

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن



جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی

احداث آرایه‌های شتابنگاری درون چاهی

دکتر فریدون سینائیان

(عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن)

حسین میرزائی علویجه

(عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن)

اسماعیل فرزندگان

(عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن)

امیرسعید سلامت

گزارش تحقیقاتی

شماره نشر: گ - ۶۰۹

چاپ اول: ۱۳۹۰

عنوان و نام پدیدآور	: احداث آرایه‌های شتابنگاری درون‌چاهی/فریدون سینائیان ... [و دیگران].
مشخصات نشر	: تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری	: ۲۱۴ص: مصور، جنول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۰۸۸-۵
یادداشت	: [مولفان] فریدون سینائیان، حسین میرزائی علویچه، اسماعیل فرزنانگان، امیرسعید سلامت.
یادداشت	: کتابنامه
موضوع	: شتابنگارها - - ایران
موضوع	: لرزه‌نگاشت‌ها - - ایران
موضوع	: زلزله - - پیش‌بینی
شناسه افزوده	: سینائیان، فریدون، ۱۳۳۹-
شناسه افزوده	: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۰ الف۹/الف۲/۲/۵۳۷ QE
رده‌بندی دیویی	: ۵۵۱/۲۲۰۹۵۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۴۴۵۷۰۰

مصوبه شماره ۹۰/۶۷۶ چاپ کتاب، شورای علمی انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

احداث آرایه‌های شتابنگاری درون‌چاهی

دکتر فریدون سینائیان، حسین میرزائی علویچه، اسماعیل فرزنانگان، امیرسعید سلامت

شماره نشر: گ - ۶۰۹ چاپ اول: ۱۳۹۰

ناشر: انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

تنظیم برای چاپ: نسرين مقدس

شمارگان: ۳۰۰ نسخه

بها: ۲۷۰۰۰ ریال

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.

کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر به ناشر تعلق دارد.

نشانی: تهران، بزرگراه شیخ فضل‌آل‌نوری، روبروی فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل،

خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت صندوق پستی: ۱۳۱۴۵-۱۶۹۶

تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶ دورنگار: ۸۸۲۵۵۹۴۱

پست الکترونیکی: president@bhrc.ac.ir صفحه الکترونیکی: <http://www.bhrc.ac.ir>

پیشگفتار

رویداد زمین‌لرزه‌های مخرب و ویرانگر همواره جوامع بشری را مورد تهدید قرار داده و امروزه به دلیل گسترش شهرنشینی و رشد اقتصادی کشورهای در حال توسعه، اثرات ویرانگر آن تأثیرات قابل توجهی را بخصوص در مناطق شهری با تراکم جمعیت زیاد بر جای می‌گذارد. روند رو به رشد علم زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله در جهان کمک شایانی به حل مجهولات مرتبط با این پدیده نموده است. در کشور بخصوص دو دوره زمانی بعد از زمین‌لرزه ویرانگر رودبار منجیل در سال ۱۳۶۹ با توسعه شبکه‌های لرزه‌نگاری و شتابنگاری و گسترش دوره‌های تحصیلی تکمیلی در مقاطع کارشناسی ارشد و دکترا قدم‌های بزرگی در مسیر شناسایی جنبه‌های مختلف این پدیده طبیعی برداشته شده و امید است در آینده شاهد کاهش اثرات ویرانگر زمین‌لرزه‌های روی‌داده در کشور باشیم. در این میان رسالت مراکز تحقیقاتی مرتبط با پدیده زمین‌لرزه فراهم نمودن بستر مناسبی برای تلاش‌های علمی خلاق و نهادینه نمودن فرآیند تحقیق و توسعه برای پیوندن این مسیر سخت و رسیدن به شرایط کشورهای پیشرفته در زمینه مهندسی زلزله و زلزله‌شناسی مهندسی است. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن با علم به این مهم و رسالت سنگینی که در این میان بر عهده دارد قدم‌های مهمی را در این راه برداشته است. این مرکز به عنوان متولی تدوین و تجدیدنظر آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله کشور که مهمترین بستر اجرایی برای مقاوم‌سازی و طراحی مقاوم سازه‌ها در برابر زمین‌لرزه را فراهم کرده، عهده‌دار کنترل و نگهداری شبکه شتابنگاری زلزله کشور نیز بوده که با دارا بودن بیش از ۱۱۵۰ دستگاه شتابنگار در سراسر کشور و مجموعه‌ای بالغ بر ۷۸۰۰ شتابنگاشت سه مولفه‌ای گنجینه عظیمی برای مطالعات مرتبط با زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله فراهم کرده است. در کنار توسعه کمی شبکه شتابنگاری کشور که همواره یکی از اهداف مرکز بوده، توسعه کیفی شبکه شتابنگاری نیز در سال‌های اخیر در دستور کار مرکز قرار گرفته است. یکی از مهمترین قدمها در این مسیر توسعه آرایه‌های خاص شتابنگاری بوده است که از آن میان آرایه‌های شتابنگاری درون چاهی با هدف مطالعه لایه‌های سطحی خاک در هنگام رویداد زمین‌لرزه‌ها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشند. رفتار خاک در هنگام رویداد زمین‌لرزه‌ها از مهمترین و در عین حال پیچیده‌ترین پدیده‌های مرتبط با زمین‌لرزه بوده که امروزه محققین بسیاری در سراسر جهان به آن علاقمند بوده و در مورد جنبه‌های مختلف آن تحقیق می‌نمایند. لازمه وجود تحقیقات گسترده در این زمینه وجود داده‌های کافی از شرایط مختلف خاک در هنگام رویداد زمین‌لرزه است که جز با نصب سنسورهای ثبت جنبش نیرومند در عمق‌های مختلف زمین محقق نمی‌گردد. با علم به این نیاز و در پاسخ به خواسته جامعه علمی کشور چهار آرایه شتابنگاری درون‌چاهی در نقاط مختلف شهر تهران طراحی و اجرا شده است. مسلماً وجود این آرایه‌ها می‌تواند به غنای بانک اطلاعاتی



داده‌های جنبش نیرومند زمین ایران کمک فراوانی نماید. گزارش حاضر به تفصیل در مورد این آرایه‌ها و جنبه‌های مختلف طراحی و اجرای آنها در شهر تهران اشاره نموده است. امید است این مجموعه بتواند راهگشای پاره‌ای از مجهولات مرتبط با پدیده زمین‌لرزه و توسعه آرایه‌های مختلف شتابنگاری در نقاط مختلف کشور باشد.

سیدمحمود فاطمی عقدا

رئیس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

www.ketab.ir

سپاسگزاری و قدردانی

بدین وسیله از همکاران محترم شبکه شتابنگاری خانم‌ها مژگان میرسنجری، پانته آ کریمی و آقایان حسین عبدالهی، داود میرزایی، خسرو بهرامی، مهدی عباسی، مرتضی سماواتی، محسن وضایی، نوید شریفات، سیدمهدی حسینی، محمدرضا ابراهیم‌پور، محمدهادی احمدی، وحید عابد و شاهین برجی تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از همکاری بی‌دریغ همکاران محترم کارگاه به خصوص آقای حسن شهرستانی و سایر همکاران مرکز که ما را در انجام این پروژه یاری دادند، سپاسگزاری می‌شود.

