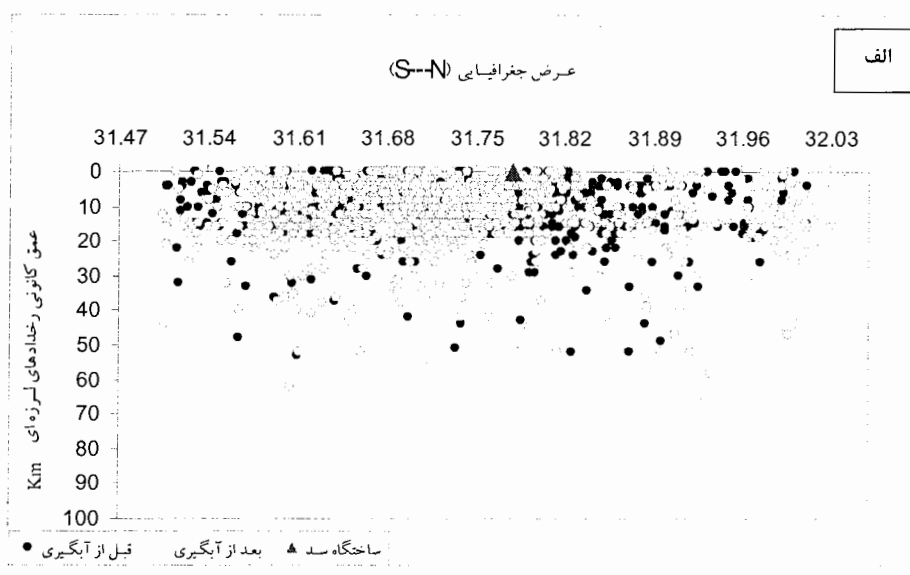


شکل ۵-۳۵- ترک‌های اریب ایجاد شده در ساختمان مسکونی روستای رکعت واقع در ۴ کیلومتری سد کارون ۳ (عکس از نصر... کمالیان).

همچنین ترک‌های بوجود آمده در ساختمان‌های مسکونی و اداری موجود در روستاهای منطقه دلیلی بر همین ادعا است (شکل‌های ۵-۳۴ و ۵-۳۵).

۵-۲-۴-۴- ارزیابی عمق کانونی زمین لرزه‌ها

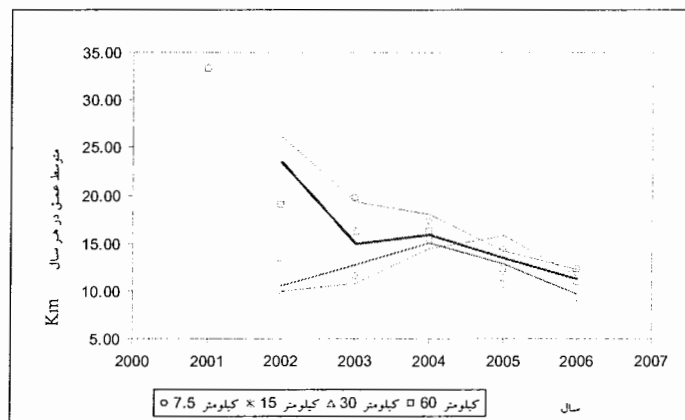
جهت بررسی عمق کانونی رخدادهای لرزه‌ای پیرامون سد کارون ۳ نیز تمام رخدادها با عمق کانونی ۱۸ کیلومتر حذف شده‌اند. در مجموع در حدود ۷۷ رکورد با عمق ۱۸ کیلومتر در محدوده ۶۰ کیلومتری ساختگاه سد کارون ۳ ثبت شده است.



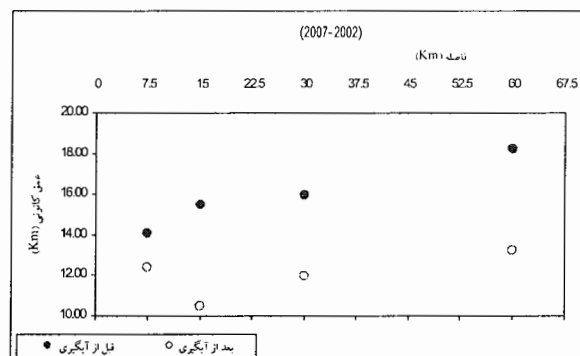
شکل ۵-۳۶- توزیع عمقی زمین لرزه‌ها در شعاع ۳۰ کیلومتری سد کارون ۳. الف) در مقطع شمالی - جنوبی گذرا از سد. ب) در مقطع شرقی - غربی گذرا از سد. کلیه کانونها به سطح مقطع قائم تصویر شده‌اند.

علاوه بر این در همین محدوده برای ۲۳۳۲ رکورد لرزه‌ای نیز اصلاً هیچ عمقی ثبت نشده است. نمودار توزیع جغرافیایی زمین لرزه‌ها بر اساس عمق کانونی زمین لرزه‌ها نشان می‌دهد که، تجمع عمق کانونی رخدادها در مرز ۵ تا ۱۷ کیلومتری می‌باشد شکل (۵-۳۶).

مقایسه عمق کانونی رخدادهای لرزه‌ای در دو بازه زمانی ۲ ساله قبل و بعد از آگیری در فواصل مختلف از محور سد حاکی از کاهش عمق کانونی زمین لرزه‌ها بعد از آگیری سد در سال ۲۰۰۴ میلادی در فواصل مختلف از ساختگاه سد می‌باشد (شکل ۵-۳۷). با دور شدن از محور سد بزرگی و عمق کانونی زمین لرزه‌ها افزایش می‌یابد. شکل ۵-۳۸ مقادیر متوسط عمق کانونی زمین لرزه‌ها به شعاع ۷/۵، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ نشان می‌دهد.

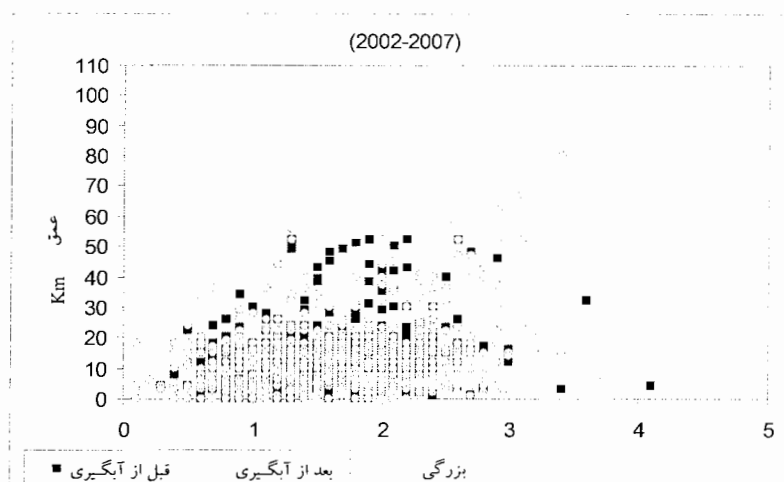


شکل ۵-۳۷- مهاجرت عمق کانونی رخدادهای لرزه‌ای در فواصل مختلف از سد کارون ۳ (۲۰۰۱-۲۰۰۷).



شکل ۵-۳۸- متوسط عمق کانونی رخدادهای لرزه‌ای به فواصل مختلف از ساختگاه سد.

در سد کارون ۳ با آبگیری سد در فواصل نزدیک به محور سد فراوانی زمین لرزه‌ها تقریباً ۲ برابر شده ولی تفاوتی در نسبت بزرگی رخدادهای لرزه‌ای به وجود نیامده است. عمق این زمین لرزه‌ها تا فواصل مختلف از سد کاهش یافته است (شکل ۵-۳۹).

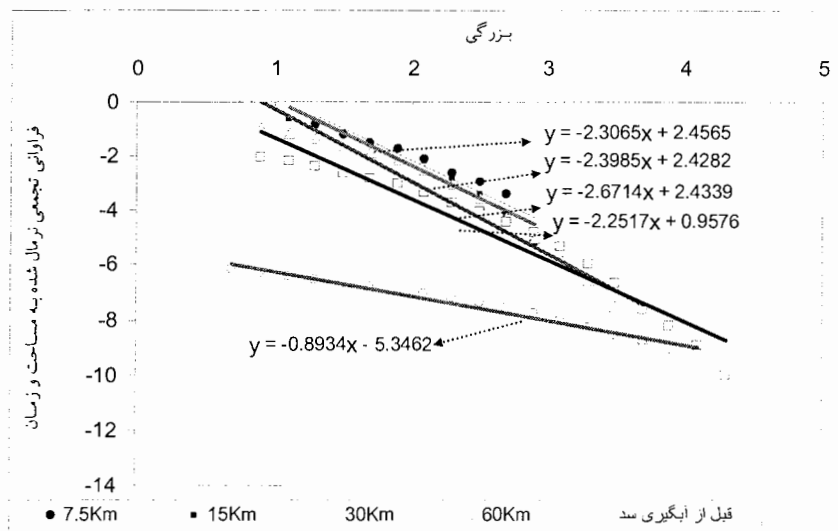


شکل ۵-۳۹- نمودار عمق در برابر بزرگی رخدادهای لرزه‌ای واقع شده در ۳۰ کیلومتری محور سد کارون ۳.

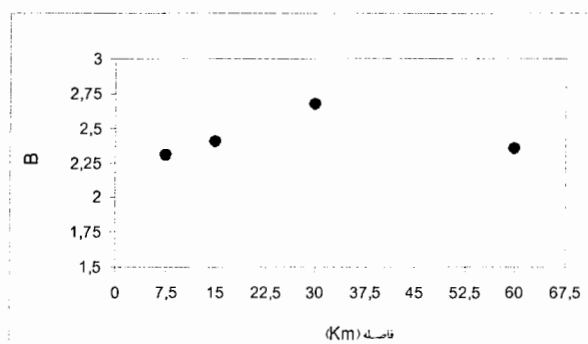
۵-۲-۲-۵- ارزیابی عمق پارامترهای لرزه‌خیزی β

مقایسه روابط گوتنبرگ-ریشتر داده‌های لرزه‌ای (نرمال شده به مساحت و زمان) برای شعاع‌های ۷/۱۵، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ کیلومتری محور سد در بازه زمانی ۸/۵ ساله بعد از آبگیری با بازه زمانی مشابه قبل از آبگیری مخزن سد کارون ۳ بیانگر این امر هستند که، با آبگیری مخزن سد ضریب β در تمام فواصل نسبت به زمان قبل از آبگیری سد افزایش یافته است (شکل ۵-۴۰).

