بررسی خواص فیزیکی و چگونگی گسترش جانبی و عمقی رسوبات و کاربرد آن در پهنه‌بندی خطر با استفاده از GIS در گستره شهر بم

فرج‌اله فیاضی، خلیل رضایی، محمد نخعی، محمود فاطمی عقدا
دانشگاه تربیت معلم تهران

چکیده

امروزه اهمیت بررسی‌های دقیق زمین‌شناسی برای شهرهای دارای پتانسیل خطرات طبیعی برکسی پوشیده نیست. هر چه این بررسی‌ها در مقیاسی دقیق‌تر و به صورت توام انجام پذیرد، نتایج و دستاوردهای بهتری خواهد داشت. با هدف بررسی اثر ساختگاه در میزان تخریب سازه‌ها در شهر بم در کنار بررسی‌های لرزه شناسی، ژئوالکتریک و حفر چندین گمانه ژئوتکنیکی در نقاط مختلف شهر، بررسی رسوبات سطحی و زیر سطحی نیز به انجام رسیده است. پس از تلفیق همه نتایج با استفاده از GIS و نرم افزارهای مختلف کامپیوتری، اطلاعات دقیق و با ارزشی در خصوص چگونگی کیفیت و عمق رسوبات مختلف و سنگ کف در نقاط مختلف شهر، پراکندگی زون‌های شنی، ماسه‌ای و رسی در زیر شهر به دست آمده است. در انتها، نقاط مختلف بر اساس این پژوهش‌ها و تطابق با نقشه میزان تخریب در سطح شهر از لحاظ پهنه‌بندی خطر تفکیک شده و اولویت‌هایی برای انجام اموری نظیر نصب سیستم‌های پیش هشدار معرفی شده‌اند.

مقدمه

در طول تاریخ انسان‌های بسیاری جان خود را بر اثر زمین‌لرزه از دست داده‌اند. کشور ما نیز از این قاعده مستثنی نبوده است. تحلیل داده‌های لرزه‌ای ١٩٠٠- ١٩٨٩ نشان می‌دهد که تقریباً در هر سال یک بار به طور متوسط زمین لرزه‌ای با بزرگی حدود ٧ ریشتر در ایران اتفاق می‌افتد[١٣]. بررسی‌ها پراکنده و گوناگونی در نقاط مختلف ایران در زمینه زلزله‌شناسی انجام شده است، اما تا کنون پژوهش‌های اساسی و عمیقی در زمینه اثر ساختگاه در مناطق لرزه‌خیز صورت نگرفته است. به‌طور کلی خسارات، بیش‌تر به سبب ترکیبی از عوامل مختلف هستند. در این زمینه شناسایی وضعیت زمین و لایه‌های آن و گسل‌های فعال اهمیت زیادی دارد. بخش‌های خارجی زمین حالتی ناهمگن(غیرهموژن) و ناهمسان دارند و از این رو حرکت و عمل‌کرد امواج زلزله بسته به این‌که از چه محیطی بگذرد متفاوت خواهد بود[٢]،[١٦]. جنس و ساختمان زمین در بزرگی زلزله ایجادشده و فراوانی رخداد آن نیز نقش دارد. دانه‌بندی، تراکم، خاصیت روان‌شدگی و آب‌گونه شدن،ضخامت

واژه‌های کلیدی: بم، زمین شناسی، رسوب شناسی، GIS

دریافت ٨٥/٠٧/٢١ پذیرش ٨٦/١٢/١٥

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

خاک، نرمی خاک و عمق پی سازه‌ها از عوامل مؤثر بر تقویت امواج لرزه‌ای هستند[۱۷]. همواره بین وضعیت رسوبات و سنگ‌ها و سرعت عبور امواج لرزه‌ای از آن‌ها و در نتیجه میزان تخریب سازه‌ها می‌توان ارتباطاتی را مشاهده کرد. به‌طور کلی سازه‌های واقع بر روی رسوبات ریزدانه نسبت به درشت‌دانه‌ها بیش‌تر تخریب می‌شوند؛ زیرا در زمین‌های سخت تر و متراکم‌تر امواج لرزه‌ای سریع‌تر حرکت می‌کند و میزان انرژی آزاد شده در محل کم‌تر خواهد بود. در زمین‌های سست و ضعیف از سرعت امواج لرزه‌ای کاسته می‌شود و در عوض انرژی آزاد شده در آن‌ها بیش‌تر شده و میزان خسارات و تخریب‌ها افزایش می‌یابد[۱۰]،[۱۲].

بر اثر وقوع زلزله بم حدود ۷۰% ساختمان‌های شهر تخریب گردید[۲۲]. اگر چه ساختمان‌های منطقه از مقاومت لازم در برابر زلزله برخوردار نبوده‌اند، اما با توجه به بزرگی زمین‌لرزه میزان خسارت وارده به ساختمان‌ها و تاسیسات شهری شهر بم بسیار بیش‌تر از حد انتظار بوده است.یکی از دلایل احتمالی این تخریب قرارگیری شهر بر روی خاک‌های کم مقاومت ریزدانه با خاصیت خمیری کم گزارش شده است[۷]،[۱۷]،[۲۳]. در نگاه اجمالی می‌توان گفت در شهر بم ضخامت خاک از بخش شرقی به بخش غربی و از شمال به جنوب شهر ضخامت خاک کاهش می‌یابد و این امر در میزان تخریب سازه‌ها بر اثر زلزله مؤثر بوده است[۷]،[۲۷]. در شهر بم ساختمان‌ها از نظر مقاومت در برابر زلزله نامناسب بوده و در منطقه‌ای به طول ۳ کیلومتر در حاشیه گسل(در مرکز شهر) بیش‌ترین تخریب روی داده است. بسیاری از قنات‌های شهرهای بم و بروات فرو ریخته‌اند. در این منطقه اثرات ژئوتکنیکی زلزله مهم بوده و اثرات ساختگاه و نوع ساخت و ساز تأثیر زیادی روی الگوی تخریب شهر داشته است[۲۶]. در مورد شهر بم براساس بررسی‌ها مختلف قبلی، پرسش‌ها و ابهاماتی وجود داشت که ضرورت انجام پژوهش‌های رسوب‌شناسی را برای پاسخگویی قطعی به این پرسش‌ها امری ناگزیر می‌کند. ازاین ابهامات می‌توان به اختلاف در برآورد عمق سنگ کف با روش‌های مختلف ژئوفیزیکی، چگونگی میزان، روند تغییر جانبی و عمودی، پراکندگی و اختلاف رسوبات ریز و درشت و تأثیر آن‌ها در میزان تخریب سازه‌ها، میزان تطابق بررسی‌ها غیرمستقیم ژئوفیزیکی بر روی رسوبات با واقعیت آن‌ها، جنس و سن سنگ‌های رسوبی و آذرین به دست آمده از گمانه‌های متعدد ژئوتکنیکی اشاره کرد.

منطقه بررسی شده

محدوده تحت پوشش تحقیق به مساحت حدود ٤٠ کیلومتر مربع، محدوده مرکزی شهر بم است. مختصات UTM چهارگوش بررسی شده و بین نقاطی با مختصات (E ٣٢١٦٢٣٨، N٦٢٧٥٣٧) و (E٣٢٢٣٢٣٨، N٦٣٨٥٣٧) در زون ٤٠ واقع است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی منطقه

شهرستان بم از نظر ساختمانی جزء واحدهای ساختمانی ایران مرکزی و بلوک لوت است. شمال شهر بم مشرف به ارتفاعات بوده است که در پای آن آبراهه‌های متعددی شکل ظاهری زمین را تحت تأثیر قرار داده است؛ ولی مورفولوژی گستره شهر بم(محدوده پژوهش) را می‌توان مسطح قلمداد کرد. ارتفاعات بخش کوهستانی گستره بم که گسترش چندانی نیز ندارد، بخشی کوچک از چین‌خوردگی‌های ایران مرکزی است و سرچشمه رودخانه‌های منطقه محسوب می‌شود. با توجه به شیب توپوگرافی،جنس زمین، بارندگی‌های کوتاه و سیل آسا و فقدان پوشش گیاهی، نوع فرایند غالب بر این واحد را فرسایش آبی تشکیل می‌دهد[۷]،[۹].

