

# تأثیر حفاری‌های عمیق بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی موجود

مهدی فرج محمدیه<sup>۱\*</sup>، فرهاد بهنام فر<sup>۲</sup>، احد اوریا<sup>۳</sup>

۱- آکارشناس ارشد عمران - زلزله

۲- دانشیار، دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- دانشیار، دانشکده فنی دانشگاه محقق اردبیلی

\*mehdifaraj66@yahoo.com

تاریخ پذیرش: [۹۷/۰۳/۰۹]

تاریخ دریافت: [۹۷/۰۷/۰۳]

## چکیده

در این پژوهش هدف اصلی، بررسی تأثیر حفاری عمیق بر ساختمان فولادی موجود در خاک نوع سه‌ی آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله با مدل حفاری عمیق در مجاورت یک ساختمان فولادی است. تحلیل‌های لازم در سه بخش و با استفاده از دو نرم‌افزار PLAXIS و SAP 2000 انجام شده است. برای تحلیل دینامیکی غیرخطی خاک از نرم‌افزار PLAXIS استفاده شده که به دلیل عدم قابلیت آن در تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه‌ای از نرم‌افزار SAP 2000 برای تحلیل دینامیکی غیرخطی کمک گرفته شده است. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد حفاری ایجاد شده باعث افزایش نشست و شتاب زیر فونداسیون و همچنین دریافت سازه شده است. نقش استرات‌ها نیز در نشست‌های ناشی از حفاری بر ساختمان نشان می‌دهد که با افزایش توأم عمق حفاری و اجرای استرات‌ها، جابه‌جایی‌های قائم با تغییر درصد کمتری و جابه‌جایی‌های افقی با تغییر درصد بیشتری افزایش یافته است. در نتیجه تأثیر استرات‌ها در کاهش نشست قائم، بیشتر از نشست افقی است.

واژگان کلیدی: آسیب‌پذیری، حفاری تحلیل دینامیکی

است [2,3] در ایران نیز با توجه به گسترش روزافزون جمعیت به طبع آن افزایش شهرنشینی ایجاد حفاری‌های عمیق گسترش یافته است. همه این عوامل باعث استفاده بیشتر از فضاهای زیرزمینی شده که ایجاد چنین حفاری‌هایی باعث آسیب رساندن به سازه‌های موجود طی سالیان متمادی شده و این امر خسارت جبران‌ناپذیری از لحاظ مالی و جانی بر جامعه داشته است. فعالیت‌های انجام شده در این زمینه مربوط به پژوهش‌های کاستالدو<sup>۱</sup> و همکاران است. آن‌ها در پژوهش خود به کمک

## ۱- مقدمه

رشد جمعیت در اکثر مناطق موجب افزایش نیاز به اجرای زیرساخت‌ها شده است و هر چه محیط شهری شلوغ‌تر و فضای سطحی محدودتر گشته نیاز به ایجاد سازه‌های زیرزمینی مانند تونل‌ها و ایستگاه متروها برای تامین این زیرساخت‌ها بیشتر احساس می‌شود [1]. از جمله مشکلات این زیرساخت‌ها، نشست ناشی از حفاری و آثار مخرب احتمالی آن بر ساختمان‌های موجود در سطح زمین است. از این رو تعیین مقدار نشست سازه ناشی از حفاری‌های زیرزمینی و مقایسه با مقدار نشست مجاز ساختمان‌ها امری بسیار مهم و قابل توجه

1 castaldo  
2 Napel  
3 Shen

ژاوکوپیچ و همکاران به بررسی عددی گودبرداری‌های مهارشده با دیواره‌ی دیافراگمی با پلان مربع و مستطیل پرداختند. آن‌ها بیان داشتند که دلیل اینکه مدل‌سازی سه‌بعدی هزینه‌بر و وقت‌گیر است مدل‌سازی دوبعدی تحلیل غالب در محاسبات مهندسی است. برای این منظور ابتدا یک مدل دوبعدی در حالت‌های کرنش صفحه‌ای و تقارن محوری را مدل‌سازی و سپس با حالت سه بعدی مقایسه کردند. آن‌ها بیان کردند که بیشینه جابه‌جایی افقی بین حالت تقارن محوری به عنوان حد پایین و حالت کرنش صفحه‌ای به عنوان حد بالا قرار گرفته و جابه‌جایی افقی در حالت سه بعدی در این دامنه قرار می‌گیرد. در گودبرداری‌های مستطیلی پاسخ جابه‌جایی افقی در وسط ضلع بزرگ‌تر تمایل به حالت کرنش صفحه‌ای و در گوشه و امتداد ضلع کوچک‌تر تمایل به حالت تقارن محوری دارد [7]. سوک<sup>4</sup> و همکاران با ایجاد یک مدل آزمایشی، نشست ساختمان مجاور ناشی از گودبرداری مهاربندی شده را مطالعه کرده‌اند. نتایج پژوهش نشان‌گر این بود که اگر ساختمان مجاور گود در عمقی از سطح زمین باشد، میزان حرکت زمین بستگی به مقدار این عمق خواهد داشت. در واقع وقتی عمق مدفون شدگی ساختمان زیاد باشد، نشست زمین زیر ساختمان کاهش یافته به طوری که اگر این عمق در حدود بیش از نصف ارتفاع گودبرداری باشد این نشست ناچیز خواهد شد [8]. در این پژوهش نیز برای ارزیابی تأثیر حفاری عمیق روی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان موجود تحلیل‌های لازم در سه بخش و با استفاده از دو نرم‌افزار PLAXIS و SAP 2000 انجام شده است. برای تحلیل دینامیکی غیرخطی خاک از نرم‌افزار PLAXIS استفاده شده که به دلیل عدم قابلیت آن در تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه‌ای از نرم‌افزار SAP 2000 برای تحلیل دینامیکی غیرخطی کمک گرفته شده است. در بخش اول در نرم‌افزار PLAXIS با انجام تحلیل استاتیکی جابه‌جایی‌های افقی و قائم زیر فونداسیون تحت بار مرده و زنده در دو مرحله قبل و بعد از حفاری محاسبه شده است. در بخش دوم در نرم‌افزار PLAXIS با استفاده از ده

انجام مطالعه موردی ایستگاه مترو که در مرکز شهر ناپل<sup>2</sup> ایتالیا است به بررسی تأثیر حفاری عمیق روی پاسخ لرزه‌ای ساختمان موجود بتنی مسلح پرداختند [4]. آن‌ها مدل خاک را به کمک نرم‌افزار ژئوتکنیک PLAXIS با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی خاک، بارهای مرده و زنده، شرایط مرزی و اندرکنش خاک-سازه مدل‌سازی نمودند. در بخش اول با انجام تحلیل استاتیکی جابه‌جایی‌های زیر فونداسیون ساختمان را در دو مرحله قبل و بعد از حفاری محاسبه شد. بخش دوم نیز در نرم‌افزار PLAXIS با استفاده از شتاب‌نگاشت زمین‌لرزه Irpina تحلیل دینامیکی غیرخطی با در نظر گرفتن اندرکنش خاک-سازه در دو مرحله انجام و پاسخ شتاب در زیر فونداسیون سازه مشخص شدند. در بخش سوم با استفاده از SAP 2000 جابه‌جایی‌های به دست آمده از بخش اول را به صورت جداگانه برای هر دو مرحله به تکیه‌گاه سازه اعمال کرده و با استفاده از پاسخ شتاب زیر فونداسیون، تحلیل دینامیکی غیرخطی زمانی سازه را انجام داده و با مقایسه دریافت طبقاتی هر دو مرحله و استفاده از شاخص پارک خرابی سازه را تشخیص دادند. نتایج پژوهش نشانگر آن بود که تحت حفاری عمیق تغییرات قابل توجهی در خطرپذیری لرزه‌ای رخ می‌دهد که دوران پلاستیک تیرها تا ۲۸ درصد و همچنین دریافت طبقاتی نیز افزایش می‌یابد [5]. شین<sup>3</sup> و همکاران به بررسی اثر روش تحلیل در پیش‌بینی تغییر شکل‌های دیوار مهار شده به وسیله المان‌های افقی پرداختند [6]. آنها تحلیل المان‌های مجزا را با نتایج تحلیل اختلاف محدود مقایسه نمودند. در تحلیل اختلاف محدود از مدل‌های رفتاری موهركولمب و دراکر-پراگر استفاده شد. نتایج نشانگر آن بود که تحلیل اختلاف محدود، تغییر شکل زمین و نیروهای داخلی دیوار را کمتر از نتایج حاصل از DEM پیش‌بینی می‌کند. این امر به دلیل عدم توانایی تحلیل اختلاف حدود و مدل‌های DP و MC برای مدل‌سازی رفتار مکانیکی خاک‌های دانه‌ای تحت شرایط پیچیده تنش در گودبرداری است. در پژوهشی دیگر

