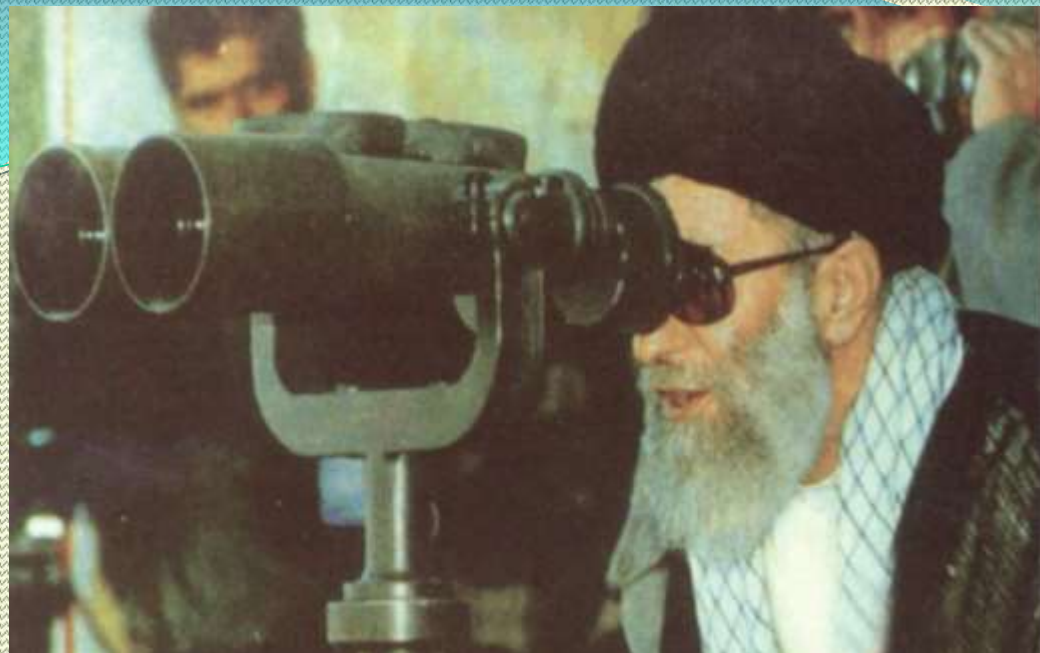


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

G O D
In The Name of

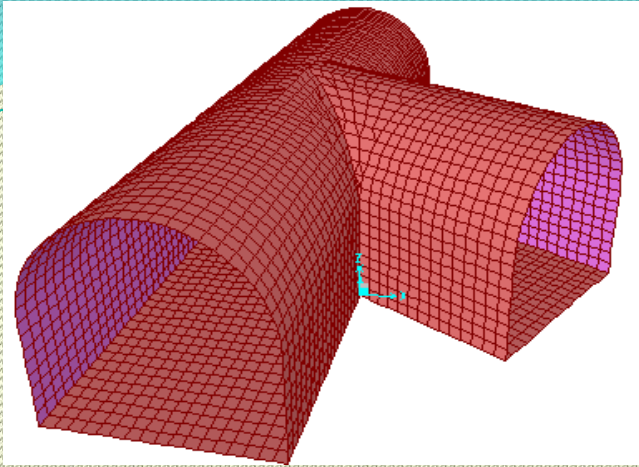
تحلیل و طراحی سازه های زیرزمینی تحت اثر بارگذاری انفجاری



فرمانده کل قوای مسلح

دفاع، جزئی از هویت یک ملت زنده است، هر ملتی که نتواند از خود دفاع کند، زنده نیست. هر ملتی که به فکر دفاع از خود نباشد و خود را آماده نکند، در واقع زنده نیست. هر ملتی که اهمیت دفاع را درک نکند به یک معنا زنده نیست. ما نمی توانیم چشم و قدرت تحلیل داشته باشیم، توطئه عمیق عناد آمیز استکبار علیه اسلام و نظام اسلامی را ببینیم و در عین حال به فکر نباشیم (آبان ۱۳۶۸)

سرفصل مطالب سمینار



- معرفی سازه های زیرزمینی دفاعی
- معرفی آیین نامه ها و مراجع مهم
- ارائه روش اعمال توام بارهای استاتیکی و دینامیکی
- بارگذاری و تحلیل سازه زیرزمینی تحت اثر انفجار
- محاسبه پریود طبیعی سازه زیرزمینی
- تحلیل طیفی سازه زیرزمینی تحت اثر انفجار
- مقایسه پاسخ های تحلیل غیرخطی با تحلیل طیف پاسخ

مقدمه و تاریخچه

تاریخچه سازه های امن

- اولین مطالعات اثرات انفجار بر سازه ها و ارائه روش های مقابله با اثرات انفجار بر سازه به پس از جنگ جهانی دوم بر می گردد.
- اولین راهنمای غیر محرمانه در این موضوع، با عنوان اثرات ضربه و انفجار در سال ۱۹۴۶ توسط کمیته تحقیق دفاع ملی در آمریکا منتشر شد.
- تحقیقات زیادی در مورد طراحی سازه های امن در برابر بارهای انفجاری تصادفی انجام شده که این تحقیقات منجر به تدوین مقالات، کتاب ها و دستورالعمل سازه های مقاوم در برابر بارهای تصادفی شده است.

تاریخچه سازه های امن

- در ایران اولین گزارشات مدون علمی در قالب راهنما و توصیه نامه مربوط به سال ۱۳۶۷ می باشد.
- انجام تحقیقات توسط مهندسين مشاور سپاه و ارتش بر مبنای تجربیات دفاع مقدس و ایجاد سازه های امن دفاعی (مدفون، نیمه مدفون و زیرزمینی).
- دست یابی به دانش لازم بر طراحی سازه های زیرزمینی در برابر بارهای انفجاری
- تشکیل کمیته عالی سازمان پدافند غیر عامل کشور.
- ترجمه و تدوین مقالات، کتاب ها و دستورالعمل ها طراحی سازه ها در برابر انفجار.

انواع سازه های دفاعی زیرزمینی

سازه های نیمه مدفون و مدفون

سازه های نیمه مدفون و مدفون برای آثار انفجار سلاح ها در هوا، در سطح و اصابت مستقیم طراحی می شوند. این سازه ها به شکل های زیر وجود دارند:

۱- سازه سطحی که اطراف و روی آن با خاک پوشیده می شود و ورودی آن با استفاده از موج گیرهای مناسب و دربهای ضد انفجار مقاوم می شود.

۲- سازه ای که قسمتی از آن درون خاک است و قسمت روی سطح با خاک پوشیده می شود. این سازه ها به صورت چند طبقه نیز احداث می شوند.

۳- سازه ای که تمام آن درون خاک است. سازه در زمین کنده شده، احداث و سپس روی آن به طور کامل با خاک پوشیده می شود. ورودی این سازه ها بایستی با دقت انتخاب شود و از دربهای ضد انفجار استفاده گردد.

ورودی یک سازه امن مدفون.



سازه های زیرزمینی

-امکانات حیاتی کشور باید به زیرزمین منتقل شوند تا دسترسی دشمن به امکانات و منابع تاثیر گذار در نبرد آینده محدود و یا حتی غیر ممکن شود.

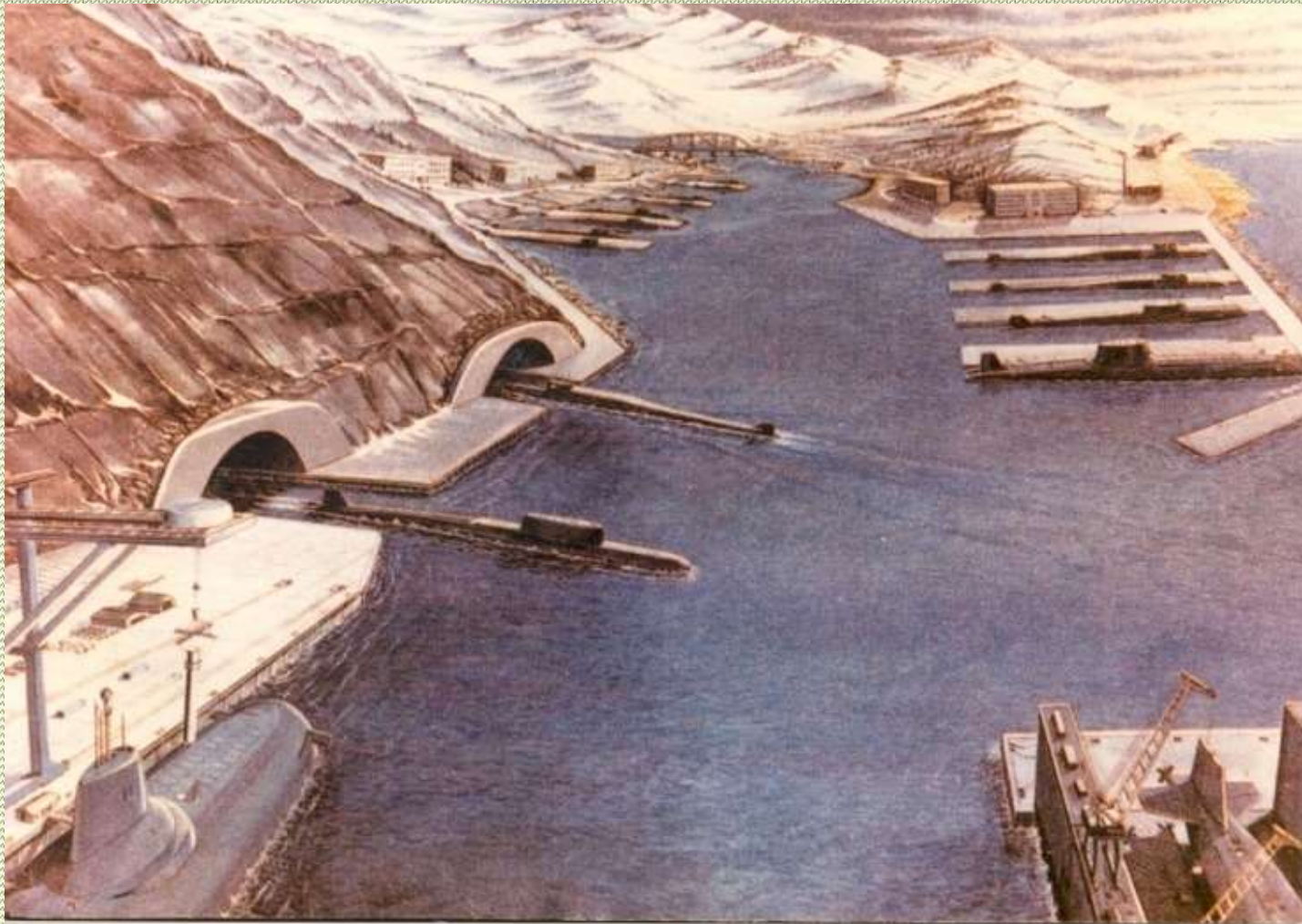
-سازه های زیرزمینی برای مقاومت در برابر آثار سلاح های نفوذ کننده و دقیق دشمن احداث می شوند.

-مجموعه های زیرزمینی بهترین گزینه برای احداث قرارگاه های فرماندهی و کنترل، پناهگاه ها، انبار سلاح ها و تجهیزات مهم و صنایع دفاعی می باشند.

-تعدد ورودی ها، استفاده مناسب از طبیعت، استفاده از موج گیرها و جزو مهم ترین مباحث مطرح این سازه ها است.

-برای طرح این سازه ها، باید پارامترهای دقیق نظامی و مهندسی رعایت شوند.

-تونل‌های امن برای زیردریایی‌های روسیه.



دلایل اهمیت سازه های زیرزمینی در عملیات پدافندی

– چند منظوره بودن فضاهاى زیرزمینی.

