

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مکانیزم شکست سنگ سیمان چاه های دما و فشار بالا

محقق:

محمد مهدی کربلایی

راهنما:

دکتر حمیدرضا نجاتی

مشاور:

شرکت دیبا صنعت

تابستان ۱۴۰۴



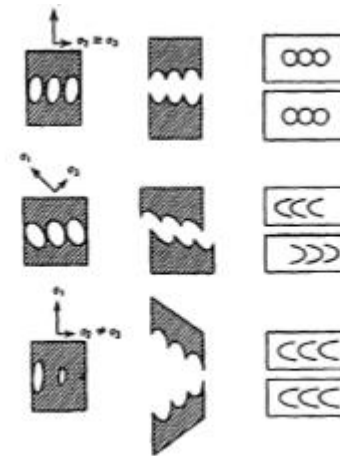
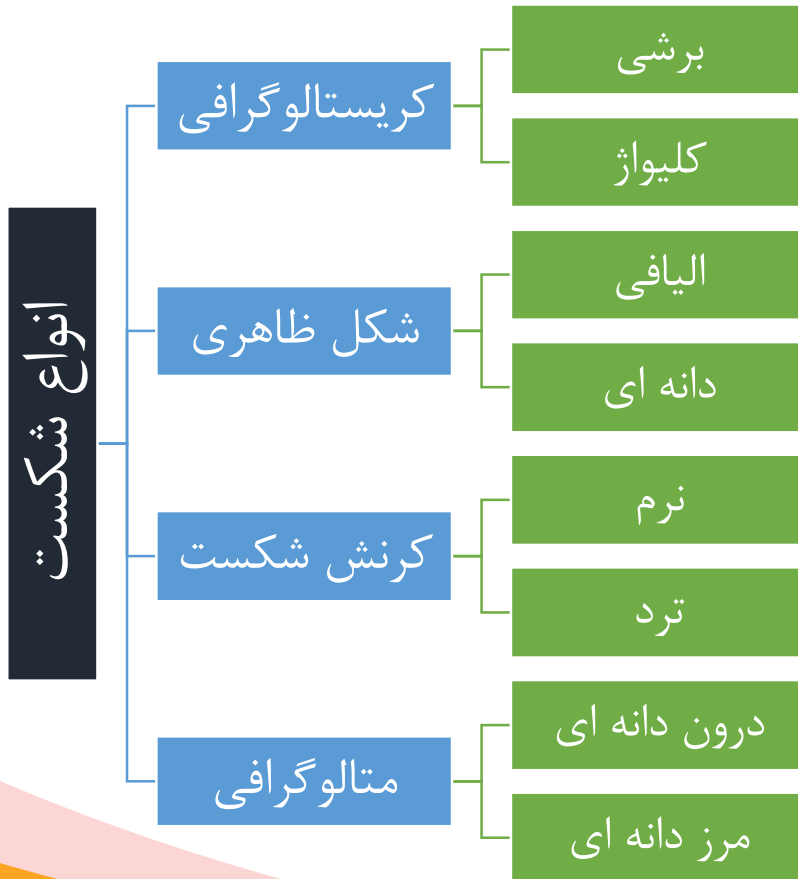
شکست؟ سنگ سیمان؟



مقدمه

شکست

در صنعت نفت و گاز باید چاه‌های تولیدکننده هیدروکربورها پایدار باشند تا تولید منابع به‌خوبی انجام شود. به همین منظور بررسی شکست غلاف سیمان و پایداری آن می‌تواند تاثیر بسزایی در شناخت پایداری نهایی چاه داشته باشد.



مقدمه

پیشینه

روش

تحلیل

نتیجه

پیشنهاد

سنگ سیمان

ترکیبی از سیمان و افزودنی ها (با توجه به شرایط مدنظر) را که پس از قرارگیری در چاه می بندد، سنگ سیمان می گویند.

انواع سیمان

اساس استاندارد API	آب مورد نیاز (گالن بر کیسه)	وزن دوغاب (پوند بر گالن)	عمق چاه (فوت)	دمای استاتیک (درجه فارنهایت)
A (پرتلند)	۲/۵	۶/۱۵	۰ تا ۶۰۰۰	۸۰ تا ۱۷۰
B (پرتلند)	۲/۵	۶/۱۵	۰ تا ۶۰۰۰	۸۰ تا ۱۷۰
C (زودبند)	۳/۶	۸/۱۴	۰ تا ۶۰۰۰	۸۰ تا ۱۷۰
D (دیربند)	۳/۴	۴/۱۶	۶ تا ۱۲ هزار	۱۷۰ تا ۲۶۰
E (دیربند)	۳/۴	۴/۱۶	۶ تا ۱۴ هزار	۱۷۰ تا ۲۹۰
F (دیربند)	۳/۴	۲/۱۶	۱۰ تا ۱۶ هزار	۲۳۰ تا ۳۲۰
G (پایه)	۵	۸/۱۵	۰ تا ۸۰۰۰	۸۰ تا ۲۰۰
H (پایه)	۳/۴	۴/۱۶	۰ تا ۸۰۰۰	۸۰ تا ۲۰۰

- زمان نیم بندش
- گران روی و آب موجود دوغاب سیمان
- مکانیزم هیدراتاسیون سیمان
- دمای هیدراتاسیون
- آب های مخلوط
- حساسیت سیمان به سیالات و افزایش های حفاری
- دانسیته دوغاب سیمان
- هرزروی
- قابلیت تراوایی
- استحکام سیمان برای نگهداری لوله ها
- کنترل فیلتراسیون
- واکنش سیمان به نمک موجود در چاه

پارامترهای موثر بر طراحی سیمان

مقدمه

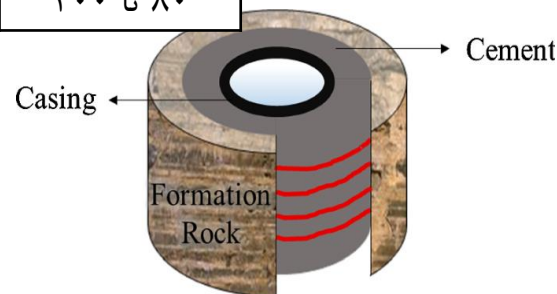
پیشینه

روش

تحلیل

نتیجه

پیشنهاد



پیشینه تحقیق



بررسی اثر افزودنی بر خواص سنگ سیمان

اثر نوع فعالیت چاه بر سنگ سیمان

نقش سیمان در پایداری چاه

مدلسازی

اثر افزودنی؟

مقدمه

پیشینه

روش

تحلیل

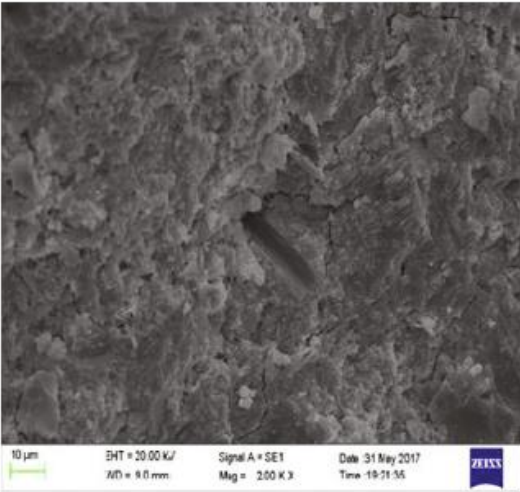
نتیجه

پیشنهاد

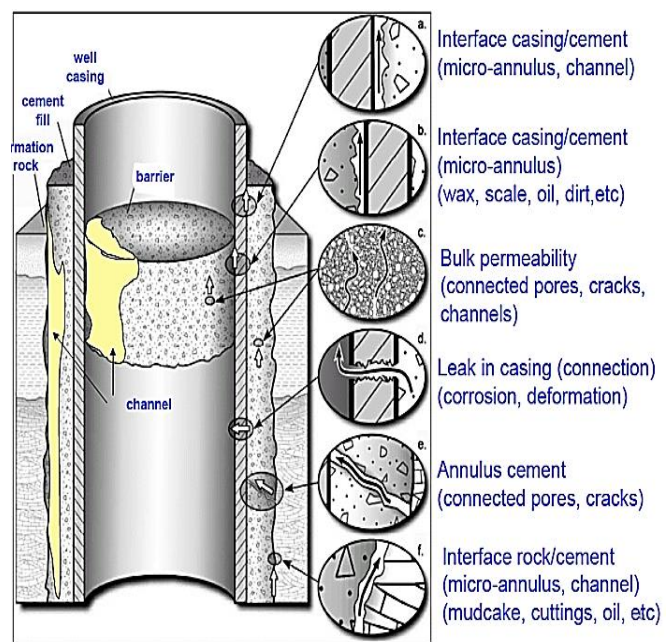
تاثیر الیاف متنوع سیلیکون کاربید بر خواص مکانیکی سنگ سیمان

تاثیر الیاف سیلیس بر ساختار سنگ سیمان

واکنش الیاف کربنات کلسیم و فیبر کربن بر خواص مکانیکی سنگ سیمان



اثر فعالیت؟



مکانیسم آسیب سنگ سیمان هنگام حفاری چاه

تغییر شکل و آسیب سنگ سیمان چاه تحت بارگذاری چرخه ای

روند خرابی غلاف سیمان در حین اجرای شکست هیدرولیکی

اثر تنش های مکانیکی بر غلاف سیمانی در چاه های زمین گرمایی

مقدمه

پیشینه

روش

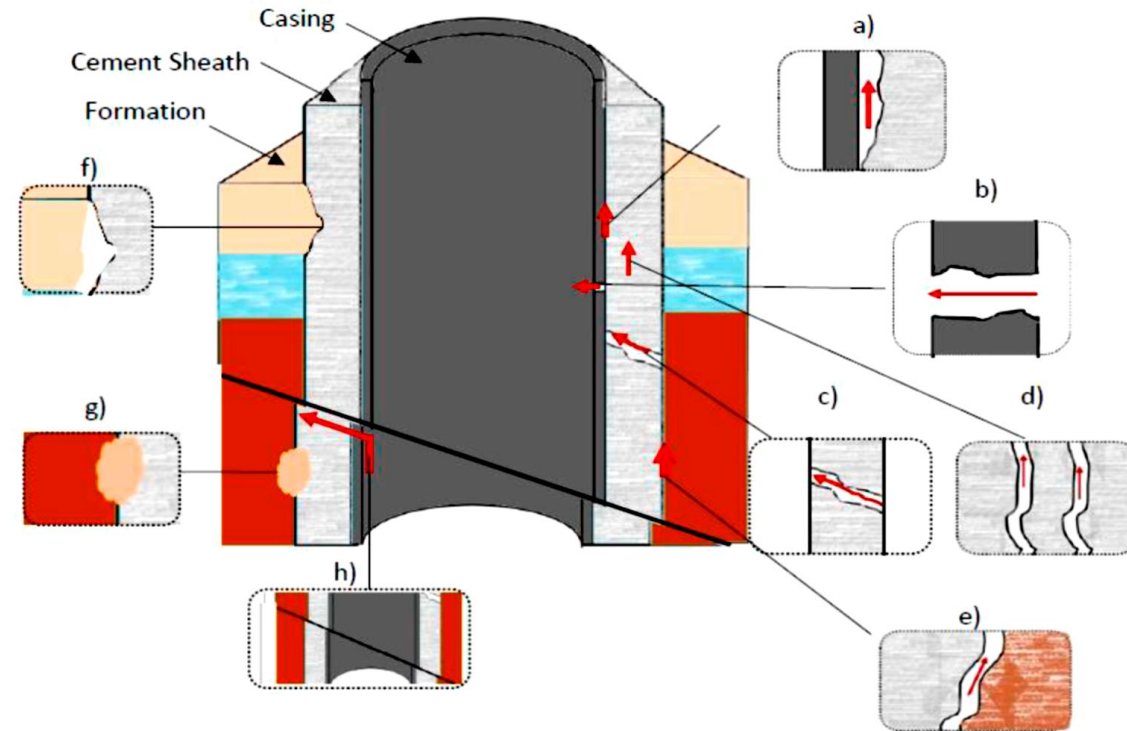
تحلیل

نتیجه

پیشنهاد

اثر سنگ سیمان بر پایداری؟

بررسی انواع از دست دادن یکپارچگی چاه به دلیل شکست سیمان



مقدمه

پیشینه

روش

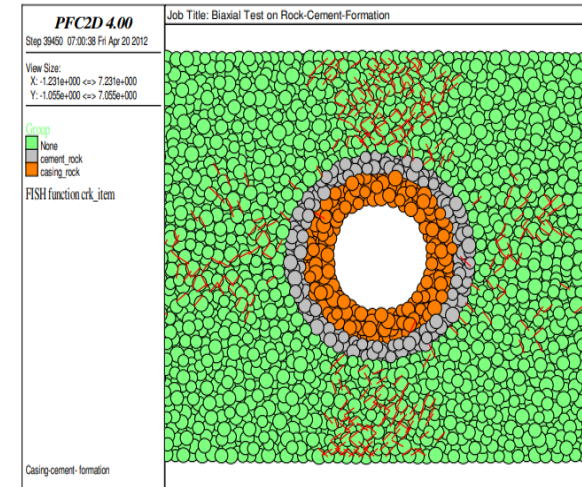
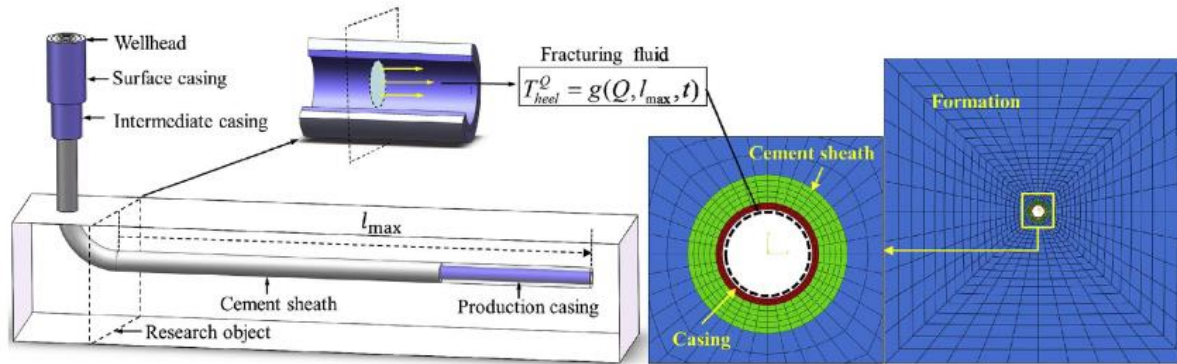
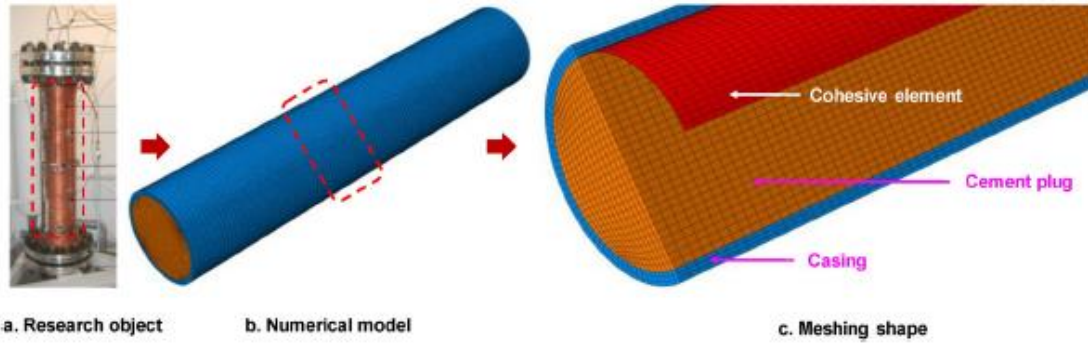
تحلیل