شکل ۲. مدل سازی بعد از حفاری (PLAXIS)

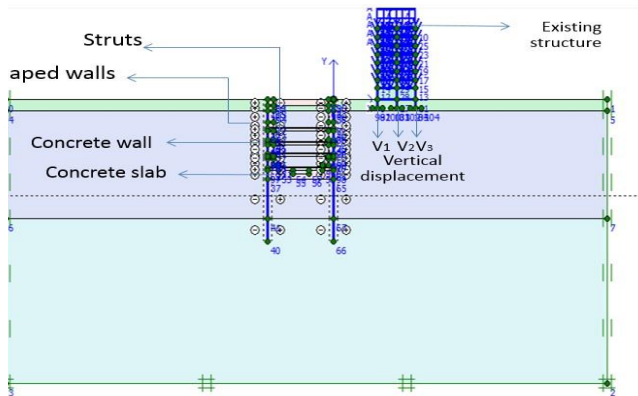


Fig. 2. Modeling after excavation (PLAXIS)

جدول ۱. مقایسه نتایج بعد از حفاری (مدل کاستالدو و تحلیل در (PLAXIS)

Vertical displacement under foundation after excavation	V <sub>1</sub> cm	V <sub>2</sub> cm	V <sub>3</sub> cm
Analysis result after excavation in PLAXIS	6.19	5.8	5.18
Analysis result after excavation (Castaldo model)	6.4	5.4	5

Table 1. Comparison of results after Excavation (castaldo model and analysis in plaxis)

## ۲-۲ - محاسبه تغییر مکان های زیر فونداسیون ساختمان موجود (درستی آزمایی)

در این قسمت برای مرحله قبل و بعد از حفاری با انجام تحلیل استاتیکی تحت بار مرده و زنده در نرم افزار PLAXIS با در نظر گرفتن اندرکنش خاک-سازه جابه جایی های قائم و افقی زیر فونداسیون ساختمان موجود محاسبه شده است. با توجه به نتیجه ی محاسبات، حفاری ایجاد شده باعث افزایش نشست زیر فونداسیون ساختمان موجود شده است. نتایج تحلیل و مقایسه آن با نتایج مدل کاستالدو در جداول (۱ و ۲) ارائه شده است.

V1، V2 و V3 محل دقیق جابه جایی قائم زیر فونداسیون هستند که در شکل (۲) نشان داده شده است. طبق جداول (۱ و ۲) جابه جایی قائم در مرحله ی قبل و بعد از حفاری هماهنگی زیادی با نتایج مدل کاستالدو دارد و میزان تاثیر حفاری در افزایش جابه جایی قائم درست محاسبه شده است.

رکورد مقیاس شده که متناسب با مدل ساختگاه انتخاب شده اند، تحلیل دینامیکی برای هر دو مرحله انجام گرفته و پاسخ شتاب در زیر فونداسیون محاسبه شده است. هدف از این بخش بررسی تاثیر حفاری بر پاسخ شتاب و استفاده از آن در نرم افزار SAP 2000 به عنوان ورودی برای تحلیل سازه، است. در بخش سوم سازه در نرم افزار SAP 2000 مدل سازی شده و نتایج جابه جایی هایی بخش اول به فونداسیون اعمال و با استفاده از پاسخ شتاب (خروجی PLAXIS) تحلیل دینامیکی غیرخطی زمانی سازه در دو مرحله انجام گرفته است.

## ۲-درستی آزمایی نرم افزار PLAXIS و SAP 2000

برای درستی آزمایی نرم افزارها، از مدل کاستالدو استفاده شده که این مدل شامل یک ایستگاه زیرزمینی مترو و ساختمان موجود است.

### ۲-۱- مدل سازی در PLAXIS (درستی آزمایی)

خاک زیر سازه در نرم افزار PLAXIS مطابق شکل (۲) به عمق ۱۰۰ و عرض ۲۲۰ متر در سه لایه با پارامترهای ژئوتکنیکی هر لایه مدل سازی شده است. در مدل، حفاری مستطیلی در طول، عرض و عمق به ترتیب ۸۵/۵، ۲۳/۶ و ۲۸ متر ایجاد شده و ساختمان بتنی موجود نیز به فاصله ی ۱۶/۵ متر از لبه حفاری قرار گرفته است. ساختمان موجود ۸ طبقه با دو دهانه که اطلاعات مربوط به آن شامل هندسه، مقطع عرضی تیرها و ستون ها، طبقات، نوع مصالح و بارها و مشخصات ژئوتکنیکی خاک در منبع (۵) گزارش شده است.

شکل ۱. مدل المان محدود حفاری و سازه موجود (مدل کاستالدو) [5]

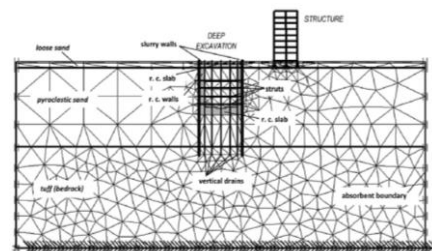


Fig. 1. Finite element model of Excavation and Existing structure

(castaldo model) [5]

شکل ۲. پاسخ شتاب در زیر فونداسیون نقطه A و B (مدل کاستالدو) [۵]

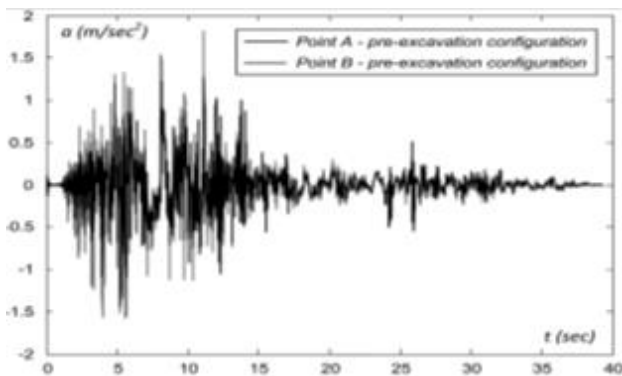


Fig 2. Acceleration response Under foundation at points A & B (castadlo model) [5]

۲-۴- تحلیل دینامیکی غیرخطی زمانی سازه (درستی آزمایی) در این بخش با استفاده از نرم‌افزار SAP 2000 جابه‌جایی‌های محاسبه شده از تحلیل استاتیکی به صورت جداگانه برای هر دو مرحله قبل و بعد از حفاری در تکیه‌گاه سازه اعمال شده و با استفاده از پاسخ شتاب زیر فونداسیون برای هر دو مرحله قبل و بعد از حفاری تحلیل دینامیکی غیرخطی زمانی سازه انجام شده است. با توجه به نتیجه تحلیل مشخص است که با ایجاد حفاری حرکت سازه به سمت حفاری، نسبت به مرحله قبل از حفاری افزایش یافته که در شکل (۳) ارائه شده است.

شکل ۳. دریفت طبقه هشتم سازه (تحلیل در SAP 2000)

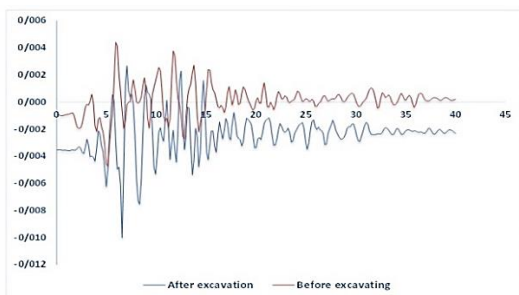


Fig 3. Drift of 8th floor of structure (anlysis at Sap2000)

شکل ۴. دریفت طبقه هشتم سازه (مدل کاستالدو) [5]

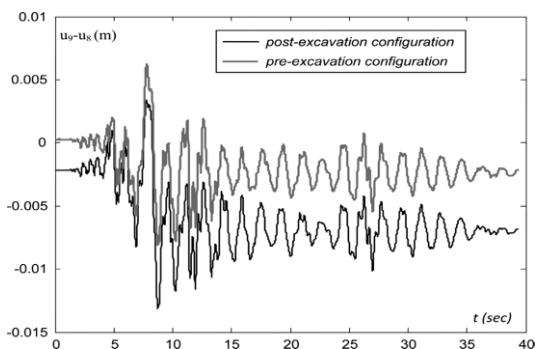


Fig 3. Drift of 8th floor of structure (castadlo model) [5]

جدول ۲. مقایسه نتایج قبل از حفاری (مدل کاستالدو و تحلیل در PLAXIS)

Vertical displacement under foundation before excavation	V <sub>1</sub> cm	V <sub>2</sub> cm	V <sub>3</sub> cm
Analysis result before excavation in PLAXIS	2.63	2.7	2.37
Analysis result before excavation	2.6	2.3	2.1

Table 2. Comparison of result before excavation (Castadlo model and anlysis in plaxis)

۲-۳- تحلیل دینامیکی در نرم‌افزار

(درستی آزمایی)

تحلیل دینامیکی با استفاده از شتاب‌نگاشت Irpinia Italy با در نظر گرفتن اندرکنش خاک-سازه در دو مرحله قبل و بعد از حفاری انجام شده و پاسخ شتاب در دو نقطه‌ی منتخب A و B شکل (۳) محاسبه شده است.

