

حفاری و انفجار زیر دریایی برای لایروبی صخره های سخت در بنادر هند - مطالعه موردی

چکیده:

حفاری و انفجار در زیر دریا برای لایروبی صخره ها با اثرات نامطلوب متعددی همراه است که پتانسیل آسیب زدن به ساختارهای محیط اطراف را دارد. استفاده از انفجار کنترل شده گرچه نمی تواند تمامی این اثرات را مرتفع سازد ولی قادر است آنها را تا سطح قابل قبولی به حداقل برساند. حفاری و انفجار زیر دریا برای لایروبی صخره های ۲۵/۰۰۰ متر مکعبی در حین ساخت دومین لنگرگاه شیمیایی مایع توسط تراست پورت مومبای (MbPT) مورد استفاده قرار گرفت. شکل صخره این سایت عمدتاً متشکل از سنگ بازالیت با قدرت تراکم متغیر بین $MPa ۱۶/۰۴$ و $MPa ۳۷/۹۶$ می باشد. میانگین عمق مورد نیاز جهت حفاری تقریباً ۲ متر است. سایت الفانتا کیوز **Elephanta Caves** میراث جهانی است در ۲/۶ کیلومتری سایت مذکور واقع شده است. اینگونه تلقی می شود که ارتعاشات زمین در اثر انفجار صخره ها، ایمنی این مکان تاریخی و نیز دیگر سازه های نزدیک را به مخاطره انداخته است. انفجار کنترل شده جهت حصول ایمنی بناهای مختلف بکار می رفت و راندمان آن از طریق چک کردن و نظارت بر ارتعاشات انفجار بر ساختمان های متعدد در طی انفجار واقعی تثبیت شده است. استفاده از مقادیر کم مواد منفجره که در حفره های انفجار محصور شده اند، چاشنی وقفه دار غیر الکتریکی و راه اندازی هر حفره با تاخیر مجزا به حداقل رساندن اثرات ارتعاش زمین بر روی ساختمان های اطراف کمک کرده و ایمنی لایروبی صخره را به موقع به اتمام می رساند.

واژگان کلیدی: لایروبی ، انفجار کنترل شده ، مواد منفجره ، سطح ارتعاش زمین، فشار موج شوک (موج ضربه ای)

۱. مقدمه

تاسیسات کنونی جابجایی بار و محموله ها در بنادر مختلف نیازمند توسعه جهت جای دادن کشتی های بزرگ تجاری محموله دار، بیشتر هستند. لایروبی درجه یک ، بخش اصلی و لاینفک اغلب پروژه های ساخت/توسعه بنادر را تشکیل می دهد. بخش های اصلی لایروبی عبارتند از حفاری، جداسازی مواد زمین، حمل و دور انداختن آنها. حفاری و انفجار زیر دریا اغلب به منظور انجام گودبرداری بخش هایی از لایروبی صخره های سخت مورد استفاده قرار می گرفت. شرایط سایت جهت اجرای انفجار زیر دریا، بسیار چالش برانگیز می باشد. حفاری و پر کردن حفره های انفجاری توسط کلک یا پانتون دارای طراحی ویژه که در آب های عمیق قرار دارند، انجام می شود. انواع خاصی از مواد منفجره و وسایل راه اندازی انفجار زیر دریا مورد نیاز است و مواد منفجره مدت زمان تقریباً زیادی در آب غوطه ور شده و لوله های شوک وسایل راه اندازی (چاشنی) ساعت ها در معرض شرایط سخت دریا قرار می گیرند. بخاطر شرایط سخت حاکم بر حفاری و انفجار حفره ها ، اغلب اوقات از انفجار ثانویه اجتناب می شود. بعلاوه حفاری و انفجار زیر دریا اغلب با اثرات ناخواسته ای نظیر ارتعاش زمین، هوای انفجار، فشار موج شوک یا ضربه ای، همراه است که پتانسیل وارد ساختن آسیب به سازه ها و محیط اطراف را دارند. با اینکه نمی توان کاملاً این اثرات را حذف ساخت ولی با استفاده از انفجارکنترل شده، این اثرات تا سطح قابل قبولی پایین می آید تا از آسیب صدمات اجتناب کرده و به ایمنی در خلال فعالیت های لایروبی دست یافت. در طی چند