نتیجه

پیشنهاد

مدلسازی

- مدلسازی عددی شکست پیوند بین سنگ سیمان و پوشش در چاه
- بررسی عددی یکپارچگی سنگ سیمان در چاه ها تحت شکست هیدرولیکی چند مرحله ای
- تجزیه و تحلیل اثرات فشار بالا بر یکپارچگی چاه با استفاده از PFC



مقدمه

پیشینه

روش

تحلیل

نتیجه

پیشنهاد

طراحی، ساخت و آزمایش



طراحی و ساخت نمونه

طراحی سیمان گروه ۱

No	Cement	Hidense	Micro	sbs	Elastomer	Cfl	J200	Salt	Water
1	592	266	207	21	20	4.73	28	65	207
2	591	261	203	-	41	4.63	27	64	220
3	591	266	207	41	-	4.72	29.04	65	220
4	591	266	207	-	-	4.73	27.97	65	261
5	592	266	207	-	-	4.74	-	65	287

طراحی سیمان گروه ۲

No	Cement	Hidense	Micro	sbs	Elastomer	Cfl	J200	Salt	Water
1	590	472	-	21	20	4.72	27.93	65	207
2	590	472	-	-	41	4.72	27.93	65	220
3	590	472	-	41	-	4.72	29.04	65	220
4	590	472	-	-	-	4.72	27.93	64.9	261
5	591	473	-	-	-	4.73	-	65	287

جدول (۱) مواد تشکیل دهنده سنگ سیمان

ویژگی	مواد
متن اصلی	سیمان کلاس E تهران
وزن افزا	هایدنس
وزن افزا	میکرومکس
الاستیک کننده	بسپار SBS
الاستیک کننده	الاستومر
کنترل آب آزاد	Cfl325
جلوگیری از مهاجرت	J200
پایه نمکی	Salt
هیدراتاسیون و ...	Water

مقدمه

پیشینه

روش

تحلیل

نتیجه

پیشنهاد

مراحل ساخت

- وزن کشی
- ترکیب مواد خشک
- میکس کردن مواد
- ثبت زمان ترکیب شدن بصورت کامل
- انجام تست های دوغاب سیمان
- قالب گیری
- قراردادن نمونه در دستگاه بندش
- خارج کردن نمونه بعد از ۴۸ ساعت و قرار دادن آن در آب نمک به مدت ۲۴ ساعت
- خارج کردن نمونه از قالب
- صافکاری، تراشکاری و برش نمونه ها



آزمایش ها

- بررسی تخلخل و چگالی نمونه ها
- آنالیز پراش اشعه ایکس
- آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی
- تست مقاومت فشاری تک محوره
- آزمایش برزیلی
- بررسی Micro CT
- آزمایش DIC
- تست های پکینسون
- آزمایش ارتعاش فراصوتی
- مدلسازی عددی



(1)



(2)



(3)



(4)



(5)



(6)



(7)



(8)

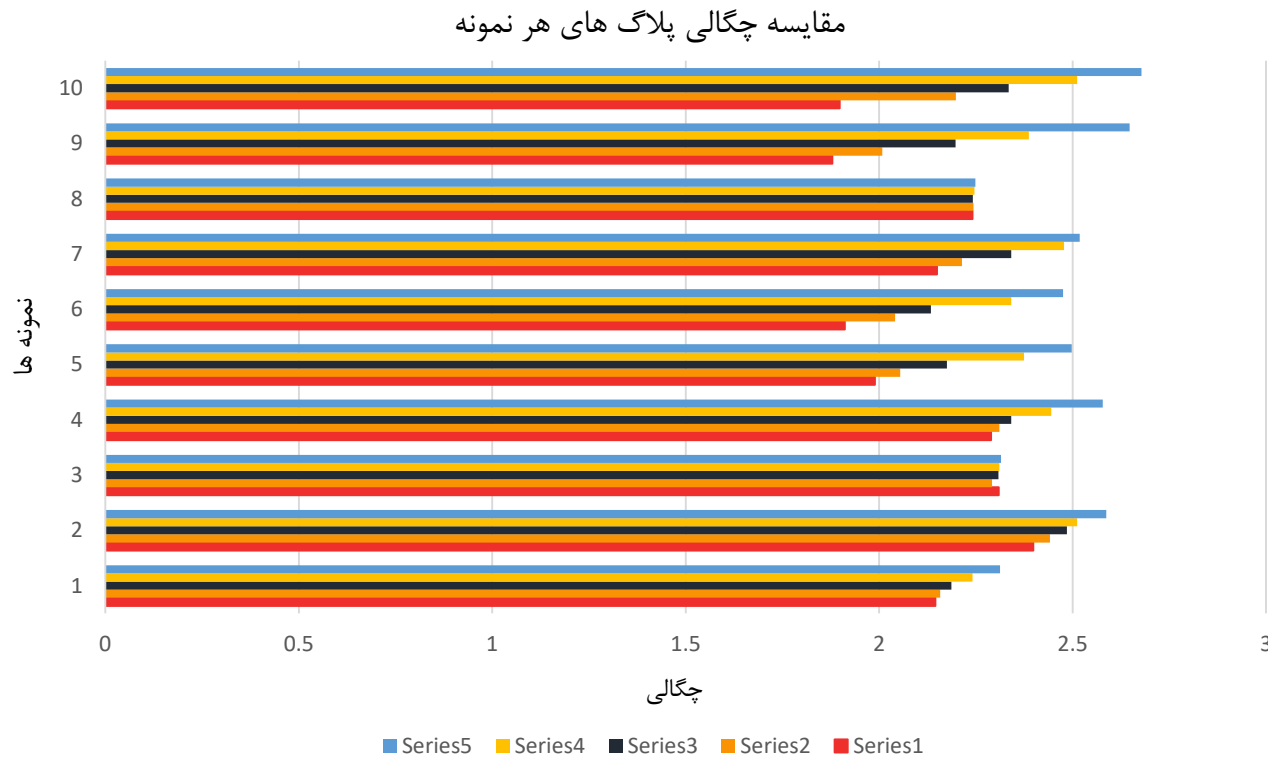
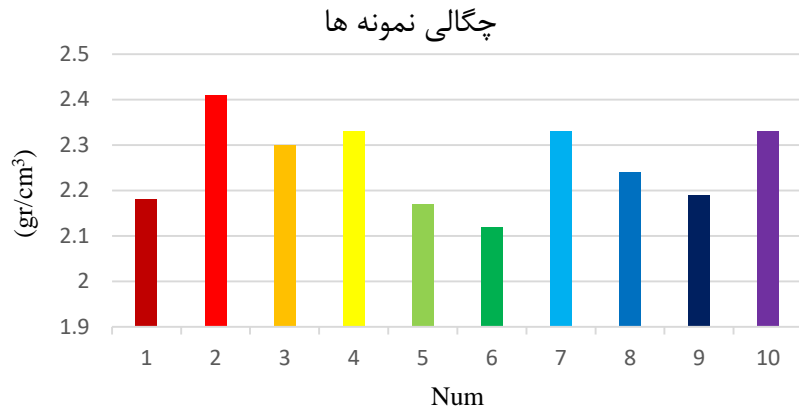


(9)

بررسی نتایج آزمایش ها



1. آزمایش های خواص فیزیکی و شیمیایی
2. آزمایش های استاتیکی
3. آزمایش های دینامیکی



بررسی تخلخل و چگالی نمونه ها

مقدمه

پیشینه

روش

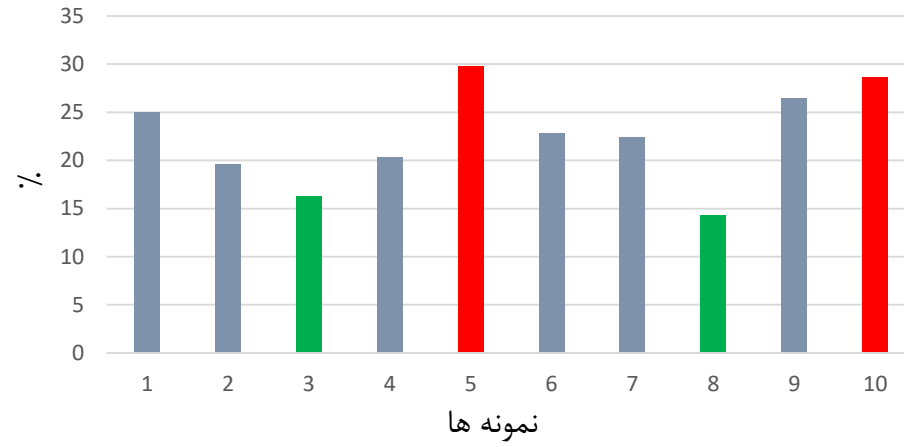
تحلیل

نتیجه

پیشنهاد



تخلخل نمونه ها



تأثیر چگالی و تخلخل بر مکانیزم شکست چیست؟

مقدمه

پیشینه

روش

تحلیل

نتیجه

پیشنهاد

آنالیز پراش اشعه ایکس

مقدمه

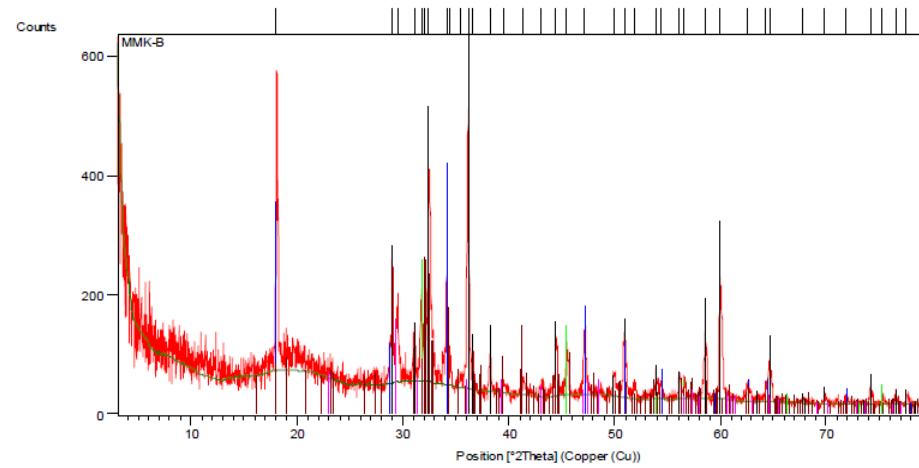
پیشینه

روش

تحلیل

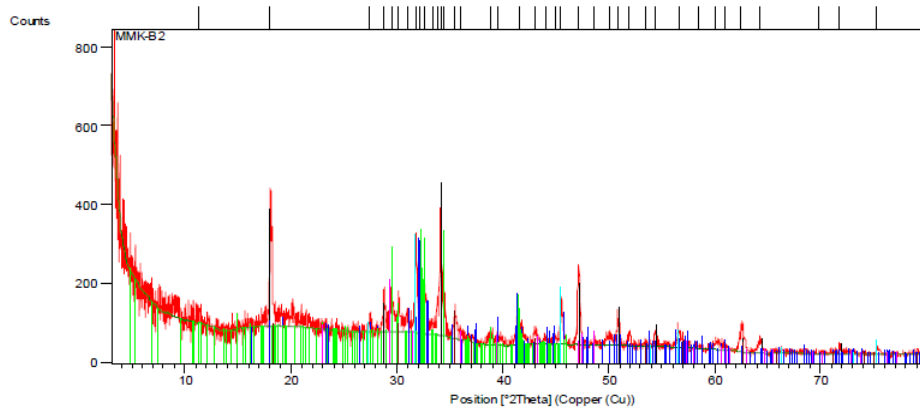
نتیجه

پیشنهاد



Peak List
01-080-0382; Mn3 O4; Hausmannite
01-072-0156; Ca (OH)2; Portlandite, syn
01-075-0306; Na Cl Halite
01-070-0388; Ca2 Si O4; Calcium Silicate
00-047-1743; Ca C O3; Calcite

شکل ۴ الگوی پراش اشعه ایکس نمونه ۳



Peak List
01-072-0156; Ca (OH)2; Portlandite, syn
01-070-0388; Ca2 Si O4; Calcium Silicate
01-085-1378; Ca3 (Si O4) O; Hartrunite, syn
00-047-1743; Ca C O3; Calcite
01-075-0033; Fe3 O4; Iron Oxide
01-075-0306; Na Cl Halite

شکل ۴ الگوی پراش اشعه ایکس نمونه ۸

Num	فازهای شناسایی شده								
1	Hausmannite	Calcium Silicate Oxide	-	Iron Oxide	Hartrurite	Halit	Portlandte	-	-
2	Hausmannite	Calcium Silicate Oxide	-	Iron Oxide	-	Halit	Portlandte	-	-
3	Hausmannite	-	Calcium Silicate	Iron Oxide	-	Halit	Portlandte	Calcite	-
4	Hausmannite	Calcium Silicate Oxide	-	Iron Oxide	Hartrurite	Halit	Portlandte	-	-
5	Hausmannite	Calcium Silicate Oxide	-	Iron Oxide	Hartrurite	Halit	Portlandte	-	-
6	-	-	Calcium Silicate	Iron Oxide	Hartrurite	-	Portlandte	Calcite	-
7	-	-	Calcium Silicate	Iron Oxide	Hartrurite	Halit	Portlandte	Calcite	Quartz
8	-	-	Calcium Silicate	Iron Oxide	Hartrurite	Halit	Portlandte	Calcite	-
9	-	-	Calcium Silicate	Iron Oxide	Hartrurite	Halit	Portlandte	Calcite	-
10	-	-	Calcium Silicate	Iron Oxide	Hartrurite	-	Portlandte	Calcite	-

آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی

مقدمه

پیشینه

روش

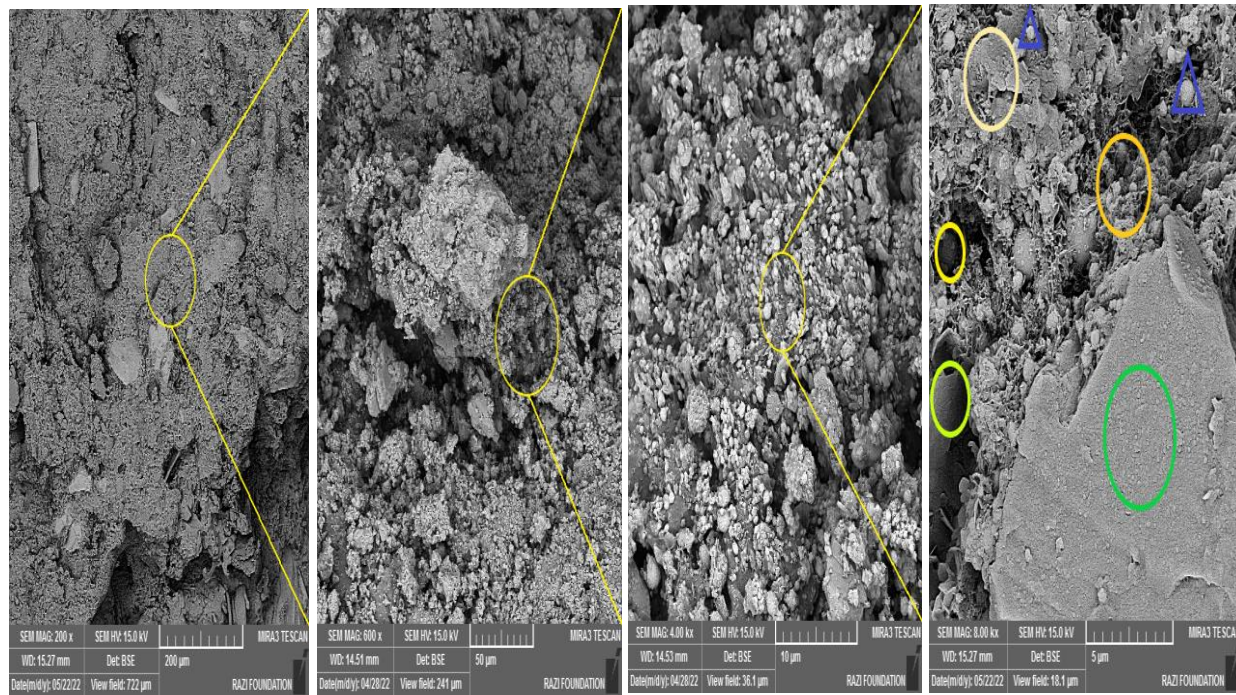
تحلیل

نتیجه

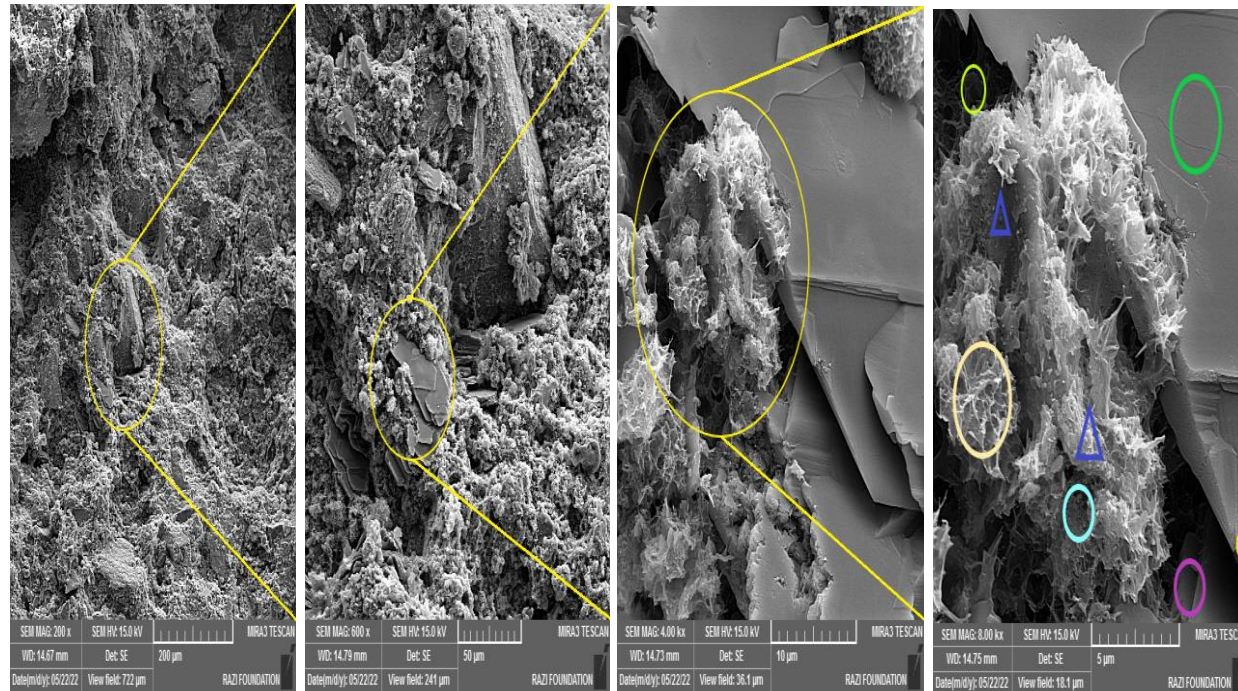
پیشنهاد



تصاویر میکروسکوپ الکترونی روشی نمونه ۳



تصاویر میکروسکوپ الکترونی روشی نمونه ۸



تست مقاومت فشاری تک محوره

مقدمه

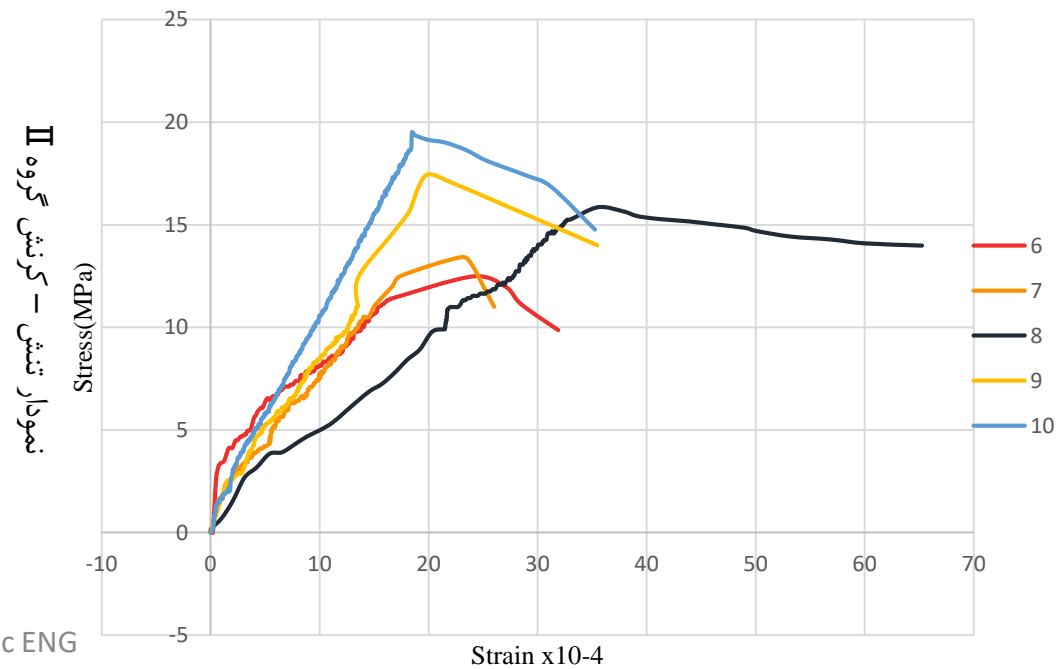
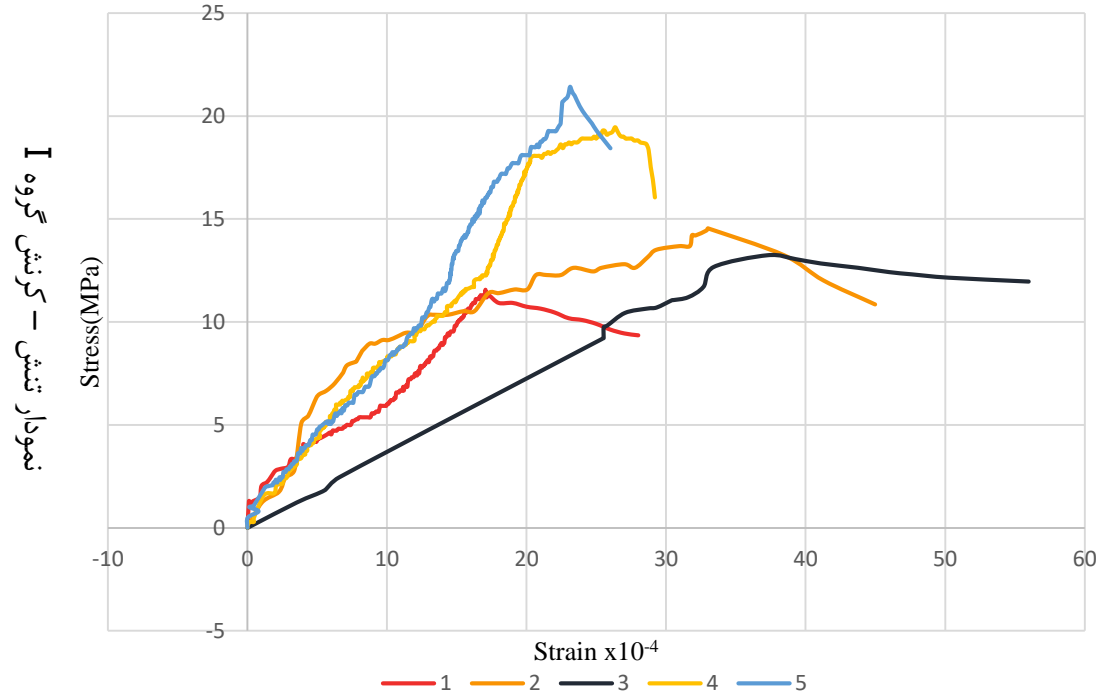
پیشینه

