دانشگاه خوارزمی

# تدابیر پیشگیرانه در طراحی زیرساخت‌های عمرانی برای شرایط جنگ

علی قنبری

(استاد گروه مهندسی عمران، دانشگاه خوارزمی)

# تعریف زیرساخت‌های حیاتی
## (۵ دسته اصلی: انرژی، حمل‌ونقل، آب، مخابرات، اطلاعات)

**زیرساخت‌های حیاتی، دارایی‌ها و سیستم‌های فیزیکی و مجازی هستند که از کار افتادن یا نابودی آنها اثر فلج‌کننده بر امنیت ملی، اقتصاد، سلامت یا نظم عمومی دارد. مانند:**

- ✓ نیروگاه‌ها و شبکه برق
- ✓ سدها و تأسیسات آب و فاضلاب
- ✓ شبکه‌های مخابرات و اینترنت
- ✓ حمل‌ونقل (فرودگاه‌ها، راه‌آهن، پل‌ها، تونل‌ها)
- ✓ بیمارستان‌ها و مراکز درمانی
- ✓ تأسیسات نفتی، گازی و پتروشیمی
- ✓ مراکز فرماندهی و نظامی
- ✓ سیستم‌های بانکی و مالی

# طبقه‌بندی تهدیدات و نقاط آسیب‌پذیر زیرساخت‌ها

- حملات هوایی (موشک، بمب، سنگرشکن) به پرتال تونل‌ها، پل‌ها، پست‌های برق حملات پهپادی به تأسیسات باز، خطوط انتقال
- انفجارهای زمینی روی کوله‌پل‌ها، ورودی تأسیسات
- حملات سایبری به مراکز کنترل داده و SCADA

زیرساخت مقاوم، بازدارنده است و هزینه حمله را برای دشمن افزایش می‌دهد

آیا استفاده از سازه‌های زیرزمینی برای دیتاسنترها در برابر موشک‌های سنگرشکن مدرن (مثل MOP آمریکا) مؤثر است؟

# اصول کلی تدابیر پیشگیرانه

- **اصل اول: پراکندگی و افزونگی**

✓ مثال: نیروگاه‌های خورشیدی پراکنده به جای یک نیروگاه بزرگ

- **اصل دوم: استتار و فریب**

✓ مثال: پل‌های قلابی در کوزوو، هواپیماهای بادی در عراق

- **اصل سوم: مقاوم‌سازی و مدفون‌سازی**

✓ مثال: آشیانه‌های زیرزمینی، دیوارهای حائل

- **اصل چهارم: جداسازی و فیوز سازه‌ای**

✓ مثال: مفاصل شکل‌پذیر در پل‌ها و پرتال تونل‌ها

- **اصل پنجم: آماده کردن طرح های واکنش سریع برای بازسازی**

✓ مثال: سازه‌های پیش‌ساخته و ماژولار: انبار کردن قطعات یدکی (پل، ریل، پست برق) برای جایگزینی سریع

❖ **هزینه پدافند غیرعامل، همیشه کمتر از هزینه بازسازی پس از جنگ است**

# تدابیر پیشگیرانه برای پل های بزرگ

**مشکل: فروپاشی پیشرونده (Progressive Collapse)**

**راهکارها:**

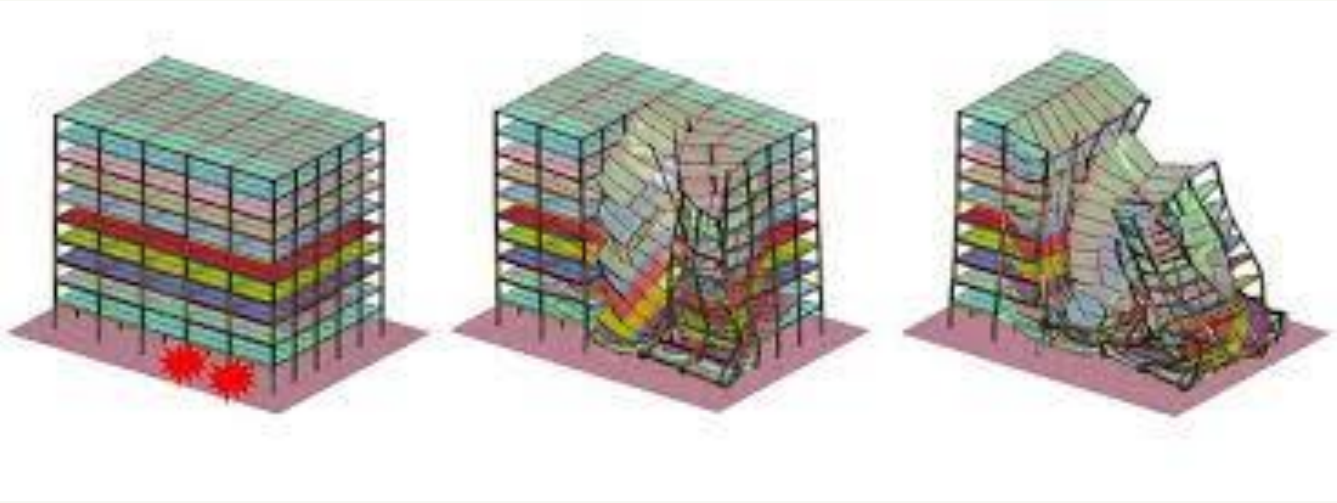
سیستم فیوز سونآستانه (جذب انرژی در عضو قربانی)

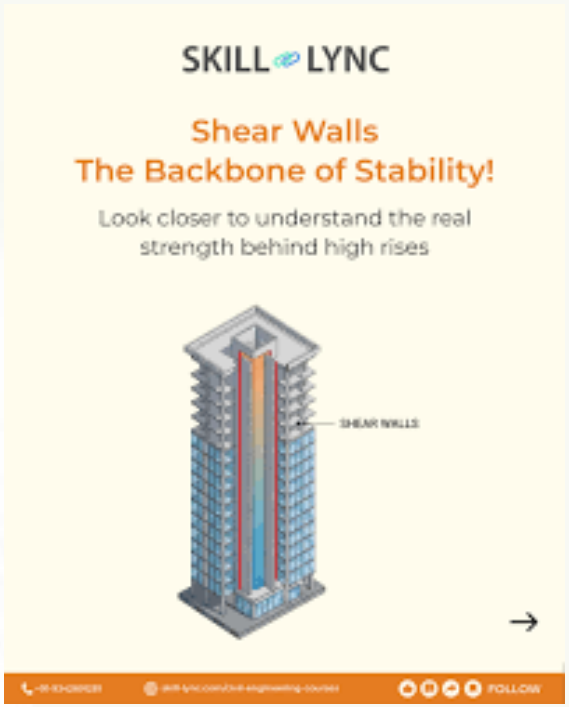
مسیرهای بار جایگزین (افزونگی)

کابل‌بندی بادبزنی به جای موازی

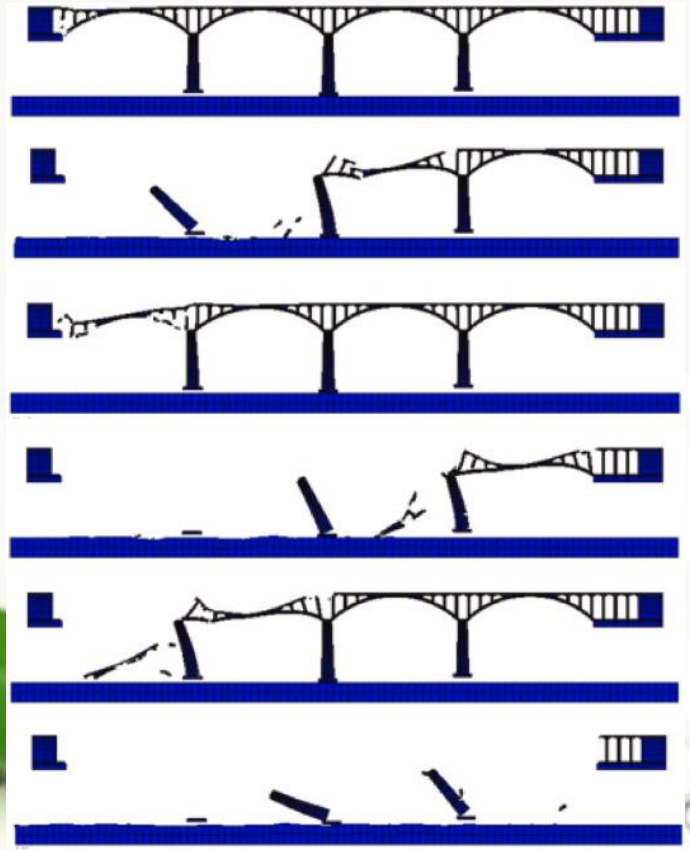
**مقایسه کوله پل: بتن صلب ✗ در مقابل خاک مسلح ✓**