از دیدگاه تکتونیکی در غرب بلوک لوت چندین گسل وجود دارد که گسل‌های بم، اندوهجرد و نایبند مهم‌ترین آن‌ها هستند. گسل بم به طول ۱۰۰ کیلومتر در مرز غربی لوت دارای ساز و کار راست‌گرد است. اما گسل مسبب زلزله(گسل ارگ بم)در مرکز شهر بم و در عمق تقریباً کمی قرار دارد. با نگاه به نقشه و در بازدیدهای صحرایی واحدهای زمین شناختی مختلفی در منطقه قابل رؤیت است که شامل سنگ‌های آذرین بیرونی آندزیت، تراکی آندزیت، تراکی بازالت دارای بافت جریانی و فنوکریست‌های پراکنده(به صورت ارتفاعات متمرکز و یا پراکنده در کنار ارگ بم)، توف‌های عمدتاً داسیتی،ریوداسیتی و اغلب دگرسان شده، واحدهای رسوبی ماسه سنگی، شیلی، مارنی، آهکی و تراورتن در مجاورت آبرفت‌های درشت‌دانه رودخانه‌ای بریده بریده[٦] با ضخامت و گسترش زیاد به‌خصوص در جنوب شهر است. سنگ آهک فسیل‌دار کرتاسه قدیمی‌ترین واحد در نقشه بم بوده که ولکانیسم ترسیر آن‌را در برگرفته و تحت تأثیر قرار داده است. در ستون چینه‌شناسی منطقه این واحدهای مارنی، آهکی و ماسه سنگی در روی آهک‌های کرتاسه و در زیر کنگلومرای کرمان به سن پالئوسن قرار دارند که این واحد کنگلومرایی در ارتفاعات رخنمون دارد. در بالای این لایه ولکانیک‌های ائوسن با مجموعه‌ای از گدازه‌ها، توف‌های جریانی و آذرآواری‌ها قرار می‌گیرند[۱]. برخی گدازه‌ها به‌طور کامل یا بخشی برشی شده و برخی از رسوبات آواری درشت مربوط به لاهارها هستند. یکی از پارامترهای مهم در زمینه اثر ساختگاه در لرزه‌خیزی یک منطقه سطح ایستابی آب زیرزمینی است. منطقه بم با وجود استقرار در حاشیه کویر دارای پتانسیل آب زیرزمینی بالایی بوده و سطح ایستابی به‌طور متوسط حدود ۶۰ متری بوده و در بخش مرکزی بم، تعداد ۱۱۳حلقه چاه عمیق، ١٤حلقه چاه نیمه‌عمیق و ۱۵۵ دهنه چشمه و ١٦٩ رشته قنات وجود دارد[۹](شکل‌های ۱و۲).

مواد و روش‌ها

با توجه به هدف کلی تحقیق، بررسی خصوصیاتی نظیر چگالی خاک و رسوبات کم عمق، تخلخل و نسبت پوکی و درجه اشباع از یک طرف و تلفیق نتایج به دست آمده از مشاهدات صحرایی و نتایج به دست آمده از

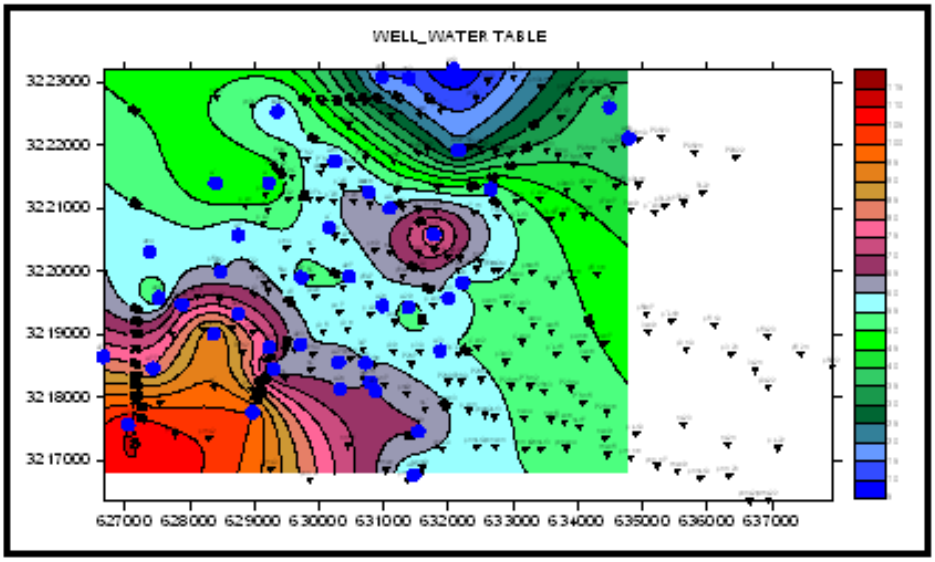
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

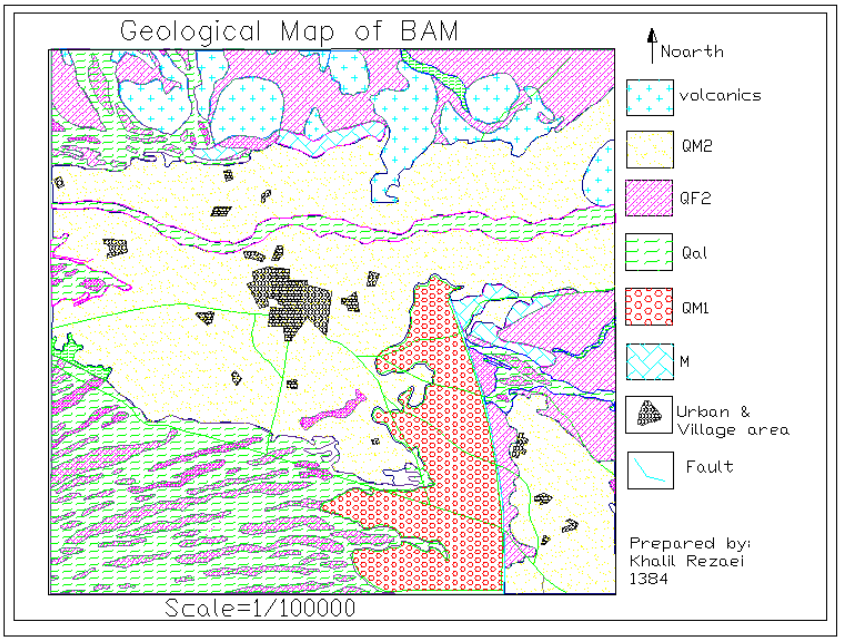
بررسی‌ها ژئوالکتریک و لرزه‌ای(سایزمیک) و داده‌های ژئوتکنیکی گمانه‌ها و با داشتن نقشه تخریب سطحی شهر از سویی دیگر، برای بررسی اثر احتمالی ساختگاه (Site Effect) رسوبی در وقوع زلزله بم از دیدگاه رسوب‌شناسی(در منطقه بم ساختگاه رسوبی است) چند هدف مرحله‌ای برای کار تعریف شد. این موارد به‌عنوان اهداف مرحله‌ای در کار در نظر گرفته شد: ۱. شناسایی کامل خاک و رسوبات سطح دشت ۲. شناسایی رسوبات تا عمق حدود ۳۰ متر(حداکثر عمق مؤثر)[۱۸] و شناخت وضعیت پراکنش آن‌ها، ۳. بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی رسوبات زیرسطحی منطقه ۴. تطابق کلیه نقشه‌ها تخریب سطحی و در نهایت مکانیابی نقاط پرخطر از دیدگاه رسوب‌شناسی و تلفیق و تحلیل نتایج. در عمل پس از انجام پژوهش‌های کتابخانه‌ای و جمع‌آوری داده‌های پایه چینه‌شناسی و رسوب‌شناسی در مقاطع عمودی و جانبی، در هنگام پژوهش‌های صحرایی(علاوه بر شناسایی واحدها، لیتولوژی، رنگ، لایه‌بندی و ساخت‌های رسوبی و..) به صورت سیستماتیک حدود۳۰۰ نمونه ازسطح دشت(خاک و رسوبات سطحی)و حدود ۷۰۰نمونه از دیواره چاه‌ها،قنوات و گمانه‌ها نمونه‌برداری شده و اقدام به تهیه لاگ حفاری برای آن‌ها گردید[۱۹]. سپس در بررسی‌های آزمایشگاهی، آزمایش دانه‌بندی روی خاک‌ها و رسوبات، مقایسه میانگین اندازه و جورشدگی، پتروگرافی سنگ‌ها و قطعات سنگی درون چاه‌ها انجام شد. در امر پردازش نرم‌افزاری داده‌ها با استفاده ازنرم افزارهای RockWork و Arc GIS لاگ‌های رسوبی از چاه‌ها و گمانه‌ها تهیه شده و تطابق (correlation) بین آن‌ها انجام شد. در انتها با داشتن همه اطلاعات و نقشه‌ها، با استفاده از GIS اقدام به تهیه و روی هم‌اندازی نقشه‌های مختلف از قبیل نقشه پهنه‌بندی انواع خاک در سطح و انواع رسوبات در اعماق گوناگون و مقایسه با دیگر نقشه‌ها(نقشه‌های هم مقاومت الکتریکی، هم عمق سنگ کف،تغییرات انواع رسوبات در اعماق مختلف، ریز پهنه‌بندی میزان تخریب) و مکان‌یابی نقاط پرخطر از دیدگاه رسوبات شد.