سال اخیر، ایستگاه تحقیق مرکزی آب و قدرت (CWPRS) ، Pune با حفاری و انفجار زیر دریایی مورد استفاده برای لایروبی صخره ها در بنادر مهم هند نظیر مومبای، جواهرلعل نهرو، نیو مانگلور، همکاری کرده است. بر اساس این تجارب و مطالعات خاص این سایت، روش تقریبی انفجار زیر دریا تکامل پیدا کرد تا ایمنی و سلامت غارهای الفانتا Elephanta Caves که میراث جهانی است در مقابل ارتعاشات انفجار حاصله از لایروبی صخره ها در خلال ساخت دومین پهلوگاه شیمیایی مایع (SLCB) در پیر پائو Pir Pau سواحل بندر مومبای حاصل شود. جزئیات این مطالعات در این مقاله شرح داده شده است.

۲. شرح نواحی مورد مطالعه

بندر مومبای در دریای عرب ، یکی از مهمترین بنادر هند در جابجایی محموله های عظیم محسوب می شود. اولین پهلوگاه شیمیایی (FCB) توسط تراست پورت مومبای (MbPT) در پیر پائو Pir Pau ساحل مم=ومبای ساخته شد، از سال ۱۹۹۶ در حال فعالیت است. مقامات MbPT با هدف مرتفع ساختن افزایش تقاضای ترافیک، پیشنهاد ساخت SLCB را در نزدیکی FCB در پیر پائو مومبای ارائه دادند. این پروژه شامل ساخت پهلوگاه کوچک ۳۰۰ متری در ۶۳ متری مقابل SLCB ، تعریض و عمیق سازی کانال ورودی کنونی و محل گردش بود که مستلزم حفاری و انفجار زیر دریایی ۲۵،۰۰۰ متر مکعبی لایروبی صخره های سخت بود. میانگین عمق مورد نیاز جهت گودبرداری تقریباً ۲ متر بود و صخره متشکل از باسالت با قدرت تراکمی نامحدود (UCS) بود که از $MPa ۱۶/۰۴$ تا $MPa ۳۷/۹۶$ متغیر بود. سایت ساخت و ساز حدوداً ۱/۸ کیلومتری جزیره الفانتا قرار دارد. غارهای معروف جهانی الفانتا در ۸۰۰ متری داخل این

جزیره واقع شده اند. عملیات FCB و ساختمان های متعدد شهری در پیر پنتا جتی در ۳۰۰ متری یا کمی بیشتر از سایت های انفجار قرار دارند. شکل ۱ محل ساختمان های مختلف اطراف سایت لایروبی را نشان می دهد.

زیرنویس شکل ۱- محل سازه های مختلف اطراف ناحیه لایروبی

۳. اثرات ناخواسته انفجار زیردريا

نامطلوب ترین اثرات مرتبط با انفجار زیر دریایی ، ارتعاشات زمین و امواج شوک زیر دریا می باشد. ارتعاشات زمین ، پتانسیل وارد کردن آسیب ساختاری و ناراحتی مردم را دارد درحالیکه فشار موج شوک (ضربه ای) زیر دریا موجب آسیب ساختارهای نزدیک/ کشتی ها و حیات دریایی می گردد. شدت چنین اثرات ناخواسته ای عمدتاً به مقدار مواد منفجره مورد استفاده ، فاصله از انفجار ، ویژگی های ماده ای که از طریق آن ارتعاشات منتقل می شوند، و پارامترهای مختلف طراحی انفجار بستگی دارد. استفاده از انفجار کنترل شده ، به حداقل رساندن اثرات ناخواسته تا سطح قابل قبول کمک می کند.