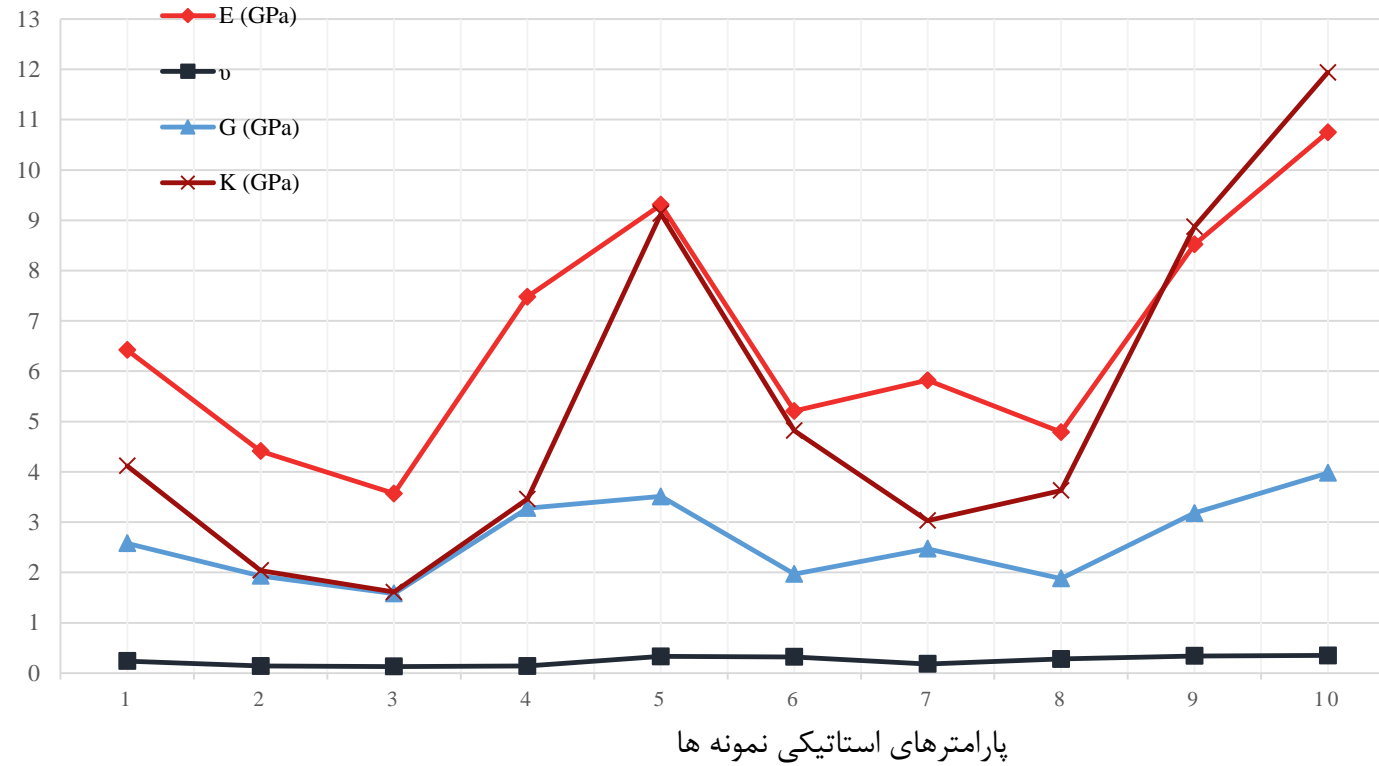
روش

تحلیل

نتیجه

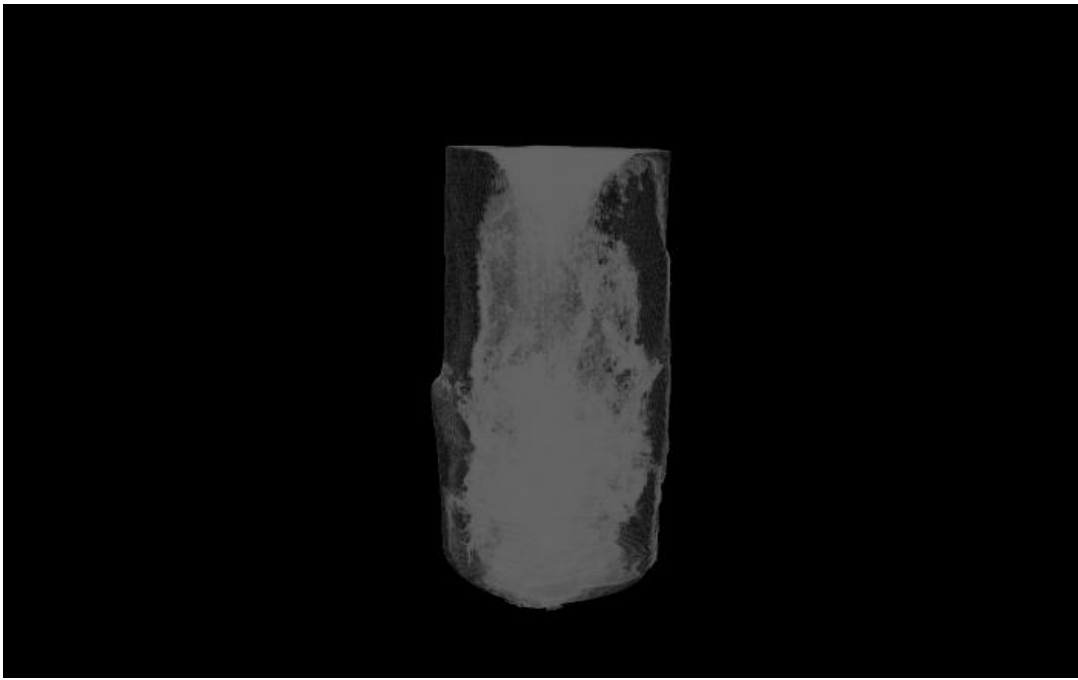
پیشنهاد





تأثیر پارامترهای مکانیکی حاصل از تست مقاومت فشاری تک محوره بر مکانیزم شکست چیست؟

نمونه حاوی SBS



نمونه پایه



بررسی Micro CT



مقدمه

پیشینه

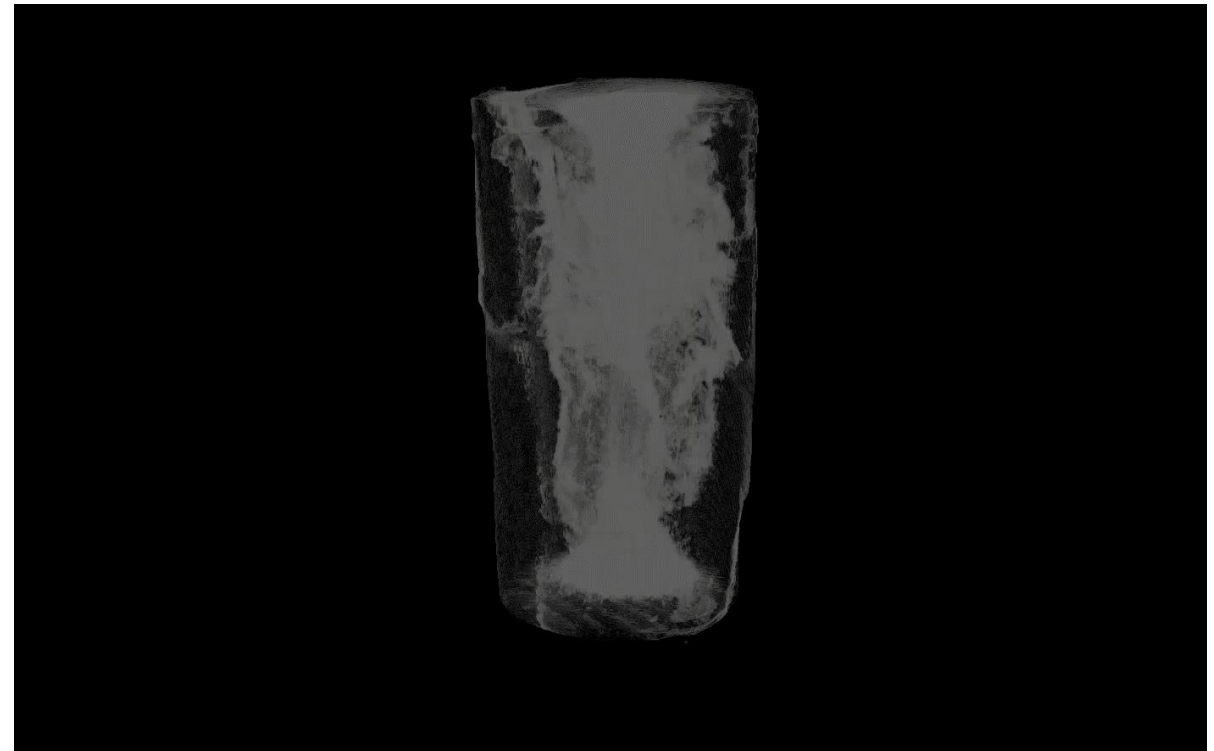
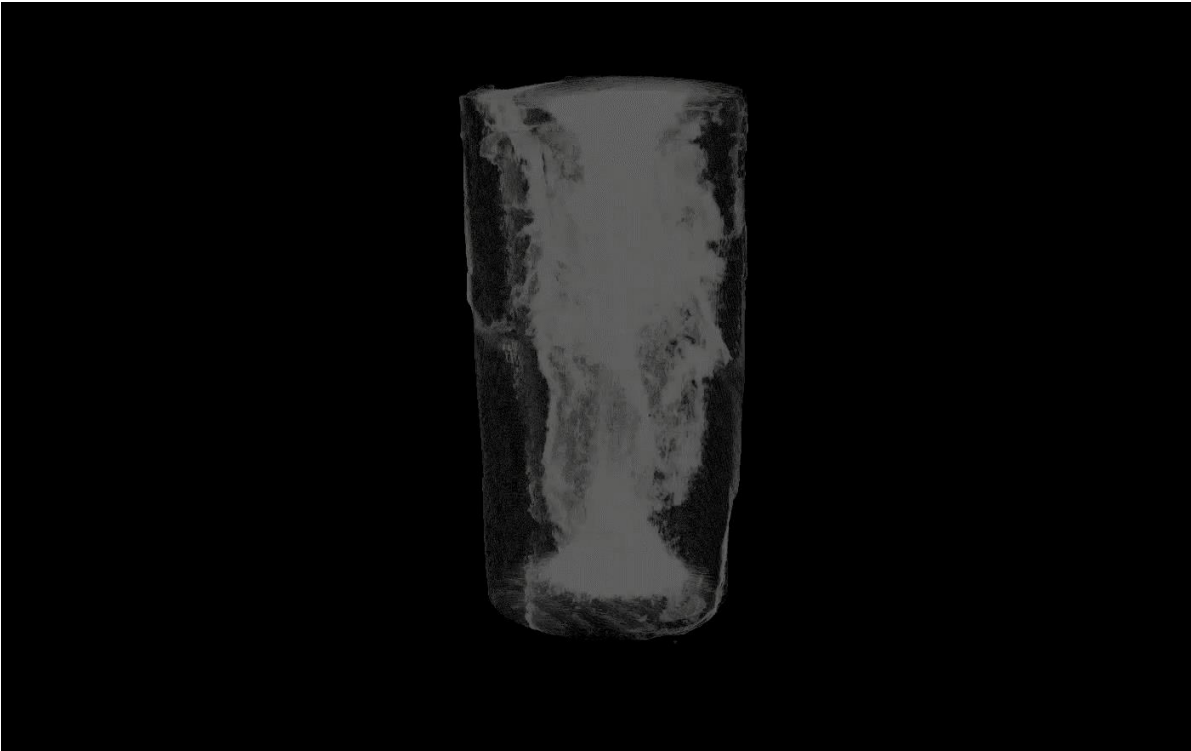
روش

تحلیل

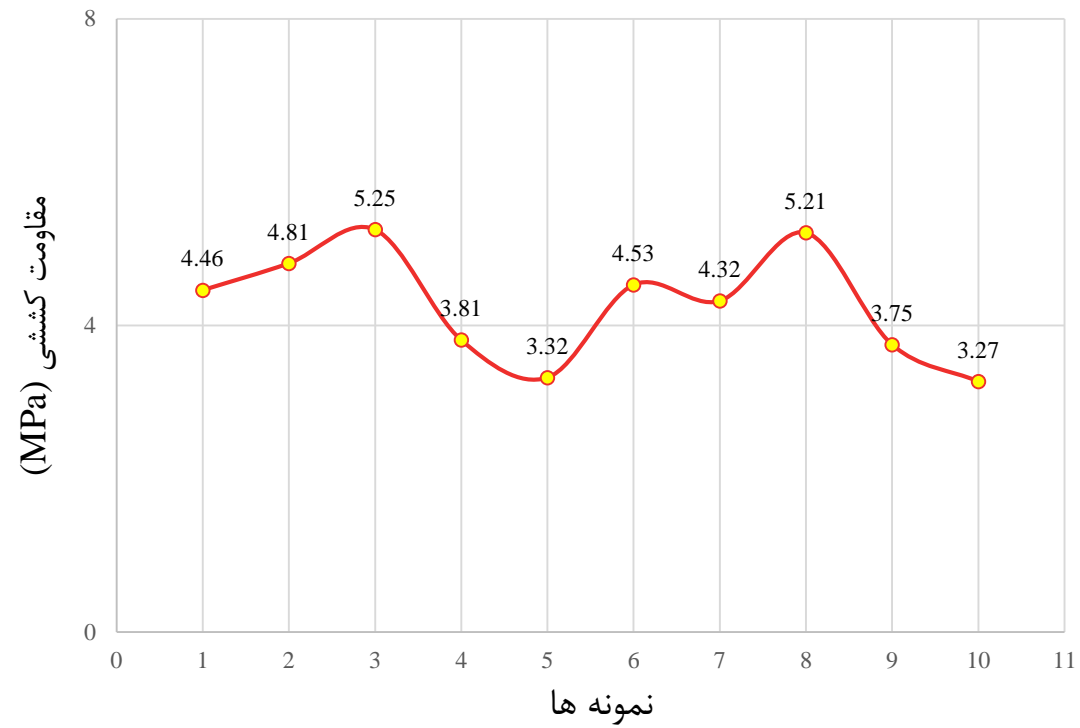
نتیجه

پیشنهاد

نمایش صفحه شکست نمونه حاوی SBS



آزمایش برزیلی



مقدمه

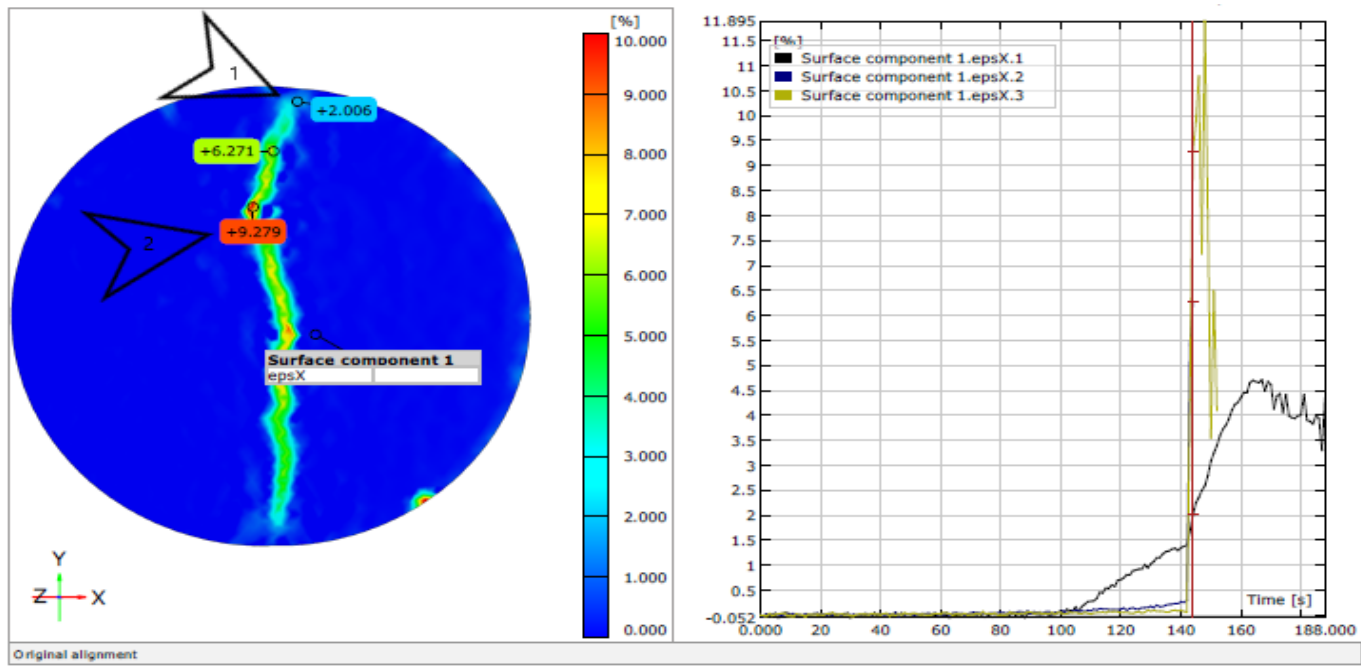
پیشینه

روش

تحلیل

نتیجه

پیشنهاد



آزمایش DIC



مقدمه

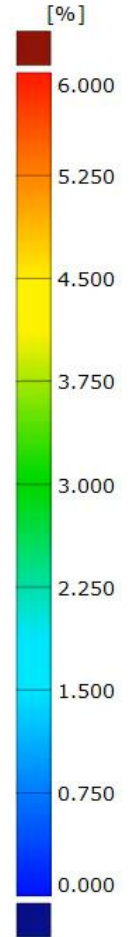
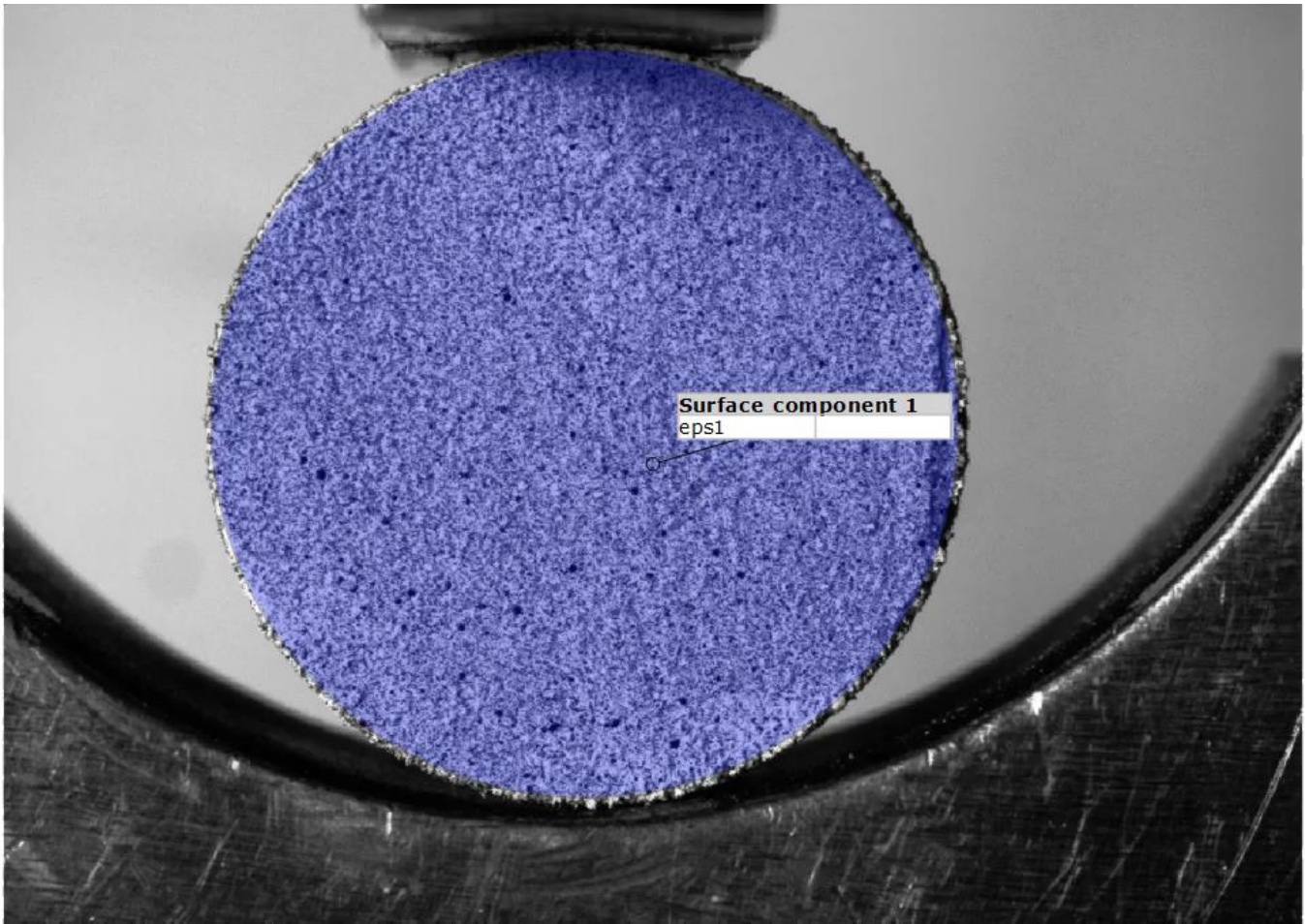
پیشینه