با توجه به شکل‌های (۱ و ۲) شتاب محاسبه شده در نرم‌افزار PLAXIS هماهنگی مناسبی با نتایج مدل کاستالدو دارد.

شکل ۳. مدل کاستالدو [5]

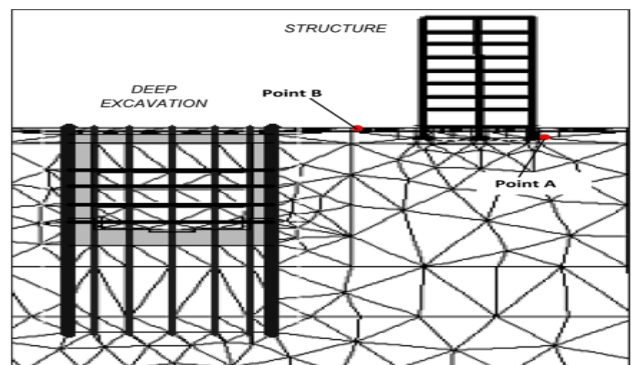


Fig. 3. castadlo model [5]

شکل ۱. پاسخ شتاب در زیر فونداسیون نقطه A و B (تحلیل در PLAXIS)

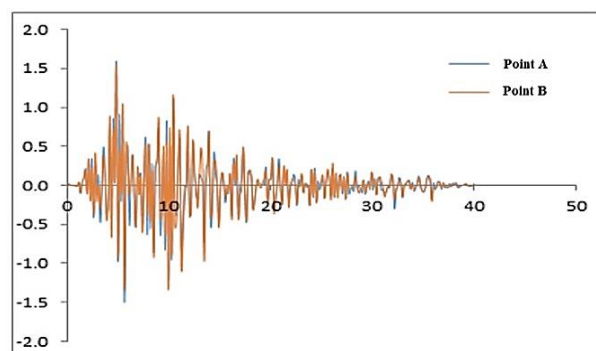


Fig 1. Acceleration response Under foundation at points A & B (analysis at plaxis)

۵-مقایسه جابه‌جایی سازه در دو مرحله قبل و بعد از حفاری به منظور بررسی تأثیر حفاری در پاسخ سیستم سازه‌ای موجود

#### ۴- مدل‌سازی

در این قسمت خاک زیر سازه در نرم افزار PLAXIS مطابق شکل‌های (۶ و ۷) به عمق ۹۰ و عرض ۲۰۰ متر مدل‌سازی شده و ابعاد حفاری ۲۳ متر و مراحل اجرای آن طبق مشخصات یک پروژه واقعی ایستگاه مترو شهر ناپل ایتالیا است. این حفاری شامل گودبرداری مستطیلی به عرض متر با اجرای دیوار مسلح بتنی T شکل به عمق ۵۰ متر با استرات‌های افقی [12] مدل‌سازی شده است. همچنین ساختمان فولادی موجود در یک متری لبه حفاری در نظر گرفته شده است.

شکل ۴. نقشه پلان حفاری ایستگاه مترو [5]

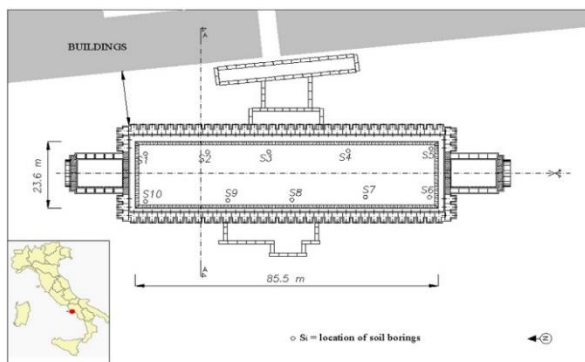


Fig. 4. Excavation plan of metro station [5]

شکل ۵. سیستم نگه‌دارنده حفاری

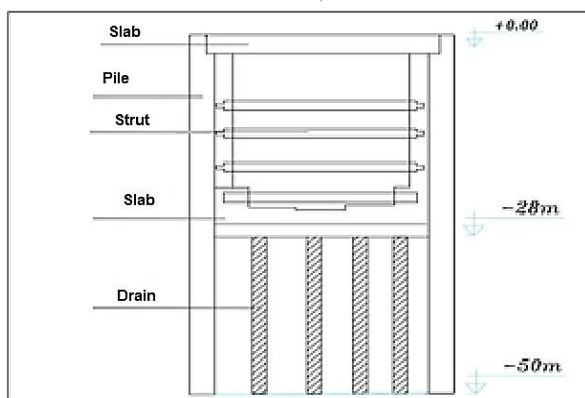


Fig. 5. Excavation conservator system

طبق شکل (۳ و ۴) نتایج دریافت سازه هماهنگی مناسبی با نتایج مدل کاستالدو دارد و میزان تأثیر حفاری در افزایش دریافت سازه درست محاسبه شده است.

پس از انجام درستی‌آزمایی نتایج و نرم‌افزارهای مورد استفاده، پژوهش حاضر در خاک نوع سه طبقه بندی شده‌ی آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله، مدل‌سازی و در سه بخش و با دو نرم افزار PLAXIS و SAP 2000، تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی به شرح مراحل زیر انجام شده است.

#### ۳- روش پیشنهادی

بررسی تأثیر حفاری عمیق بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های فلزی موجود طبق مدل‌های زیر تعریف شده است.

۱- تعریف مدل خاک و سازه در نرم‌افزار PLAXIS با در نظر گرفتن اندرکنش خاک-سازه و با مدل رفتاری موهركلمب [9]  
 ۲- مدل کردن سیستم حفاری که به مراحل احداث و فناوری‌های به‌کار رفته بستگی دارد [10].

۳- مدل‌سازی ساختمان فولادی در نرم‌افزار SAP 2000 که پاسخ آن بستگی به تأثیر حفاری در جابه‌جایی و شتاب زیر فونداسیون سازه، مشخصات دینامیکی و استاتیکی سازه و خاک دارد.

با توجه به مدل‌سازی‌ها به منظور تعیین اثر حفاری بر ساختمان‌های موجود روش‌های محاسباتی زیر انجام شده است.

۱- تعیین ویژگی‌های دینامیکی خاک، سیستم سازه‌ای، و ضرایب میرایی رایلی [11].

۲- محاسبه نشست فونداسیون ساختمان تحت بار زنده و مرده در دو مرحله قبل و بعد از حفاری از طریق تحلیل استاتیکی با در نظر گرفتن اندرکنش خاک-سازه در نرم‌افزار PLAXIS

۳- تحلیل دینامیکی غیرخطی خاک در نرم‌افزار PLAXIS که هدف از این تحلیل، بررسی آثار حفاری در پاسخ شتاب زیر فونداسیون و همچنین استفاده از این شتاب در نرم‌افزار SAP 2000 به عنوان ورودی برای تحلیل سازه است.

۴- تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه در نرم‌افزار SAP 2000، با اعمال جابه‌جایی‌های فونداسیون به تکیه‌گاه سازه و با استفاده از پاسخ شتاب زیر فونداسیون

اندرکنش بین سپرها، شمع‌ها، دیوارها و سازه‌ها را با محیط خاکی مدل‌سازی کند. و عمق مدفون فونداسیون نیز برابر ۷۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است.

جدول ۳. پارامترهای ژئوتکنیکی خاک

Parameters	Symbols	Amount	Unit
Units weight of saturated soil	$\gamma_{sat}$	18	$kN/m^3$
Units weight of normal soil	$\gamma$	17	$kN/m^3$
Soil permeability	$K$	1	$m/s$
Modulus of elasticity	$E$	239100	$kN/m^2$
Shear wave speed	$v_s$	234	$m/s$
Soil shear modulus	$G$	95600	$kN/m^2$
Poisson ratio of soil	$\nu$	0.25	-
Soil adhesion	$C$	10	$kN/m^2$
Soil Depletion Angle	$\psi$	2	Degree
Soil friction angle	$\phi$	32	Degree

Table 3. Soil geotechnical parameters

#### ۲-۴- مراحل اجرای حفاری

در این پژوهش اجرای حفاری طبق پژوهش‌های کاستالدو [13] به شرح زیر انجام شده است.

