عملکرد سامانه‌های ذخیره آب در زلزله ۲۰۰۸ ونچوان چین– بررسی میدانی

مرتضی بسطامی، استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه کردستان و
استادیار گروه مهندسی زلزله شریانهای حیاتی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

چکیده

در زلزله سال ۲۰۰۸ ونچوان با بزرگی ۸ در مقیاس ریشتر در استان سیچوان چین، به عنوان یکی از پرخسارت-ترین زلزله‌های تاریخ چین، خسارات وارده به مخازن بی‌سابقه و توزیع گسترده‌ای داشت، به ویژه خسارات مخازن کوچکتر به نسبت، شدیدتر بوده است. بعضی از این خسارات حتی در استانهای با فواصل قابل‌توجه از مرکز زلزله رخ داد که بیانگر ضعفهای آیین‌نامه‌ای و اجرایی است. عمده‌ترین خسارات به سامانه‌های نگهداری آب، خسارات مربوط به سدها و بندها بود. به طوری که فقط ۱۹۹۶ مخزن آسیب‌دیده (سدها و بندها) در استان سیچوان قرار داشت. در این زلزله مدهای خسارت سدها و بندهای آسیب‌دیده شامل ترک در سدها، نشست و تخریب سدها، لغزش سدها، نشت از سدها، خسارت به وسایل بالابر سدها و سایر خسارات یا انواع دیگری از وضعیت‌های خطرناک رخ داده در بیش از ۵۰ درصد سدها و بندها بود. در ادامه به صورت موردی به عملکرد سدهای بتنی زی پینگ پو و سد قوسی شاپای در این زلزله پرداخته می‌شود و سپس عملکرد و خسارات وارده به سدهای خاکی مورد بحث قرار می‌گیرند. در ادامه خسارتهای وارده به منابع هوایی آب مورد بررسی قرار می‌گیرند که بعضی از خسارتهای وارده قابل تأمل بود. از نکات جالب توجه در این زلزله، خسارات شدید به تأسیسات آبرسانی که چندی قبل از زلزله ساخته شده بودند، می‌باشد. این موضوع بیانگر ضعف‌های آیین‌نامه‌ای و اجرایی در آن کشور بود و با توجه به مشکلات اجرایی و کیفیت ساخت در ایران، درسهای آموخته شده از این زلزله برای کشور ما نیز می‌تواند آموزنده باشد.

کلیدواژه‌ها: سامانه‌های آبرسانی، زلزله ونچوان، سد، مخازن آب، خسارت

۱– مقدمه

در ساعت ۱۴:۲۸:۰۴ (به وقت محلی در روز ۱۲ ماه مه سال ۲۰۰۸، یک زلزله شدید با بزرگای Ms = ۸/۰ در غرب چین رخ داد. کانون این زلزله در ۳۱.۰۲۱ عرض شمالی و ۱۰۳.۳۶۷ طول شرقی در شهر ونچوان در استان سیچوان قرار داشت و عمق کانونی آن، ۱۴ کیلومتر اندازه‌گیری شده است. بیشترین شدت کانونی این زلزله XI گزارش شده است. این زلزله، شش استان گان‌سو، سیچوان، شانکسی، چونگ‌کینگ، یونان و نینگ‌شیا را تحت تأثیر خود قرار دارد. این زلزله دارای سه ویژگی برجسته است که عبارتند از: بزرگی زیاد، تلفات انسانی زیاد، و خسارات مالی زیاد. گسل ایجادکننده این زلزله، گسیخته شده و سبب بالازدگی در طولی در حدود ۲۴۰ کیلومتر شد و باعث تخریب بسیاری از ساختمانها، ایجاد زمین‌لغزشهای بزرگ، به راه انداختن و سرازیر شدن سنگهای غلتان، ایجاد جریانهای گل‌آلود، روانگرایی و خسارات لرزه‌ای دیگری شد. زمین‌لغزشها سبب ایجاد دریاچه‌های شدند که این نیز به نوبه خود عاملی دیگر در تشدید خطرات این زلزله محسوب می‌شود.

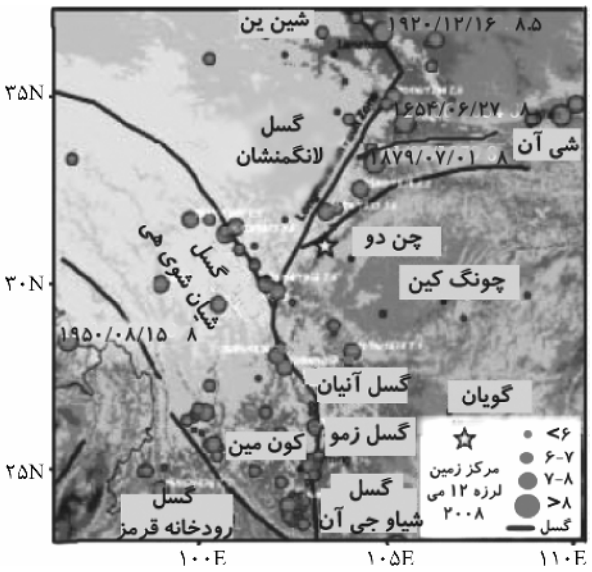
شریانهای حیاتی از قبیل راهها، تأسیسات برق، تأسیسات مخابرات، شبکه‌های آب و فاضلاب، تأسیسات گاز و سازه‌های هیدرولیکی نیز دچار خساراتی شده بودند که تا به حال در تاریخ چین، چنین خساراتی مشاهده نشده بود. در اثر این زلزله بیش از ۳۴ هزار سامانه آبرسانی دچار آسیب شدند و ۲۹ هزار و ۳۰۰ کیلومتر از خطوط لوله توزیع آب نیز دچار خسارت شدند که همین امر نیز به عنوان عاملی دیگر جهت تشدید خطرات ناشی از زلزله بر زندگی مردم تلقی می‌شد.