روش

تحلیل

نتیجه

پیشنهاد



مقدمه

پیشینه

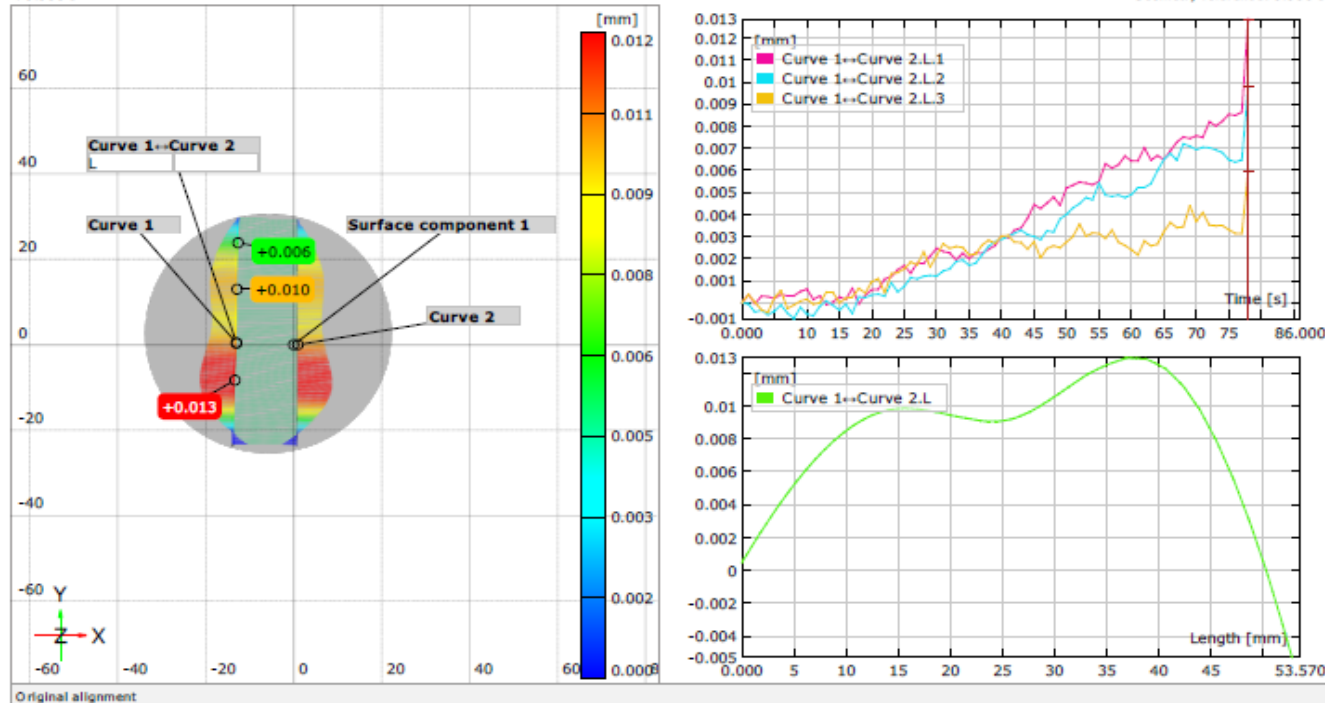
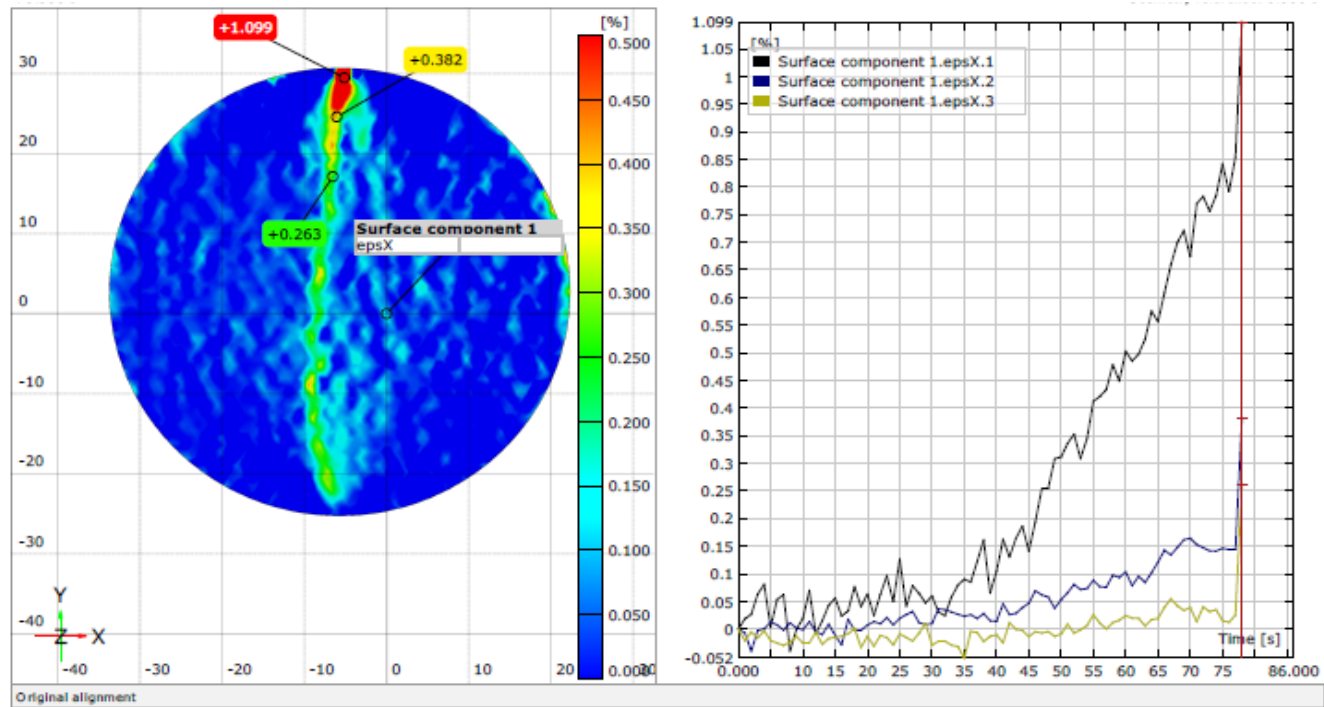
روش

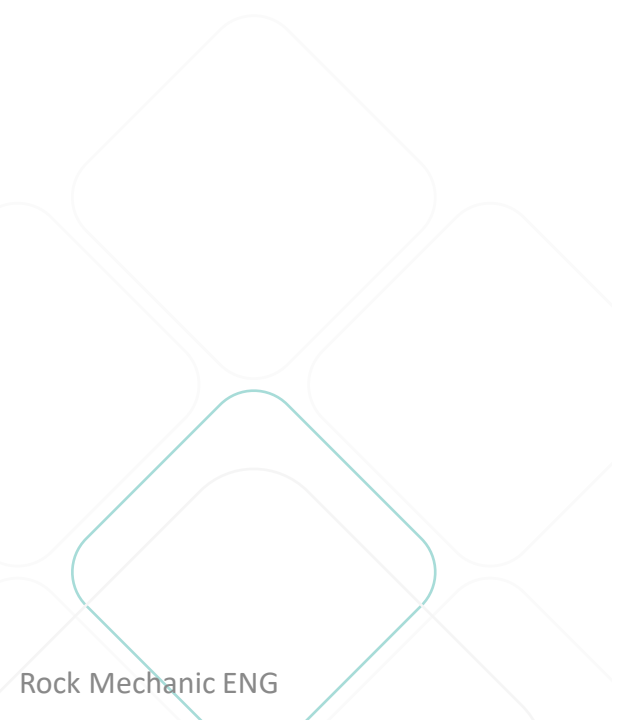
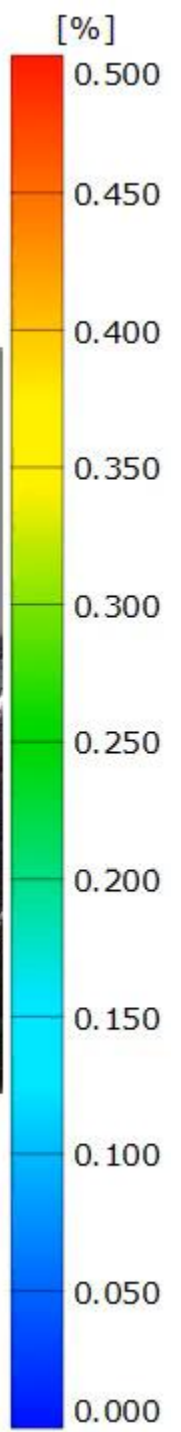
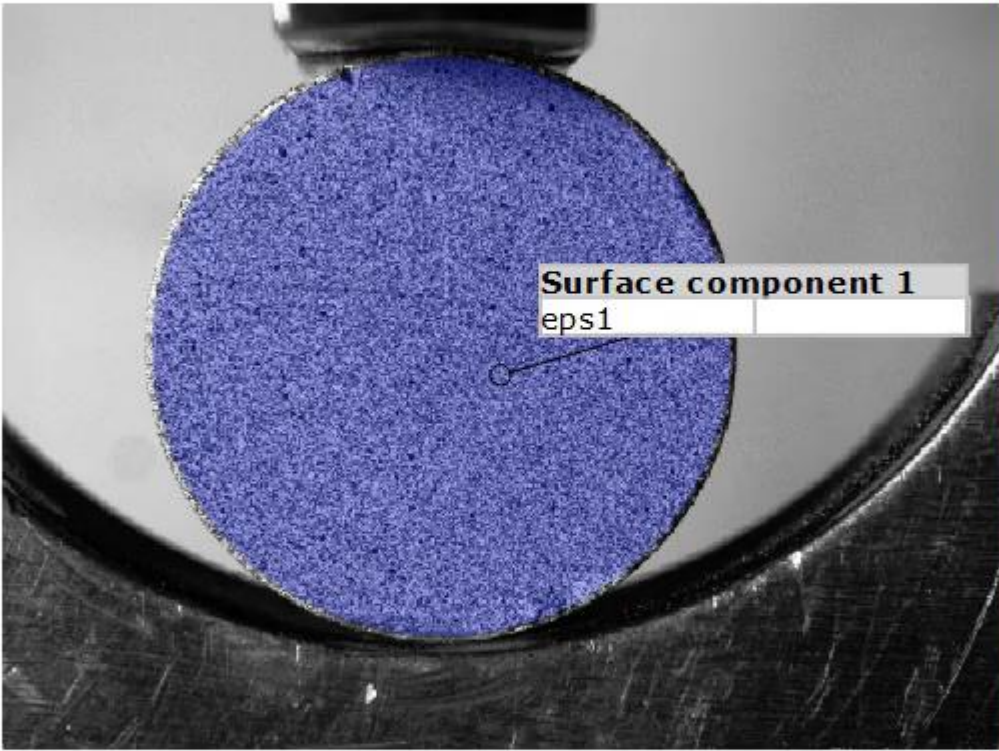
تحلیل

نتیجه

پیشنهاد

نتایج تست برای نمونه ۵





بررسی شاخص های شکنندگی

- $BI = \frac{\sigma_c}{\sigma_t}$

Num	BI
1	2.59
2	3.02
3	2.52
4	5.11
5	6.45
6	2.75
7	3.11
8	3.04
9	4.65
10	5.97

Num	مساحت زیر نمودار تنش-کرنش	کرنش پلاستیک	کرنش متناظر
1	500	7e-4	18e-4
2	650	15e-4	33e-4
3	600	12e-4	35e-4
4	350	5e-4	26e-4
5	300	2e-4	23e-4
6	400	6e-4	24e-4
7	550	8e-4	23e-4
8	750	18e-4	33e-4
9	330	4e-4	21e-4
10	280	1.5e-4	18e-4

