



روش‌های عددی در ژئومکانیک

مدل‌سازی شبکه ناپیوستگی‌های توده سنگ
(DFN)

و معرفی نرم‌افزار DFN-FRAC3D

مدرس

مهدی نوروزی

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

دانشگاه صنعتی شاهرود

جلسه هشتم و نهم

بخش اول: مدل سازی هندسی-تصادفی شبکه درزه های مجزا (DFN)

مقدمه

لزوم کاربرد مدل های DFN

تعریف DFN

اطلاعات اولیه برای ساخت مدل DFN

بخش دوم: معرفی نرم افزار DFN-FRAC^{3D}

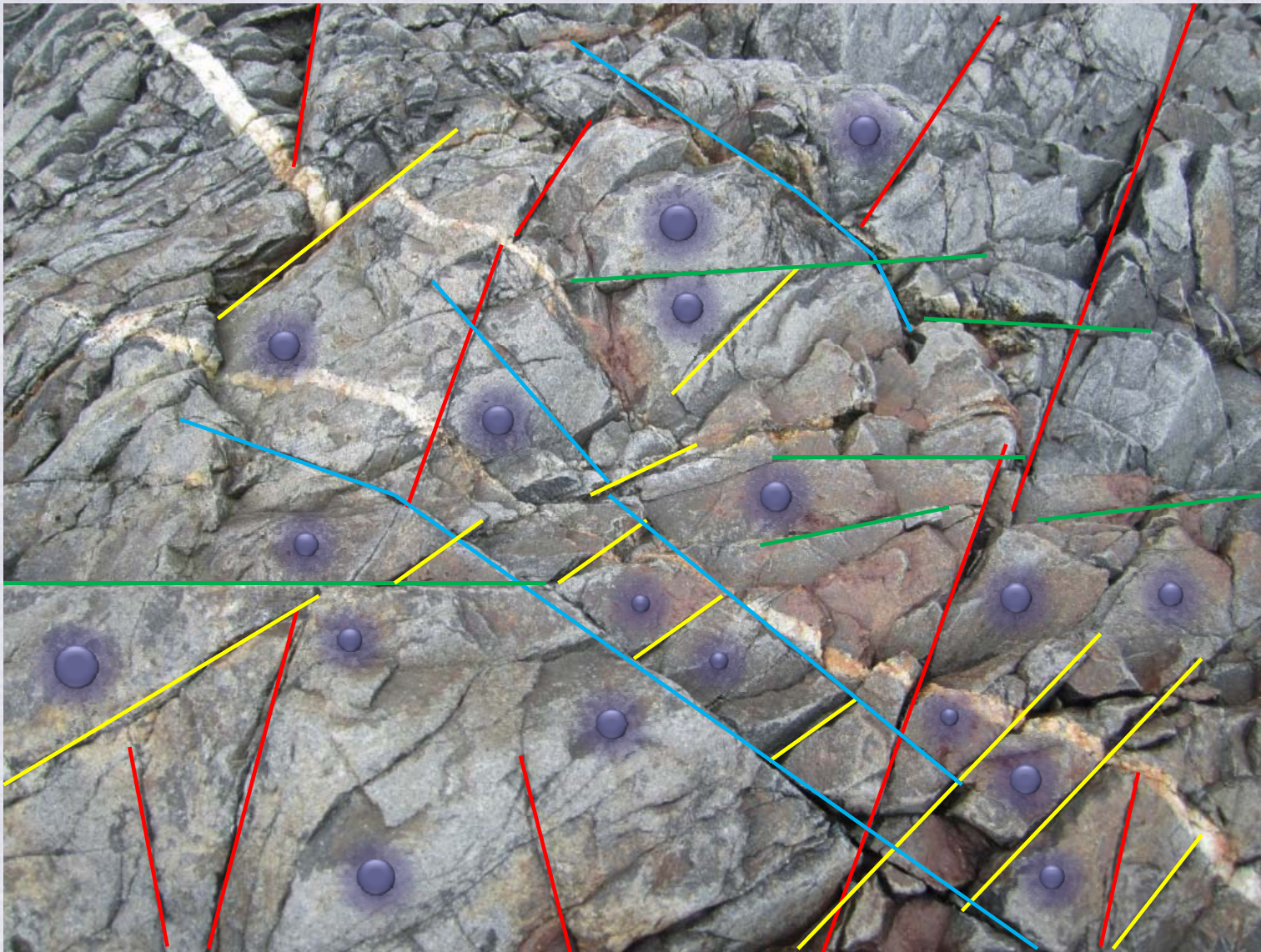
لزوم توسعه نرم افزار مدلساز شبکه درزه DFN-FRAC^{3D}

