

جمهوری اسلامی ایران

وزارت نیرو

شرکت آب منطقه‌ای اردبیل

کمیته تحقیقات

(طرح تحقیقات کاربردی)

گزارش نهایی طرح پژوهشی:

بررسی سدهای مهم استان اردبیل از لحاظ احتمال

ایجاد زلزله‌های القایی با پیش‌بینی بزرگترین زلزله

محتمل (سدهای یامچی و عمارت به عنوان مورد

مطالعاتی)

سازمان مجری: دانشگاه گلستان

پژوهشگر: دکتر حجت‌اله صفری

همکاران پژوهش: دکتر مریم آق‌آتابای- دکتر حامد رضایی- دکتر علیرضا طبرسا-مهندس زهرا

عباس‌زاده

آذرماه ۱۳۹۷

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بسمه تعالی

این پروژه تحقیقاتی با حمایت مالی کمیته تحقیقات شرکت آب منطقه‌ای اردبیل تحت قرارداد شماره ۹۵/۲/۷۹۳۹/۹۰۰ مورخ ۱۳۹۵/۰۸/۰۱ با کد ARD-۹۳۰۲۵ به انجام رسیده است.

- چکیده پژوهش

یکی از پایه‌های اساسی توسعه جوامع انسانی وجود منابع آب مطمئن می‌باشد. قرارگیری کشور ایران در یک منطقه نسبتاً خشک، اهمیت توسعه منابع آب از طریق ایجاد سدهای ذخیره‌ای را در محل‌های مناسب حیاتی می‌نماید. بالطبع استان اردبیل نیز از این قاعده کلی خارج نبوده و به همین دلیل تعداد ۴۷ سد کوچک و بزرگ با ظرفیت مفید ۲۷۲ میلیون مترمکعب مورد مطالعه، اجرا و بهره‌برداری قرار گرفته است. علیرغم تمامی نکات مثبتی که سدها (بخصوص سدهای بزرگ) دارند؛ بواسطه اینکه باعث تجمع حجم زیادی آب در یک محیط کوچک (مخزن سد) می‌شوند، می‌توانند باعث بروز اثرات زیست محیطی مخربی نظیر ایجاد زلزله‌های القایی شده و یا اینکه با بالا بردن فشار منفذی در توده‌های سنگی زیر مخزن و پیرامون، سبب تحریک گسل‌ها شده و به این ترتیب موجب به پیش انداختن زلزله‌های بزرگ خواهد شد.

برای بررسی امکان ایجاد این پدیده در سدهای استان اردبیل، دو سد یامچی (سد ساخته‌شده با ارتفاع ۶۱ متر) و عمارت (سد در حال ساخت با ارتفاع ۸۲ متر) به عنوان مورد مطالعاتی انتخاب شدند تا با مکان‌یابی محل گسل‌های فعال، محاسبه تغییرات تنش موثر در حداکثر آبگیری و همچنین بررسی مقایسه‌ای الگوی لرزه‌خیزی قبل و بعد از احداث سد یامچی و یا برآورد الگوی لرزه‌خیزی احتمالی سد عمارت، به بررسی آنها از لحاظ احتمال ایجاد زلزله‌های القایی پرداخته شود. نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان داد که:

الف- پر شدن اولیه سد یامچی با تغییر ناگهانی در الگوی ایزوستاتیکی منطقه، سبب افزایش نرخ لرزه‌خیزی شده که این مسئله به صورت رخداد زلزله‌های کوچک ($M < 4$) با عمقی کمتر از ۵ کیلومتر بوده است. با گذر از شوک اولیه ایجاد شده، از سال ۱۳۹۲ اثر این پدیده کم شده است.

ب- آبگیری سد عمارت، سبب برهم خوردن تعادل ایزوستاتیکی منطقه خواهد شد که نمود آن به صورت انبوهی از زلزله‌های القایی کوچک و کم عمق خواهد بود. نتایج برآورد بیشینه بزرگای زلزله القایی (با کمک روش‌های آماری و مدل‌سازی در شبکه عصبی نشان داد که احتمال رخداد زلزله‌ای با بزرگای $M=4/65$ وجود دارد که بیشینه شتاب افقی $0/382$ (g) و بیشینه شتاب قائم $0/266$ (g) بر محل سد عمارت و پیرامون آن اعمال خواهد نمود.

