

بررسی جنبه‌های زلزله‌شناختی زمین لرزه ۱۶/۸/۱۳۸۴ بالاکوت (پاکستان) با بزرگای

گشتاوری $M_w=7.6$

مهدی زارع، دانشیار زلزله‌شناسی مهندسی، پژوهشکده زلزله‌شناسی پژوهشگاه

۱- چکیده

چیگرد است. علاوه بر آن، جهت حرکت به سوی شمال غرب در فلات هند، صفحه گسل در سازوکار ژرفی با شیب به سوی شمال شرق و ساز و کار فشاری با مؤلفه امتدادلغز چیگرد به عنوان صفحه گسل مسبب معرفی می‌گردد. در این مقاله، به این روند به عنوان روند "گسل مظفرآباد" اشاره شده است. زلزله در راستای روند گسله که حداقل بخشی از آن به عنوان گسل موری شناخته شده بود در حدفاصل بین باغ و بالاکوت فعال گردید. بر اثر جهت‌پذیری قائم و عمل کردن مؤلفه عمود بر گسل قوی، جنبش زمین با خرابی گسترده (بویژه به سوی شرق و شمال شرق) و راستای حرکت قوی در جهت شمال غرب - جنوب شرق (به موازات گسل) موجب خسارتهای شدید شده است. این زلزله پایان یک نبود لرزه‌ای بوده است. نقشه پهنه‌بندی خطر زلزله در پاکستان که قبل از وقوع زلزله تهیه شده بود، ناحیه رومرکزی زلزله بالاکوت را به عنوان منطقه با خطر متوسط نشان داده است. این موضوع نمایانگر لزوم بازنگری در نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لرزه در پاکستان است.

کلیدواژه‌ها: زمین لرزه بالاکوت، پاکستان، گسل مرزی اصلی، کشمیر، اسلام آباد، پهنه‌بندی خطر زلزله، مظفرآباد

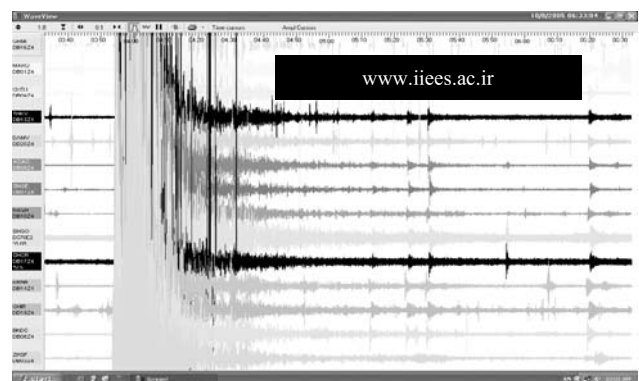
در تاریخ ۱۶/۷/۸۴ زلزله شدیدی با بزرگای گشتاوری $M_w=7.6$ رخ داد. کانون این زمین لرزه در حدود ده کیلومتری شرق شهر بالاکوت و چهارده کیلومتری شمال مظفرآباد پاکستان واقع بود. زمین لرزه موجب تلفات و خسارت گسترده در ایالت‌های سرحد، جامو و کشمیر آزاد در پاکستان و ایالت کشمیر هند و بخشهایی از شرق افغانستان گردید. سازوکار زمین لرزه به صورت فشاری با مؤلفه امتدادلغز، مدت دوام گسیختگی ۲۸ ثانیه و گسترش جبهه گسیختگی از پایین به بالا به نظر می‌رسد. پهنه گسیختگی در دو قسمت در بخشهای شمال غرب و جنوب شرق صفحه گسل دیده می‌شود. سازوکار گسلش، نمایانگر دو صفحه یکی با شیب به سوی شمال شرق و دیگری به سوی جنوب غرب است. با توجه به توزیع پس لرزه‌ها که وقوع ۴۷ پس لرزه با بزرگای بیش از $m_b=5.0$ را در یک ماه اول پس از رخداد زمین لرزه نشان می‌دهد، بیشتر آنها به سوی شرق و شمال غرب پهنه رومرکزی رخ داده‌اند. رخداد بیشتر زمین لغزشها در گستره شرق منطقه زلزله زده و سازوکار گسلهای بنیادی در منطقه (انتهای شمال غربی راندگی مرزی اصلی MBT) فشاری با مؤلفه امتدادلغز

۲- مقدمه

در تاریخ ۸۴/۷/۱۶ (۸ اکتبر ۲۰۰۵) ساعت هشت و پنج دقیقه به وقت محلی (ساعت ۳:۵۰:۳۸ به وقت جهانی) زلزله شدیدی با بزرگای گشتاوری $M_w = 7.6$ رخ داد که کانون رومرکز دستگاهی آن در حدود ده کیلومتری شرق شهر بالاکوت و چهارده کیلومتری شمال مظفرآباد پاکستان قرار داشت (شکل ۱). این زلزله در هر پانزده ایستگاه شبکه لرزه نگاری باند پهن پژوهشگاه ثبت شده است (شکل ۲).



شکل (۱): موقعیت منطقه زلزله زده بالاکوت در شمال باختر پاکستان

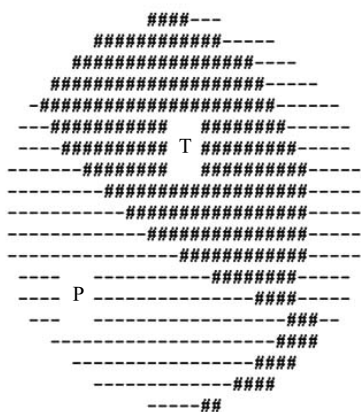


شکل (۲): نگاشتهای زلزله ۸۴/۷/۱۶ بالاکوت پاکستان ثبت شده در شبکه ملی باند پهن ایران [۱]

زمین لرزه موجب تلفات و خسارت گسترده در ایالتهای "سرحد"، "جامو" و "کشمیر آزاد" در پاکستان و ایالت کشمیر هند و بخشهایی از شرق افغانستان گردید. مردم در کابل، اسلام آباد و سرینگر کشمیر سراسیمه از خانه ها بیرون ریختند. بر اثر این زمین لرزه بالاکوت به طور کامل تخریب شد و خسارتهای سنگینی به مظفرآباد، باغ و راولاکوت وارد آمد. ساختمانها در مانسرها و ابوت آباد ویران گردید و برج ده طبقه مارگالا در اسلام آباد فرو ریخت. ارتباط تلفنی با پهنه رومرکزی زمین لرزه قطع شد. بر اساس گزارشهای رسمی بیش از ۷۳,۰۰۰ نفر کشته شدند.

زمین لرزه با ساز و کار فشاری و مؤلفه امتداد لغز رخ داد (شکل ۳). منطقه زلزله زده ناحیه ای کوهستانی با پتانسیل زیاد برای وقوع زمین لغزش است. این زمین لرزه موجب وقوع زمین لغزشهای پی در پی در منطقه رومرکزی، تخریب جاده ها، خطهای انتقال نیرو و مدفون شدن خانه های روستایی شد. ناپایدار بودن نوع ساخت و ساز سنتی و روستایی در منطقه زلزله زده موجب گسترش آسیب در منطقه رومرکزی شد.