# خرابی پیشرونده

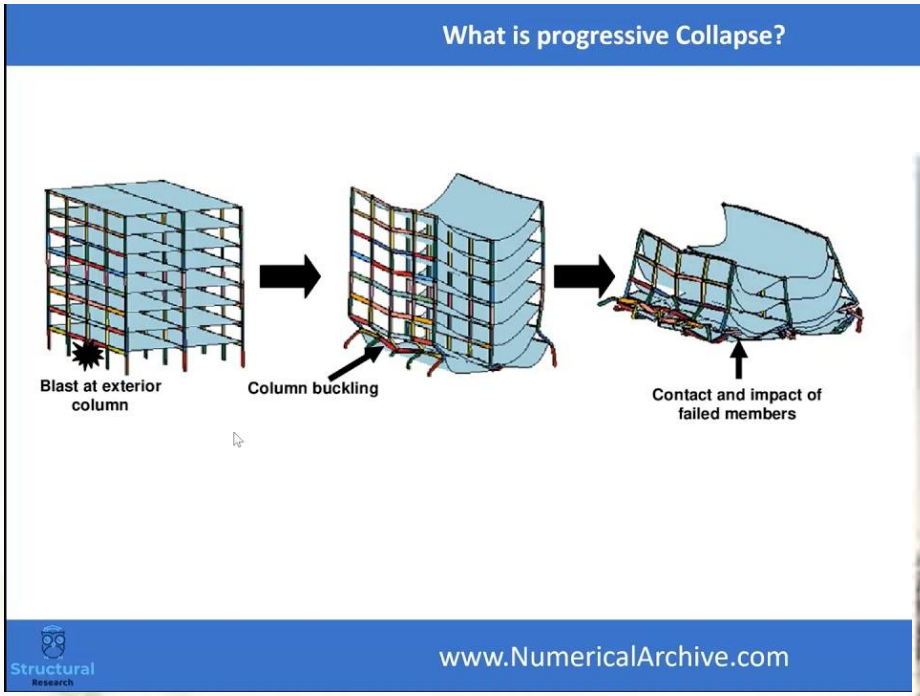




# خرابی پیشرونده



# عملکرد مثبت سازه پژوهشگاه فضایی ایران در طرشت



# تخریب زیرساخت های در جنگ

# ده پل کوچک به جای یک پل بزرگ

# دفاع چند لایه برای پل ها

با از بین رفتن یک مکانیزم سایر مکانیزمها پایدار بمانند.

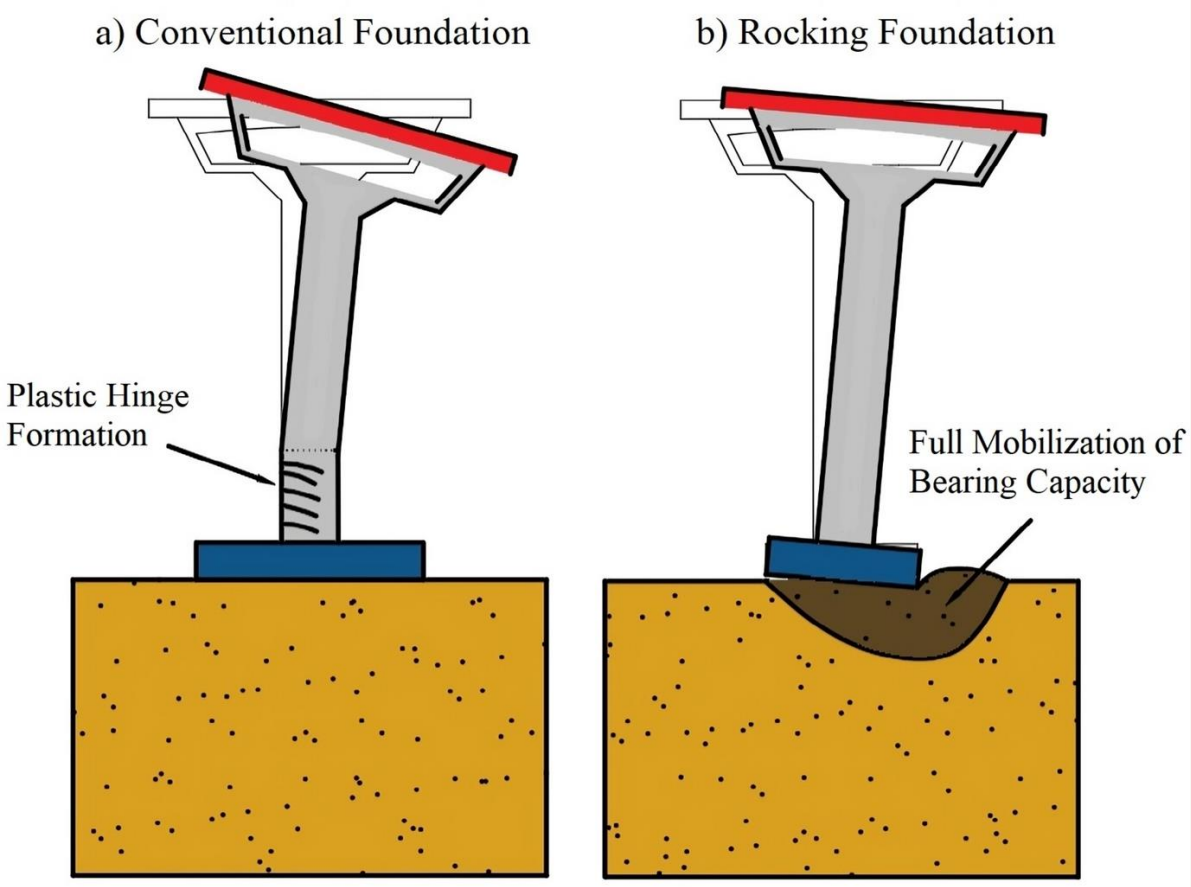
(مثال: ترکیب کابلهای کاهنده لنگر و عرشه مقاوم)