بخش اول:

سد یامچی

فهرست مطالب

صفحه	فهرست
- فصل اول: مقدمه	
۲.....	۱-۱- ضرورت انجام تحقیق و هدف از طرح مسئله.....
۵.....	۲-۱- مشخصات سد یامچی.....
۶.....	۳-۱- روش انجام کار.....
۸.....	۴-۱- مراحل طی شده پژوهش طبق برنامه زمان بندی و شرح خدمات پروژه.....
- فصل دوم: زمین شناسی عمومی منطقه سد یامچی	
۱۱.....	۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی.....
۱۲.....	۲-۲- زمین ساخت ناحیه ای.....
۱۶.....	۳-۲- سنگ شناسی و چینه شناسی واحدهای رخنمون یافته.....
۲۰.....	۴-۲- رسوب شناسی منطقه.....
۲۲.....	۵-۲- بررسی وضعیت ژئومورفولوژی منطقه.....
- فصل سوم: زمین شناسی ساختمانی منطقه سد یامچی	
۲۵.....	۱-۳- استفاده از تکنیک های سنجش از دور جهت بارزسازی و شناسایی ساختارها.....
۲۶.....	۱-۱-۳- مواد و ابزار مورد استفاده.....
۲۶.....	۲-۱-۳- تکنیک های سنجش از دور.....
۳۱.....	۳-۱-۳- استخراج لایه های اطلاعاتی و تهیه نقشه های مورد نیاز.....
۳۴.....	۲-۳- روندهای اصلی گسلش.....
۳۵.....	۳-۳- گسل های اصلی ناحیه ای.....
۳۵.....	۱-۳-۳- گسل شمال تبریز.....
۳۵.....	۲-۳-۳- گسل سبلان.....
۳۶.....	۳-۳-۳- گسل بزغوش.....
۳۶.....	۴-۳-۳- گسل هیر (خلخال).....

- ۳۷-۳-۵- گسل آستارا.....
- ۳۷-۳-۶- گسل اردبیل.....
- ۳۸-۳-۷- گسل سرعین.....
- ۳۸-۳-۴- گسل های اصلی منطقه ای (محلی).....
- ۳۸-۳-۱- پاره گسل جنوب اردبیل.....
- ۴۰-۳-۲- پاره گسل غربی گسل سرعین.....
- ۴۲-۳-۳- پاره گسل شرقی گسل سرعین.....

- فصل چهارم: زمین شناسی مهندسی منطقه سد یامچی

- ۴۴-۴-۱- بررسی وضعیت مهندسی ساختگاه سد و پیرامون.....
- ۴۶-۴-۲- محاسبه میزان تنش موثر و آب حفره ای.....
- ۵۸-۴-۳- تحلیل مدل شکست پی در اثر آبگیری.....

- فصل پنجم: لرزه زمین ساخت منطقه سد یامچی

- ۶۳-۵-۱- لرزه زمین ساخت ناحیه ای.....
- ۶۶-۵-۲- لرزه زمین ساخت منطقه ای.....
- ۶۷-۵-۲-۱- پاره گسل جنوب اردبیل.....
- ۶۸-۵-۲-۲- گسل سرعین.....
- ۶۹-۵-۳- بررسی وضعیت لرزه خیزی تاریخی منطقه.....
- ۷۰-۵-۴- بررسی وضعیت لرزه خیزی دستگاهی منطقه.....
- ۷۷-۵-۵- بررسی اثرات آبگیری و تخلیه مخزن بر لرزه خیزی منطقه.....
- ۷۷-۵-۱- آماده سازی داده ها.....
- ۷۸-۵-۲- محاسبه بزرگی کمال.....
- ۸۰-۵-۳- محاسبه تغییرات پارامتر b.....
- ۸۱-۵-۴- بررسی تاثیرات آبگیری بر روی لرزه خیزی.....
- ۸۴-۵-۶- برآورد بیشینه بزرگای و شتاب حرکت زمین در اثر زلزله احتمالی.....