– توان مقاومت بالای این نوع سازه ها در برابر انواع سلاح های پیشرفته موجود متعارف و غیر متعارف از قبیل موشک های هدایت شونده، نفوذگر یا کلاهک های اتمی.

– رعایت بالاترین درجه امنیت اطلاعات و ضد جاسوسی در مقابل سیستم های شناسائی.

– عدم امکان شناسائی فعالیت های در حال انجام در یک مرکز زیرزمینی نسبت به یک سازه سطحی حتی در صورتی که محل سازه زیرزمینی توسط دشمن کشف شده باشد.

مراجع و دستورالعمل های مهم

مراجع و دستورالعمل های مهم

CECW-EG Engineer Manual 1110-2-2901	Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers Washington, DC 20314-1000	EM 1110-2-2901 30 May 97
	Engineering and Design TUNNELS AND SHAFTS IN ROCK	
	Distribution Restriction Statement Approved for public release; distribution is unlimited.	

مراجع و دستورالعمل های مهم

UFC 3-340-02
5 December 2008

UNIFIED FACILITIES CRITERIA (UFC)

STRUCTURES TO RESIST THE EFFECTS OF ACCIDENTAL EXPLOSIONS



APPROVED FOR PUBLIC RELEASE; DISTRIBUTION UNLIMITED

مراجع و دستورالعمل های مهم

ASCE—MANUALS AND REPORTS ON ENGINEERING PRACTICE—NO. 42

Design of Structures to Resist Nuclear Weapons Effects

Prepared by the
Task Committee on Updating Manual 42
of the Committee on Dynamic Effects
of the Structural Division of the
American Society of Civil Engineers

Revised Edition

کتابخانه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن		
شماره ثبت :	2825	نسخه 1
تاریخ ثبت	79, 6, 8	جلد



Published by the
American Society of Civil Engineers
345 East 47th Street
New York, New York 10017-2398

مراجع و دستورالعمل های مهم

EXPLOSIVE LOADING OF ENGINEERING STRUCTURES



P. S. BULSON



E & FN SPON
An imprint of Chapman & Hall

Also available as a printed book
see title verso for ISBN details

دانشگاه صنعتی مالک اشتر



بارگذاری انفجاری سازه های مهندسی

نویسنده: پی.اس. بالسون
مترجمین: دکتر علی نجفستنه
مهندس حمیدرضا وصالی بارونگی



مراجع و دستورالعمل های مهم

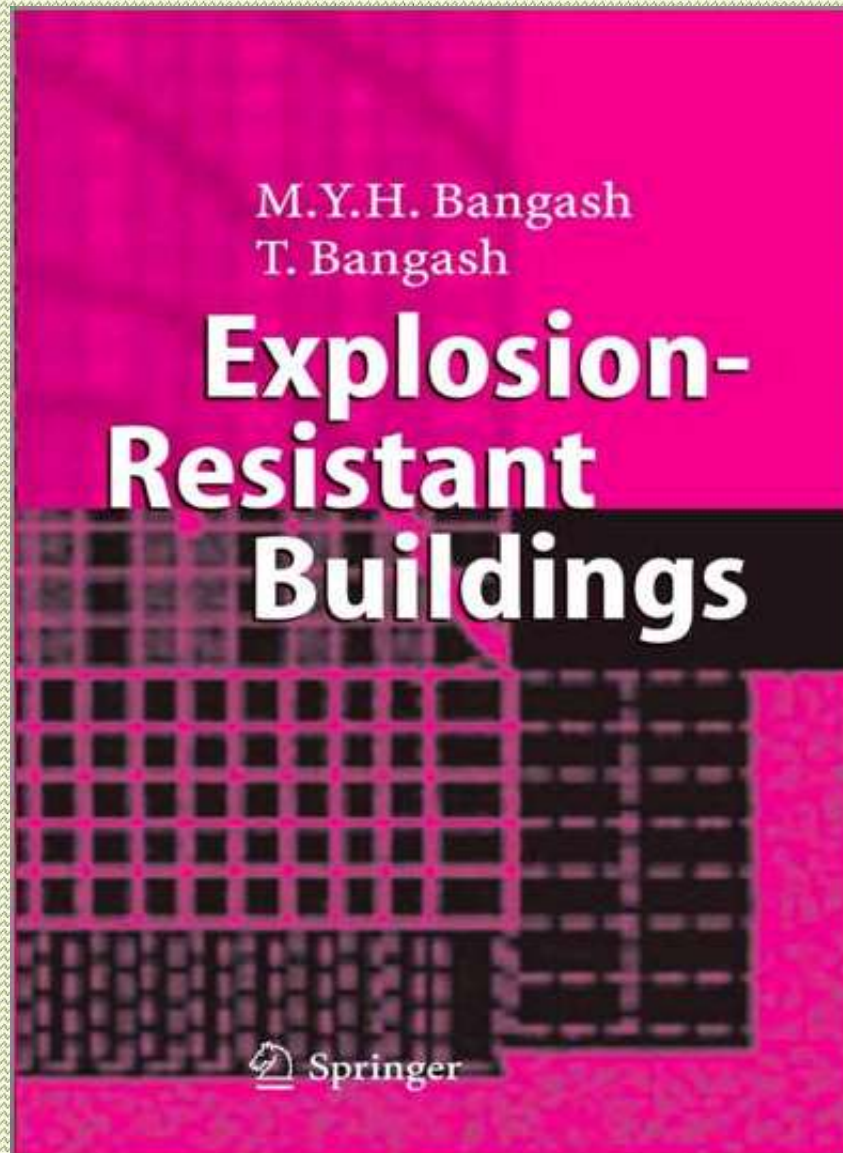
Blast and Ballistic Loading of Structures

P. D. Smith, Senior Lecturer, Civil
Engineering Group, Cranfield University,
Royal Military College of Science

J. G. Hetherington, Head, Design Group,
Cranfield University, Royal Military
College of Science

BUTTERWORTH
HEINEMANN

مراجع و دستورالعمل های مهم



مراجع و دستورالعمل های مهم

Modern Protective Structures

CRC Press
Taylor & Francis Group

Theodor Krauthammer

دانشگاه صنعتی مالک اشتر

سازه های امن پیشرفته

مؤلف: تئودور کراوتهمر
مترجمین:
دکتر محمد کاظم بشاری گوی
مهندس حمیدرضا رضایی بارونقی



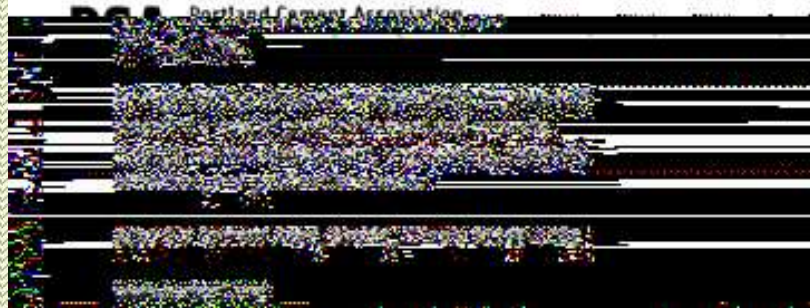
مراجع و دستورالعمل های مهم

Blast Resistant Design Guide for Reinforced Concrete Structures

Steven J. Smith, Ph.D., P.E.
CTLGroup
9030 Red Branch Road, Suite 110
Columbia, Maryland 21045

Dennis M. McCann, Ph.D., P.E.
Exponent, Inc.
185 Hansen Court
Wood Dale, Illinois 60191

Mahmoud E. Kamara, Ph.D.
Portland Cement Association
5420 Old Orchard Rd.
Skokie, Illinois 60077



مراجع و دستورالعمل های مهم

1991 William Barclay Parsons Fellowship
Parsons Brinckerhoff
Monograph 7

Seismic Design of Tunnels

A Simple State-of-the-Art Design Approach



Jaw-Nan (Joe) Wang, Ph.D., P.E.
Professional Associate
Parsons Brinckerhoff Quade & Douglas, Inc.
June 1993

تهدیدات



تهدیدات

- سازه زیرزمینی دفاعی برای مقاومت در برابر آثار سلاح های دقیق و نفوذ کننده دشمن احداث می شوند.

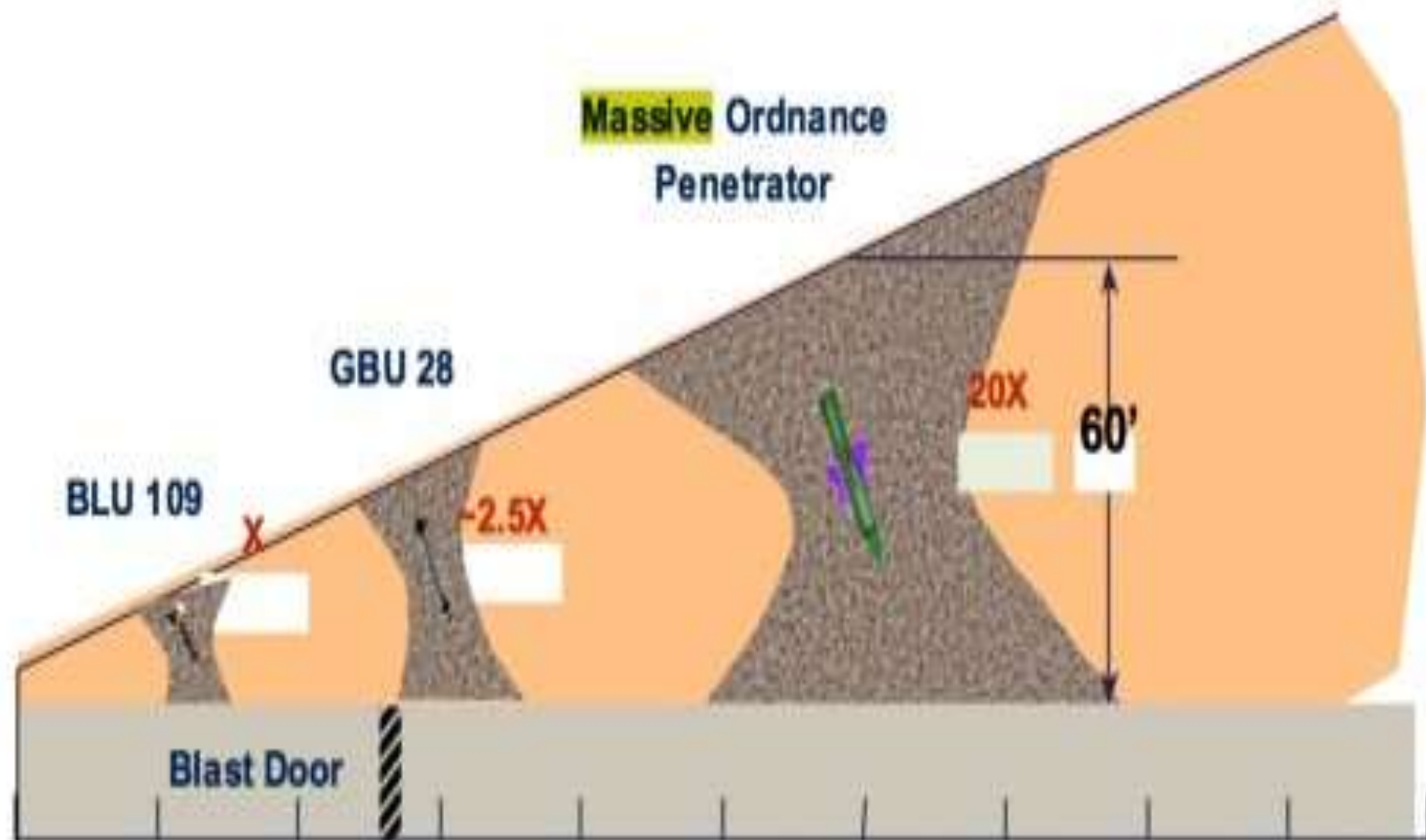
- قدرت شیطانی ایالات متحده آمریکا بمب های **GBU-28** و **GBU-57** را برای حمله به سازه های زیرزمینی در اختیار دارد.