مقدمه

پیشینه

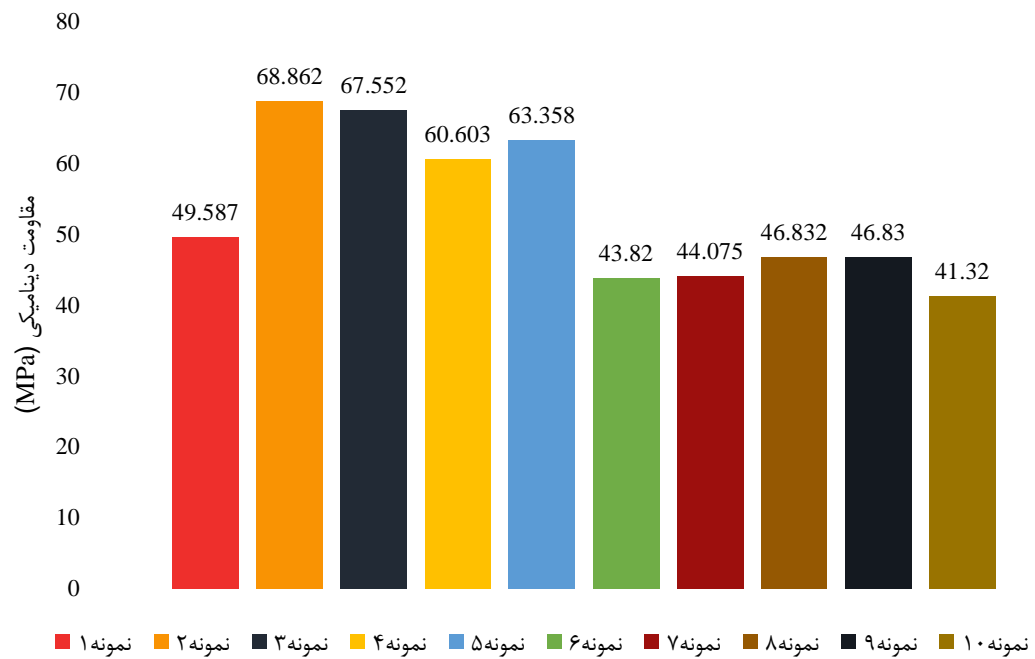
روش

تحلیل

نتیجه

پیشنهاد

تست های کینسون



مقدمه

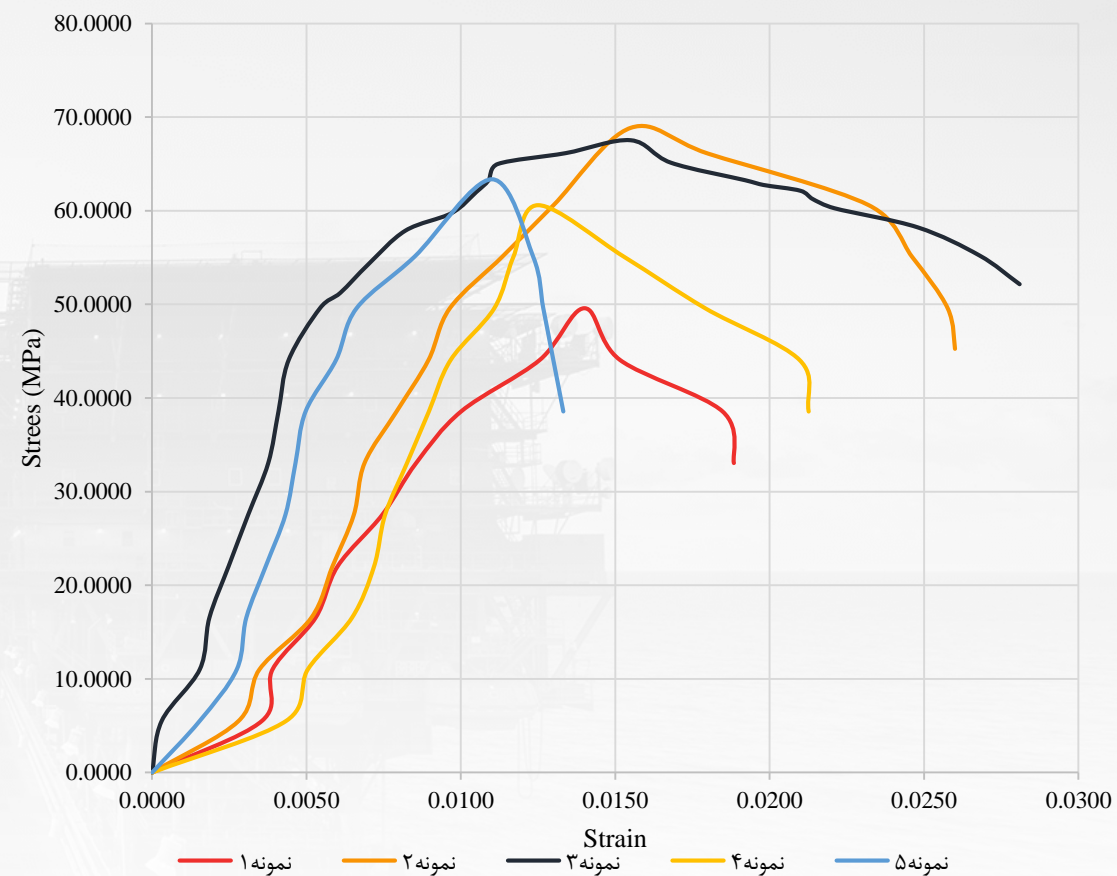
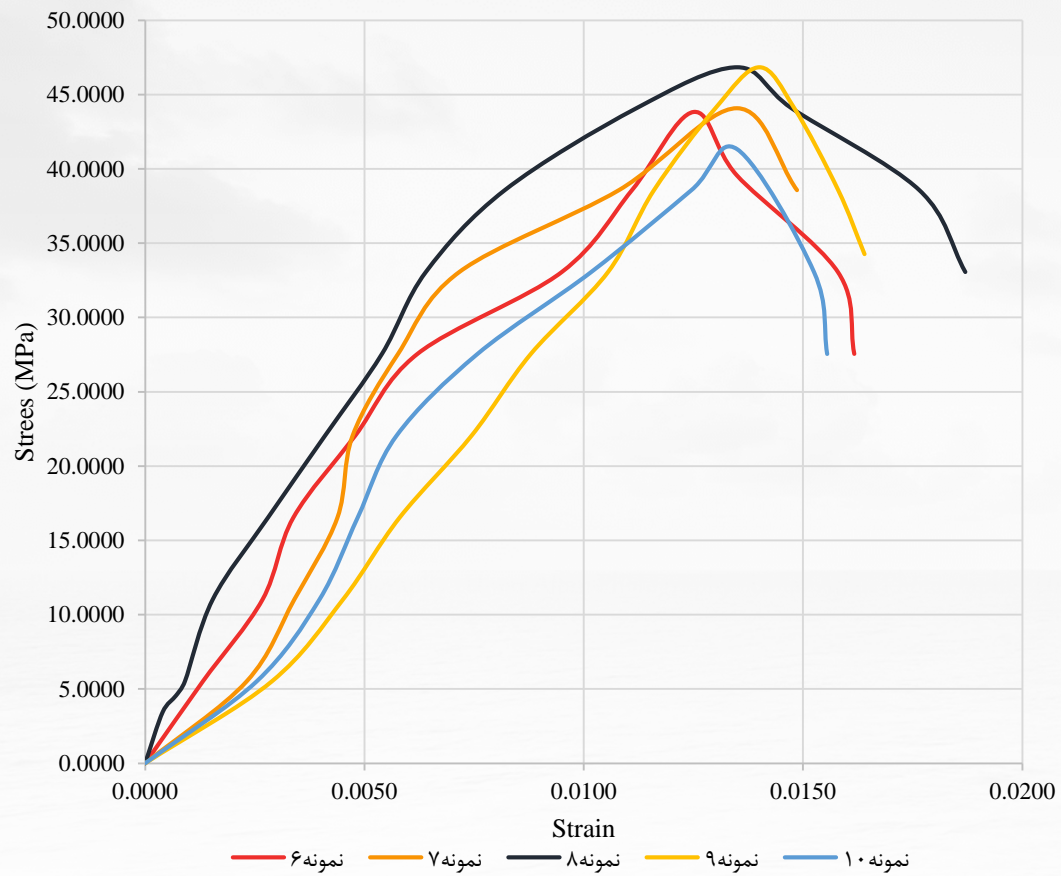
پیشینه

روش

تحلیل

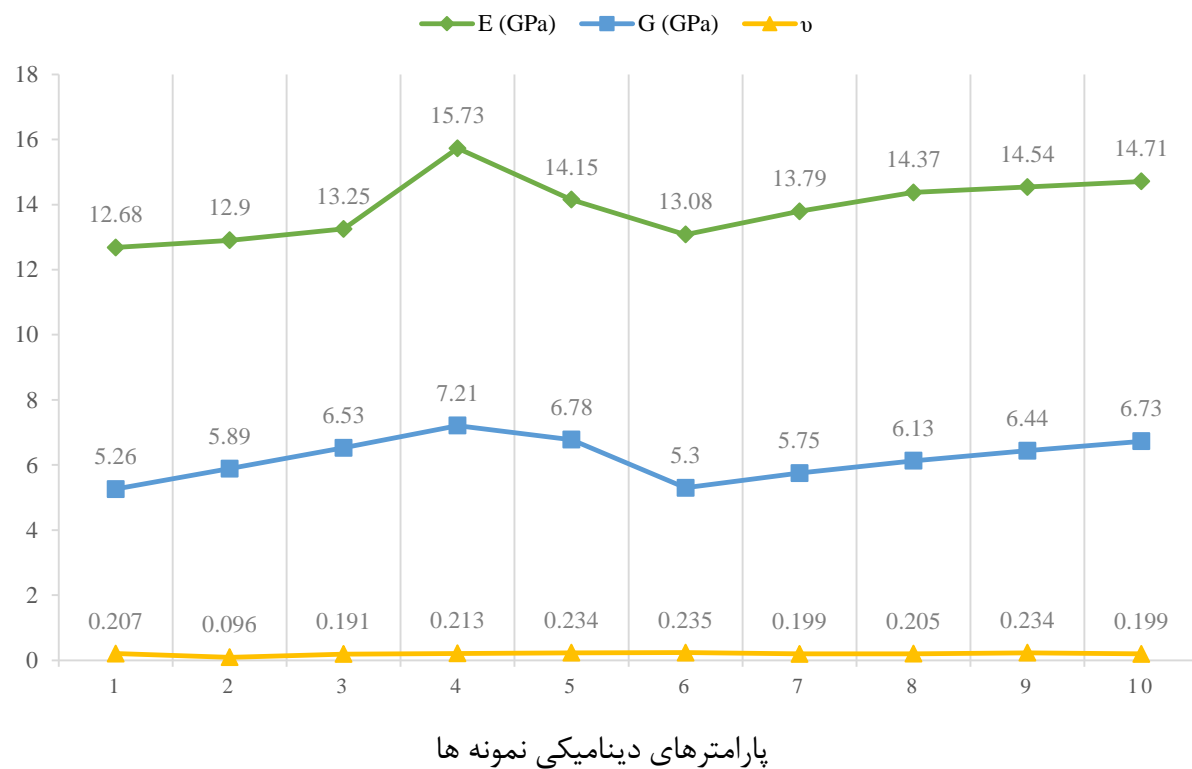
نتیجه

پیشنهاد



نمایش تنش- کرنش دینامیکی نمونه ها

آزمایش ارتعاش فراصوتی



$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$E = \frac{\rho V_S^2 (3V_P^2 - 4V_S^2)}{V_P^2 - V_S^2}$$

$$G = \rho V_S^2$$

$$v = 0.5 \left(\frac{V_P^2}{V_S^2} \right) - 1$$



مقدمه

پیشینه

روش

تحلیل

نتیجه

پیشنهاد

مدلسازی عددی



1. کالیبره کردن مدلسازی



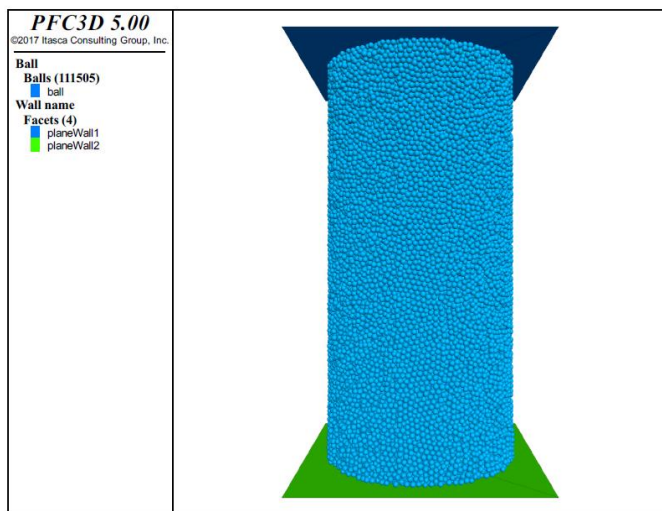
2. شبیه سازی غلاف سنگ سیمان



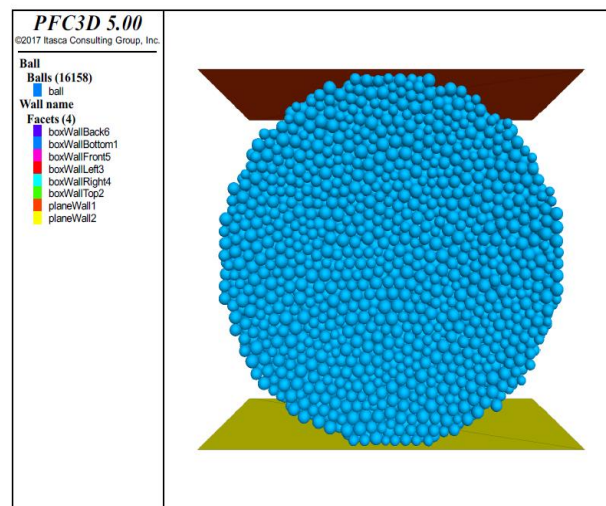
3. شبیه سازی اثر سنگ سیمان بر پایداری چاه

Parameter	Quantity	Parameter	Quantity
چگالی (kg/m ³)	2300	مدول الاستیسیته موثر (GPa)	0.62
نسبت تخلخل (%)	16.28	نسبت سختی نرمال به برشی	0.1
ضریب میرایی	0.5	ضریب اصطکاک	0.5
مینیمم قطر گوی ها (mm)	1	مقاومت کششی (MPa)	1.905
نسبت قطر بزرگ به کوچک	1.5	مقاومت چسبندگی (MPa)	9.525