۷-۵- برآورد بیشینه بزرگا و شتاب حرکت زمین در اثر زلزله القایی..... ۸۸

- فصل ششم: بررسی نتایج، تلفیق و نتیجه گیری

۱-۶- بررسی نتایج بدست آمده..... ۹۲

۲-۶- تلفیق نتایج..... ۹۹

۳-۶- نتیجه گیری..... ۱۰۴

- منابع..... ۱۰۶

- جدول پیوست

فهرست اشکال

صفحه	فهرست
۱۱.....	شکل ۱-۲: موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه.....
۱۲.....	شکل ۲-۲: وضعیت راهها و مراکز عمده جمعیتی منطقه مورد مطالعه.....
۱۳.....	شکل ۳-۲: موقعیت زمین ساختی منطقه مورد مطالعه.....
۱۴.....	شکل ۴-۲: محل گسل های اصلی بر روی نقشه برجسته منطقه مورد مطالعه و پیرامون.....
۱۵.....	شکل ۵-۲: وضعیت بردارهای حرکت پیرامون منطقه مورد مطالعه.....
۱۷.....	شکل ۶-۲: نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه.....
۱۹.....	شکل ۷-۲: نمایی باز از رخنمون توالی های سنگی پلیوسن پیرامون سد یامچی.....
	شکل ۸-۲: نمایی از توالی کنگلومرا و مارن نسبتاً سخت با شیب به نسبت افقی در پادگانه های قدیمی
۲۱.....	مسیر روستای گلستان.....
	شکل ۹-۲: نقشه مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد بررسی (به صورت دایره نمایش داده شده) و محیط
۲۳.....	پیرامون.....
۲۸.....	شکل ۱-۳: تصویر ماهواره ای Landsat 8 ETM+ با ترکیب باندها ۱-۴-۷ از منطقه مورد مطالعه.....
	شکل ۲-۳: اعمال فیلتر جهت دار بر روی باندها R تصویر ماهواره ای اصلاح شده جهت بارزسازی خطواره-
۳۰.....	ها.....
۳۳.....	شکل ۳-۳: محل گسل های ناحیه ای بر روی نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه مورد مطالعه.....
۳۴.....	شکل ۴-۳: نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه.....
۳۹.....	شکل ۵-۳: وجود ماندابهای ساختاری مرتبط با گسل اردبیل در منطقه.....
۴۰.....	شکل ۶-۳: حرکت نرمال در مقطعی طولی از پاره گسل جنوب اردبیل در نهشته های کواترنری.....
۴۱.....	شکل ۷-۳: اثرات صحرایی بخش غربی گسل سرعین در مجاورت جاده اردبیل-نیر.....
۴۱.....	شکل ۸-۳: نمایی از سطح گسل سرعین در حوالی قله سبلان (با نام سنگ محراب).....
۴۵.....	شکل ۱-۴: پروفیل طولی ساختگاه سد یامچی.....
۴۷.....	شکل ۲-۴: موقعیت پروفیل های عرضی محاسبه تنش موثر و آب حفره ای.....

- شکل ۳-۴: تصویری از مدل عددی ساخته شده از مقطع مورد مطالعه سد یامچی.....۴۷
- شکل ۴-۴: موقعیت گره‌ها و نقاط تنش در المان‌های نرم افزار پلکسیز.....۴۹
- شکل ۵-۴: تصویری از سطح اولیه آب زیرزمینی در جناحین و کف مقطع مورد مطالعه سد یامچی.....۵۱
- شکل ۶-۴: فشار آب منفذی در جناحین و کف مقطع مورد مطالعه سد یامچی.....۵۱
- شکل ۷-۴: نمودار تغییرات تنش کل، تنش موثر و فشار آب منفذی نسبت به عمق در مقطع A.....۵۲
- شکل ۸-۴: نمودار تغییرات تنش کل، تنش موثر و فشار آب منفذی نسبت به عمق در مقطع B پیش از آبنگیری سد.....۵۳
- شکل ۹-۴: نمودار تغییرات تنش کل، تنش موثر و فشار آب منفذی نسبت به عمق در مقطع B پس از آبنگیری سد.....۵۳
- شکل ۱۰-۴: نمودار تغییرات تنش کل، تنش موثر و فشار آب منفذی نسبت به عمق در مقطع C پیش از آبنگیری سد.....۵۴
- شکل ۱۱-۴: نمودار تغییرات تنش کل، تنش موثر و فشار آب منفذی نسبت به عمق در مقطع C پس از آبنگیری سد.....۵۴
- شکل ۱۲-۴: نمودار تغییرات تنش کل، تنش موثر و فشار آب منفذی نسبت به عمق در مقطع D پیش از آبنگیری سد.....۵۵
- شکل ۱۳-۴: نمودار تغییرات تنش کل، تنش موثر و فشار آب منفذی نسبت به عمق در مقطع D پس از آبنگیری سد.....۵۵
- شکل ۱۴-۴: نمودار تغییرات تنش کل، تنش موثر و فشار آب منفذی نسبت به عمق در مقطع E پیش از آبنگیری سد.....۵۶
- شکل ۱۵-۴: نمودار تغییرات تنش کل، تنش موثر و فشار آب منفذی نسبت به عمق در مقطع E پس از آبنگیری سد.....۵۶
- شکل ۱۶-۴: نمودار تغییرات تنش کل، تنش موثر و فشار آب منفذی نسبت به عمق در مقطع F پیش از آبنگیری سد.....۵۷