- ارتش آمریکا تعداد زیادی از این بمب ها را ذخیره نموده است.

- تعدادی از این بمب ها در اختیار اسرائیل نیز قرار دارد.

- تعداد محدودی از این موشک نفوذ کننده برای انهدام تاسیسات زیرزمینی کره شمالی در اختیار کره جنوبی قرار داده شده است.

تهدیدات



تهديدات



تهدیدات

جدول ۱- مشخصات بمب GBU-28

عمق نفوذ در سنگ معمولی و بتن	۶ متر
وزن کل بمب	۱۹۸۶ کیلوگرم
وزن معادل TNT ماده منفجره	۵۴۵ کیلوگرم

جدول ۲- مشخصات بمب GBU-57

عمق نفوذ در بتن معمولی	۶۰ متر
عمق نفوذ در سنگ با مقاومت متوسط	۴۰ متر
عمق نفوذ در بتن با مقاومت بالا	۸ متر
وزن کل بمب	۱۳۶۰۰ کیلوگرم
وزن معادل TNT ماده منفجره	۲۷۰۰ کیلوگرم

انفجار

هسته‌ای (قوی) ← انتشار به سمت پایین شوک زمینی

انفجار بالای سطح زمین

شیمیایی (ضعیف) ← موج هوایی بر شوک زمینی پیشی می‌گیرد

امواج سطحی

قوی

انفجار سطحی

امواج حجمی

نفوذ کامل در زمین ← شوک زمینی بسیار قوی

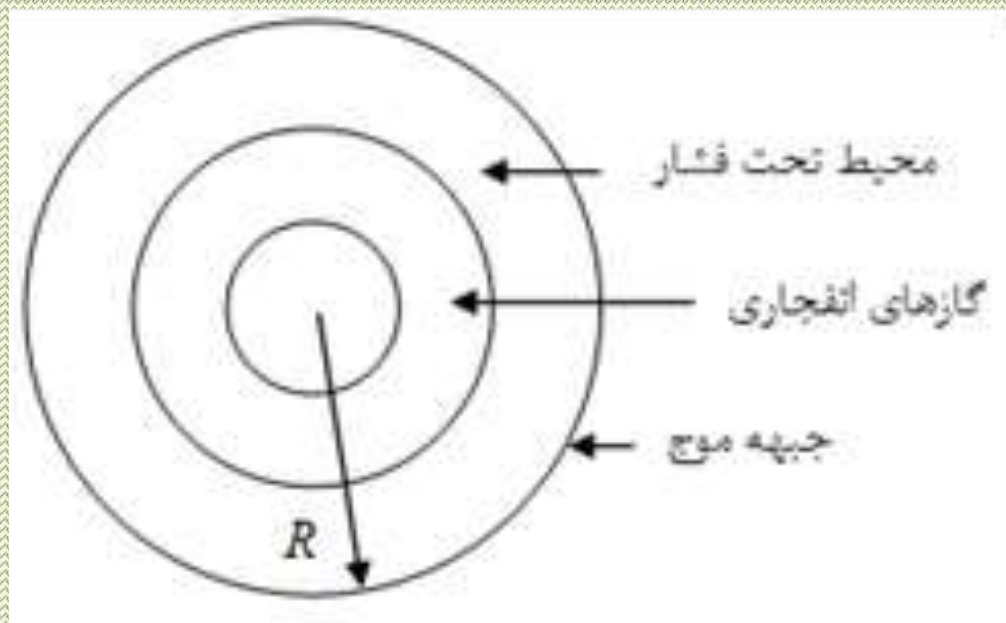
انفجار مدفون

نفوذ ناقص در زمین ← شوک زمینی ضعیف به

دلیل جفت شدگی ضعیف

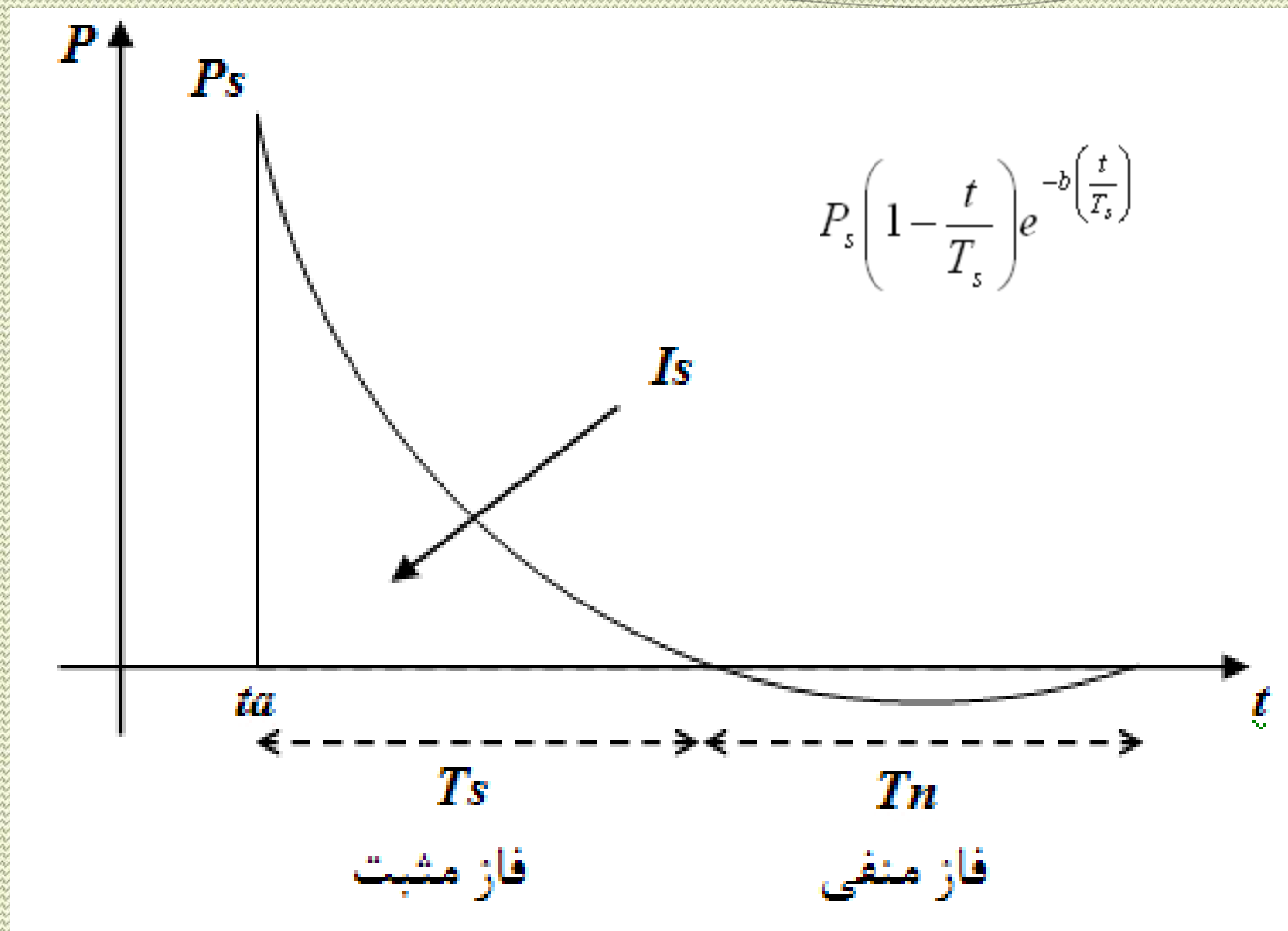
شناخت و بررسی امواج انفجار

- با گذشت زمان هر قدر که شعاع کره و به تبع آن حجم محیط متأثر از امواج انفجار بیشتر می شود، فشار و سرعت موج ناشی از انفجار به شدت کاهش می یابد.



اضافه فشار

- به فشار ناشی از موج انفجار در هر نقطه از محیط اطراف انفجار که مقدار آن با وزن ماده منفجره رابطه مستقیم و با فاصله از مرکز انفجار رابطه معکوس دارد، اضافه فشار می گویند.
- محاسبه اندازه این فشار و تغییرات آن در طی زمان از اهمیت کاربردی زیادی برخوردار است.



منحنی بیش فشار ناشی از انفجار

● الف - رابطه برود.

- در سال ۱۹۵۵ برود، با توجه به اندازه فشار در هر نقطه، رابطه ای دو ضابطه ای را برای محاسبه اضافه فشار دینامیکی انفجار در فاصله های نزدیک و دور از محل انفجار ارائه نمود.

$$\begin{cases} P_s = \frac{6.7}{Z} + 1 & P_s > 10 \text{ bar} \\ P_s = \frac{0.975}{Z} + \frac{1.455}{Z^2} + \frac{5.85}{Z^3} - 0.019 & P_s < 10 \text{ bar} \end{cases}$$

● ب- رابطه هنریچ.

● هنریچ بر مبنای مطالعات نظری و آزمایشگاهی رابطه ای سه ضابطه ای را برای محاسبه اضافه فشار ناشی از انفجار ارائه نمود.

$$\left\{ \begin{array}{ll} p = \frac{14072}{Z} + \frac{5540}{Z} - \frac{0.357}{Z} + \frac{0.00625}{Z} \text{ bar} & 0.05 \leq Z \leq 0.3 \\ p = \frac{6.194}{Z} - \frac{0.326}{Z} + \frac{2.132}{Z} \text{ bar} & 0.3 \leq Z \leq 1 \\ p = \frac{0.662}{Z} + \frac{4.05}{Z} + \frac{3.288}{Z} \text{ bar} & 1 \leq Z \leq 10 \end{array} \right.$$