۳/۱ اثرات ارتعاش زمین

پتانسیل آسیب در اثر ارتعاش انفجار بر حسب اوج سرعت ذرات (PPV) اندازه گیری می شود. علاوه بر آن، پتانسیل آسیب به فرکانس غالب همراه آن بستگی دارد. واکنش ساختار به ارتعاشات انفجار ، به شکل پیچیده ای به ویژگی های حرکت زمین (مثلاً نوسان، فرکانس، مدت) ، خصوصیات ساختار (نوع ساختمان، اهمیت، شرایط و ویژگی های دینامیک) و نوع فوندانسیون آن بستگی دارد. امنیت ساختمان در مقابل ارتعاشات انفجار را می توان از طریق اتخاذ انفجار کنترل شده، تامین کرد. جنبه های گسترده

انفجار کنترل شده، شامل کسب سطح ارتعاش ایمن، توسعه/ اتخاذ روابط تضعیف با شرح خصوصیات انتشار ارتعاش انفجار، تخمین وزن شارژ ایمن برای فواصل مختلف، طراحی الگوهای انفجار و نظارت بر ارتعاش انفجار در طی عملیات واقعی انفجار می باشد.

۳/۲ سطح ارتعاش ایمن

تعیین سطح دقیق ارتعاشی که در آن آسیب در ساختمان رخ می دهد، دشوار است و سازمان ها و محققان متعددی (لانگفر ۱۹۵۸، دووال و فوگلسون ۱۹۶۲، نیکلاس ۱۹۷۱، سیسکیند ۱۹۸۰، داودینگ ۱۹۹۲، آی.اس. ۲۰۰۱، ۱۴۸۸۱) معیار ایمنی را بر حسب PPV یا PPV و فرکانس مربوطه پیشنهاد کردند تا ایمنی ساختمان ها در مقابل ارتعاشات انفجار حفظ شود. حفاظت بناهای تاریخی مقابل ارتعاشات انفجار، مسائل پیچیده تری را در مقایسه با آنچه که ساختمان های مسکونی و مهندسی تحمل می کنند، بوجود می آورد. بناهای تاریخی با جزئیات تزئینی و هنری باشکوه داخلی و خارجی ساخته شده اند که ممکن است کاملاً به سطوح پایین ارتعاش نیز حساس باشند. بسیاری از این بناها بخاطر طول عمر زیادشان از اثرات گذر زمان و هوازدگی تدریجی رنج می برند. سطوح ارتعاشی که جهت حصول ایمنی ساختمان ها در شرایط خوب پیشنهاد شده اند، برای بناهای تاریخی، محتاطانه نیستند. محدوده های محتاطانه تر کنترل ارتعاش جهت حفاظت بناهای تاریخی مقابل ارتعاشات انفجار مورد نیاز می باشد. به منظور تامین ایمنی بناهای تاریخی مقابل ارتعاشات انفجار دارای فرکانس های غالب پایین تر (کمتر از ۱۰ هرتز)، چندین محقق و موسسه سطوح ارتعاش امن را در محدوده ۶،۲۵mm/s - ۲mm/s پیشنهاد کردند (DIN-4150، ۱۹۸۴، IS-14881، ۲۰۰۱، کانن و شورینگ ۱۹۸۵، گپتا ۱۹۹۲). کد IS:14881-2001 معیار ایمنی وابسته به

فرکانس را جهت حفاظت انواع مختلف سازه ها در مقابل ارتعاشات انفجار پیشنهاد کرد. این کد به منظور ایمنی خانه های قدیمی تر و بناهای تاریخی در مقابل انفجار ساخت و ساز نواحی شهری ، PPV ایمن 5 mm/s را برای فرکانس های پایین ۱۰ هرتز و - 30 mm/s را برای محدوده فرکانس ۱۰-۱۰۰ هرتز را پیشنهاد کرده است. این کد برای ساختمان های مهندسی ، PPV 25 mm/s را برای فرکانس های زیر ۴۰ هرتز و 25 mm/s - 75 mm/s را برای محدوده فرکانس ۴۰ تا ۱۰۰ هرتز پیشنهاد کرده است.