بحث و نتیجه‌گیری

از موضوعاتی که اکنون در مناطق زلزله‌خیز اهمیت شایانی دارد، رابطه رسوبات با نیروهای وارده و به تبع آن تأثیر بر سازه‌های بنا شده بر روی آن‌هاست. در بررسی ویژگی‌های مهندسی خاک‌ها و رسوبات باید از آن دسته از خواص زمین‌شناسی استفاده کنیم که بهترین شاخص ویژگی‌های فیزیکی یا زمین‌شناختی مهندسی باشد، این خصوصیات شامل: ۱. ترکیب کانی‌شناسی که رابطه نزدیکی با چگالی، حدود اتربرگ و شاخص پلاستیسیته دارد. ۲. ویژگی‌های ساخت و بافت مانند توزیع دانه‌بندی که با وزن مخصوص و تخلخل ارتباط دارد. ۳. میزان رطوبت، میزان رطوبت اشباع، استحکام، درجه هوازدگی و دگرسانی، درزدار بودن که با حالت فیزیکی خاک‌ها و سنگ‌ها ارتباط دارند و نمایانگر خواص مقاومت، ویژگی تغییر شکلی، درجه نفوذپذیری و دوام آن‌هاست[۸].

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]





شکل‌های ۱و۲. قسمتی از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰منطقه بم[۱](پایین) و نقشه موقعیت چاه‌ها، عمق سطح ایستابی و نمونه برداری(بالا)

روابط و روش‌های مختلفی برای محاسبه و بررسی ویژگی‌های دانه‌بندی خاک‌ها و رسوبات وجود دارد. برای بررسی حاضر برخی آزمایش‌ها و فرمول‌های تحلیلی به‌کار گرفته شده است که به‌طور مختصر بیان می‌شوند. درجه یکنواختی اندازه ذرات یک رسوب را جورشدگی رسوب می‌نامند. به کمک منحنی تراکمی می‌توان درجه جورشدگی ذرات تشکیل دهنده رسوب را نیز تجزیه و تحلیل کرد. پس از انجام دانه‌بندی از پر کاربردترین فرمول‌ها در این زمینه فرمول محاسبه ضریب یکنواختی(اندیس‌هازنC_U)[۱۳] و فرمول جورشدگی ترسیمی جامع فولک[۱۵] است که بدین صورت هستند(جدول ۱):

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

$$\delta 1 = \frac{\phi 84 - \phi 16}{4} + \frac{\phi 95 - \phi 5}{6.6} \qquad (C_U = D_{60}/D_{10})$$

بر اساس عدد حاصل از محاسبه C_U نیز می‌توان درباره یکنواختی و یا غیر یکنواختی خاک نظر داد[۱۳]. بر اساس نتایج دانه‌بندی خاک‌ها و رسوبات شهر بم بسیاری از گروه‌های دانه‌بندی به میزان متفاوتی در این منطقه وجود دارند که از آن جمله می‌توان به گروه‌های زیر اشاره کرد:

(GP,GW, SP,SW,GP-GM,SP-SM,SC,GP-GC,CL)

جدول ۱: مقادیر جورشدگی در رسوب‌شناسی

عدد برآورد شده(سیگما)	کیفیت جورشدگی و یکنواختی
کمتر از ۰/۳۵	بسیار خوب جور شده
۰/۳۵ تا ۰/۵۰	خوب جور شده
۰/۵۰ تا ۰/۷۱	نسبتاً خوب جور شده
۰/۷۱ تا۱	نسبتاً جور شده
۱تا۲	به‌طور ضعیف جور شده
۲تا۴	بسیار ضعیف جور شده
بیش‌تر از ۴	بی‌نهایت ضعیف جور شده

این رسوبات و خاک‌ها در قسمت سطحی تقریباً نظم جغرافیایی دارند به صورتی که در قسمت‌های جنوبی شهر دانه درشت تر و به سمت شمال شهر(رودخانه موجود)دانه‌ریزتر می‌گردند. این وضعیت در قسمت شمالی رودخانه نیز حکمفرما است و با فاصله گرفتن از ارتفاعات و نزدیک شدن به رودخانه ذرات ریزتر می‌شوند. با توجه به این‌که خاک‌های دانه‌ای سست در اثر ارتعاشات زلزله متراکم می‌شوند، در محل‌هایی که خاک از دانه‌های سست تشکیل شده، تمایل به فشرده شدن می‌تواند به ایجاد فشارهای آب منفذی اضافی در خاک منتهی شود و اندازه این فشارهای اضافی می‌تواند به قدری زیاد باشد که موجب روان‌گرایی خاک و در نتیجه ایجاد نشست و چرخش در ساختمان‌ها شود[۱۷](نظیر قسمت مرکزی،شرق و جنوب شرقی شهر بم).

همچنین شدت تکان زمین در حین زلزله و خسارات آن به ساختمان‌ها، تحت تأثیر شرایط زمین‌شناسی و خاک محلی است. یکی از مفصل ترین بررسی‌های انجام شده در مورد رابطه میان خسارت‌های وارد به ساختمان‌ها در اثر تکان‌های زلزله و شرایط خاک، بعد از وقوع زلزله ۱۹۶۷ کاراکاس در این شهر انجام شده است. هر چند بزرگی آن زلزله حدود ٦/٤ و فاصله کانون از کاراکاس حدود ٦٠ کیلومتر بود، اما تکان‌های زلزله موجب سقوط چهار ساختمان آپارتمانی ۱۰ تا ۱۲ طبقه با حدود ۲۰۰ نفر تلفات شدند. بسیاری از ساختمان‌ها متحمل خسارت‌های سازه‌ای و معماری گردیدند. در کاراکاس پژوهشی تفصیلی در زمینه رابطه میان خسارت‌های سازه‌ای وارد به ساختمان‌ها و عمق خاک زیرین انجام شد. ساختمان‌های واقع بر سنگ بستر به هیچوجه به اندازه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

ساختمان‌هایی که پی آن‌ها به زیر پوشش خاکی روی بستر سنگی نرسیده بود، صدمه ندیدند. در ساختمان‌های بلندتر، شدت خسارت‌های سازه‌ای برای عمق خاک بین ۵۰ تا ۷۰ متر اندکی بیش‌تر از عمق‌های کم‌تر خاک بوده است. بنا بر این با آن‌که ویژگی‌های ساختمان تأثیر بسیار مهمی بر میزان خسارت‌های وارده دارند، اما عمق و ویژگی‌های نهشته‌های خاکی زیرین نیز اثر شگرفی بر ویژگی‌های حرکت‌های زمین و خسارت‌های حاصل از آن بر ساختمان‌ها به جای می‌گذارند و به خوبی مشهود است که یکی از عوامل مؤثر بر حرکت‌های زلزله‌ای زمین شرایط خاک محلی است[۱۳]. در مورد شهر بم نیز با آن‌که ساختمان‌ها قدیمی و فرسوده بودند، اما هرگز نمی‌توان از تأثیر عامل شرایط محلی زمین و خاک بدون توجه گذشت. در این شهر تخریب در قسمت‌های مرکزی، شرق و جنوب شرق بیش‌تر است و به‌نظر می‌رسد که با میزان ذرات ریز خاک و رسوبات زیرین آن مناطق تطابق دارند. نکته مهم دیگری که در بررسی‌های رسوب‌شناسی مورد توجه واقع شد میزان سیمان‌شدگی متفاوت رسوبات در این منطقه است. در قسمت‌های جنوبی شهر (جنوب اتوبان) رسوبات درشت‌دانه بر اثر فعالیت‌های آب‌های زیرزمینی و نوسانات آن دچار سیمان‌شدگی شده و طبیعتاً از نظر استحکام وضعیت بهتری یافته‌اند. این سیمان‌ها از نوع سیمان ثقلی(gravitational) و متعلق به بالای سطح ایستابی یا منطقه وادوز هستند(شکل ۳سمت راست) در صورتی که به‌نظر می‌رسد در قسمت‌های شمالی این امر وجود ندارد.