هدف این مقاله که حاصل بازدید نویسنده از مناطق

زلزله‌زده است، ارائه تجارب آموخته شده از عملکرد سامانه‌های آبرسانی در مناطق زلزله‌زده می‌باشد. اطلاعات ارائه‌شده با استناد به اطلاعات میدانی گردآوری شده توسط نویسنده وُ اطلاعات ارائه شده توسط انجمن مهندسی زلزله چین می‌باشد. در این بازدید که با راهنمایی دولت محلی سیچوان، دانشگاهها و مراکز تحقیقاتی سیچوان و انجمن مهندسی زلزله چین انجام گرفت اکثر مناطق زلزله‌زده که بیشتر شامل میدان نزدیک و در امتداد گسلشها بود، مورد بازدید قرار گرفت. قابل ذکر است کلیه اطلاعات و عکسهای ارائه شده در مقاله به استثنای موارد مشخص شده، متعلق به انجمن مهندسی زلزله چین و مؤلف می‌باشد.

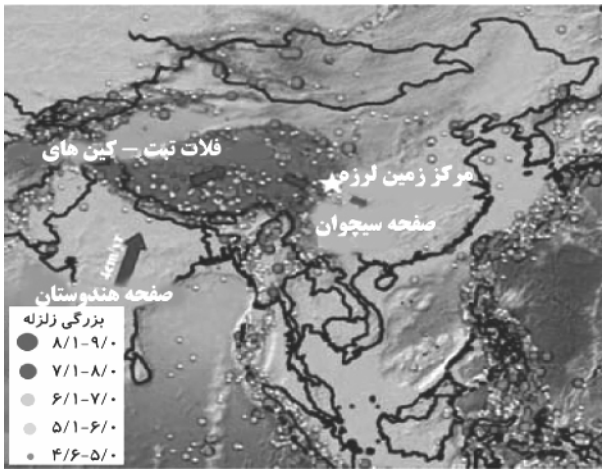
۲- لرزه‌خیزی منطقه

ساختار تکتونیکی مناطق لرزه‌خیز جنوب چین بسیار پیچیده بوده و نسبت به ساختار تکتونیکی شمال چین از پیچیدگی بیشتری برخوردار است و هنوز هم این ساختار به درستی شناخته نشده است. گسلهای مهم ناحیه جنوبی چین عبارتند از: گسل لانگمنشان[۱]، مابیان[۲]، و شیان شوی-هی[۳]. این گسلها در شکل (۱) نشان داده شده‌اند. زلزله سیچوان در اثر حرکت گسل معکوس شمال‌شرقی که به مرزهای شمال‌غربی سیچوان نفوذ کرده، ایجاد شده است.



شکل (۱): *نقشه لرزه‌خیزی و گسلهای موجود در ناحیه غربی فلات تبت و حرکت شرقی فلات تبت.*

مرکز زمین‌لرزه در کوههای لبه غربی فلات تبت- کین[۴]، واقع در لبه شمال غربی حوزه سیچوان، قرار دارد، شکل (۲).



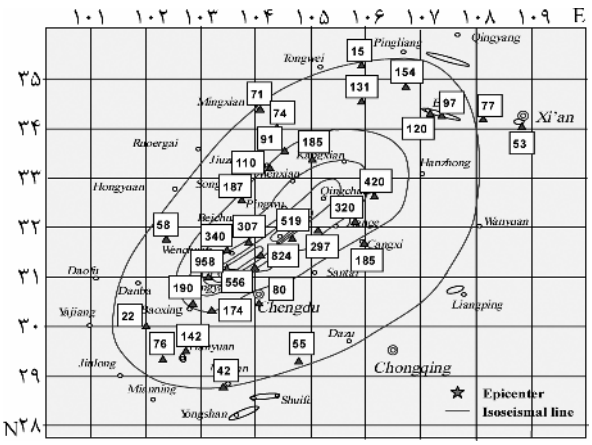
شکل (۲): *نقشه مربوط به مرکز زلزله ۲۰۰۸ سیچوان و حرکات شمالی صفحه هندوستان.*

منبع ایجادکننده این زلزله، گسل لانگمنشان بوده که یک گسل معکوس زیرلغز بوده و دارای راستای شمال غربی- جنوب شرقی بوده و تمایل به چرخش به راستای شمالی- جنوبی دارد، تصویر (۱). طول این گسل ۱۰۰ کیلومتر و عمق کانونی زلزله ایجاد شده ۱۹ کیلومتر می‌باشد. ونچوان، بخش کوچکی از غرب سیچوان است که در کوه لانگمن[۵] قرار دارد. در اثر فشاری که صفحه هندوستان در جهت شمال‌شرقی به صفحه اورآسیا[۶] وارد کرده، گسل کوه‌لانگمن گسیخته شده است. در طی ۱۰۰ سال اخیر، بیش از ۱۴ زلزله با بزرگای بیش از ۵، در کوه‌لانگمن رخ داده است. در طی این زلزله‌های بزرگ، هزاران لرزش خفیف نیز هر روزه این منطقه را لرزانده است.

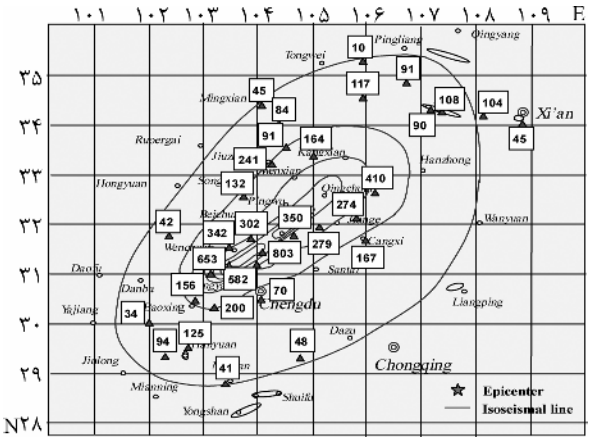
تصویر (۱): *عبور گسل لانگمنشان از شهر هاوانگ.*

