

بسم الله الرحمن الرحيم





امام خمینی (ره)

روز تولد حضرت فاطمه سلام الله علیها تمام جلوه زن تحقق پیدا کرده است.

مروری بر تجربیات و مطالعات انجام شده در حوزه رفتار تونلها تحت اثر گسلش

ارائه دهنده: دکتر مجید کیانی عضو هیات علمی دانشگاه جامع امام حسین (ع)

و مسئول کارگروه تونل و اثرات لرزه ای انجمن تونل

تلفن ۰۹۱۲۲۰۶۳۶۵۳ kiani@ihu.ac.ir



وبینار تخصصی تونل و اثرات لرزه ای - کارگروه تونل و اثرات لرزه ای انجمن تونل ایران - دی ماه ۱۳۹۹



- تونل ها، فضاهای زیرزمینی، خطوط لوله، خطوط مترو اغلب جزو شریانهای حیاتی (Lifelines) هستند.
- توسعه شهرنشینی و کوهستانی بودن کشور و نیازهای ناشی از توسعه و ارتباطات شهری و نیاز به تونل‌های راه و راه آهن، تونل‌ها و خطوط انتقال آب و تاسیسات
- توسعه کاربرد تونل و فضاهای زیرزمینی در حوزه های مختلف
- تحلیل بازار جهانی در سال ۲۰۱۶ اندازه بازار تونل سازی را ۸۶ میلیارد دلار پیش بینی کرده است.





- ❖ بسیاری از استانداردهای مطرح دنیا تنها اجتناب کردن از ساخت سازه‌ها در مجاورت گسل‌های فعال را به‌عنوان یک راهکار مهندسی توصیه نموده است.
- ❖ مواردی اتفاق می‌افتد که امتداد تونل چاره‌ای جز عبور از مسیر یک گسل را ندارد. لذا اجتناب از عبور تونل از مسیر یک گسل فعال همیشه مقدور نیست.
- ❖ در این حالت تونل باید تا حد امکان توان تحمل جابجایی ناشی از گسل را داشته باشد و تنها دچار خرابی‌های ناچیزی شود.
- ❖ عبور تونل از گسل مهمترین بخش طراحی تونل در مواجهه با گسیختگی‌های زمین است.





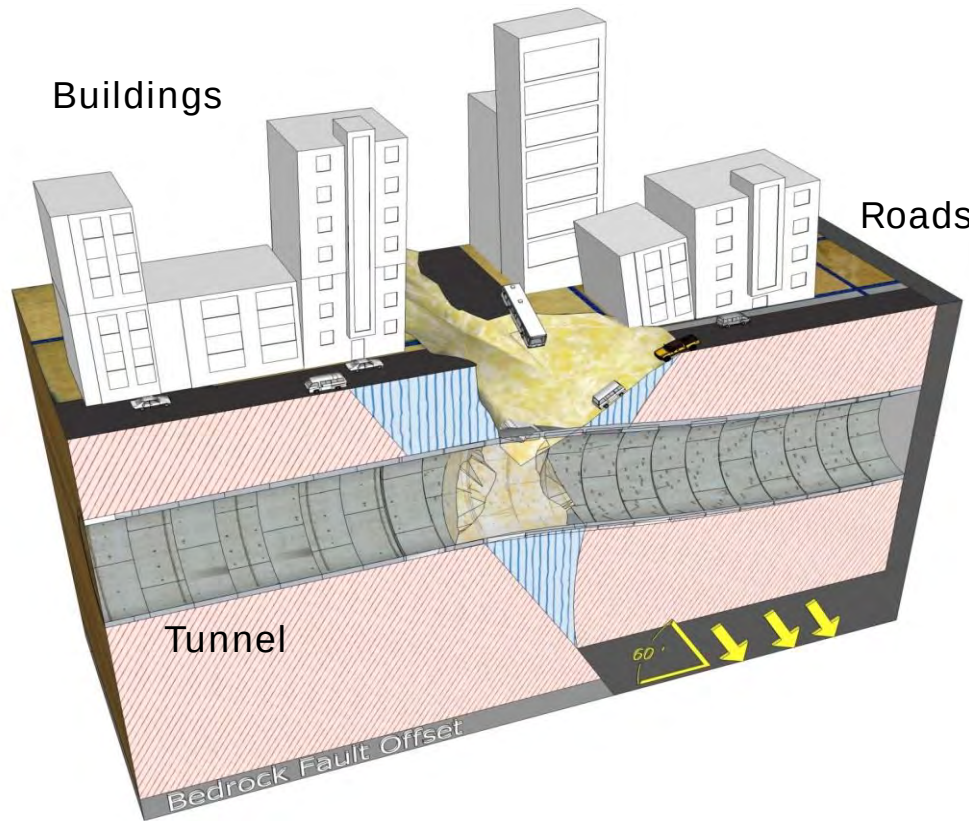
❖ تونل هنگام زلزله تحت تاثیر تغییرشکلهای ناشی از انتشار امواج و یا تغییر شکلهای بزرگ ماندگار در سطح زمین مثل گسلش، زمین لغزش، گسترش جانبی، روانگرایی و نشست لرزه‌ای قرار می‌گیرد.

❖ تحقیق و مطالعه در این موضوع از دهه ۷۰ میلادی شروع گردیده است. مطالعات آماری، تحلیلی، تجربی و عددی زیادی برای شناخت رفتار، میزان آسیب‌پذیری و روشهای کاهش آسیب‌پذیری تونلها انجام گرفته است.

❖ ولی تنوع تونلها به لحاظ نوع سازند در برگیرنده آن، کاربری تونل، روش حفاری و نوع پوشش تونل، حالات مختلفی را ایجاد می‌نماید که مطالعه و بررسی هر کدام به یک پژوهش مستقل نیازمند است.



Surface Faulting Rupture Hazard. (SFRH)



- ❖ مخاطرات آسیب متمرکز لرزه ای در سطح زمین توسط حرکت گسل در خلال زلزله را (خطر گسلش سطحی) می نامند.
- ❖ گسلش سطحی می تواند سبب آسیب به ساختمانها-تونلها-خطوط لوله مدفون و سایر سازه های شهری شود.
- ❖ در بسیاری از محیط های شهری در دنیا و ایران سازه های مهمی بدون اطلاع از آسیب احتمالی در نواحی گسل طراحی و ساخته شدند.

- ❖ اخیرا پس از مشاهده برخی حوادث در زلزله های رخ داده تحقیقات در این زمینه شروع شده است و در برخی کشورها مقرراتی برای ساخت و ساز در این نواحی وضع گردیده است.



مواردی از گسلش سطحی در ایران - زلزله ۱۳۷۶ قائن - ۷/۳ ریشتر



مرگ بارترین زلزله ۱۹۹۷ دنیا - ۱۵۶۷ کشته



مواردی از گسلش سطحی در ایران - زلزله ۱۳۷۶ قائن - ۷,۳ ریشتر



زمین لرزه ۱ تیر ۱۳۸۱ (۲۲ ژوئن ۲۰۰۲) چنگوره (آوج) - ۶/۳ ریشتر



زمین لرزه ۱ تیر ۱۳۸۱ (۲۲ ژوئن ۲۰۰۲) چنگوره (آج) - ۶/۳ ریشتر



Changoureh Earthquake (Changoureh, Iran, October 30, 2002)
Konagai K.



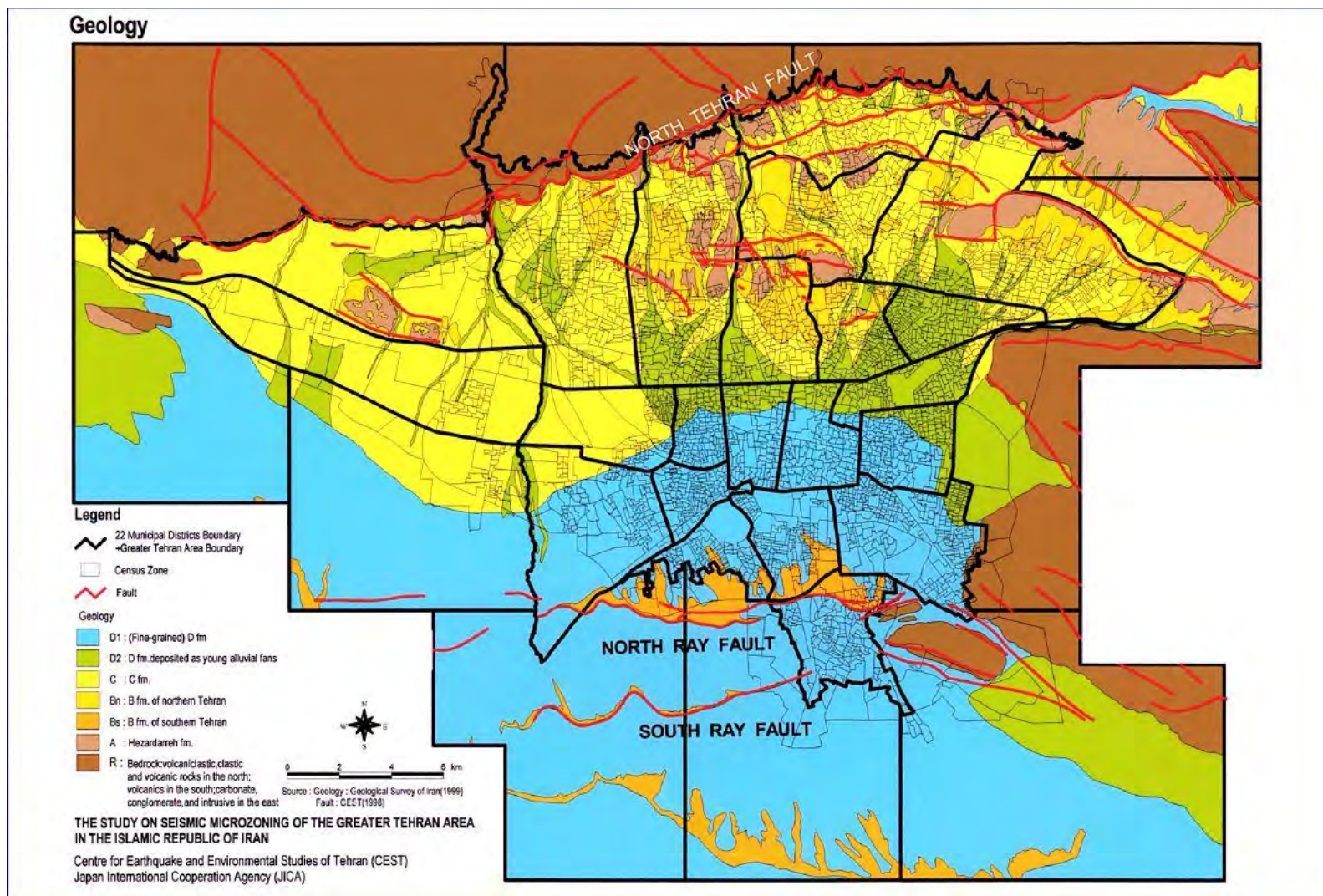
Closer view of the fault crossing Abdareh



نقشه گسل‌های ایران و شهرهای دارای تونل‌های مترو



گسل‌های تهران - گزارش (1999-2000) JICA





لرزه شناسی گسل شمال تهران - سازمان زمین شناسی و دانشگاه مونت پلیه - فرانسه



لرزه شناسی گسل شمال تهران - سازمان زمین شناسی و دانشگاه مونت پلیه - فرانسه



وبینار تخصصی تونل و اثرات لرزه ای - کارگروه تونل و اثرات لرزه ای انجمن تونل ایران - دی ماه ۱۳۹۹

لرزه شناسی گسل شمال تهران - سازمان زمین شناسی و دانشگاه مونت پلیه - فرانسه



وبینار تخصصی تونل و اثرات لرزه ای - کارگروه تونل و اثرات لرزه ای انجمن تونل ایران - دی ماه ۱۳۹۹

تونل گالری زیر سد سفید رود بعد از زلزله ۱۹۹۰ منجیل



وبینار تخصصی تونل و اثرات لرزه ای - کارگروه تونل و اثرات لرزه ای انجمن تونل ایران - دی ماه ۱۳۹۹

آسیب به پرتال ورودی تونل بعد از زلزله ۱۹۹۰ منجیل



Figure 4: Tunnel portal damaged by rockfall during the 1990 Manjil earthquake



آسیب تونل و ایستگاه و سطح خیابان متروی Daikai در زلزله ۱۹۹۵



وبینار تخصصی تونل و اثرات لرزه ای - کارگروه تونل و اثرات لرزه ای انجمن تونل ایران - دی ماه ۱۳۹۹

ریزش تونل Longxi در زلزله ۲۰۰۸ Wenchuan



❖ ریزش در پرتال شرقی تونل



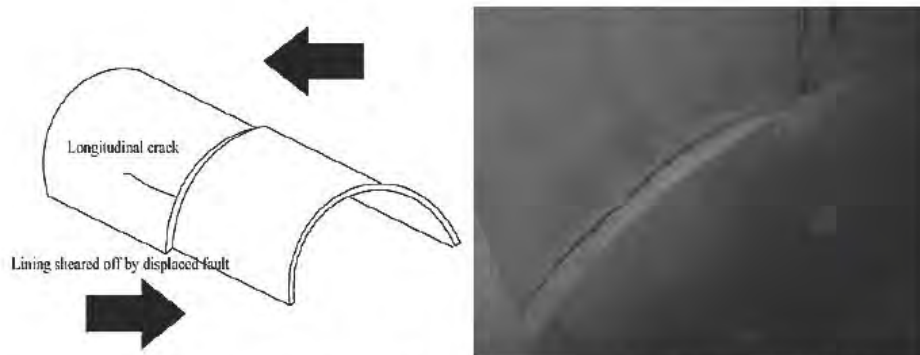
❖ ریزش پوشش تونل در محل تقاطع با گسل



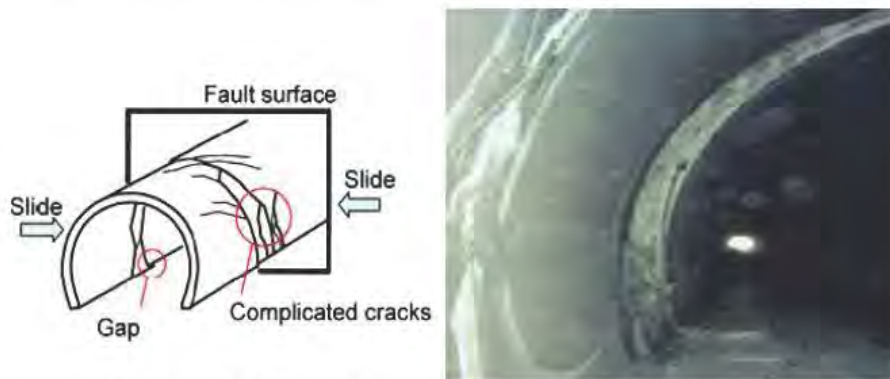
ریزش تونل Longxi در زلزله ۲۰۰۸ Wenchuan



نمونه‌هایی از آسیب لاینینگ بتنی تونل در اثر زلزله و حرکت گسل پس از زلزله‌ی ونچوان :