# پل فردیس

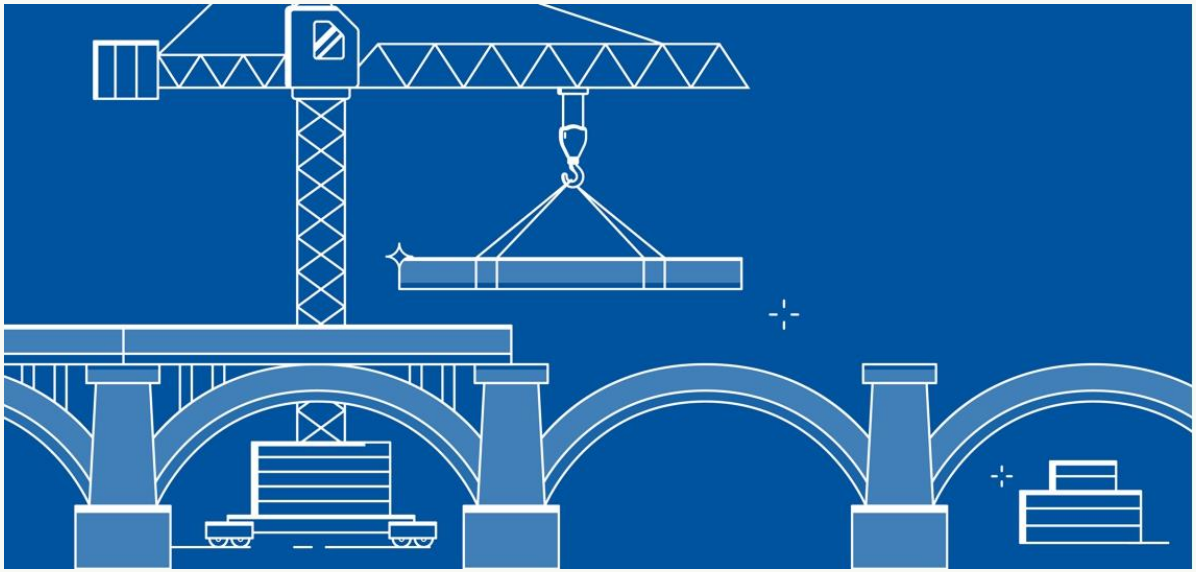
# امکان حرکت گهواره ای پی پل ها

**با از بین رفتن یک مکانیزم سایر مکانیزمها پایدار بمانند.**

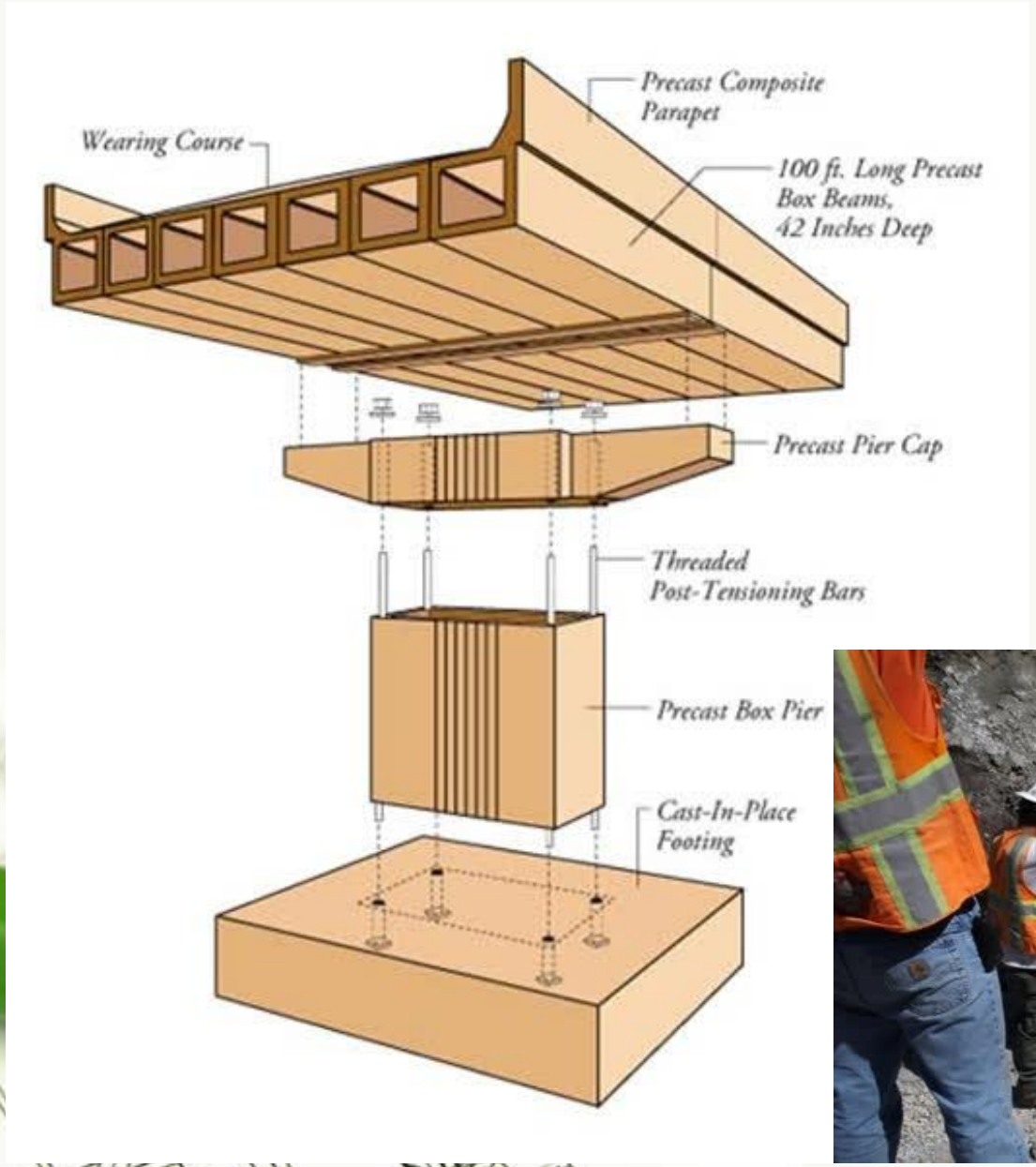
**(مثال: ترکیب کابلهای کاهنده لنگر و عرشه مقاوم)**



# ساخت مدولار
# پل ها



# ساخت مدولار
# پل ها



# ABC bridges . post-tensioned bridge Deck.

# نقش مهم پرتال در کاهش صدمات به تونل در جنگ

# تدابیر پیشگیرانه برای پرتال تونل ها

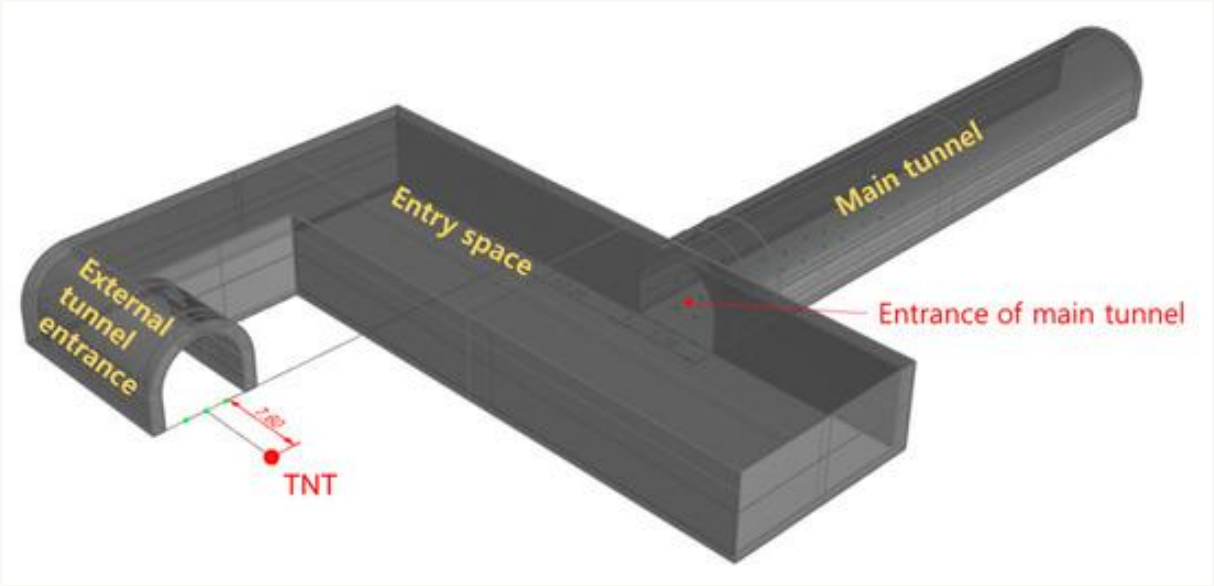
**مشکل: ورودی تونل، قیف تمرکز موج انفجار**

**راهکارها:**

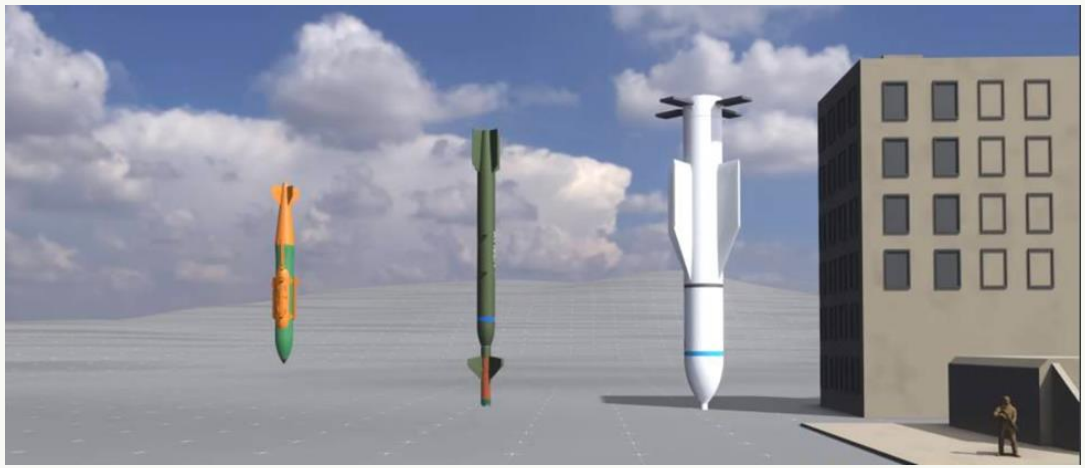
- ✓ هندسه غیرمستقیم ( L یا Z شکل)
- ✓ حفره‌های جاذب شوک (Blast Pockets) کاهش تا ۶۴٪ فشار
- ✓ دریچه‌های ضد انفجار (Blast Valve) تحمل بیش از ۳ بار فشار
- ✓ موانع متحرک موج‌گیر :کاهش ۷۸٪ فشار در مطالعات میدانی
- ✓ ترمیم سریع: قوس‌های پیش‌ساخته فولادی + بتن‌پاشی سریع