این بدان معناست که زمین لرزه‌های کوچک نسبت به زمین لرزه‌های بزرگ‌تر در منطقه افزایش یافته است. ولی با مقایسه مقادیر β برای فاصله‌های ۷/۱۵، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ کیلومتر مشخص شد، که مقدار β با دور شدن از محل سد تا فاصله ۳۰ کیلومتری افزایش نشان می‌دهد (شکل ۵-۴۱) بدین معنی که در فواصل نزدیک‌تر تعداد زمین لرزه‌های کوچک‌تر نسبتاً کم‌تر است.



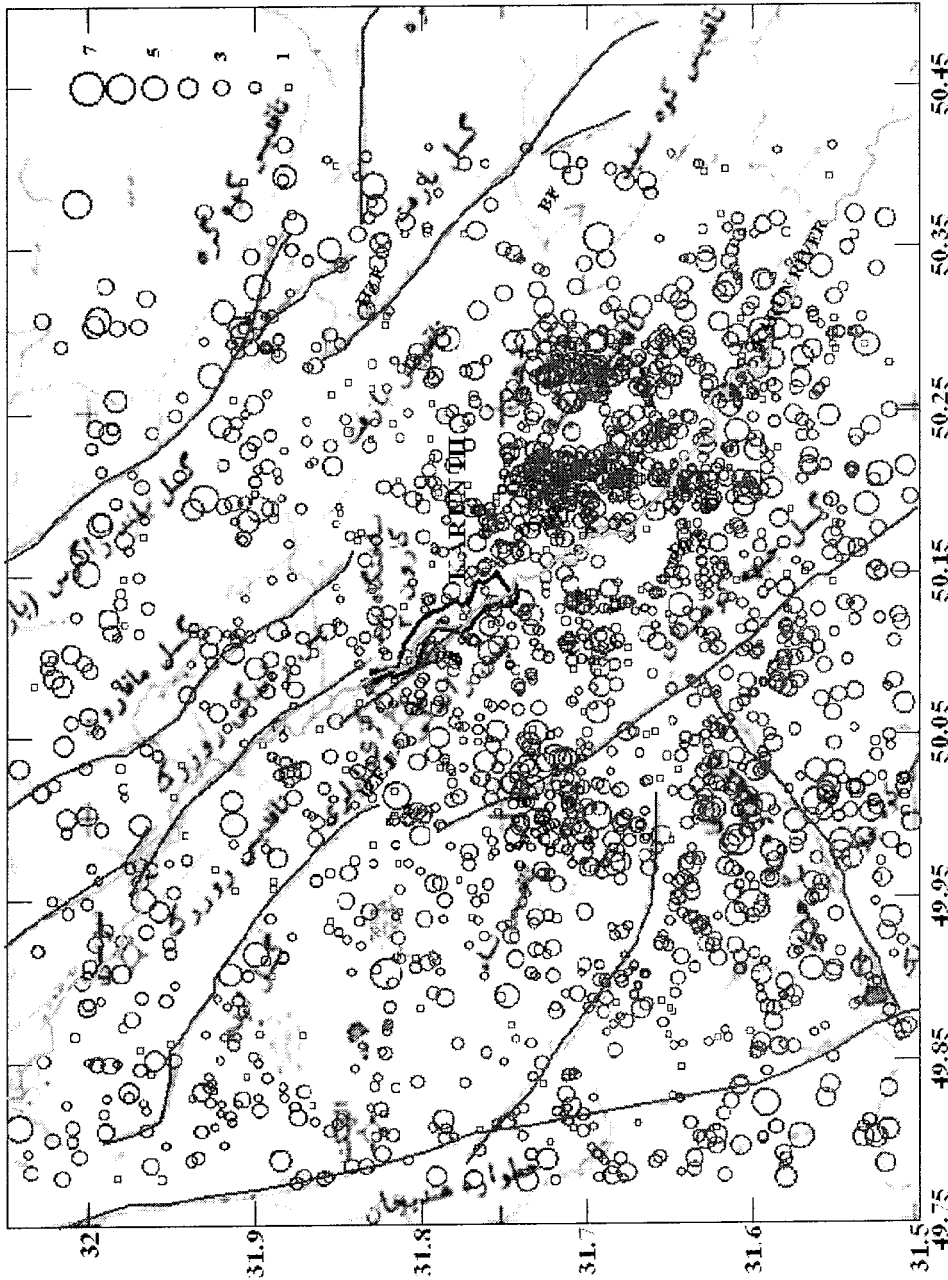
شکل ۴۰-۵- پارامترهای لرزه‌خیزی دوره بعد از آبگیری در فواصل مختلف از سد کارون ۳.



شکل ۴۱-۵- مقایسه ضریب β در فواصل مختلف از محور سد کارون ۳.

۵-۲-۲-۶- تغییر موقعیت کانون سطحی زمین لرزه‌ها

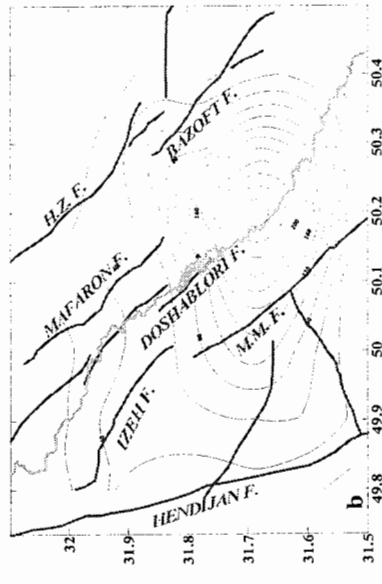
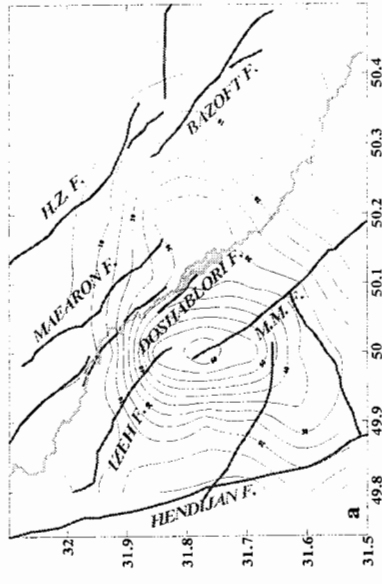
نقشه توزیع جغرافیایی زمین لرزه‌ها پراکندگی کانون سطحی زمین لرزه‌های واقع در ۳۰ کیلومتری محور سد کارون ۳ مربوط به بازه زمانی قبل و بعد از آبگیری (۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷) نشان می‌دهد (شکل ۴۲-۵) که تا قبل از آبگیری سد زمین لرزه‌ها در غرب و جنوب غرب محور سد که محدوده زونهای گسلی جبهه کوهستان و خطواره باغ ملک و روند ایذه را شامل می‌شود، متمرکز شده‌اند و بعد از آبگیری مخزن سد زمین لرزه‌ها تغییر مکان داده و در محدوده جنوب شرقی محور سد و در مجاورت مخزن سد متمرکز شده‌اند.



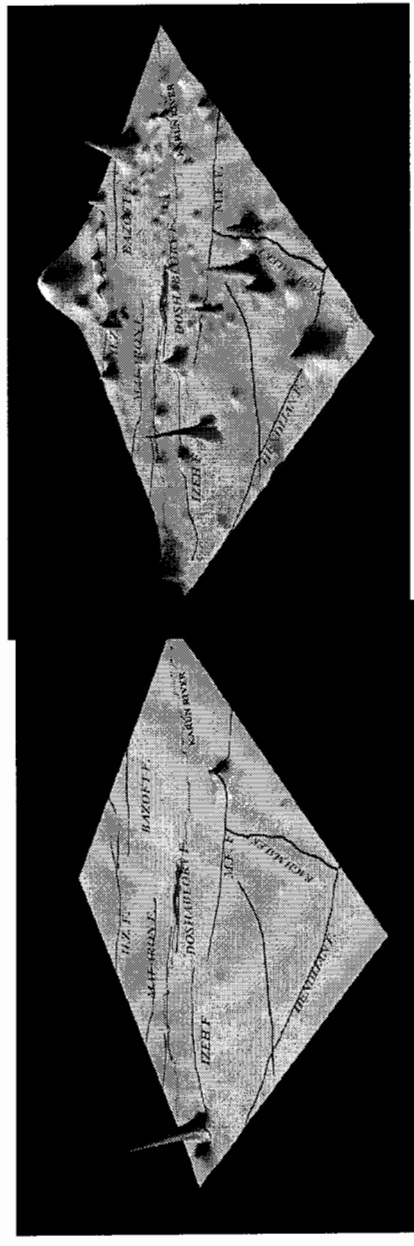
LEGEND

- before impoundment event
- after impoundment event

شکل ۵-۴- موقعیت جغرافیایی رخدادهای لرزهای واقع قبل از آنگیری و بعد از آنگیری در فاصله ۳۰ کیلومتری سد کارون ۳



شکل ۴-۵- منحنی تجمعی زمین ارزشهای واقع شده قبل از آگیری (a) و بعد از آگیری (b) در فاصله ۳۰ کیلومتری سد کارون ۳.



شکل ۴-۵- نمودار توزیع تخلیه انرژی رخسادهای لرزه‌ای واقع شده قبل از آگیری (a) و بعد از آگیری (b) در فاصله ۳۰ کیلومتری از محور سد کارون ۳.

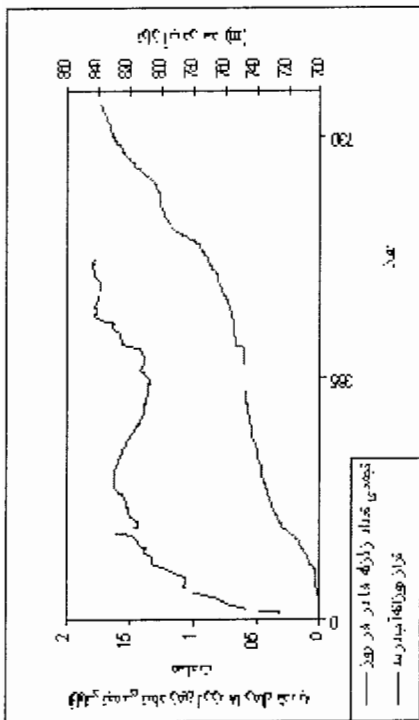
منحنی‌های تجمع لرزه‌ای نیز تغییر الگوی لرزه‌خیزی در کارون ۳ را اثبات می‌نمایند. همان طور که در شکل ۵-۴۳ مشاهده می‌گردد تا قبل از آبگیری سد زمین لرزه‌ها در موقعیتی غربی نسبت به دریاچه سد کارون ۳ متمرکز شده‌اند که با آبگیری سد تغییر مکان داده و در ناحیه جنوب شرقی این دریاچه قرار می‌گیرند.