از دیگر کارهای انجام شده در این بررسی، تلفیق اطلاعات ژئوالکتریکی و رسوب‌شناسی بود. در تلفیق بررسی‌های ژئوتکنیک، رسوب‌شناسی و ژئوالکتریک محدوده می‌توان به دو روش عمل کرد: ۱. توجه به نقشه‌های حاصل از پردازش نهایی داده‌ها در اعماق مختلف و مکان‌یابی گمانه و چاه‌ها بر روی آن‌ها ۲. پردازش داده‌های مختلف هر نقطه به تنهایی و تلفیق آن‌ها با یک‌دیگر. بر اساس بررسی‌های ژئوالکتریک منطقه بر مبنای محاسبات به عمل آمده رابطه عمق کاوش در این ناحیه اندکی بیش از مقدار AB/4 است که از این رابطه می‌توان برای تلفیق بررسی‌ها استفاده کرد. خوش‌بختانه پراکنش نقاط بررسی شده برای هر دو روش رسوب‌شناسی و ژئوالکتریک منطقه را به خوبی تحت پوشش قرار داده و تطابق نسبی خوبی دارند. در نزدیکی چاه‌های آب و قنات‌ها سونداژهای متعددی برداشت شده و می‌توان با تفکیک محدوده‌های مقاومت الکتریکی از نظر عمق آن‌ها را با رسوبات موجود تطابق داد و سپس برای کل منطقه همانندسازی کرد. همچنین با ترسیم نقشه‌های هم مقاومت الکتریکی ظاهری به منظور درک چگونگی گسترش لایه‌های عمقی و دارای مقاومت یکسان و تعیین حدود گسترش زون‌های دارای دانه‌بندی برابر، اشباع یا غیراشباع و همچنین سنگ کف منطقه بری مقادیرمختلف AB/2 و تلفیق و روی‌هم‌اندازی نقشه‌های هم‌عمق رسوبات با این نقشه‌ها می‌توان مقادیر متناظر را به دست آورد. برای مثال در نقشه هم مقاومت عمق حدود ۰/۵ متر به‌طور کلی از محل پروفیل‌های ٦به سمت شمال(٦تا۱۰) در سطح تا عمق۰/۵ متری بیش‌تر رسوبات ریزدانه و با مقاومت پایین(حداکثر ۵۰ اهم‌متر) وجود

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

دارد در حالی‌که در پروفیل‌های۱۱و ۱تا۵(قسمت جنوبی تا مرکزی شهر)اغلب رسوبات دانه‌درشت شن و ماسه‌ای با مقاومت بالاتر(۵۰تا۲۰۰ اهم متر) قرار دارند و احتمالاً به سمت جنوب اندازه ذرات درشت می‌شود و احتمالاً رسوبات آبرفتی به منشأ و بالادست نزدیک‌تر می‌گردند. البته در چندین نقطه نیز به صورت محلی بی نظمی‌هایی در میزان دانه‌بندی و درجه اشباع و یا وجود سنگ کف در سطح زمین و بالطبع مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری دیده می‌شود که احتمالاً ناشی از تغییر مسیر و جابه‌جایی بستر رودخانه‌های قدیم باشد. در نقشه‌های مقاومت الکتریکی تفسیر شده برای اعماق کم می‌توان دید که به‌طور کلی از سمت جنوب به شمال محدوده بررسی شده(شهر بم) و بدون ارتباط با عمق، مقاومت الکتریکی و میزان اندازه ذرات کاهش محسوسی را نشان می‌دهد. در مشاهدات سطحی نیز این امر به‌سادگی قابل مشاهده و ردیابی است. اگر نقشه‌های اعماق پایین‌تر از سطح را نیز بررسی کنیم همین روند تغییر مقاومت الکتریکی و تا حدودی اندازه ذرات کماکان پا برجاست. در صورتی که رسوبات زیرین دارای منشأ رودخانه‌ای بدانیم این نکته شاهدی بر جهت جریان‌های قدیم از جنوب به شمال است. اگر به صورت جداگانه هر گمانه ژئوتکنیکی و سونداژ برداشت شده در آن نقطه بررسی کنیم در آن‌صورت می‌توانیم مقادیر مقاومت الکتریکی متناظر با لیتولوژی و دانه‌بندی‌های حاصله در هر گمانه را به دست آورده و در نهایت به نتیجه‌گیری بهتری برای کل محدوده بررسی شده و تفسیر وضعیت زیرسطحی منطقه برسیم. در بم برای مثال یکی از چند گمانه بررسی شده در نقاط متفاوت شهر را مرور می‌کنیم. در مجاورت این گمانه‌ها در سطح شهر بم سونداژ ژئوالکتریکی برداشت شده و در آن‌ها دانه‌بندی از سطح زمین تا اعماق مختلف به دست آمده است. سونداژ حاصل را برای مقادیر اعماق تفکیک شده در گمانه تفسیر کرده و می‌توان مقادیر مقاومت الکتریکی مربوط به هر لایه را به دست آورد(برای مثال گمانه ۹)(شکل۵).

با توجه به روند منحنی سونداژ به‌نظر می‌رسد در صورت امکان گذر گمانه از لایه آخر احتمال برخورد به لایه یا لایه‌هایی با مقاومت الکتریکی پایین‌تر قوت بیش‌تری می‌یابد. همچنین می‌توان مشاهده کرد که مقادیر مقاومت الکتریکی تناسب بهتری را با نوع دانه‌بندی نشان می‌دهند و روند افزایش و کاهش آن‌ها با اندازه ذرات هماهنگ‌تر شده است. البته همان‌طور که ذکر شد از نقش پارامترهای دیگری نظیر جنس و تراکم ذرات و درجه رطوبت آن‌ها نباید غافل شد.

در مقاطع شمالی- جنوبی تهیه شده از تطابق گمانه‌ها نیز تداوم نسبی لایه‌ها بویژه در قسمت‌های سطحی و همچنین وجود لنزهای رسوبی به صورت موضعی قابل تشخیص است.در قسمت‌های شمالی شهر بالاآمدگی تدریجی و نسبی سنگ کف بر پراکنش این لنزها تأثیر بیش‌تری گذاشته و از ضخامت و گسترش آن‌ها کاسته است. در اعماق زیادتر و به‌خصوص در قسمت‌های مرکزی و جنوبی شهر می‌توان دره‌های مدفونی را متصور شد که از رسوباتی با دانه‌بندی مختلف پرشده‌اند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

در بخش دیگری از این پژوهش مقاطع میکروسکوپی تهیه شده از نمونه‌های سنگی و رسوبات درون گمانه‌ها بررسی شد که نتایج برخی از این مقاطع را در جدول ۲ مشاهده می‌کنیم(شکل۴).