۳- رکوردهای ثبت شده

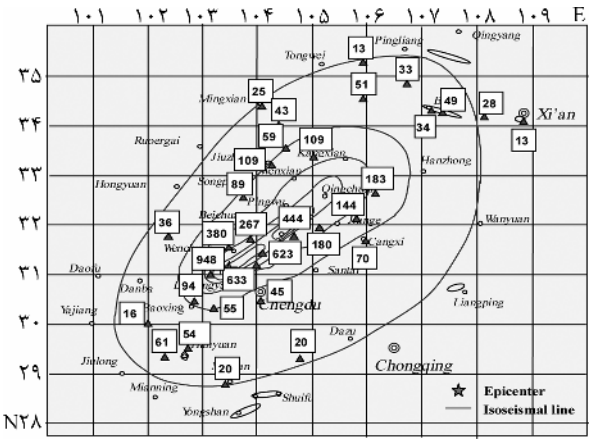
این زلزله توسط ۴۷۸ ایستگاه لرزه‌نگار ثبت گردید که از این میان، ۱۴۱ ایستگاه در سیچوان و ۳۳۷ ایستگاه در دیگر استانها و شهرها قرار داشتند. ایستگاه ولانگ[۷] در شهرستان ونچوان که نزدیکترین ایستگاه به مرکز زلزله است، در فاصله ۲۲/۲ کیلومتری از مرکز زلزله قرار گرفته و شتاب ماکزیممی در حدود ۹۵۷/۷ سانتیمتر بر مجذور ثانیه را ثبت کرده است. ایستگاه کینگ پینگ[۸] در شهر میان ژو که نزدیکترین ایستگاه به گسل بوده، در فاصله ۷۰۰ متری از گسل قرار گرفته است و شتاب ماکزیمم را ۸۲۴/۱ سانتیمتر بر مجذور ثانیه ثبت کرده است. علاوه بر موارد ذکر شده، ۱۲۰ رکورد شتاب ماکزیمم وجود دارد که از ۱۰۰ سانتیمتر بر مجذور ثانیه بیشتر است. شکلهای (۳) تا (۶)، توزیع سه مؤلفه شتاب ماکزیمم را بر حسب سانتیمتر بر مجذور ثانیه که به وسیله برخی از ایستگاهها ثبت شده است، نشان می‌دهند.



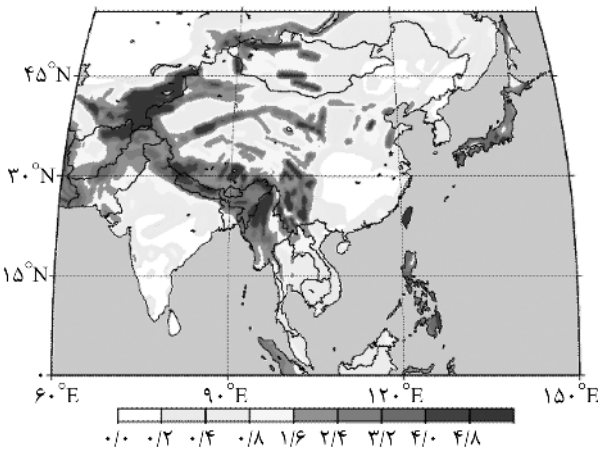
شکل (۳): *مؤلفه شرقی- غربی ماکزیمم شتاب اندازه‌گیری شده توسط ایستگاهها (سانتیمتر بر مجذور ثانیه).*



شکل (۴): *مؤلفه شمالی- جنوبی ماکزیمم شتاب اندازه‌گیری شده توسط ایستگاهها (سانتیمتر بر مجذور ثانیه).*



شکل (۵): *مؤلفه قائم ماکزیمم شتاب اندازه‌گیری شده توسط ایستگاهها (سانتیمتر بر مجذور ثانیه).*



شکل (۶): *ماکزیمم شتابهای به وجود آمده.*

۴- عملکرد سامانه‌های ذخیره آب

بررسی مشترکی که توسط وزارتخانه منابع آب و بعضی از استانها، شهرها و شهرستانها انجام گرفت نشان داد که خسارات مخازن، توزیع گسترده‌ای داشته و خسارات مخازن کوچکتر به نسبت، شدیدتر بوده است. مخازن صدمه دیده در ۸ استان و شهرستان قرار دارند و میزان خسارت آنها بی‌سابقه بوده است. وضعیت اصلی مخازن صدمه‌دیده در این مناطق در جدول (۱) نشان داده شده است. این نتایج آسیب‌پذیری این مخازن را حتی در استانهای با فواصل قابل‌توجه از مرکز زلزله نشان می‌دهد، که بیانگر ضعفهای آیین‌نامه‌ای و اجرایی است. از دلایل دیگر آسیب‌پذیری زیاد این سازه‌ها در این زلزله عدم طراحی لرزه‌ای یا دست پایین بودن طراحی و یا عدم برآورد صحیح حرکات زمین با توجه به سطح بسیار بالای لرزه‌خیزی منطقه بود.

جدول (۱): *وضعیت اصلی مخازن آسیب دیده بعد از زلزله ۲۰۰۸ ونچوان [۱].*

ردیف	نام استان و شهر	تعداد کل مخازن	تعداد مخازن آسیب‌دیده	نسبت آسیب‌دیده به کل برای هر استان (شهر) برحسب درصد	نسبت آسیب- دیده به کل ۸ استان (شهر) برحسب درصد	دسته‌بندی وضعیتهای خطرناک		
						وضعیتهای خطرناک شکست *I*	وضعیتهای با خطر بالا *II*	وضعیتهای ثانویه با خطر بالا *III*
۱	سیچوان	۶۶۷۸	۱۹۹۶	۲۹/۸۹	۷۴/۸۷	۶۹	۳۱۰	۱۶۱۷
۲	شون چینگ	۲۸۲۴	۳۵۲	۱۲/۴۶	۱۳/۲۰		۲	۳۵۰
۳	شانک سی	۱۰۳۶	۱۲۶	۱۲/۱۶	۴/۷۳		۱۷	۱۰۹
۴	نان	۵۴۲۲	۵۱	۰/۹۴	۱/۹۱		۲	۴۹
۵	گان سو	۲۹۷	۸۱	۲۷/۲۷	۳/۰۴			۸۱
۶	گی ژاو	۲۱۰۵	۱۲	۰/۵۷	۰/۴۵			۱۲
۷	هو بی	۵۸۰۴	۲۵	۰/۴۳	۰/۹۴			۲۵
۸	هو نان	۱۱۴۳۵	۲۳	۰/۲۰	۰/۸۶			۲۳
مجموع		۳۵۶۰۱	۲۶۶۶			۶۹	۳۳۱	۲۲۶۶