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل اول: مقدمه	۱
فصل دوم: شبکه شتابنگاری ایران	۳
فصل سوم: راهنمای احداث آرایه شتابنگاری درون چاهی	۹
۱-۲ مقدمه	۹
۲-۲ انتخاب محل و نقاط	۱۱
۲-۲ زمین‌شناسی ایستگاه	۱۲
۴-۲ طراحی، تجهیزات و نصب	۱۲
۱-۴-۳ انتخاب شتابنگارهای درون چاهی	۱۲
۲-۴-۳ جهت حسگر	۱۳
۳-۴-۳ آماده‌سازی گمانه	۱۴
۴-۴-۳ جفت‌شدگی و امکان بازیابی	۱۴
۵-۴-۳ شرایط محلی ایستگاه	۱۷
۵-۲ مطالعات ژئوتکنیکی	۱۹
۱-۵-۲ حفاری	۱۹
۲-۵-۳ نمونه‌برداری ژئوتکنیکی	۲۱
۳-۵-۲ لوله جداره	۲۳
۴-۵-۳ تزریق	۲۴
۶-۲ اندازه‌گیری‌های ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی	۲۵
۱-۶-۳ مطالعات ژئوفیزیکی قبل از نصب	۲۵
۲-۶-۳ لوگ‌نگاری گمانه	۲۷
۳-۶-۳ ارزیابی آزمایشگاهی نمونه‌های خاک	۲۷
۴-۶-۳ اندازه‌گیری‌های ژئوفیزیکی درون چاهی	۲۸
۷-۲ مراحل نصب	۳۲
۱-۷-۳ نصب حسگر	۳۲

۲-۷-۲	تنظیم جهت حسگر به کمک حسگر مرجع	۳۴
۲-۷-۳	جفت‌شدگی / قفل‌شدگی	۳۷
۸-۲	مستندسازی و تهیه گزارش	۳۷
	فصل چهارم: مطالعات انجام شده	۳۹
۱-۴	انتخاب محل و نقاط	۳۹
۲-۴	انتخاب نوع و تعداد دستگاه	۴۰
۱-۲-۴	دستگاه شتابنگار CMG-5T	۴۰
۲-۲-۴	حسگر درون‌چاهی CMG-5TB	۴۲
۳-۴	بررسی‌های ژئوفیزیکی	۴۲
۴-۴	بررسی‌های ژئوتکنیکی	۵۴
۱-۴-۴	زمین‌شناسی محدوده طرح	۵۴
۱-۱-۴-۴	سنگ بستر	۵۶
۲-۱-۴-۴	سازند آبرفتی هزار درو (آبرفت‌های A)	۵۶
۳-۱-۴-۴	سازند B	۵۷
۴-۱-۴-۴	سازند آبرفتی تهران (C)	۵۹
۵-۱-۴-۴	آبرفت عهد حاضر یا رسوبات سری D	۶۰
۲-۴-۴	زمین‌شناسی مهندسی	۶۰
۳-۴-۴	آزمایش‌های صحرایی	۶۰
۴-۴-۴	آزمایش‌های آزمایشگاهی	۶۲
۵-۴	احداث گمانه (Bore hole)	۶۳
۱-۵-۴	حفر گمانه	۶۳
۲-۵-۴	لوله‌گذاری	۶۶
۶-۴	نصب آرایه	۶۷
	فصل پنجم: ایجاد آرایه‌های درون‌چاهی	۶۹
۱-۵	آرایه درون‌چاهی مرقد مطهر امام خمینی (ره)	۷۰
۱-۱-۵	مطالعات ژئوتکنیکی	۷۰
۲-۱-۵	مطالعات ژئوفیزیکی	۷۳
۲-۵	آرایه درون‌چاهی ورزشگاه آزادی	۸۱

- ۱-۲-۵ مطالعات ژئوتکنیکی ۸۱
 ۲-۲-۵ مطالعات ژئوفیزیکی ۸۲
 ۳-۵ آرایه درون‌چاهی پارک شهر ۸۴
 ۱-۳-۵ مطالعات ژئوتکنیکی ۸۵
 ۲-۳-۵ مطالعات ژئوفیزیکی ۸۶
 ۴-۵ آرایه درون‌چاهی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ۸۹
 ۱-۴-۵ مطالعات ژئوتکنیکی ۸۹
 ۲-۴-۵ مطالعات ژئوفیزیکی ۹۰
 منابع ۹۲
 پیوست ۱: ایستگاه شتابنگاری مرقد مطهر امام خمینی (ره) ۹۳
 پیوست ۲: ایستگاه شتابنگاری ورزشگاه آزادی ۱۲۳
 پیوست ۳: ایستگاه شتابنگاری پارک شهر ۱۵۳
 پیوست ۴: ایستگاه شتابنگاری مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ۱۸۳