شکل‌های ۳ و ٤. رسوبات سیمانته قسمت‌های جنوبی شهر(راست) و تصویر مقطع نازک یکی از نمونه سنگ‌های بررسی شده(چپ)

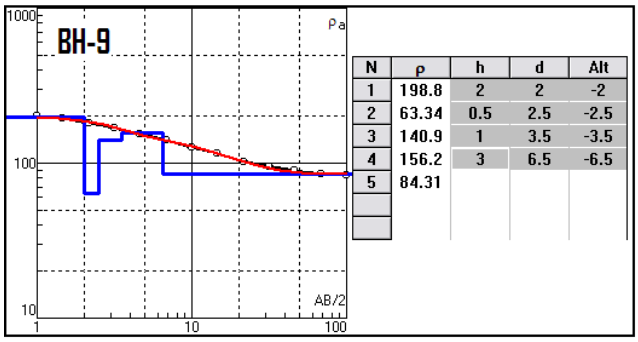
جدول۲. مشخصات برخی نمونه‌های سنگی درون گمانه‌های شهر بم

شماره و نام نمونه	کانی‌های اصلی	کانیهای فرعی	بافت	نام سنگ
BHP54	پلاژیوکلاز، هورنبلند،فلدسپات آلکالن و کانی‌های اپک	کوارتز ،سریسیت،کلسیت،کلریت و بیوتیت حاصله از تجزیه کانی‌های اصلی	پورفیری و فلسیتیک	آندزیت
BHP101	کوارتز و فلدسپات	سریسیت،کلریت و کانی‌های اپک	پورفیری فلسیتیک	ریوداسیت
BH64	فلدسپات و پیروکسن	کلسیت،سریسیت،اسفن،کانی‌های اپک	پورفیری میکرولیتیک	آندزی بازالت
BH6, BH2, BH14, BH15, BH16, BH17	خرده سنگ‌های آذرین، کوارتز،آهک	فلدسپات، آهک،اپک،پیروکسن،کلسیت	دانه متوسط	ماسه سنگ لیتارنایت
BH20	خرده سنگ‌های آهکی	کوارتز و فلدسپات و قطعات گراولی مختلف	دانه درشت تا متوسط	ماسه سنگ گراولی

با نگاهی اجمالی به نقشه زمین‌شناسی بم و پژوهش‌های قبلی و همچنین با توجه به شناسایی رسوبات و خرده سنگ‌های برداشت و بررسی شده از گمانه‌های ژئوتکنیکی می‌توان به نکاتی اشاره کرد: همان‌گونه که مشاهده می‌شود نمونه‌های آذرین هیچکدام ترکیب یکسانی نداشته و نمی‌توانند به یک مرحله آتشفشانی همزمان نسبت داده شوند. مقاطع رسوبی نیز ماسه و ماسه سنگ‌های شامل قطعات سنگی و خرده بلورهای مختلف و با منشأهای گوناگون هستند که با گل یا رسوبات به‌هم متصل شده‌اند. در بیش‌تر نمونه‌ها مقدار مواد پیروکلاستیک نسبت به

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

ذرات رسوبی بیش‌تر است. این شواهد نشان می‌دهد که قطعات سنگی حمل شده و سپس توسط رسوبات در برگرفته شده‌اند که هنوز به سنگی سخت تبدیل نشده‌اند. با توجه به خصوصیات مقاطع به نظر می‌رسد این رسوبات جزء رسوبات پیروکلاستیکی باشند؛ یعنی ذرات ولکانوکلاستی با عوامل حمل و نقل جابه‌جا شده و در نهایت در یک محیط رسوبی نهشته شده‌اند[۸]،[۲۱].



شکل ۵. منحنی صحرایی ژئوالکتریک و مقادیر متناظر گمانه ژئوتکنیکی شماره ۹

BH9(3)		
عمق	لیتولوژی	مقاومت الکتریکی
۰-۲	SW	۱۹۸
۲-۲/۵	SM	٦۳
۲/۵-۳/۵	GW	۱٤۰
۳/۵-٦/۵	Cobble	۱۵٦
٦/۵-۱۰۰	---	۸٤

در تفسیر محیط رسوبی احتمالی گذشته شهر بم(با هدف تشریح چگونگی تشکیل و انباشتگی حجم زیاد رسوبات موجود بر روی سنگ کف در محدوده بررسی شده و محیط رسوب‌گذاری قدیم این رسوبات) به‌نظر می‌رسد رسوبات این منطقه تحت تأثیر فرایندهای رودخانه‌ای از نوع بریده بریده[۱۵]،[۲۰] نهشته شده باشند.

برخی کانی‌های موجود در مقاطع نیز حاصل دگرسانی بوده که خود می‌تواند دو نکته را تداعی کند: اول این‌که در فاصله رخدادهای ولکانیکی که در آرامش نسبی بر منطقه حکم‌فرما است، فرایندهایی نظیر هوازدگی و تأثیر آب‌های جوی باعث این تبدیل‌ها شده‌اند. دوم این‌که تحت تأثیر آب‌های زیرزمینی(که به‌دلیل وجود ولکانیک‌ها و شرایط حرارت و فشار لازم به محلول‌های هیدروترمال تبدیل گشته‌اند)کانی‌ها و سنگ‌ها دچار تغییر و دگرسانی گشته‌اند. در صورت یافتن شواهد خاک‌های قدیم در ستون چینه‌شناسی می‌توان مورد اول را بیش‌تر مورد تأکید قرار داد که البته باید همزمان باشند[۵]. یافتن شواهدی نظیر دگرگونی سنگ‌ها و رسوبات یک یا دو طرف لایه سنگ‌های آذرین می‌تواند دلیلی بر گدازه سطحی یا ماگمای بین لایه‌ای(سیل،Sill) بودن این لایه باشد. بدیهی است در صورتی‌که تنها بخش زیرین این سنگ‌ها توانسته باشند رسوبات یا سنگ‌های زیر خود را تحت تأثیر دگرگونی درجه ضعیف قرار دهند گدازه‌ها سطحی بوده و فوران آتش‌فشانی صورت گرفته است. در صورتی‌که سیل‌ها واحدهای بالا و پایین خود را تحت تأثیر قرار داده و طبیعتاً درجه این تأثیر بیش‌تر از گدازه‌های سطحی است[۸]. اندازه بلورها نیز در این امر دلیلی کمک کننده است و بلورهای سنگ‌های متعلق به سیل‌ها درشت تر از بلورهای پراکنده در شیشه گدازه‌های سطحی هستند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

در مورد نمونه‌های رسوبی حاصل از گمانه‌های ژئوتکنیکی نیز با توجه به وفور خرده سنگ‌ها و کانی‌های آذرین می‌توان دو دیدگاه را مورد توجه قرار داد، یکی این‌که در طی دوره‌های زمانی دارای بارندگی‌های شدید، مواد آذر آواری انباشته شده در روی دامنه‌ها و مناطق پر شیب بالادست در اثر اختلاط با آب‌های جوی دچار روان‌گرایی بالا شده و به صورت جریان‌های گلی سیلابی به سمت مناطق پایین دست جاری گشته و دشت رسوبی را نیز پوشانیده‌اند[۲۵]. لازم به ذکر است انرژی جریان در طی این‌گونه رخدادها بالا بوده و قطعات سنگی بسیار بزرگ نیز می‌توانند در طی این جریان‌ها برای مسافت‌های طولانی جابه‌جا شده و در دشت با کاهش شیب و انرژی رژیم جریانی ته نشست یابند. از ویژگی‌های این جریان‌های خرده‌دار می‌توان به عدم جورشدگی، گردشدگی و یک‌نواختی کانی‌شناسی اشاره کرد. احتمال دیگری که می‌توان بر پراکنش رسوبات و مواد آذرآواری همراه موجود در گمانه‌های ژئوتکنیکی بیان کرد توجه به اصل یک‌نواختی و این‌که محیط رسوبی امروزه دشت بم تحت سلطه شدید رسوبات گسترده رودخانه‌ای از نوع بریده بریده است که با فراوانی خرده سنگ‌ها،قطعات و قلوه سنگ‌های درشت و ناچیز بودن ذرات ریز رسی و سیلتی مشخص می‌شوند. این نوع رودخانه‌ها در مناطق بالا دست و پرشیب‌تری قرار دارند و دارای رژیم جریانی بالایی هستند که در آن‌ها جورشدگی هیدرولیک وجود دارد و به سمت مناطق پایین دست اندازه ذرات به‌تدریج ریزتر می‌شود. همچنین زیر محیط غالب در این‌گونه رودخانه‌ها سدهای گراولی و ماسه‌ای بوده و به‌ندرت لنزهایی از رسوبات ریزدانه رسی و سیلتی دشت سیلابی در آن‌ها یافت می‌شود[۱۹]. این احتمال با توجه به مقاطع محدود تهیه شده از گمانه‌های ژئوتکنیکی، به میزان بیش‌تری تأیید می‌شود. تغییر ضخامت لایه‌های رسوبی یافت شده در گمانه‌ها را می‌توان با عوامل تکتونیکی توجیه کرد؛ زیرا اغلب محیط‌های رودخانه‌ای، با وجود پدیده قطع شدگی و تغییر مسیر کلی(evulsion) که باعث گسترش جانبی زیاد این رسوبات در پهنه‌ای وسیع می‌شود، به‌خودی خود گسترش جانبی کمی دارند و گاهی به حفر بستر خود پرداخته و ضخامت بسیاری نیز می‌یابند[۲۴]. البته در این مورد، فرسایش کف بستر به صورت بی‌نظمی‌هایی در کف و در زیر کنگلومراهای قاعده‌ای، ریزشوندگی اندازه ذرات به سمت بالا(در ستون چینه‌شناسی)، رنگ قرمز غالب ذرات(محیط اکسیدان)می تواند در تشخیص آن‌ها کمک کند[۱۵]. ساخت رسوبی چینه‌بندی متقاطع نوع تابولار نیز تأییدی بر این محیط رسوبی است[۵]،[۷].