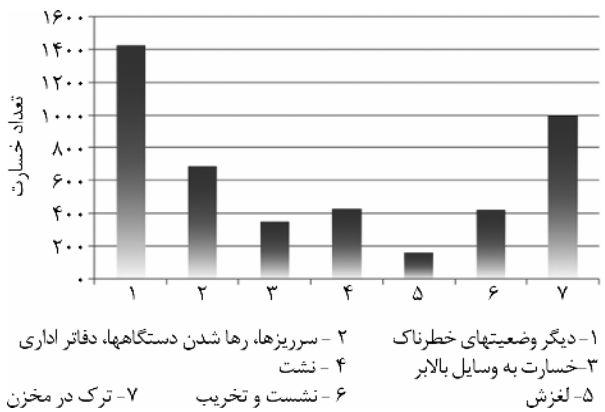
۵- سدها و بندها

عمده‌ترین خسارات به سامانه‌های نگهداری آب، خسارات مربوط به سدها و بندها بود. ۱۹۹۶ مخزن آسیب-دیده (سدها و بندها) در استان سیچوان قرار داشت. وضعیتهای آنها بر اساس درجه خطرشان به سه دسته به نامهای وضعیتهای خطرناک شکست سد، وضعیتهای با خطر بالا و وضعیتهای با خطر ثانویه، تقسیم‌بندی شده‌اند. در وضعیت نوع *I*، وضعیتهای خطرناک شکست سدها، مخازن سدها و پروژه‌های اصلی سرریز می‌شوند، ترکهای میانی در سدها شکل می‌گیرند، بالادست و پایین‌دست سدها به شدت لغزش می‌کنند و این وضعیتها برای شکست سدها در زمان کوتاهی رخ می‌دهد؛ در وضعیت نوع *II*، وضعیتهای با خطر بالا، وضعیت مخازن سدها و پروژه‌های مهم، همان وضعیتی است که در بالا شرح داده شد که ممکن است ایمنی آنها را تحت تأثیر قرار دهد. برای وضعیت نوع *III*، وضعیتهای ثانویه با خطر بالا، خسارات وارده به مخازن سدها و پروژه-های مهم به شدت خسارات ذکر شده در بالا نمی‌باشد و اصولاً نمی‌تواند عملکرد مطمئن طرحهای مهم را تحت تأثیر قرار دهد. از ۱۹۹۶ مخزن آسیب‌دیده در استان سیچوان، ۶۹ مخزن دارای وضعیت نوع *I*، ۳۱۰ مخزن دارای وضعیت نوع *II* و ۱۶۱۷ مخزن دارای وضعیت نوع *III* و وضعیت خطر معمولی بودند.

همان‌طور که در شکل (۷) نشان داده شده است، مدهای خسارت سدها و بندهای آسیب‌دیده در استان سیچوان عبارت بودند از:

- ترک در سدها (۱۴۲۵ مورد)؛
- نشست و تخریب سدها (۶۸۷ مورد)؛
- لغزش سدها (۳۵۴ مورد)، نشت از سدها (۴۲۸ مورد)؛
- خسارت به وسایل بالابر سدها (۱۶۱ مورد)؛
- سایر خسارات یا رها شدن دستگاهها، سرریزها، دفاتر اداری سدها (۴۲۲ مورد)؛
- و انواع دیگری از وضعیتهای خطرناک رخ داده در بیش از ۵۰ درصد سدها و بندها.

در ادامه به صورت موردی به عملکرد سدهای بتنی زی‌پینگ‌پو و سد قوسی شاپای در این زلزله پرداخته می‌شود و در انتهای این بخش عملکرد و خسارات وارده به سدهای خاکی مورد بحث قرار می‌گیرند.

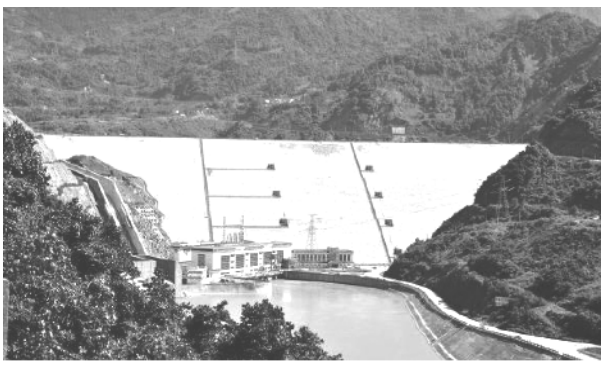


شکل (۷): مدهای خسارت سدها و بندها در استان سیچوان.