شکل (۱): نمونه‌ای از آسیب لاینینگ در اثر رخداد زلزله و حرکت گسل



شکل (۲): نمونه‌ای از آسیب لاینینگ در اثر رخداد زلزله و حرکت گسل



ریزش تونل Longxi در زلزله ۲۰۰۸ Wenchuan



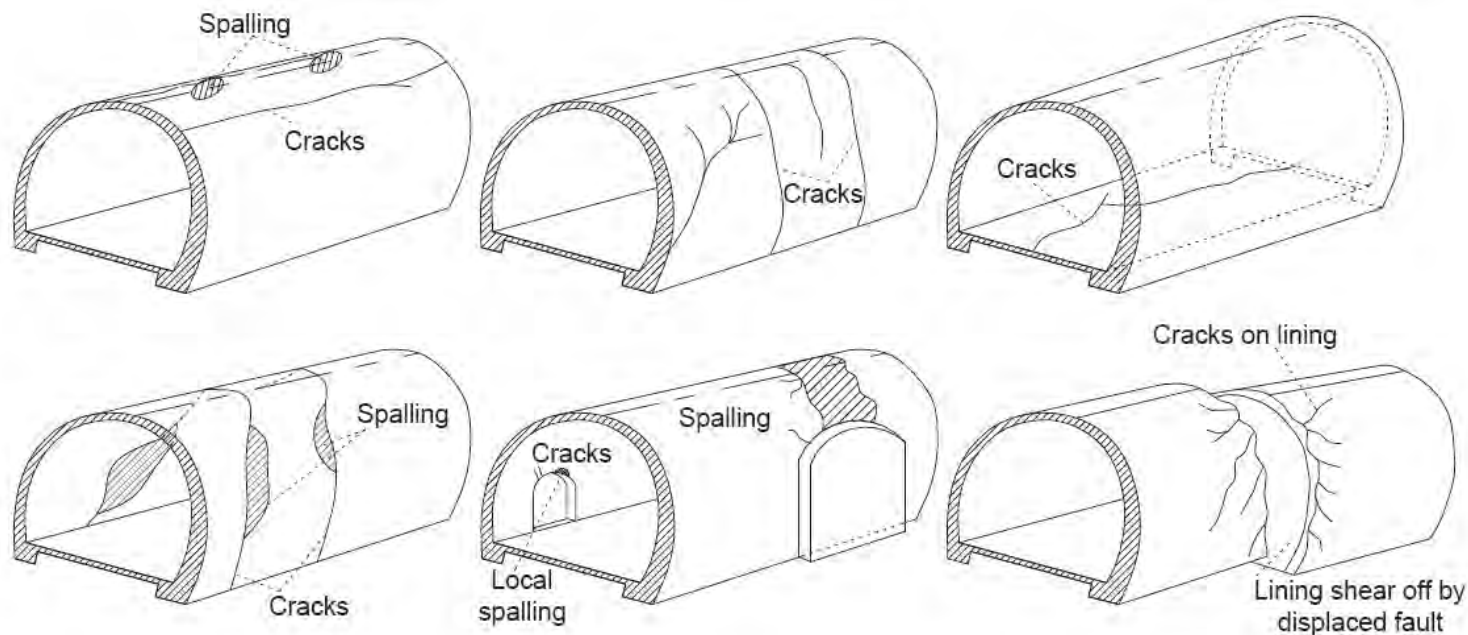
شکل (۳): نمونه‌ای از آسیب لاینینگ در اثر رخداد زلزله و حرکت گسل
شکل (۴): نمونه‌ای از آسیب لاینینگ در اثر رخداد زلزله و حرکت گسل



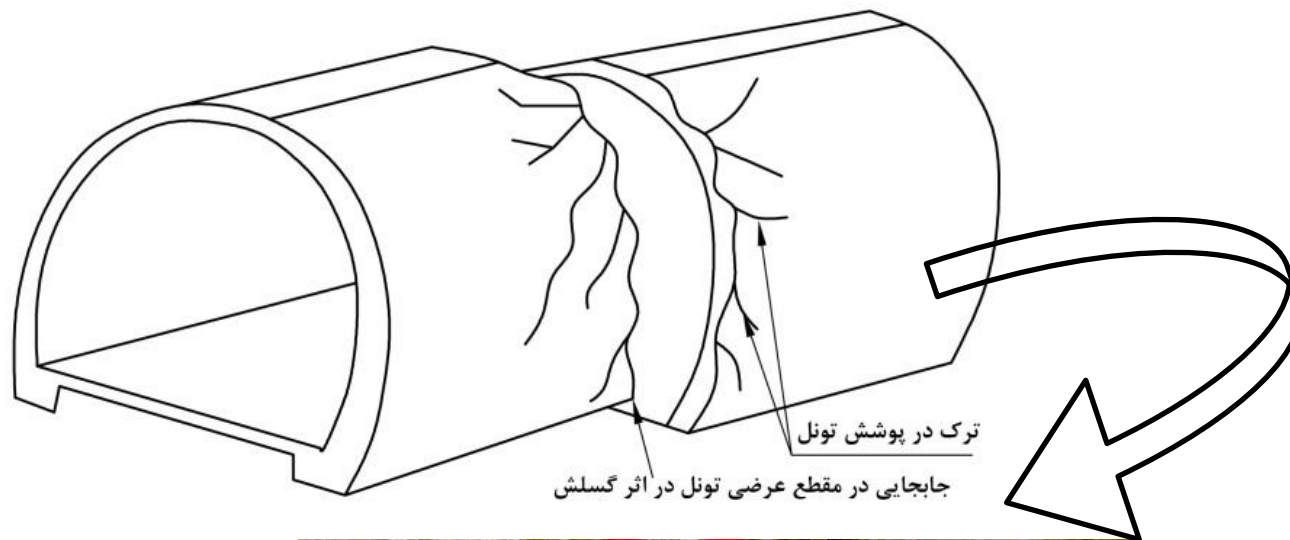
شکل (۵): نمونه‌ای از آسیب لاینینگ در اثر رخداد زلزله و حرکت گسل
شکل (۶): نمونه‌ای از آسیب لاینینگ در اثر رخداد زلزله و حرکت گسل



خرابی در تونل های کوهستانی در زلزله Chi-Chi ۱۹۹۹ تایوان



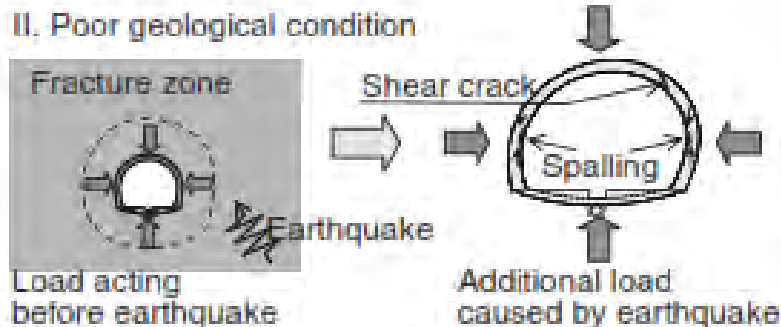
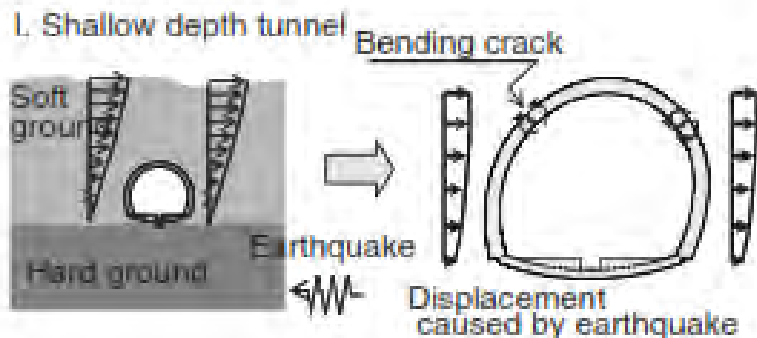
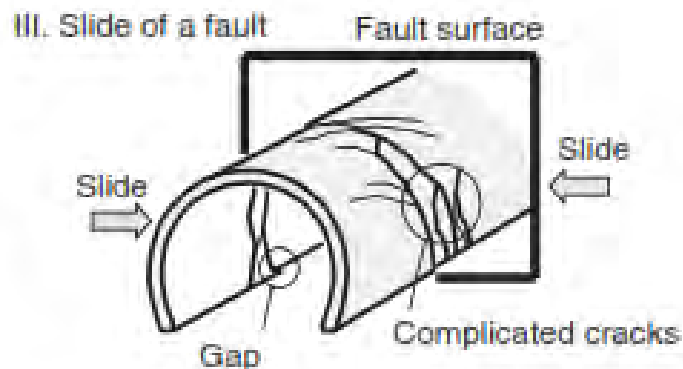
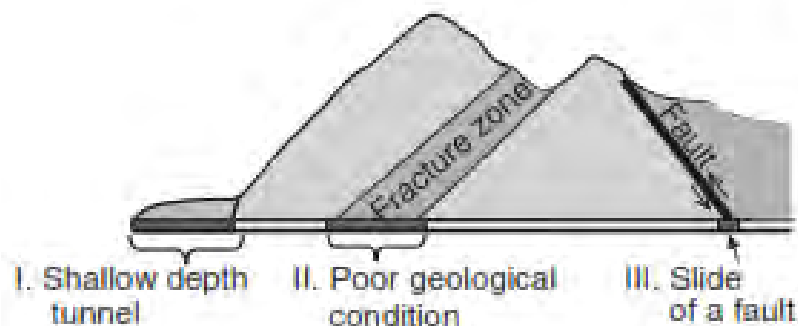
آسیب تونل شی گنگ در زلزله ۱۹۹۹ چی چی تایوان



وبینار تخصصی تونل و اثرات لرزه ای - کارگروه تونل و اثرات لرزه ای انجمن تونل ایران - دی ماه ۱۳۹۹



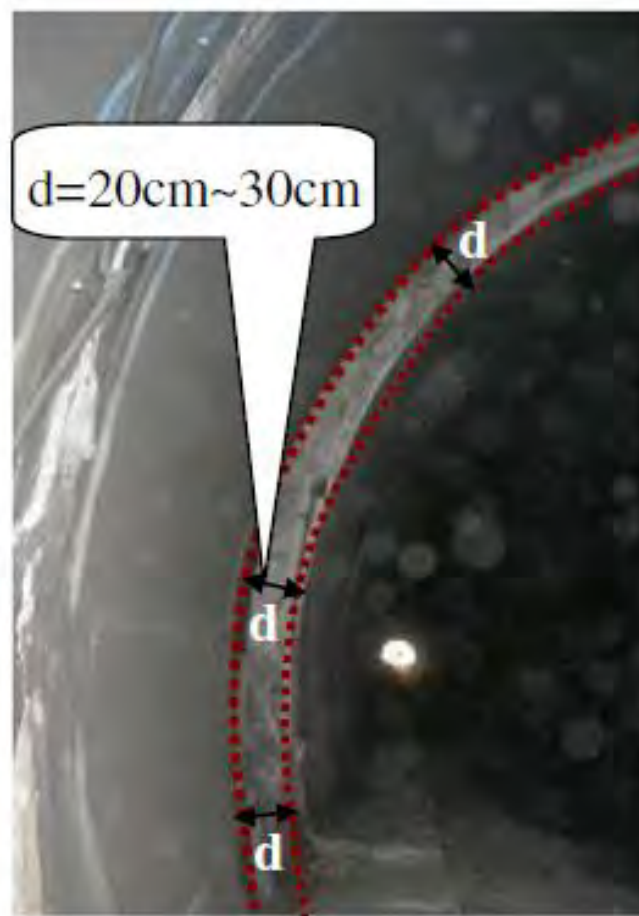
آسیب به تونل میوکن در زلزله ۲۰۰۴ ژاپن



جابجایی در لاینینگ تونل لانگسی و بایوندینگ - زلزله ونچوان چین ۲۰۰۸



a) Lining rupture



b) Lining dislocation



تونل یویی در زلزله ونچوان چین-۲۰۰۸



آسیب برشی در دیواره تونل



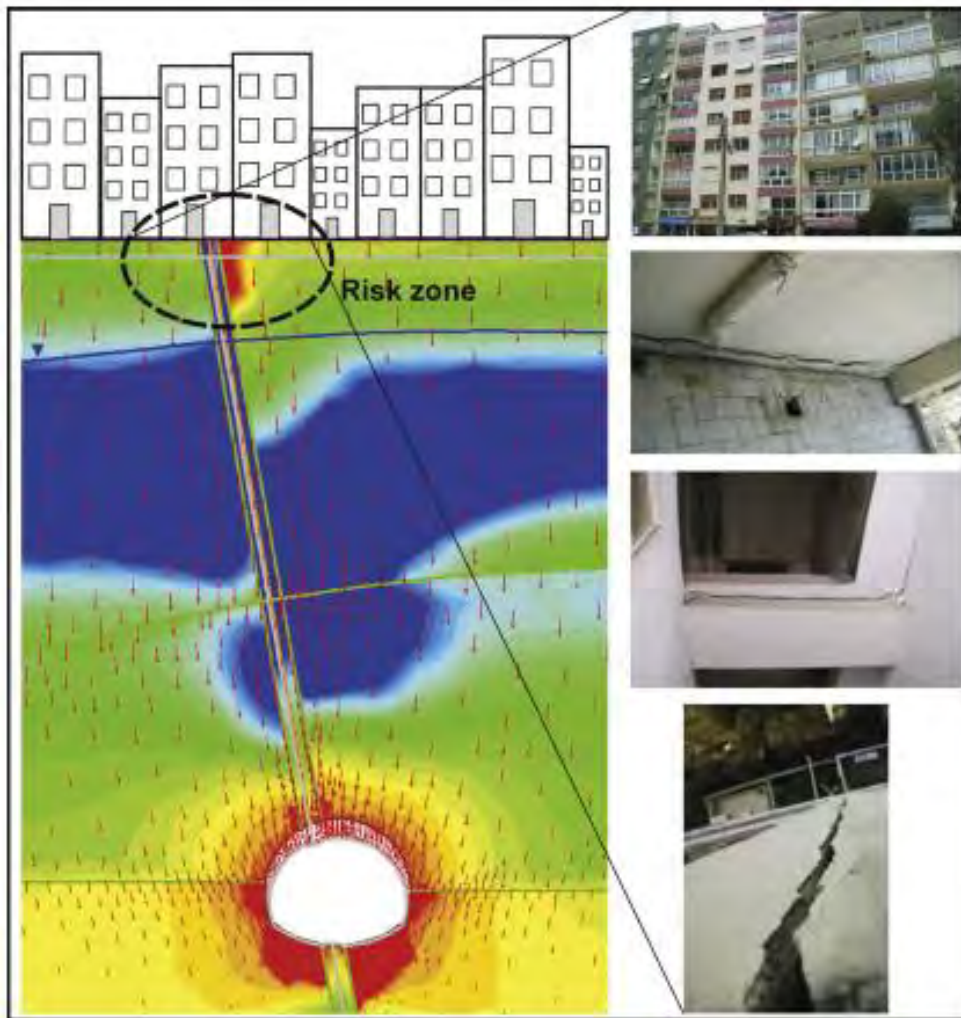
ترکهای قائم و طولی



آسیب تداخل گسل و تونل به ساختمانهای بالای سطح زمین



زلزله ۱۹۹۹ ترکیه



آسیب به خطوط لوله در اثر زلزله و گسلش



زلزله Chi-Chi تایوان-۱۹۹۹

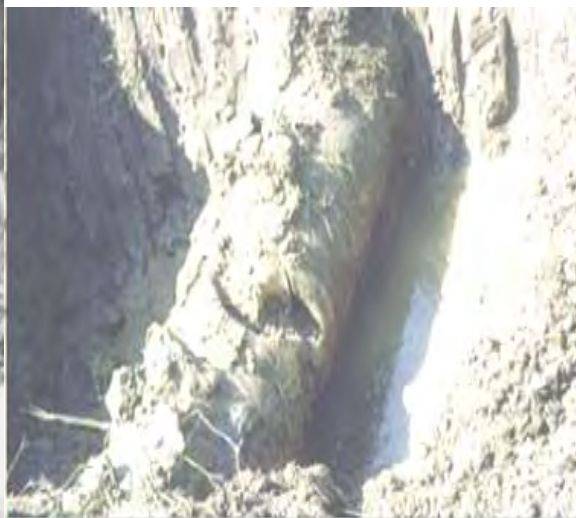
زلزله ترکیه -۱۹۹۹



آسیب به خطوط لوله در اثر زلزله و گسلش



زلزله Chi-Chi ایوان - 1999



وبینار تخصصی تونل و اثرات لرزه ای - کارگروه تونل و اثرات لرزه ای انجمن تونل ایران - دی ماه ۱۳۹۹