حرکات تکتونیکی گذشته می‌توانند هم در مقیاس منطقه‌ای و هم محلی با تغییر ارتفاع و سطح اساس در منطقه باعث تغییر رژیم جریانی، اندازه ذرات و شیب بستر شوند، بر پیچیدگی و تنوع ذرات رسوبی رودخانه‌ها بیفزایند [۲۴]. به‌دلیل فراوانی نسبی ذرات درشت دانه گراولی و ماسه‌ای و ناچیز بودن ذرات رسی و وجود توالی ریزشونده به سمت بالا ذرات در ستون چینه‌شناسی می‌توان فرضیه رودخانه‌ای بودن این رسوبات از نوع بریده بریده را بیش‌تر مورد تأمل و توجه قرارداد[۶]. همچنین سازند کنگلومرایی وسیعی در نواحی کرمان، طبس و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

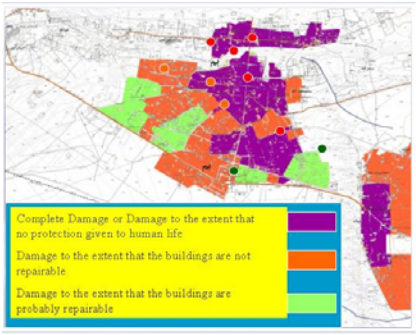
دشت لوت در زیر سنگ‌های آتش‌فشانی ترسیر (کنگلومرای کرمان با سن پالئوسن) در نظر گرفته شده است[٤]. در صورتی‌که لایه‌های سنگی مشاهده شده در گمانه‌های ژئوتکنیکی را مربوط به فعالیت‌های ولکانیک بدانیم؛ باید لایه زیرین آن‌ها با رخنمون‌های این کنگلومرا(کرمان) سازگاری داشته باشد(برای نمونه گمانه شماره۹).

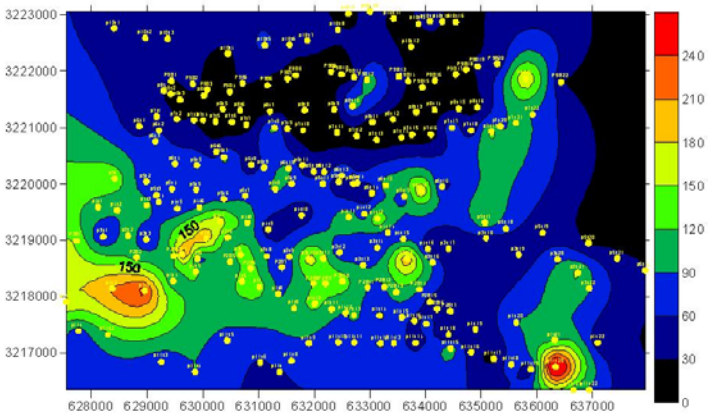
رسوبات جوان این منطقه شامل سیلت و ماسه زرد تا قهوه‌ای، شن‌های درشت دانه پهنه‌های سیلابی و بادزن‌های آبرفتی و رودخانه‌ای بوده و ضخامت آن‌ها در سطح متفاوت است[١٢]. گسل بم رسوبات قدیمی کواترنر را بر روی رسوبات جوانتر شرق بم قرار داده و این رسوبات قدیمی مورفولوژی تپه‌ای دارد و با سیستم آبراهه‌ای قطع شده‌اند. در برش نزدیک گسل بم، بروات(حاشیه جاده) می‌توان توالی این رسوبات را مشاهده کرد که لایه‌های ریزدانه ضخامت کم‌تری را نسبت به درشت دانه‌ها دارند. داده‌های به دست آمده از گسل مسبب زمین‌لرزه بم و بررسی‌های جدید[١١]،[١٢] نشان می‌دهد که زلزله دارای کانونی در عمق حدود ٧ کیلومتر است. مکان گسل در٣/٥ کیلومتری غرب گسل بم و در مرکز شهر گزارش کرده‌اند، با بررسی ستون چینه‌شناسی و داده‌های پژوهش‌هایی نظیر ژئوالکتریک و نتایج حاصل از این پژوهش‌ها بعید به نظر می‌رسد حرکات گسلی رسوبات رویی را جابه‌جا کرده باشند و گسل مذکور تنها سنگ کف را تحت تأثیر قرار داده است. اگر بتوان نقشه‌های میزان تقریبی تخریب را با نقشه‌های خاک سطحی و رسوبات در اعماق مختلف روهم پوشانی کرد؛ می‌توان به نکات جالب توجهی پی برد. در شهر بم خرابی و تخریب خانه‌ها در سه صورت کم، زیاد و متوسط دیده می‌شود(شکل ٦و٧) و با توجه به وسعت کم شهر و فاصله از گسل می‌توان به دنبال دلایلی نظیر کیفیت سازه‌ها، شدت حرکت زمین و زمین‌شناسی سطحی، ضخامت و نوع لایه سطحی، توپوگرافی سنگ کف و فرکانس طبیعی ساختمان‌ها و زمین گشت. در این راستا می‌توان گفت از سمت غرب به شرق میزان تخریب افزایش قابل توجهی می‌یابد و اغلب ساختمان‌ها روی خاک نرم بنا شده است. از دیدگاه برخی پژوهندگان فراوانی رویداد زلزله با پوشش رسوبی ضخیم برروی پی سنگ مرتبط است[١٤]. نهشته‌های ضخیم، جوان و اشباع از آب می‌توانند همانند یک زون گسلی یک زون پرخطر لرزه‌ای محسوب شوند. بخش‌های اشباع نشده رسوبات رویی همانند سنگ‌پوش عمل می‌کنند وبه‌دلیل بی‌نظمی در پخش لرزه‌ها، تخریب‌ها متفاوت بوده و از نظم خاصی تبعیت نمی‌کنند. خاک‌های رسی سست، خاک دانه‌ای و برجا بر حسب وضعیت ساختاری می‌توانند مشابه سنگ هوازده و ضعیف عمل کنند. ساختار خاک از تلفیق پیوند بین ذرات و فابریک آن‌ها حاصل می‌آید. از فرایندهای زمین‌شناسی مؤثر بر ساختار خاک‌ها می‌توان به فرایندهای هنگام و پس از رسوب‌گذاری اشاره کرد[١٣].