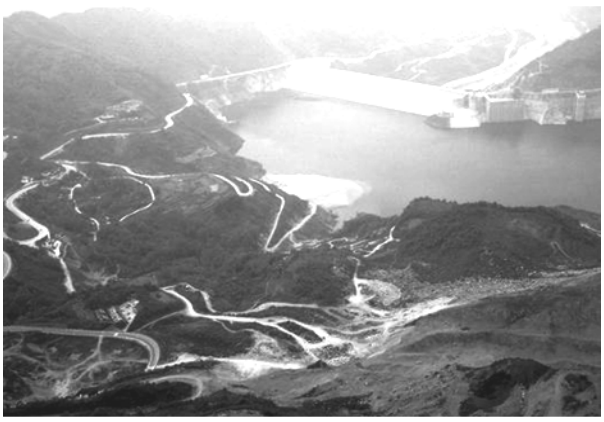
۵-۱- سد زی‌پینگ‌پو

سد زی‌پینگ‌پو، بر روی رودخانه مین‌جی‌یانگ در شهرستان زی‌پینگ‌پو و در ۹ کیلومتری شمال شهر دو-جی‌یانگ‌یان قرار گرفته است و به عنوان یک میراث جهانی محسوب می‌شود که وظیفه ذخیره آب دوجی‌یانگ‌یان را بر عهده دارد و حجم زیادی از آب را ذخیره می‌کند، تصویر (۲). سازه‌های اصلی آن برای تحمل دبی با دوره بازگشت هزار ساله (دبی ۳ هزار و ۸۰۰ مترمکعب در ثانیه) طراحی شده‌اند. سد از نوع سنگ ریزه‌ای بوده و شدت طراحی لرزه‌ای آن، ۸ می‌باشد. ارتفاع سد ۱۵۶ متر و حجم مخزن آن یک هزار و ۱۱۲ میلیون متر مکعب است. ایستگاه برق آن دارای چهار ژنراتور مولد برق هر کدام به ظرفیت ۱۹۰ هزار کیلووات و ظرفیت کل ۷۶۰ هزار کیلووات می‌باشد.

سد زی‌پینگ‌پو در زمینهای با شدت زلزله X قرار گرفته است در طی زلزله، بدنه اصلی سد سالم باقی ماند و خسارات عمده مربوط به جابه‌جایی‌های سد بود.



(الف) نمای بالادست



(ب) نمای پایین‌دست

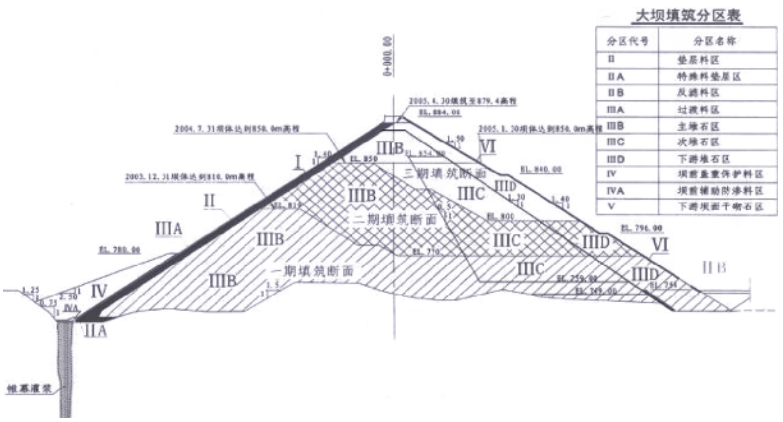
تصویر (۲): *نمای سد زی‌پینگ‌پو.*

مثلاً نشست قائم ۷۳ سانتیمتری بالای سد و یا جابه‌جایی افقی ۳۸ سانتیمتری سد که در تصاویر (۳) تا (۵) و اشکال (۸) تا (۱۱) نشان داده شده است. خسارات دیگر عبارت بودند از: ترک خوردن بالای سد، به فشار افتادن

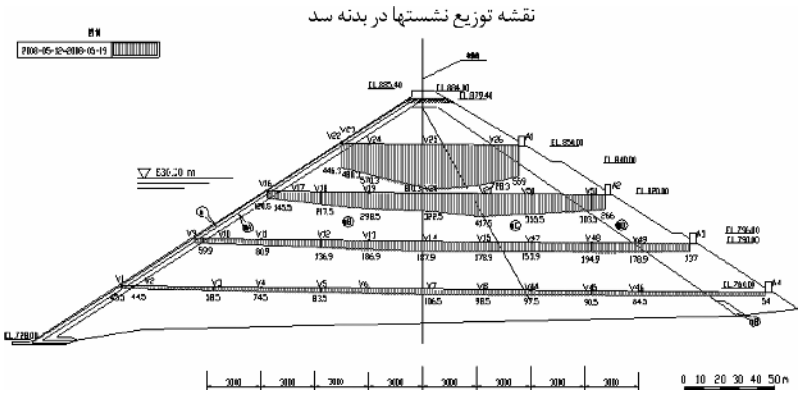
تصویر (۳): *قسمت فوقانی سد زی‌پینگ‌پو، ترک برداشته و گاردریلها ویران شده‌اند.*

تصویر (۴): *کارگاه و ساختمانهای سالم مانده سد زی پینگ‌پو.*

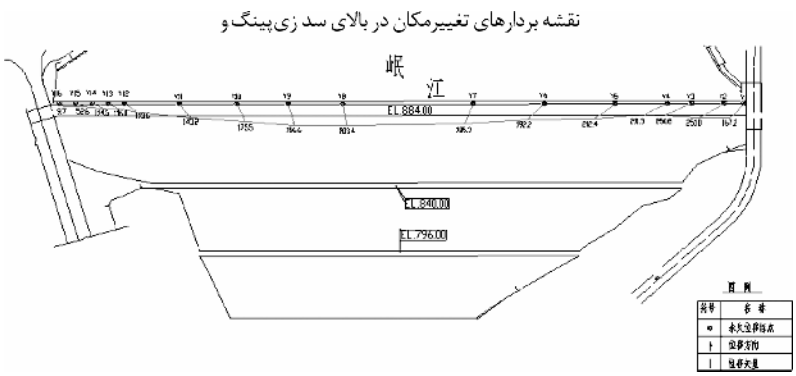
تصویر (۵): *سرریز سالم مانده سد زی‌پینگ‌پو.*



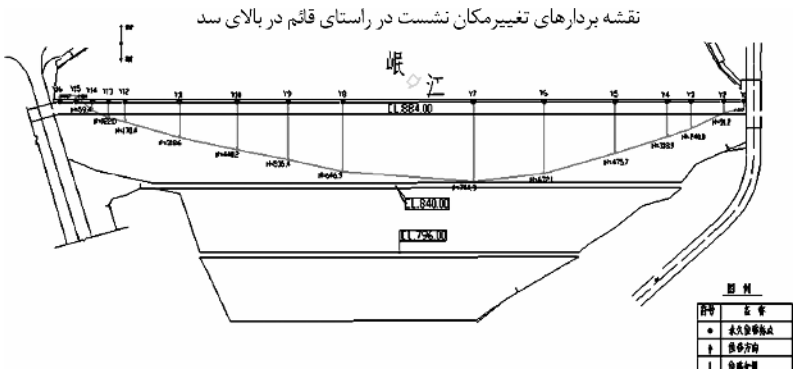
شکل (۸): *نقشه مقطع شماتیک سد زی‌پینگ‌پو (نقشه از ون‌یان‌فنگ).*