در شکل (۵-۴۴) نمودارهای توزیع تخلیه انرژی در منطقه در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ و ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۷ آورده شده است. این نمودارها بیانگر میزان انرژی آزاد شده در منطقه بر اثر رخداد زمین لرزه‌های ثبت شده می‌باشد. ملاحظه می‌گردد که تا قبل از آبگیری در کل منطقه عمده انرژی تخلیه شده در دو ناحیه در شمال غرب و جنوب محور سد و در ارتباط با گسل جبهه کوهستان و روند ایذه قرار گرفته است. ولی بعد از آبگیری وضعیت تخلیه انرژی در منطقه تغییر یافته و انرژی تخلیه شده نیز در مناطق مختلف و بیشتر در ارتباط با گسل‌های نزدیک به مخزن سد متمرکز شده‌اند.

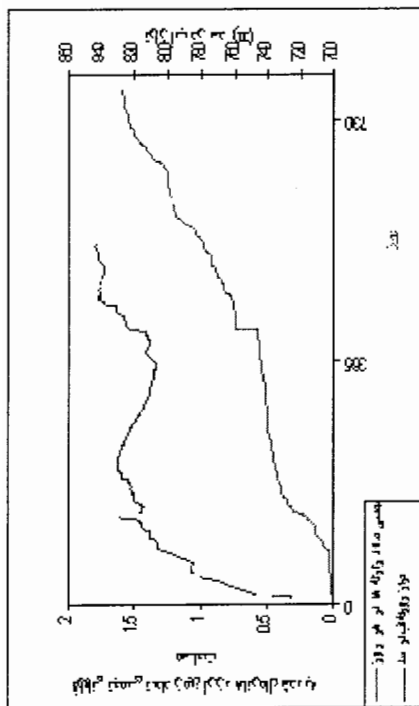
۵-۲-۴-۴- رابطه بین تغییرات تراز آب و وقوع زمین لرزه‌ها

در مورد سد کارون ۳ هم سطح تراز روزانه آب در سد و فراوانی تجمعی زمین لرزه‌ها با هم مورد مقایسه قرار گرفتند. بر اساس این مقایسه ملاحظه می‌گردد که هم‌خوانی مناسبی بین تراز آب و تعداد وقوع زمین لرزه‌ها در فواصل ۷/۵، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ کیلومتری از محور سد وجود دارد. البته تا شعاع ۳۰ کیلومتر از محور سد هم‌خوانی مناسب تر است. با توجه به شکل ۵-۴۵ مشاهده می‌گردد که، در فاصله‌های نزدیک تر با کاهش تراز آب تعداد زمین لرزه‌ها افزایش ناگهانی را تجربه می‌نمایند.

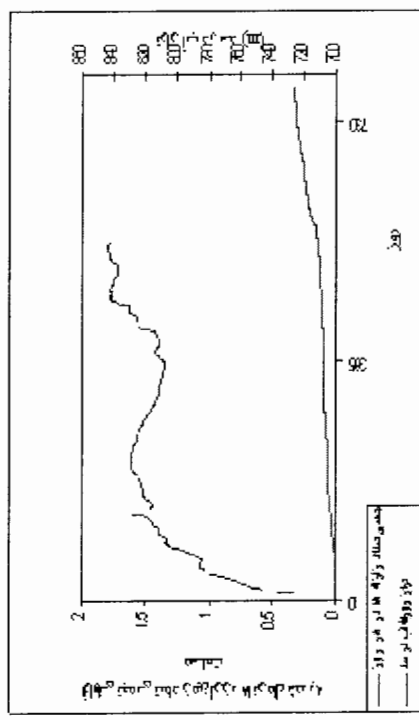
جهت ارزیابی دقیق تر ارتباط سطح آب با لرزه‌خیزی منطقه مقادیر انرژی آزاد شده در بازه زمانی دو ساله بعد از آبگیری سد در فواصل ۷/۵، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ کیلومتری از ساختگاه سد با استفاده از رابطه ۵-۲ به دست آمده است. در شکل ۵-۴۶ تراز روزانه آب در سد و منحنی انرژی تجمعی رها شده در اثر وقوع زمین لرزه‌ها در فواصل مختلف با هم مقایسه شده‌اند. در این شکل نیز هم‌خوانی مناسبی بین تراز آب سد و انرژی رخداد‌های لرزه‌ای مشاهده می‌گردد. همچنین با دور شدن از محور سد میزان انرژی آزاد شده بیشتر از انرژی‌های آزاد شده در فاصله‌های نزدیک تر می‌باشد.



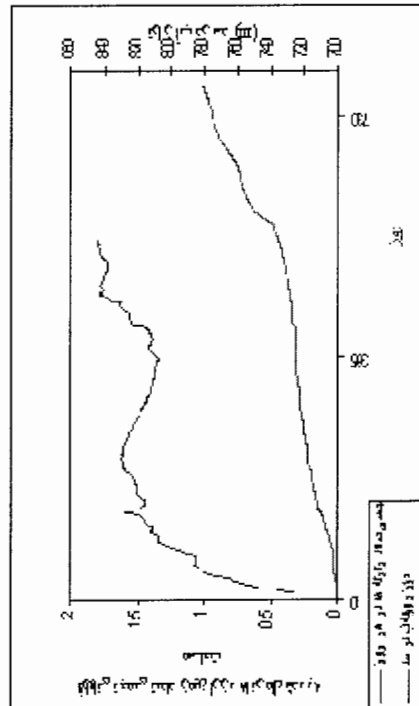
(فاصله ۱۵ کیلومتری)



(فاصله ۷/۵ کیلومتری)

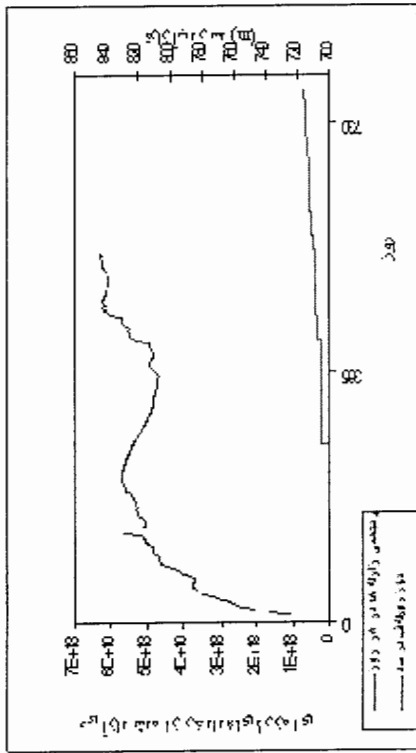


(فاصله ۶۰ کیلومتری)

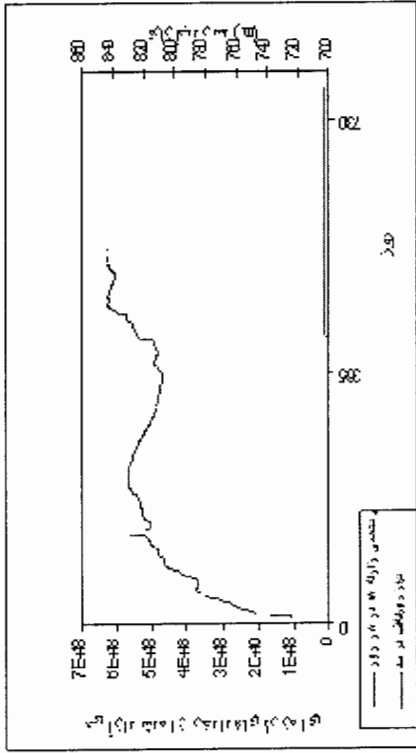


(فاصله ۲۰ کیلومتری)

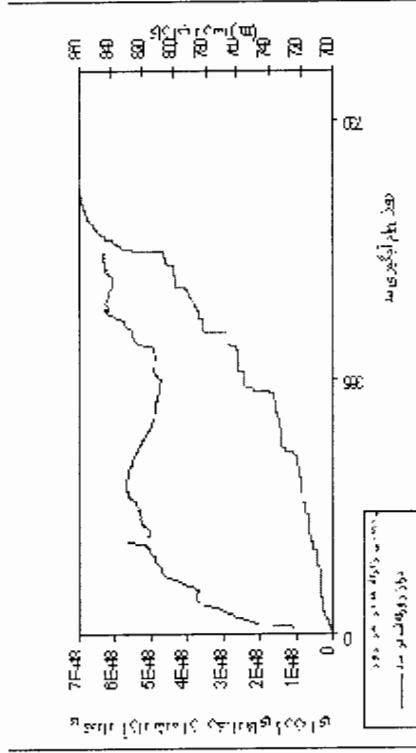
شکل ۵-۴۵- مقایسه تراز روزانه سطح آب با فراوانی جمعیت تعداد رخدادهای لرزه‌ای در هر روز در از ساختگاه سد کارون ۳.



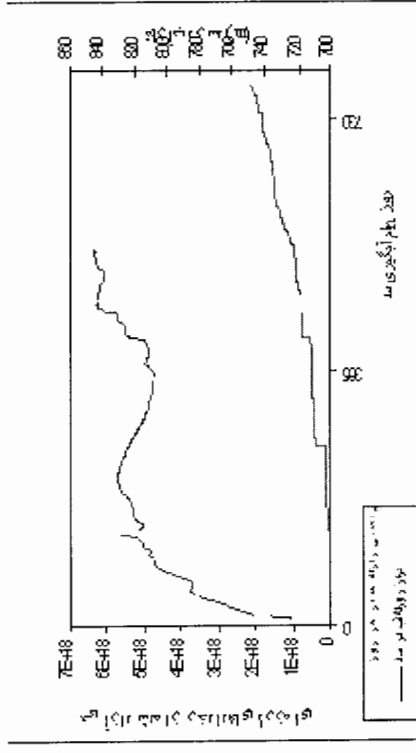
(فاصله ۱۵ کیلومتری)



(فاصله ۷.۵ کیلومتری)



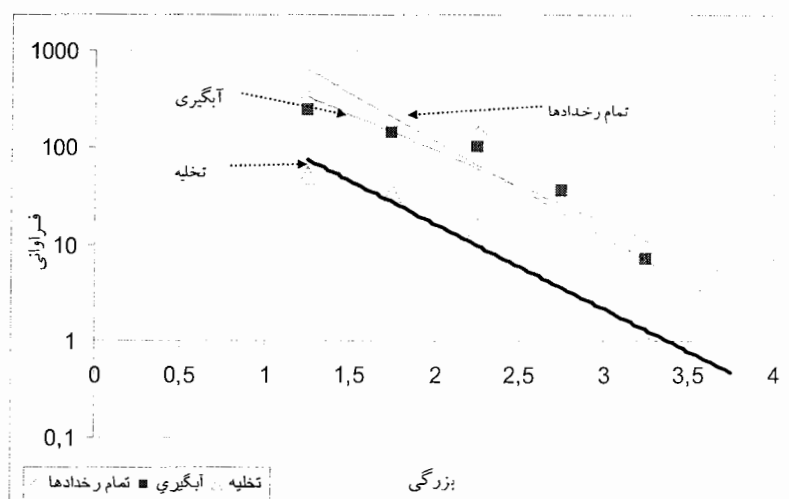
(فاصله ۶ کیلومتری)



(فاصله ۳ کیلومتری)

شکل ۵-۴۶- مقایسه تراز روزانه سطح آب با انرژی تجمعی آزاد شده لرزه‌ای در هر روز در از ساختگاه سد کارون ۳.