گسل معکوس در زلزله سال ۱۹۹۹ تایوان - آسیب به ساختمان ها



ساختمان ۴ طبقه واقع بر پی نسبتاً انعطاف پذیر. ساختمان بالاآمدگی ۶ متری را گذراند اما با آسیب‌های سازه‌ای قابل توجه. چرخش صلب از ۴ تا ۷ درجه متغیر بود

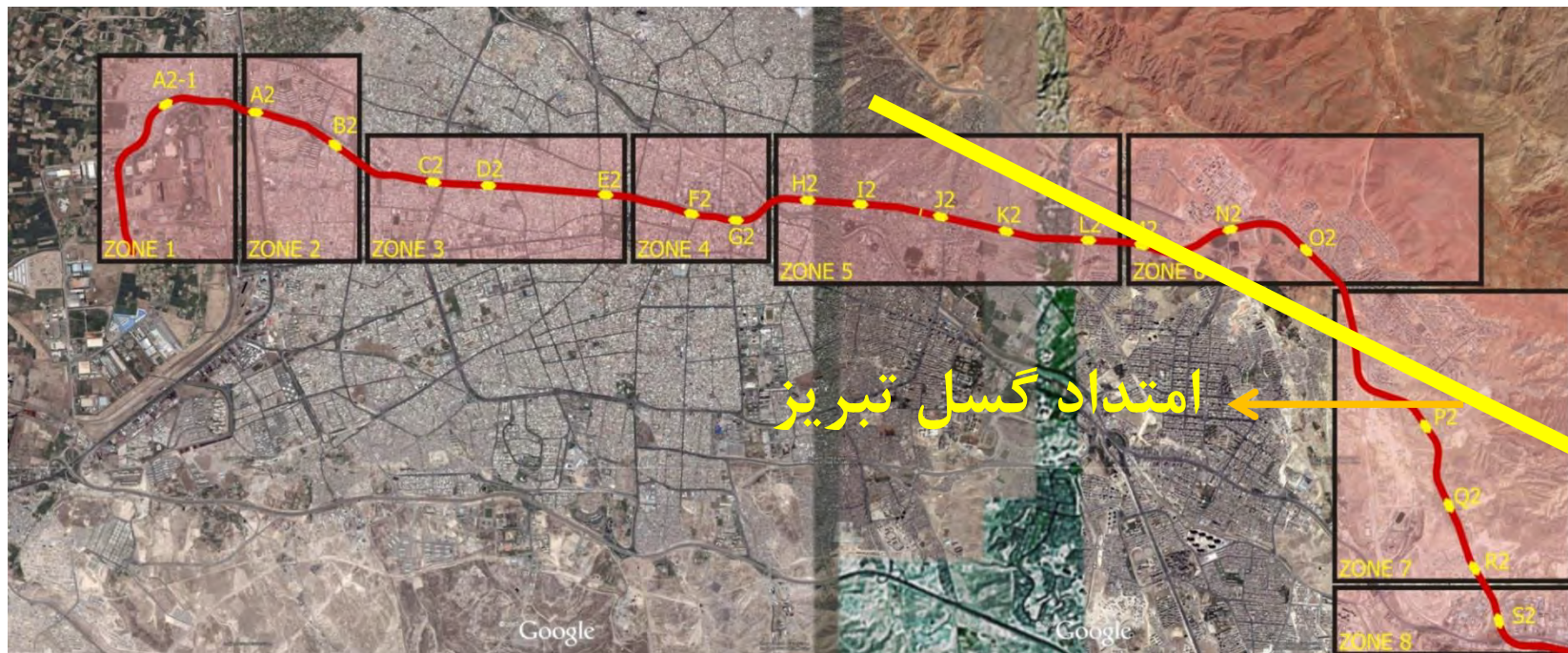




چی شد که رفتیم سراغ این مطالعه در ایران؟



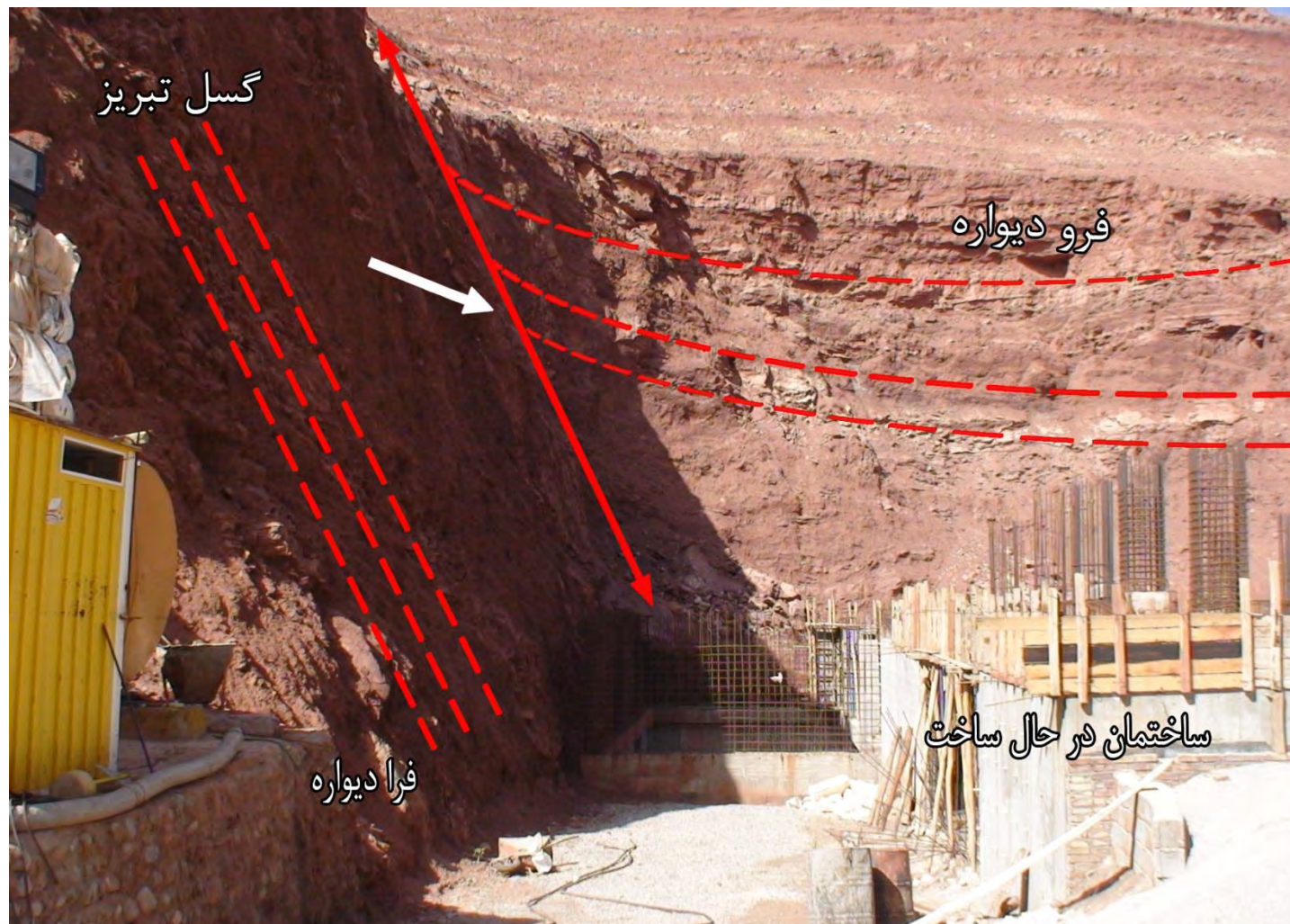
تونل خط ۲ متروی تبریز و تقاطع با گسل شمال تبریز - مطالعه موردی



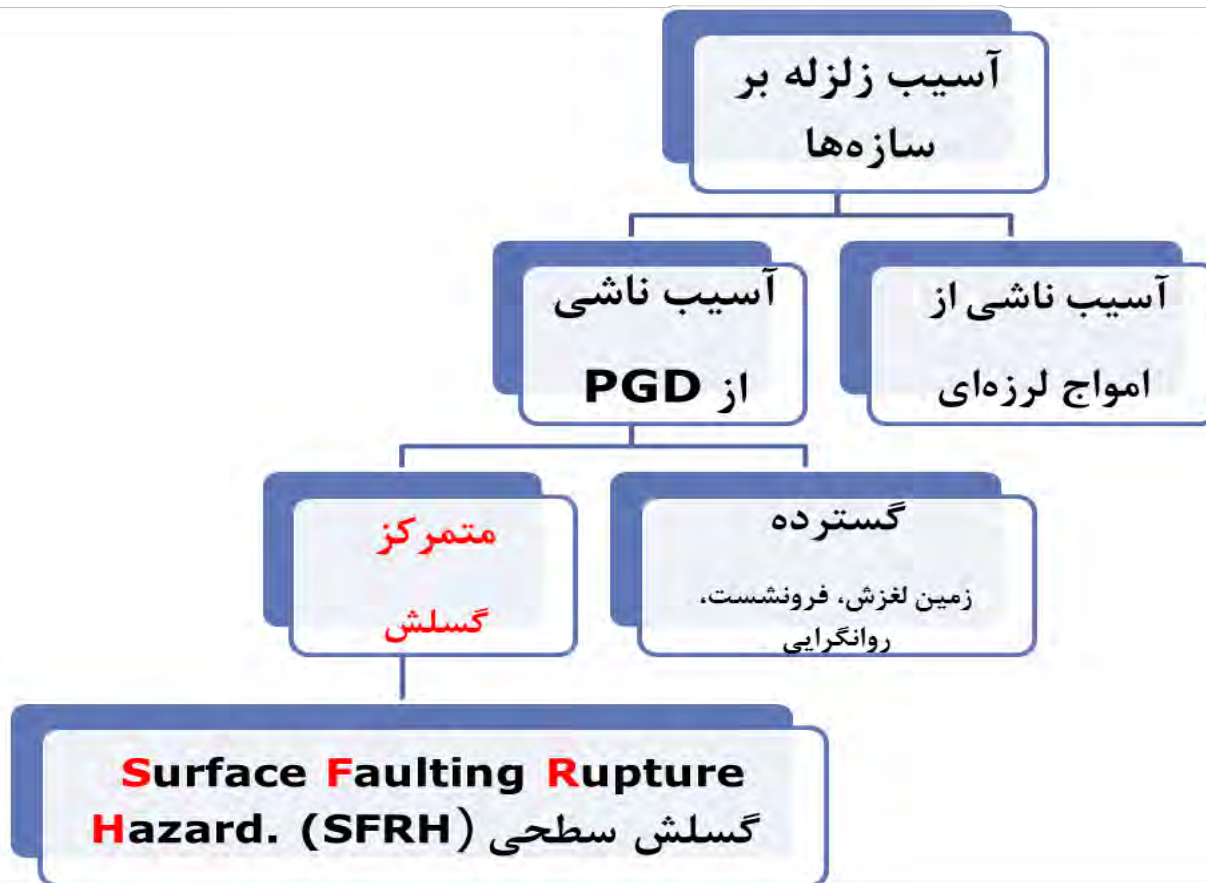
تصاویری از مارنهای گسله در مسیر تونل خط ۲ متروی تبریز

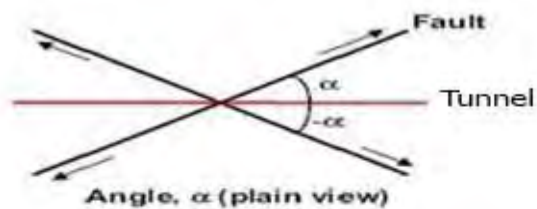


آثار گسل تبریز - پیمایش زمینی - محدوده خط ۲ قطار شهری تبریز

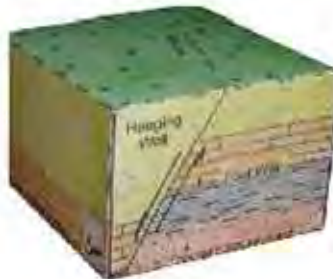
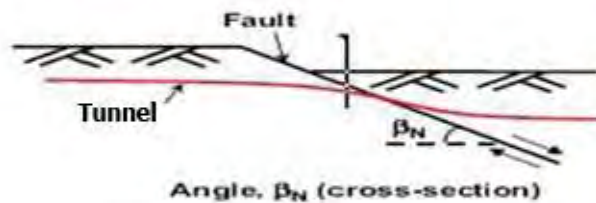


تأثیر گسلش سطحی بر سازه ها

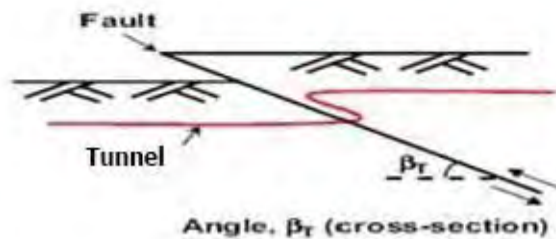




الف) گسل راستالغز (برشی)

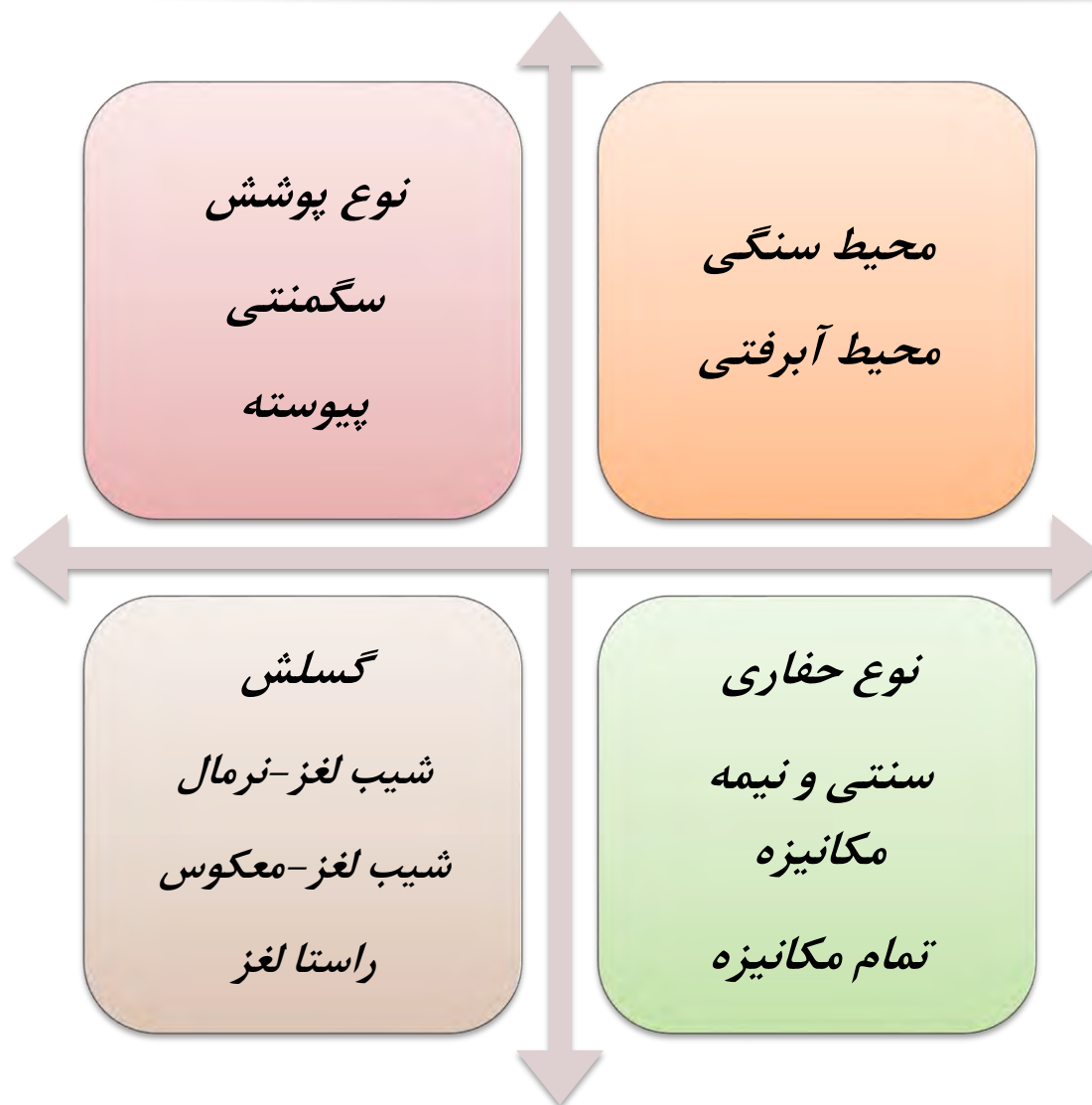


ب) گسل عادی (نرمال)