شکل (۹): *نقشه توزیع نشستها در بدنه سد زی‌پینگ‌پو در ترازهای مختلف (نقشه از لینگاو).*



شکل (۱۰): *نقشه بردارهای تغییرمکان در بالای سد زی‌پینگ‌پو (نقشه از لینگاو).*



شکل (۱۱): *نقشه بردارهای تغییرمکان نشست در راستای قائم در بالای سد زی‌پینگ‌پو (نقشه از لینگاو).*

صفحات محافظ فوقانی و ترک خوردن آنها، ترک خوردن پوششهای پایین دست و در نهایت، ساختمان آسانسور ترک خورده، اما تخریب نشده بود. همچنین تکه سنگهای پوششی، تغییرمکان دادند، اما باعث اختلال در کارهای روزمره نشده بودند [۱].

۵-۲- سد قوسی شاپای

سد قوسی شاپای روی رودخانه مین‌جی‌یانگ که از استان ونچوان منشعب می‌شود، واقع شده است. شدت زمین‌لرزه آن X، فاصله آن از کانون زلزله ۸ ریشتری، حدود ۳۰ کیلومتر و فاصله آن از گسل لانگمنشان که در پشت سد قرار گرفته در حدود ۸ کیلومتر می‌باشد، سد از نوع بتن آرمه قوسی می‌باشد. پس از زلزله، لوله‌های آهنی به طرف بیرون منحرف شده و توسط سنگهایی که به طرف پایین غلطیده شده بودند، دچار شکستگی شدند. بدنه قوسی سد و تکیه‌گاههای انتهایی آن در برابر نیروهای وارده مقاومت کرده و سالم مانده بودند، پایداری کلی شیبهای پشتی نزدیک سد به وضوح دیده می‌شد و در کل وضعیت سد، مطمئن به نظر می‌رسد. تصاویری از این سد آسیب ندیده را می‌توان در تصاویر (۶) و (۷) مشاهده نمود [۱].

۵-۳- خسارات وارده به سدهای خاکی

عمده خسارتها، ترکهای طولی در بالای سدها بودند که بعضی وقتها در کل سد امتداد می‌یافتند. ترکهای متقاطع منفردی نیز مشاهده می‌شد و چندین تخریب ناقص نیز به چشم می‌خورد. به اضافه، سرریزها، تونلها و دیواره‌های محافظتی شیبها نیز ترک خورده بودند. تصاویر (۸) تا (۱۴) نمونه‌هایی از این خسارات را نشان می‌دهد [۱].

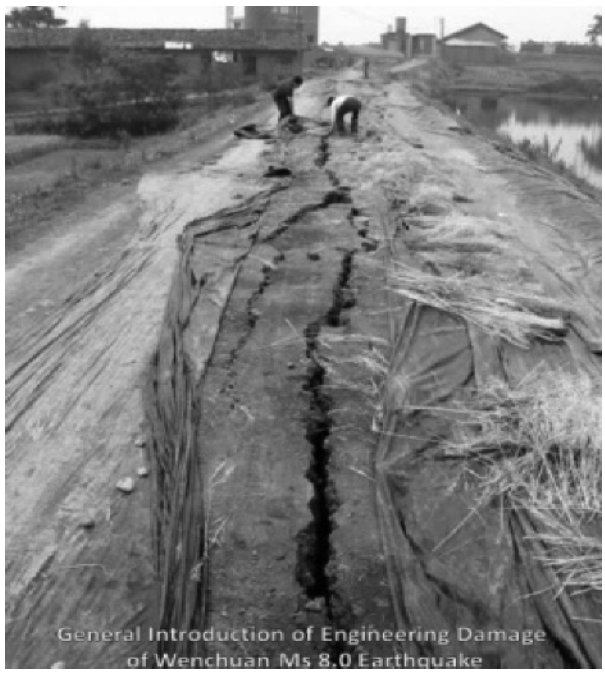
تصویر (۶): *سد قوسی آسیب ندیده شاپای تحت شدت X.*

تصویر (۷): *سد قوسی آسیب‌ندیده شاپای تحت شدت X، (نمای بالادست سد).*

تصویر (۸): *ترکهای عرضی و طولی در سد خاکی مربوط به مخزن آب چانگ‌داوگو در شهر میان‌یانگ.*

تصویر (۹): *ترکهای طولی در سد خاکی تازه ساخت شهر میانگ‌یان، شهرک فنگوو.*

تصویر (۱۰): *ترکهای طولی در سد خاکی مخزن آب بایلن در شهر میان ژو.*



تصویر (۱۱): *ترکهای طولی در مخزن سد خاکی داسونگ‌شو.*

تصویر (۱۲): *زمین لغزش و خرابی ناشی از پس‌لرزه‌ها در سد خاکی.*

تصویر (۱۳): *ترکهای طولی در سد خاکی مربوط به مخزن سد فنگ‌شو در شهرستان آنکشیان.*

تصویر (۱۴): *خسارت وارده به سقف تونل سرریز مخزن ون‌جیاجیو در شهرستان کانگشی.*

در اثر این زلزله ۸ ریشتری و پس‌لرزه‌های قوی آن، رودخانه‌های زیادی در اثر زمین‌لغزشها مسدود شدند که نتیجه آنها شکل‌گیری دریاچه‌های لرزه‌ای بود. دریاچه‌های لرزه‌ای، مقادیر زیادی از آب هستند که با سرعت زیادی پشت سدهای ناشی از زمین‌لغزش تجمع یافته بودند که