مرحله اول: دیوارهای بتنی T شکل (شمع بتنی) تا عمق ۵۰ متر در فاصله‌های معین از هم اجرا شده است.

مرحله دوم: تا عمق ۴- متر حفاری شده و سپس دال بتنی در بالای حفاری به ضخامت ۲ متر اجرا شده است. مرحله سوم: تا

عمق ۱۱- متر حفاری شده و اولین استرات افقی اجرا شده است. مرحله چهارم: تا عمق ۱۶- متر حفاری شده و دومین

استرات افقی اجرا شده است. مرحله پنجم: تا عمق ۲۰- متر حفاری شده و سومین استرات افقی نیز اجرا شده است. مرحله

ششم: تا عمق ۲۸- متر حفاری شده و چهارمین استرات نیز اجرا شده است. مرحله هفتم (مرحله بهره‌برداری): در این مرحله دال

بتنی کف و دیواره‌های بتنی طرفین اجرا شده و سپس تمامی استرات‌های افقی برچیده شده است. تمامی مراحل حفاری اجرا

شده‌ی فوق در نرم‌افزار PLAXIS در فازهای جداگانه مدل‌سازی و تحلیل شده است.

شکل ۶. مدل المان محدود مرحله قبل از حفاری

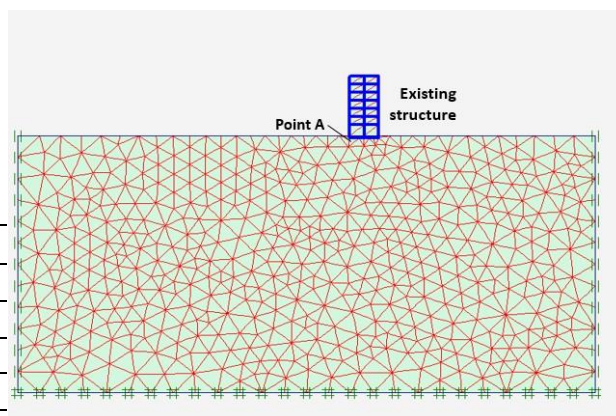


Fig. 6. Finite element model before excavation

شکل ۷. مدل المان محدود مرحله بعد از حفاری

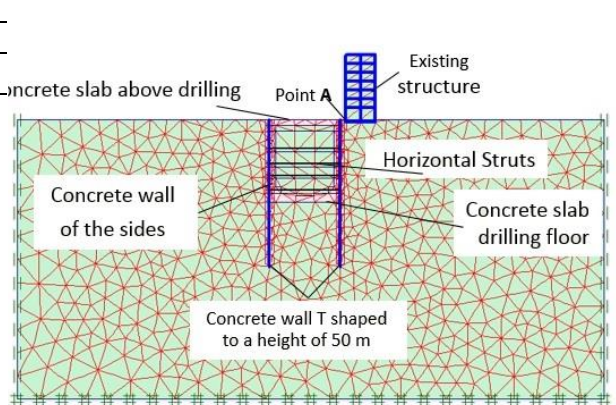


Fig. 7. Finite element model after excavation

#### ۴-۱- مشخصات خاک، مش بندی و اندرکنش

پارامترهای ژئوتکنیکی خاک نوع سه آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله برای مدل موهرکولمب که در این پژوهش استفاده شده در جدول (۳)

ارائه شده است. برای انجام تحلیل اجزاء محدود، مدل هندسی به اجزای ریز، مش بندی شده و سپس مورد تحلیل قرار گرفته است.

در برنامه ورودی عمل مش بندی با توجه به ابعاد مدل، دقت و حساسیت محاسبات در پنج سطح به اجزای خیلی درشت،

درشت، متوسط، ریز و خیلی ریز تقسیم بندی می شود که هر چند اجزاء ریزتر باشند تعداد آن‌ها بیشتر و دقت محاسبات افزایش

می یابد درحالی که مدت زمان تحلیل طولانی تر می شود که در این پژوهش از سطح خیلی ریز برای مش بندی استفاده شده که پاسخ

تحلیل مستقل از اندازه مش شده است. اندرکنش خاک- سازه نیز توسط اجزاء فصل مشترک انجام شده که این جزء قادر است

جدول ۴. مشخصات سیستم تکیه‌گاهی حفاری

Support system	ابعاد (m)	EI (kN m/m <sup>2</sup> )	EA (kN/m)
Concrete T-shaped walls	A= 5.46	5800000	34000000
Upper concrete slab	H=2	-	-
strut	-	-	1800000
Bottom concrete slab	H=2.5	-	-
Armed concrete walls	H=2	-	-

Table 4. Specification of excavation support

### ۵- تعیین مشخصات دینامیکی سازه و خاک

#### ۱-۵- میرایی خاک

برای در نظر گرفتن میرایی خاک در نرم‌افزار PLAXIS از ضرایب رایلی  $a$  و  $\beta$  استفاده شده است. این ضرایب متناسب با جرم و سختی سیستم بوده که میرایی رایلی را مطابق رابطه زیر تشکیل داده است.

$$C = \alpha M + \beta K \quad (1)$$

در این رابطه  $M$  (۱) جرم،  $K$  سختی و  $a$ ،  $\beta$  ضرایب رایلی را نشان می‌دهند که آلفای رایلی پارامتری است که اثر جرم در میرایی سیستم را مشخص کرده و در مقادیر بالاتر، بیشتر فرکانس‌های پایین مستهلک می‌شوند و بتای رایلی هم اثر سختی در میرایی سیستم را تعیین می‌نماید که در مقادیر بالاتر بتا، بیشتر فرکانس‌های بالا مستهلک می‌شوند. رابطه رایلی میان  $a$ ،  $\omega_i$ ،  $\xi_i$ ،  $\beta$  به صورت زیر است.

$$\alpha + \beta \omega_i = 2 \omega_i \xi_i \quad (2)$$

در رابطه (۲) اگر نسبت میرایی و فرکانس‌های ارتعاشی معلوم باشند دو معادله به طور هم زمان تشکیل می‌شود که از آن  $\alpha$  و  $\beta$  محاسبه می‌شود. برای مشخص شدن ضرایب میرایی ابتدا باید فرکانس ارتعاشی اول و دوم و نسبت میرایی مشخص شود [14] بنابراین با استفاده از تابع تبدیل، فرکانس ارتعاشی برای خاک مورد نظر محاسبه شده که در ادامه جزئیات توابع تبدیل برای محاسبه فرکانس ارتعاشی به صورت کامل توضیح داده شده است. نسبت میرایی هم مطابق آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ۵ درصد در نظر گرفته شده است.

### ۳-۴- مشخصات سازه موجود فولادی

سازه‌ی در نظر گرفته شده یک قاب فولادی ۷ طبقه‌ی دو دهانه با کاربری مسکونی در منطقه‌ی با خطر نسبی زیاد است. سیستم مقاوم این سازه از نوع قاب خمشی فولادی متوسط و ارتفاع طبقه‌ی همکف ۴/۵ متر و طبقات ۳/۲ متر و همچنین فاصله ستون‌ها و قاب‌ها از هم به ترتیب ۵ و ۴ متر است و بارهای وارد شده نیز از نوع مرده و زنده به مقدار ۶۲۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع در تمام طبقات در نظر گرفته شده است.

شکل ۸. قاب ساختمانی موجود

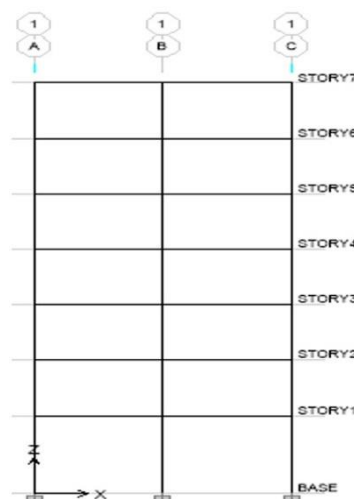
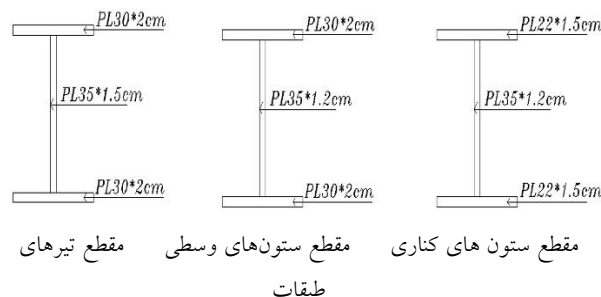


Fig. 8. Existing Steel Frame & Structure Section



مقطع ستون‌های کناری      مقطع ستون‌های وسطی      مقطع تیرهای طبقات

### ۴-۴- مشخصات سیستم نگه‌دارنده

در این پژوهش برای حفظ پایداری حفاری از سیستم نگه‌دارنده طبق شکل (۵) استفاده شده که ابعاد و مشخصات مربوط به دیواره بتنی T شکل، دیواره‌های بتنی جداره‌ها، دال بتنی بالا و پایین حفاری و استرات‌ها در جدول (۴) بیان شده است.