Moment Tensor	Scale 10**20 Nm
Mrr=0.55	Mtt=-0.03
Mff=-0.52	Mrr=0.69
Mrf=-0.33	Mtf=0.41
Principal axes:	
T Val= 1.01	Plg=57 Azm=4
N 0.03	22 132
P -1.04	24 232
Best Double Couple: Mo= 1.0*10**20	
NP1: =358 =29 =140	
NP2: 124 72 67	



شکل (۳): ساز و کار ژرفی زمین لرزه ۸۴/۷/۱۶ بالاکوت پاکستان [۲]

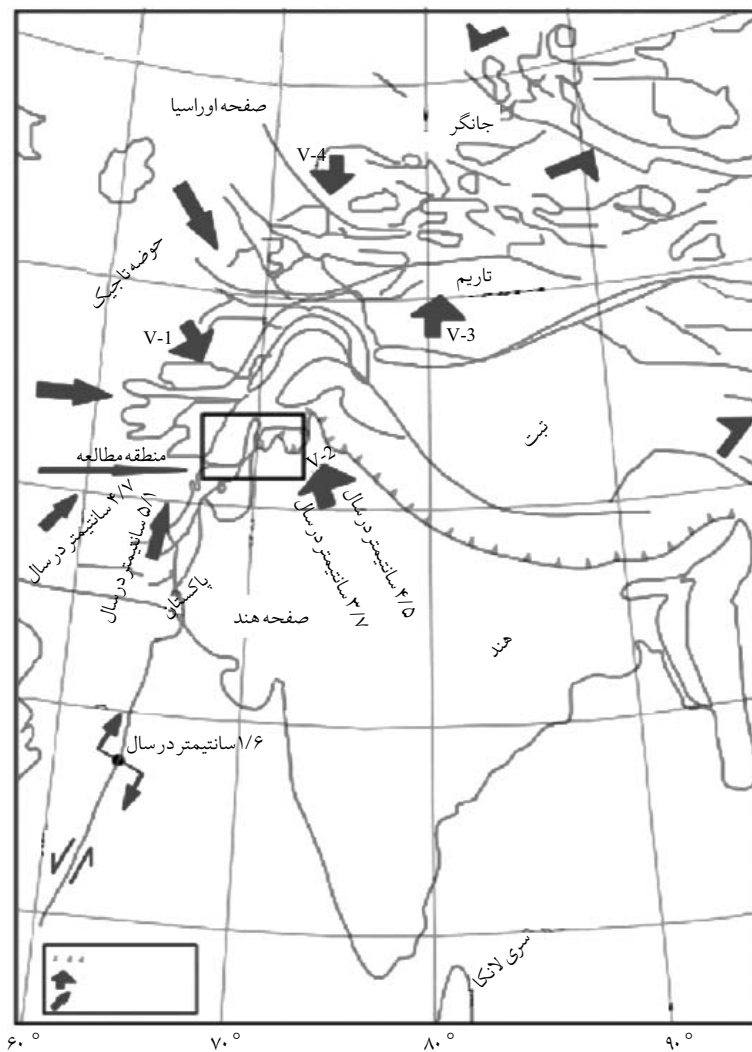
و پلیس مشاهده شد. اولین نیروهای امداد رسان از اهالی و مردم عادی بوده‌اند. ارتش پاکستان و نیروهای نظامی ایالت خودمختار جامو و کشمیر آزاد بتدریج بر منطقه زلزله زده تسلط یافتند.

۳- وضعیت عمومی لرزه زمین ساخت منطقه زلزله زده

منطقه زلزله زده (در شمال شرقی پاکستان) ساختار زمین شناختی متفاوتی با مناطق همجوار نشان می‌دهد (شکل ۴). برخاستگی ساختارهای این محدوده با توجه به زمین شناسی عمومی و داده‌های ژئوفیزیکی، نتیجه برخورد دو

خسارتهای زلزله تا لاهور در جنوب پهنه رومرکزی با فروریختن چندین مغازه گسترده شد. علاوه بر آن، خسارتهایی از راولپندی (در حدود سی کیلومتری اسلام آباد) و در منطقه سرینگر (مرکز کشمیر هند) نیز گزارش شده است. روند گسل شمال غربی - جنوب شرقی و گسلش از نوع فشاری و مربوط به روند گسلی است که به موازات روند راندگی مرزی اصلی (Main Boundary Thrust) در ناحیه حدفاصل پلاتفرم هند و آرک کوهستان در شمال پاکستان است.

پس از رخداد زمین لرزه نیروهای امدادی آمادگی نداشتند و در دقایق و ساعات اولیه سردرگمی وسیعی نزد مردم و نیروهای ارتش



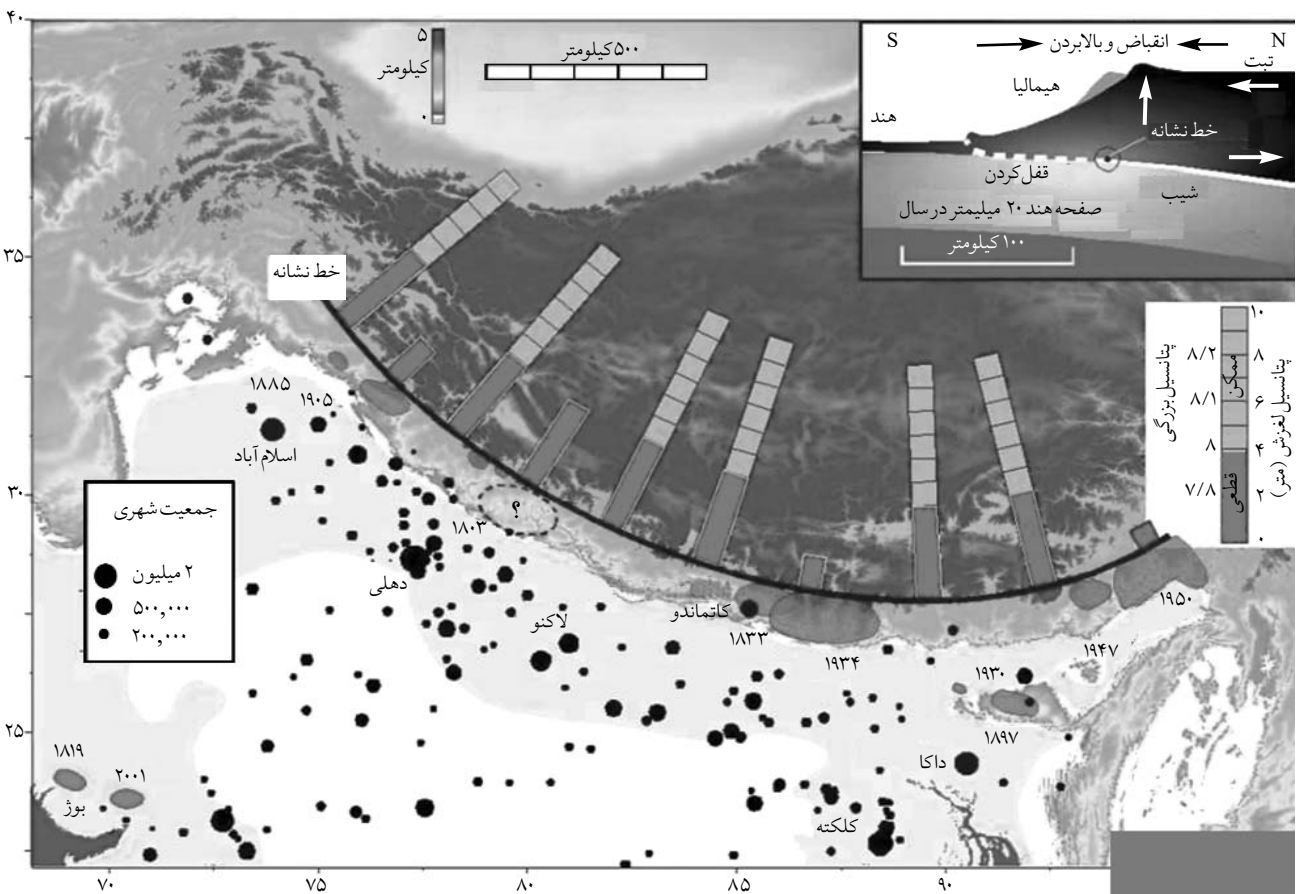
شکل (۴): ساختارهای بنیادی منطقه شمال باختری فلات هند [۳]

ورقه هند و اوراسیا (با چرخش و پیچ خوردن در جا و ثابت اوراسیا) می باشد و تشکیل شدن بلندیهای منطقه کشمیر و سرحد براساس برخورد ورقه جنوبی (هند) تفسیر می شود (شکل ۵). رشته کوههای هیمالیا با کوتاه شدگی و ضخیم شدگی پوسته بین ورقه های هند و آسیا که برخورد آنها از ۴۵ میلیون سال پیش اتفاق افتاده، شکل گرفته است. محدوده منطقه زلزله زده میان مرز شمالی پاکستان و هند و مرز جنوبی چین می باشد. برخورد بین ورقه های هند و اوراسیا باعث به وجود آمدن ساختارهای موجود در منطقه شده است (شکل ۶، الف).