معرفی نرم افزار DFN-FRAC^{3D}

ویژگی های عمومی نرم افزار DFN-FRAC^{3D} قابل مقایسه با نرم افزارهای تجاری

ویژگی های منحصر بفرد نرم افزار DFN-FRAC^{3D}

ویژگی قابلیت اصلاح (Updatable) نرم افزار DFN-FRAC^{3D}





✓ لزوم مدل سازی توده سنگ

■ حضور الگوهای ناپیوستگی پیچیده

■ طبیعت آماری ذاتی ویژگی های هندسی
ناپیوستگی ها

■ عدم اطمینان ها در خصوص تخمین ویژگی های
هندسی و ژئومکانیکی ناپیوستگی ها

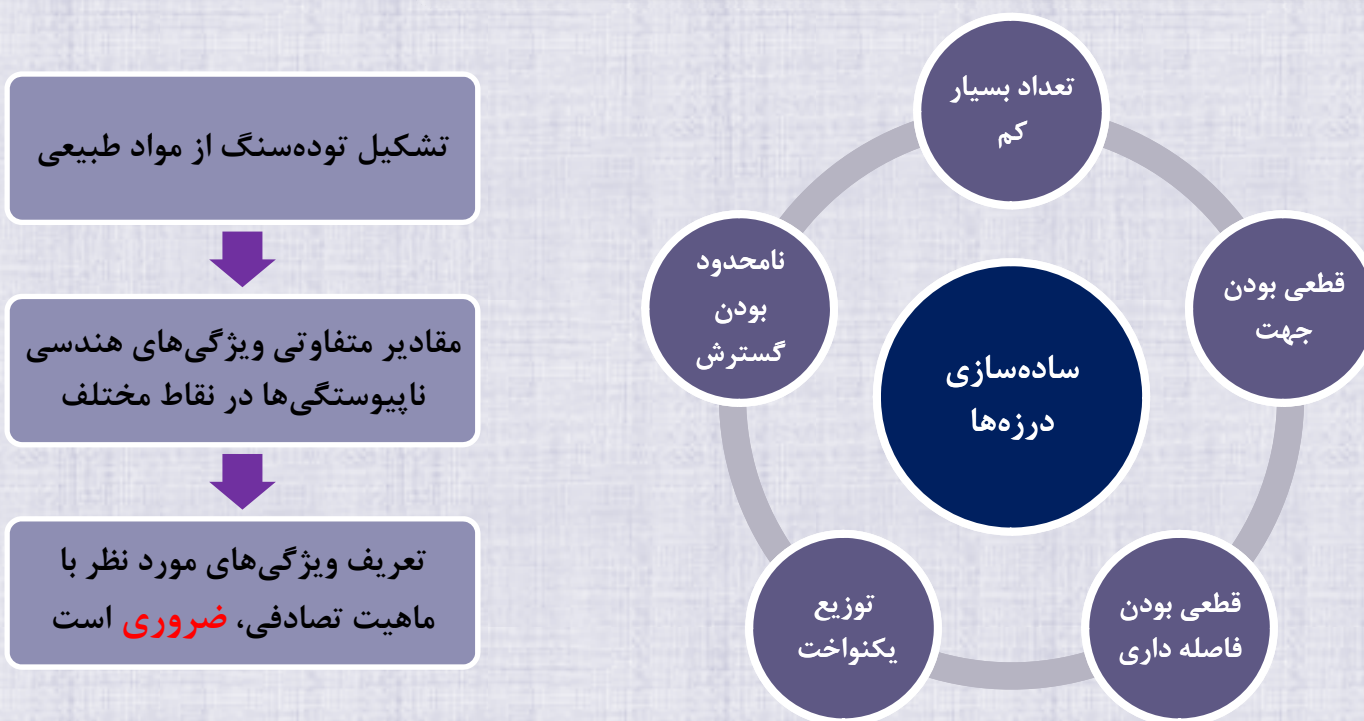


مهمترین مرحله در مدل سازی توده سنگ

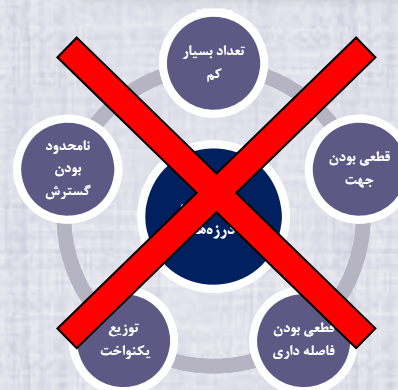
تعریف دقیق شبکه ناپیوستگی ها
(ساخت مدل هندسی)

فراهم آوردن نقطه شروع بهتر برای مدل سازی های عددی و
تحلیل های مکانیکی و هیدرولیکی

کاستی های روش های موجود برای مدل سازی هندسی توده سنگ



دارای توانایی شبیه سازی ماهیت تصادفی ویژگی های هندسی درزه ها



روش مدل سازی تصادفی سه بعدی شبکه درزه های مجزا (DFN: Discrete Fracture Network)