۱-۱-۵- توابع تبدیل

یکی از روش‌های تحلیل پاسخ زمین استفاده از تابع تبدیل است که برای بیان پارامترهای مختلف پاسخ، مانند فرکانس ارتعاشی خاک استفاده می‌شود. با این تابع می‌توان برخی از مهم‌ترین آثار توده خاک را بدون وارد شدن به عملیات پیچیده ریاضی تشریح نمود [15] در این پژوهش برای تعیین فرکانس‌های ارتعاشی خاک از تابع تبدیل رابطه (۳) استفاده شده است.

۲-۱-۵- تعیین فرکانس ارتعاشی خاک با استفاده از توابع تبدیل

برای تعیین فرکانس ارتعاشی خاک، رابطه‌ی (۳) با استفاده از مشخصات خاک و فرکانس طبیعی با گام ۰/۲ در نرم‌افزار EXCEL تعریف شده که نتیجه تابع به صورت شکل (۵) حاصل شده است. در شکل، محور  $x$  مربوط به فرکانس طبیعی و محور  $y$  تابع تبدیل است. فرکانس متناظر با اولین ماکزیمم تابع تبدیل به عنوان فرکانس طبیعی اول ( $\omega_1$ ) برابر با ۳/۸ رادیان برثانیه و فرکانس متناظر با دومین ماکزیمم تابع تبدیل به عنوان فرکانس طبیعی دوم ( $\omega_2$ ) برابر با ۱/۶ رادیان برثانیه محاسبه شده است.

$$F = \frac{1}{\sqrt{\cos^2(\omega H/V_s) + \{\zeta(\omega H/V_s)\}^2}} \quad (3)$$

شکل ۵. تابع تبدیل برای خاک مدل‌سازی شده

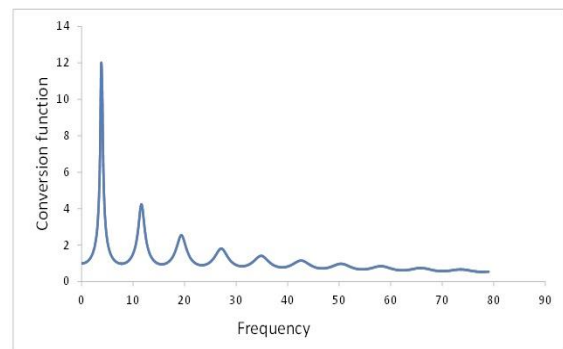


Fig 5. Conversion function for modeled soil

۳-۱-۵- تعیین ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  رایلی برای خاک

برای محاسبه ضرایب رایلی با استفاده از فرکانس‌های ارتعاشی مشخص شده و میرایی ۵ درصد رابطه  $a + \beta\omega_i = 2\omega_i \xi$  تبدیل

به معادله دو مجهولی می‌شود که با حل آن ضرایب میرایی  $a = 0.286$  و  $\beta = 0.00649$  محاسبه شده است.

۲-۵- میرایی سازه

در سازه پدیده‌ای که باعث می‌شود ارتعاش آزاد یک سیستم به تدریج مستهلک شود میرایی نامیده می‌شود. در میرایی، انرژی جنبشی ارتعاشی سیستم بنا به سازوکارهای مختلفی مستهلک می‌شود. میرایی در واقع همان قدرت استهلاک انرژی سازه در حوزه رفتار خطی است که این نقش را در حوزه رفتار غیرخطی سازه، میرایی هیسترتیک (شکل‌پذیری) به عهده دارد. میرایی هیسترتیک در تحلیل دینامیکی غیرخطی کاربرد دارد و بیانگر اتلاف انرژی کل زلزله است [16]. در این پژوهش برای تعیین ضرایب میرایی، ابتدا فرکانس ارتعاشی اول و دوم تعیین و سپس با استفاده از آن  $\alpha$  و  $\beta$  محاسبه شده است بنابراین با انجام تحلیل طیفی در نرم‌افزار SAP فرکانس ارتعاشی اول و دوم به ترتیب ۵/۳۲ و ۱۶/۷۹ رادیان بر ثانیه تعیین شده که با حل معادله رایلی،  $\alpha$  و  $\beta$  به ترتیب ۰/۴ و ۰/۰۰۴۵ محاسبه شده است.

۳-۵- مرزهای جاذب

برای شروع تحلیل دینامیکی در نرم‌افزار PLAXIS مرزهای جاذب در اطراف مدل طبق شکل (۹) تعریف شده است. این مرزها برای جلوگیری از افزایش تنش و اغتشاش امواج در اطراف مدل که از بارهای دینامیکی ناشی می‌شوند، ایجاد شده است.

شکل ۹. مرزهای جاذب

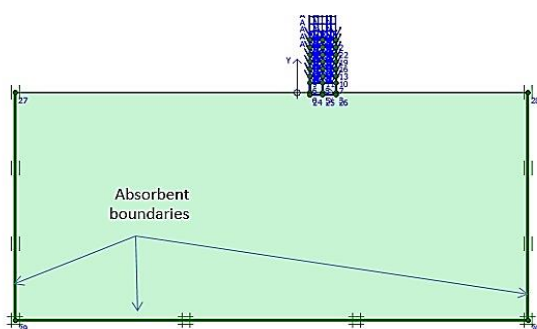


Fig. 9. Absorbent boundaries



## ۶- تجزیه و تحلیل

سومین استرات، عمق ۲۸- متر با اجرای چهارمین استرات و در قسمت دوم در عمق ۲۸- متر ( مرحله ی بهره برداری) با اجرای دیوارهای بتنی طرفین، دال بتنی کف حفاری و برچیدن استرات-ها محاسبه شده است. نتایج محاسبات در جدول (۶) و شکل‌های (۶ و ۷) نشان داده شده است.

شکل ۱۱. جابه‌جایی فونداسیون سازه، مرحله بعد از حفاری ( بهره‌برداری)

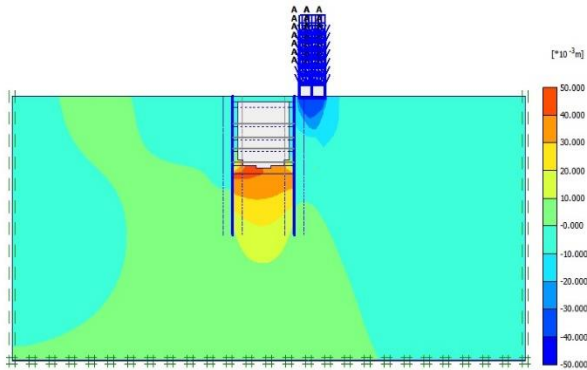


Fig. 11. Structure foundation displacement, after excavation

جدول ۶. جابه‌جایی فونداسیون سازه، مرحله بعد از حفاری ( بهره‌برداری)

Depth (m)	Vertical displacement under the foundation (cm)			Horizontal displacement under the foundation (cm)		
	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$u_1$	$u_2$	$u_3$
D= - 4	-2.97	-2.78	-2.66	-0.373	-0.374	-0.376
D= - 11	-3.19	-2.91	-3.03	-3.03	-0.51	-0.52
D= - 16	-3.27	-2.92	-2.81	-0.6	-0.6	-0.6
D= - 20	-3.28	-2.78	-2.77	-0.64	-0.64	-0.64
D= - 28	-3/21	-2.79	-2.63	-0.65	-0.65	-0.65
(D= - 28 ( Use)	-4.09	-3.55	-3.52	-0.52	-0.52	-0.52

Table 6. Structure foundation displacement, after excavation

شکل ۶. جابه‌جایی قائم زیر فونداسیون ساختمان

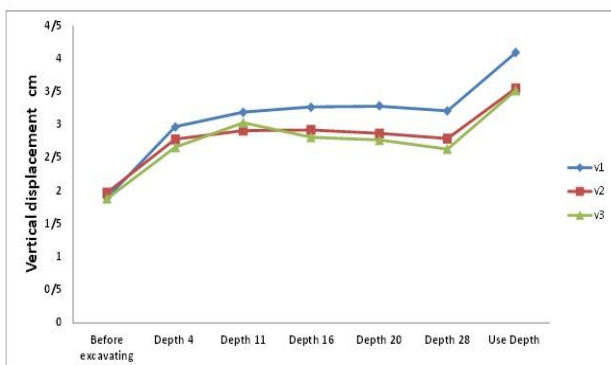


Fig 6. Vertical displacement under structure foundation

۶-۱- محاسبه‌ی تغییر مکان زیر فونداسیون ساختمان مرحله قبل از حفاری  
برای مرحله قبل از حفاری با استفاده از نرم‌افزار PLAXIS خاک و قاب ساختمانی موجود با در نظر گرفتن اندرکنش خاک-سازه مدل‌سازی شده و با انجام تحلیل استاتیکی، جابه‌جایی‌های افقی و قائم زیر فونداسیون ساختمان موجود تحت بار مرده و زنده محاسبه شده است. نتایج مربوط به محاسبات در جدول (۵) ارائه شده است.