کوتاه شدگی افقی و ضخیم شدگی قائم پوسته باعث به وجود آمدن کوههای بلندی در این منطقه شده و تغییر شکل و

ضخامت پوسته در منطقه، حاصل این برخورد می باشد. قسمت شمال پاکستان دچار تغییر شکل زمین ساختی شده و تحت تأثیر برخورد "قاره - قاره" هند و اوراسیا است. این ناحیه بعد از برخورد از سمت جنوب شرقی به شمال غرب حرکت کرده است. این گونه ساختارها در شرق منطقه در طول زمان ائوسن - پلیوسن تشکیل شده است. برخورد بین این دو قاره و فرورفتگی شمال تبت مانند راندگی کوهات از حدود ۴۵ میلیون سال پیش اتفاق افتاده است.

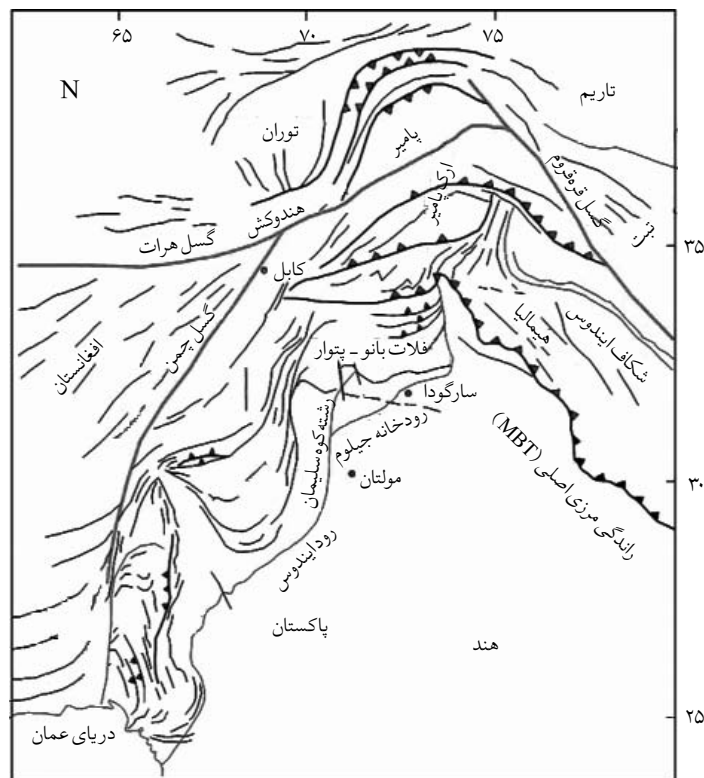
منطقه کوهات - پوتوار (Kohat-Potwar) در قسمت جنوب هیمالیا و رشته کوه قره قروم (Karakorum) نتیجه برخورد و فشار زمین ساختی هند و آسیا می باشد. حوضه کوهات - پوتوار بیشترین پیچیدگی تغییر شکل زمین ساختی را



شکل (۵): آهنگ کوتاه شدگی و بزرگای بالقوه در فلات هیمالیا [۴]



الف: نقشه زمین ساخت پاکستان [۴]. منطقه زلزله زده در حدفاصل پهنا کوهستان (رشته کوه رانده شده قره قروم-هیمالیا) و رشته کوه چین خورده هیمالیا قرار گرفته است.



ب: روندهای زمین ساختی اصلی در پاکستان. منطقه زلزله زده در حدفاصل بین فلات بانو - پتوار و رشته کوه رانده شده هیمالیا واقع است [۲].

شکل (۶): روندهای عمومی زمین ساختی منطقه زلزله زده

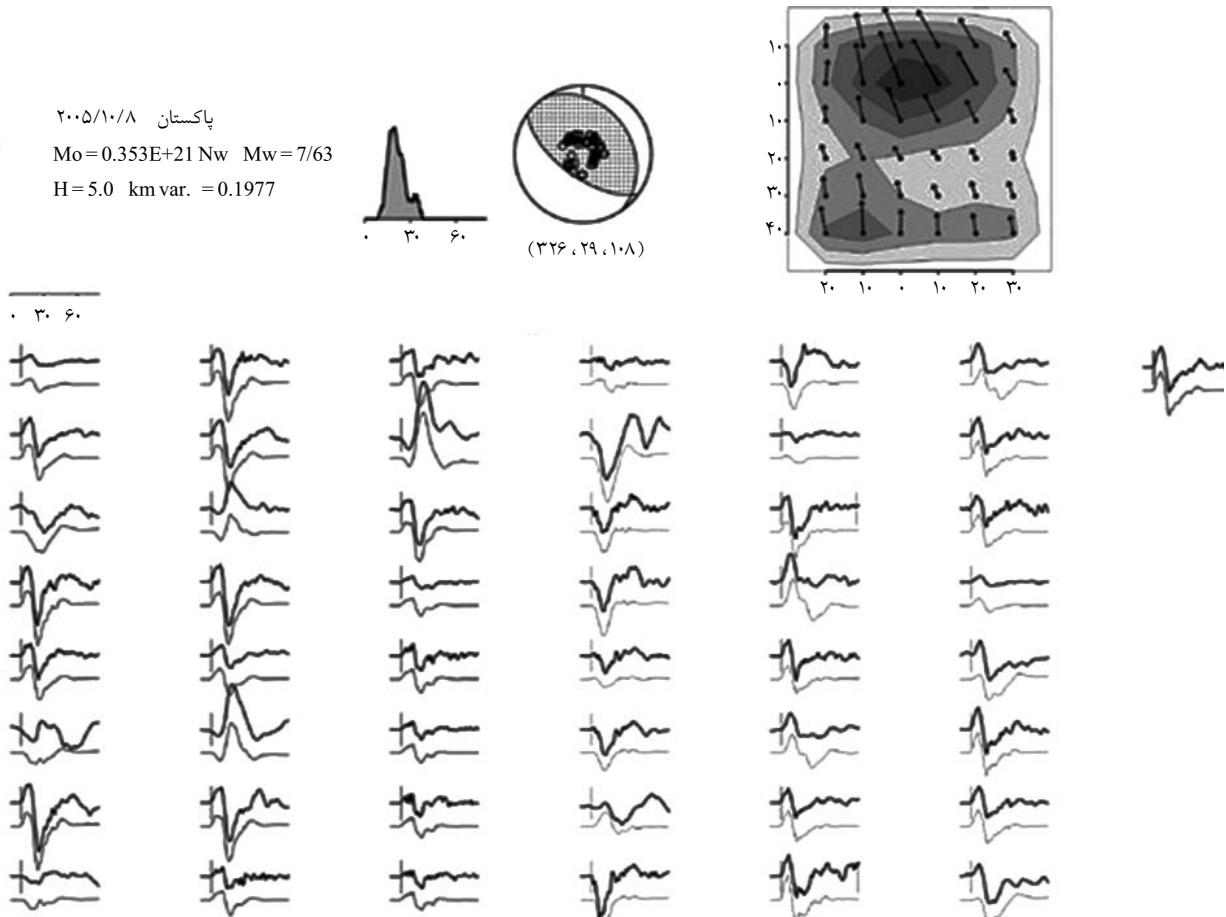
در شمال پاکستان نشان می‌دهد (شکل ۶، ب).