- شکل ۴-۱۷: نمودار تغییرات تنش کل، تنش موثر و فشار آب منفذی نسبت به عمق در مقطع F پس از آبیگری سد..... ۵۷
- شکل ۴-۱۸: نمودار تغییرات تنش کل، تنش موثر و فشار آب منفذی نسبت به عمق در مقطع G..... ۵۸
- شکل ۴-۱۹: محل تقریبی نقطه مورد مطالعه برای شرایط شکست در توده سنگ بر اثر آبیگری سد..... ۵۹
- شکل ۴-۲۰: محاسبه دایره مور تنش پیش و پس از آبیگری سد در مقطع بحرانی مورد مطالعه..... ۶۰
- شکل ۵-۱: وضعیت بردارهای حرکتی در منطقه به همراه حل مکانیسم کانونی و محل گسل‌های اصلی ناحیه‌ای..... ۶۴
- شکل ۵-۲: نقشه لرزه‌زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه (شعاع ۳۰ کیلومتر) و پیرامون..... ۶۵
- شکل ۵-۳: نمایی از وضعیت فضایی رخداد کانون‌های زلزله در طی دهه اخیر (با تفکیک سالانه)..... ۶۶
- شکل ۵-۴: نمایی از حرکات عهد حاضر پاره گسل اردبیل جنوب روستای جوراب (غرب سد یامچی)..... ۶۷
- شکل ۵-۵: نمایی از صخره ایجاد شده توسط گسل سرعین در مجاورت روستای تاریخی کنزق..... ۶۸
- شکل ۵-۶: نقشه لرزه‌زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه بر اساس زلزله‌های $M > 2/5$ ۷۳
- شکل ۵-۷: نقشه لرزه‌زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه بر اساس زلزله‌های سال‌های ۱۹۹۵-۲۰۱۶ با بزرگای $M > 0/5$ ۷۴
- شکل ۵-۸: نقشه لرزه‌زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه بر اساس زلزله‌ها در محدوده سال‌های (۱۹۹۵-۲۰۰۰، ۲۰۰۱-۲۰۰۵، ۲۰۰۶-۲۰۱۰ و ۲۰۱۱-۲۰۱۶) با بزرگای $M > 0/5$ ۷۵
- شکل ۵-۹: برآورد دوره بازگشت زلزله‌ها در شعاع ۱۰۰ کیلومتری از سد یامچی..... ۷۷
- شکل ۵-۱۰-الف: نمودار تعداد تجمعی زمین‌لرزه‌های محدوده سد یامچی تا شعاع ۳۰ کیلومتر، ب) نمودار فراوانی بزرگی زمین‌لرزه‌ها..... ۷۹
- شکل ۵-۱۱: نمودار تغییرات بزرگی کمال با زمان..... ۷۹
- شکل ۵-۱۲: نمودار تغییرات پارامتر b با زمان الف) برای زمین‌لرزه‌های بزرگتر و مساوی $2/6$ و ب) برای زمین‌لرزه‌های بزرگتر و مساوی ۳..... ۸۰

بخش اول: سد یامچی

شکل ۵-۱۳: نمودار تجمعی لگاریتم انرژی زمین‌لرزه‌ها بزرگتر و مساوی ۲/۶ در حوالی سد یامچی به

همراه الف) ورودی مخزن سد و ب) حجم مخزن..... ۸۲

شکل ۵-۱۴: نمودار غیر تجمعی لگاریتم انرژی زمین‌لرزه‌ها بزرگتر و مساوی ۲/۶ در حوالی سد یامچی به

همراه الف) ورودی مخزن سد و ب) حجم مخزن..... ۸۳

شکل ۵-۱۵: نمودار بزرگی زمین‌لرزه‌ها بزرگتر و مساوی ۲/۶ در حوالی سد یامچی به همراه الف) حجم

مخزن و ب) ورودی مخزن سد..... ۸۴

فهرست جداول

صفحه	فهرست
۳.....	جدول ۱-۱: بزرگترین زلزله‌های ایجاد شده در اثر ساخت و آبرگیری سدهای ذخیره‌ای در دنیا.....
۸.....	جدول ۱-۲: جدول زمانی مراحل پیشرفت کار.....
۴۸.....	جدول ۴-۱: مشخصات ژئوتکنیکی مصالح مقطع مورد مطالعه سد یامچی.....
۷۲.....	جدول ۵-۱: لیست زلزله‌های بزرگتر از ۴ در منطقه مورد مطالعه و پیرامون.....
۷۶.....	جدول ۵-۲: وضعیت عمق کانونی زلزله‌ها در منطقه مورد مطالعه و پیرامون.....
۸۵.....	جدول ۵-۳: برآورد بیشینه بزرگای زلزله احتمالی بر اثر فعالیت گسلهای پیرامون.....
۸۷.....	جدول ۵-۴: برآورد بیشینه شتاب افقی و قائم زلزله احتمالی بر اثر فعالیت گسلهای پیرامون.....