ج) گسل معکوس

انواع حالات مختلف تونل در تعامل با گسل



گسلش شیب لغز و تونل - تشخیص رفتار حاکم



گسلش شیب لغز

معکوس

عادی

تونل

خاک

سطحی

قطعه ای

آزمایشگاهی و عددی

سانتریفیوژ

تعیین مکانیزم
گسیختگی حاکم

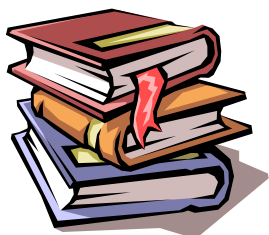
مطالعه رفتار تونلهای قطعه ای حفر شده در خاک تحت گسلش سطحی





مدلسازی تونل سگمتی و گسلش معکوس/عادی در سانتریفیوژ- کیانی و قلندرزاده

برای اولین بار در دنیا مدلسازی تونل سگمتی و گسلش در سانتریفیوژ ژئوتکنیکی دانشگاه تهران با موفقیت خوبی انجام گردید. در این پروژه تحقیقاتی تعداد ۳۲ تست سانتریفیوژی انجام گردید. نتایج این پروژه تحقیقاتی در سال ۲۰۱۶ در مجلات علمی - پژوهشی داخلی و ISI خارجی منتشر و قابل استفاده برای عموم گردید در سال ۲۰۱۸ براساس نتایج مدلسازی سانتریفیوژ ژئوتکنیکی این پدیده ر نرم افزار Abaqus مدلسازی عددی شد و مطالعه پارامتریک توسعه یافت. باتوجه به نو بودن موضوع پژوهش صورت گرفته صرفا آغازی برای شناخت مکانسیم رفتار تونل سگمتی در اندرکنش با گسلش بوده است و نیاز به مطالعات بیشتری در این زمینه می باشد.





Actidyn-C67-2		نوع و مدل دستگاه
۳	شعاع دستگاه	مشخصات ابعادی (متر)
۰/۸	عرض سبد	
۱	طول سبد	
۰/۸	ارتفاع سبد	
۱۵۰۰	حداکثر وزن نمونه قابل حمل (کیلوگرم)	عملکرد دستگاه
۸۵۰	حداکثر وزن قابل حمل در حداکثر شتاب	
۱۰۰	حداکثر شتاب در حداکثر بار (g)	
۱۳۰-۵	محدوده شتاب (g)	
- + ۰/۲	دقت در شتاب (g)	
۳۸-۲۰۸	سرعت بوم دور در دقیقه	



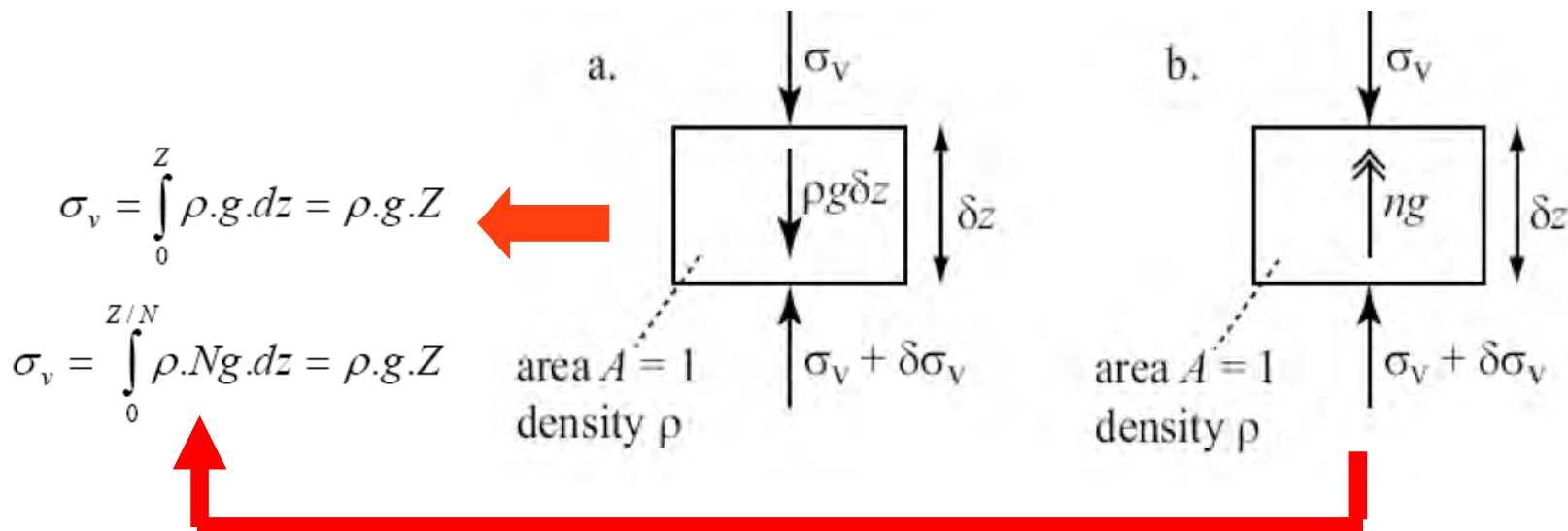
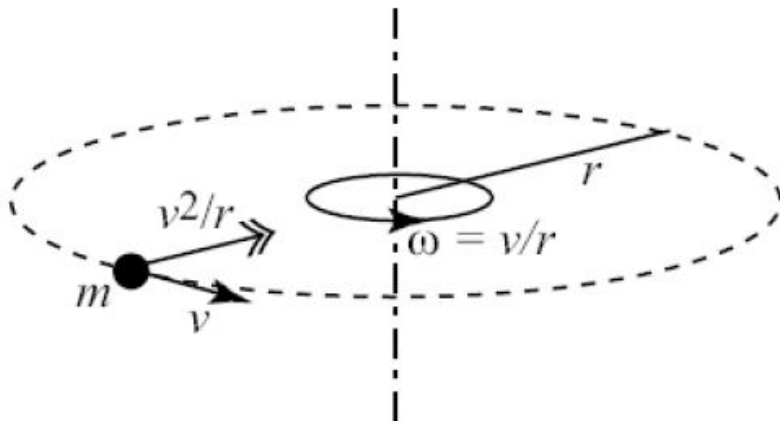
خاک: مصالحی با رفتار تابع تنش

ایده اولیه: فیلیپس در پاریس، ۱۸۶۹

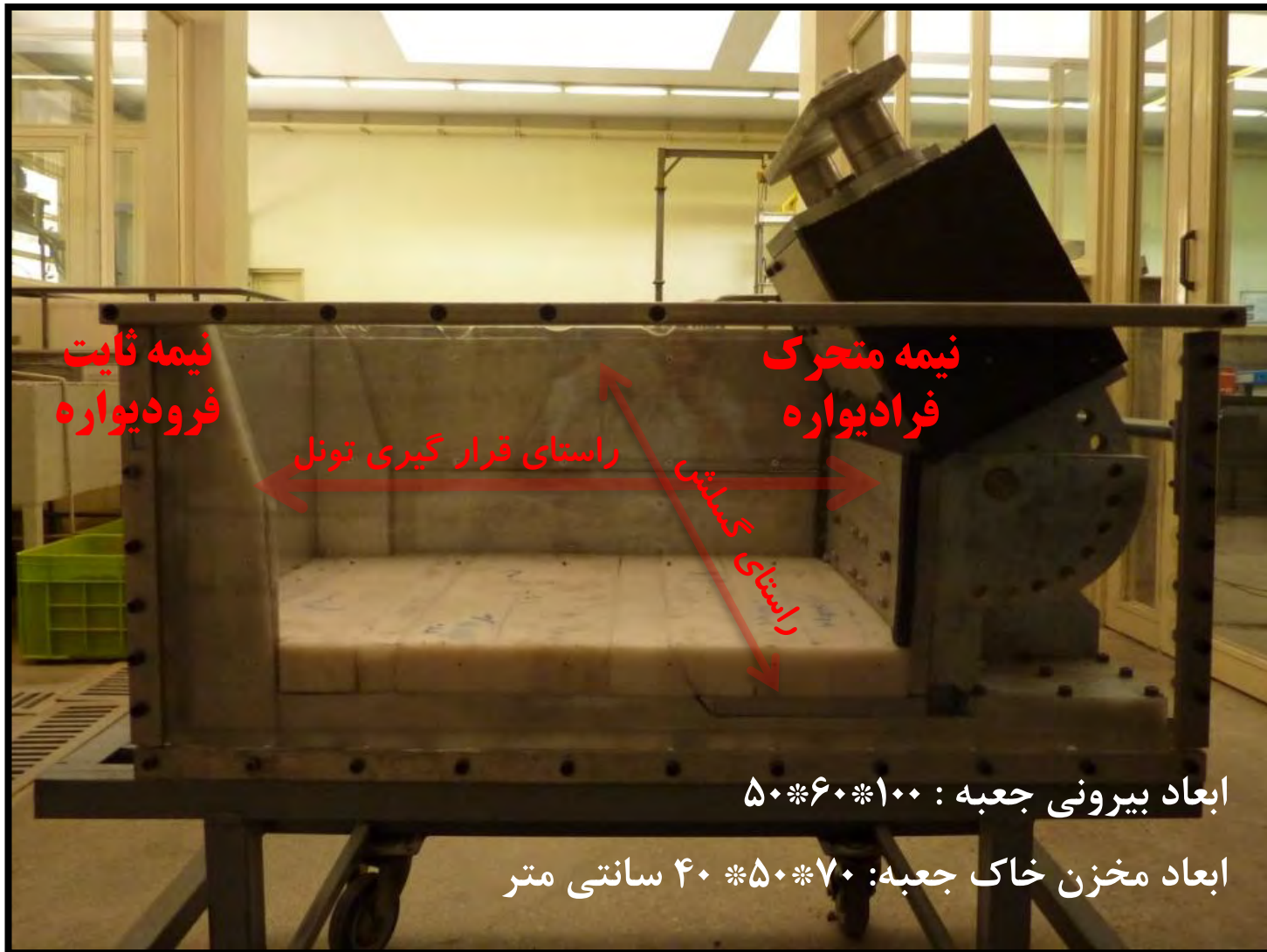
اولین مدلسازی: بوکی، دانشگاه کلمبیا آمریکا، ۱۹۳۱

پیشرفت و توسعه: پوکروسکی، روسیه، ۱۹۳۲

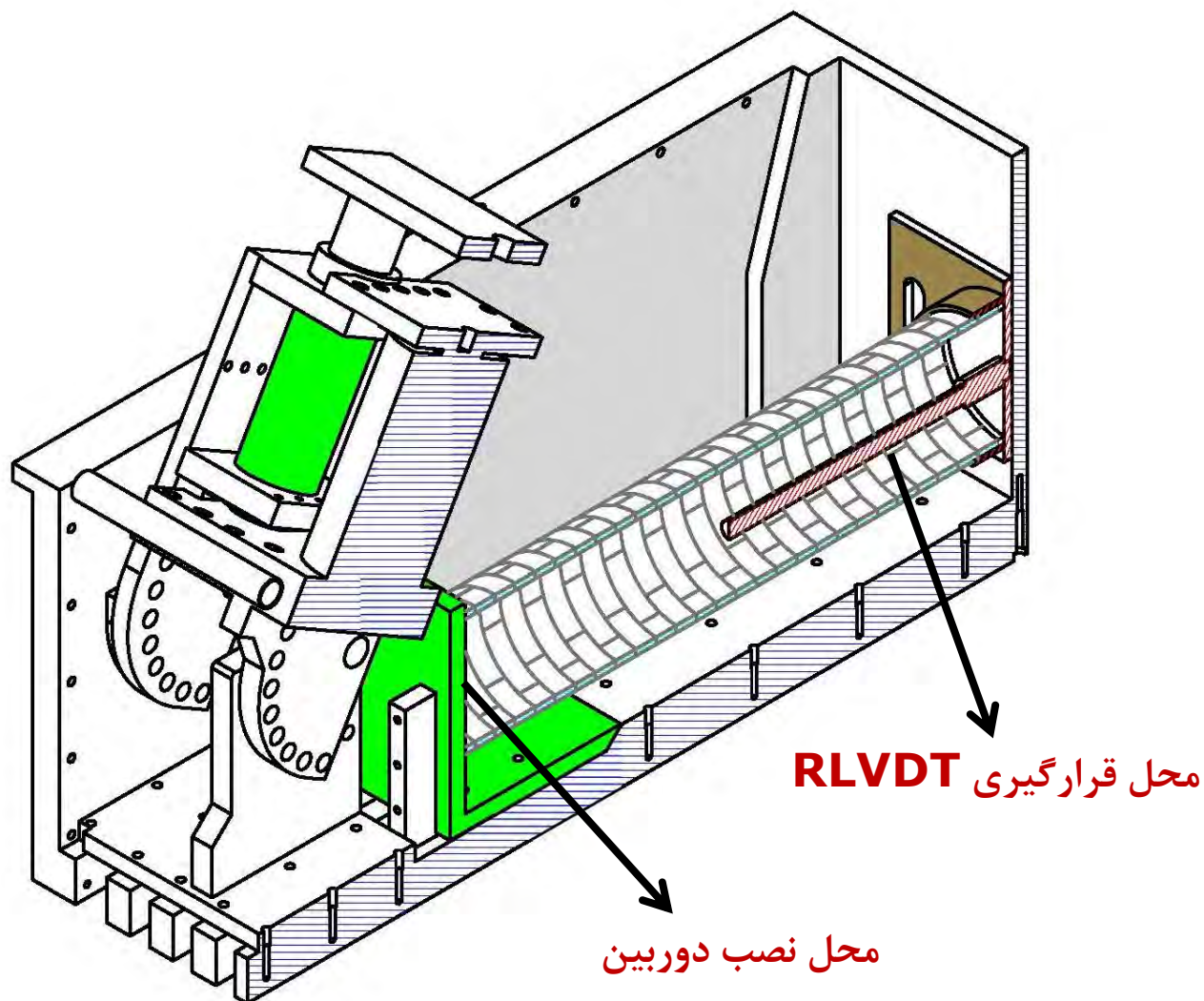
اولین مقاله در کنفرانس خاک هاروارد ۱۹۳۶



طراحی و ساخت جعبه شبیه ساز گسلش (Strong Box)