با مقایسه فراوانی وقوع لرزه‌های با بزرگی متفاوت در بازه‌های زمانی آبدگیری و تخلیه و فراوانی کلی زمین لرزه‌ها در کارون ۳ ملاحظه می‌گردد که فراوانی زمین لرزه‌های کوچک در زمان تخلیه بیشتر از زمان آبدگیری می‌باشد (شکل ۵-۴۷). ولی در هر دو حالت آبدگیری و تخلیه زمین لرزه‌های القائی مشاهده شده است. در مورد کارون ۳ نمی‌توان این موضوع را با قطعیت اعلام نمود چون داده‌های استفاده شده برای تراز آب فقط برای مدت زمان کوتاهی موجود بودند. به طوری که در این نمودار فقط یک دوره تخلیه آب اعمال شده است.



شکل ۵-۴۷- فراوانی وقوع زمین لرزه‌ها در حالت آبدگیری و تخلیه آب سد کارون ۳.

۵-۴- بحث و جمع بندی

بر اساس مطالعات صورت گرفته، در تمامی ۱۵ سد مورد مطالعه در این تحقیق مشخص گردید که بلافاصله با آبدگیری سد فراوانی وقوع زمین لرزه‌ها با آبدگیری افزایش یافته است. مقایسه متوسط عمق کانونی، بزرگی و مقادیر β در دوره های قبل و بعد از آبدگیری سد هم نشان داد که زمین لرزه‌های واقع شده در پیرامون این ۱۵ سد از ویژگی زمین لرزه‌های القائی پیروی نموده‌اند.

در سدهای کرخه و کارون ۳ تعداد زمین لرزه‌ها متناسب با بالا رفتن ارتفاع ستون آب دریاچه‌ها افزایش یافته که این امر عمدتاً ناشی از واکنش پوسته زمین در برابر فشار ناشی از وزن آب موجود و افزایش فشار آب منفذی و لغزنده شدن سطح گسل‌ها رویداده است. علاوه بر این زمانی که سطح آب

دریاچه سدها به ارقام خیلی پایین نزدیک می‌شد، تعداد زمین لرزه‌های ثبت شده برخلاف انتظار افزایش یافته است. دلیل این امر می‌تواند به واکنش الاستیک پوسته زمین، نسبت به باربرداری ناشی از کاهش وزن آب سد و نحوه عملکرد نیروهای زمین ساختی وارد بر پوسته ایران وابسته باشد. به عبارت دیگر، پوسته الاستیکی زمین، طی مدت بالا بودن سطح تراز آب مخزن، متحمل فشار وزن آب موجود در مخزن است و در اثر تحمل بار تا حدی به سمت پائین خمیده شده است. با کاهش ارتفاع آب، پوسته مجدداً به برگشت به حالت اولیه خود متمایل است و این حالت برگشت به وضعیت اولیه، سبب رها شدن انرژی جمع شده در حالت خمیدگی می‌گردد و رها شدن انرژی لرزش‌هایی محلی را در پی خواهد داشت. از سوی دیگر دلیل دیگر این وضعیت می‌تواند به نحوه عملکرد نیروهای زمین ساختی در پوسته ایران ارتباط یابد، که عمدتاً به طور افقی عمل می‌کنند و باعث فشرده شدن پوسته الاستیکی زمین می‌شوند. در این حالت که رژیم تکتونیکی منطقه فشاری است، کاهش فشار آب که به طور عمودی عمل می‌نماید، به نیروهای فشاری افقی امکان فعالیت بیشتری می‌دهد. در نتیجه در مواقع کم آبی مخزن سدها، شاهد بروز تعداد زیادی زمین لرزه محلی هستیم که دوام چندانی نداشته و با افزایش ارتفاع آب ارتباط مستقیم تغییرات سطح آب و کثرت زمین لرزه‌ها مجدداً برقرار می‌شود. لازم به یاد آوری است که به علت استعداد لرزه‌خیزی زاگرس، تأثیر نوسانات ارتفاع آب دریاچه‌ها حتی در رقوم پایین تر از موارد یاد شده، موجب تغییرات مشهودی در فعالیت لرزشی می‌گردد. ولی چنانچه بتوانیم ارتفاع تراز آب دریاچه را در کنترل داشته باشیم به احتمال زیاد لرزه‌خیزی منطقه نیز تحت کنترل خواهد بود چنان که در مورد سد کرخه در دوره نگهداشت آب در دریاچه سد تا زمانی که تغییرات پیک‌های ارتفاع آب به مدت ۲ سال زیاد نبود در فواصل نزدیک هیچ زمین لرزه‌ای هم ثبت نشده است.

در بررسی زمین لرزه‌های پیرامون سدهای کرخه و کارون ۳ در فواصل ۷/۵، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ کیلومتری از ساختگاه هر یک، این مناطق پاسخ‌های متفاوتی را در برابر زمین لرزه‌ها از خود بروز داده‌اند. در مورد سد کرخه با دور شدن از محور سد تعداد و میزان انرژی زمین لرزه‌ها کاهش یافته است. یعنی خرد لرزه‌ها بیشتر در ارتباط با دریاچه سد که گسترش زیادی دارد می‌باشند. در فصل اول اشاره شده که جنس سازندهای منطقه کرخه طوری است عمدتاً از کنگلومرای بختیاری با سیمان شدگی متوسط و رسوبات نرم واحد لهبری از سازند آغاچاری تشکیل یافته است، بنابراین نفوذپذیری منطقه وابسته به

وجود این سازندهاست. یعنی نفوذ آب در لایه های زیرین در محدوده همین سازندها صورت می‌گیرد. از سوی دیگر با در نظر گرفتن امتداد گسل دزفول و گستردگی زیاد دریاچه سد کرخه می‌توان این مسئله را توجیه نمود. در حالی که در منطقه کارون ۳ جنس منطقه به لحاظ زمین شناختی از واحدهای سنگی و آهکی است که از تراکم خوبی برخوردار می‌باشند، از همین رو نفوذپذیری در منطقه کارون ۳ وابسته به سیستم درز و شکاف موجود می‌باشد و آب با نفوذ در این درز و شکافها تا فواصل زیادی در داخل زمین در جهت شکستگی‌های موجود حرکت می‌نماید و باعث لغزنده شدن آنها می‌شود. بدین ترتیب انرژی جمع شده در این شکستگی‌ها به صورت لرزش آزاد شده و در منطقه گسترش می‌یابند. انتشار موج و رسیدن آن به گسل‌های موجود در فواصل بیشتر باعث فعال شدن آنها و رها شدن انرژی‌های انباشته شده در این گسل‌ها می‌گردد، که آزاد شدن انرژی بوجود آمدن لرزش‌های بعدی با انرژی بیشتر در فواصل دورتر را باعث می‌گردد. به همین جهت در مورد سد کارون ۳ با دور شدن از ساختگاه سد شاهد افزایش انرژی زمین لرزه‌ها در دوره بعد از آبیگری سد هستیم.

فصل ششم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بررسی داده‌های ایستگاه‌های لرزه‌نگاری سدهای بزرگ ایران نتایج جالبی به همراه داشت. در این فصل سعی شده است که نتایج بدست آمده از این مطالعات به صورت خلاصه و طبقه بندی شده ارائه گردد.

۶-۱- خلاصه نتایج

۱. بر اساس این تحقیق غالباً تعداد زمین لرزه‌های محلی بلافاصله یا با تأخیر زمانی ناچیزی بعد از آبگیری سد و متناسب با بالا رفتن ارتفاع ستون آب دریاچه‌ها افزایش یافته که این امر می‌تواند عمدتاً ناشی از وزن ستون آب و افزایش فشار آب منفذی و لغزنده شدن سطح گسل‌ها باشد.
۲. با پایین رفتن تراز آب دریاچه سدهای پر، لرزه خیزی القائی به وقوع می‌پیوندد. علت این پدیده کاهش فشار عمودی و افزایش فشارهای افقی می‌باشد.
۳. وقوع زمین لرزه‌ها با تأخیر زمانی کوتاه و تأخیر زمانی طولانی صورت گرفته است. بر اساس مطالعات انجام گرفته، لرزه‌نگاشت‌های سدهای کرخه و کارون ۳ نشان می‌دهند که این مدت زمان در مورد سد کرخه تأخیر زمانی نزدیک به ۵ ماه و در مورد کارون ۶ ماه می‌باشد در

مورد سایر سدها هم این تأخیر بسته به جنس زمین شناسی منطقه و نحوه آبرگیری و تخلیه آب مخزن سد وجود داشته است.

۴. در کل مقایسه متوسط عمق کانونی زمین لرزه‌ها در بازه‌های زمانی مشخص قبل و بعد از آبرگیری سد نشان دهنده کاهش متوسط عمق کانونی زمین لرزه‌ها بعد از آبرگیری در تمام سدهای انتخابی می‌باشد.

۵. مقایسه متوسط بزرگی زمین لرزه‌ها در بازه‌های زمانی مشخص قبل و بعد از آبرگیری سدهای انتخابی نشان دهنده کاهش متوسط بزرگی زمین لرزه‌ها بعد از آبرگیری سد می‌باشد.

۶. در سدهای مورد مطالعه بعد از آبرگیری سد ضریب β منطقه پیرامون سدها نسبت به ضریب β ناحیه‌ای زمین لرزه‌های طبیعی افزایش نشان داده است.

۷. کانون سطحی زمین لرزه‌های القائی عموماً در اطراف دریاچه سد می‌باشد و حداکثر تا شعاع ۳۰ کیلومتر در مورد کرخه و کارون ۳ مشاهده می‌شود.

۸. زمین لرزه‌های القائی در هر دو مرحله آبرگیری و تخلیه سد ایجاد شده‌اند، ولی به نظر می‌رسد که تعداد خرد لرزه‌ها در دوره آبرگیری بیشتر از دوره تخلیه آب مخزن سد است.

۹. به طور کلی، نتایج تحقیقات انجام شده حاکی از وقوع زمین لرزه‌های القائی در اطراف دریاچه سدها می‌باشد. موقعیت و چگونگی وقوع این زمین لرزه‌ها تابعی از پارامترهای مختلفی نظیر شرایط زمین شناسی پوسته زمین، لایه‌بندی سنگ‌ها، شرایط تخریب پوسته زمین و تنش‌های موجود در سنگ‌ها، جهت تنش میدانی محیط، وجود شکستگی در محیط، خواص هیدرومکانیکی سنگ‌های زیرین و همگام نمودن و تطابق با شرایط در سطح زمین، از جمله ارتفاع آب، طبیعت افت و خیز سطح مخزن، نفوذ آب در بستر سنگی و بالا رفتن فشار منفذی و ابعاد مخزن است. لذا درک کامل این پدیده نیازمند مطالعات بیشتر می‌باشد.