# تدابیر پیشگیرانه برای پرتال تونلها :

## هندسه غیر مستقیم



# عمق نفوذ بمب سنگرشکن و بمب یک تنی



عمق نفوذ سنگرشکن GBU-57

**Soil: 60 m**

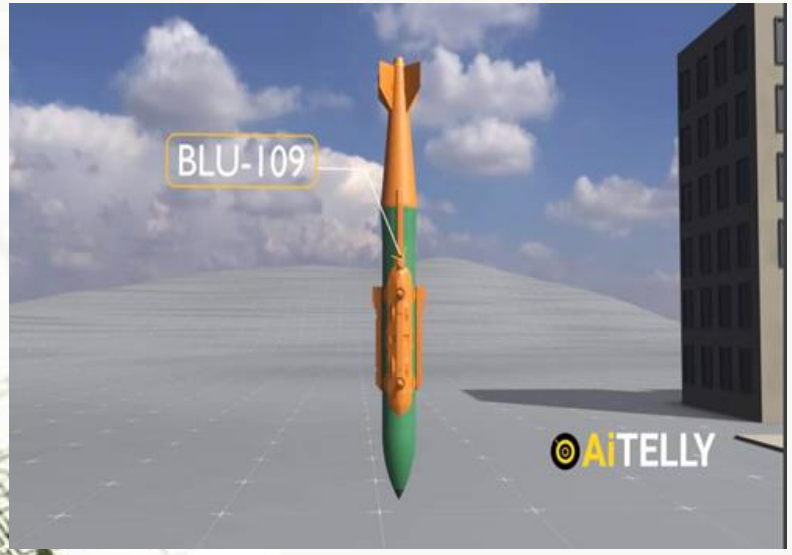
**Conventional concrete: 15 m**

عمق نفوذ بمب یک تنی BLU-109

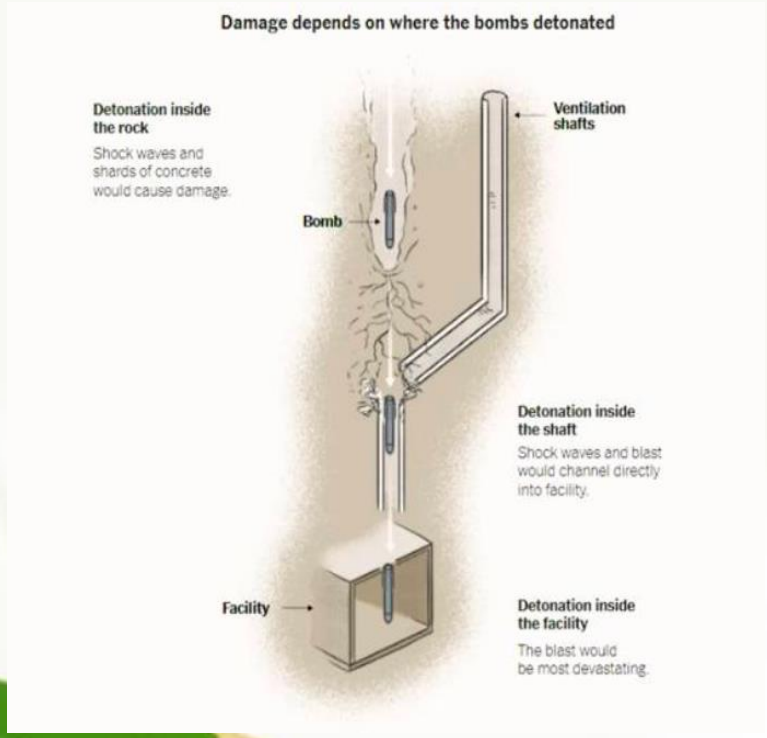
**Soil: 12 m**

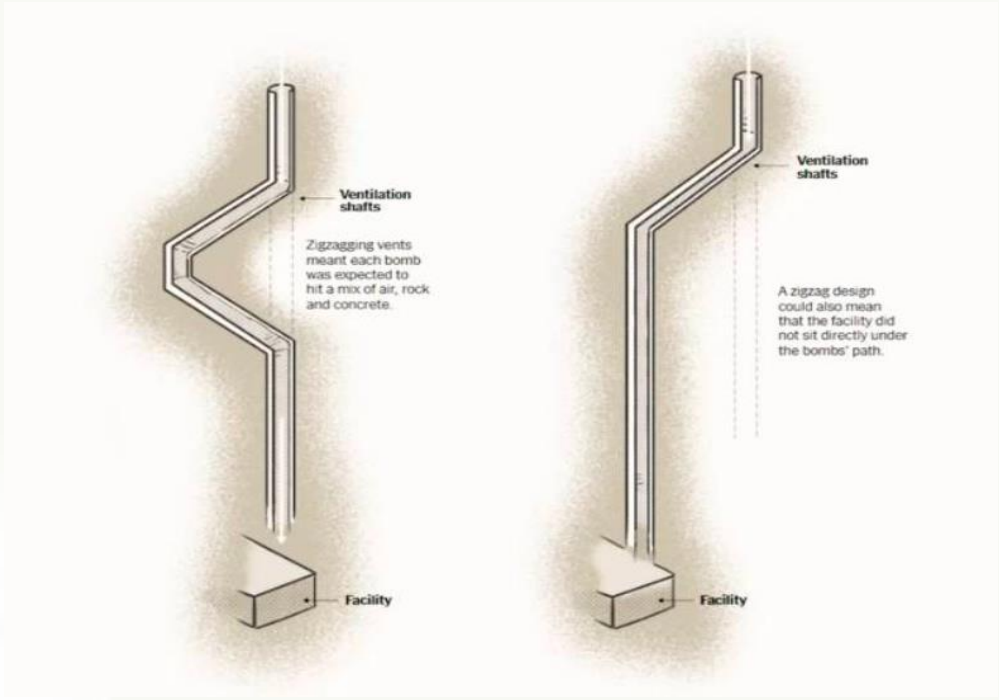
**Rock: 5m**

**Concrete: 1.5 m**



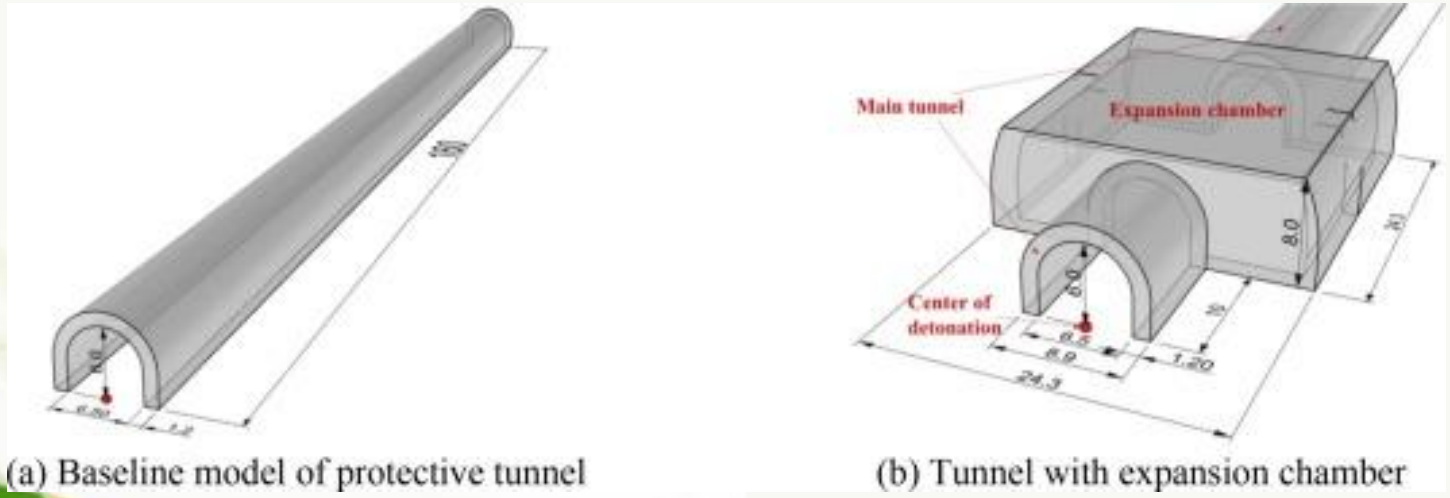
# استفاده از موج گیری در تاسیسات تونل



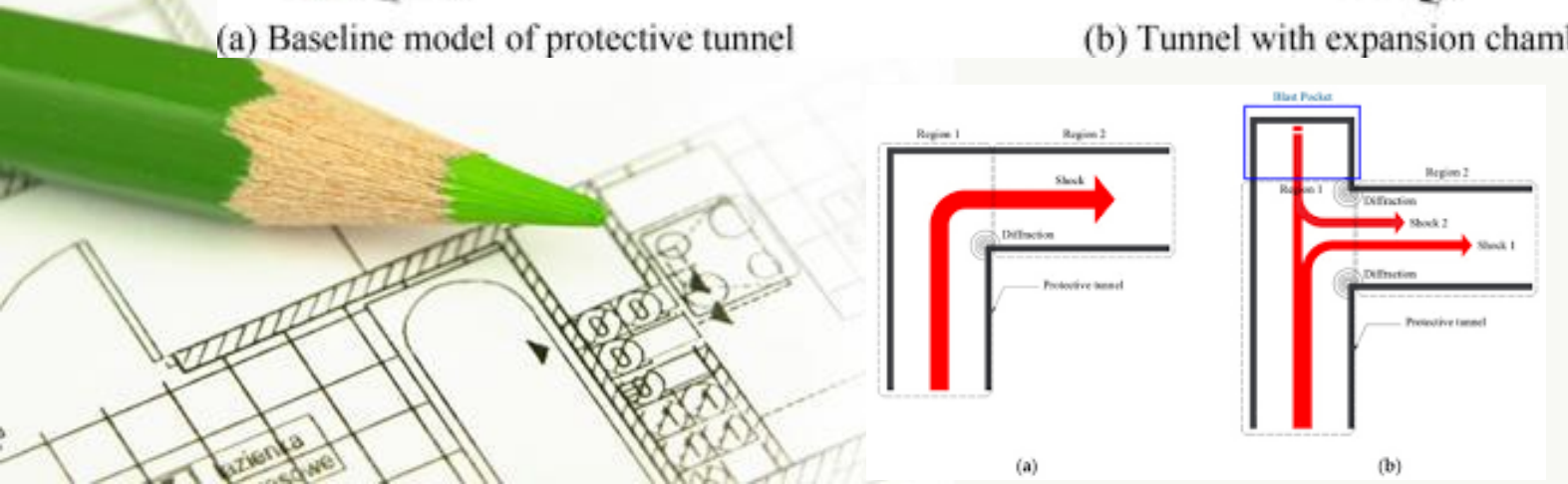
# حفره‌های جاذب شوک (Blast Pockets)

- حفره‌های جاذب شوک به صورت فرورفتگی در دیواره‌های مجرای ورودی تعبیه شده و با ایجاد فضای انبساط و انحراف، فشار موج را کاهش می‌دهند. مطالعات نشان می‌دهد با بهینه‌سازی شکل ورودی و استفاده از این حفره‌ها، حداکثر ۶۴.۵ درصد از فشار اضافی داخل تونل کاسته می‌شود.