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان شکل
۶.....	شکل ۱-۲ ایستگاه‌های شتابنگاری کشور.....
۶.....	شکل ۲-۲ تعداد دستگاه‌ها و شتابنگاشت‌های ثبت شده.....
۷.....	شکل ۲-۳ ایستگاه‌های میدان آزاد.....
شکل ۱-۳	نمونه‌ای از اطلاعات آرایه درون‌چاهی GameR Valley آمریکا و نمایش اثر خاک
۱۰.....	بر مجموعه زمانی شتاب حاصل در اعماق مختلف.....
۱۷.....	شکل ۲-۳ نمایش نصب حس‌گر درون‌چاهی با استفاده از مواد پرکننده دانه‌ای.....
۲۰.....	شکل ۳-۲ عملیات حفاری در یکی از ایستگاه‌های شتابنگاری درون‌چاهی.....
شکل ۴-۲ (الف)	عملیات لوله‌گذاری در یکی از ایستگاه‌های شتابنگاری درون‌چاهی (ب)
۲۲.....	مسدود نمودن انتهای لوله قبل از نصب در گمانه و چ) نمونه مسدود شده.....
شکل ۵-۳	مغزه‌های حفاری برای مطالعات بعدی چیده شده در جعبه‌های مخصوص.....
۳۱.....	شکل ۶-۳ پروفیل سرعت در یک گمانه احداث آرایه درون‌چاهی.....
۳۳.....	شکل ۷-۲ کابل و حس‌گر شتاب درون‌چاهی آماده نصب در گمانه.....
۳۵.....	شکل ۸-۳ نگاشت‌های نوفه ثبت شده توسط یک آرایه شتابنگاری درون‌چاهی.....
شکل ۹-۳	ناپوستگی در پنجره انتخابی منجر به خطا در برآورد زاویه انحراف.....
۳۶.....	شکل ۱۰-۳ نمودار تغییرات میزان همبستگی با زاویه.....
شکل ۱-۴	محل احداث آرایه‌های درون‌چاهی.....
۴۰.....	شکل ۲-۴ حس‌گر شتابنگار CMG-ST.....
۴۱.....	شکل ۳-۴ حس‌گر درون‌چاهی.....
۴۲.....	شکل ۴-۴ دستگاه لرزه‌نگار ABEM-MK6.....
۵۲.....	تصویر ۵-۴ لرزه‌سنج درون‌چاهی سه مؤلفه‌ای.....
۵۳.....	شکل ۶-۴ نحوه برداشت در عملیات لرزه‌نگاری درون‌چاهی.....
شکل ۷-۴	نقشه زمین‌شناسی تهران و اطراف.....
۵۵.....	شکل ۸-۴ عملیات حفاری گمانه در یکی از ایستگاه‌های درون‌چاهی.....
۶۵.....	