شکل ۱۰. جابه‌جایی فونداسیون سازه، مرحله قبل از حفاری

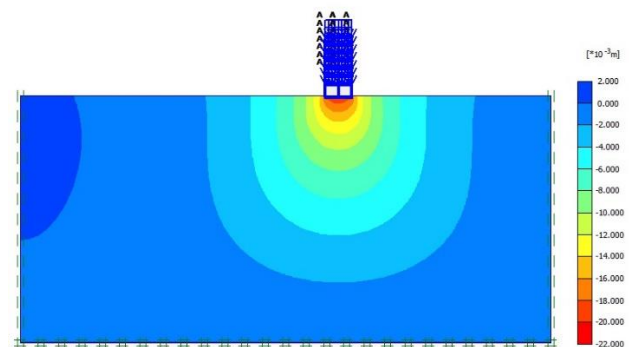


Fig. 10. Structure foundation displacement, before excavation

جدول ۵. نتایج جابه‌جایی فونداسیون سازه، مرحله قبل از حفاری

Vertical displacement under the foundation (cm)			Horizontal displacement under the foundation (cm)		
$V_1$	$V_2$	$V_3$	$u_1$	$u_2$	$u_3$
-1.89	-1.97	-1.89	-0.0005	-0.05	-0.011

Table 5. Result of structure foundation displacement, before excavation

۶-۲- محاسبه‌ی تغییر مکان زیر فونداسیون ساختمان مرحله بعد از حفاری  
در مرحله بعد از حفاری محاسبه جابه‌جایی‌های افقی و قائم فونداسیون در اثر حفاری در دو قسمت بررسی شده است. در قسمت اول هم‌زمان با اجرای حفاری در عمق‌های ۴- متر، عمق ۱۱- متر با اجرای دال مسلح بالای حفاری و اولین استرات، عمق ۱۶- متر با اجرای دومین استرات، عمق ۲۰- متر با اجرای

گرفتن شرایط زیر از سایت peer متناسب با ساختگاه انتخاب شده‌اند.

جدول ۸. رکوردهای انتخابی

Accelerated	Station of registration	PGA
Hollister-01	Hollister City Hall	0.114 g
Parkfield Cholame	Shandon Array	0.247 g
San Fernando	LA - Hollywood Stor FF	0.224 g
Point Mugu	Port Hueneme	0.127 g
Mammoth Lakes-06	Benton	0.17 g
Tabas Iran	Boshrooyeh, L	0.1 g
Victoria Mexico	Sahop Casa Flores	0.1 g
Duzce	Duzce 180 (ERD)	0.535 g
Corinth Greece	Corinth, L	0.296 g
Westmorland	Brawley Airport	0.165 g

Table 8. Selected Records

#### ۴-۶- مقیاس کردن شتاب‌نگاشت

آیین‌نامه‌های لرزه‌ای برای تعیین نیروهای جانبی وارد بر سازه‌ها، ویژگی‌های ارتعاش زمین را به صورت طیف‌های طراحی ارائه داده‌اند. شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده برای انجام تحلیل تاریخیچه زمانی باید مشابهت مناسبی با طیف طراحی داشته باشند که برای این منظور باید مرحله‌ای به نام مقیاس کردن شتاب‌نگاشت‌ها انجام شود. در گام اول تمامی شتاب‌نگاشت‌ها به مقدار بیشینه خود مقیاس شده‌اند به این معنی که بیشینه شتاب در مؤلفه که دارای بیشینه بزرگ‌تری است، برابر با شتاب ثقل زمین (g) شده است. پس از مقیاس کردن اولیه هر شتاب‌نگاشت به مقدار حداکثر PGA آن‌ها، طیف پاسخ شتاب با منظور کردن میرایی ۵ درصد برای هر یک از شتاب‌نگاشت‌ها از طریق نرم‌افزار SeismoSignal به دست آمده است. در این گام طیف طرح استاندارد آیین‌نامه با مقدار طیف رکوردها با یکدیگر مقایسه شده که با اعمال ضریب مقیاس، میانگین طیف رکوردها در محدوده 0.2T تا 1.5T از ۱/۳ برابر مقادیر مناظر طیف طرح استاندارد کمتر نشده است (شکل ۸ و ۹)

شکل ۷. جابه‌جایی افقی زیر فونداسیون ساختمان

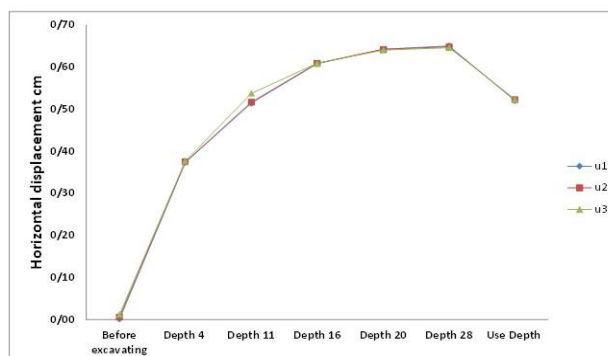


Fig 7. Horizontal displacement under structure foundation

با توجه به نتایج شکل‌های (۶ و ۷) حفاری ایجاد شده در تمامی مدل‌ها باعث افزایش جابه‌جایی‌های افقی و قائم شده است. با افزایش توأم عمق حفاری و اجرای استرات‌ها جابه‌جایی‌های قائم با تغییر درصد کمتری و جابه‌جایی‌های افقی با تغییر درصد بیشتری افزایش یافته است. بیشترین جابه‌جایی قائم مربوط به عمق بهره‌برداری است که در فونداسیون‌های  $V_1$ ،  $V_2$  و  $V_3$  به ترتیب ۲/۱۶، ۱/۱۸، ۱/۸۷ برابر نسبت به نتایج مرحله‌ی قبل از حفاری افزایش یافته است. جابه‌جایی‌های افقی نیز در مرحله قبل از حفاری نزدیک به صفر است که با ایجاد حفاری بیشترین جابه‌جایی در عمق ۲۸- متری قرار گرفته است.

جدول ۷. شرایط مناسب برای جست‌وجو و انتخاب رکورد

5-7	Magma (Richter)	Away from the fault	Location of the accelerator device
Soil Type Three	Land classification based on 2800 earthquakes	20-60	Distance from (km) fault

Table 7. Conditions for searching and selecting a record

#### ۳-۶- انتخاب شتاب‌نگاشت

انتخاب شتاب‌نگاشت‌های مناسب، یکی از قدم‌های بسیار مهم و تأثیرگذار در تحلیل تاریخیچه زمانی است. نتایج حاصل از این نوع تحلیل به طور محسوسی به نوع شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده بستگی دارند و انتخاب یک شتاب‌نگاشت نامناسب می‌تواند نتایج را به طور کلی مخدوش سازد. با توجه به این موضوع استاندارد ۲۸۰۰ معیارهایی را برای انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها در تحلیل تاریخیچه زمانی معرفی کرده که در این پژوهش با در نظر

زمانی از حاصل تقسیم مدت زمان وقوع زلزله بر گام زمانی به دست می آید. نتایج تحلیل‌ها در جداول (۹ و ۱۰) و نمونه تحلیل آن در شکل (۱۰ و ۱۱) ارائه شده است.