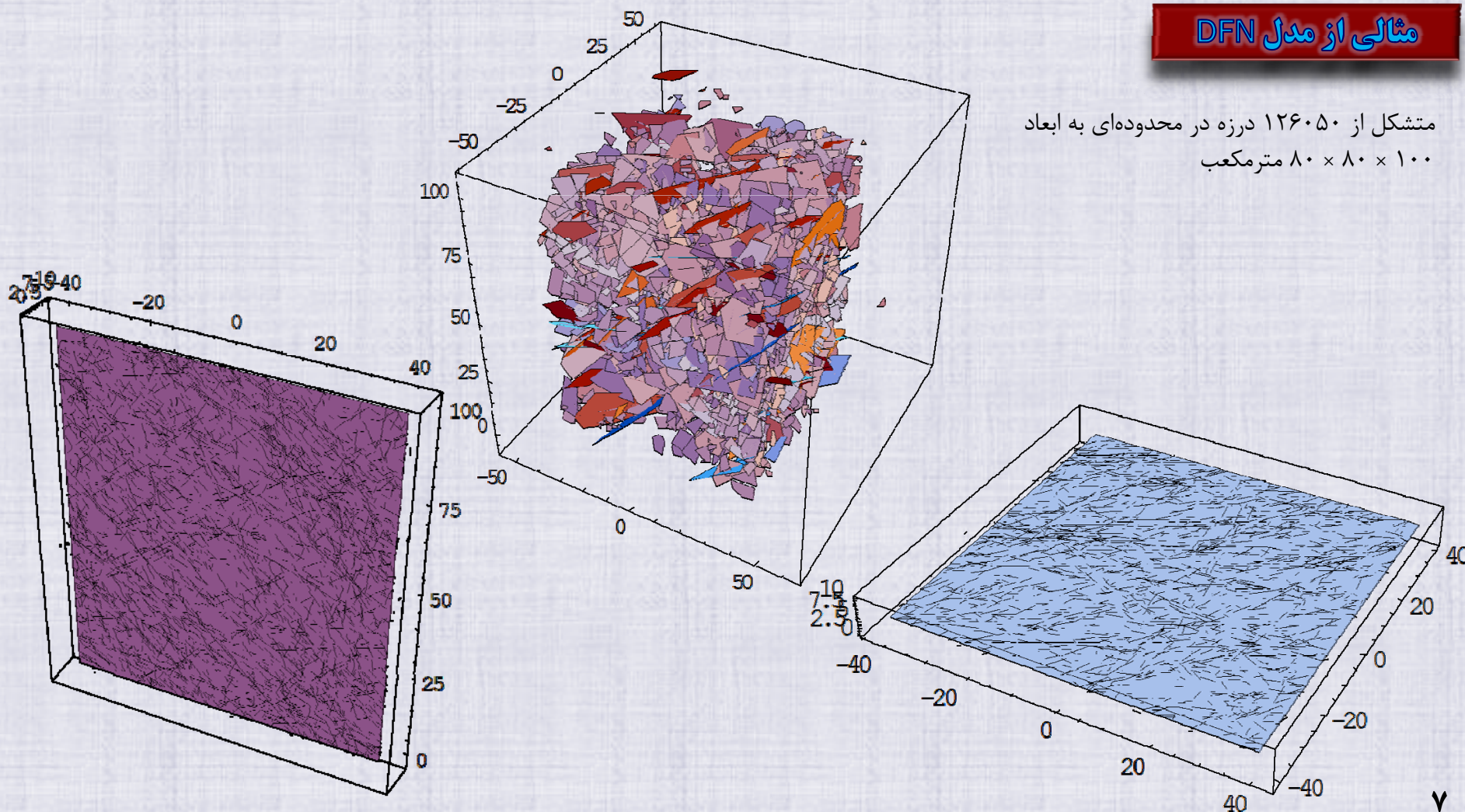


تعریف واقعی تری از توده سنگ

یک مدل DFN، نمایشی از ویژگی های هندسی درزه است بطوریکه در آن درزه ها بطور واضح و از لحاظ آماری بطور دقیق در مدل سه بعدی ارائه می شوند.