مطالعه زلزله‌شناختی منطقه نشان می‌دهد که ساختارهای دوگانه در کوه‌ها و وجود درکه امکان جدایش به صورت افقی روی هم داشته‌اند. علاوه بر آن، این مطالعات نشان می‌دهد که هنوز فرایند شکل‌گیری ساختارهای زمین‌شناختی در منطقه پایان نیافته است. منطقه دچار تغییر شکل ضخیم پوسته شده و پوسته بالایی آن شکسته و دارای شکستگی‌های چندگانه است. لایه‌های میوسن دچار جدایش شده و به آرامی در زمان ائوسن فشرده شده‌اند. رسوبات نهشته شده در منطقه مربوط به زمان کامبرین و رسوبات کامبرین - پرمین و ائوسن - میوسن در زمانهای مختلف تجمع پیدا کرده‌اند و دوناپیوستگی در منطقه وجود دارد.

در حدفاصل بین ایالت پنجاب و ایالت خودمختار جامو و کشمیر آزاد رودخانه کهاله باروند شمال، شمال غرب - جنوب، جنوب شرق در راستای گسل موری واقع است. مهمترین زلزله‌های رخ داده قبلی در پاکستان در سال ۸۹۳ (۸۹۴?) میلادی بابرگای ۷/۵ در شاه بندر در سند جنوبی (۱۵۰,۰۰۰ کشته)، زمین لرزه ۱۹۳۵/۵/۳۰ در کویته با بزرگای ۸/۱ (۳۵۰۰۰ کشته) و زمین لرزه ۱۹۴۵/۱۱/۲۷ مکران با بزرگای ۷/۹ (۲۰۰۰ کشته) است [۲].

۴ - مشخصات زلزله‌شناختی زمین لرزه بالاکوت

مدل چشمه زمین لرزه توسط یاگی سازوکار زمین لرزه را به صورت فشاری با مؤلفه امتداد لغز نشان می‌دهد (شکل ۷).



شکل (۷): بردار لغزش و سازوکار ژرفی بر اساس مدلسازی لرزه‌نگاشتها توسط یاگی [۵]

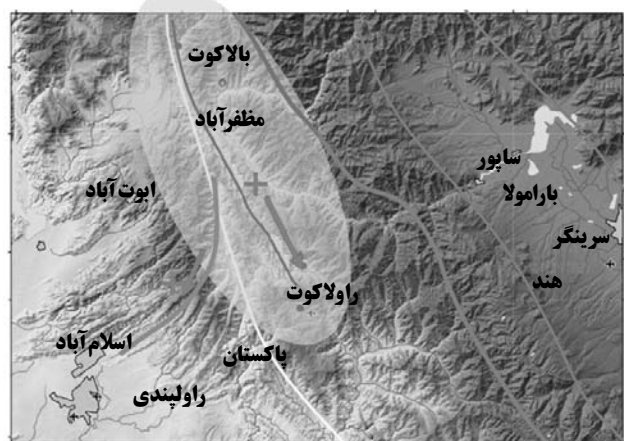
سوی شمال شرق و سازوکار فشاری با مؤلفه امتداد لغز چپگرد معرفی می‌گردد (تصویر ۲).



تصویر (۱، الف): توزیع زمین لغزشها در گستره مظفرآباد بر اساس تصویر پردازش شده توسط مرکز فضایی اروپا [۶]



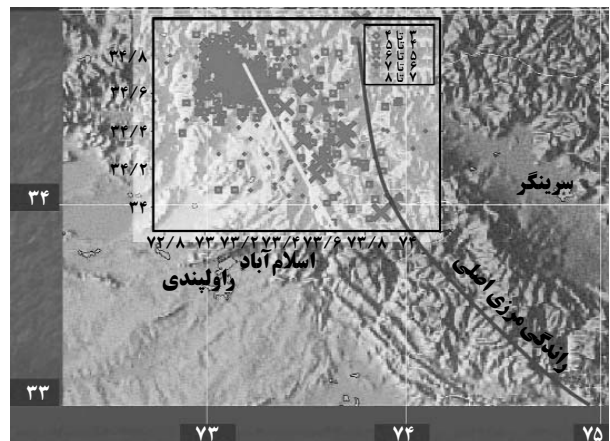
تصویر (۱، ب): توزیع زمین لغزشها در گستره بالاکوت بر اساس تصویر پردازش شده توسط مرکز فضایی اروپا [۶]



تصویر (۲): روند گسل مظفرآباد در زمین لرزه ۸۴/۷/۱۶ بالاکوت و راستای حرکت که برای این گسل برآورد می‌شود.

مدت دوام گسیختگی ۲۸ ثانیه برآورد شده و گسترش جبهه گسیختگی از عمق به سطح بر روی صفحه گسل به نظر می‌رسد. از سوی دیگر پهنه گسیختگی در دو قسمت در بخشهای شمال غرب و جنوب شرق صفحه گسل دیده می‌شود. به نظر می‌رسد که احتمالاً لرزه اصلی نمایانگر دو زیر رویداد (Subevent) بوده است.

این سازوکار توسط مرکز ملی اطلاعات زمین لرزه سازمان زمین شناسی آمریکا نیز گزارش شده است که نمایانگر دو صفحه یکی با شیب به سوی شمال شرق و دیگری به سوی جنوب غرب است (شکل ۳). توزیع پس لرزه‌ها که وقوع ۴۷ پس لرزه با بزرگای بیش از $mb=5.0$ را در یک ماه اول پس از رخداد زمین لرزه نشان می‌دهد، بیشتر به سوی شرق و شمال - غرب پهنه رومرکزی می‌باشد (شکل ۸). از سوی دیگر، رخداد بیشتر زمین لغزشها در گستره شرق منطقه زلزله زده مشاهده شدند.



شکل (۸): توزیع رومرکز پس لرزه‌ها [۲]

سازوکار گسلهای بنیادی در منطقه (انتهای شمال غربی راندگی مرزی اصلی MBT) نیز فشاری با مؤلفه امتداد لغز چپگرد است (تصویر ۱). علاوه بر آن، با توجه به جهت حرکت به سوی شمال غرب در فلات هند و موارد یاد شده، صفحه گسل در سازوکار ژرفی زلزله ۸۴/۷/۱۶ با عنوان صفحه با شیب به



تصویر (۳): زمین لغزش در راستای گسیختگی گسل مظفرآباد در جنوب بالاکوت



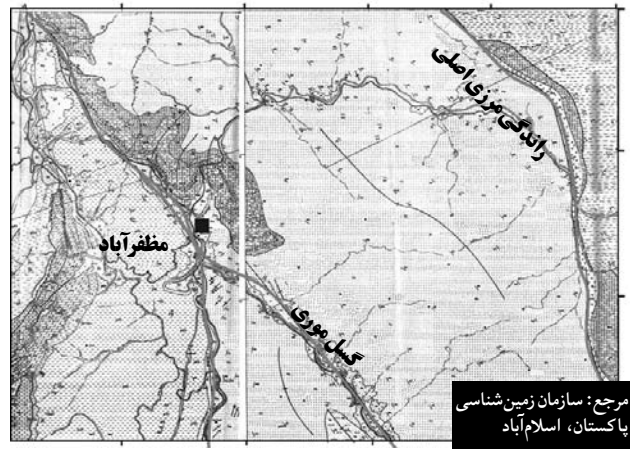
تصویر (۴): زمین لغزش در راستای گسیختگی گسل مظفرآباد در جنوب مظفرآباد



تصویر (۵): زمین لغزش بزرگ در نزدیکی "باغ" در راستای گسیختگی گسل مظفرآباد در شمال غرب باغ

(براساس گفتگوی شفاهی با دکتر داود شاه، مسؤول بخش مهندسی زلزله سازمان انرژی اتمی پاکستان، آبانماه ۸۴). لازم به یادآوری است که تا زمان نگارش این گزارش دسترسی به

در این مقاله به این روند به عنوان روند "گسل مظفرآباد" اشاره شده است. در نقشه زمین شناسی منطقه (تهیه شده توسط سازمان زمین شناسی پاکستان به مقیاس ۱:۵۰,۰۰۰) بخشی از این گسل به عنوان گسل موری معرفی شده است (شکل ۹).