- شکل ۴-۹ انجام آزمایش‌های ژئوفیزیکی درون‌چاهی ۶۵
- شکل ۴-۱۰ نحوه لوله‌گذاری در گمانه‌ها ۶۶
- شکل ۴-۱۱ مسدود نمودن انتهای لوله جداره برای نصب حس‌گر ۶۷
- شکل ۴-۱۲ مراحل نصب دستگاه‌ها ۶۷
- شکل ۴-۱۳ الف) آماده‌سازی حس‌گر جهت فرستادن درون گمانه ب) فرستادن حس‌گر توسط وینچ به درون چاه بعد از آماده‌سازی ۶۸
- شکل ۵-۱ محل احداث آرایه‌های درون‌چاهی ۶۹
- شکل ۵-۲ نمودار زمان رسید _ عمق برای موج P ۷۵
- شکل ۵-۳ نمودار زمان رسید _ عمق برای موج S ۷۶
- شکل ۵-۴ نمودار تغییرات متوسط سرعت _ عمق برای موج P و S در گمانه شماره یک ۷۷
- شکل ۵-۵ نمودار سرعت اینتروالی به عمق برای موج P و S در گمانه شماره یک ۷۸
- شکل ۵-۶ میزان تغییرات متوسط و موضعی ضریب پواسون در گمانه شماره یک ۷۸
- شکل ۵-۷ نمودار تغییرات سرعت امواج P و S با عمق ۸۴
- شکل ۵-۸ تغییرات سرعت موج تراکمی با عمق ۸۸
- شکل ۵-۹ تغییرات سرعت موج برشی با عمق ۸۸
- شکل ۵-۱۰ نمودار تغییرات سرعت امواج P و S با عمق ۹۱

فهرست جدول‌ها

صفحه

عنوان جدول

جدول ۴-۱	سرعت سیر امواج P و S در داخل محیط‌های مختلف	۵۱
جدول ۵-۱	لوگ حفاری ایستگاه مرقد مطهر امام خمینی (ره)	۷۲
جدول ۵-۲	جدول SPT و تعداد ضربات	۷۳
جدول ۵-۳	خلاصه پارامترها و وضعیت لایه‌ها در گمانه شماره یک	۷۷
جدول ۵-۴	جزئیات پارامترها و وضعیت لایه‌ها در گمانه شماره یک	۷۹
جدول ۵-۵	لوگ حفاری ورزشگاه آزادی	۸۲
جدول ۵-۶	وضعیت سرعت در لایه‌های مختلف	۸۳
جدول ۵-۷	SPT و تعداد ضربات	۸۵
جدول ۵-۸	جزئیات پارامترها و وضعیت لایه‌ها در گمانه	۸۷
جدول ۵-۹	لوگ حفاری مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن	۹۰
جدول ۵-۱۰	وضعیت سرعت در لایه‌های مختلف	۹۱

چکیده

در سال‌های اخیر توجه زیادی به توسعه آرایه‌های درون‌چاهی با هدف ثبت داده‌های جنبش نیرومند زمین صورت گرفته است. تعدادی از مشکلات علمی و پرسش‌های مرتبط، با استفاده از این داده‌ها پاسخ داده می‌شود. مهمترین این پرسش‌ها اثرات تشدید امواج زمین‌لرزه در اثر شرایط ساختگاهی، بررسی پاسخ غیر خطی خاک، طبیعت جنبش‌های ورودی به پی در عمق و تعداد زیادی از مجهولات علم مهندسی زلزله و ژئوتکنیک لرزه‌ای است.

متأسفانه تا پیش از این در شبکه شتابنگاری کشور، این آرایه‌های درون‌چاهی راه‌اندازی نشده بود. لذا تصمیم بر این گرفته شد تا تعدادی حس‌گر درون‌چاهی در مناطق لرزه‌خیز نصب گردد. شهر تهران با توجه به اهمیت آن برای این منظور انتخاب شد. پس از بررسی‌های لازم و بر اساس شرایط خاک، ایستگاه‌های مرقد مطهر امام خمینی (ره) (عمق گمانه ۵۴ متر)، پارک شهر (عمق گمانه ۴۲ متر)، مجموعه ورزشی آزادی (عمق گمانه ۳۸ متر) و مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (عمق گمانه ۱۶ متر) برای این منظور انتخاب گردیدند. پس از حفر گمانه‌ها، آزمایش‌های ژئوتکنیکی و لرزه‌نگاری در هر کدام از آنها انجام شد و یک حس‌گر درون‌چاهی در عمق و یک حس‌گر در سطح نصب گردید.