مثالی از مدل DFN

مشکل از ۱۲۶۰۵۰ درزه در محدوده ای به ابعاد
۱۰۰ × ۸۰ × ۸۰ متر مکعب



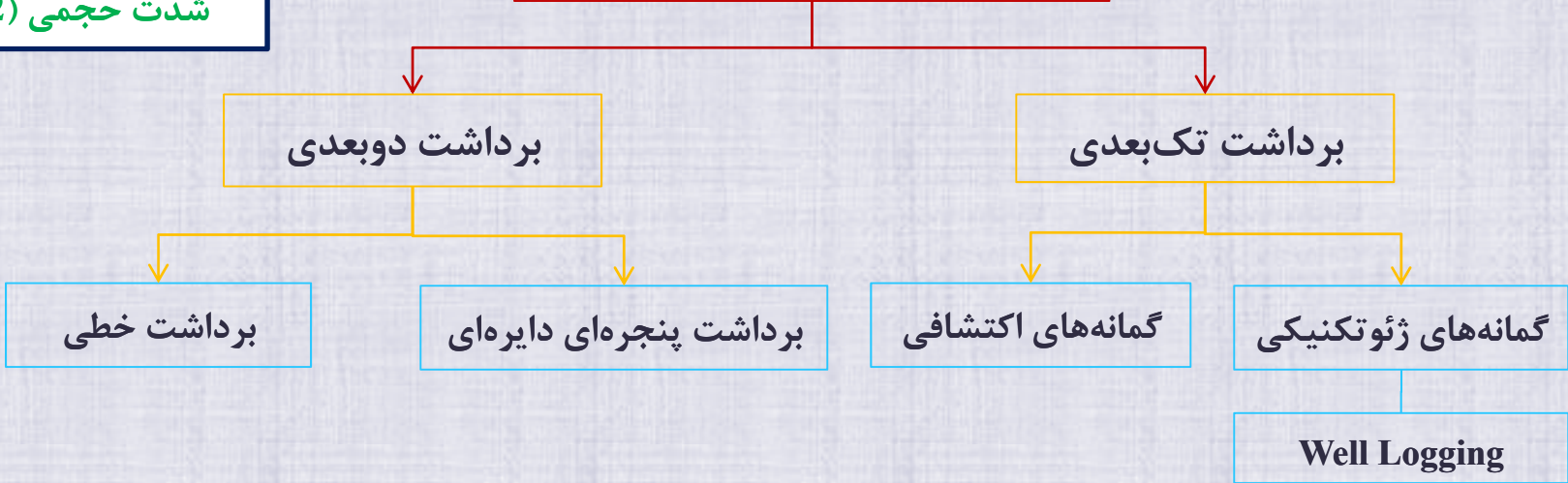
ردیف	پژوهشگر	توضیحات
1	Baecher et al., 1977	جزء اولین مدل-های ارائه شده در زمینه مدل‌سازی تصادفی
2	Veneziano, 1978	
3	Hudson and La Pointe, 1980	آغاز کاربرد مدل‌های تصادفی در زمینه تراوش و جریان سیال
4	Robinson, 1983	
5	Einstein et al., 1983	مدل برآورد احتمال شکست با کاربرد اطلاعات آماری طول و فاصله‌داری درزه
6	Dershowitz and Einstein, 1988	در نظر گرفتن تغییرات در جهت، فاصله-داری و پایایی ناپیوستگی
7	Priest and Samaniego, 1988	توسعه مدل در زمینه تحلیل پایداری بلوک
8	Lee et al., 1990	توسعه مدل سلسله مراتبی دو بعدی
9	Reyes and Einstein, 1991	مدل سلسله مراتبی دو بعدی در ارتباط با فرآیندهای پایه‌ای ایجاد درزه
10	Martel et al., 1991	مدل سلسله مراتبی دو بعدی برای ایجاد اجزاء فراکتالی شکل
11	Yu, 1992	توسعه مدل دو بعدی سلسله مراتبی پیشرفته و رفع محدودیت‌های مدل‌های قبلی
12	Priest, 1993	ارائه مدل سه بعدی با درزه‌هایی به صورت دیسک‌های دایره‌ای و دارای توزیع‌های مناسب