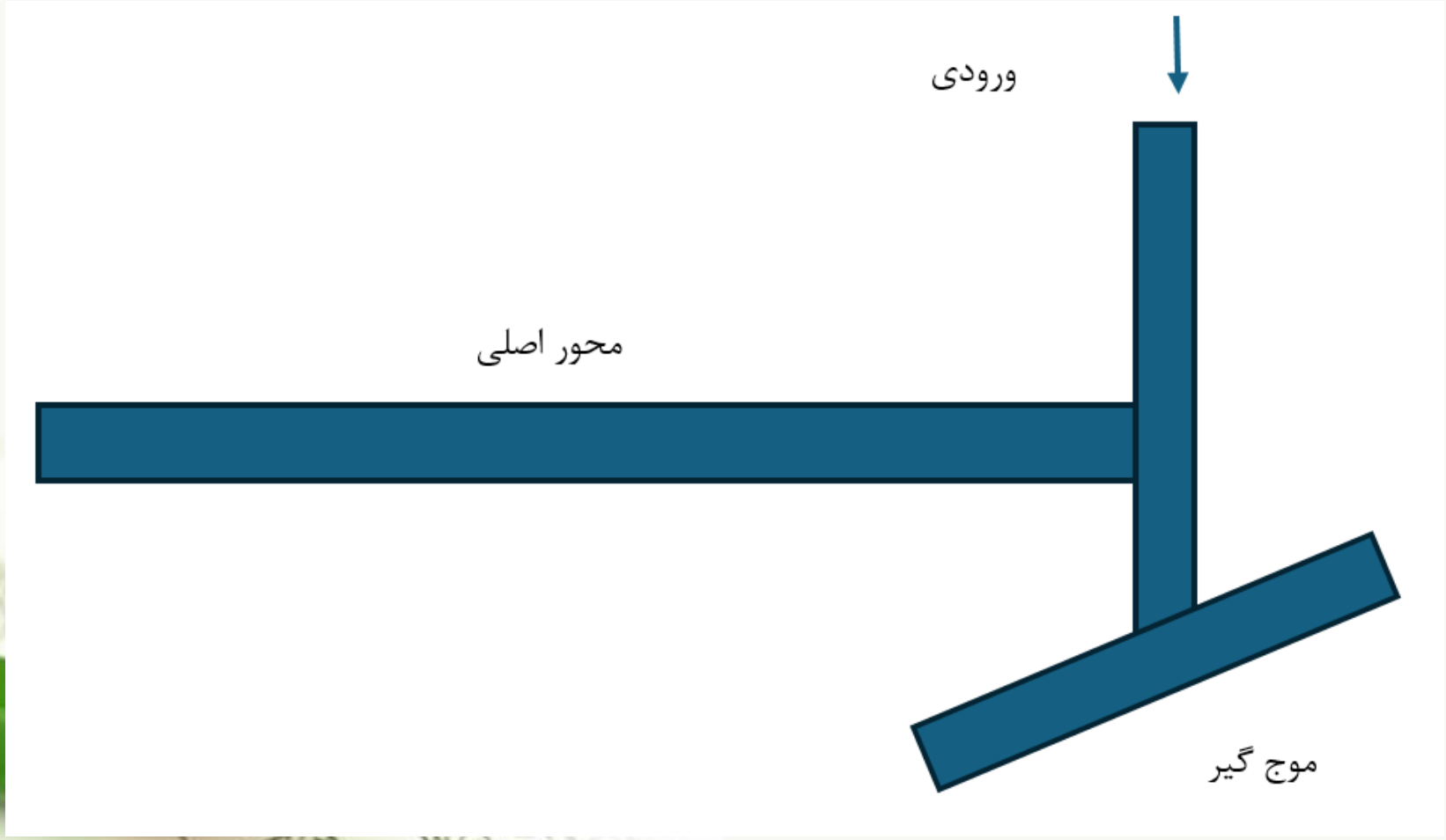



(a) Baseline model of protective tunnel

(b) Tunnel with expansion chamber



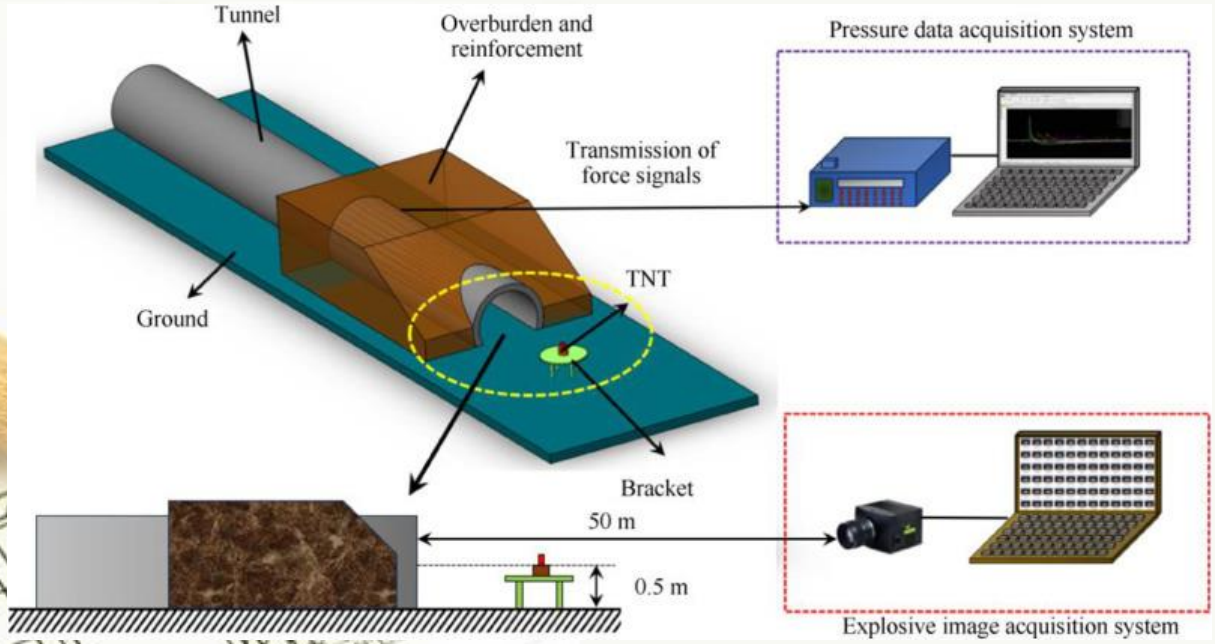
# نمونه موج گیر



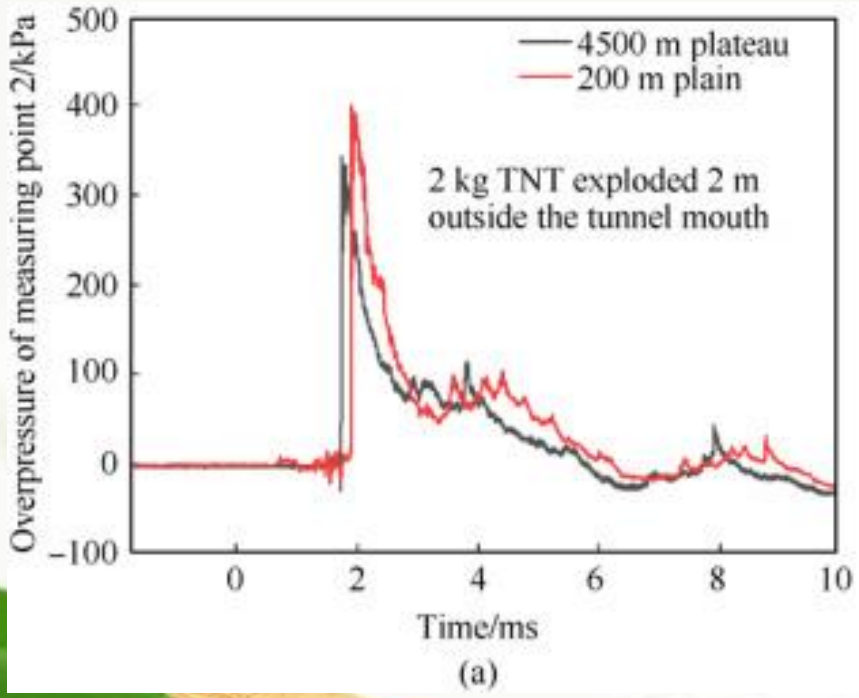
# موانع فیزیکی و موج‌گیر (WaveBlocker)