شکل (۹): نقشه زمین شناسی منطقه زلزله زده به مقیاس ۱:۵۰,۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان زمین شناسی پاکستان (با تشکر از دکتر الله بخش کوثر، رئیس سازمان زمین شناسی پاکستان، شاخه اسلام آباد که این نقشه ها را قبل از انتشار در اختیار نگارنده قرار داده اند).

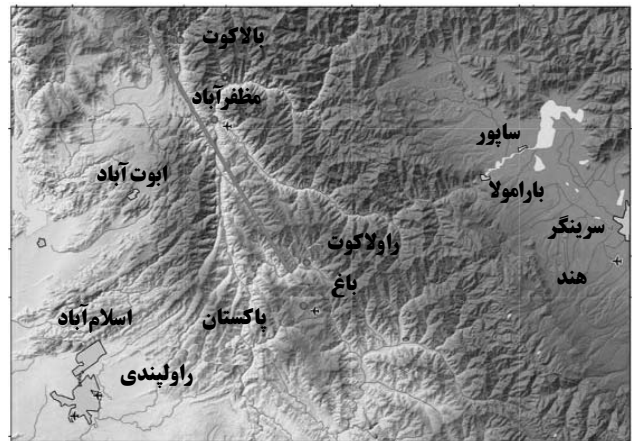
از سوی دیگر بیشتر اثرهای سطحی گسیختگی به صورت رخدادپی درپی لغزشهای دامنه ای از باغ (تصویر ۳) تا مظفرآباد (تصویر ۴) و بالاکوت (تصویر ۵) در راستای یک روند شمال غرب - جنوب شرق دیده می شود (تصویر ۶). زمین شناسان سازمان انرژی اتمی پاکستان (براساس گفتگوی شفاهی با نگارنده، آبان ماه ۸۴) این روند را به عنوان "گسل کشمیر" معرفی کرده اند. البته با توجه به عبور این گسل از مظفرآباد و اینکه کشمیر یک نام منطقه ای است، به نظر می رسد که گسل مظفرآباد نام بهتری برای این گسل باشد.

کانون زلزله ۸۴/۷/۱۶ بالاکوت در ۱۱۰ کیلومتری شمال اسلام آباد و ۱۷۵ کیلومتری شمال غرب سرینگر مرکز کشمیر واقع بود. مدت دوام گسیختگی بیست و هشت ثانیه و مدت دوام جنبش شدید زمین در ایستگاه شتابنگاری ابوت آباد در چهل و پنج کیلومتری رومرکز، ۳۷ ثانیه بوده است (شکل ۱۰)

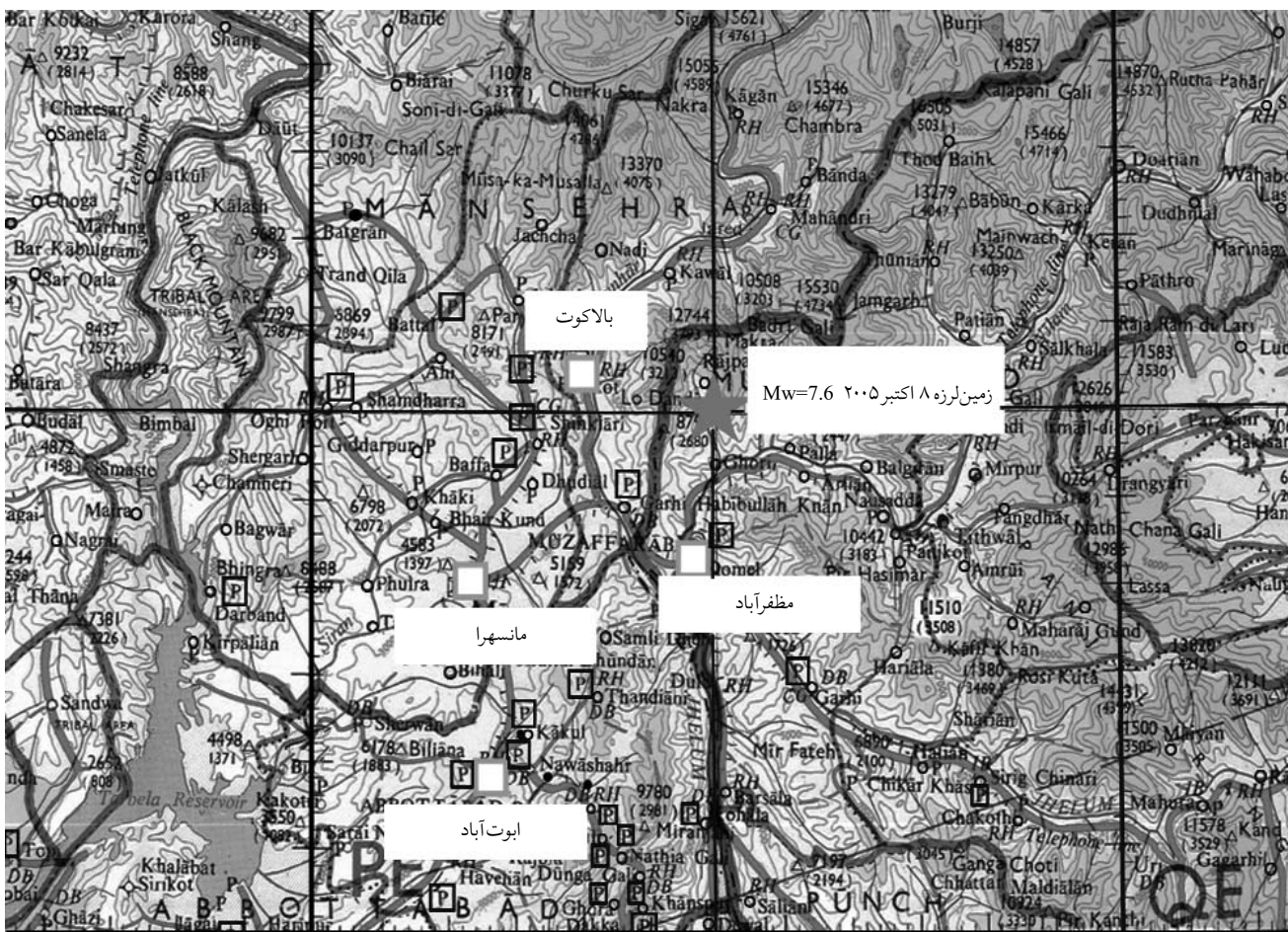
۵- اثرهای ژئوتکنیکی

بر اساس آنچه در منطقه زلزله زده در لحظات اولیه پس از وقوع زمین لرزه گزارش شده است، رخداد زمین لغزش در منطقه موجب برخاستن غبار عظیم بویژه در دره باغ و مظفرآباد و بالاکوت گردید (تصویر ۷). این پدیده با سقوط بلوکهای سنگی (تصویر ۸) به تخریب جاده‌ها (تصویر ۹)، مسدود شدن آنها و تراکم عبور و مرور منجر شد (تصویر ۱۰). در ناحیه کف دره رودخانه کهاله ارتفاع در حدود ۶۰۰ متر از سطح دریا و در بلندترین نقطه ارتفاع در حدود ۱۸۰۰ متر برآورد می‌شود. حدفاصل این دو سطح، اختلاف ارتفاعی در حدود ۱۳۰۰ متر نشان می‌دهد. در فاصله حدود ۲۵ کیلومتری شهر مظفرآباد مرکز ایالت جامو و

داده‌های رقمی شتابنگاری یا لرزه‌نگاری ثبت شده در پاکستان در مورد زلزله بالاکوت امکانپذیر نبوده است. ژرفای زمین لرزه ده کیلومتر برآورد شده است [۲].