۱۰. با توجه به کانون سطحی زمین لرزه القائی به نظر می‌رسد گسل دزفول از شمال محدوده سد می‌گذرد و به سمت شرق ادامه یافته است. از همین جا لزوم انجام مطالعات لرزه شناسی و زمین شناسی محل دریاچه‌ها بیشتر محسوس می‌شود.

۶-۲- کاربرد حاصل از نتایج

با توجه به این مباحث، ساختن سد همیشه عامل بروز زمین لرزه نمی‌باشد بلکه در برخی موارد می‌توان با استفاده از همین لرزش‌ها و تخلیه تدریجی انرژی‌های انباشته شده در گسل‌های قفل شده از وقوع رخداد‌های بزرگ‌تر جلوگیری نمود. هم چنین با استفاده از مطالعاتی از این دست می‌توان گسل‌های پنهان و گسل‌های فرعی و کوچک‌تر را شناسایی نمود.

۶-۳- پیشنهادات

۱. شناخت کامل پدیده زلزله‌های القائی نیازمند مطالعات بیشتر و مستمر می‌باشد. در این راستا گردآوری اطلاعات تراز آب و ثبت دقیق زمین لرزه‌های کوچک و بزرگ اطراف ساختگاه سد ضروری می‌باشد و لازم است در شبکه رفتار نگاری سدهای بزرگ به لرزه نگارها توجه بیشتری اختصاص یابد.
۲. محل‌های اطراف سدهای بزرگ کانون تولید زمین لرزه می‌باشند. لذا از این اطلاعات در تحقیقات زیر بنایی می‌توان سود جست.
۳. انجام بررسی‌های دقیق در خصوص میدان تنش مسبب گسلش و زمین لرزه‌های القائی و ارزیابی ارتباط آنها با زمین لرزه‌های طبیعی زمین ساختی در ناحیه در این رابطه می‌تواند مفید واقع شود. این کار با استقرار شبکه متراکم و بسته لرزه‌نگاری در پیرامون سدها امکان پذیر می‌باشد.
۴. با توجه به وضعیت ساخت و ساز در مناطق روستایی ایران اقدامات مؤثر در تخلیه مناطق مسکونی پیرامون دریاچه سدها خالی از فایده نخواهد بود.

منابع

منابع فارسی

۱. نجمائی محمد، ۱۳۸۲، سد و محیط زیست (نشریه شماره ۵۵)، وزارت نیرو- کمیته ملی سدهای بزرگ ایران.
۲. پیمان مسعود، نوروزی علی اصغر، مکانیسم زلزله هائی که در اثر آبدگیری دریاچه سدها بوقوع می پیوندند، گزارش منتشر نشده سازمان انرژی اتمی ایران.
۳. پیمان مسعود، ۱۳۵۴، اثرات دریاچه سدها در زلزله خیزی محیط، دومین کنفرانس علمی و پژوهشی ژئوفیزیک دانشگاه فردوسی مشهد.
۴. شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، بهمن ۱۳۷۲، گزارش لرزه خیزی و برآورد خطر زمین لرزه در ساختگاه سد کرخه.
۵. معماریان حسین، (۱۳۸۱)، زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
۶. آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳: زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
۷. درویش زاده، ع.، ۱۳۸۲، زمین شناسی ایران، انتشارات امیر کبیر.
۸. برگی خسرو، ۱۳۸۲، اصول مهندسی زلزله، انتشارات دانشگاه تهران.
۹. شرکت صدر سازه کوشا، ۱۳۸۰، خلاصه گزارشات مطالعات مرحله اول طرح کرخه (مستند سازی طرح کرخه)، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران.
۱۰. شرکت مهندسیین مشاور مهتاب قدس، ۱۳۷۰، گزارش طرح مطالعات سد مخزنی کرخه، مرحله اول زمین شناسی، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران.
۱۱. شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، ۱۳۷۰، طرح مطالعات سد مخزنی کرخه مرحله اول- پیوست شماره ۴-۹، گزارش زمین شناسی مهندسی.
۱۲. شرکت مهندسیین مشاور مهتاب قدس، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰ سد و محدوده مخزن سد کرخه. شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران.

۱۳. مشارکت مهندسی مشاور مهتاب قدس-ایکرز، ۱۳۸۴، گزارش پایانی واحد ژئوتکنیک سد و نیروگاه کارون ۳، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران.
۱۴. شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، گزارش زمین شناسی سد و نیروگاه کارون ۳.
۱۵. شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰ سد و نیروگاه کارون ۳.
۱۶. کلهانگ اوتا، ۱۳۷۲، پیکر شناسی لرزه نگاشتها، ترجمه منوچهر بهادر، بهروز توکلی، شهاب توکلی و فرشاد قشلاقی، چاپ اول- انتشارات موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
۱۷. وفائیان محمود، ۱۳۷۶، خواص مهندسی سنگها تئوریهها و کاربری های اجرایی، نشر ارکان اصفهان.
۱۸. معماریان حسین، (۱۳۸۳)، زمین شناسی برای مهندسی، انتشارات دانشگاه تهران.
۱۹. علیرمائی نرگس، ۱۳۸۳، مقابله با امواج مخرب دریا، نشریه تخصصی قدس نیرو، شماره ۱۲، صفحه ۲۰ تا ۳۰.
۲۰. غضبان فریدون، ۱۳۸۱، زمین شناسی زیست محیطی، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
۲۱. پیتر دوپل میتوآر. بنت، ۱۳۸۰، زمین شناسی زیست محیطی (زمین شناسی و محیط زیست انسان)، ترجمه هرمزی احمد، مرکز نشر دانشگاهی.
۲۲. توکلی شهاب، ۱۳۷۳، زلزله شناسی (زمین شناسی)، انتشارات دانشگاه پیام نور.
۲۳. پور کرمانی م.، آرین م.، ۱۳۷۷، لرزه خیزی ایران، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، صفحه ۲۱۲.
۲۴. نصیری، ش. (۱۳۸۵): زندگی با زمینلرزه ها در زاگرس - پی جویی مقدماتی صحرائی در زمینلرزه ۱۱ فروردین ۱۳۸۵ چلان چولان دشت سیلاخور، پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور.
۲۵. شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، نقشه زمین ساخت ۱:۵۰۰۰۰۰ سد کرخه، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران.
۲۶. شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، نقشه زمین ساخت ۱:۵۰۰۰۰۰ سد و نیروگاه کارون ۳.
۲۷. شرکت لرزه نگاری پارسیان، ۲۰۰۵-۲۰۰۰، گزارشات لرزه نگاری سد کرخه.
۲۸. شرکت لرزه نگاری پارسیان، ۲۰۰۴-۲۰۰۵، گزارشات لرزه نگاری سد کارون ۳.
۲۹. پاکزاد مهدی، ۱۳۸۱، بهره برداری از سد کرخه طی سه سال آبیگری، فصلنامه آموزشی خبری مهتاب قدس شماره ۲۱، صفحه ۴۹ تا ۵۵.
۳۰. پاکزاد مهدی، ۱۳۷۹، سد کرخه- ارزیابی وضعیت رودخانه و رفتار سد یکسال پس از آبیگری، فصلنامه آموزشی خبری مهتاب قدس، دوره جدید شماره ۱۳، صفحه ۴-۹.
۳۱. شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، طرح سد و نیروگاه کارون ۳- دستگاه نظارت مقیم طرح کارون ۳- گزارشات آبیگری سد کارون ۳، شماره ۱ تا ۲۲.

منابع لاتین

32. Carder, D.S., 1945, Seismic investigations in the Boulder Dam area, 1940–1944, and the influence of reservoir loading on earthquake activity. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 35, 175–192.
33. Gupta, H.K., Rastogi, B.K., 1976. *Dams and Earthquakes*, Elsevier, Amsterdam, 229 pp.
34. Gupta, H.K., 2002, a review of recent studies of triggered earthquakes by artificial water reservoirs with special emphasis on earthquakes in Koyna, India, *Earth-Science Reviews* 58, 279–310.
35. Baecher, B.G., Keeney, R.L., 1982. Statistical examination of reservoir induced seismicity. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 72, 553–569.
36. Guha S.K., Patil D.N., 1992, Large water-reservoir-related induced seismicity, 237-242.
37. United States Committee on Large Dams (USCOLD), 1997. Report 20 pp.
38. Gupta, H.K., 2005. *Nature of Earthquakes*, New Delhi- India, 58 pp.
39. Gupta, H.K., 1992. *Reservoir-Induced Earthquakes*, Elsevier, Amsterdam, 364 pp.
40. Raleigh, C.B., Healy, J.H., and Bredehoeft, J.D., (1976), An Experiment in Earthquake Control at Rangely, Colorado, *Science* 191, 1230-1237
41. Evans, D.M. (1969), Fluid Pressure and Earthquakes, *Eos, Transaction, Amer. Geophys. Union*, 50, 5, p. 387-388.
42. Fortuna J., An overview of induced seismicity with special emphasis on fluid injection
43. Maleki, E. & Behnam, M. 2005. Seismic aspects of cascading dams constructed on Karun River. *73rd Annual Meeting of ICOLD. Tehran, Iran. 157-171.*
44. Mahab Godss-Acres General partnership, 1991, Karun III Development project- Miscellaneous study 04-400- Karun III structures & Equipment, Islamic Republic of Iran- Ministry of energy- Iran water & power resources development. Co.
45. Segall P., 1992, Induced Stresses due to Fluid extraction from Axisymmetric Reservoirs, *PAGEOPH*, Vol. 139, No. ¾, 535-560.
46. Plotnikova L. M., Flyonova M.G., Machmudova, Induced seismicity in the Gazly gas field region. 309-320.
47. Simpson, D.W., 1976. Seismicity changes associated with reservoir loading. *Eng. Geol.* 10, 123–150.