۳/۳ سطوح ارتعاش ایمن مختص سایت

غارهای الفانترا ، شبکه ای از غارهای پیکرتراشی شده هستند که از ارزش معماری با شکوه و اهمیت باستان شناسی برخوردار هستند. این غارها توسط سازمان فرهنگی، علمی و آموزشی سازمان ملل (یونسکو) به عنوان میراث جهانی شناخته شده است. سطح ارتعاش بسیار محتاطانه 1 mm/s به عنوان سطح ارتعاش ایمن جهت حفظ این غارها در مقابل ارتعاشات حاصله از انفجار صخره های زیر آب اتخاذ شده است. علاوه بر غارهای الفانترا، ساختمان های شهری متعدد در پهلوگاه کنونی باید در مقابل ارتعاشات انفجار محافظت شوند. کمترین فاصله بین ساختمان ها و محل انفجار، بیش از ۳۰۰ متر می باشد. ساختمان های پهلوگاه کنونی ، سازه های عظیم مهندسی بوده و در مقایسه با بناهای تاریخی قادر هستند در مقابل PPV بالا دوام بیاورند. طبق توصیه IS- (2001) ۱۴۸۸۱ ، سطح PPV بین 25 mm/s - 75 mm/s برای ساختمان های مهندسی ساز، ایمن تلقی می شود. ساختمان های مختلف واقع در پهلوگاه کنونی در پیر پائو بدون تحمل هر گونه آسیبی، در مقابل این ارتعاشات مقاومت می کنند. به عنوان یک روش محتاطانه ، PPV برابر 10 mm/s در کلیه محدوده فرکانس ها به عنوان PPV ایمن

تلقى شد تا ایمنی سازه های مختلف در این پهلگاه حاصل شود. سطوح PPV ایمن اتخاذ شده به همراه سطوح امن ارتعاش پیشنهادی (۲۰۰۱) IS-14881 در شکل ۲ نمایش داده شده است.

زیرنویس شکل ۲- معیار ایمنی سایت خاص (برگرفته از IS-14881.2001)

۳/۴ پیش بینی ارتعاش زمین

دامنه فرکانس های امواج الاستیک ناشی از انفجار با بیشتر شدن فاصله، تضعیف می شوند. میزان این تضعیف یا میرایی در مراحل اولیه حرکت، سریع تر بوده و با افزایش فاصله، کاهش می یابد. تضعیف چندین پارامتر همچون چگالی صخره، وجود اتصالات در صخره، به میزان اشباع لایه های مختلف بستگی دارد. از آنجا که نمی توان اثرات این پارامترها را در مدل آنالیزی به دقت تعریف و معین کرد، تضعیف (میرایی) ارتعاش انفجار سایت از طریق ایجاد روابط تجربی با استفاده از داده های ارتعاش زمین که در سایت واقعی و یا سایر سایت های دارای صخره های مشابه ثبت شده اند، مورد بررسی قرار می گیرند. چندین رابطه تجربی را محققان جهت تشریح خصوصیات تضعیف (میرایی) ارتعاش انفجار پیشنهاد کرده اند (امبرسی و هندرون ۱۹۶۸، سیسکیند ۱۹۸۰، گوش و دیمن ۱۹۸۵، تریپاتی و گوپتا ۲۰۰۲). شکل رابطه تجربی زیر به شکل گسترده ای جهت مطالعه تضعیف ارتعاش انفجار استفاده می شود:

(۱)

$$V = K \left(\frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{\beta}$$

جاییکه V اوج سرعت ذرات (mm/s) ، R فاصله (m) بین مشاهده و نقاط انفجار و Q وزن شارژ (کیلوگرم) در در وقفه می باشد. فاکتور R/\sqrt{Q} عموماً به عنوان فاصله اندازه گیری شده مجذور ریشه (SSD) خوانده می شود. K و β پارامترهای سایت خاص و ثابت هستند که از طریق آنالیز رگرسیون داده های ارتعاش مشاهده شده در زمین مورد ارزیابی قرار می گیرند. مقادیر ثابت های K و β از طریق انجام چندین انفجار آزمایشی با وزن شارژ مختلف Q و ثبت ارتعاش زمین در فواصل متفاوت R ، تخمین زده می شود. بسیاری از اوقات انجام مطالعات انفجار آزمایشی مورد نیاز در سایت واقعی حفاری امکان پذیر نمی باشد. در چنین شرایطی، رابطه تعیف (میرایی) حاصله از داده های انفجار جمع آوری شده از سایتی با ویژگی های جغرافیایی مشابه مورد استفاده قرار می گیرد تا وزن شارژ ایمن اولیه برای فواصل مختلف تخمین زده شود. با هدف تخمین زدن مقدار وزن شارژ در هر وقفه برای این بررسی، رابطه تضعیف شدن، زیر با ۹٪ سطح اطمینان ، از داده های ارتعاش انفجار ثبت شده در غار الفانترا در طی انفجار زیر دریایی در بندر نهاواشوا مورد استفاده قرار گرفت (این محل دارای ویژگی های جغرافیایی مشابه با کار حاضر است) (شماره گزارش فنی ۱۹۸۸، ۲۹۹۷).