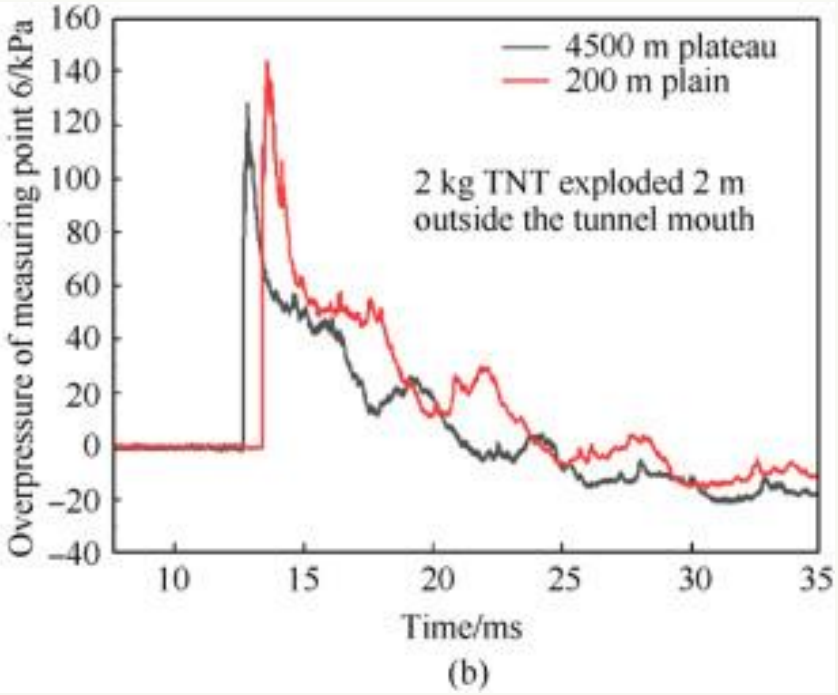
**مانعی در مسیر موج ایجاد می‌شود تا آن را ضعیف کند:**

- موج‌گیرهای متحرک (مانند مکانیزم های مسدودکننده موج): یک مانع متحرک در فاصله مشخصی از ورودی مستقر می‌شود. در یک مطالعه میدانی، این روش فشار اوج موج انفجار را از ۲,۴۹ کیلوپاسکال به ۰,۵۵ کیلوپاسکال کاهش داد (حدود ٪۷۸).
- موانع هندسی (مثلثی، ذوزنقه‌ای) در داخل کریدور ورودی: آزمایش‌ها نشان داده است که با پوشش تنها ۲۳ درصد از سطح مقطع تونل توسط این موانع، فشار موج تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد.
- دریچه‌ها و صفحات ضربه‌گیر: تضعیف موج انفجار به صورت موضعی قبل از انتشار به عمق.



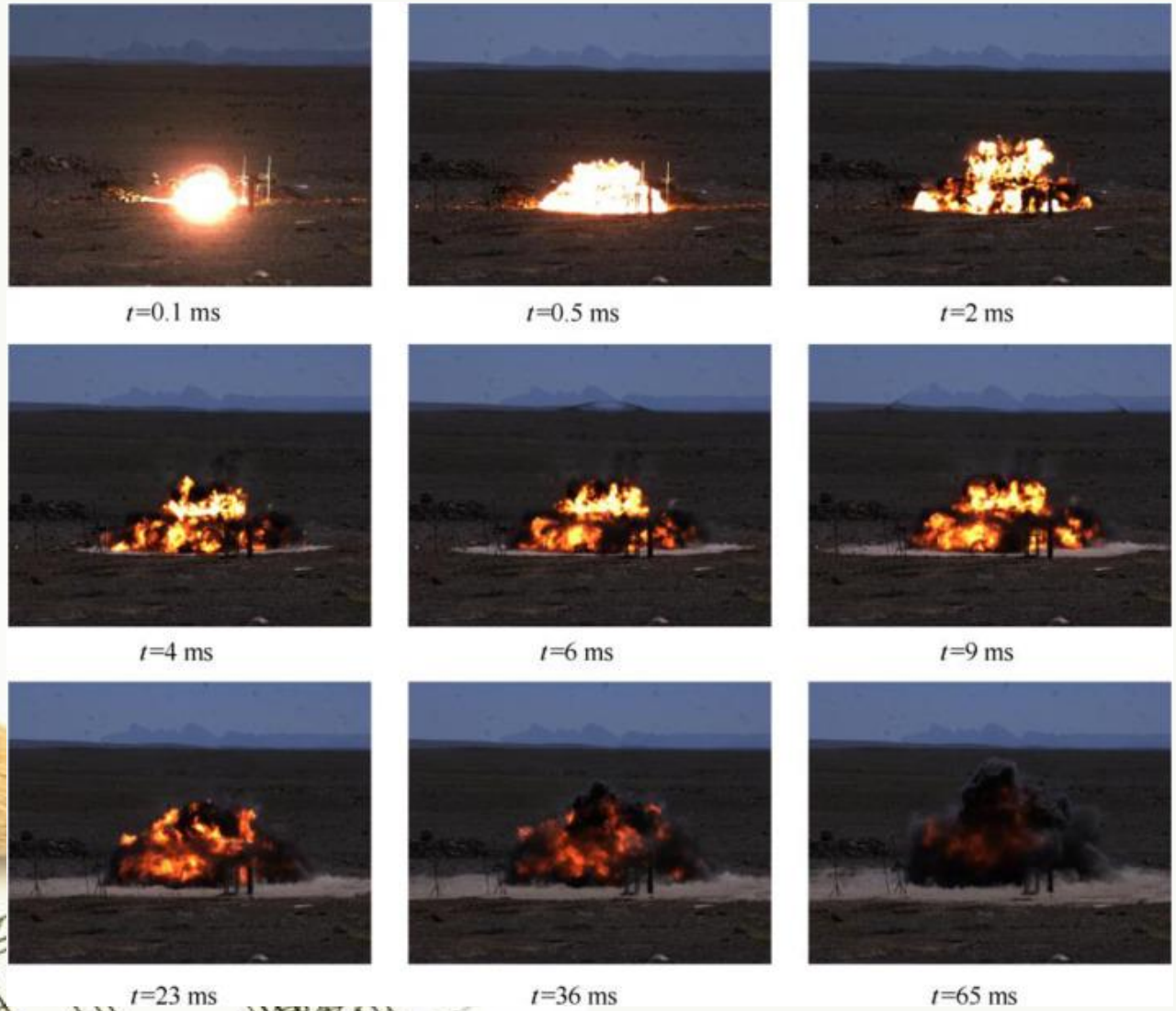
# تاثیر اصلاح پرتال در کاهش انرژی انفجار
# (مطالعه صحرایی در چین با دو کیلوگرم تی ان تی)



**Defence Technology**
Volume 43, January 2025, Pages 120-141

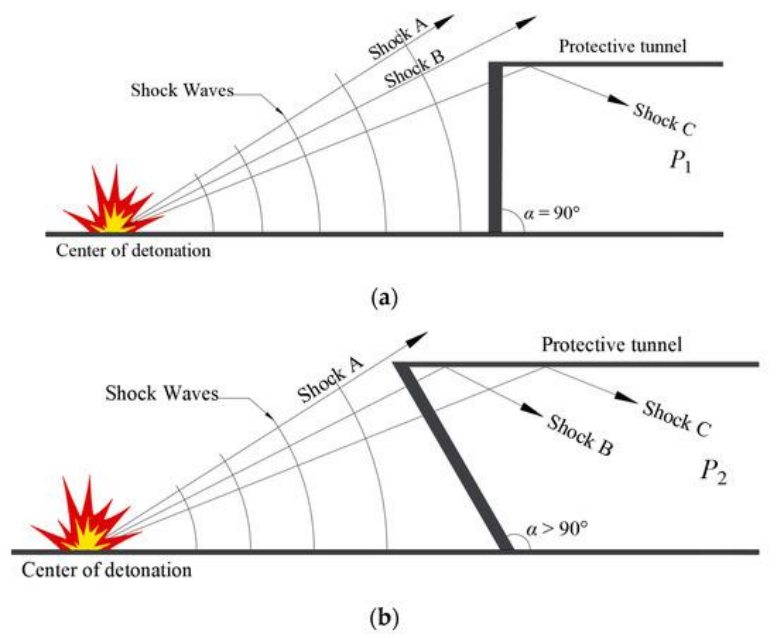
# آزمایش های صحرایی در چین روی پرتال تونل ها