$$Z = R \cdot \left(\frac{1 \text{ Kg}}{W} \right)$$

هسته‌ای (قوی) ← انتشار به سمت پایین شوک زمینی

انفجار بالای سطح زمین

شیمیایی (ضعیف) ← موج هوایی بر شوک زمینی پیشی می‌گیرد

امواج سطحی

قوی

انفجار سطحی

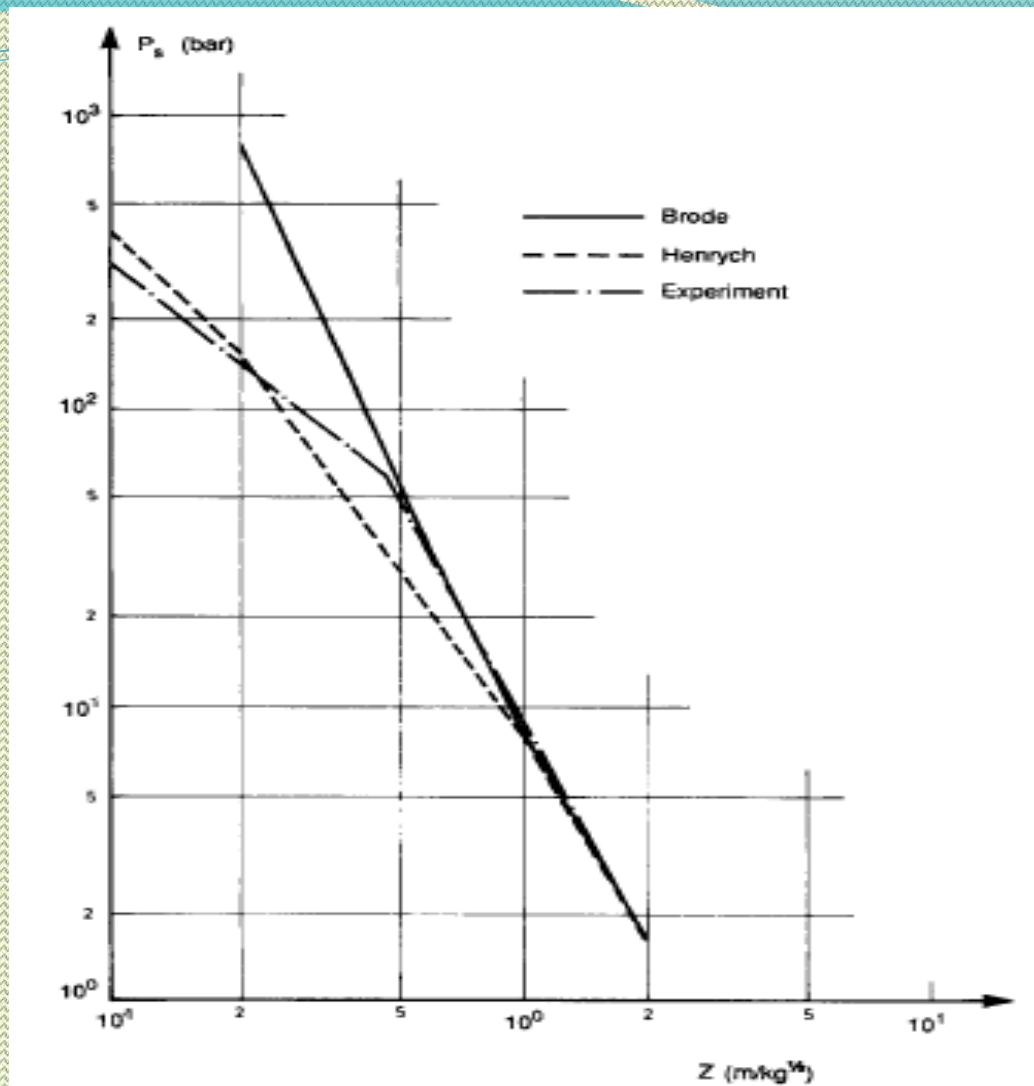
امواج حجمی

نفوذ کامل در زمین ← شوک زمینی بسیار قوی

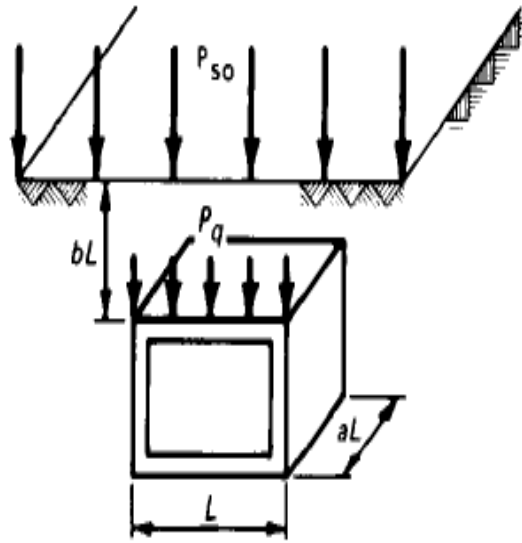
انفجار مدفون

نفوذ ناقص در زمین ← شوک زمینی ضعیف به

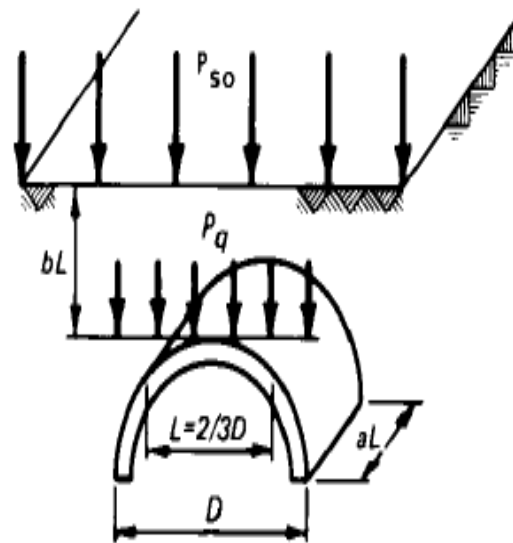
دلیل جفت شدگی ضعیف



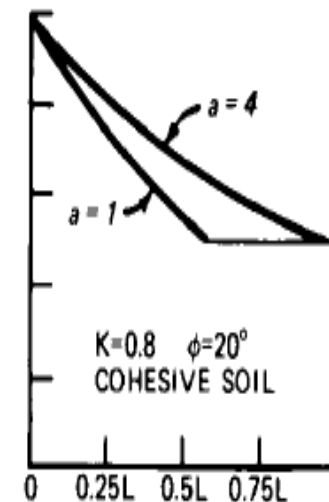
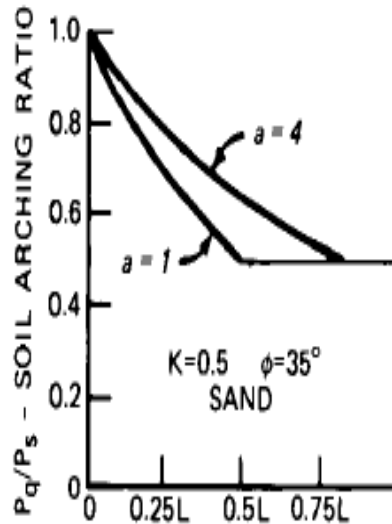
مقایسه بین اضافه فشار رابطه‌های برود و هنریچ با
نتایج تجربی



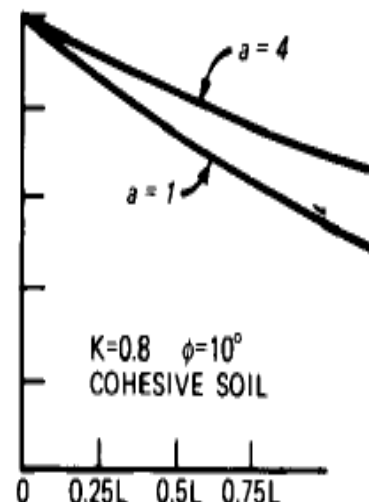
(a) BURIED RECTANGULAR STRUCTURE



(b) BURIED ARCH OR CYLINDER



(bL) - DEPTH OF BURIAL

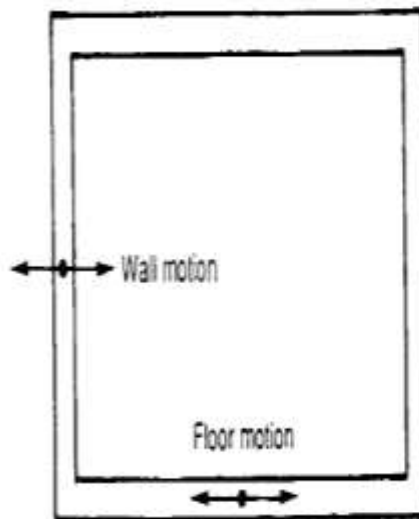


بار ناشی از
انفجار
سطحی بر سازه
مدفون

$$\frac{P_q}{P_{s0}} = \exp \left[\frac{-2K_0 (\tan \phi) (a+1) b L^2}{a L^2} \right]$$

انفجار در درون زمین

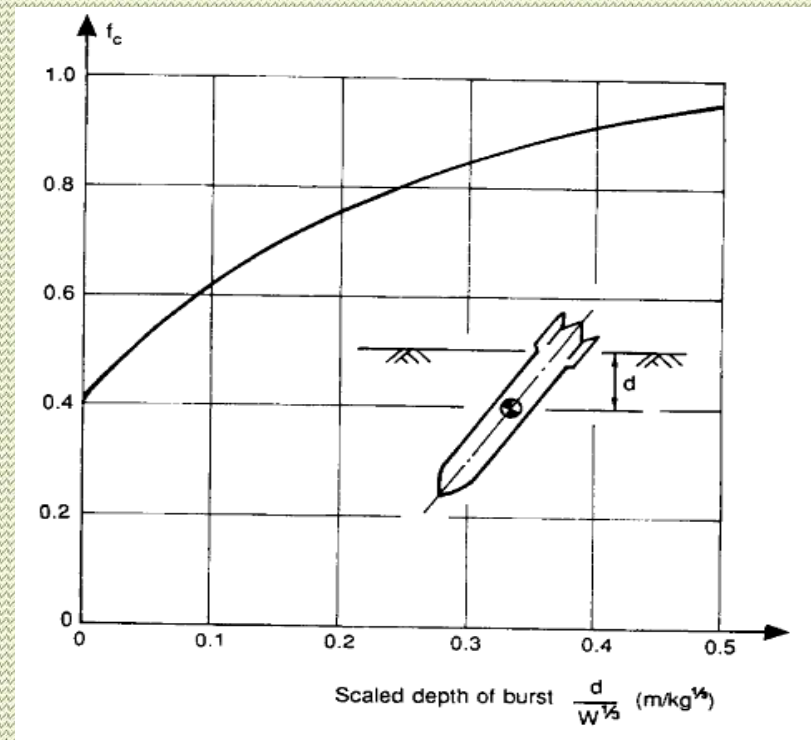
در این نوع انفجار، انرژی به صورت امواج فشاری و برشی در درون زمین منتشر شده و شوک های شدیدی ایجاد می کند که می تواند اثرات تخریبی قابل ملاحظه ای روی سازه های زیر زمینی داشته باشد.



رابطه‌ای که از ارزش کاربردی بالاتری برخوردار است و توسط آیین نامه‌ها و مراجع اصلی پذیرفته شده است ارائه می‌گردد.

$$u = 48.8 f_c \left(\frac{2.52 R}{W^{1/3}} \right)^{-n}$$

$$P_0 = \rho.C.u$$



u سرعت ذره‌ای بیشینه.

P₀ فشار انفجار بر حسب کیلوگرم بر متر مربع

ρ چگالی خاک

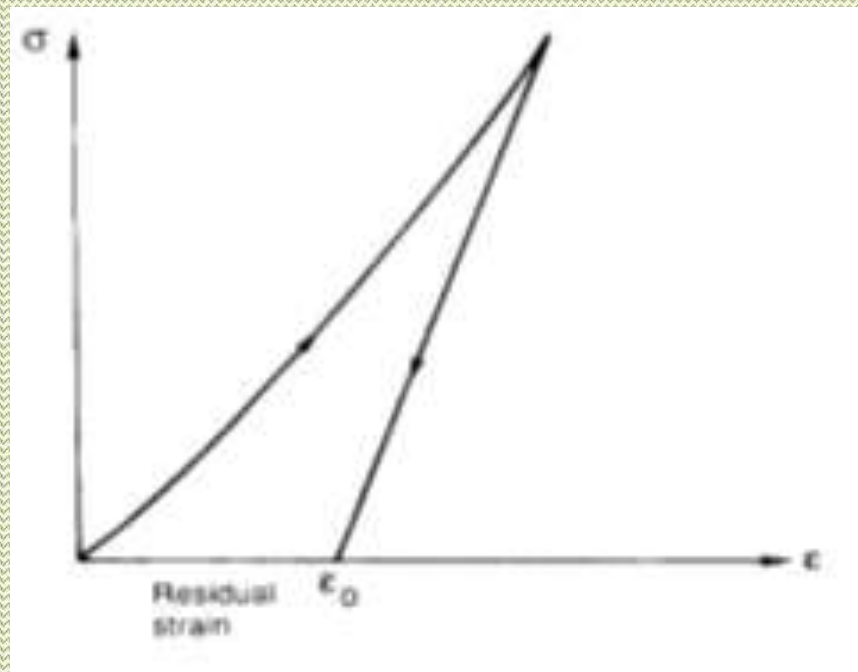
W وزن ماده منفجره بر حسب کیلوگرم،

R فاصله از محل انفجار به متر

n ضریب تضعیف خاک می‌باشد، که وابسته به نوع خاک است.

f_c ضریب جفت شدگی زمین و ماده منفجره.