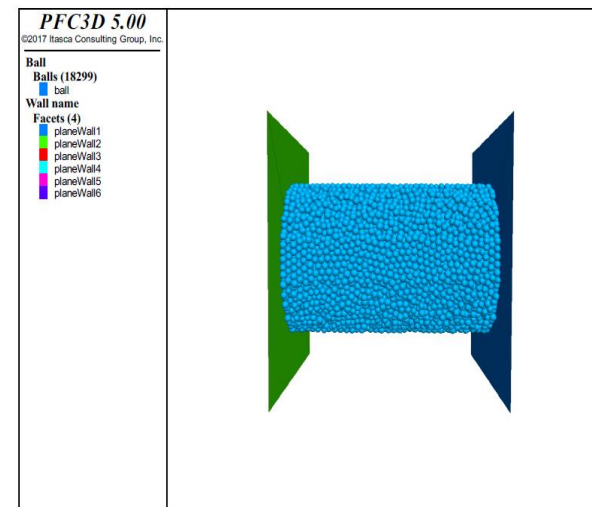
کالیبره کردن مدل



شبیه سازی مقاومت فشاری تک محوره



شبیه سازی برزیلی



شبیه سازی هاپکینسون

مقدمه

پیشینه

روش

تحلیل

نتیجه

پیشنهاد

مدل سازی غلاف سیمان

مقدمه

پیشینه

روش

تحلیل

نتیجه

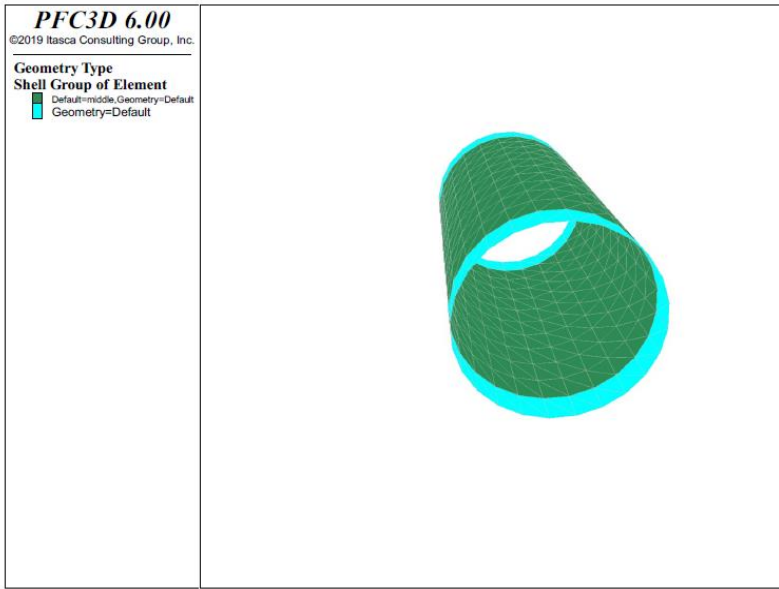
پیشنهاد

نمونه شماره ۳

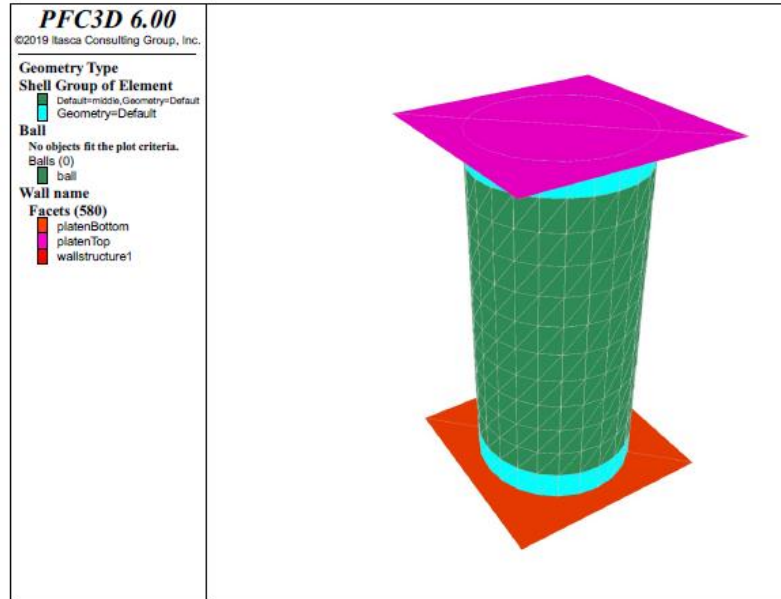
Test	Mechanical Parameters	Lab Quantity	Num Quantity
UCS	مدول الاستیسیته (Gpa)	3.57	3.58
	نسبت پواسون	0.13	0.13
	(%) کرنش متناظر با مقاومت نهایی	0.37	0.369
	(Mpa) مقاومت فشاری تک محوره	13.24	13.22
Tensile strength	(Mpa) مقاومت کششی برزیلی	5.25	5.26
	نسبت مقاومت فشاری به کششی	2.52	2.51
SHPB	(MPa) مقاومت فشاری دینامیکی	67.552	67.550

نمونه شماره ۵

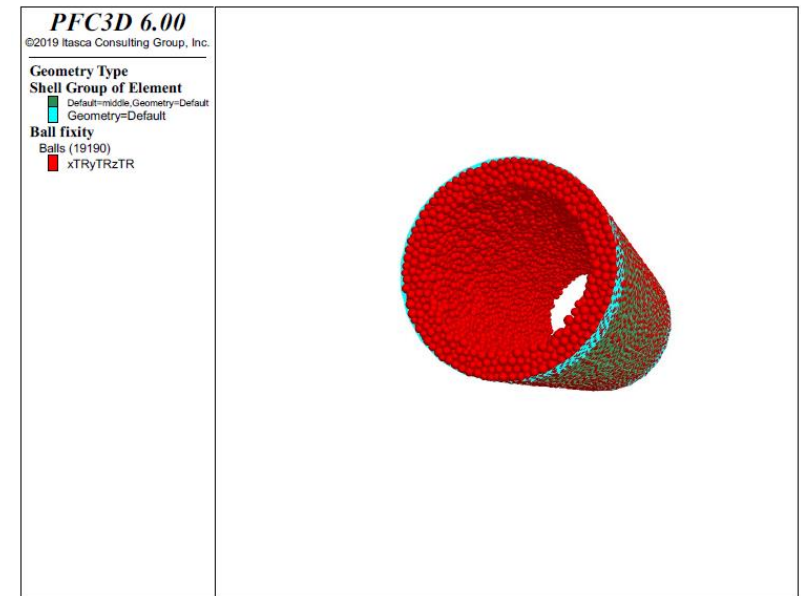
Test	Mechanical Parameters	Lab Quantity	Num Quantity
UCS	مدول الاستیسیته (Gpa)	9.31	9.3
	نسبت پواسون	0.33	0.32
	(%) کرنش متناظر با مقاومت نهایی	0.23	0.2305
	(Mpa) مقاومت فشاری تک محوره	21.41	21.415
Tensile strength	(Mpa) مقاومت کششی برزیلی	3.32	3.3
	نسبت مقاومت فشاری به کششی	6.45	6.48
SHPB	(MPa) مقاومت فشاری دینامیکی	63.358	63.355