تصویر مقطع طولی سه بعدی جعبه شبیه ساز گسلش و تونل قطعه ای







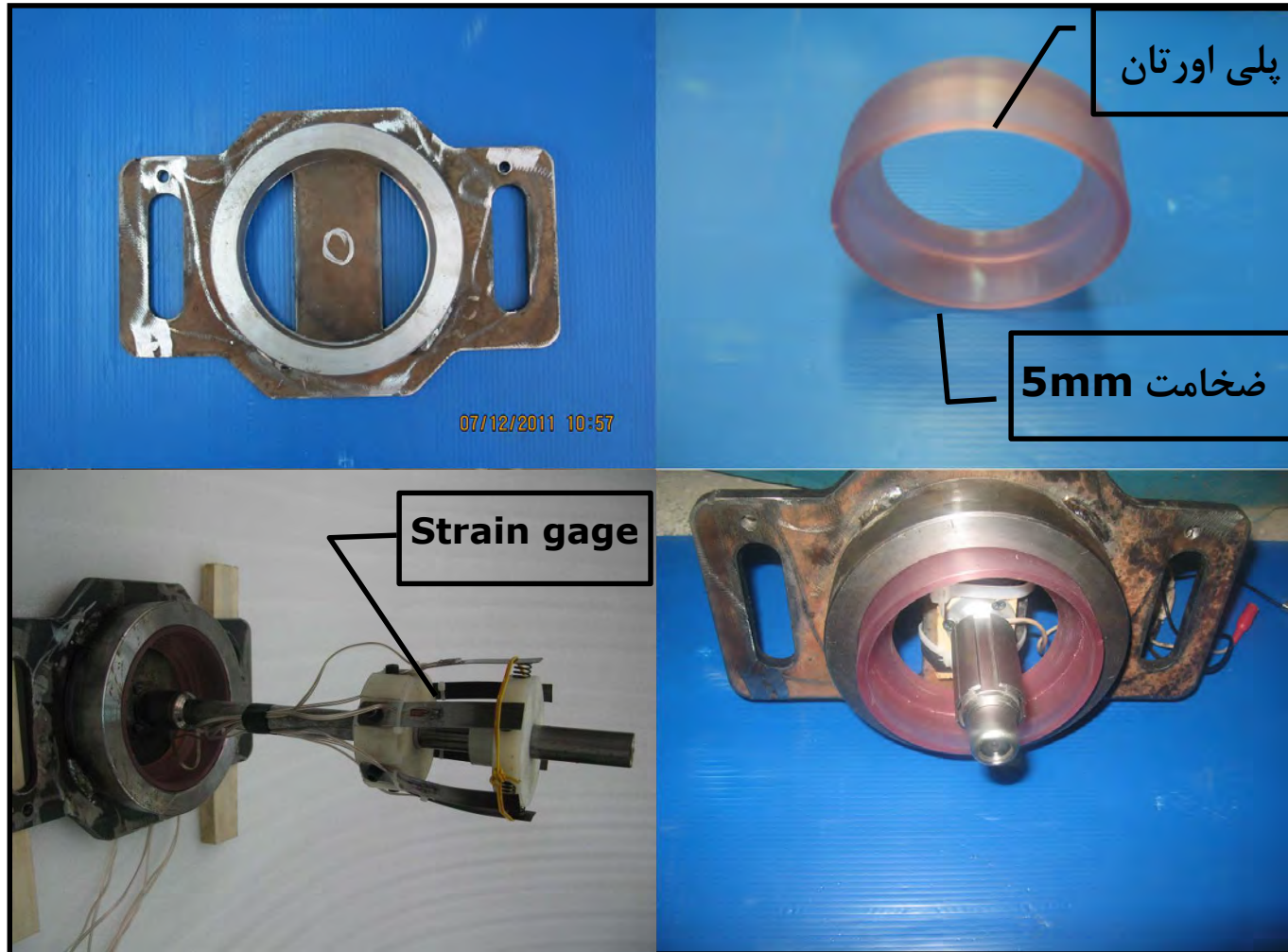
هر رینگ با ۱۲ عدد پین به رینگ مجاور متصل می شود



یک سگمت در هر لبه خود دارای دو سوراخ است، مجموعاً ۸ سوراخ پین



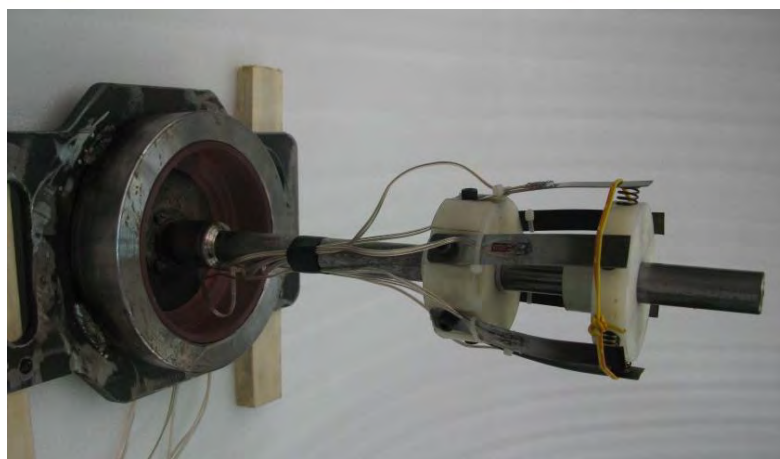
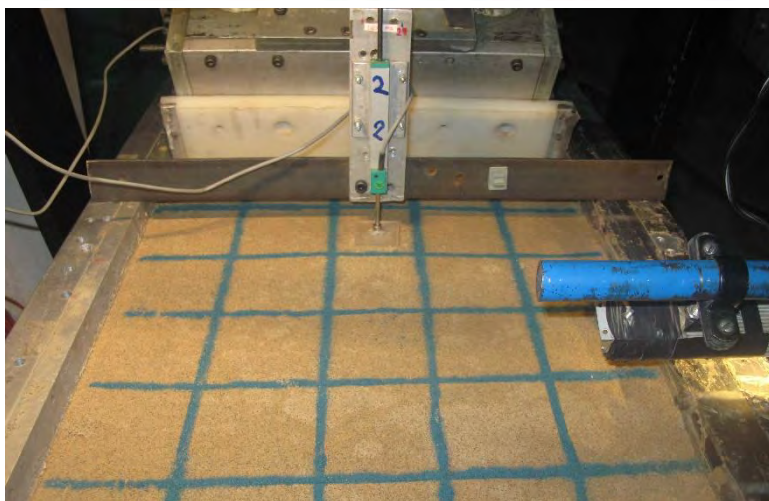
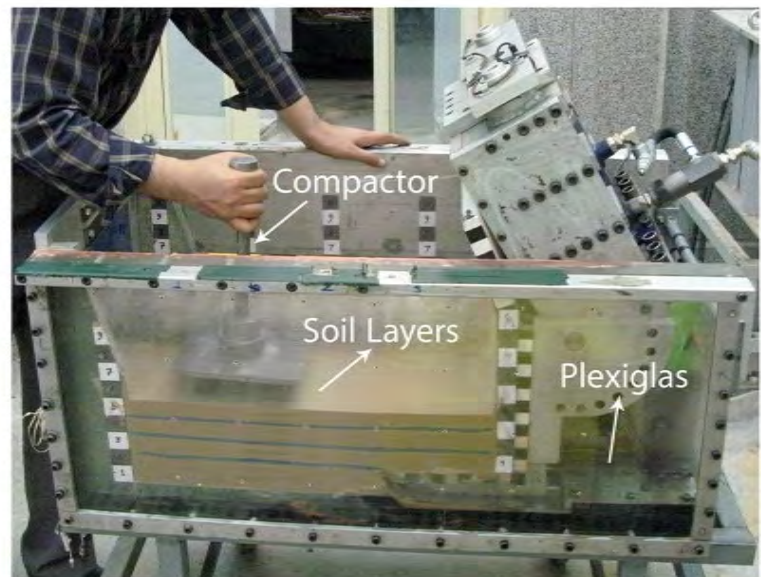
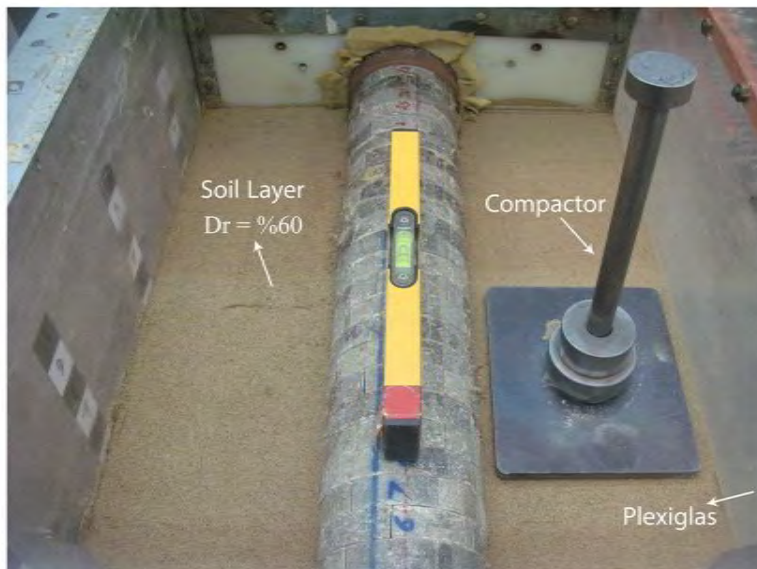
طراحی و ساخت ابداعي تکیه گاه های تونل مدل



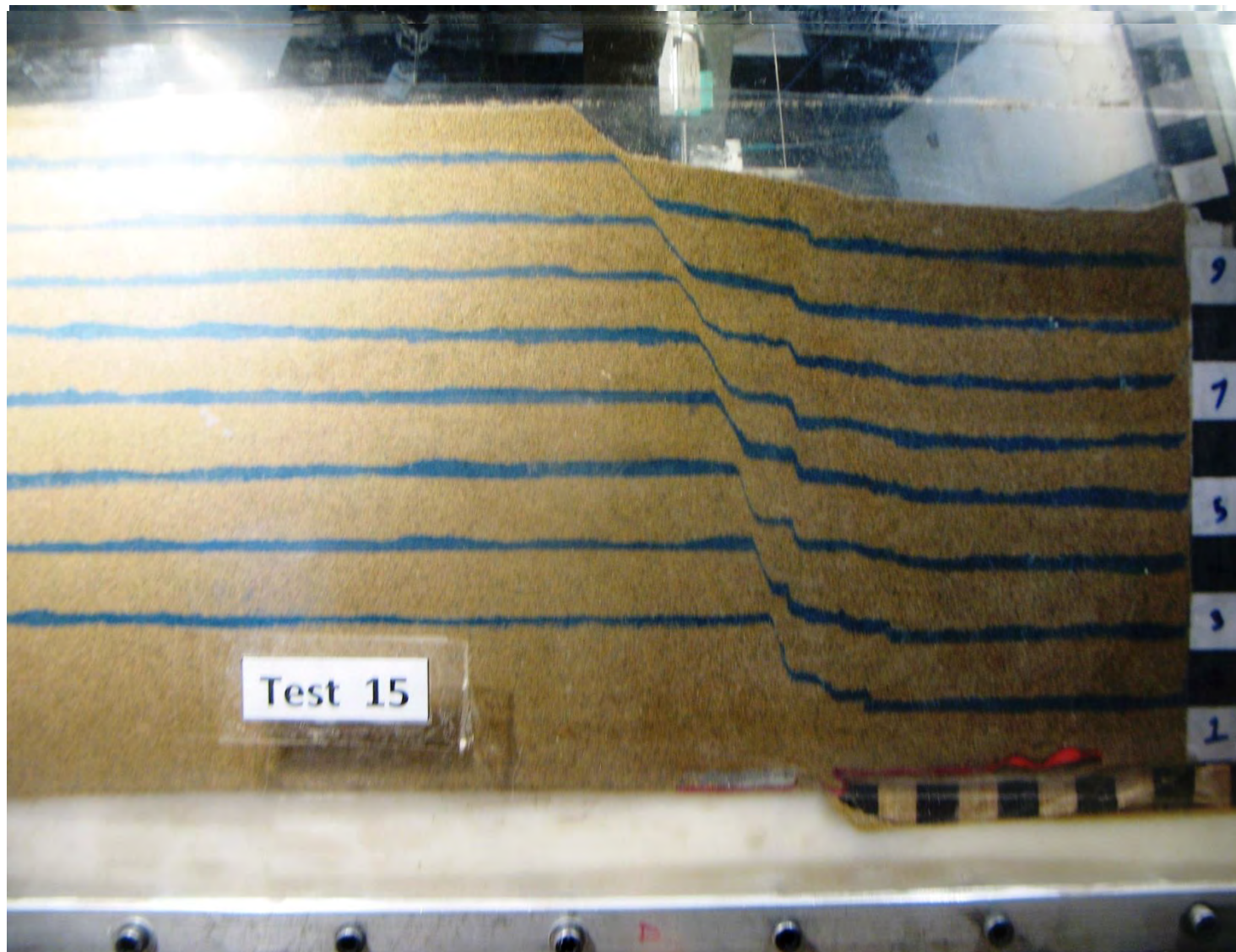


پارامتر	روش اندازه گیری
اندازه گیری تغییر شکل سطح زمین ناشی از گسلش	حسگرهای LVDT
اندازه گیری تغییر شکل قطر داخلی تونل	حسگرهای LVDT شعاعی
بررسی توسعه گسل در مدل	تصویربرداری با دوربین عکاسی (PIV)
بررسی وضعیت تغییر شکل سطح زمین ناشی از گسلش	دوربین فیلم برداری در سطح مدل
بررسی وضعیت داخلی تونل	دوربین فیلم برداری داخل تونل



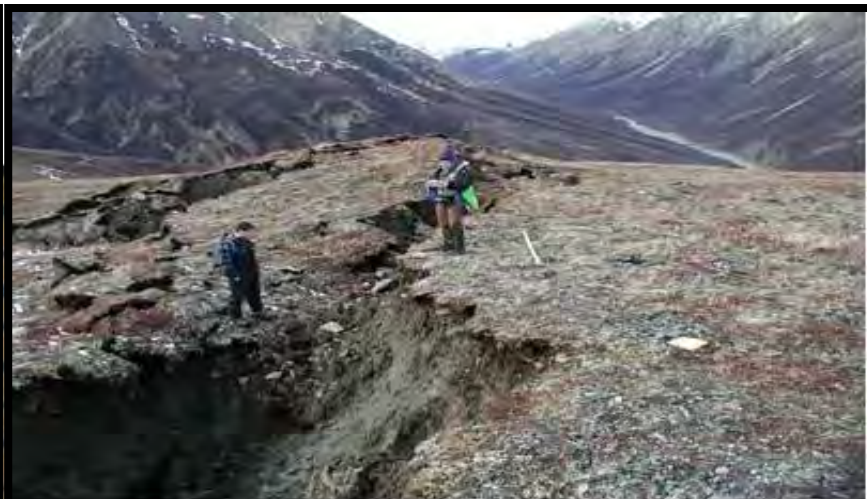


انتشار گسل عادی در تقاطع با تونل سگمندی



وبینار تخصصی تونل و اثرات لرزه ای - کارگروه تونل و اثرات لرزه ای انجمن تونل ایران - دی ماه ۱۳۹۹