48. Gupta H.K., Rajendrn K., 1986, Large Artificial water reservoirs in the vicinity of the Himalayan Foothill and reservoir-induced seismicity, *BSSA, Vol. 76, No. 1, pp.205-215.*
49. Kumar B., Agrawal R.C., Narang S.S., RIS and reservoirs in the Northwestern and Central Himalayan foothills, 208-296.
50. Rothe, J.P., 1970. The seismic artificials (man-made earthquakes). *Tectonophysics 9, 215–238.*
51. Allen, C.R., 1982. Reservoir-induced earthquakes and engineering policy. *Calif. Geol., 248–250 Nov.*
52. Rajendran, K., Talwani, P., 1992. The role of elastic, undrained and drained responses in triggering earthquakes at Monticello Reservoir, South Carolina. *Bull. Seismol. Soc. Am. 82, 1867–1888.*
53. Roeloffs, E.A., 1988. Fault stability changes induced beneath a reservoir with cyclic variations in water level. *J. Geophys. Res. 93 (B3), 2107–2124.*
54. Bell F.G., 1998, Environmental Geology principles and practice, Black well science Ltd, 594 pp
55. Chen L., Talwani P., 1998, Reservoir- induced seismicity in China, *PAGEOPH, 153 (1998) 133-149.*
56. Crampin S., Gao Y., Peacock S., 2005, Possible seismic hazard at the Three Gorges dam.
57. D' Cruz E.E., Dehai Kulkarni V.M., Varying degree of reservoir-induced seismicity az a seismoscope in the preliminary study of stress distribution in Peninsular India, 231-236.
58. Gough, D.I., Gough, W.I., 1970a. Stress and deflection in the lithosphere near Lake Kariba, 1. *Geophys. J. 21, 65–78.*
59. Grasso J.R., Guyoton F., Frechet J., Gamond J.F., Triggered earthquakes as Stress
60. Gupta H.K., Artificial water reservoirs and earthquakes: A world-wide status, 243-266.
61. Gupta, H.K., Rastogi, B.K., Narain, H., 1972a. Common features of the reservoir associated seismic activities. *Bull. Seismol. Soc. Am. 62, 481–492.*
62. Knoll, P., Kowalle, G., 1996. Induced seismic events. *Pure Appl. Geophys. 147 (2), 205–431, Special Issue.*
63. Nicholson, C., Roeloffs, E., Wesson, R.L., 1988. The Northeastern Ohio earthquake of 31 January 1986: was it induced? *Bull. Seismol. Soc. Am. 78 (1), 188–217.*

64. Patil D.N. Induced seismicity and related geodynamic Processes, 297-308.
65. Rastogi, B.K., Chadha, R.K., Raju, I.P., 1986a. Seismicity near Bhatsa Reservoir, Maharashtra, India. *Phys. Earth Planet. Inter.* 44, 179–199.
66. Rastogi, B.K., Chadha, R.K., Sarma, C.S.P., Mandal, P., Satyanar-ayana, H.V.S., Raju, I.P., Narendra Kumar, Satyamurthy, C., Nageswara Rao, A., 1997b. Seismicity at Warna reservoir (near Koyna) through 1995. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 87 (6), 1484–1494.
67. Simpson, D.W., 1986. Triggered earthquakes. *Annu. Rev. Earth Planet Sci.* 14, 21–42.
68. Talwani, P., 1997b. On the nature of reservoir-induced seismicity. *Pure Appl. Geophys.* 150, 473–492.
69. Talwani, P., Rastogi, B.K., Stevenson, D., 1980. Induced seismicity and earthquake prediction studies in South Carolina. *10th Tech. Rep., U.S. Geol. Surv. Contract 14-08-0001-17670.*
70. Yuanzhang D., The reservoir-induced earthquakes in china, 361-372.
71. Kalpna, Chander, R., 1997. On some microearthquakes near Tarbela reservoir during three low water stands. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 87 (1), 265–271.
72. Mekkawi M., Grasso J.R., Schnegg P.A., 2004, A long-lasting relaxation of seismicity at Aswan Reservoir, Egypt, 1982-2001, BSSA, Vol. 94, No. 2, pp. 479-492.
73. Simpson, D.W., Leith, W.S., Scholz, C.H., 1988. Two types of reservoir-induced seismicity. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 78 (6), 2025–2040.
74. Gupta, H.K., 1983. Induced seismicity hazard mitigation through water level manipulation at Koyna, India: a suggestion. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 73, 679–682.
75. Bell, M.L., Nur, A., 1978. Strength changes due to reservoir induced pore pressure and stresses and application to Lake Oroville. *J. Geophys. Res.* 83, 4469–4483.
76. Gupta, H.K., Rastogi, B.K., Chadha, R.K., Mandal, P., Sarma, C.S.P., 1997. Enhanced reservoir-induced earthquakes in Koyna region, India, during 1993–95. *J. Seismol.* 1 (1), 47–53.
77. Gupta, H.K., Rastogi, B.K., Mohan, I., 1982. Studies on reservoir induced seismicity and earthquakes in peninsular India. *Geophys. Res. Bull.* 20, 127–139.
78. Nur, A., Booker, J.R., 1972. Aftershocks caused by pore fluid flow? *Science* 175, 885–887.

79. Rajendran K., Harish C.M., 2000, Mechanism of triggered seismicity at Koyna: An evaluation based on related earthquakes, CURRENT SCIENCE, Vol 79, No.3.
80. Rajendran, K., Harish, C.M., 2000. Mechanism of triggered seismicity at Koyna: an assessment based on relocated earthquake during 1983–1993.
81. Rastogi, B.K., Mandal, P., 1999. Foreshocks and nucleation of small- to moderate-sized Koyna earthquakes (India). *Bull. Seismol. Soc. Am.* 89 (3), 829–836.
82. Bell F.G., 1987, Ground engineer's preference book, hartnoll Ltd, 1540 pp
83. Chen, Q., Nur, A., 1992. Pore fluid pressure effects in anisotropic rocks: mechanisms of induced seismicity and weak faults. *Pure Appl. Geophys.* 139, 463–480.
84. Ramsay J. G., Lisle R. J., 2000, the techniques of Modern Structural Geology, Vol.1 & 3, ACADEMIC PRESS, San Diego, California, 1061.
85. Ragan D. M., 1984, *Structural geology An Introduction to Geometrical Techniques*, 3rd Edition, Wiley & Sons, Inc, United States of America, 393 pp.
86. Allen M., Jackson J., Walker R., 2004, Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates, *TECTONICS, VOL. 23, TC2008*.
87. Berberian Manuel, 1995, Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics, *Tectonophysics* 241, 193-224.
88. Berberian, M., 1983, *Active faulting and tectonics of iran, in : Continental deformation in Iranianplateau (Contribution to the seismotectonics of Iran,part IV)*, Geol.Sur. of Iran, Rep. No.52, p. 464-500.
89. Talebian M., Jakson J., 2004, A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran, *Geophys.J.Int.* 156,506–526.
90. Bonini M., Corti G., Sokoutis D., Vannucci G., Gasperini P., 2003, Sierd Cloetingh, Insights from scaled analogue modelling into the seismotectonics of the Iranian region, *Tectonophysics* 376 (2003) 137–149.
91. Hatzfeld D., Tatar M., Priestley K. and Ghafory-Ashtiany M., 2003, Seismological constraints on the crustal structure beneath the Zagros Mountain belt (Iran), *Geophys.J.Int.* 155, 403–410.
92. Hessami K., 2002, *Tectonic history and present-day deformation in the Zagros Fold-Thrust Belt*, Comprehensive summaries of Uppsala Dissertations form the Faculty of Science and Technology, UPPSALA.

93. McQuarrie N., Stock J. M., Verdel C., and Wernicke B. P., 2003, Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions, *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 30, No. 20, 2036.
94. Mahab Godss-Acres General partnership, 1991, Karun III Development project-Miscellaneous study 04-200-Seismotectonics, Islamic Republic of Iran- Ministry of energy-Iran water & power resources development. Co.
95. Mahab Godss-Acres General partnership, 1991, Karun III Development project-Miscellaneous study 04-300-Seismic hazard analysis, Islamic Republic of Iran- Ministry of energy- Iran water & power resources development. Co.
96. Berberian, M., 1974, Macro seismic data of the earthquakes in Iran during 1971, 1972, 1973, and 1974. *Geol.Sur. of Iran, Int. Rep.*
97. Berberian, M., 1994, *Natural hazards and the first earthquake catalogue of Iran, V.1: Historical hazards in Iran prior to 1900*, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, 603.
98. Mahab Ghodss-Acres General Partnership, *Karun III Impounding Report, Section7- Reservoir induced seismicity*, October 2004.
99. Knoll P. The dynamic excess pore pressure concept- A new possible fracture mechanism for fluid-induced seismic events, 267-274.
100. Simpson, D.W., Narasimhan, T.N., 1990. Inhomogeneities in rock properties and their influence on reservoir induced seismicity. *Gerlands Beitr. Geophys.* 99, 205–219.
101. Talwani, P., Acree, S., 1984/1985. Pore pressure diffusion and the mechanism of reservoir-induced seismicity. *Pure Appl. Geophys.* 122, 947–965.

سایت های اینترنتی

- | | | |
|---|--|-----|
| http://www.moe.org.ir/ | سایت اینترنتی وزارت نیرو | ۱۰۲ |
| http://www.soil-water.com | سایت تخصصی مهندسی آب و خاک (سعید خرقانی- ناصر فخاری) | ۱۰۳ |
| http://www.iran-dams.com | سایت اینترنتی مدیریت منابع آب کشور | ۱۰۴ |
| http://www.iwpc.com/ | سایت اینترنتی شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران | ۱۰۵ |
| http://www.tw.org.ir | سایت اینترنتی آب منطقه ای استان خوزستان | ۱۰۶ |
| http://www.igs.ir/home-en.htm | سایت اینترنتی انجمن ژئوتکنیک ایران | ۱۰۷ |
| http://www.iiecs.ac.ir | سایت اینترنتی پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله ایران | ۱۰۸ |

<http://www.ngdir.com/>

110. Seismology research centre www.seis.com.au
111. Harvard Univ. CMT Catalog Retrieval
http://wwwcic.cri.utokyo.ac.jp/EIC/webSEIS/cmt_sclct.html
112. International Seismological Center (ISC), 2003. On-Line seismic catalog.
<http://www.isc.ac.uk/>

پیوست‌ها

پیوست (الف)

موارد گزارش شده تغییرات تحریک شده در لرزه خیزی با بزرگی های $4 \leq$ (گوپتا، ۲۰۰۲).