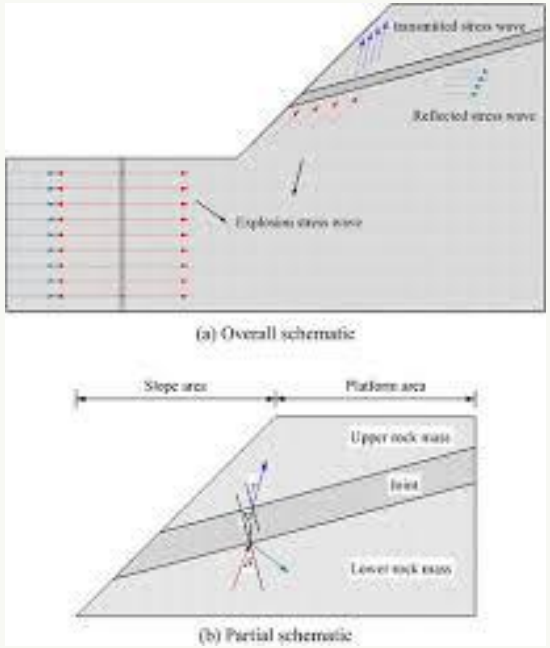


# Effects of Entrance Shape and Blast Pocket on Internal Overpressure Mitigation for Protective

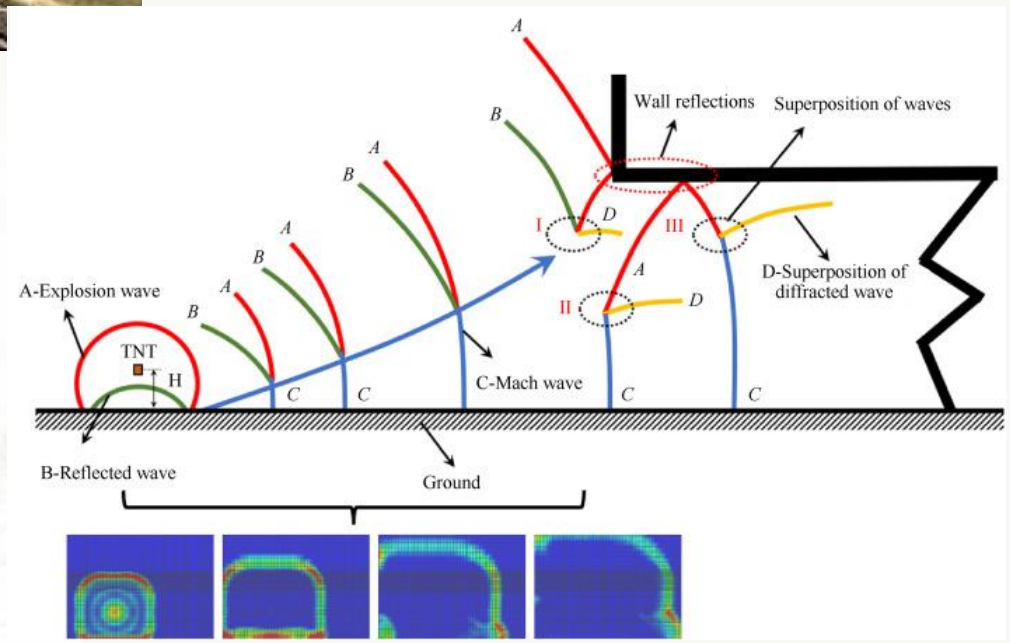
- **شکل ساده ورودی مانند یک قیف عمل کرده و موج را متمرکز می‌کند.**

✓ **شکل‌های غیرمستقیم ( L شکل یا Z شکل) به جای بازشوی مستقیم – راهروهای ورودی با ۲ تا ۳ پیچ ۹۰ درجه مثل یک تله انرژی عمل کرده و بخش بزرگی از فشار موج را قبل از رسیدن به فضای اصلی تلف می‌کنند.**

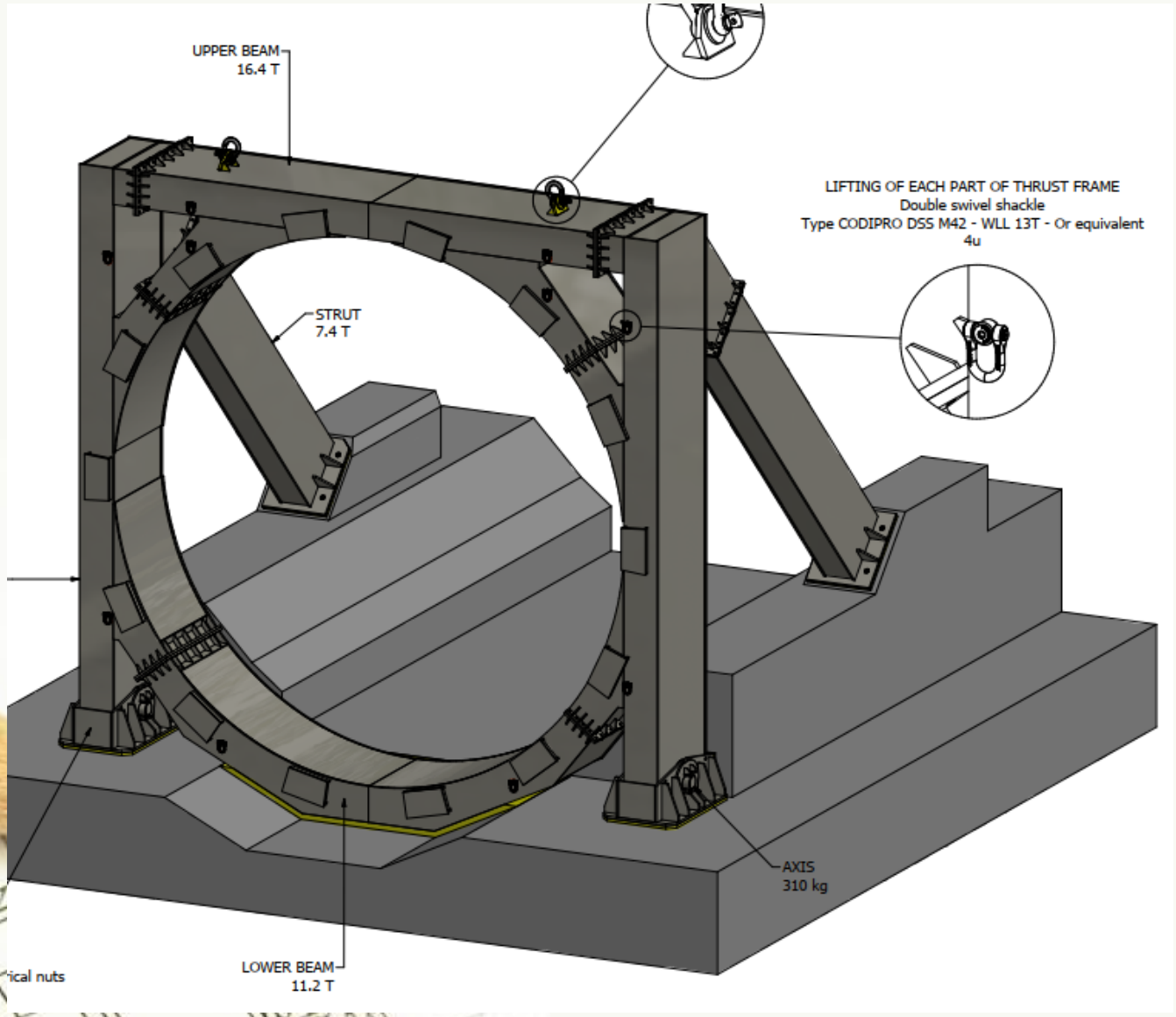


# طراحی یک تونل مقاوم در برابر بمباران در انگلیس

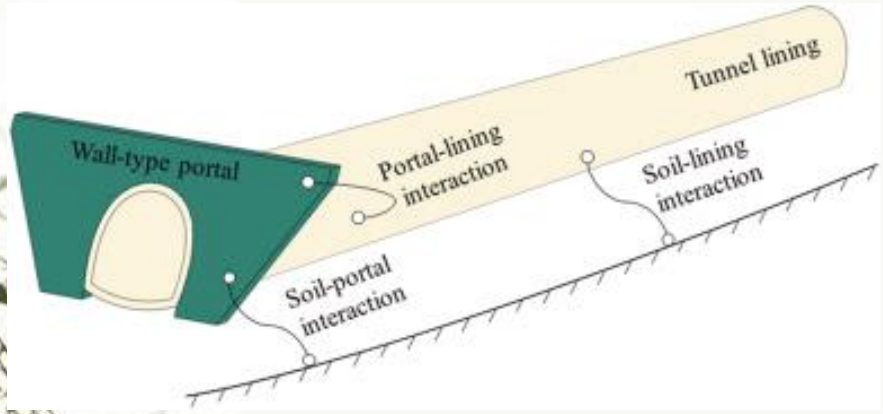


# پرتال چند پوسته



# نمونه‌های موردی دیگر

- غارهای ویتنام (تاریخی): ورودی‌ها به سمت پایین و با زاویه حفر می‌شدند تا موج انفجار مستقیماً وارد نشود و با موانع سنگی پوشانده می‌شدند.
- تونل‌های دفاعی چین (مدرن): استفاده از ورق‌های کربنی و فولادی و بتن‌پاشی برای تقویت ورودی‌ها بدون حفاری مجدد.
- تونل «بای تاکون» (چین) – ۲۰۲۲: استفاده از مکانیزم مسدودکننده موج فشار اضافی انفجار را تا یک‌چهارم کاهش داد.
- مطالعه کره جنوبی (۲۰۲۵): بهینه‌سازی عمق Blast Pockets و شکل ورودی منجر به کاهش ۶۴٫۵ درصدی فشار انفجار در داخل تونل شد.
- سیستم‌های سوئیسی (Lunor): تولید درب‌های استاندارد ضد انفجار با قابلیت تحمل فشار بیش از ۳ بار برای زیرساخت‌های حیاتی و پناهگاه‌ها.



# تدابیر پیشگیرانه برای نیروگاه های حرارتی

- دیوارهای حائل بتنی اطراف ترانسفورماتورها
- پناهگاه برای دیگ‌های بازیاب حرارت (HRSG)
- استفاده از ژنراتورهای پراکنده خورشیدی/گازی کوچک

➢ بازسازی سریع:

- تعمیر سرد (خاموشی کامل، ایمن، زمان‌بر)
- تعمیر گرم (تحت فشار، ریسک بالا، بدون قطع تولید)
- انبار ترانسفورماتورهای یدکی و تیم‌های سیار

در اوکراین، مهندسان با استفاده از تعمیر سرد، نیروگاه‌ها را در برابر بمباران‌های مکرر بازگرداندند.