نوع خاک	ضریب استهلاک
رس اشباع	۱/۵
سیلنت و رس تا حدودی اشباع	۲/۵
ماسه بسیار چگال، خشک یا تر	۲/۵
ماسه چگال، خشک یا تر	۲/۷۵
ماسه شل (سست)، خشک یا تر	۳/۰
ماسه خیلی شل تر یا خشک	۳/۲۵



$$\mu = \frac{2 + \varepsilon_0}{1 - \varepsilon_0}$$

C سرعت انتشار موج انفجار بر حسب متر بر ثانیه می باشد.

مقدار **C** به مقدار سرعت لرزه‌ای و بیشینه سرعت ذره‌ای خاک وابسته است.

مقدار این سرعت برای رس کاملاً اشباع شده، سرعت لرزه‌ای خاک یا **C** می باشد.

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

و مقدار آن برای خاک‌های رس اشباع شده و ماسه به ترتیب با استفاده از رابطه -
های زیر به دست می آید.

$$C = 0.6c + \left(\frac{n+1}{n-2} \right) u$$

$$C = c + \left(\frac{n+1}{n-2} \right) u$$

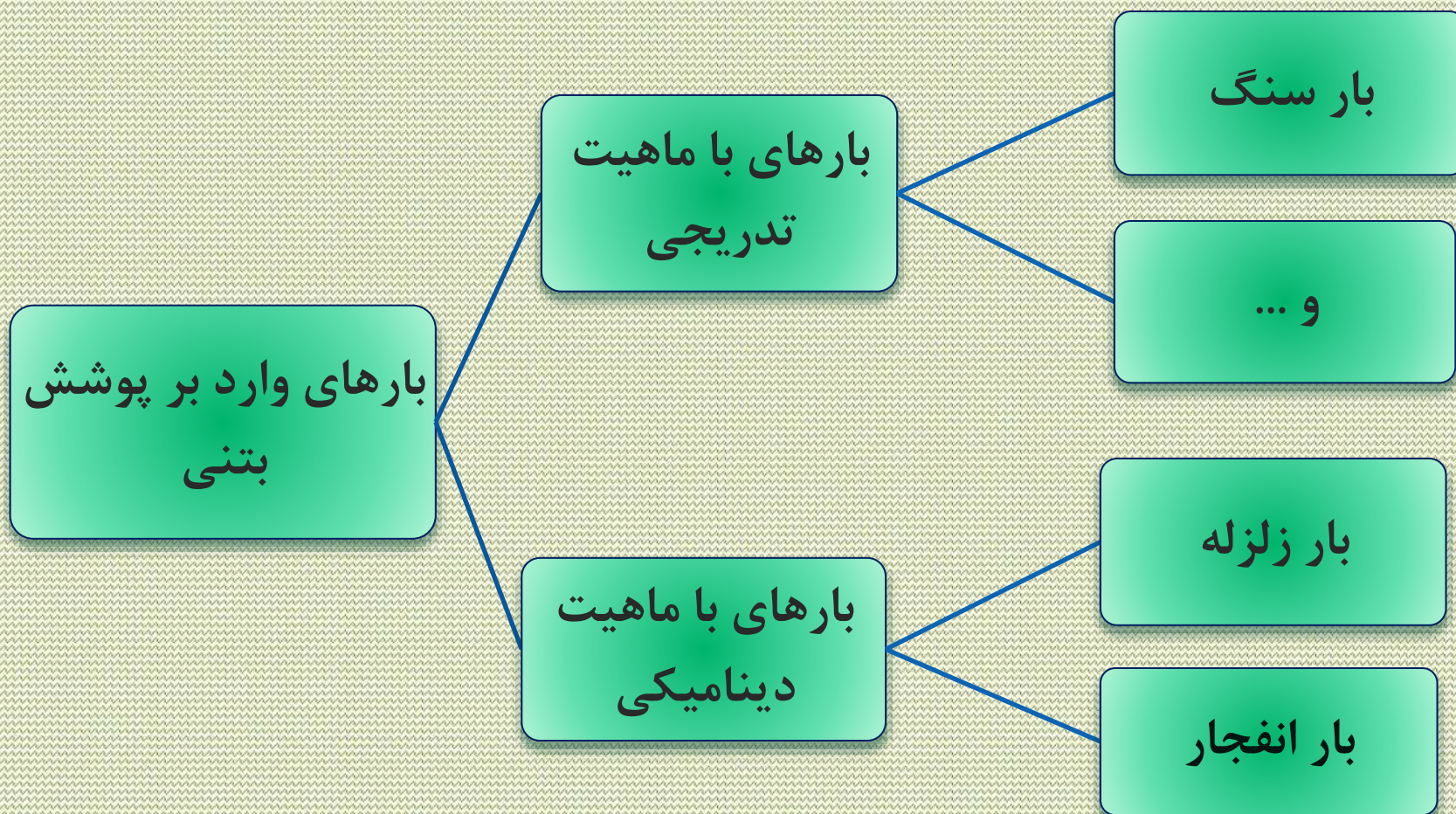
ماهیت بارهای انفجار همانند یک ضربه مثلثی است. مانند رابطه ارائه شده برای فشار، رابطه زیر نیز برای محاسبه موج ضربه ارائه شده است.

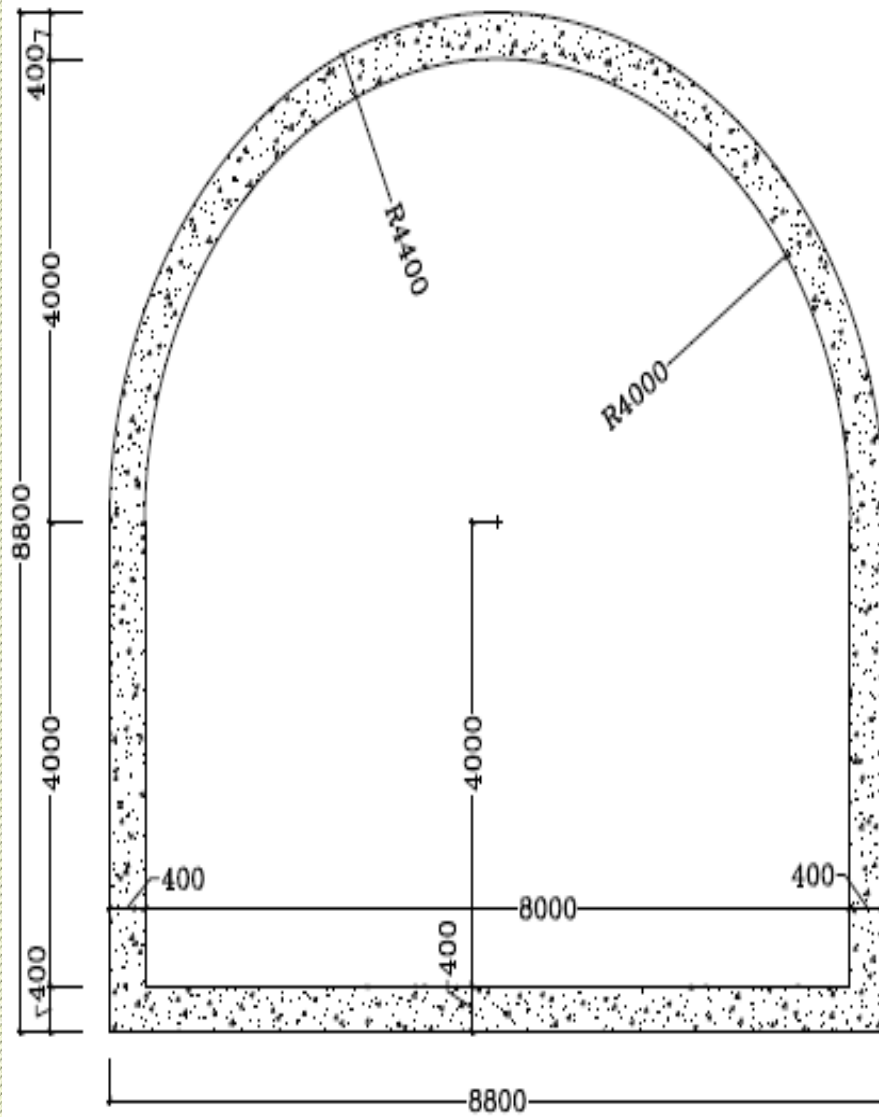
$$I_0 = \rho.C.x$$

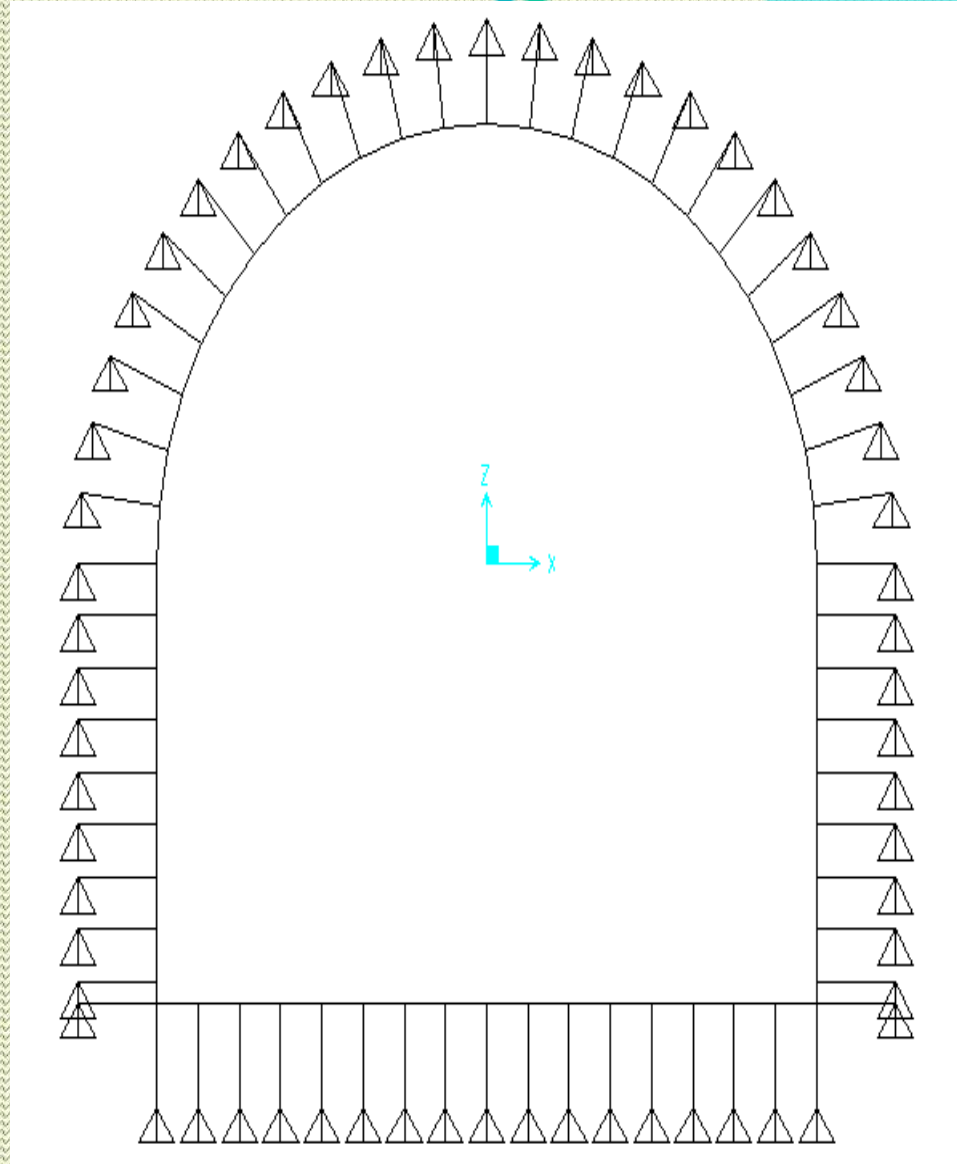
$$x = 60W^{1/3} \frac{f_c}{c} \left(\frac{2.52R}{W^{1/3}} \right)^{1-n}$$