جدول ۹. بیشینه پاسخ شتاب‌های در زیر فونداسیون

Record	Before excavating		After excavation	
	$+a \text{ (m/s}^2\text{)}$	$-a \text{ (m/s}^2\text{)}$	$+a \text{ (m/s}^2\text{)}$	$-a \text{ (m/s}^2\text{)}$
Corinth Greece	1.52	1.27	2.34	1.94
Duzce, Turkey	0.13	0.14	0.87	1.1
Hollister-	0.13	0.12	1.4	1.3
Mammoth Lakes	0.963	0.6	1.5	1.6
Parkfield	1.74	3.2	2.5	3.5
Point Mugu	0.153	0.1	0.88	1.17
San Fernando	0.69	0.653	1.97	1.2
TAB S IRAN	1.53	1.33	2.43	2.06
Victoria Mexica	1.2	1.11	1.37	1.8

Table 9. Maximum acceleration response under foundation

جدول ۱۰. مقایسه میانگین پاسخ شتاب زیر فونداسیون

Average maximum acceleration response	Before excavating	After excavation	Percent change
$+a_{avg} \text{ m/s}^2$	0.875	1.46	66.85%
$-a_{avg} \text{ m/s}^2$	0.934	1.48	58.45%

Table 10. Comparison of the mean acceleration response below

شکل ۱۰. نمونه پاسخ شتاب زیر فونداسیون قبل از حفاری، Corinth Greece

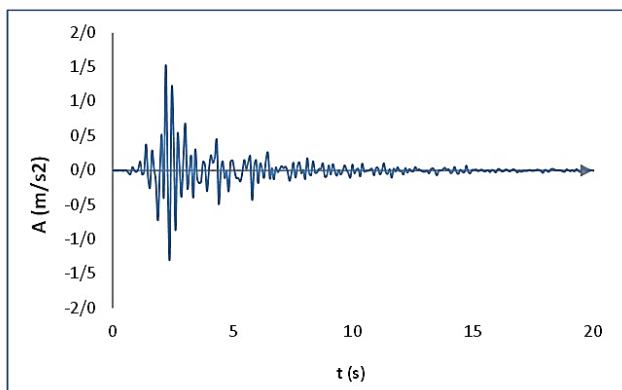


Fig 10. Acceleration response under foundation before excavation, Corinth Greece earthquake

شکل ۸. طیف پاسخ رکوردها بعد از مقیاس کردن

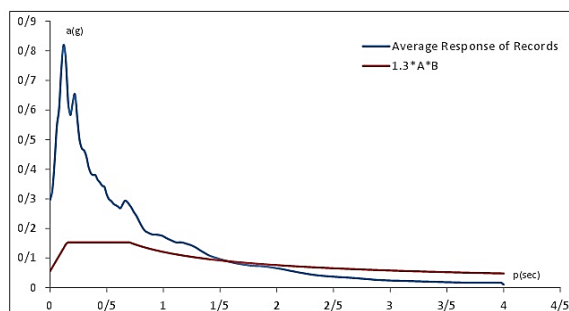


Fig 8. Spectrum of records after scaling

شکل ۹. میانگین طیف رکوردها بعد از مقیاس کردن

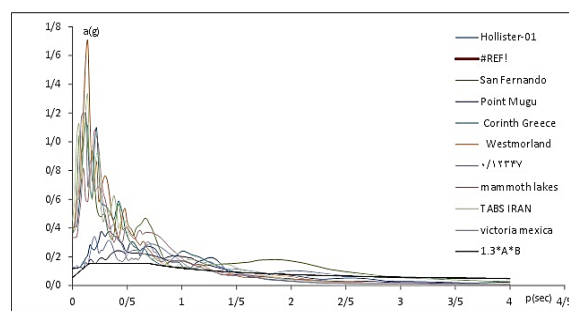


Fig 9. Average scores of records after scaling

## ۵-۶- تحلیل دینامیکی غیرخطی خاک

در نرم‌افزار PLAXIS برای خاک مورد نظر، ده رکورد که متناسب با نوع ساختگاه انتخاب شدند. تحلیل دینامیکی با در نظر گرفتن اندرکنش خاک-سازه در دو مرحله جداگانه قبل و بعد از حفاری انجام گرفته و پاسخ شتاب در زیر فونداسیون (نقطه A) محاسبه شده است. هدف از این بخش بررسی تاثیر حفاری بر پاسخ شتاب و استفاده از آن در نرم‌افزار SAP 2000 به عنوان ورودی برای تحلیل سازه است. در نرم‌افزار PLAXIS برای تعیین گام‌های زمانی از تنظیمات استاندارد استفاده شده است که برای رسیدن به زمان انتهایی تخمینی با دقت کافی براساس مش بندی تولید شده تعیین می نماید. اگر سرعت موج برشی خاک در یک مدل تفاوت‌های قابل توجه را نشان دهد و یا مش بندی خیلی کوچک باشد، تعداد استاندارد مراحل اضافی می‌تواند خیلی بزرگ باشد. در نرم‌افزار SAP 2000 گام زمانی تمامی رکوردها 0.02 انتخاب شده که تعداد گام

جدول ۱۲. میانگین بیشینه جابه‌جایی سازه

Average Maximum Response	Before excavating	After excavation
$+U_{16_{avg}}$ cm	2.43	0.422
$-U_{16_{avg}}$ cm	2.142	4.09

Table 12. Average structural displacement values

شکل ۱۲. مقایسه تغییر مکان سازه از زلزله Corinth reece

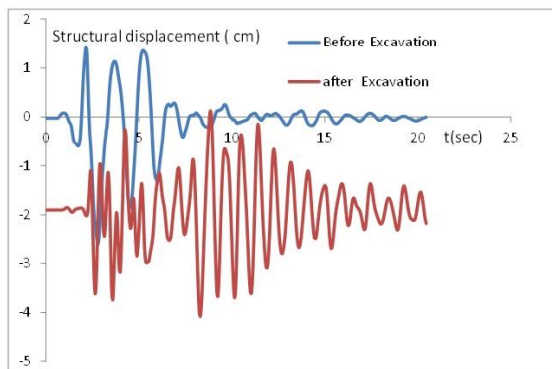


Fig 12. Comparison of Structural Change from the Corinth Greece earthquake

با توجه به نتایج جدول (۱۲) و شکل (۱۲) تأثیر حفاری در پاسخ جابه‌جایی طبقه هفتم سازه در جهت منفی سازه (جهت میل به سمت حفاری) ۱/۹۱ برابر نسبت به مرحله قبل از حفاری افزایش و در جهت مثبت سازه (خلاف میل سمت حفاری) جابه‌جایی سازه در این جهت نزدیک به صفر است. به این معنی که با ایجاد حفاری حرکت سازه به سمت حفاری است.

شکل ۱۲. اعمال جابه‌جایی‌ها به تکیه‌گاه سازه در نرم‌افزار SAP 2000

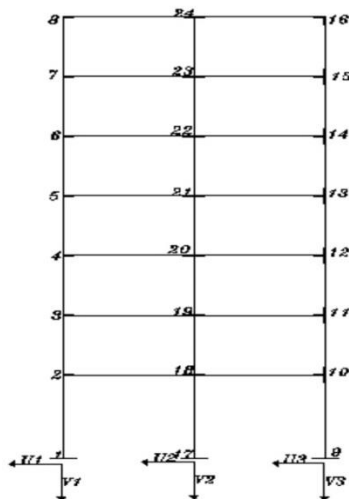


Fig. 12. Applying displacements to structural support in SAP 2000 software

شکل ۱۱. نمونه پاسخ شتاب زیر فونداسیون بعد از حفاری، Corinth Greece

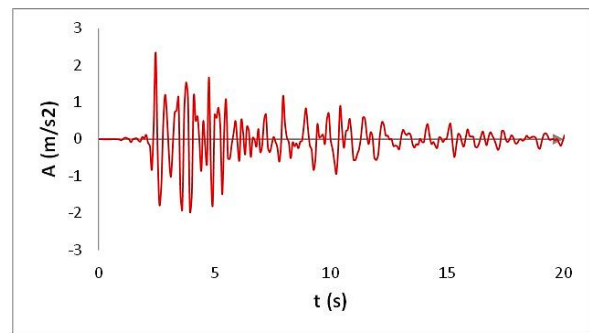


Fig 11. Acceleration response under foundation after Excavation, Corinth Greece earthquake

با توجه به نتایج جدول (۱۰) و میانگین نتایج تحلیل‌ها مشخص است که بیشترین پاسخ شتاب زیر فونداسیون در اثر حفاری به مقدار درصد ۶۶/۸۵ نسبت به مرحله قبل از حفاری افزایش یافته است.

#### ۶-۶- تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه

در این بخش، سازه در نرم‌افزار SAP 2000 مدل‌سازی شده و نتایج جابه‌جایی‌های تحلیل استاتیکی به فونداسیون سازه اعمال و با استفاده از پاسخ شتاب (خروجی PLAXIS) تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه در دو مرحله انجام گرفته است. در نهایت از میانگین ده پاسخ سازه، تغییرات آن در اثر حفاری بررسی شده که نتایج تحلیل‌ها در جداول (۱۱ و ۱۲) و نمونه پاسخ آن در شکل (۱۲) ارائه شده است.