تصویر (۶): راستای گسیختگی گسل مظفرآباد بین باغ و بالاکوت



شکل (۱۰): شهرهای اصلی آسیب دیده از زمین لرزه ۸۴/۷/۱۶ بالاکوت. موقعیت بالاکوت در جنوب غرب رومرکز مشخص شده است (نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه - سازمان نقشه برداری پاکستان)



تصویر (۹): ایجاد راهبندان پس از رخداد زمین‌لرزه ۸۴/۷/۱۶ بالاکوت در جاده اسلام‌آباد- مظفرآباد



تصویر (۱۰): تخریب جاده اسلام‌آباد- مظفرآباد بر اثر رخداد زمین‌لرزه ۸۴/۷/۱۶ بالاکوت

دیگر، لغزشها با تخریب پلها و تونلها نیز همراه بود که نمونه‌ای از آن در تونل (تصویر ۱۲) و پل جنوب مظفرآباد مشهود بود (تصویر ۱۳). تونل در مختصات $34^{\circ}, 20'$ عرض شمالی و

کشمیر آزاد، پلی ایالت‌های پنجاب و کشمیر را به هم متصل می‌کند و از این ناحیه پل به بعد، محدوده ریزشها در ناحیه شرق دره بیشتر قابل مشاهده است. لغزشها و خرابیها به سمت غرب دره کمتر می‌شود.



تصویر (۷): برخاستن غبار از مظفرآباد بر اثر رخداد زمین‌لرزه [۸]



تصویر (۸): سقوط بلوک‌های سنگی در نزدیکی مظفرآباد بر اثر رخداد زمین‌لرزه ۸۴/۷/۱۶

پدیده لغزش بویژه در بخشهای شرقی دره باغ تا مظفرآباد و دره بالاکوت مشاهده گردید. در بخشهای شرقی دره بالاکوت با تخریب و ایجاد گسیختگی در جاده‌ها عملاً استفاده از این جاده‌ها بسیار مشکل یا غیرممکن بود (تصویر ۱۱). از سوی



تصویر (۱۳): ایجاد شکاف در تونل واقع در جنوب مظفرآباد

۶- شدت زمین لرزه

نقشه هم شدت زمین لرزه ۸۴/۷/۱۶ بالاکوت بر اساس مشاهده خرابیها در پهنه رومرکزی و مطالعه گزارش خرابیها در نواحی ای که امکان بازدید از آنها فراهم نبود (نظیر سرینگر در هند و لاهور در پاکستان) تهیه شده است (شکل ۱۱). از نظر شدت زمین لرزه گستره بیشترین خرابیها (پهنه رومرکز مهلرزه‌ای، در محدوده ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر در پیرامون گسل) با تمایل بیشتر به سمت شرق و شمال شرق تعیین گردید. این روند شامل دره‌هایی است که مظفرآباد و سپس بالاکوت در آن قرار دارند. بر اساس مشاهده شدت خرابیها که در بالاکوت با تخریب کامل شهر همراه بود (تصویر ۱۴) و به عنوان مثال، موجب جابه‌جایی پل بتنی بر روی رودخانه بالاکوت به میزان بیش از یک متر گردید (تصویر ۱۵)، بالاکوت به عنوان مرکز مهلرزه‌ای محل مشاهده بیشترین خرابیها با شدت ده در مقیاس

۲۸', ۷۳° طول شرقی در ارتفاع ۶۵۰ متر از سطح دریا واقع است. این تونل در طول حدود ۵۰ متر از آبرفت‌های دامنه‌ای با ضخامت حدود ۱۰۰ متر عبور می‌کند. در کنار آن پلی ساخته شده که بر اثر ایجاد ترک‌های طولی و عرضی تخریب شده و تحت ریزش واریزه‌ای دامنه‌ای قرار گرفته است. داخل تونل هیچ نوع مهار یا پوششی دیده نشد. ریزشها نیز به حدی زیاد بود که در اولین روزهای بعد از رخداد زمین لرزه این پل بسته و عملاً جاده مسدود شده است. ارتباط بین اسلام‌آباد و مظفرآباد با بازگشایی مجدد همین تونل برقرار شده است.

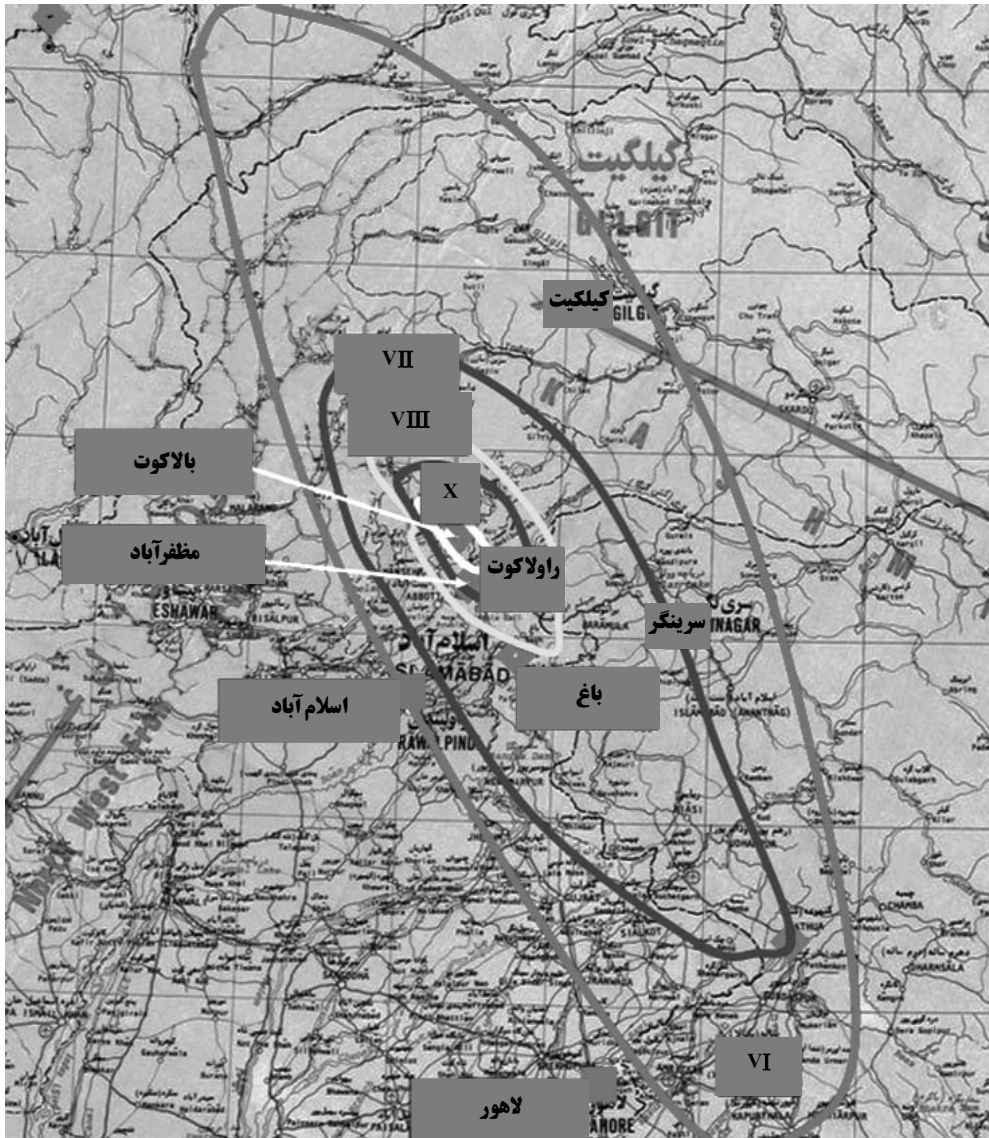


عکس از روزنامه نیوز:
۲۰۰۵/۱۰/۲۸

تصویر (۱۱): تخریب جاده در نزدیکی بالاکوت بر اثر ایجاد ترک‌های کششی سطحی در زمین لرزه ۸۴/۶/۱۷ بالاکوت پاکستان [۸]



تصویر (۱۲): تخریب دهانه و بخشی از تونل در جاده واقع در جنوب مظفرآباد بر اثر زمین لرزه ۸۴/۷/۱۶



شکل (۱۱): نقشه هم‌شدت تهیه شده توسط گروه شناسایی مناطق زلزله‌زده پژوهشگاه [ساسان عشقی و مهدی زارع، آبان‌ماه ۸۴]. مقادیر روی نقشه بر اساس مقیاس مهرزده‌ای اروپایی EMS98 می‌باشد.