# تاسیسات زیرزمینی امنیت بالاتری دارند

برای تجهیزات حیاتی مانند دیسک ذخیره‌سازی اطلاعات (Hard Disk) که در مراکز داده وجود دارد، یک حفاظ واقعی باید ابعاد زیر را داشته باشد:

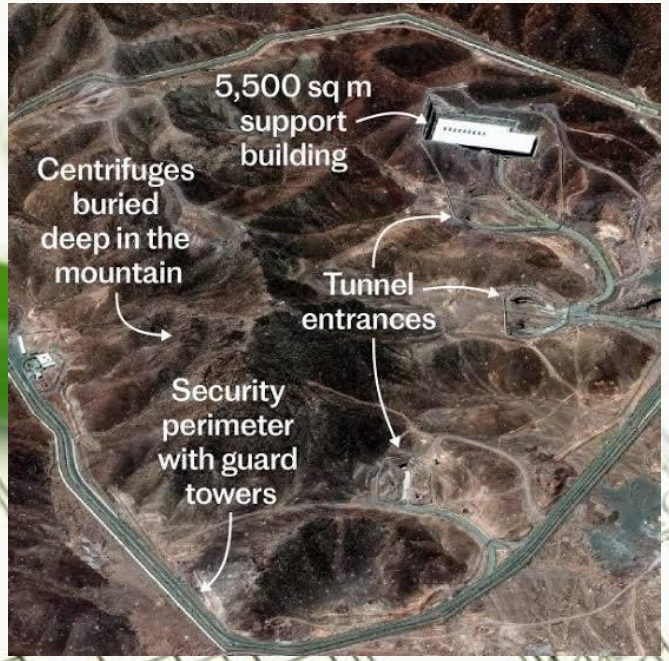
**عمق دفن:** حداقل ۳۰ تا ۴۰ متر زیر سطح زمین.

**پوشش خاکی:** حداقل ۱۰ تا ۱۵ متر متراکم روی سازه.

**پوسته بتنی اصلی:** ضخامتی بین ۱,۵ تا ۲ متر با میلگردهای فولادی درجه بالا.

لایه جاذب شوک: یک لایه داخلی (مثلاً از جنس فولاد یا سرامیک) برای جذب انرژی انفجار.

این اعداد و ارقام بر اساس الزامات مهندسی برای مقابله با بمب‌های قدرتمندی مثل GBU-28 نفوذ به ۶ متر بتن مسلح) است.



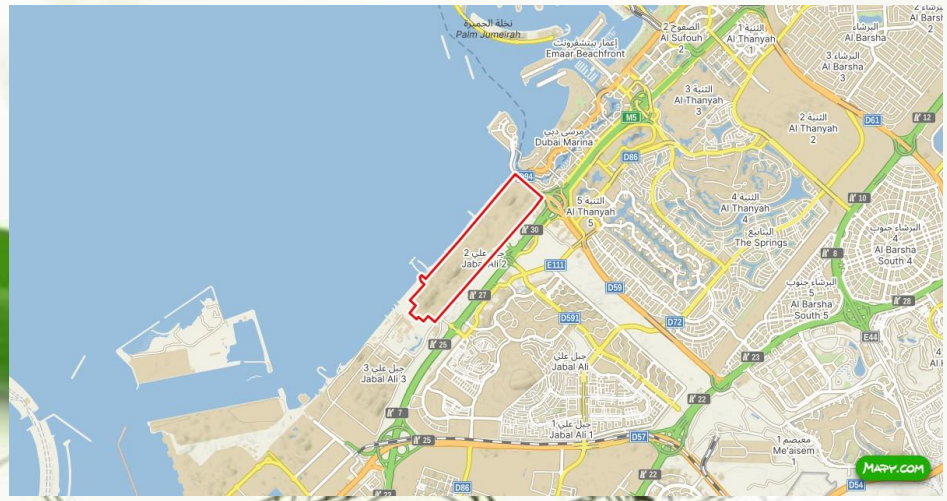
# همه چیز زیر زمین امنیت بیشتری دارد

# نیروگاه ۲۰۰۰ مگاواتی کارون ۳

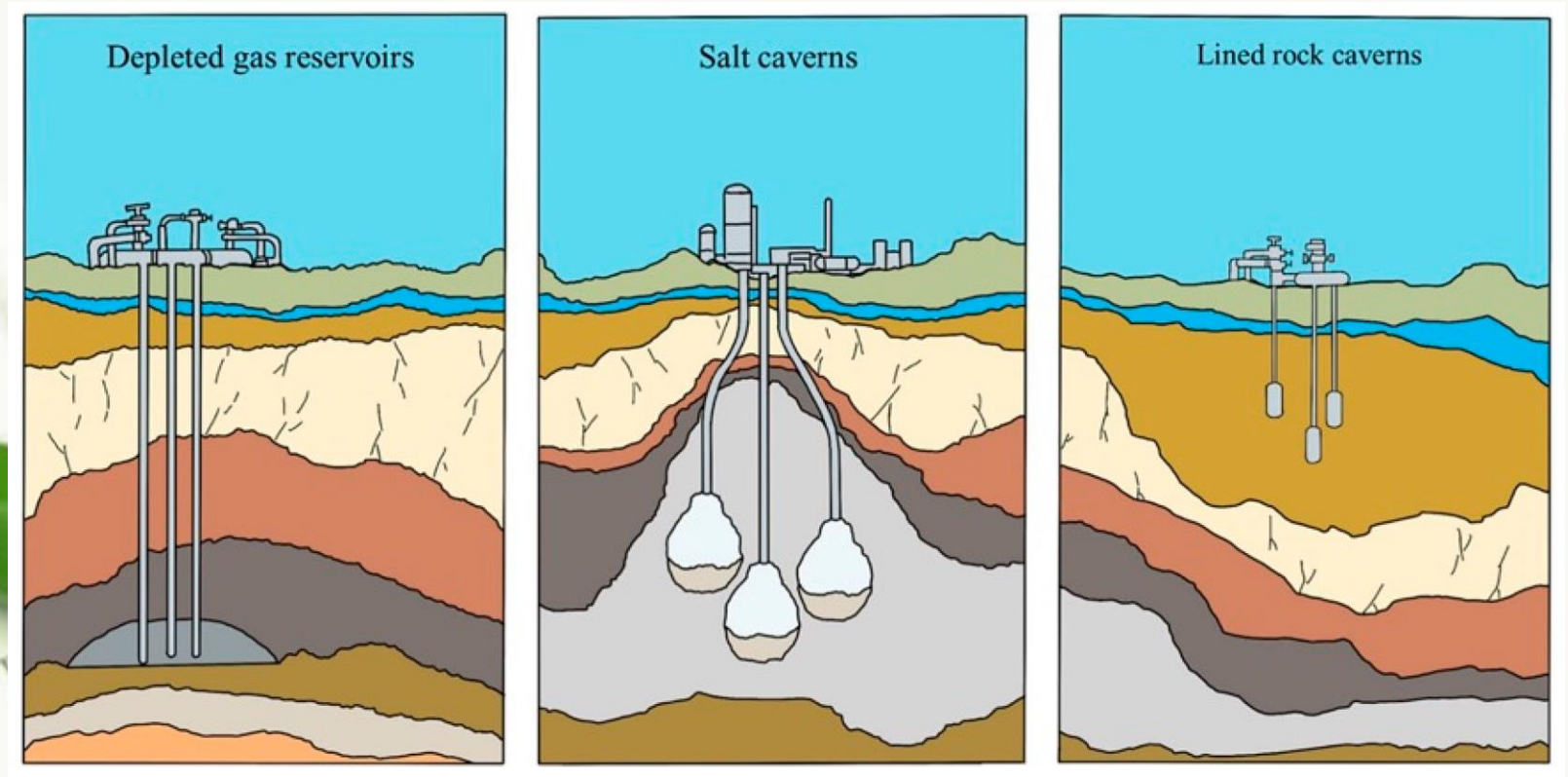
# Jebel Ali Power and Desalination Plant

بزرگترین نیروگاه تولید همزمان آب و برق جبل علی کشور امارات با ظرفیت تولید ۸،۵۰۰ مگاوات که شامل ۶ ایستگاه تولید برق است. حدود ۲۵ درصد برق کشور را تامین می کند. این نیروگاه افزون بر تولید برق، آب شیرین‌کن نیز هست که جدیدترین و بزرگ‌ترین نیروگاه آب شیرین‌کن در دنیاست. در زمان بهره‌برداری کامل، روزانه ۴۷۰ میلیون گالون امپریال آب، نمک‌زدایی می‌کند. سوخت اصلی واحدها، گاز طبیعی است و سوخت پشتیبان آن گازوئیل است.

- **امارات ۱۲ نیروگاه دارد و حدود ۴۰ هزارمگا وات برق تولید می کند.**



# غارهای طبیعی
# زیرزمینی ذخیره مواد
# (گنبدهای نمکی)



# اصل پراکندگی در جانمایی سیلوها و انبارهای مواد غذایی

# اصل پراکندگی در انبارهای مواد غذایی

انفجار بزرگ لبنان در انبار
نیترات آمونیم

# شریانهای حیاتی
# (لوله های آب، گاز، نفت، ...)

# تخریب زیرساخت ها توسط آمریکا در جنگ

www.golagha.ir