$$V(0, 90) = 745 \left(\frac{R}{Q^{0.5}} \right)^{-1.43} \quad (2)$$

با استفاده از V به مقدار 1 mm/s و R به مقدار 1800 m در معادله (۲) ، وزن شارژ در هر وقفه تخمین زده شده که ۳۱۱ کیلوگرم باشد. به طور مشابهی برای V به مقدار 10 mm/s و R به مقدار 300 m ، وزن شارژ در هر وقفه ۲۱۶ کیلوگرم می

باشد. حداقل این دو مقدار، وزن شارژ ۲۱۶ کیلوگرم در هر وقفه بدون تجاوز کردن به سطح امن ارتعاش ۱۰mm/s در بندر پائو جتی و ۱mm/s غار الفانترامورد استفاده قرار گرفت.

۳/۵ اثرات امواج شوک

فشار امواج شوک حاصله از انفجار زیر دریا می تواند به سازه ها، اشیاء و کشتی های غوطه ور در آب آسیب وارد کند. اثرات موج شوک زیر آب را می توان برحسب فشار اوج اولیه P_m تخمین زد. فشار در اثر انفجارهای صورت گرفته زیر آب را می توان با استفاده از رابطه زیر تخمین زد:

$$P_m = 52355 \left(\frac{R}{Q^{0.33}} \right)^{-1.13} \quad (3)$$

جاییکه P_m فشار در kPa، R فاصله به m و Q وزن شارژ در هر وقفه به kg می باشد. این رابطه بر اساس امواج شوک (ضربه ای) انفجار زیر آب با شارژهای سطحی است و دامنه امواج شوک (ضربه ای) بالاتری را در مقایسه با شارژ انفجارهای محصور شده در حفره های انفجاری را پیش بینی می کند. نادول و تاندامورتی (۱۹۹۲) سابقه زمان فشار را از انفجار خرج (بمب) های کوچک در آب آزاد و فشارهای حفره های نقب شده را مقایسه کردند و مشاهده کردند که اوج فشار از شارژ انفجار محصور شده در حفره های نقب شده، تنها ۶٪ فشار حاصله از همان اندازه بمب (خرج) منفجر شده در آبی با همان فاصله است. همپن (۲۰۰۵) فشار چهار انفجار محصور را با فشارهای آب آزاد محاسبه شده، مقایسه کرده و دریافت فشارهای محصور شده ۱۹٪ تا ۴۱٪ فشار آب آزاد می باشد. چنین کاهش مقیاس بزرگی در فشار موج ضربه ای، احتمالاً بخاطر این واقعیت است که بیشتر انرژی منفجره صرف تکه تکه و جابجا شدن صخره می گردد. فشار موج شوک (ضربه ای) آبی

با افزایش یافتن فاصله از انفجار، کاهش می یابد. علاوه بر فاصله، فشار نیز به شدت تحت تاثیر فاکتورهایی از قبیل وزن شارژ در هر وقفه، عمق آب، هندسه انفجار می باشد. استفاده از شارژ موارد منفجره محصور شده در حفره نقب زده، می تواند اثرات نامطلوب فشار موج شوک بر روی سازه ها، اشیاء و کشتی های غوطه ور در آب، در طی لایروبی صخره در اثر انفجار زیر آب را کنترل کند. ماکزیمم فاصله R_{max} که انفجار های زیر آب در اثر امواج شوک، آسیب هایی به انواع اشیاء غوطه ور وارد کند را می توان از رابطه زیر محاسبه کرد (رادیتی ۱۹۸۰)

$$R_{max}=1.5Q^{0.333} \quad (۴)$$

فاصله ایمن (R_0) برای انفجار زیر آب باید خیلی بیشتر از R_{max} باشد و می توان به شکل زیر تعریف کرد:

$$R_0=SF \times R_{max}= SF \times 1.5Q^{0.333} \quad (۵)$$

جاییکه SF فاکتور ایمنی بیشتر از ۱ و ارزش عددی SF باید درجه یک باشد که در آن هیچ آسیبی ایجاد نمی شود. ایمنی اشیاء مختلف نظیر سازه های هیدرلیکی یا کشتی در مقابل فشار موج شوک ناشی از انفجار زیر آب را می تون با اتخاذ فاکتور ایمنی SF متغیر از ۲ تا ۱۸ R_{adit} (۱۹۸۰) تامین کرد. با استفاده از SF برابر ۱۸ و Q برابر ۲۱۶ کیلوگرم (در قسمت ۳/۴ تخمین زده شد) در معادله ۵، فواصل ایمن در طی انفجار زیر آب تخمین زده شده که ۱۶۲ متر باشد.

۴. حفاری و انفجار زیر آب

سوراخ کردن حفره های انفجاری جهت انفجار زیردیریا توسط مته های rig حفاری که روی پانتون یا کلک نصب شده اند، انجام می

شود. در ابتدا، محل مورد نظر حفاری با استفاده از سیستم های تعیین محل که در کلک کار می کنند مشخص و نهایی می شود. کلک ، ابزار حفاری را به محل از قبل مشخص شده آورده تا یک ردیف حفره را حفر کند و توسط لنگر در محل نگه داشته می شود. برج های حفاری روی محل حفره معین قرار گرفته و دریل (حفر) آغاز می شود. متداول ترین روش حفاری مورد استفاده برای انفجار زیر آب ، **Over Burden Drilling(OD)** نام دارد. در این روش ، لوله روکش جداگانه از طریق روبر ، به اندازه کافی وارد صخره می شود تا از پر شدن حفره توسط سنگ های ریز، شن یا شکاف جلوگیری کند. پس از تثبیت روکش، میله داخلی دریل از طریق لوله روکش وارد شده و حفره انفجار را تا عمق مورد نظر سوراخ می شود. پس از رسیدن به عمق دلخواه، میله دریل بیرن کشیده شده و حفره آماده پر شدن (شارژ) توسط مواد منفجره می باشد. در انفجار زیر آب معمولاً حفره ها در یک ردیف حفر می شوند و پس از اتمام حفاری و بارگذاری کلیه حفره ها، کلک به نزدیک ترین محل حفاری و خرجگذاری ردیف بعدی حفره ها می رود و این کار تا اتمام حفر های مورد نظر برای انفجار خاص تکرار می شود. به منظور حفاری حفره های انفجار در محل **MbPT** ، کل محل انفجار به ۲۱ بلوک متفاوت تقسیم می شود و هر بلوک توسط شبکه مستطیلی $۱,۵m \times ۲,۸m$ باز هم تقسیم می شود. در هر نقطه شبکه ، حفره هایی با $۱۵۰m$ قطر با $۱,۵m$ ظرفیت و فاصله $۲,۸m$ تا عمق دلخواه سوراخ می شود. دستگاه دریل حفره هیدرولیکی که روی کامیون نصب شده (**DTH**) به منظور حفاری حفره های انفجار مورد استفاده قرار می گیرد.

۴/۱ مواد منفجره و وسایل راه اندازی انفجار

مواد منفجره مورد استفاده برای انفجار زیر دریا ، دارای ویژگی های مقاومت آب بسیارخوبی هستند تا ساعت ها زیر آب باقی بمانند. امروزه مواد منفجره امولسیون و دوغاب که با چاشنی وقفه غیر الکتریکی (NONEL) مجهز هستند، بیشتر استفاده می شوند. به منظور حصول اطمینان از انفجار ، دو چاشنی برای هر حفره استفاده می شود. (KELVEX-P,Couplable Plastic Tube(CPT که با کارتريج به قطر ۱۲۵ میلی متری و ۶/۲۵ کیلوگرم به عنوان ماده منفجره حفره های این مطالعه استفاده شد. کارتريج انفجاری CPT توسط سیستم راه اندازی لوله شوک غیر الکتریکی بطول ۲۵ متر (NONEL) ، مجهز می شود تا چاشنی وقفه را ایجاد کند. در انفجار حاضر در MbPT ، وقفه درون حفره ۲۰۰ms ، وقفه های ۱۷ms بین حفره های یک ردیف و وقفه های ۲۵ms بین دو ردیف بکار رفت. الگوی انفجار با شارژ ۱۲/۵ کیلوگرم در هر وقفه مورد استفاده در این مطالعه، در شکل ۳ نشان داده شده است.