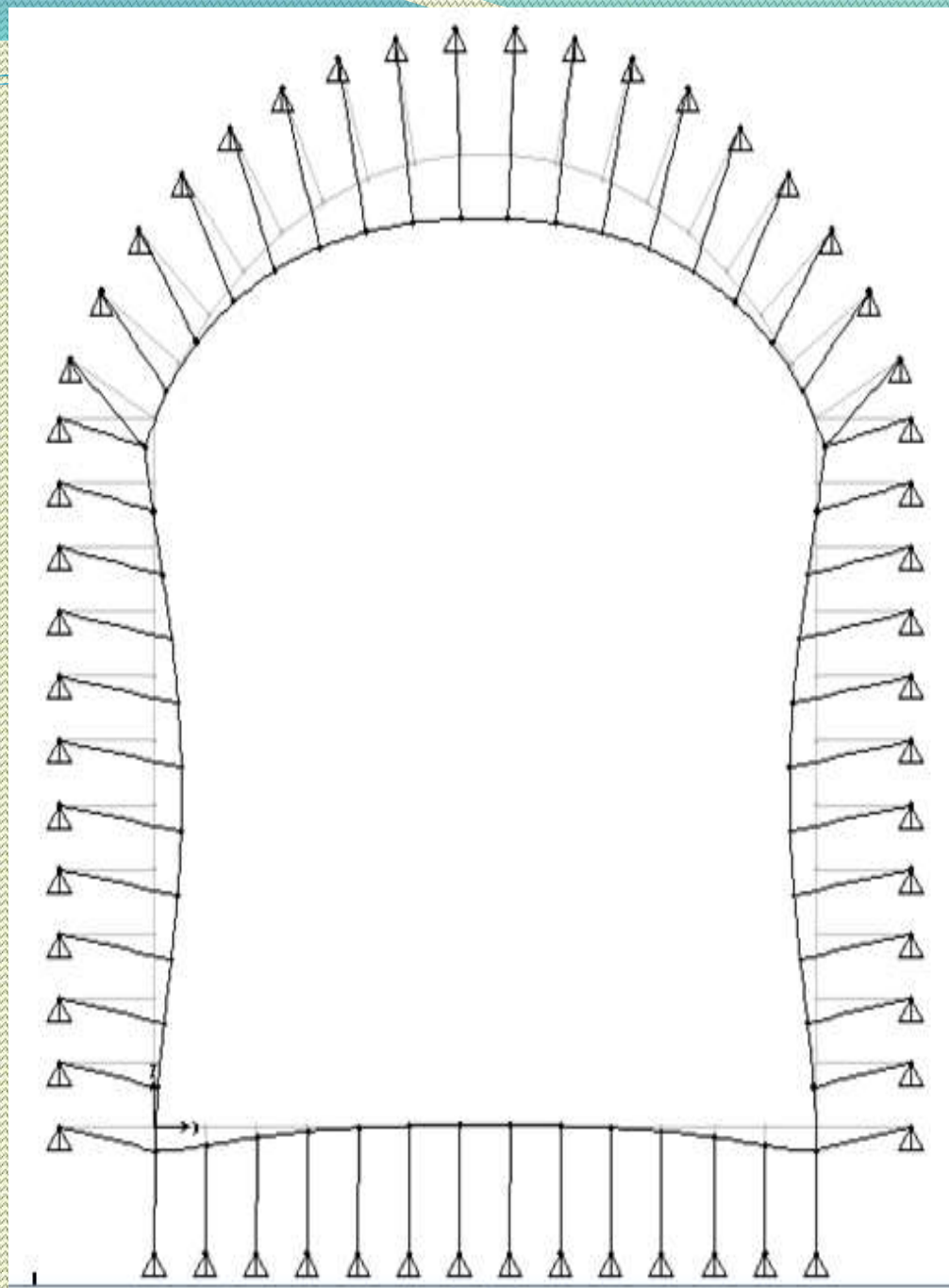
$$T_0 = \frac{2I_0}{P_0}$$

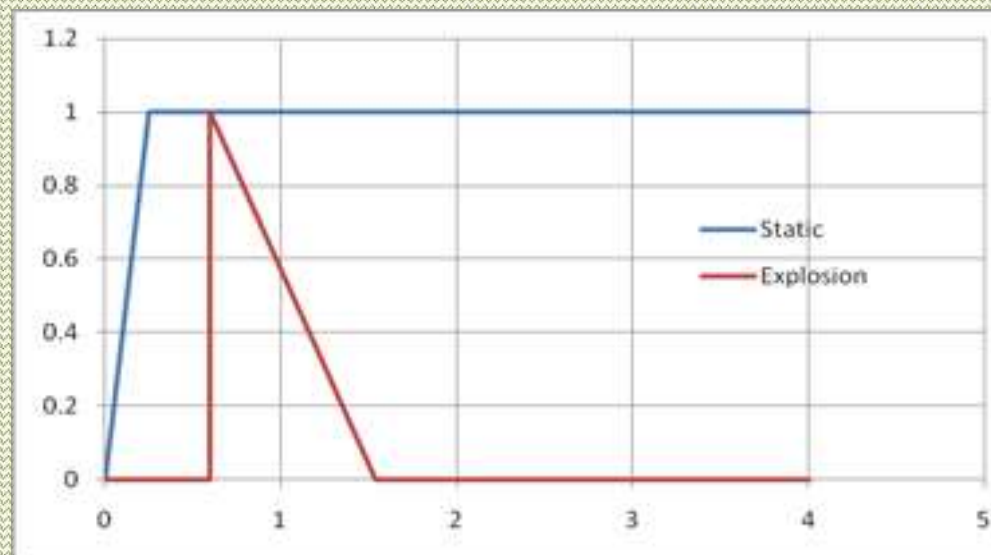
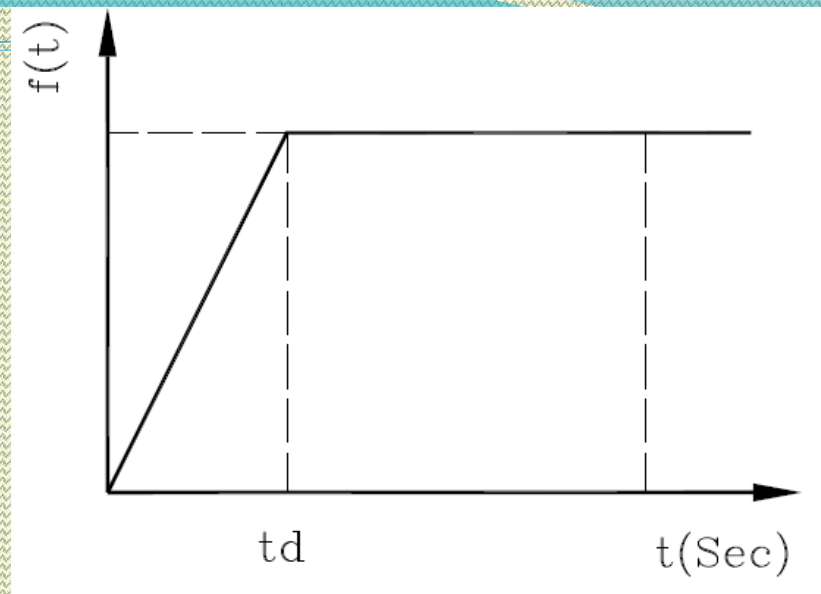
روش تحلیل سازه‌های زیر زمینی تحت اثر بارهای دائمی و انفجاری