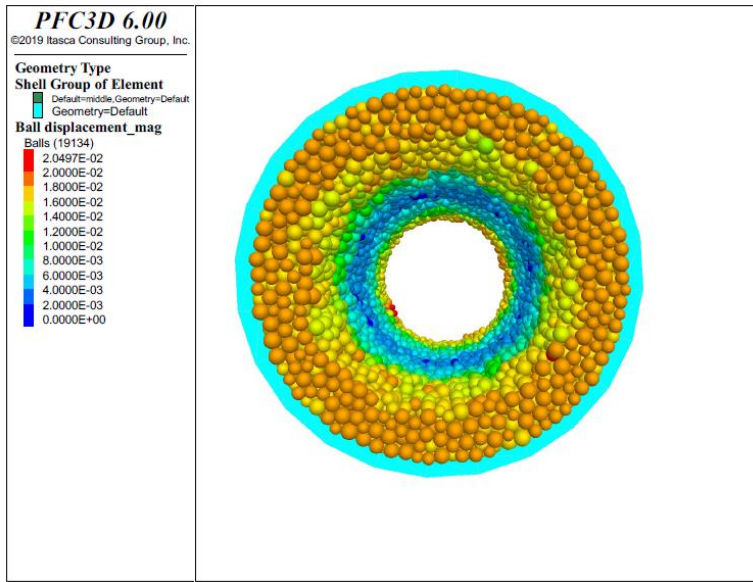
پوسته غلاف سنگ سیمان



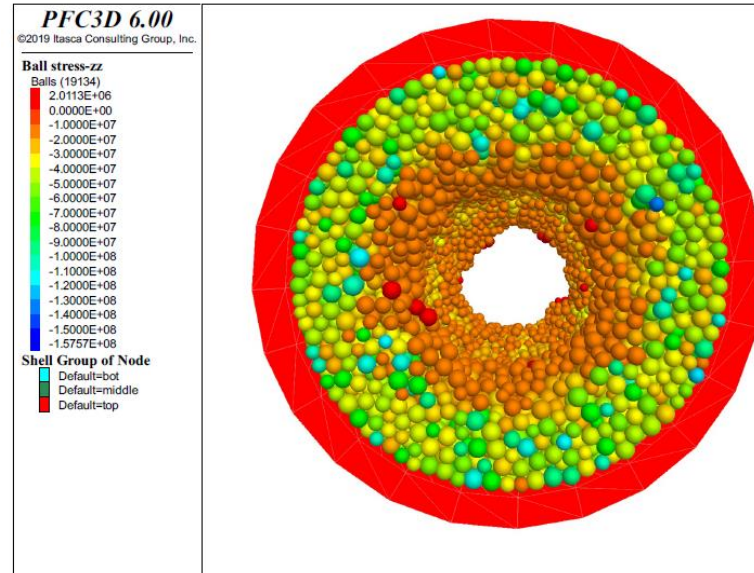
دیواره های نهایی غلاف سنگ سیمان



غلاف سنگ سیمان



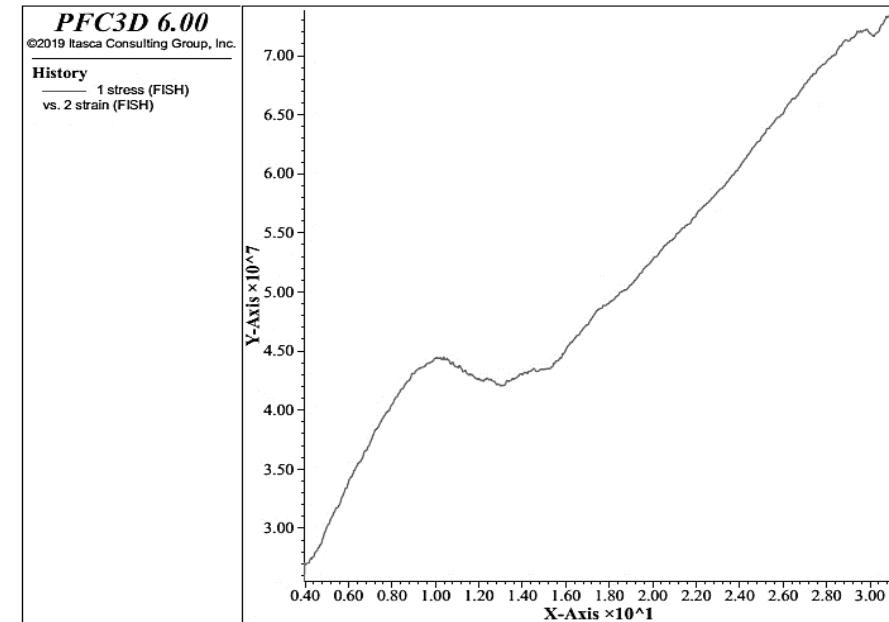
جابجایی ذرات



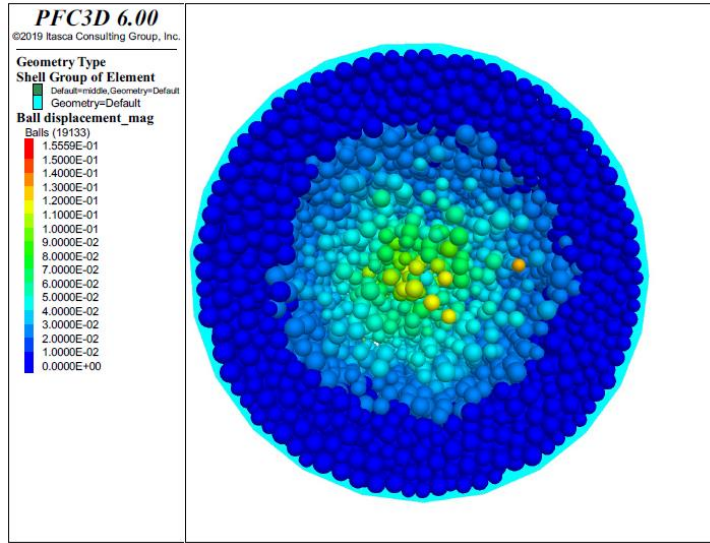
تنش وارده به ذرات روی محور Z

رفتار نمونه ۳

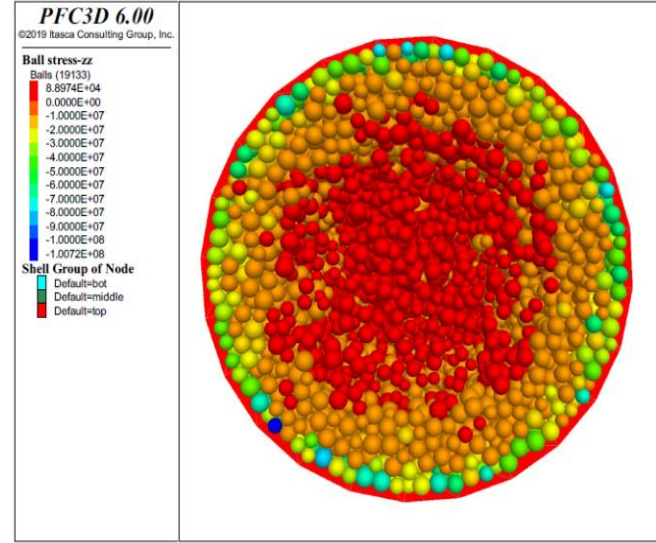
نمودار شکست غلاف سنگ سیمان



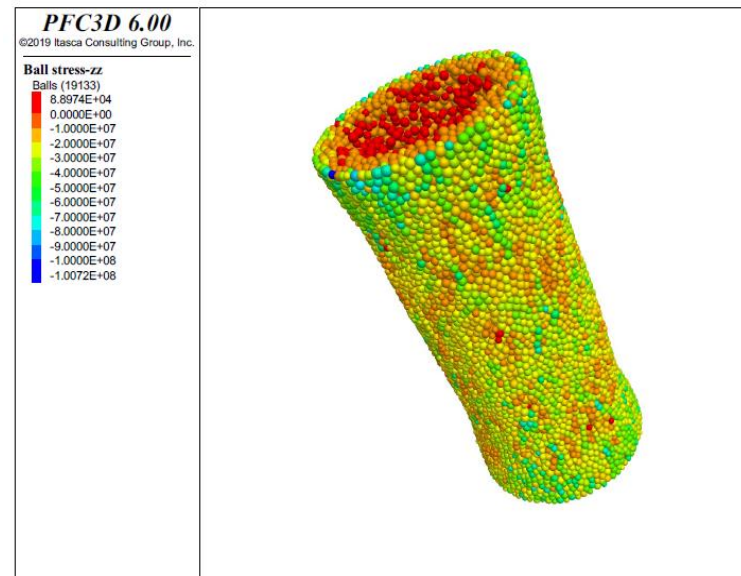
رفتار نمونه ۵



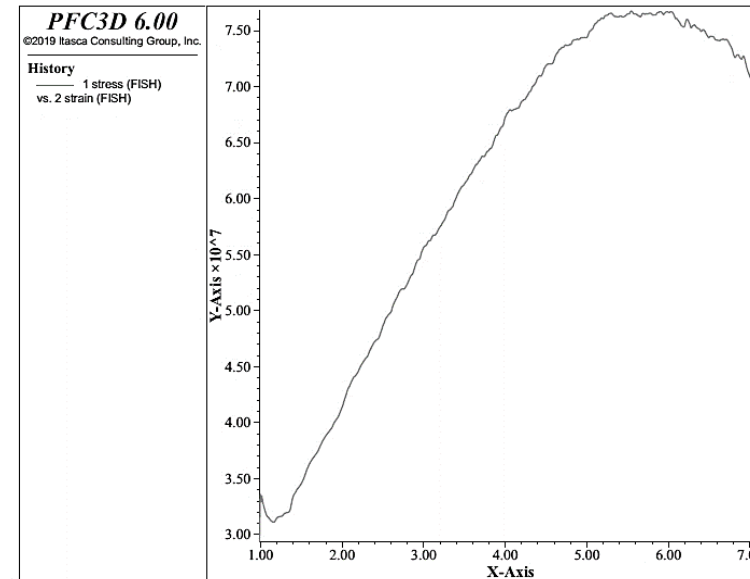
جابجایی ذرات



تنش وارده به ذرات روی محور Z

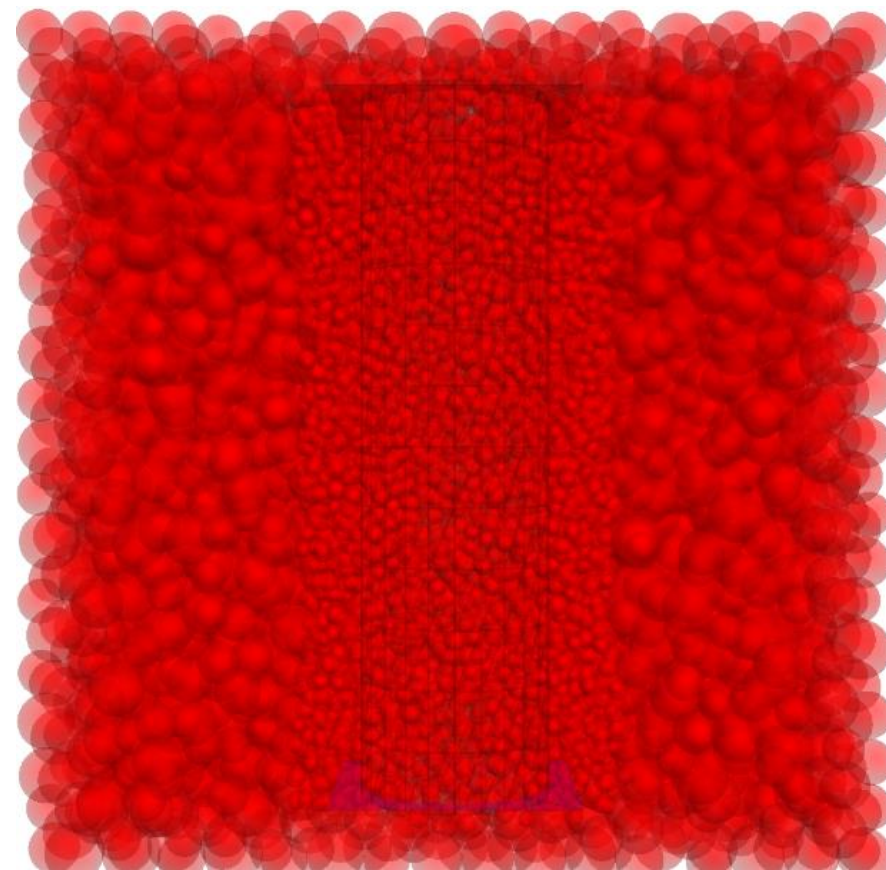


تنش وارده به ذرات روی محور Z

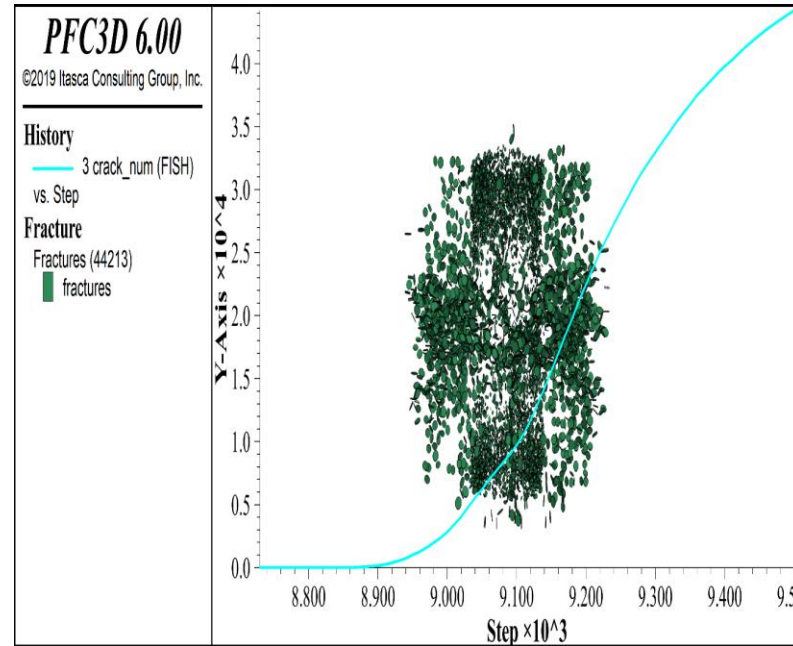


نمودار شکست غلاف سنگ سیمان

استفاده از نمونه ۳ در سازند به همراه لوله

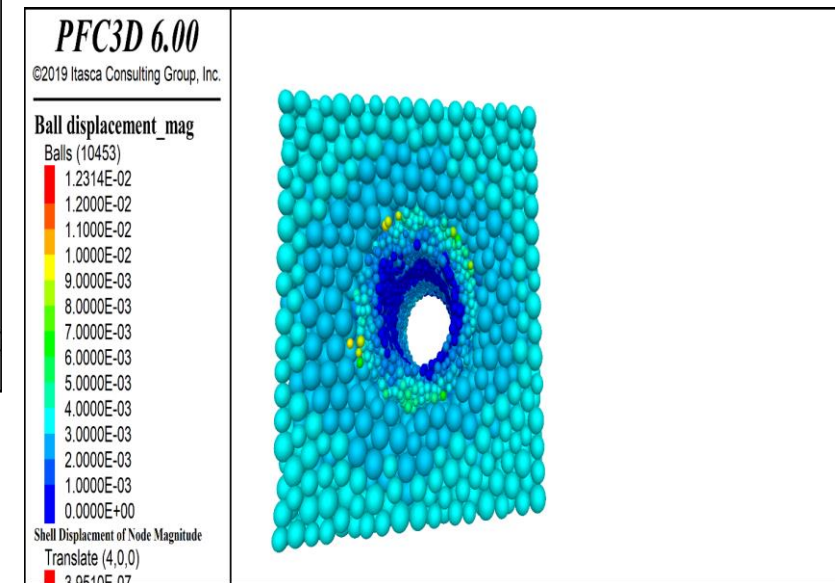


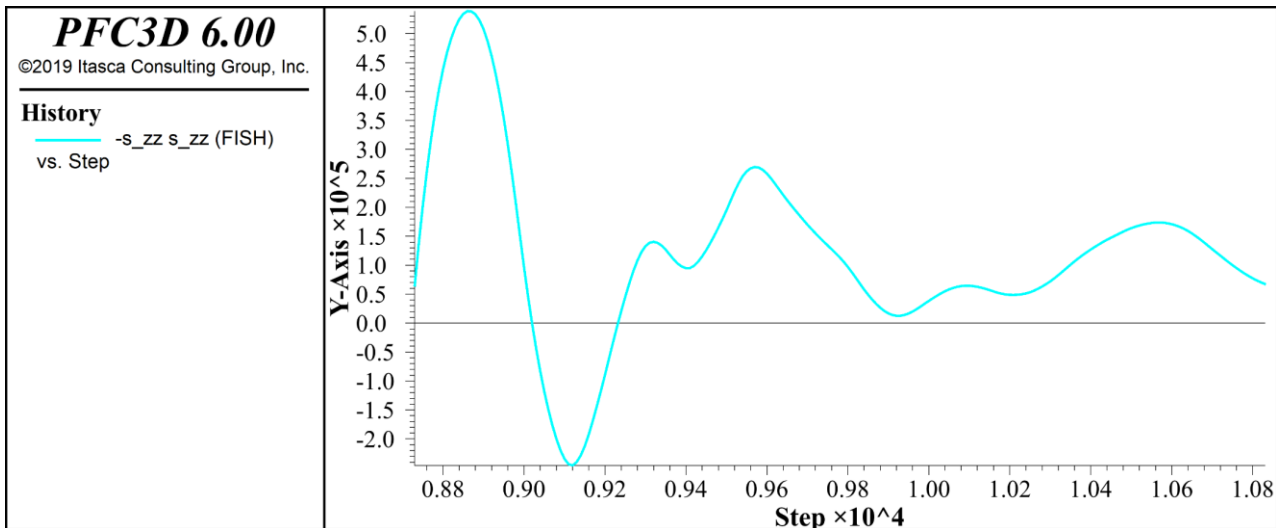
بار اعمالی به کل سیستم



شکست یکنواخت و انتقال تنش به سازند

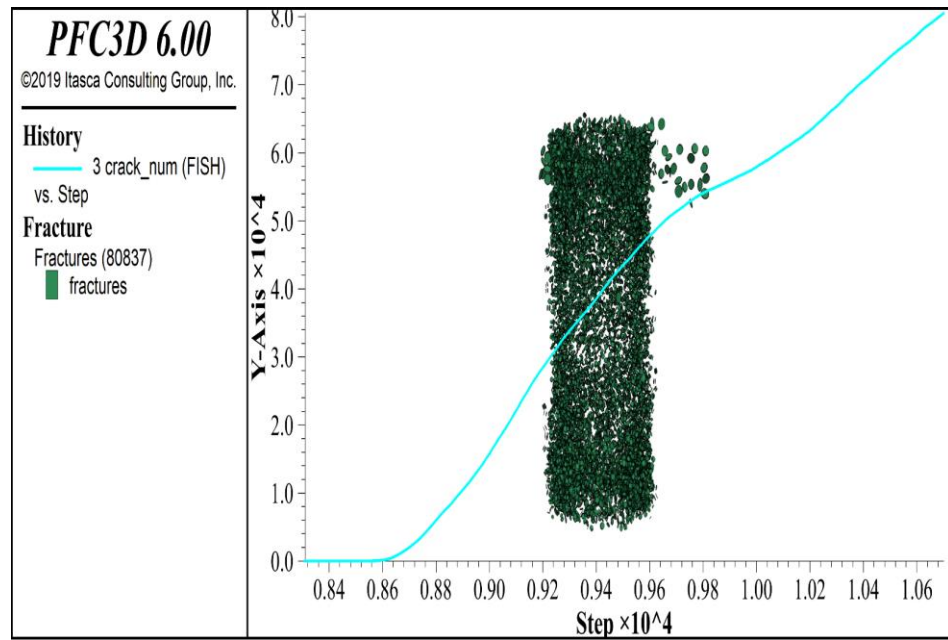
انتشار تنش در سازند و حفظ یکپارچگی





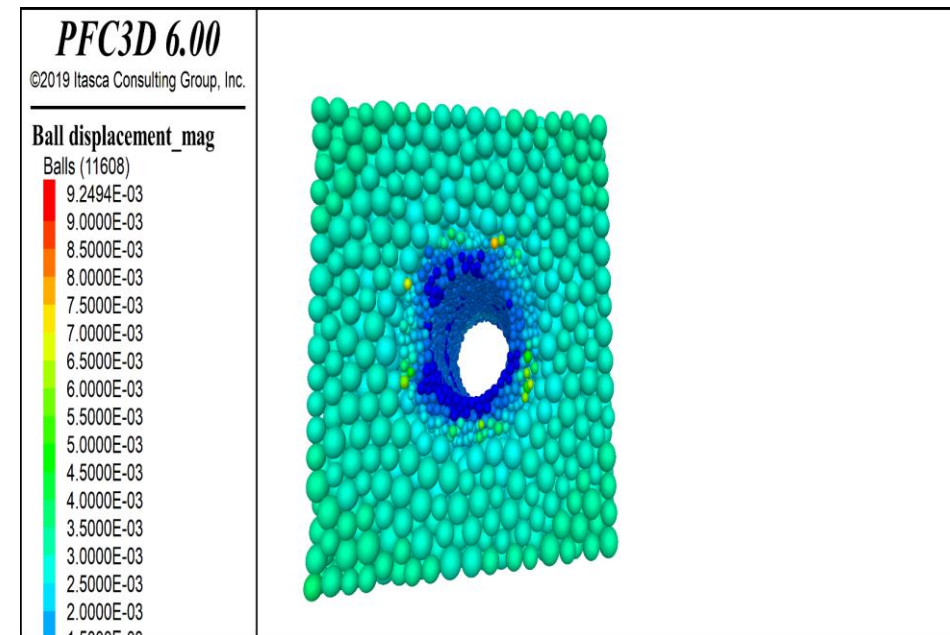
استفاده از نمونه ۵ در سازند به همراه لوله

اعمال تعادل تنش در نمونه های ۳ و ۵



شکست غلاف سیمان ناپایداری چاه

اعمال تنش به لوله و شروع شکست لوله و از بین رفتن پایداری چاه



نتیجه گیری



- ❖ با استفاده از بسپار SBS میتوان سنگ سیمانی با تخلخل پایین نسبت به سایر سنگ سیمان ها دست یافت همچنین این ماده می تواند **چگالی** دوغاب سیمان را در محدوده مناسبی حفظ کند.
- ❖ با **دانه بندی** SBS می توان شبکه معلقی از این مواد ایجاد کرد که مانع از ته نشین شدن مواد وزن افزا شوند.
- ❖ در بررسی تست XRD به این نتیجه رسیدیم که **اجماع فازهای تشکیل شده** در نمونه های حاوی SBS مستحکم تر از فازهای بدون SBS است.
- ❖ ساختار SBS در برابر **تغییرات شیمیایی** بخوبی مقاومت می کند.
- ❖ در آزمون **SEM** تماس بین فازها و همچنین پیوند موثر SBS نشان داده شده است که نشان از قرارگیری مناسب این افزودنی در متن سیمان دارد.
- ❖ نتایج حاصل از تست **مقاومت فشاری تک محوره** نشان داد که سنگ سیمان های طراحی شده می تواند رفتاری پلاستیک داشته باشد.
- ❖ آزمون **Micro-CT** میزان ترک های نمونه را پس از انجام تست مقاومت فشاری تک محوره نشان می دهد.

- ❖ در آزمون برزلی **مقاومت کششی** نمونه های حاوی SBS مقاومت بالایی را ثبت نموده اند.
- ❖ با انجام آزمون **DIC** به این نتیجه رسیدیم که رفتار نمونه حاوی SBS بصورت پلاستیک است و انرژی اعمالی به نمونه توسط این ذرات جذب می شود.
- ❖ با بررسی **شاخص شکنندگی** های مختلف که با استفاده از نتایج حاصل از انجام آزمون ها است، این نتیجه حاصل شد که نمونه های حاوی SBS در محدوده رفتار پلاستیک قرار می گیرند.
- ❖ نتیجه حاصل از میله فشاری هاپکینسون و اولتراسونیک نشان داد نمونه ی حاوی بسیار **رفتار دینامیکی** مناسبی دارد و در هر دو گروه مقاومت دینامیکی مناسبی دارد.
- ❖ نتایج حاصل از **مدل سازی** بدین صورت بوده است که جابجایی در نمونه حاوی بسیار به خوبی صورت گرفته است این جابجایی به صورتی است که بدون شکست غلاف، نیرو جانبی در غلاف اتلاف شده و اجازه اعمال آن را به پوشش نهایی (لوله) نمی دهد. اما در نمونه بدون بسیار جابجایی ذرات بسیار زیاد بوده که در نتیجه پایداری غلاف از بین رفته که این رخداد باعث ایجاد خسارت به پوشش نهایی و در نهایت ناپایداری چاه می شود.

پیشنهادات



01

❖ بزودی: معرفی وزن افزاهای پلاستیک



02

❖ تاثیر دانه بندی گرانول SBS و الیاف SBS بر یکپارچگی چگالی سنگ سیمان



03

❖ مدلسازی یکپارچه چاه نفت در مقطع پرفشار با استفاده از سنگ سیمان پلاستیک



04

❖ بررسی آزمایشگاهی غلاف سنگ سیمان پلاستیک تحت شرایط واقعی و تاثیر آن بر پایداری چاه



از توجه شما (:
سپاسگزارم