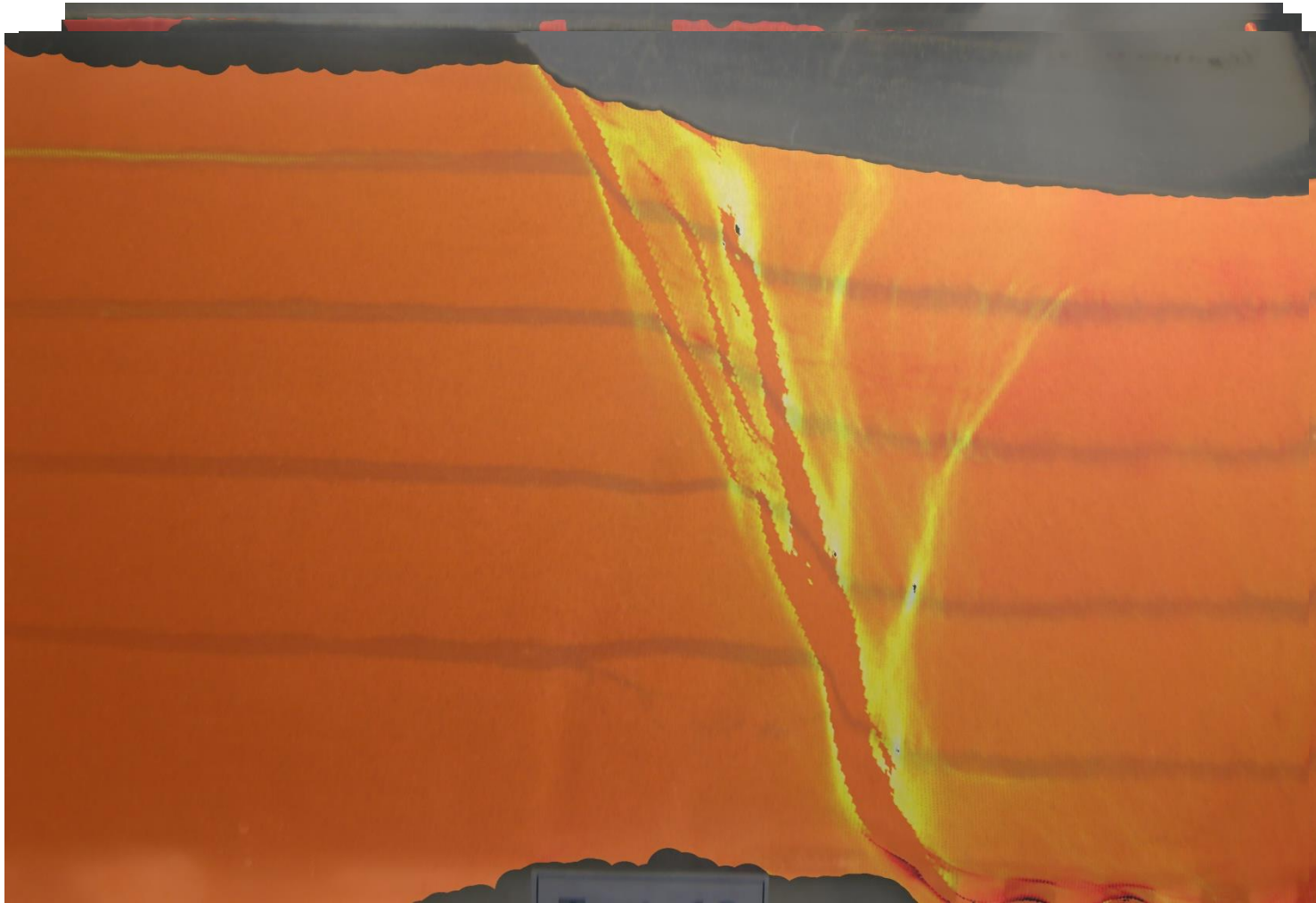
گسل Denali بعد از زلزله ۲۰۰۲



زلزله Izmit ترکیه ۱۹۹۹

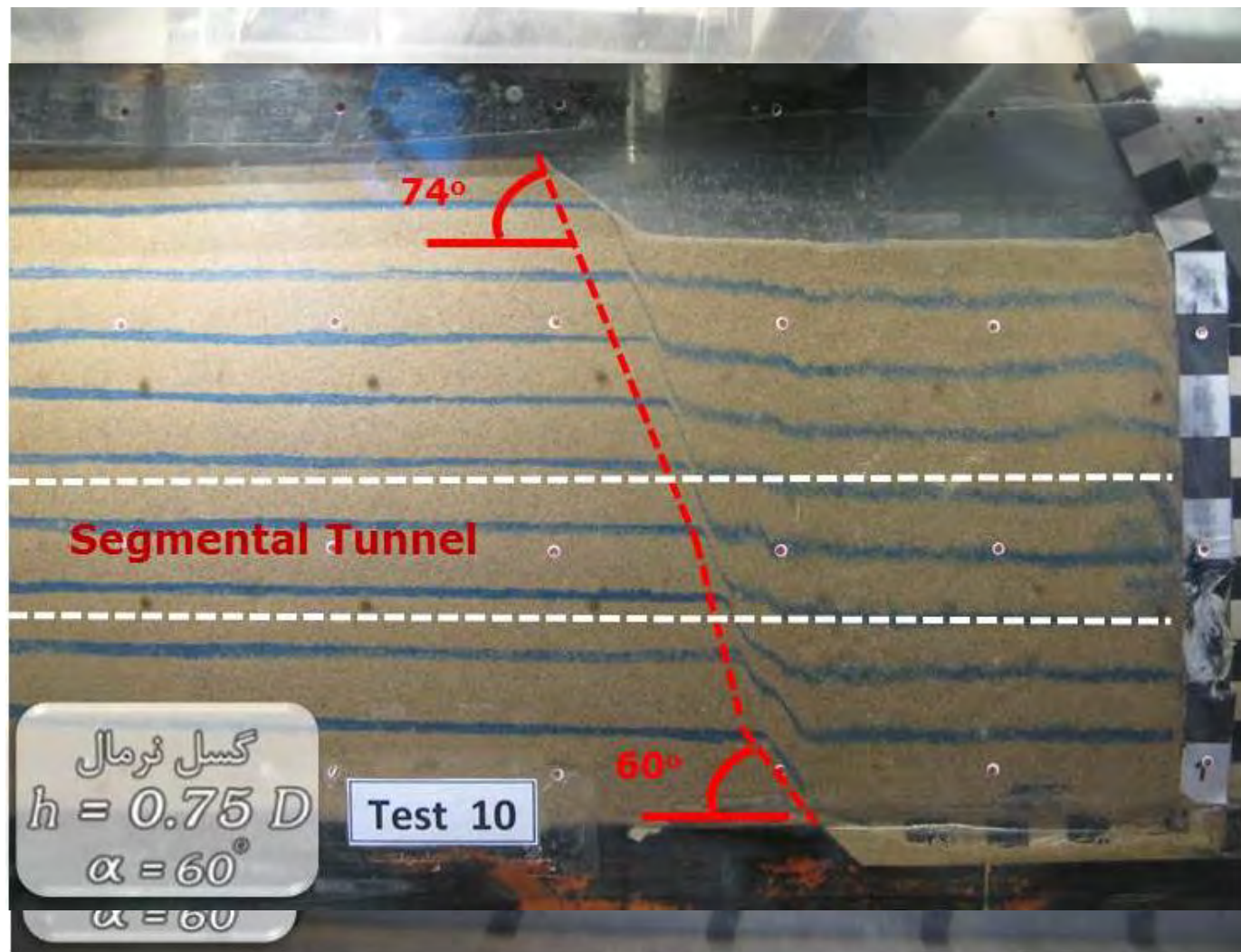


روند توسعه گسل در گسل عادی - تقاطع با تونل قطعه ای



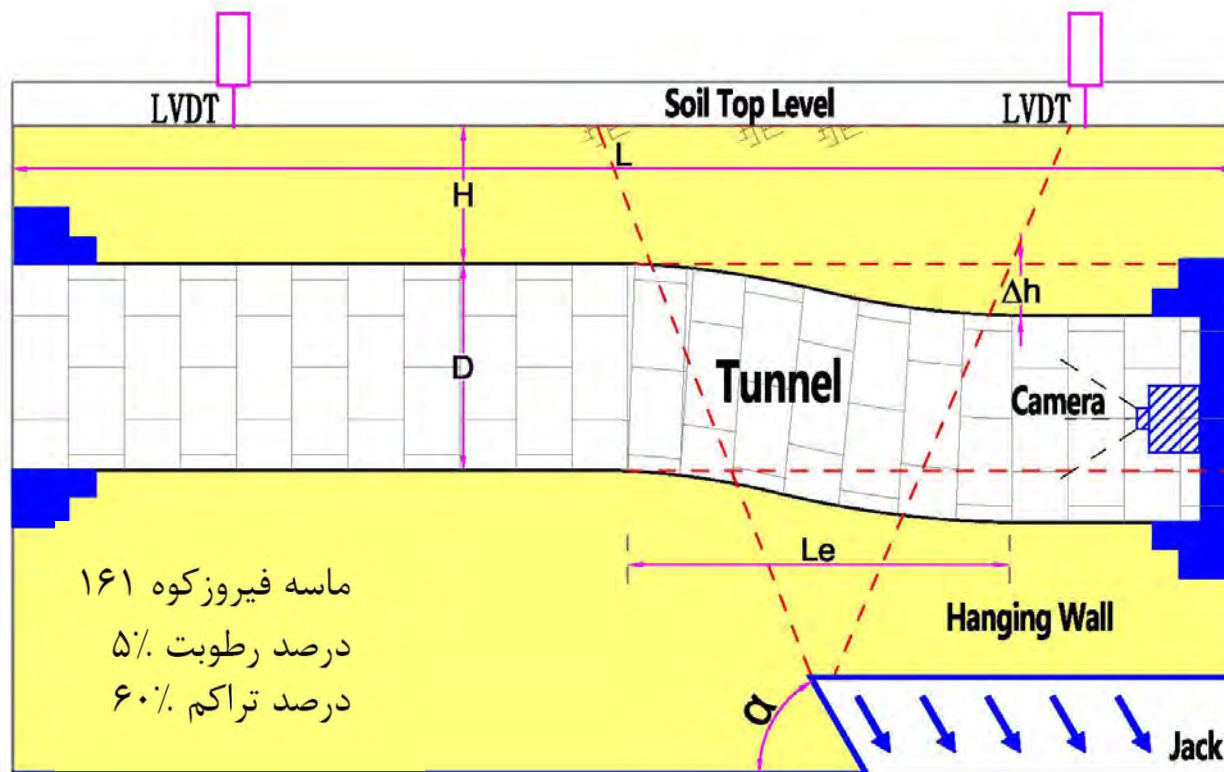
وبینار تخصصی تونل و اثرات لرزه ای - کارگروه تونل و اثرات لرزه ای انجمن تونل ایران - دی ماه ۱۳۹۹

روند توسعه گسل عادی – مقایسه با شرایط میدان آزاد (Free Field)

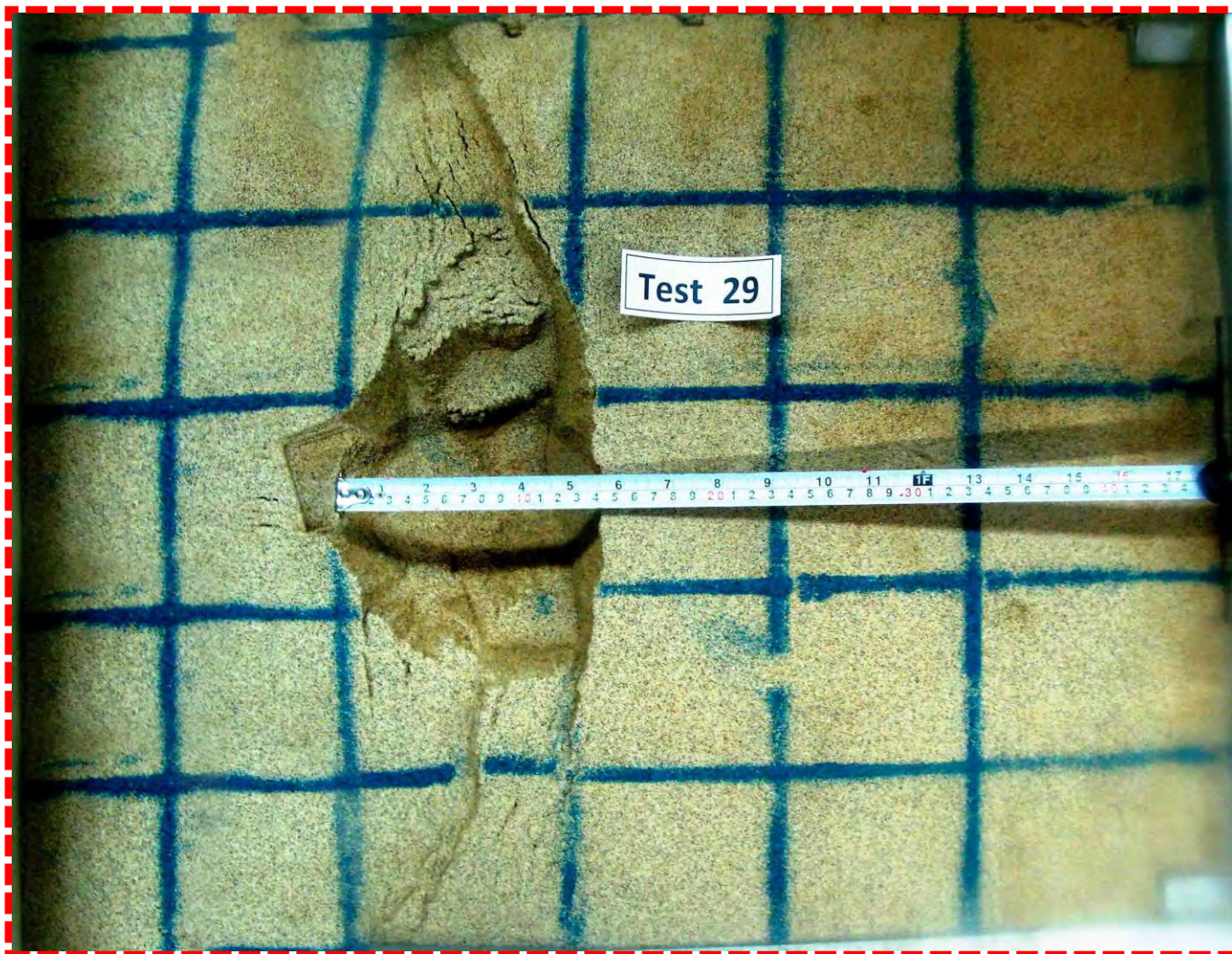


مود خرابی طولی تونل و محدوده تأثیر گسلش عادی





تأثير گسل عادی در سطح زمین-فروچاله در سطح (Sinkhole)



VIDEO

وبینار تخصصی تونل و اثرات لرزه ای - کارگروه تونل و اثرات لرزه ای انجمن تونل ایران - دی ماه ۱۳۹۹