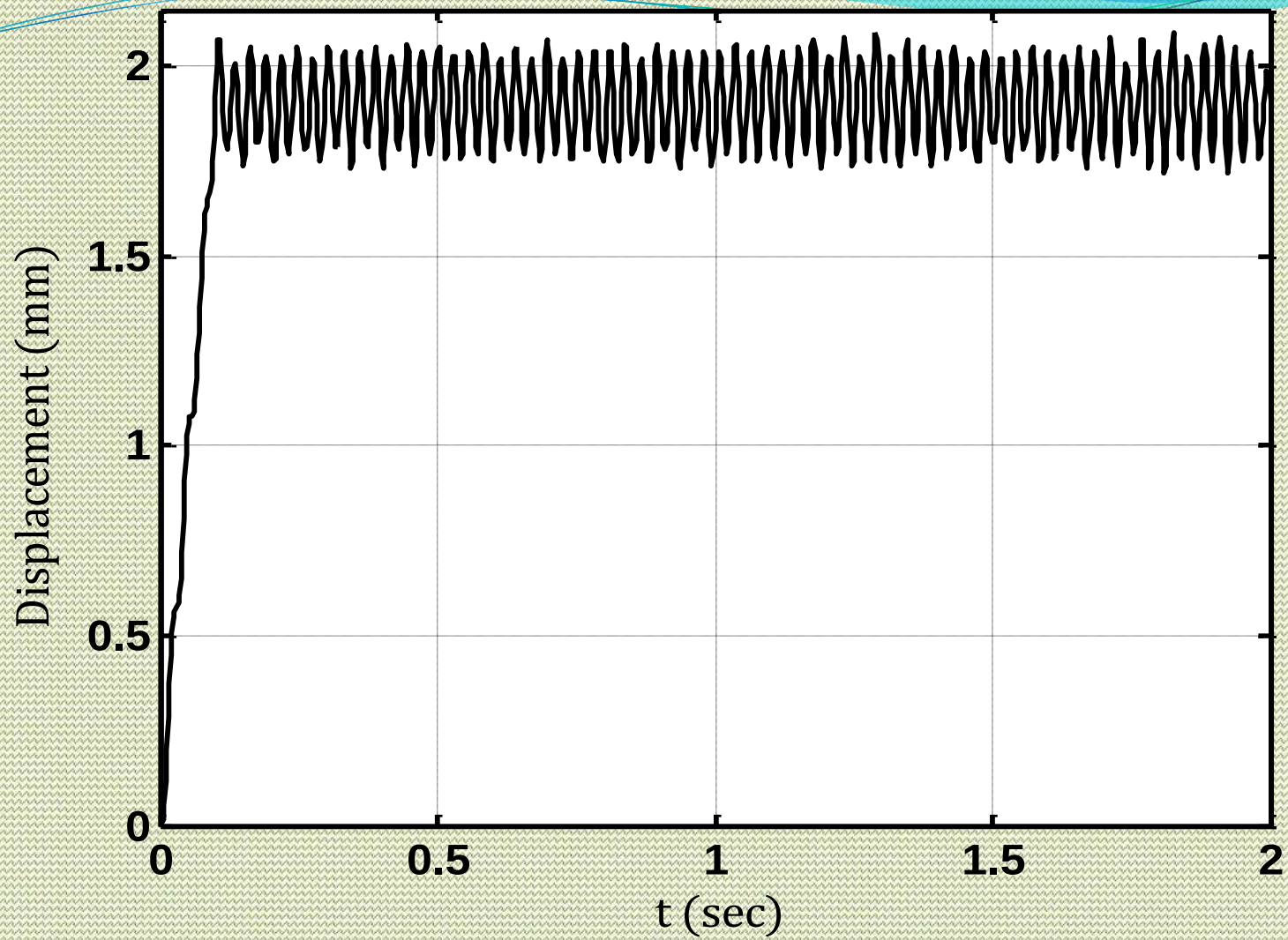




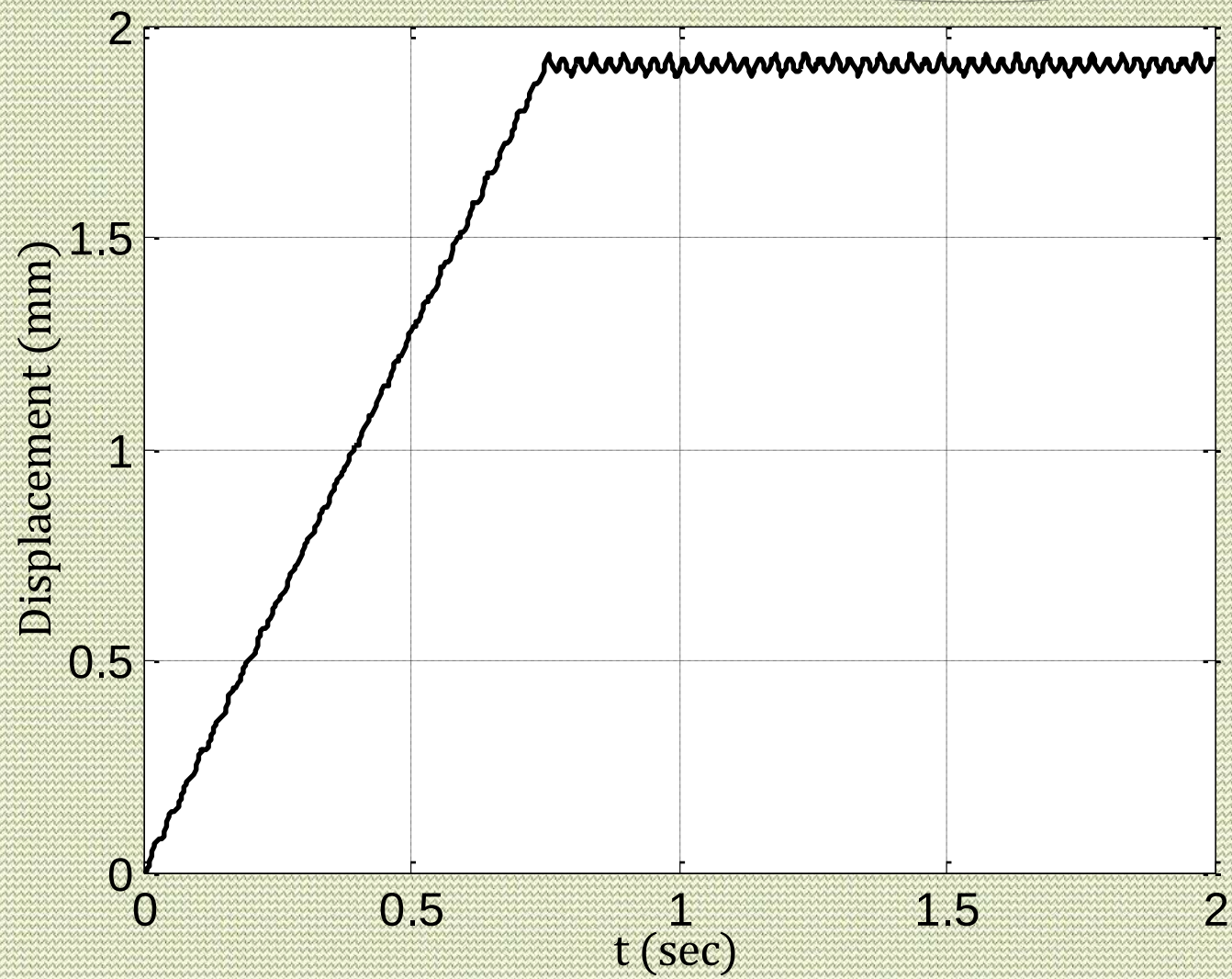




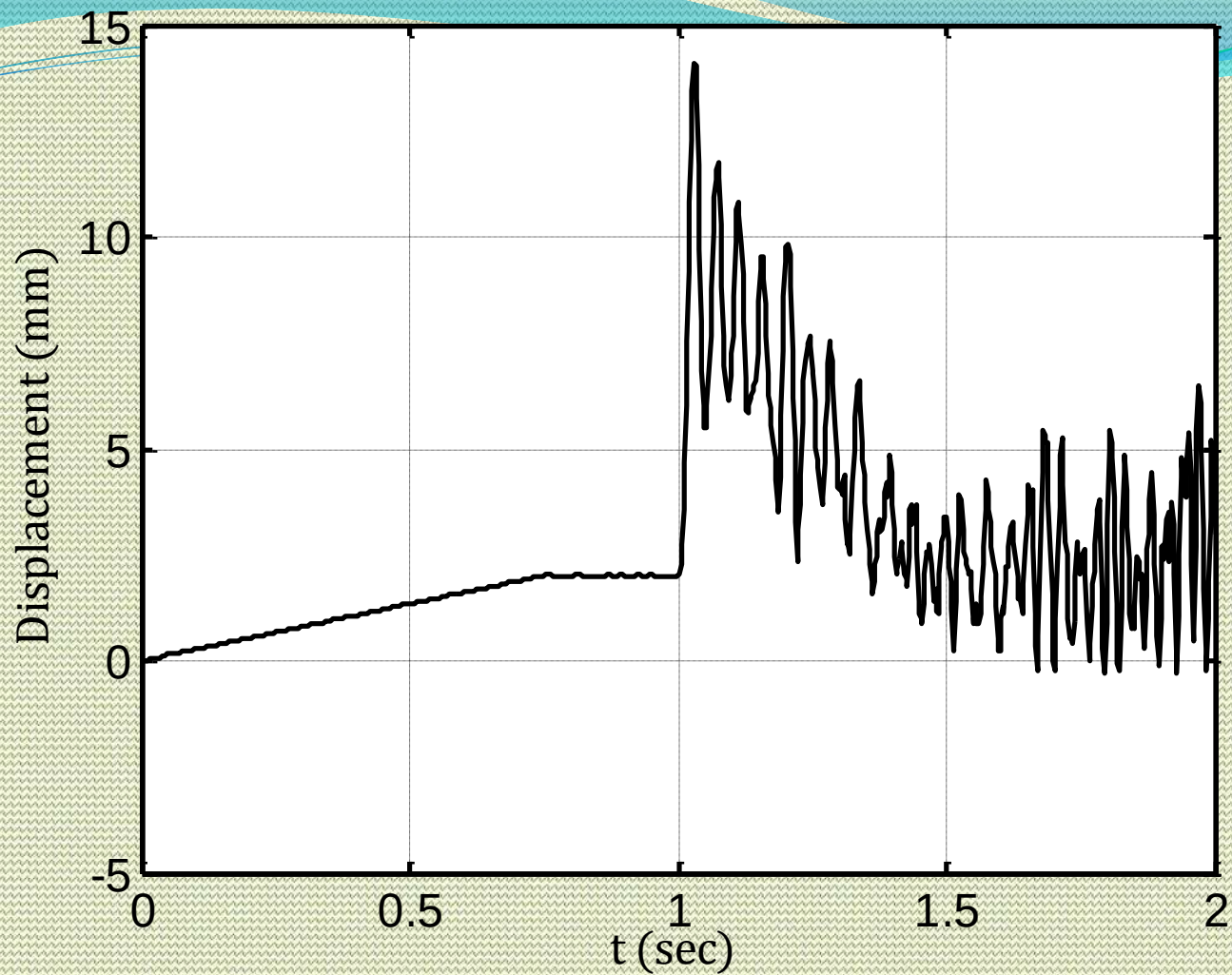
اعمال تدریجی بارهای دائمی



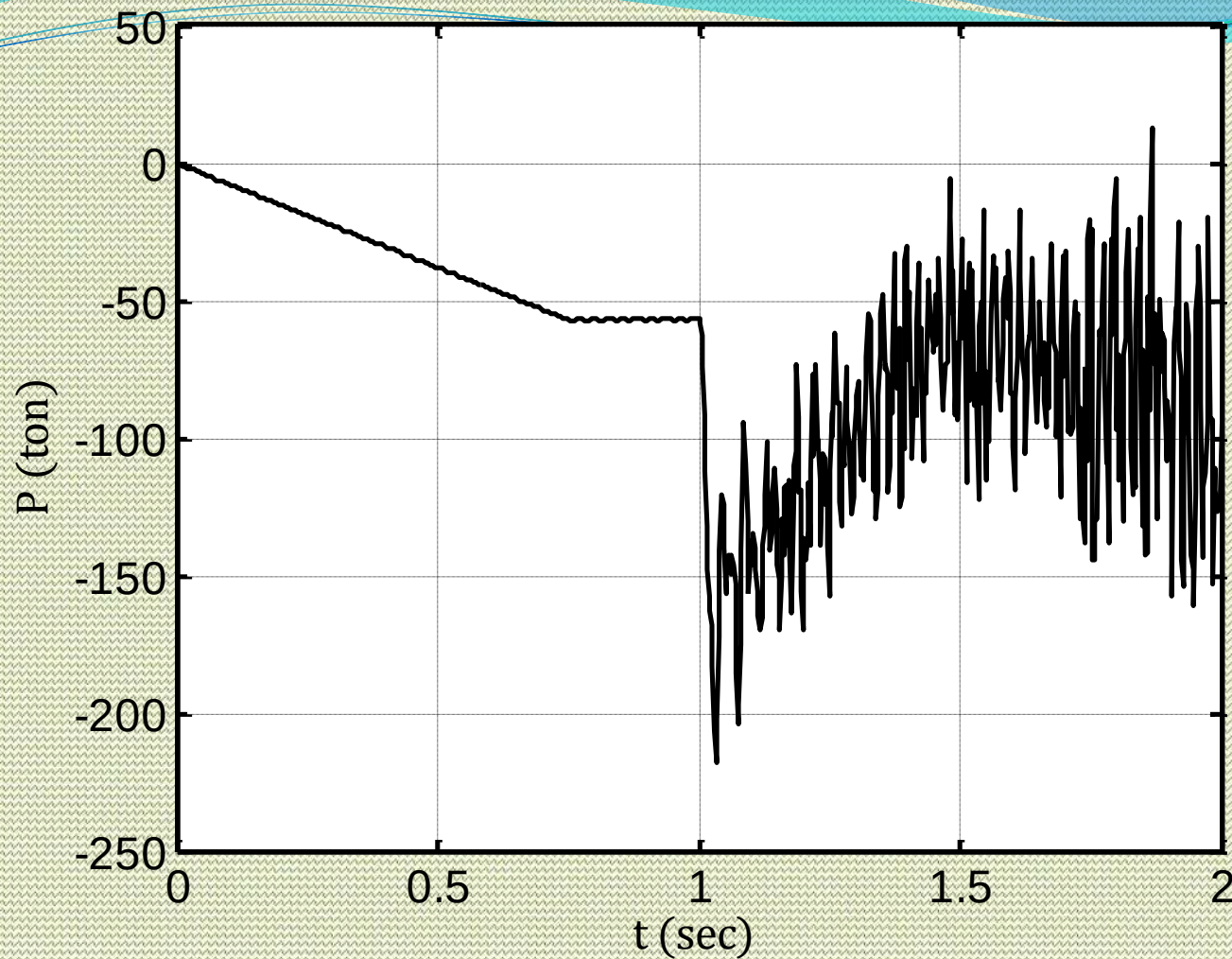
$$t_d = 0.1 \text{ s}$$



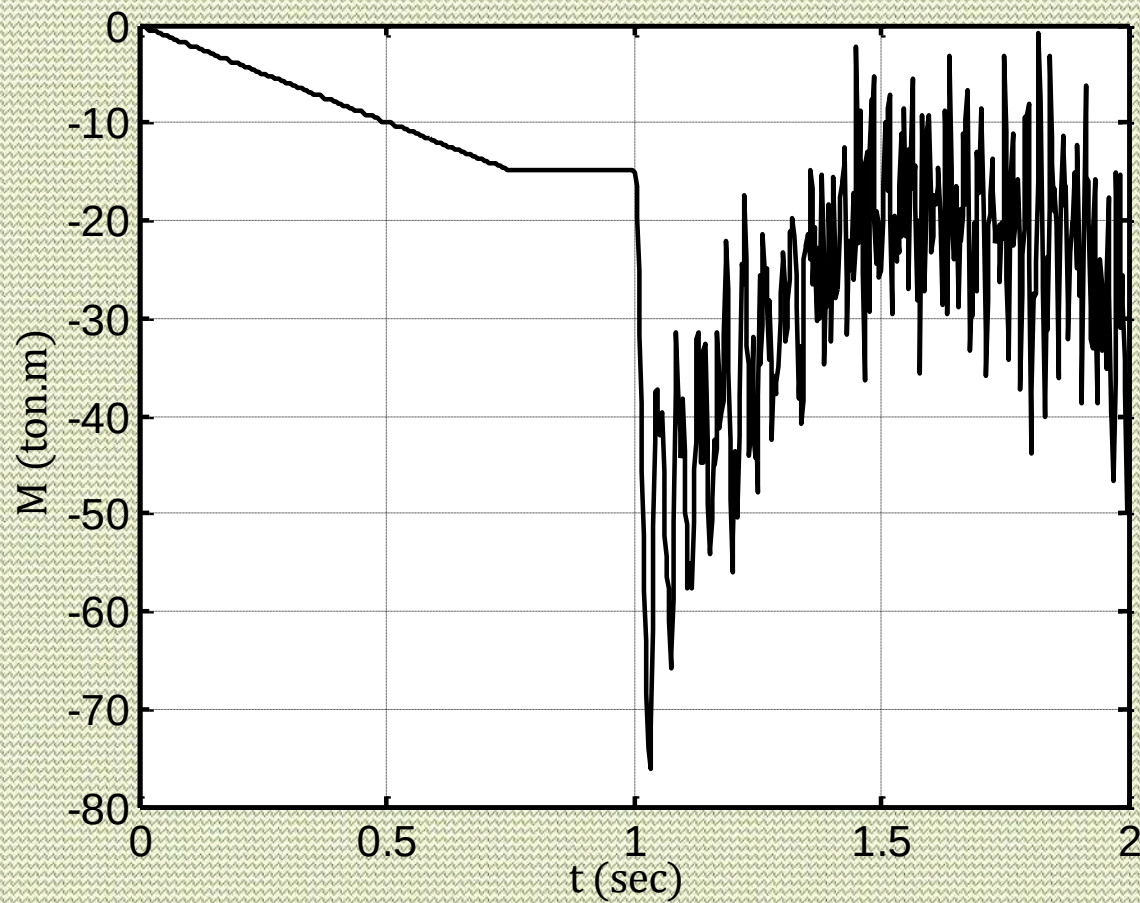
$$t_d = 0.75 \text{ s}$$



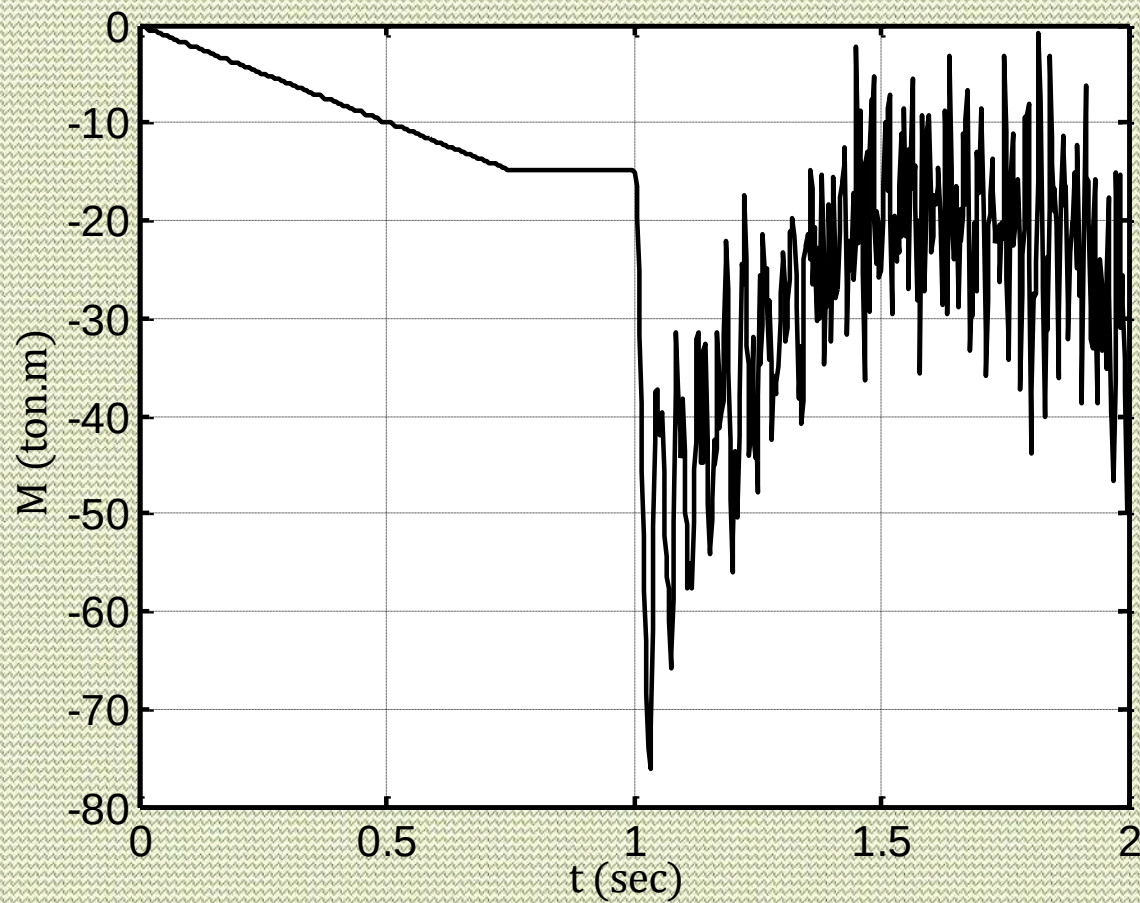
نمودار تغییر مکان - زمان یک نقطه تحت اثر توأم
بارهای دائمی و انفجار به صورت دینامیکی



نمودار نیروی محوری - زمان دیواره در محل تلاقی دیواره و کف
تونل حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی



نمودار لنگر خمشی - زمان دیواره در محل تلاقی دیواره و کف
تونل حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی

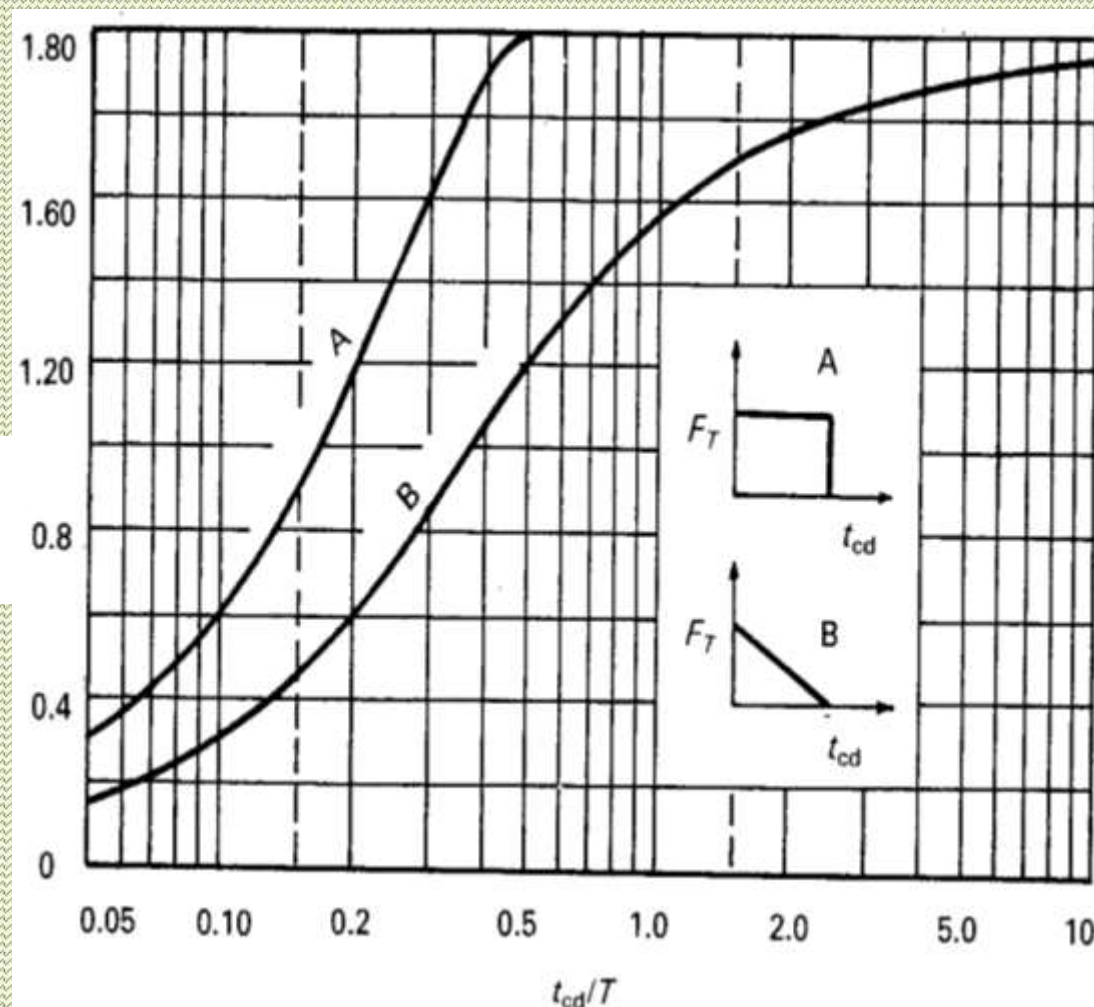


نمودار لنگر خمشی - زمان دیواره در محل تلاقی دیواره و کف
تونل حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی

اعمال بار انفجار به صورت استاتیکی معادل

زمان تناوب سازه زیرمینی با توجه به تعداد نوسانات جابه‌جایی نقطه مورد بررسی در یک فاصله زمانی مشخص برابر $0.18/0$ ثانیه می‌باشد.

$$t_{cd} / T = 0.442 / .015 = 29$$



نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- سازه‌های زیرزمینی با عمق زیاد برای حفظ تأسیسات مهم نظامی و غیر نظامی مانند قرارگاه‌های فرماندهی و کنترل، انبارهای مهمات استراتژیک، تأسیسات مهم مخابراتی و ارتباطاتی مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- با توجه به عمق زیاد، برای حمله به این سازه‌ها از موشک‌های نافذ استفاده می‌شود. این موشک‌ها در زمین نفوذ نموده و در عمق منفجر می‌شوند.
- بر این اساس، بارگذاری، تحلیل و طراحی سازه‌های زیر زمینی در برابر انفجار مدفون دارای اهمیت زیادی است.

با تشکر از توجه شما