نام سد/ مخزن	کشور	ارتفاع (م)	حجم مخزن $10^6 m^3$	سال انگیزی	سال بزرگترین لرزه	بزرگی شدید	مرجع
ساختمانهایی که بزرگی زمین لرزه های تحریک شده در آنها ≥ 6 بوده است:							
همین فنگ کبانگ	چین (PRC)	۱۰۵	۱۳۸۹۶	۱۹۵۹	۱۹۶۲	۶/۱	۱.۲.۳
کارینا	زامبیا- زیمبابوه	۱۲۸	۱۷۵۰۰۰	۱۹۵۸	۱۹۶۳	۶/۲	۱.۲.۶
کونیا	هند	۱۰۳	۲۷۸۰	۱۹۶۲	۱۹۶۷	۶/۳	۱.۲.۴.۵
ساختمانهایی که بزرگی زمین لرزه های تحریک شده در آنها بین ۵/۰ تا ۵/۹ بوده است:							
اسوان	مصر	۱۱۱	۱۶۴۰۰۰	۱۹۶۴	۱۹۸۱	۵/۶	۲.۷
بتمبور	نیوزلند	۱۱۰	۲۰۴۰	۱۹۶۴	۱۹۶۶	۵/۰	۱.۲.۸
چرواک	ازبکستان	۱۴۸	۲۰۰۰	۱۹۷۱	۱۹۷۷	۵/۳	۵۵
Eucumbene	استرالیا	۱۱۶	۴۷۶۱	۱۹۵۷	۱۹۵۹	۵/۰	۲
Geheyan	چین	۱۵۱	۳۴۰۰	۱۹۹۳	۱۹۹۷	۷/۱	۴۸۵
هورر	ایالات متحده آمریکا	۲۲۱	۳۶۷۰۳	۱۹۳۵	۱۹۳۹	۵/۰	۲.۱۰
ماراتن	یونان	۶۷	۴۱	۱۹۲۹	۱۹۳۸	۵/۷	۱.۲.۴.۵
اورویل	ایالات متحده آمریکا	۲۳۶	۴۴۰۰	۱۹۶۷	۱۹۷۵	۵/۷	۲.۱۱
سزیناگریند	تایلند	۱۴۰	۱۱۷۵۰	۱۹۷۷	۱۹۸۳	۵/۹	۶۵
وارنا	هند	۸۰	۱۲۶۰	۱۹۸۷	۱۹۹۳	۵/۰	۵۱
ساختمانهایی که بزرگی زمین لرزه های تحریک شده در آنها بین ۴/۰ تا ۴/۹ بوده است:							
آکسومبو	چین	۱۳۴	۱۴۸۰۰۰	۱۹۶۴	۱۹۶۴	۷	۲.۹
باجیان باسنا	یوگسلاوی	۹۰	۳۴۰	۱۹۶۶	۱۹۶۷	۵/۰-۴/۵	۲.۵
بهاتسا	هند	۸۸	۹۴۷	۱۹۸۱	۱۹۸۳	۴/۹	۳۹
برانسک	روسیه	۱۰۰	۱۶۹		۱۹۶۶	۴/۲	۴۸b
کاماریلان	اسپانیا	۴۹	۲۷	۱۹۶۰	۱۹۶۴	۴/۱	۲.۴.۵
کانلس	اسپانیا	۱۵۰	۶۷۸	۱۹۶۰	۱۹۶۲	۴/۷	۲.۴.۵
کاپوری- کاپوریا	برزیل	۵۸	۱۸۰	۱۹۷۰	۱۹۷۱	۷/۱	۳۱
کلارک هیل	ایالات متحده آمریکا	۶۰	۳۵۱۷	۱۹۵۲	۱۹۷۴	۴/۳	۲.۱۲
داهوا	چین (PRC)	۷۴/۵	۴۲۰	۱۹۸۲	۱۹۹۳	۴/۵	۵۶
دانجیانگ کو	چین (PRC)	۹۷	۱۶۰۰۰	۱۹۶۷	۱۹۷۳	۴/۷	۲۹
فوریلینگ	چین (PRC)	۷۴	۴۷۰	۱۹۵۴	۱۹۷۳	۴/۵	۲۹
گراندوال	فرانسه	۸۸	۲۹۲	۱۹۵۹	۱۹۶۳	۷	۱.۲.۴.۵
هوانینگ	ویتنام	۱۲۵		۱۹۸۸	۱۹۸۹	۴/۹	۴۸c
کاستراکی	یونان	۹۶	۱۰۰۰	۱۹۶۸	۱۹۶۹	۴/۶	۲
کر	ایالات متحده آمریکا	۶۰	۱۵۰۵	۱۹۵۸	۱۹۷۱	۴/۹	۱.۲.۹

۵۷	۴/۲	۱۹۸۶	۱۹۸۵	۱۶۰۰	۱۳۰	آلبانی	کمانی
۳.۱۳	۴/۹	۱۹۶۱	۱۹۶۰	۱۴۹	۱۸۶	ژاپن	کره
۴۹۵	۴-۴/۸					روسیه	دریاچه بایکال
۴۱	۴/۶	۱۹۷۸	۱۹۷۶	۹۰۰۰	۱۰۶	نیوزلند	دریاچه بوکاکلی
۲	۴/۱	۱۹۷۵	۱۹۷۵	۱۰/۴۲۳	۱۰۸	کانادا	مانیکواگن ۳
۳۲	۱۷	۱۹۷۵	۱۹۷۵	۶۱۵۰	۹۴	برزیل	مازیمشوندو
۱.۲.۴.۵	۴/۹	۱۹۶۳	۱۹۶۲	۲۷۵	۱۵۵	فرانسه	مونتی نارد
۱.۲.۱۴	۴/۶	۱۹۷۲	۱۹۷۲	۱۰۰۰	۳۱۷	تاجیکستان	نورک
۳۳	۴/۲	۱۹۷۴	۱۹۷۳-۱۹۷۴	۱۵/۲۳۰۰	۴۰/۵۶	برزیل	پی کلمبیا، وی گراند
۲.۴.۵	۴/۴	۱۹۶۶	۱۹۶۵	۱۳	۹۳	ایتالیا	بیاسترا
۳.۱۵	۷	۱۹۵۰	۱۹۴۹	۶۹	۱۱۶	ایتالیا	پیوه دکاوهه
۲۹	۴/۸	۱۹۷۴	۱۹۷۲	۵۴۰	۵۰	چین (PRC)	شنو
۲.۴.۵	۴/۴	۱۹۷۱	۱۹۶۸	۶۰۵	۱۳۰	فرانسه	وگلاتس
ساختگاههایی که بزرگی زمین لرزه های تحریک شده در آنها کمتر از ۴/۰ بوده است							
۵۹	۲/۸	۱۹۹۴	۱۹۸۳	۲۴۰۰	۳۱	برزیل	آکو
۲	۳/۵	۱۹۷۳	۱۹۶۸	۱۶۲۸	۱۱۲	استرالیا	ملبورینگ
۳۱	۳/۷	۱۹۷۶	۱۹۷۶	۱۰/۵۰۰	۵۹	برزیل	کاپیوارا
۳۲	۳/۷	۱۹۷۲	۱۹۵۴	۱۹۲	۲۲	برزیل	کارمو دو کاجورو
۲.۴.۵	۳/۰	۱۹۶۵	۱۹۶۳	۸۶	۲۲۰	سوئد زلند	کانترا
۵۰	۳/۸	۱۹۹۴	۱۹۸۳	۲۸۵	۵۹	هند	دهامنی
۴۸d	۳/۲	۱۹۹۰	۱۹۸۶	۸۱	۱۵۷	چین (PRC)	دونجیانگ
۳۶	≈ ۲/۰	۱۹۸۴	۱۹۸۱	۱۷/۶۰۰	۱۵۸	برزیل	اموراکاگو
۲.۴۲	۳/۰	۱۹۷۳	۱۹۷۳	۲۲۵	۱۸۰	سوئد زلند	اموسون
۶۰	۲/۶	۱۹۸۱	۱۹۷۸	۲۸۰۰	۱۶۷	آلبانی	فیروزا
۱۶	۳/۵	۱۹۸۲	۱۹۲۰	۱۱۷	۳۶	هند	گاندی بت
۲.۴.۵	۳/۰	۱۹۶۷	۱۹۶۷	۱۲۸۰	۱۲۳	یوگسلاوی	گران ساروو
۱.۲.۱۷	۲/۰	۱۹۷۱	۱۹۷۰	۵۰۰۰	۶۶	آفریقای جنوبی	هندریک ورورد
۲۹	۲/۳	۱۹۷۴	۱۹۷۰	۶۱۰	۴۰	چین (PRC)	هوانگ شی
۶۱	۲/۸	۱۹۷۹	۱۹۷۹	۲۰۶۰	۱۲۹	چین (PRC)	هوانگ زن
۲.۱۸	۳/۵	۱۹۷۷	۱۹۷۵	۱۹۹۶	۱۶۹	هند	ایدوکی
۲	۳/۸	۱۹۷۸	۱۹۷۶	۵۰۰۰	۶۵	زامبیا	ایتیه زینه زی
۱.۲.۲۰	۳/۰	۱۹۷۰	۱۹۷۰	۴۵	۴۷	ژاپن	کاما فوسا
۵۲	۲/۱	۱۹۹۶	۱۹۹۵	۱۹۵۰	۱۸۵	لسوتو	کاتین
۲.۹	۳/۵	۱۹۷۳	۱۹۷۳	۳۱/۰۰۰	۲۱۲	ترکیه	کیان
۴۹b	۳/۰	۱۹۹۴-۱۹۹۵				Cyprus	کوریس
۳۰	خرده لرزه	۱۹۸۳	۱۹۸۱	۵۰۰	≈ ۱۰۰	USSR	کوریسای
۴۴	خرده لرزه	۱۹۷۸	۱۹۷۴	۱۳/۵۰۰	۱۴۰	استرالیا	دریاچه گردون - دریاچه پدر
۴۰	۳/۷	۱۹۸۳	۱۹۸۱		۸۰	کانادا	LGT
۶۲b	۳/۴	۱۹۸۸	۱۹۸۸	۱۱۰	۱۰۳	چین (PRC)	لوبوگ
۳۸	فوج لرزه ای	۱۹۷۸	۱۹۶۱	۷۵	۱۰۵	ژاپن	ماکیو
۱۲.۱۹.۲۱	۲/۸	۱۹۷۹	۱۹۷۷	۵۰۰	۱۲۹	ایالات متحده آمریکا	مونتی سلو
۱۸c.۲	۱/۰	۱۹۷۲	۱۹۷۲	۱۰۱۷	۵۶	هند	مولا