زیرنویس شکل ۳- الگوی انفجار برای انفجار زیر آب

۵. کنترل ارتعاشات انفجار

چهار واحد از سه لرزه نگار مهندسی (مدل DS-077 از شرکت ام/اس اینستانتل کانادا و مینی سوپر گراف از سیسموگراف NOMI ام/اس ایالت متحده) جهت چک کردن ارتعاشات بکار گرفته شدند. سوابق زمان ارتعاشات به شکل دیجیتالی روی این ابزارها ثبت شد و توسط کامپیوتر شخصی بازیابی شد. در طی کل دوره لایروبی صخره ، ۳۶ انفجارانجام شد و هر یک در غارهای الفانترا و نیز ساختمان های مختلف مثل دلفین دریایی، پمپخانه، ایستگاه آتش نشانی واقع در پیر پوئا جتی چک شد. سطوح ارتعاش ثبت شده در سازه های مختلف پیر پوئا جتی بین ۰/۹۶ تا ۲/۹۸ mm/s متغیر

بود. شکل ۴ توزیع سطح PPV مشاهده شده در ساختمان های مختلف پیرپوئاجتی را نشان می دهد. لرزه نگار واقع در غار الفانترا نتوانست هیچ ارتعاش انفجاری را ثبت کند که حاکی از این بود که سطح ارتعاش کمتر از سطح تحریک لرزه نگار بود. برای لرزه نگار مورد استفاده جهت اندازه گیری های ارتعاشات انفجار، مکانیسم تحریکی تعبیه شده است که در نتیجه، این ابزارها بطور خودکار عملیات ثبت را پس از تجاوز از سطح تحریک، آغاز می کنند. در غارهای الفانترا، سطح تحریک این ابزارها، $0,25 \text{ mm/s}$ تعیین شده و هیچ یک از لرزه نگارها در طی کل مدت چک کردن، تحریک نشدند. عدم تحریک لرزه نگار در غارهای الفانترا حاکی از این بود که مواد منفجره مورد استفاده در انفجار آن قدر نبوده که ارتعاشاتی ایجاد کند که از سطح $0,25 \text{ mm/s}$ محل های کنترل تجاوز کند.

زیرنویس شکل ۴- توزیع PPV مشاهده شده در سازه های مختلف پیرپوئاجتی

۶. نتیجه گیری

دو تاثیر مهم محیطی انفجار از طریق ارتعاش زمین و ایجاد فشار موج شوک ضربه ای آبی، در حین استفاده از حفاری زیر آب و انفجار برای لایروبی صخره های سخت، بسیار حائز اهمیت می باشند. استفاده از مواد منفجره محصور در حفره موجب کاهش اثرات امواج شوک بر روی سازه ها و اشیای غوطه ور در آب می شود. معیار ایمنی پیشنهادی بر حسب PPV برای ساختمان های مسکونی یا مهندسی شده را نمی توان برای بناهای تاریخی بکار برد و اعمال کرد. محدوده های ارتعاش محتاطانه بخاطر نزدیکی به پهلگاه شیمیایی در حال کار و نقاط میراث جهانی، اتخاذ شده و تمامی انفجارها در کل مدت انفجار صخره ها چک می شود.

انفجار با استفاده از وزن مواد منفجره خیلی پایین در هر وقفه نسبت به مقدار مجاز انجام می شود تا تاثیر ارتعاشات زمین بر روی ساختمان ها و محل های ساخت و ساز متعدد به حداقل برسد. استفاده از مقدار مواد منفجره مورد نیاز که در حفره محصور شده اند، و چاشنی وقفه غیر الکتریکی و راه اندازی هر حفره با یک وقفه مجزا کمک می کند تا اثرات نامطلوب انفجار صخره در زیر دریا بر روی محیط اطرافش به حداقل برسد و عملیات به موقع و با ایمنی به اتمام برسد.