می‌توانست در آینده حتی تحت وزن آب اضافی نیز تخریب شوند. بنابراین، اگر سطح آب آنها بالاتر می‌آمد، پایین‌دست آنها تخریب شده و زندگی میلیونها نفر در معرض خطر قرار می‌گرفت. به عنوان مثال در ۲۷ مه ۲۰۰۸، ۳۴ دریاچه در نُه استان زلزله‌زده در اثر مسدود شدن رودخانه‌ها توسط نخاله‌های ناشی از زلزله شکل گرفتند و بر طبق محاسبات ۲۸ عدد از آنها تا چند مدت پس از زلزله هم پتانسیل ایجاد خطر برای ساکنان محلی آن منطقه را دارا بودند. مهمترین خسارات وارده به سدهای خاکی عبارت بودند از:

- ترکهای عرضی در بالای سد؛
- ترکهای طولی در بالای سد؛
- زمین‌لغزش در بدنه این سدها؛
- زمین‌لغزش در مخازن این سدها؛
- خسارت وارده به تونل سدها؛
- و همچنین خرابیهای بدنه سد ناشی از زلزله اصلی و یا پس‌لرزه‌ها.

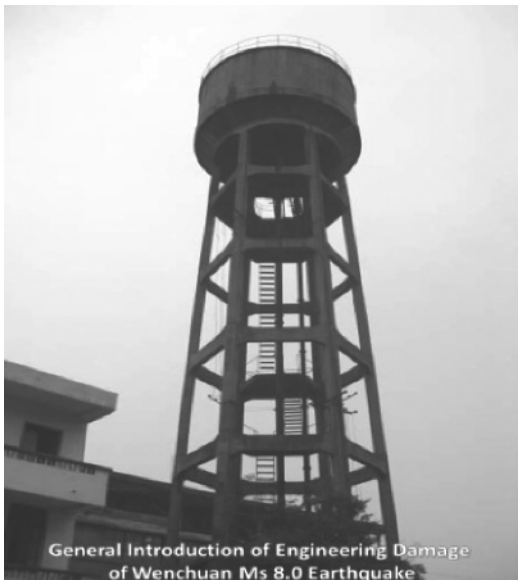
۶- منابع هوایی آب

تعداد قابل‌توجهی از منابع هوایی بتنی درجا عملکرد خوبی داشتند و عملکرد بهره‌برداری (عدم نشت) خود را حفظ کردند؛ در حالی که منابع بتنی غیرمسلح یا کاملاً ویران شدند یا آسیب شدید دیدند (مثلا ترکهای X شکل در قسمت سازه تکیه‌گاهی). تصاویر (۱۵) تا (۲۲) نمونه‌هایی از این خسارات را نشان می‌دهد.

به عنوان مثال، برج آب شهرک جویوآن که در نزدیکی دبیرستان آن شهرک قرار دارد، با وجود این که هیچ‌گونه خسارتی در ساختمانهای تجاری اطراف دیده نمی‌شد، برج مذکور چندین متر کج شده بود و ساختمانهای تجاری را تهدید می‌کرد و این ساختمانها را از دسترس خارج ساخته بود. همچنین یک ترک برشی بزرگی نیز در دیوار برج وجود داشت که به همین دلیل این برج تعمیرناپذیر می‌باشد، تصاویر (۱۴) و (۱۵) [۲]. برج آب‌هاوانگ، یک برج آب بتنی است که در شهرک هاوانگ قرار دارد. برج مذکور به صورت بتن درجا ساخته شده است و هیچ‌گونه خسارت کلی در آن دیده نمی‌شود. شکل و وزن این برج نسبت به سازه‌های دور و بر آن، کمتر است. این برج آب، دارای سیستم سازه‌ای و فونداسیون قوی برای تحمل نیروهای مؤثر روزانه می‌باشد، تصویر (۱۵).

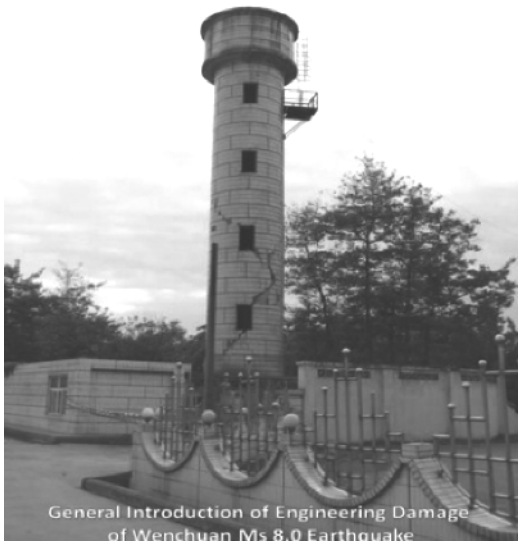
تصویر (۱۵): *ترک ایجاد شده در قسمت پایینی برج آب تحت شدت IX (شی فانگ، ینگ هوآ).*

تصویر (۱۶): *برج آب با ارتفاع زیاد صدمه ندیده (کارخانه سیمان شی فانگ).*



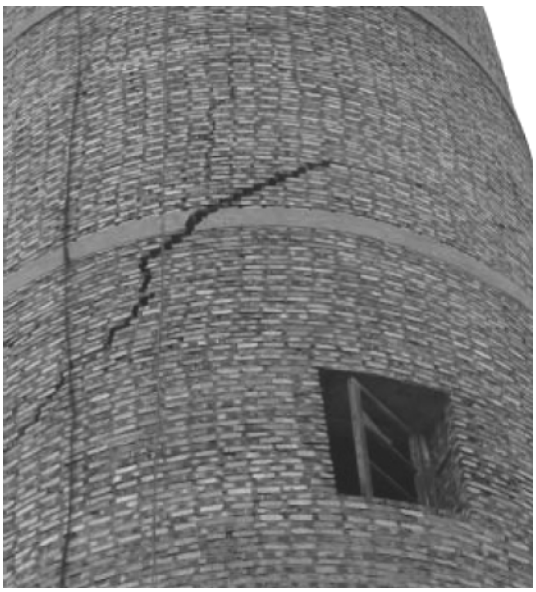
تصویر (۱۷): *قاب بتنی مسلح آسیب‌ندیده مربوط به برج آب (شهر شی فانگ).*