جدول ۱۱. مقادیر بیشینه جابه‌جایی سازه

Acceleration (Under foundation)	Before excavating		After excavation	
	$+U_{16}$ cm	$-U_{16}$ cm	$+U_{16}$ cm	$-U_{16}$ cm
Corinth Greece	1.41	2.61	0.12	4.07
Duzce, Turkey	0.67	0.83	0	4.68
Hollister-	0.45	0.46	0	3.26
Mammoth Lakes	6.84	6.16	1.7	4.68
Parkfield	1.41	1.08	1.35	4.95
Point Mugu	0.51	0.6	0	3.69
San Fernando	1.46	2.77	0	4.03
Tabas Iran	0.86	1.05	0.67	3.95
Victoria Mexica	0.76	0.97	0.08	3.56
Westmorland	9.76	4.89	0.3	3.88

Table 11. Maximum structural displacement values

## References

## منابع

## نتیجه گیری

- [۱] Castaldo, P., Calvello, M., & Palazzo, B. (2014). Structural safety of existing buildings near deep excavations. *International Journal of Structural Engineering*, 5(2), 163-187.
- [2] Long, M. (2001). Database for retaining wall and ground movements due to deep excavations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(3), 203-224.
- [3] Moormann, C. (2004). Analysis of wall and ground movements due to deep excavations in soft soil based on a new worldwide database. *Soils and Foundations*, 44(1), 87-98.
- [4] Karapetrou, S. T., Fotopoulou, S. D., & Pitilakis, K. D. (2015). Seismic vulnerability assessment of high-rise non-ductile RC buildings considering soil-structure interaction effects. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 73, 42-57.
- [5] Castaldo, P., & De Iuliis, M. (2014). Effects of deep excavation on seismic vulnerability of existing reinforced concrete framed structures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 64, 102-112.
- [6] Jiang, M., Shen, Z., & Zhu, F. (2013). Numerical analyses of braced excavation in granular grounds: continuum and discrete element approaches. *Granular Matter*, 15(2), 195-208.
- [7] Zdravkovic, L., Potts, D. M., & St John, H. D. (2011). Modelling of a 3D excavation in finite element analysis. In *Stiff Sedimentary Clays: Genesis and Engineering Behaviour: Géotechnique Symposium in Print 2007* (pp. 319-335). Thomas Telford Ltd.
- [8] Seok, J. W., Kim, O. Y., Chung, C. K., & Kim, M. M. (2001). Evaluation of ground and building settlement near braced excavation sites by model testing. *Canadian geotechnical journal*, 38(5), 1127-1133.
- [9] Doğangün, A., Livaoğlu, R., & Acar, R. (2007). A study on seismic behavior of minarets considering soil-structure interaction.
- [10] Castaldo, P., Calvello, M., & Palazzo, B. (2013). Probabilistic analysis of excavation-induced damages to existing structures. *Computers and Geotechnics*, 53, 17-30.
- [11] Yan, P., Zhao, Z., Lu, W., Fan, Y., Chen, X., & Shan, Z. (2015). Mitigation of rock burst events by blasting techniques during deep-tunnel excavation. *Engineering Geology*, 188, 126-136.
- [12] Yan, P., Zhao, Z., Lu, W., Fan, Y., Chen, X., & Shan, Z. (2015). Mitigation of rock burst events by

ابتدا با استفاده از مدل کاستالدو که به بررسی تأثیر حفاری یک ایستگاه مترو بر رفتار ساختمان بتنی مجاور پرداخته بود به عنوان درستی آزمایشی نرم افزارها، تمامی مراحل پژوهش ایشان مدل-سازی و تحلیل شد. پس از درستی آزمایشی، این پژوهش در خاک طبقه بندی شده نوع سه آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله با استفاده از دو نرم افزار PLAXIS و SAP 2000 انجام شده است. برای تحلیل دینامیکی غیرخطی خاک از نرم افزار PLAXIS استفاده شد که به دلیل عدم قابلیت آن در تحلیل غیرخطی سازه از نرم افزار SAP 2000 برای تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه کمک گرفته شده است. هدف اصلی از این پژوهش بررسی تأثیر حفاری بر پاسخ استاتیکی و دینامیکی سازهی مجاور بوده که در آن میزان تغییرات نشست زیر فونداسیون و تعیین نقش سازه های نگهدارنده و همچنین میزان تغییرات شتاب زیر فونداسیون و جابه جایی سازه-ی موجود در اثر حفاری محاسبه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش نتیجه گرفته می شود که در اثر حفاری نشست زیر فونداسیون سازه افزایش یافته و بیشترین جابه جایی های قائم ایجاد شده در اثر حفاری در عمق بهره برداری بوده که به ترتیب در ستون های  $V_1$ ،  $V_2$  و  $V_3$  به ترتیب  $2/16$ ،  $1/8$  و  $1/86$  برابر نسبت به مرحله ی قبل از حفاری افزایش یافته است. با افزایش توأم عمق حفاری و اجرای استرات ها، جابه جایی های قائم با تغییر درصد کمتری و جابه جایی های افقی با تغییر درصد بیشتری افزایش یافته که در نتیجه تأثیر استرات ها در کاهش نشست قائم بیشتر از نشست افقی می باشد. میانگین بیشینه شتاب زیر فونداسیون  $66$  درصد نسبت به مرحله قبل از حفاری افزایش و در سازه نیز جابه جایی  $1/91$  برابر نسبت به پاسخ مرحله قبل از حفاری افزایش یافته است.

(In Persian)

[15] Steven L. KRAMER, Geotechnical seismic, Mir Hoseini. Research Earthquake Esfehan (1385). (In Persian)

[16] Pak Neiat, Analyese dynamic Earthquake, Publisher By motafakeran (1392). (In Persian)

blasting techniques during deep-tunnel excavation. Engineering Geology, 188, 126-136.

[13] Castaldo, P., Calvello, M., & Palazzo, B. (2014). Structural safety of existing buildings near deep excavations. International Journal of Structural Engineering, 5(2), 163-187.

[14]Gohari, Vafaiepor, Finint Element Code for soil and Rock Analyese PLAXIS, Publisher By Forozesh (1392).

# Effects Of Deep Excavation on Seismic Vulnerability of Existing Steel Framed Structures

Mehdi Faraj Mohammadieh<sup>\*1</sup> , Farhad Behnamfar<sup>2</sup>, Ahad Ouria<sup>3</sup>

1-M.Sc. in earthquake Engineering,

2- Associate Prof, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology,

3-Associate Prof, Department of Civil Engineering Ardebil University

\*mehdifaraj66@yahoo.com

## Abstract

In this paper the effects of deep excavation on seismic vulnerability of existing buildings are investigated. It is well known that deep excavations induce significant changes both in stress and strain fields of the soil around them, causing a displacement field which can modify both the static and dynamic responses of existing buildings. A FEM model of a real case study, which takes into account geometry, non-linear soil behavior, live and dead loads, boundary conditions and soil-structure interaction, has been developed in order to estimate the soil displacements and their effects on seismic behavior of a reinforced concrete framed system close to deep excavation. Along with increasing urban activities, and developing underground facilities, subway stations, parking spaces and other underground structures, excavations made with various depths in urban areas around existing structures has been turn into an inevitable issue. The excavations cause significant changes in the stress and strain fields of the soil under the existing building foundations and finally result in horizontal and vertical displacements under the foundation as well as large changes in static and dynamic response of existing structures. The main objective in the present study is in particular to investigate the above-mentioned problems using a study performed on 4 types of soil as classified in 2800 earthquake regulations with a model of deep excavation in the vicinity of a steel framed building. In this study in order to evaluate the effect of deep excavation on seismic vulnerability of existing buildings, the required analyses has been carried out in three parts and using PLAXIS and SAP 2000. Nonlinear dynamic analysis of soil has been performed using PLAXIS software in which due to its inability to perform nonlinear dynamic structural analysis, the SAP 2000 software is used for nonlinear dynamic analysis. In the first part of the study, using PLAXIS software for conducting the static analysis horizontal and vertical displacements under the foundation subjected to dead and live load have been calculated in two stages before and after the excavation. In the second part, using PLAXIS software, dynamic analysis has been conducted for both mentioned stages with the application of ten scaled records which are chosen based on the model of each site. Afterwards, the acceleration response under the foundation is calculated. This part aims to evaluate the effect of excavation on the acceleration response and use it as an input for structural analysis in SAP 2000 software. In the third part, the structure is modeled in SAP 2000 software, the displacements resulted from the first part are applied to the foundation and using the acceleration response (output of PLAXIS), nonlinear dynamic analysis of the structure is conducted in two stages. The results indicate that the excavation made in all models causes the increased horizontal and vertical displacements. Therefore, both increasing the excavation depth and performing struts, vertical displacements and horizontal displacements increase by a smaller and bigger percentage change, respectively. The acceleration response under the foundation in soil types 1, 2, 3, and 4 increases 51%, 35%, 66% and 27%, respectively. In addition, the maximum displacement of the structure increases 1.6, 1.3, 1.9 and 2.5 times more compared to that before excavation, respectively.

## Keywords:

Vulnerability, excavation, dynamic analysis