نگاهی به نقشه هم‌عمق سنگ کف نشان می‌دهد که در محدوده مرکزی شهر عمق قرارگیری سنگ کف پایین‌تر از سایر نقاط بوده است و در اغلب نقاط واقع در این قسمت سنگ کف شناسایی نشده است. حاشیه شمالی

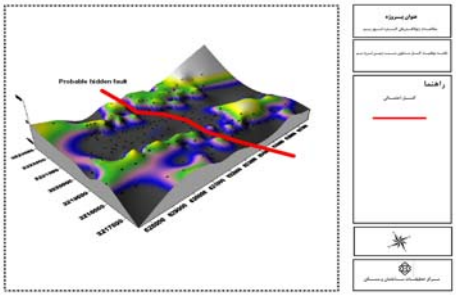
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

شهر سنگ کف عمق کم‌تری داشته و در کل می‌توان گفت که عمق قرارگیری سنگ کف در محدود شهر بم به بیش از ۲۰۰ متر می‌رسد. با توجه به وجود بیرون زدگی آذرین در حاشیه شمال شهر، اما عمق زیاد سنگ کف احتمالاً به‌دلیل تأثیر رودخانه‌های غربی، شرقی در این محدوده بوده که با حمل و رسوب‌گذاری نهشته‌های رودخانه‌ای باعث ضخامت زیاد آبرفت شده‌اند(شکل۸). بنا بر این می‌توان گفت در نقاط مرکزی و جنوب شرقی شهر بم میزان تخریب زیاد با ریزتر شدن ذرات رسوبی و خاک منطقه می‌تواند تطابق داشته باشد. همچنین بستر رودخانه در طی زمان دچار تغییر مسیر شده و می‌توان شواهد آن‌را در نقاط مختلف شهر و در درون ترانشه‌های مختلف مشاهده کرد. به‌نظر می‌رسد میزان یک‌نواختی و جورشدگی رسوبات با وجود بی‌نظمی‌های محلی، از مسیر و شیب بستر رودخانه‌های قدیم تبعیت کرده و دارای جورشدگی هیدرولیک هستند. این امر برای افق‌های خاص و اعماق متفاوت نظم بیش‌تری نشان می‌دهد(شکل۹).





شکل‌های۶ و۷ . نقشه پراکنش میزان تخریب (چپ) و یکی از نقشه‌های هم عمق مقاومت الکتریکی در سطح شهر بم(راست)



شکل‌های۸ و ۹ . نقشه هم عمق(راست)،موقعیت و توپوگرافی سنگ کف و گسل مسبب زلزله(چپ) درشهر بم

به‌طور خلاصه، بر اساس تلفیق بررسی‌های رسوب‌شناسی و ژئوفیزیکی می‌توان گفت که در نقاط مختلف ناحیه بررسی شده لنزهای رسوبی در اندازه‌های گوناگون وجود دارد که اغلب از نظر دانه‌بندی و نیز درجه اشباع بسیار متفاوت هستند. پراکندگی این عدسی‌های رسوبی تقریباً نامنظم بوده و ذرات رسی بسیار دانه‌ریز تا درشت‌دانه و سنگ‌های آذرین مستحکم و بدون خردشدگی را در برمی گیرد. در قسمت‌های جنوبی شهر تنوع

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

لایه‌بندی رسوبات بیش‌تر از شمال شهر است و می‌توان تغییرات شدیدی را در برخی نقاط از نظر عمقی مشاهده کرد که مبین تغییر شدید در لایه‌بندی رسوبات به‌ویژه از نظر دانه‌بندی و میزان رطوبت است. همچنین یک گسستگی تقریبی دیده می‌شود که تقریباً روند مشخصی را نشان داده و ممکن است با روند گسل احتمالی موجود در سنگ کف مطابقت تقریبی داشته باشد. پراکنش رسوبات دانه درشت و دانه‌ریز با درجه رطوبت متفاوت و بالا آمدگی‌های نقطه‌ای در سنگ کف از موارد مشهود و قابل ذکر است. تغییرات اندازه ذرات برای حدود عمقی ۰ تا ۲ متری نشان می‌دهد که در قسمت‌های شمالی و شمال غربی محدوده بررسی شده، اعداد بیش‌تر تحت تأثیر قرار گرفتن رطوبت ناشی از وجود آبراهه و رودخانه شمالی شهر بم پایین هستند، ولی در محدوده‌های مرکزی و جنوبی‌هاله‌های کم مقاومت معرف عدسی‌های ریزدانه و هاله‌هایی با مقاومت بالا معرف عدسی‌های درشت‌دانه هستند. در عمق بین ۲ تا ۵ متری نیز در حاشیه شمالی محدوده بررسی شده با کاهش اندازه مواجه هستیم. در قسمت‌های مرکزی محدوده شهر بم به صورت پراکنده عدسی‌های درشت دانه نیز مشاهده می‌شود. در محدوده جنوب غربی شهر بم مقاومت الکتریکی زیاد بیش‌تر به‌دلیل درشت‌دانه بودن نهشته‌های سطحی می‌تواند باشد. در برخی اعماق‌هاله‌های درشت‌دانه نیز به صورت متراکم یا پراکنده در گستره شهر بم دیده می‌شوند ولی عمده نهشته‌های این عمق را می‌توان در رده دانه متوسط جای داد. سنگ کف از توپوگرافی یک‌نواختی برخوردار نبوده و در برخی نقاط(که البته این نقاط به سمت شمال شهر و ارگ قدیم بیش‌تر می‌شوند) بالاآمدگی نشان داده و در اعماق کم‌تری قابل ردیابی است. همچنین در میانه شهر می‌توان به صورت مایل یک شکستگی را در سنگ کف متصور شد. در محدوده مرکزی شهر عمق قرارگیری سنگ کف پایین‌تر از سایر نقاط بوده و در اغلب نقاط واقع در این قسمت سنگ کف شناسایی نشده است. حاشیه شمالی شهر سنگ کف عمق کمتری داشته و در کل می‌توان گفت که عمق قرارگیری سنگ کف در محدود شهر بم به بیش از ۲۰۰ متر می‌رسد. دانه‌بندی رسوبات نیز تنوع زیادی داشته و از گراول تا رس را در بر می‌گیرد که تا حدود زیادی از محیط رسوبی غالب بر منطقه یعنی رودخانه‌ای و آبرفتی تبعیت می‌کنند. با توجه به تطابق تقریباً مناسب نقشه‌های تهیه شده با نقشه میزان تخریب در سطح شهر پیشنهاد می‌شود که مناطق مرکزی، شرقی و جنوب شرقی به‌دلیل خطر بیش‌تر از دیدگاه ما برای اولویت بندی استقرار سیستم‌های پیش هشدار باید مهم در نظر گرفته شوند.

خلاصه نتایج

۱. از نظر دانه‌بندی خاک‌ها و رسوبات شهر بم بسیاری از گروه‌های دانه‌بندی را به‌میزان متفاوتی را در بر دارند که از آن جمله می‌توان به گروه‌های زیر اشاره کرد:

(GP,GW, SP,SW,GP-GM,SP-SM,SC,GP-GC,CL)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

۲. رسوبات سطحی در قسمت‌های جنوبی شهر دانه درشت‌تر و به سمت شمال شهر (رودخانه موجود) دانه ریزتر می‌شوند.

۳. در این شهر تخریب در قسمت‌های مرکزی، شرق و جنوب شرق بیش‌تر بوده و به‌نظر می‌رسد که با میزان ذرات ریز خاک و رسوبات زیرین آن مناطق تطابق دارند.

۴. میزان سیمان شدگی رسوبات در این منطقه متفاوت است. در قسمت‌های جنوبی شهر (جنوب اتوبان) رسوبات درشت‌دانه بر اثر فعالیت‌های آب‌های زیرزمینی و نوسانات سطح آن دچار سیمان‌شدگی شده و طبیعتاً از نظر استحکام وضعیت بهتری پیدا کرده‌اند در صورتی که به‌نظر می‌رسد در قسمت‌های شمالی این امر وجود ندارد.

۵. از نظر مقاومت الکتریکی به سمت شمال از سطح تا عمق ۰/۵ متری بیش‌تر رسوبات ریزدانه و با مقاومت پایین وجود دارد در حالی‌که در قسمت جنوبی تا مرکزی شهر اغلب رسوبات دانه درشت شن و ماسه‌ای با مقاومت بالاتر قرار دارند و احتمالاً رسوبات آبرفتی به منشأ نزدیک‌تر می‌شوند. البته در چندین نقطه نیز به صورت محلی بی نظمی‌هایی در میزان دانه‌بندی و درجه اشباع و یا وجود سنگ کف در سطح زمین و بالطبع مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری دیده می‌شود که احتمالاً ناشی از تغییر مسیر و جابه‌جایی بستر رودخانه‌های قدیم باشد.