فراوانی اتفاق افتاده و در نواحی دامنه‌ای بر شدت خرابیها افزوده است. تمام بناهای مسکونی و جاده منتهی به پل تقریباً آسیب جدی دیده‌اند.

مظفرآباد شهری است که در کف دره‌ای قرار گرفته است که دامنه‌های بسیار با شیب تند در اطراف شهر، آن را محاصره می‌کنند. شدت زلزله در این شهر با توجه به خرابیهای مشاهده شده در بیمارستان نظامی ایجاز گلاب XI در مقیاس EMS98 برآورد گردید (تصویر ۱۶). در ارتفاعات اطراف شهر لغزشهای

EMS98 برآورد می‌گردد. تمام ساختمانها در این شهر خراب شد. شهر در دره‌ای قرار دارد که حدفاصل ناحیه سرحد و ایالت پنجاب می‌باشد. شهر در ایلات سرحد شمال غربی و در شمال ایالت جامو و کشمیر آزاد قرار گرفته است. راستای دره بلاکوت به صورت شمال، شمال غرب - جنوب، جنوب شرق است. ارتفاع تقریبی در مرکز شهر بلاکوت ۱۰۲۰ متر و موقعیت آن در $34^{\circ}, 32'$ عرض شمالی و $73^{\circ}, 21'$ طول شرقی قرار دارد. از طرف دیگر، در کناره‌های شمالی و جنوبی دره، لغزشهای



تصویر (۱۴، الف): تصویر پانورامای شهر ویران شده بالاکوت



تصویر (۱۵، الف): پل بتنی بالاکوت که بر اثر زمین‌لرزه ۸۴/۷/۱۶ به میزان بیش از یک متر در راستای گسل جابه‌جا شده است.



تصویر (۱۵، ب): جابه‌جا شدن پل بتنی بالاکوت بر اثر زمین‌لرزه ۸۴/۷/۱۶

تصویر (۱۵): زمین‌لرزه ۸۴/۷/۱۶ بالاکوت

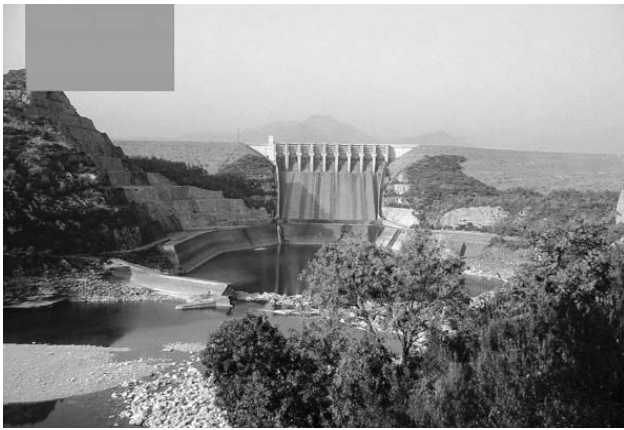


تصویر (۱۴، ب): نمونه‌ای از شدت خرابیها در بالاکوت

تصویر (۱۴): بالاکوت

بزرگی مشاهده شد. بلوک شمالی بیمارستان ایجازگلاب به دلیل ریزش طبقه هم‌کف کاملاً فرو ریخت؛ ولی، بقیه قسمتهای ساختمان آسیبهای کمتری دید. در داخل محوطه هم بعضی از ساختمانهای یک طبقه ویران شدند. یکی از پزشکان حاضر در بیمارستان هم حرکت افقی و هم حرکت قائم شدید را در هنگام زلزله به یاد می‌آورد. جهت خرابیهای اصلی، در راستای شمال غرب - جنوب شرق است (راستای گسل مسبب). در روز هجدهم بعد از رخداد زمین‌لرزه به نظر می‌رسید که زندگی شهری دوباره در این شهر برقرار شده است.

در مانسهر (تصویر ۱۷) و ابوت آباد شدت زمین‌لرزه VIII برآورد گردید (تصویر ۱۸). از سد خاکی - سنگریزه‌ای تار بلا نیز بازدید شد و با توجه به فاصله ۱۲۰ کیلومتری محور سد تار و مرکز

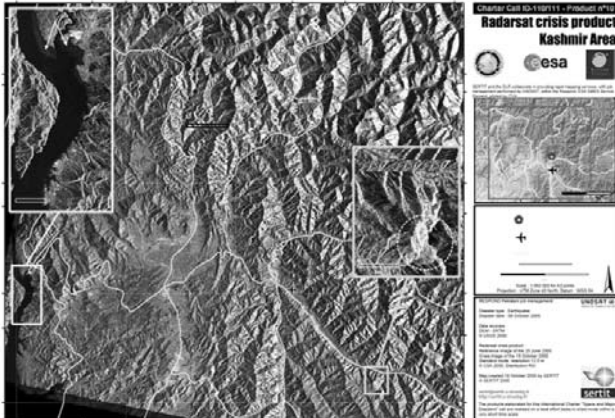


تصویر (۱۹): محور سد خاکی-سنگریزه‌ای تاربلا

زمین لرزه خرابی در محور و تأسیسات سد مشاهده نشد (تصویر ۱۹). در محدوده مخزن سد تاربلا به دلیل لغزش در محدوده مخزن سد (تصویر ۲۰)، ورود روانه گل به درون دریاچه مخزن سد تاربلا گزارش شد.



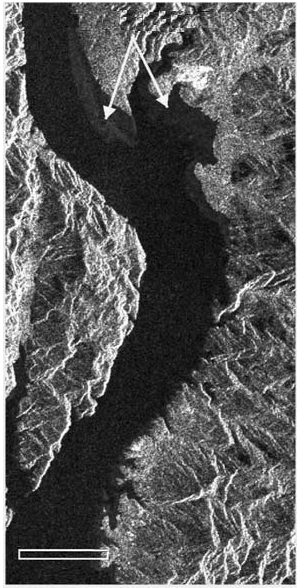
تصویر (۱۶): تخریب در بیمارستان ایجان گلاب مظفرآباد



تصویر (۲۰ الف): تصویر ماهواره‌ای سازمان فضایی اروپا از منطقه زلزله زده و مخزن سد تاربلا و زمین لغزشهای ایجاد شده در مخزن سد



تصویر (۱۷): نمونه تخریب در مانسهره



تصویر (۲۰ ب): بخشی از شکل (۲۰ الف) که مخزن سد تاربلا و زمین لغزشهای ایجاد شده در مخزن سد را نشان می‌دهد.



تصویر (۱۸): تخریب در بخشی از ساختمان یک هتل در ابوت آباد

تصویر (۲۰): تصویر ماهواره‌ای از زمین لغزشها

در مسیر حدفاصل بین شهر اسلام آباد تا منطقه کوهستانی حدفاصل پنجاب و ایالت جامو و کشمیر آزاد در مختصات $33^{\circ} 4'$ عرض شمالی و $73^{\circ} 23'$ طول شرقی و در ارتفاع ۱۶۰۰ متر محدوده لغزشها آغاز می شود و چنین منطقه ای ابتدای پهنه با شدت ۶ یا بیشتر در نظر گرفته می شود. از طرف دیگر، گسترش لغزشها در منطقه مزبور به صورت ریزش سنگریزه، افتادن بلوکهای سنگی، گسیختگی دامنه ای و تخریب کامل جاده می باشد.