مودهای خرابی در مقطع عرضی تونل همزمان با اعمال گسلش عادی



قبل از اعمال گسلش



تغییر شکل مقطع
مود اول



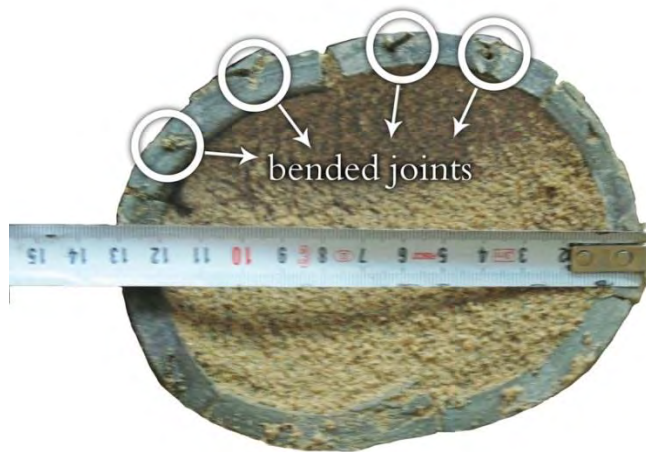
جدایش حلقه ها
مود دوم



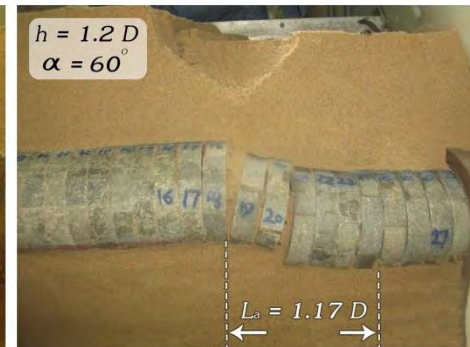
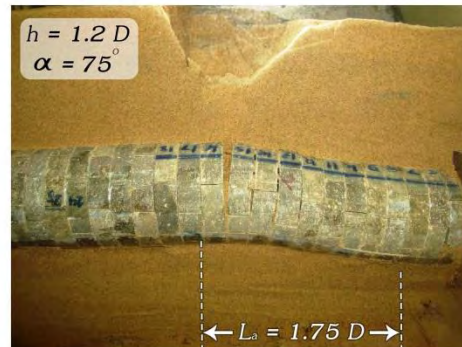
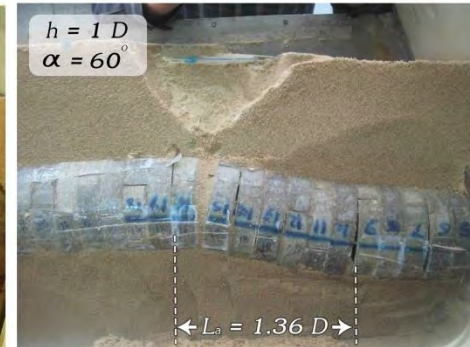
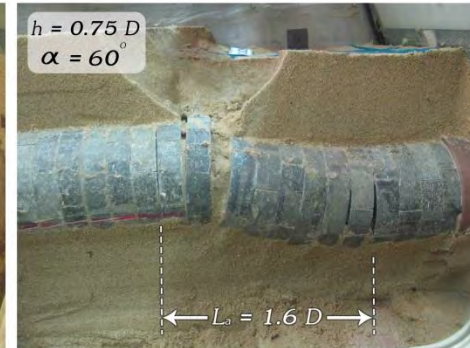
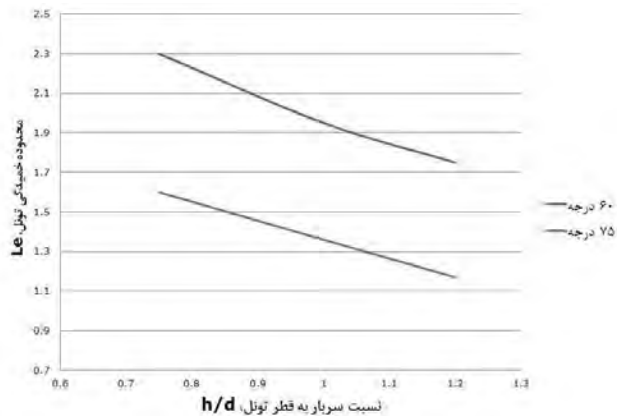
فروریزش خاک به درون تونل
مود سوم



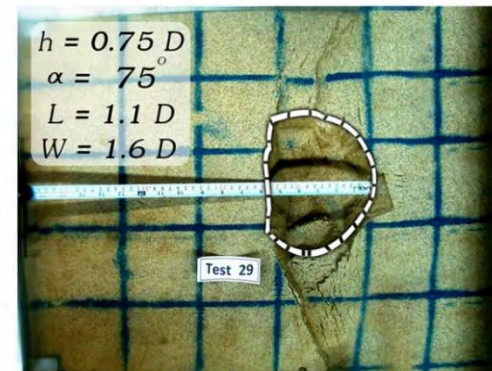
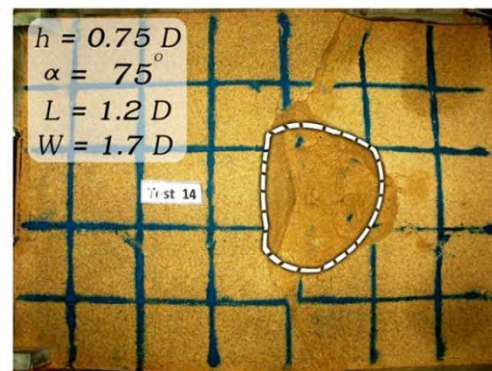
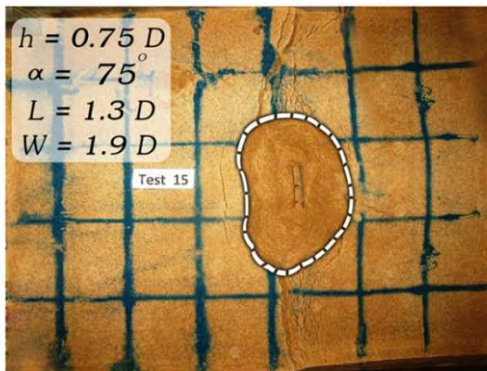
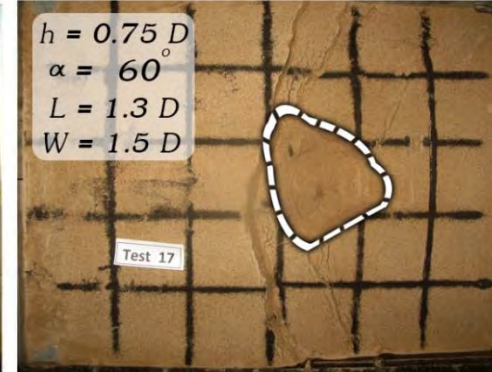
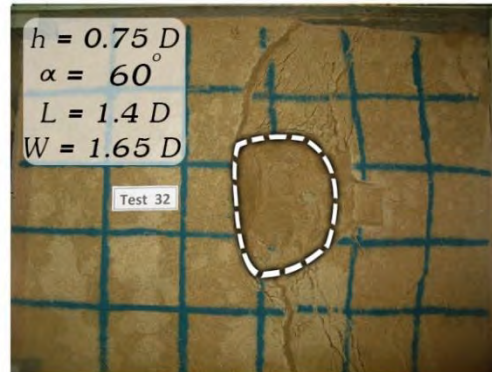
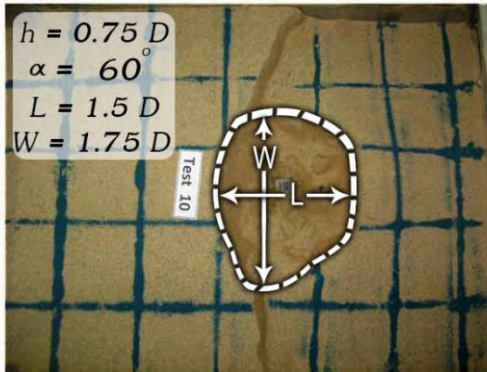
آسیب دیدگی در محل اتصالات رینگها به یکدیگر



تأثیر افزایش سربار تونل و زاویه گسل بر محدوده خمیدگی در تونل از گسلش



تأثير افزایش سربار تونل و زاویه گسل بر ابعاد فروچاله

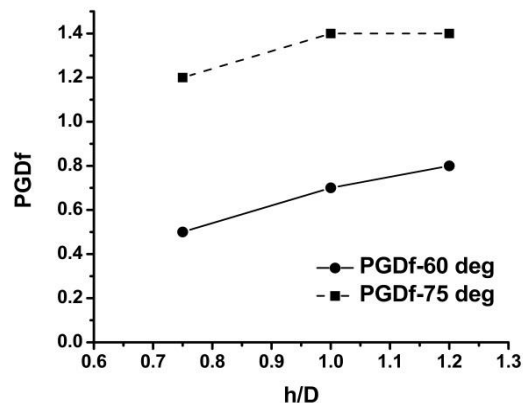




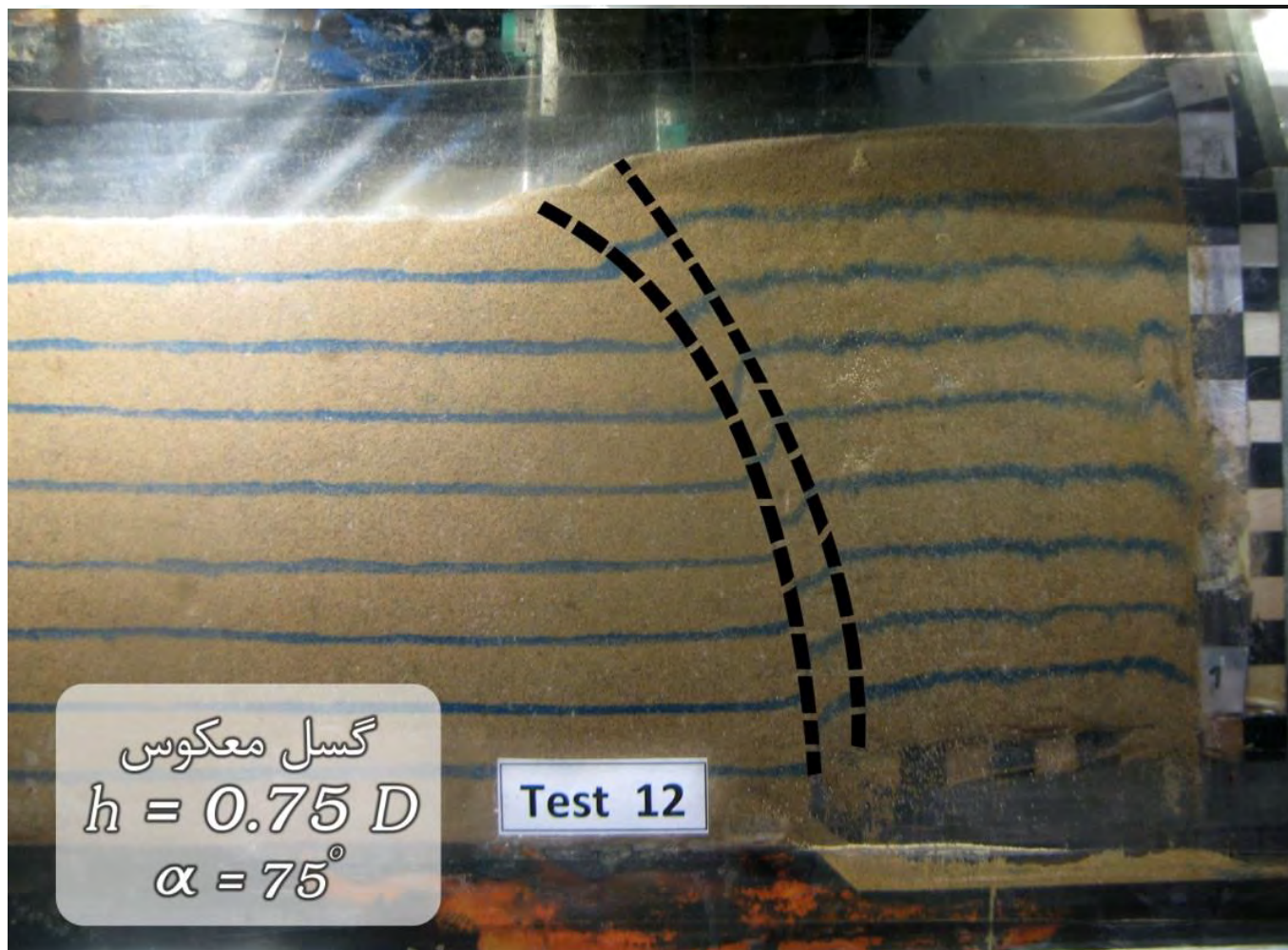
گسیختگی در تونل قطعه ای برخلاف تونلهای با پوشش یکپارچه ناگهانی نیست

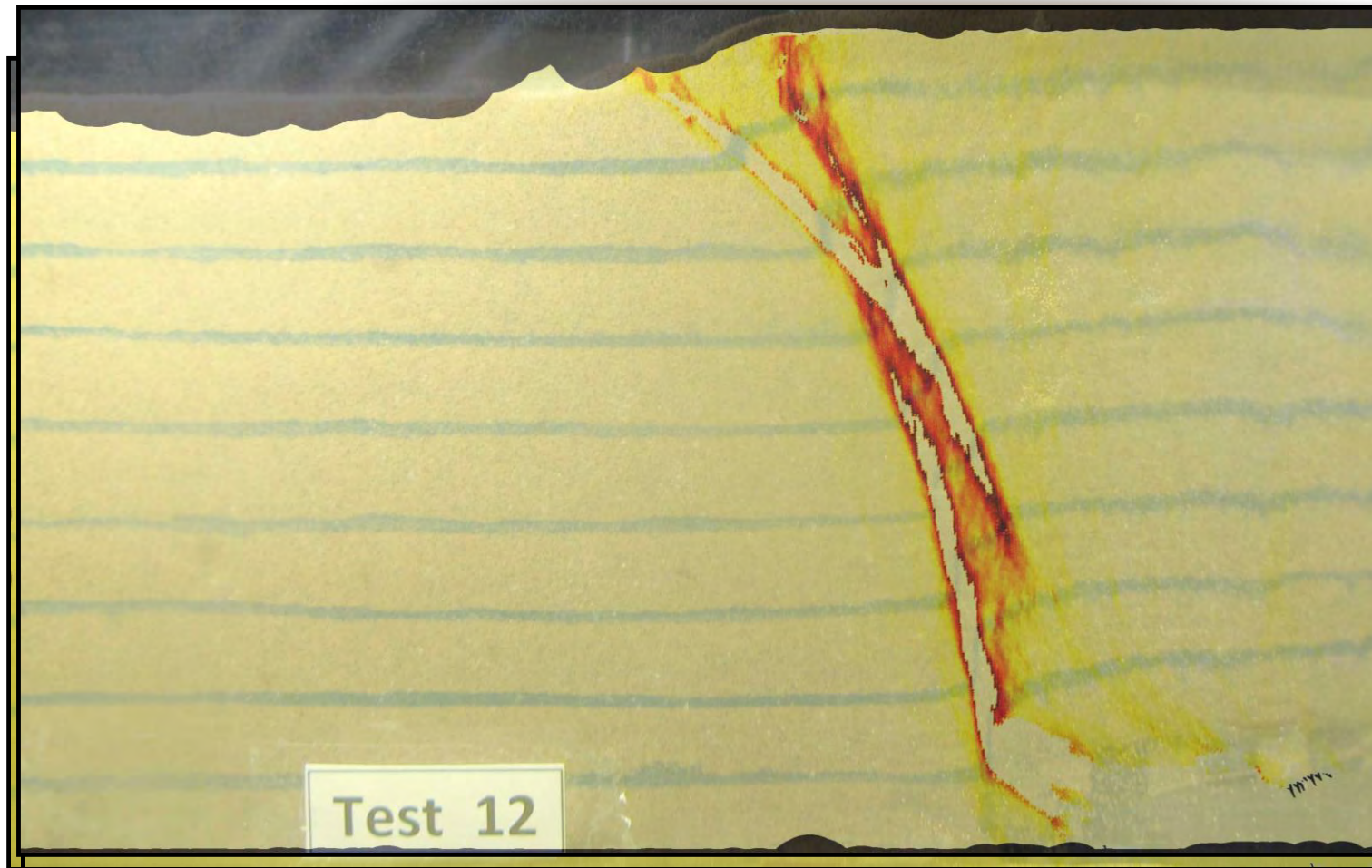
پوشش تونل توانایی تحمل بخشی از گسلش را بدون خرابی و ریزش خاک به درون تونل دارد.
 PGD_f