۶. با بررسی‌ها میکروسکوپی مشاهده می‌شود نمونه‌های آذرین هیچ‌کدام ترکیب یک‌سانی نداشته و نمی‌توانند به یک مرحله آتش‌فشانی هم‌زمان نسبت داده شوند. مقاطع رسوبی نیز ماسه و ماسه سنگ‌های شامل قطعات سنگی و خرده بلورهای مختلف و با منشأهای گوناگون هستند که با گل یا سیمان به هم متصل شده‌اند. در بیش‌تر نمونه‌ها مقدار مواد پیروکلاستیک نسبت به ذرات رسوبی بیش‌تر است.

۷. محیط رسوبی رسوبات دشت بم رودخانه‌ای و تحت تأثیر فرایندهای رودخانه‌ای از نوع بریده بریده بوده است.

۸. در شهر بم خرابی و تخریب خانه‌ها به سه صورت کم، زیاد و متوسط دیده می‌شود. از سمت غرب به شرق میزان تخریب افزایش قابل توجهی می‌یابد و اغلب ساختمان‌ها روی خاک نرم بنا شده است. از دیدگاه برخی محققین فراوانی رویداد زلزله با نهشته شدن رسوبات ضخیم برروی پی سنگ مرتبط است

۹. عمق قرارگیری سنگ کف در محدود شهر بم به بیش از ۲۰۰ متر می‌رسد.

۱۰. مناطق مرکزی، شرقی و جنوب شرقی به‌دلیل خطر بیش‌تر از دیدگاه ما برای اولویت‌بندی استقرار سیستم‌های پیش هشدار باید مهم در نظر گرفته شوند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

تشکر و قدردانی

در پایان بر خود لازم می‌دانیم از زحمات و حمایت‌های آقایان دکتر علی بیت‌اللهی و دکتر سعیدهاشمی طباطبایی از مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن وزارت مسکن بخاطر در اختیار قرار دادن اطلاعات لازم تشکر و سپاس‌گزاری کنیم.

منابع

۱. آقا نباتی،علی،نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰بم*سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور* (۱۳۷۲).

۲. جعفری،محمد کاظم،صنیعی،همایون،حیدری،مجتبی*طبقه بندی ساختاری خاک‌های رسی و کاربرد آن برای طبقه بندی خاک‌های رسی*- سیلتی تهران، فصلنامه علوم زمین،شماره ۳۵-۳۶،(۱۳۷۹) ص۱۸-۲.

۳. حسینی، سید علی، *بررسی اثر ساختگاه و پدیده‌های ژئوتکنیک لرزه‌ای منطقه بم پس از زمین‌لرزه ۵ دیماه ۱۳۸۲* ،پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه زمین شناسی(۱۳۸۴)،۱۵۴ص.

۴. درویش زاده،علی،۱۳۷۰، *زمین‌شناسی ایران*،انتشارات نشر دانش امروز،۹۰۱ص.

۵. رضایی،خ. و رفیعی،ب. ، *مقدمه‌ای بر رسوب شناسی*، ترجمه‌ای از سنگوپتا۱۹۹٤، انتشارات دانشگاه بوعلی همدان (۱۳۸۳).

۶. رضایی،خ. و جلیلیان،ع.، *رسوب‌شناسی کاربردی*، ترجمه‌ای از سوختانکار۲۰۰۴، انتشارات کتاب آراد(۱۳۸۵).

۷. رضایی،خ.،فیاضی،ف.،نخعی،م.،بیت اللهی،ع.، *بررسی رسوب‌شناسی و خصوصیات ژئوفیزیکی رسوبات شهر بم*،اولین سمپوزیوم مقابله با سوانح طبیعی،دانشکده فنی دانشگاه تهران(۱۳۸۵).

۸. سرابی،ف.اُیرانپناه،ا. و زرعیان،س.۱۳۷٤،*سنگ شناسی*،انتشارات دانشگاه تهران،ج۱.

۹. شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، معاونت بررسی‌ها منابع آب، *گزارش آماری آب‌های زیرزمینی دشت بم و نرماشیر(۱۳۷۸)*.

۱۰. عسکری،فرج ا...، فاخر،علی، *تورم و واگرایی خاک‌ها* ،انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران(۱۳۷۲)،۲٤۵ص.

۱۱. فاطمی عقدا،م.،صادقی،ح.، ملکی،م.،جعفر گندمی،آ.،حسینی،ک.،سوزوکی،س.،ناکامورا،ت.،ماتسوشیما، ت.، *ساختار گسل مسبب زلزله ۵ دیماه بم و پیشنهاد گسل ارگ بم*، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس(۱۳۸٤).

۱۲. فرزانگان،ا.، *بررسی لرزه زمین ساخت و جنبش نیرومند زمین در گستره بم*، نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم(۱۳۸٤).

۱۳. قنبری،ع.، *مبانی زمین‌شناسی مهندسی و مکانیسم زلزله*، انتشارات دانشگاه تبریز(۱۳۸٤)،٤۹۰ص.

۱۴. معماریان،حسین،*زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک*، انتشارات دانشگاه تهران(۱۳۷٤)، ۹۵٤ص.

۱۵. موسوی حرمی،ر. ، *رسوب شناسی*، انتشارات آستان قدس(۱۳۷۱)،۷۰۰ص.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

۱۶. نقیبیان،محمد، *چینه‌شناسی و بررسی پارامترهای ژئوتکنیکی نهشته‌های کواترنر*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی(۱۳۷۵)،۱۵۰ص.

17. Z. Derriche, G. Cheikh-Lounis, Geotechnical characteristics of the Plaisancian marls of Algiers. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. V. 63, N.4(2004) 367- 378.

18. Z. Ding, Y.T. Chen, G.F. Panza, Estimation of site effects in Beijing city, *Pure and Applied Geophysics,*V.161,N.5-6(2004)1107 –1123.

19.D.W. Lewis, D. McConchie, *Analytical Sedimentology*, Chapman&Hall Pub. London (1994).

20. D.G.F. Long, Architecture of pre-vegtation sandy-braided perennial and ephemeral river deposits in the paleoprotrozoic athabasca group,northern Saskachewan,Canada as indicators of Precambrian fluvial style ,J. *Sedimentary Geology*,Vol. 190 (2006)71-95.

21. V. Manville, E.H. Newton, J.D.L. White, Fluvial responses to volcanism: resedimentation of the 1800a Taupo ignemberite eruption in the Ranitaiki River catchment, North Island, New Zealand, J.Geomorohology, Vol..65 (2005) 49-70.

22. F. Nadim, M. Moghtaderi-Zadeh, C. Lindholm, A. Andresen, S. Remseth, M. Bolourchi, M. Mokhtari, E. Tvedt, The Bam Earthquake of 26 December 2003, Bulletin of Earthquake Engineering. Vol. 2, No. 2(2004) 119-153.

23. T. Nakamura, S. Suzuki, H. Sadeghi, S.M. Fatemi Aghda, T. Matsushima, Y. Ito, S. Hosseini, A. Gandomi, M. Maleki, Source fault structure of the 2003 Bam earthquake, southeastern Iran, inferred from the after shock distribution and its relation to the heavily damage area; *Existence of the Arg-e-Bam fault proposed*,Geophysical research letters Vol.32, L.09308(2005)1-5.

24. Nordet, L., Late quaternary alluvial stratigraphy of a low-order tributary in central Texas,USA and its response to climate and sediment supply,j. Quaternary Research, Vol. 62 (2004) 289-300.

25. M.H. Park, J.H. Kim, I.S. Kim, B.J. Ryuand, M. Yu, *Tephrostratigraphy and paleo-environmental implications of Late Quaternary sediments and interstitial water in the western Ulleung Basin, East/Japan Sea*.Geo-Marine Letters.V.25, N.1(2005) 54-62.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

26. M. Talebian, H. Nazari, H. Kamarei, Report on seismotectonics of the Bam earthquake, *geological survey of iran,the first conference of Earthquake in Bam* (2003).

27. M. Tatar, D. Hatzfeld, A.S. Moradi, A. Paul, The 2003 December 26 Bam earthquake (Iran), Mw 6.6*, aftershock sequence*, Geophys. J. Int. (2005) 163(2005) 90-105

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]