علی رغم آنکه در بازدید از شهر اسلام آباد خرابیهای گسترده در شهر مشاهده نمی شد، یکی از برجهای مجموعه برجهای مارگالا واقع در شمال غرب اسلام آباد فروریخت (تصویر ۲۱). علاوه بر دلایل سازه ای برای خرابی برج مارگالا به نظر می رسد که جنس خاک (آبرفتی دانه ای با ماتریکس رسی) در محل برجهای مارگالا و واقع بودن آن بر روی یک بلندی احتمالاً می توانسته به عنوان دلیل تشدید موجهای رسیده به محل و کمک احتمالی به تخریب برج که مشکلات سازه ای مختلفی داشته است عمل کرده باشد.



تصویر (۲۱): یکی از برجهای مارگالا در شهر اسلام آباد [۹]

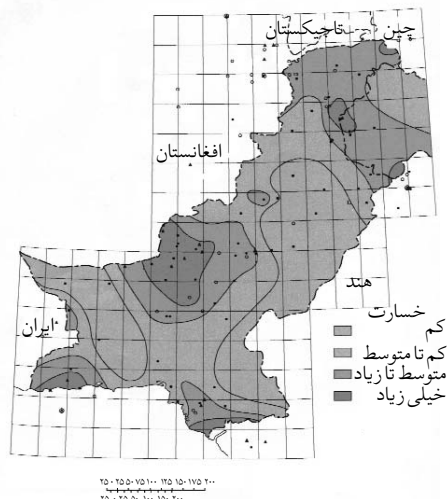
ارتفاع محل برج فروریخته ۵۵۴ متر از سطح دریا و مختصات محل $33^{\circ} 42'$ عرض شمالی و 73° طول شرقی است. جهت ریزش برج، شمال غربی - جنوب شرقی و به

موازات گسل مسبب زمین لرزه بوده است. ارتفاع محل پی برج نسبت به خیابانی که در جهت جنوب غربی آن قرار گرفته حدود ده متر بالاتر است. در مورد محل برجهای مارگالا نکته ای که به نظر می آید این است که احتمالاً مؤلفه افقی به موازات گسل در فروریختن برج تأثیر بسیاری داشته است.

۷- نتیجه گیری

زمین لرزه ۸۴/۷/۱۶ بالاکوت با بزرگای ۷/۶ با تلفات بسیار و خسارتهای گسترده جانی و مالی همراه بود. زلزله در راستای روند گسل مظفرآباد (حداقل بخشی از آن به عنوان گسل موری شناخته شده بود) در حدفاصل بین باغ و بالاکوت فعال گردید. بر اثر جهت پذیری قائم و عمل کردن مؤلفه عمود بر گسل قوی، جنبش زمین با خرابی گسترده بویژه به سوی شرق و شمال شرق همراه بود. راستای حرکت قوی نیز در جهت شمال غرب - جنوب شرق (به موازات گسل) با مشاهده جهت تخریب ساختمانها نمایانگر غلبه جنبش شدید زمین در این راستا بوده است. زلزله ظاهرآ پایان یک نبود لرزه ای بوده که زمان رخداد زلزله مهم قبلی بر اثر فعال شدن این گسل نامشخص است و مطالعات تفصیلی دیرینه لرزه شناسی در این مورد لازم است. شهر اسلام آباد در نزدیکی مرز بین کوه و دشت (راستای گسل جیلوم) واقع می باشد. در ناحیه شمال اسلام آباد به سمت دامنه های شمال و شمال شرق اسلام آباد این مرز ساختاری راستای شرقی - غربی نشان می دهد. این روند زمین ساختی در ناحیه شرق اسلام آباد با روند دیگری با راستای شمال تقریباً شرقی - جنوب غربی تلاقی دارد. از این رو، بخشهای شمالی و شمال شرقی این شهر محل های تلاقی روندها در مرز بین کوه و دشت است که پتانسیل زیادی برای جنباشدن دارد؛ بنابراین امکان رخداد زمین لرزه شدید در این

مناطق بالاست.

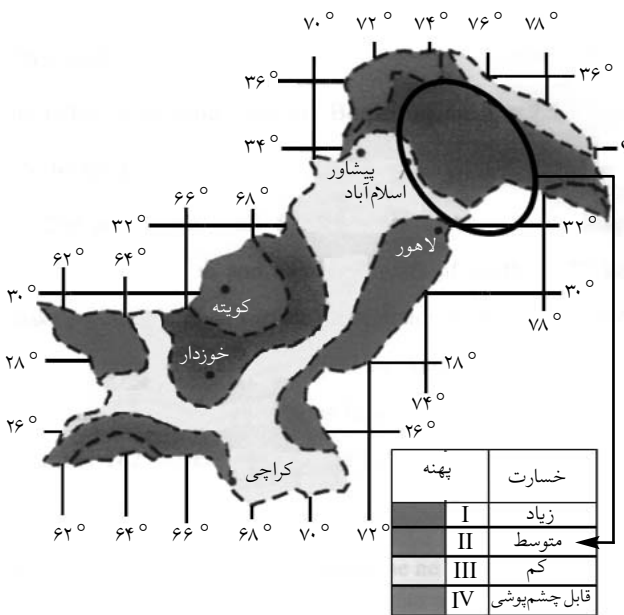


شکل (۱۳): نقشه پهنه بندی خطر زمین لرزه در پاکستان که بلافاصله پس از رخداد زلزله ۸۴/۷/۱۶ با بالا بردن سطح خطر در منطقه زلزله زده بالا کوت اصلاح مقدماتی شده است [۴].

۸- مراجع

1. Iranian National Broadband Seismograph Network. (2005). web site of the International Institute of Earthquake Engineering and Seismology. <http://www.iiees.ac.ir/>, October 2005.
2. National Earthquake Information Center web site. <http://neic.usgs.gov/>, October 2005.
3. Paracha, W. C. (2004). Kohat Plateau, A General Tectonic Study, 2004 CSEG National Conventions, Canadian Society for Exploration Geophysics, Great Explorations, Canada and Beyond, 4 pages.
4. Geological Survey of Pakistan (GSP), web site. <http://www.gsp.gov.pk/>, Oct. 2005 to Dec. 2005.
5. Yagi, Y. (2005). Tsukuba University web site. http://www.geo.tsukuba.ac.jp/press_HP/Yagi/study.html, October 2005.
6. www.eost.u-strasbg.fr, Oct, 2005.
7. Reuters Press Agency. (2005). web site. <http://www.reuters.com>, October 2005.
8. The News daily, published in Islamabad, Pakistan, Oct. 2005.
9. Associated Press. (2005). web site. <http://www.ap.org/>, October 2005. ◀

از طرف دیگر، بررسی نقشه پهنه بندی خطر زلزله پاکستان که توسط سازمان زمین شناسی پاکستان تهیه شده است نشان می دهد که پهنه رومرکز مهلرزهای زلزله بالا کوت به عنوان پهنه با خطر متوسط تعیین شده بود (شکل ۱۲). این موضوع نمایانگر لزوم بازنگری و روزآمد کردن نقشه های خطر زلزله در مقیاس کشوری و محلی در پاکستان و به طور کلی در ناحیه جنوب آسیاست. نقشه پهنه بندی خطر زلزله در پاکستان در ماه بعد از رخداد زمین لرزه به سرعت تصحیح و بر روی وبسایت سازمان زمین شناسی پاکستان قرار گرفت (شکل ۱۳). علی رغم اینکه در این نقشه منطقه بالا کوت و مظفرآباد با خطر خیلی زیاد معرفی شده است (رخداد زمین لرزه ۸۴/۷/۱۶ بالا کوت)، به نظر می رسد که با توجه به روندهای بنیادی زمین ساختی در پاکستان (شکل ۶) نیاز به تهیه نقشه های دقیقتر بر مبنای محاسبه و پهنه بندی خطر برای کشور پاکستان احساس می شود.



شکل (۱۲): نقشه پهنه بندی خطر زلزله قبل از رخداد زلزله ۸۴/۷/۱۶. تهیه شده توسط سازمان پاکستان (به منطقه زلزله زده که به عنوان منطقه با خطر متوسط مشخص شده است توجه شود). [۴].