۲۸	فوج لوزه ای	۱۹۶۹	۱۹۶۹	۱۲۳	۱۵۵	زاین	ناگاپالو
۲۹	۲/۸	۱۹۷۴	۱۹۶۹	۱۵	۴۵	چین (PRC)	نانچونگ
۶۳	۲/۳	۱۹۷۰	۱۹۶۹	۱۲۲۰	۸۱	چین (PRC)	نانشی بو
۴۹c	۳/۷	۱۹۹۵		۱۲۸		برزیل	نوویونتا
۲.۴	۳/۰	۱۹۳۳	۱۹۳۲	۲۲۵	۱۰۱	الجزایر	اودو، فودا
۳۴	۳/۰	۱۹۷۷	۱۹۷۵-۱۹۷۶	۴۷۰۰	۹۴/۱۰۵	برزیل	بارای، بونا-پارایبیتنگا
۲۹Ridr	۳/۰	۱۹۷۱	۱۹۷۰	۲۰	۵۰	چین (PRC)	اویان حیوان
۵۳	۳/۵	۱۹۸۸	۱۹۸۱	۳۳	۱۰۳	ایتالیا	زیدراکوی
۴۹d	۲/۵	۱۹۹۵				سوئد زرنند	سالانقا
۲	۲/۰	۱۹۷۱	۱۹۷۰	۱۲۸	۱۱۷	استرالیا	سچلگین
۲.۹	۳/۰	۱۹۴۴	۱۹۴۴	۵۶۱۵	۱۸۳	ایالات متحده آمریکا	سانستا
۵۸	۳/۶	۱۹۸۴	۱۹۸۰	۴	۳۵	چین (PRC)	شنگ حیاسیا
۵۸	۳/۲	۱۹۹۴	۱۹۹۳	۲۳۵۰	۱۰۱	چین (PRC)	شونی کویو
۳۵	≈ ۲/۰	۱۹۷۹	۱۹۷۷	۳۴/۱۰۰	۴۳	برزیل	سودوادیهو
۳۷	۲/۲	۱۹۸۴	۱۹۸۳	۳۲/۰۰۰	۴۳	هند	سریرامساگار
۲.۱۴.۲۲	۳/۵	۱۹۷۳	۱۹۷۱	۹۳۵	۱۶۲	اسرالی	تالینگو
۵۴	۳/۰	۱۹۹۰	۱۹۸۳			استرالیا	تامسون
۲.۲۳	۲/۵		۱۹۷۷	۱۹/۵۰۰	۲۱۵	کیرغیزیا	توکونگول
۶۴	۲/۹	۱۹۹۲	۱۹۹۲	۳۰	۷۴	چین (PRC)	توینگ چیزی
۳۶	۳/۴	۱۹۸۵	۱۹۸۴	۴۵/۸۰۰	۱۰۰	برزیل	توسوروی
۱.۲.۴.۱۵		۱۹۶۰	۱۹۶۰	۱۵۰	۲۶۲	ایتالیا	واچونت
۲۹	۳/۲	۱۹۷۲	۱۹۷۲	۷۱۷۰	۶۲	چین (PRC)	زه لین
۵۸	۲/۸	۱۹۸۵	۱۹۷۹	۲۱۴۰	۱۶۵	چین (PRC)	وو جیانگ دو
۵۶	۳/۵	۱۹۹۴	۱۹۹۲	۲۴۳۰	۱۱۰	چین (PRC)	یان تان
کاهش در فعالیتهای مزه لوزه ای							
۲۴			۱۹۵۰	۱۱۰	۷۲	ایالات متحده آمریکا	اندرسون
۲.۲۵			۱۹۵۸	۹۸۶۸	۲۳۶	هند	بهاکراننگال
۲.۲۶			۱۹۶۲	۴۶۷۴	۱۵۳	ایالات متحده آمریکا	فلامینگ جورج
۲.۲۶			۱۹۶۳	۳۳۳۰۵	۲۱۶	ایالات متحده آمریکا	دره گلن
۳۸			۱۹۵۷	۱۵۱	۱۰۴	زاین	ایکوا
۲.۲۷			۱۹۶۷	۷۲۵۰	۱۱۶	پاکستان	مانکلا
۶۶.۲.۲۸			۱۹۷۴	۱۳/۹۶۰	۱۴۳	پاکستان	تازبلا
۴۵			۱۹۷۳	۷۰۸	۱۲۸	تایوان	مخزن تسنگ ون
موارد احتمالی دیگر							
۲					۴۹	ایالات متحده آمریکا	کابین کریک
۹					۴۰	ایالات متحده آمریکا	دره کلارک
۲					۵۰	ایالات متحده آمریکا	دره کابوت

۴۳	۵/۰	۱۹۸۶				ایالات متحده آمریکا شمال اوهايو	ديس بوزال وول
۲۰۹					۱۳۰	اسپانيا	ال گرادو
۲۰۹					۱۶	هند	جيزی
۲۰۹					۶۱	هند	کين نرسائی
۲۰۹					۸۲	ایالات متحده آمریکا	پاليسادس
۲۰۹					۷۳	هند	پارامبيک کولام
۹						ایالات متحده آمریکا	راکی ریچ
۹					۱۱۶	ایالات متحده آمریکا	سین لیوس
۲					۱۰۶	ایران	سفید رود
۴۶.۴						کانادا	میدان نفتی اسلیبی هالو
۲۰۹					۶۹	هند	اوکای
۲۰۹					۱۳۷	استرالیا	واراگامینا

مراجعه: ۱= Gupta و Rastogi (۱۹۷۶)؛ ۲= پاکر و همکاران (۱۹۷۹)، ۳= شن و همکاران (۱۹۷۴)؛ ۴= روته و همکاران (۱۹۷۰، ۱۹۷۳)، ۵= بزویسک (۱۹۷۴)؛ ۶= گوگ و گوگ (۱۹۷۰)؛ ۷= توپوزدا (۱۹۸۲)؛ ۸= آدامز (۱۹۷۴)؛ ۹= سیمپسون (۱۹۷۶)؛ ۱۰= کاردر (۱۹۴۵)؛ ۱۱= بوف و همکاران (۱۹۷۶)؛ ۱۲= تالوانی (۱۹۷۶)؛ ۱۳= هاگی وارا و اوتاکه (۱۹۷۲)؛ ۱۴= سوبولوا و ممدعلیو (۱۹۷۶)؛ ۱۵= کالوی (۱۹۷۰)؛ ۱۶= گوپتا و همکاران (۱۹۸۲)؛ ۱۷= گرین (۱۹۷۳)؛ ۱۸= گوها (۱۹۸۲)؛ ۱۹= تالوانی و همکاران (۱۹۸۰)؛ ۲۰= سوزوکی (۱۹۷۵)؛ ۲۱= سوباک و هیکن (۱۹۸۲)؛ ۲۲= موری هید و همکاران (۱۹۷۳)؛ ۲۳= سیمپسون و همکاران (۱۹۸۱)؛ ۲۴= بوف (۱۹۷۵)؛ ۲۵= گایودهوری و سیریواستاوا (۱۹۷۸)؛ ۲۶= میکی (۱۹۷۳)؛ ۲۷= گوپتا (۱۹۸۴)؛ ۲۸= جاکوب و همکاران (۱۹۷۹)؛ ۲۹= اکی و ایشی کاوا (۱۹۸۳)؛ ۳۰= سیمپسون و لیت (۱۹۸۸)؛ ۳۱= بروکال (شبهه خصوصی، ۱۹۹۰)؛ ۳۲= ولوسو و همکاران (۱۹۸۷)؛ ۳۳= بروکال و همکاران (۱۹۸۴)؛ ۳۴= ریپوتا (۱۹۸۹)؛ ۳۵= بروکال و همکاران (در دست انتشار)؛ ۳۶= ولوسو و آسومیکو (۱۹۸۶)؛ ۳۷= راستوگی و همکاران (۱۹۸۶)؛ ۳۸= اهتاکه (۱۹۸۶)؛ ۳۹= راستوگی و همکاران (۱۹۸۶)؛ ۴۰= آنجلین و بوچیندر (۱۹۸۵)؛ ۴۱= رینرز (۱۹۸۸)؛ ۴۲= بوک و رزا مایر (۱۹۸۱/۱۹۸۰)؛ ۴۳= نیکلسون و همکاران (۱۹۸۸)؛ ۴۴= شیرلی (۱۹۸۰)؛ ۴۵= وو و همکاران (۱۹۷۹)؛ ۴۶= روته و لوئی (۱۹۸۳)؛ ۴۷= اوانز و استیپلس (۱۹۸۷)؛ ۴۸a= چن و همکاران (۱۹۹۶)؛ ۴۸b= پایلنو و شرم (۱۹۹۶)؛ ۴۸c= تونگ (۱۹۹۶)؛ ۴۸d= یانگ و همکاران (۱۹۹۶)؛ ۴۹a= دجیداکوی (۱۹۹۷)؛ ۴۹b= کنستانینوس و همکاران (۱۹۹۷)؛ ۴۹c= سلامی و همکاران (۱۹۹۷)؛ ۴۹d= ولوسو و همکاران (۱۹۹۷)؛ ۵۰= راستوگی و همکاران (قبیل از ۱۹۷۷)؛ ۵۱= راستوگی و همکاران (بعد از ۱۹۷۷)؛ ۵۲= بل و هاسکینز (۱۹۷۷)؛ ۵۳= پیک کینلی و همکاران (۱۹۹۵)؛ ۵۴= مجمع عمومی IASPEI (۱۹۹۴)؛ ۵۵= پلوتنیکوا و همکاران (۱۹۹۲)؛ ۵۶= گوانگ (۱۹۹۵)؛ ۵۷= میوکو (قبیل از ۱۹۹۱)؛ ۵۸= هیو و همکاران (۱۹۹۶)؛ ۵۹= جاکویوم و همکاره (۱۹۹۵)؛ ۶۰= میو کو (بعد از ۱۹۹۱)؛ ۶۱= هیو و همکاران (۱۹۸۶)؛ ۶۲= جیانگ و ونی (۱۹۹۵)؛ ۶۳= اکسیاو و پان (۱۹۸۴)؛ ۶۴= جیو (۱۹۹۴)؛ ۶۵= چانگ و لوئی (۱۹۹۲)؛ ۶۶= کالینا و چاندر (۱۹۹۷).

پیوست (ب)

این پیوست شامل فهرست داده‌های لرزه‌ای استخراج شده از سایت اینترنتی پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله مربوط به ۱۵ سد انتخابی مرحله دوم و داده‌های لرزه‌ای ثبت شده در ایستگاههای محلی لرزهنگاری سدهای کرخه و کارون ۳ می‌باشد. به علت حجیم بودن، این داده‌ها بر روی CD ضمیمه ارائه شده است.

Abstract

This thesis “Induced earthquakes related to some of the large dams of Iran (sustainable development point of view)” has considered the effects of dam construction in environmental seismic activity around the some of large dams in Iran. For this, the earthquakes data in radius of 60 Km around the 15 selected dams are investigated. Based on result of this study, induced seismicity is can be observed in all 15 dams after impoundment. The result of more detailed investigation in Karkheh and Karun III dams indicated that: 1) By filling of reservoirs, seismicity rate has increased in surrounding environments of dams site to radius of 30 Km. 2) The induced seismicity have close relation with regional geology and structural geology. 3) The epicenter of induced earthquakes located in the side of reservoir and active close faults to the reservoir. 4) The focal depth of these events is decreased generally and magnitudes of earthquakes are decreased in Karkheh. 5) The earthquakes start with initial impoundment and remain constant after completion of the reservoir impoundment. 6) Evaluating of water level changes in Karkheh indicated that the threshold water level change is 7m for occurrence of seismic events.