PGD_f با افزایش سربار تونل افزایش می یابد



روند توسعه گسلش معکوس – با سازه تونل







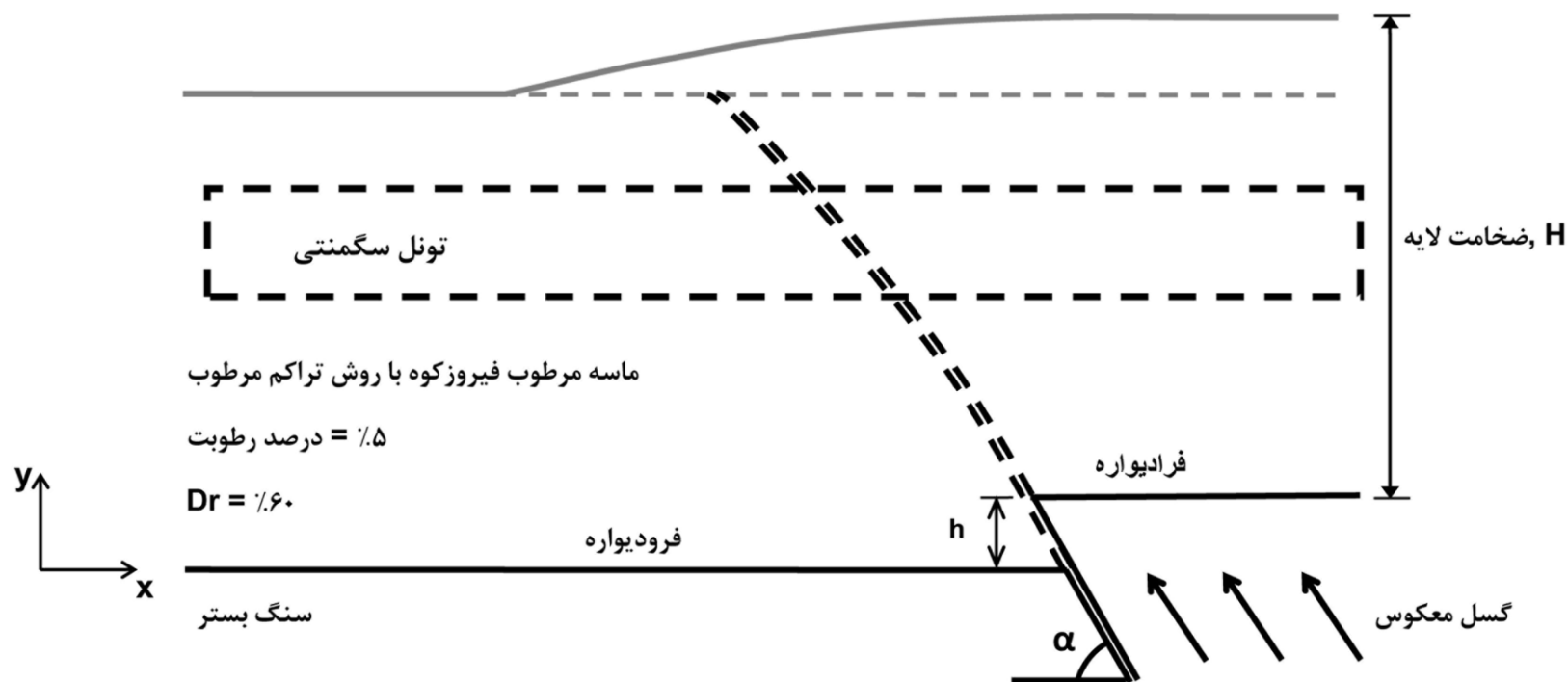
در گسلش عادی باند برشی نسبت به گسلش معکوس سریع تر شکل گرفته و موضعی می گردد.

به عبارتی دیگر در گسلش عادی با مقادیر کمتر جابجایی گسل، اثر گسلش به سطح زمین می رسد

در گسلش معکوس اثر گسلش در مقادیر بالاتری به سطح زمین می رسد. در نتیجه در شرایط یکسان (جابجایی گسل و سازه تونل) در گسلش معکوس نیروی برشی به مراتب کمتری وارد می شود.

در یک مقدار جابجایی مشخص، در گسلش عادی طول کمتری از تونل نسبت به گسلش معکوس تحت تأثیر مستقیم گسلش قرار گرفته است.

مکانیزم خرابی - طرح شماتیک گسلش معکوس



مقطع طولی تونل در گسلش معکوس



وبینار تخصصی تونل و اثرات لرزه ای - کارگروه تونل و اثرات لرزه ای انجمن تونل ایران - دی ماه ۱۳۹۹

بالازدگی در سطح زمین در گسلش معکوس



وبینار تخصصی تونل و اثرات لرزه ای - کارگروه تونل و اثرات لرزه ای انجمن تونل ایران - دی ماه ۱۳۹۹

تغییر شکل در مقطع عرضی تونل - گسلش معکوس



قبل از اعمال گسلش



آغاز تغییر شکل



افزایش تغییر شکل مقطع



تغییر شکل نهایی مقطع



مقایسه مکانیزم خرابی در تونل قطعه ای و یکپارچه



Normal Fault rupture



شکست ناگهانی در تونل در گسلش عادی





توابع و منحنی های شکنندگی چیست و چه کاربردی دارند؟

تعریف

• **توابعی آماری** که با **داده های تحلیل** های عددی یا آزمایشگاهی، میتوان **منحنی** ای را رسم نمود که در آن **احتمال وقوع سطح خرابی مورد نظر**، بر **اساس میزان اندیس زلزله** تخمین زده می شود.

تعریف

• احتمال رسیدن یک سازه به یک سطح آسیب مشخص برای پارامتر لرزه ای مشخص
• این پارامترها می توانند **PGA**، **PGV** و **PGD** باشند.

کاربرد

• ابزاری برای مدیران و مسئولین کنترل بحران

کاربرد

• ابزاری مناسب برای برآورد خطرپذیری سازه ها
• ابزاری کنترلی برای طراحان سازه ها

روش تولید

• معمولاً از توزیع نرمال و یا لوگ-نرمال استفاده میشود.
• در تحقیق حاضر توزیع لوگ-نرمال نتایج بهتر



روش های تولید منحنی های شکنندگی



روش تجربی

- براساس آثار آسیب های ناشی از زلزله های گذشته

قضاوت خبرگی

- براساس ارزیابی مستقیم خبره

روش عددی

- براساس نتایج مدلسازی عددی

روش آزمایشگاهی

- براساس نتایج مدلسازی فیزیکی



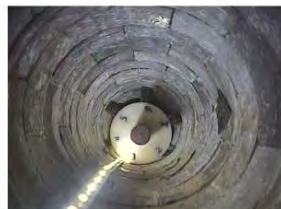
تعریف سطوح خرابی در تحقیق حاضر



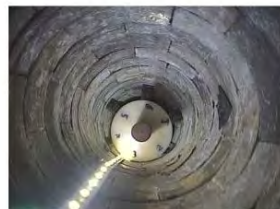
نوع خرابی	اندیس خرابی	سطح عملکرد
بدون خرابی	۰	بهره‌برداری عادی
تغییر اندک شیب طولی تونل	۱	عدم وقفه یا وقفه قابل صرف نظر در عملکرد
تغییر محسوس شیب تونل	۲	وقفه در عملکرد با امکان تعمیر در زمان کم (هزینه کم)
تغییر شکل مقطع تونل (بیضی شدگی)	۳	وقفه در عملکرد برای تعمیر (پرهزینه)
بازشدگی سگمنت‌ها و آسیب به اتصالات بین سگمنت‌ها	۴	وقفه در عملکرد برای بازسازی تونل
شکستگی در برخی از سگمنت‌ها، ریزش تونل بانفوذ خاک به داخل آن و ایجاد فروچاله در سطح زمین	۵	انسداد کامل تونل و وقفه در عملکرد نیاز به بازسازی تونل



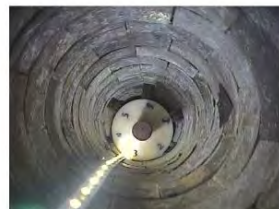
سطوح خرابی با افزایش جابجایی گسل افزایش می یابد



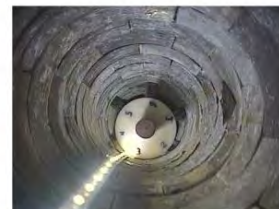
PGD : 0.3 m DS : 1



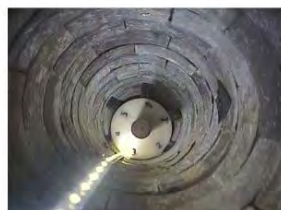
PGD : 0.4 m DS : 1



PGD : 0.5 m DS : 2



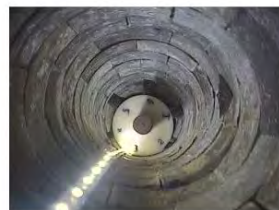
PGD : 0.6 m DS : 2



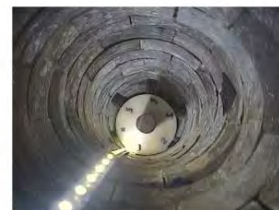
PGD : 0.7 m DS : 3



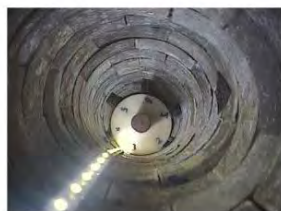
PGD : 0.8 m DS : 3



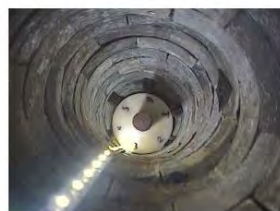
PGD : 0.9 m DS : 3



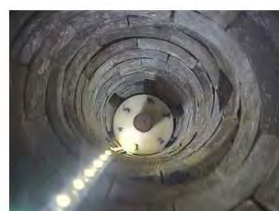
PGD : 1.0 m DS : 4



PGD : 1.1 m DS : 4



PGD : 1.2 m DS : 4



PGD : 1.3 m DS : 4



PGD : 1.4 m DS : 5



PGD : 1.5 m DS : 5



PGD : 1.6 m DS : 5



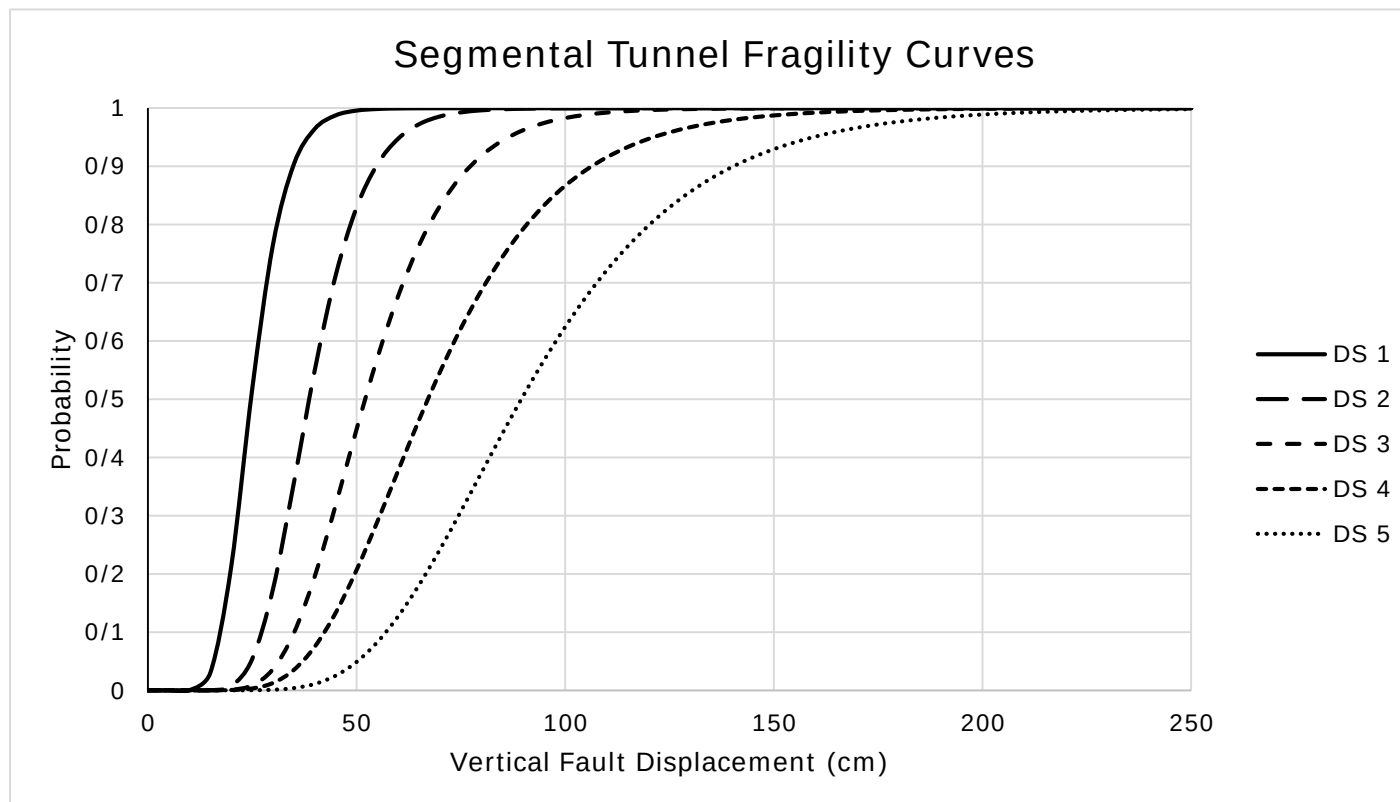
PGD : 1.7 m DS : 5



PGD : 1.8 m DS : 5



منحنی های خرابی برای گسلش عادی و تونل قطعه ای





موضوع تاثیر گسلش و زلزله بر تونل و فضاهاى زیرزمینی ناشناخته هاى زیادی در حوزه تعیین رفتار و مکانیزم حاکم دارد

در حوزه **روشهای اصلاح** کارهای مطالعاتی کمی صورت گرفته است.

یکی از دلایل این موضوع تنوع نوع گسلش و ابعاد و اندازه فضای زیرزمینی و تاثیر رفتار متاثر از تنش محیط حفاری شده می باشد

با توجه به وجود تونل و فضاهاى زیرزمینی زیاد در ایران و وجود گسله‌هاى فراوان در ایران و پتانسیل لرزه خیزی در کشور ←

لازم است این حوزه مطالعات بیشتری صورت گیرد تا از این سرمایه ملی بهتر مراقبت و نگهداری کنیم.



معرفی کارگروه تونل و اثرات لرزه ای انجمن تونل ایران



- این کارگروه معادل کارگروه شماره ۹ انجمن بین المللی تونل (IRTA-WG 9) است.
- یکی از برنامه های این کارگروه به تدوین دستورالعملها و ضوابط و استانداردها در زمینه تونل و مباحث لرزه ای است.
- از همه افراد صاحب نظر در این حوزه دعوت میشود در این کارگروه مشارکت داشته باشند.
- از طریق سایت انجمن تونل با ما در ارتباط باشید.



برنامه مطالعات برای ۵ سال آتی - حوزه تونل و گسل





طرح تحقیقاتی جامع کارگروه تونل و اثرات لرزه ای

عنوان طرح:

بررسی وضعیت تونل‌های کشور به لحاظ لرزه خیزی و تداخل با گسل و مطالعه تاثیر زلزله و گسلش احتمالی بر تونل های کشور

با هدف تهیه:

- ❖ توصیه های برای تونل‌های در حال برنامه ریزی، طراحی، اجرا و بهره برداری جهت پیشگیری و مدیریت آسیب احتمالی
- ❖ توصیه هایی برای پس از وقوع زلزله و گسلش احتمالی
- ❖ ارایه منحنی های خرابی تونل‌های کشور جهت استفاده در مدیریت بحران





عنوان طرح:

طرح تدوین استاندارد ملی طراحی و اجرای تونل‌های شهری مترو

- ❖ با توجه به توسعه تونل‌های شهری مترو این موضوع اهمیت خاصی پیدا کرده است.
- ❖ از همه علاقمندان دعوت به همکاری می شود
- ❖ آماده شنیدن نظرات و پیشنهادات شما هستیم.





تشکر از توجه شما