تصویر (۱۸): *برج آب سقوط کرده تحت شدت VIII (شهرستان آنکشیان).*



تصویر (۱۹): *یک ترک در برج آب تحت شدت (شی‌فانگ، کارخانه مواد شیمیایی هونگ‌دا).*

تصویر (۲۰): *کج شدن برج آب جویوآن [۲].*



تصویر (۲۱): *شکست برشی برج آب جویوآن [۲].*

تصویر (۲۲): *برج آب سالم مانده (شهرک هاوانگ).*

۷- نتیجه‌گیری

نتایج حاصله از این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

۱. آب آشامیدنی برای حمایت از زندگی و رعایت بهداشت مردم در مناطق زلزله‌زده، در عملیات امداد و نجات، بیمارستانها و ... از اهمیت حیاتی برخوردار است. همچنین برای به حالت اول برگرداندن فعالیتهای مهم صنعتی و تجاری و حتی در بعضی وقتها برای بازسازی شریانهای حیاتی نیز مسأله مهمی می‌باشد. علاوه بر این سیستم‌های خنک کننده برای ساختمانهای بزرگ، که دارای مراکز ارتباطی و پردازش داده می‌باشند، به طور معمول وابسته به برجهای سردسازی یا تبخیر می‌باشند. بنابراین بسیاری از زیرساختهای با تکنولوژی‌های بالا، تا زمانی که تسهیلات آب بازسازی نشوند، نمی‌توانند به فعالیت خود ادامه دهند.

۲. عمده‌ترین خسارات به سامانه‌های نگهداری آب، خسارات مربوط به سدها و بندها بود. یک هزار و ۹۹۶ مخزن آسیب‌دیده (سدها و بندها) در استان سیچوان قرار داشت. در این زلزله مدهای خسارت سدها و بندهای آسیب دیده شامل ترک در سدها، نشست و تخریب سدها، لغزش سدها، نشت از سدها، خسارت به وسایل بالابر سدها و سایر خسارات یا انواع دیگری از وضعیتهای خطرناک رخ داده در بیش از ۵۰ درصد سدها و بندها بود.

۳. سد زی‌پینگ‌پو در زمینهای با شدت زلزله X قرار گرفت. در طی زلزله، بدنه اصلی سد سالم باقی ماند و خسارات عمده مربوط به جابه‌جایی‌ها سد می‌شد که می‌توان به نشست قائم ۷۳ سانتیمتری بالای سد و یا جابه‌جایی افقی ۳۸ سانتیمتری سد اشاره نمود. خسارات دیگر عبارت بودند از: ترک خوردن بالای سد، به فشار افتادن صفحات محافظ فوقانی و ترک خوردن آنها، ترک خوردن پوششهای پایین دست و در نهایت، ساختمان آسانسور ترک خورده بود اما تخریب نشده بود.

۴. سد قوسی شاپای تحت شدت زمین‌لرزه X، که فاصله آن از گسل لانگمنشان که در پشت سد قرار گرفته در حدود ۸ کیلومتر بود و از نوع بتن آرمه قوسی می‌باشد. بدنه قوسی سد و تکیه‌گاههای انتهایی آن در برابر نیروهای وارده مقاومت کرده و سالم مانده بودند، پایداری کلی شیبهای پشتی نزدیک سد به وضوح دیده می‌شد و در کل وضعیت سد، مطمئن به نظر می‌رسد.

۵. از لحظ سازه‌ای و ژئوتکنیکی حجم گسترده خسارات به مخازن آب، سدهای خاکی و بندها قابل تأمل بود، که نیازمند تحقیقات عمیقتر و گسترده‌تری در این زمینه می‌باشد. مهمترین خسارات وارده به سدهای خاکی عبارت بودند از: ترکهای عرضی در بالای سد، ترکهای طولی در بالای سد، زمین‌لغزش در بدنه مخازن این سدها و همچنین خرابیهای بدنه سد ناشی از زلزله اصلی و یا پس‌لرزه‌ها.

۶. تعداد قابل‌توجهی از منابع هوایی بتنی درجا عملکرد خوبی داشتند در حالی‌که تعدادی از منابع هوایی بتنی غیرمسلح یا کاملا ویران شدند یا آسیب شدید دیدند، از جمله ترکهای X شکل در قسمت سازه تکیه‌گاهی ایجاد گردید. منابع هوایی بتنی متحمل سایر خسارتها از جمله: کج شدن، ایجاد ترک برشی نیز شدند.

۷. از دلایل دیگر در این زلزله که منجر به خسارات شدید به تأسیسات آبرسانی گردید، ضعفهای اجرایی و عدم رعایت جزییات لرزه‌ای در طراحی‌ها بود که با توجه به مشکلات اجرایی و کیفیت اجرا در ایران، برای شرکتهای آب و فاضلاب و مهندسین و پیمانکاران کشور ما نیز می‌تواند آموزنده باشد.

۸- تشکر و قدردانی

از انجمن مهندسی زلزله چین، دولت محلی سیچوان، دانشگاهها و مراکز تحقیقاتی سیچوان به خاطر راهنماییهای مفیدشان در بازدیدهای میدانی و همچنین به خاطر اطلاعات ارزشمندی که در اختیار گذاشتند، تشکر می‌نمایم.

۹- مراجع

1. China Association of Earthquake Engineering, (2008). 2008 M8 Sichuan, China Earthquake, Field Investigation Report.

2. Global Risk Miyamoto (2008). Sichuan China M8 Earthquake.

۱۰– پانوشت

۱- *Longmenshan*

۲- *Mabian*

۳- *Xianshuihe*

۴- *Qing-Tibet Plateau*

۵- *Longmen Mountain*

۶- *Euro-Asia*

۷- *Wolong Station*

۸- *Qingping Station*