13	Ivanova et al., 1995	توسعه مدل دو بعدی سلسله مراتبی پیشرفته به سه بعد
14	Dershowitz et al., 1998	ارائه نرم افزار تجاری FracMan
15	Meyer and Einstein, 2002	توسعه مدل ایوانووا برای تحلیل ویژگی اتصال هندسی درزه-ها در شبکه درزه
16	Ito and Seol, 2003	ارائه شبیه‌ساز FracMesh برای بررسی جریان و انتقال سیال در محیط متخلخل درزه‌دار
17	Kulatilake et al., 2004	تهیه مدل سه بعدی شبکه درزه و کاربرد آن برای تخمین مقاومت توده‌سنگ
18	Rogers et al., 2007	کاربرد FracMan برای تعریف دقیق خردایش برجای پیش از تخریب در معادن تخریب بلوکی
19	Flynn and Pine, 2007	کاربرد FracMan برای تهیه مدل سه بعدی با استفاده از اطلاعات هندسی برداشت شده
20	Moffitt and Rogers, 2007	بهینه‌سازی حفاری و طراحی نگهداری تونل
21	Grenon and Hadjigeorgiou, 2008	کاربرد تولیدکننده بر اساس مدل ونزیانو برای تحلیل پایداری شیروانی
22	Baghbanan and Jing, 2008	ارائه مدل دوبعدی به منظور در نظر گرفتن وابستگی بین توزیع بازشدگی و طول اثر درزه
23	Xu and Dowd, 2010	ارائه نرم‌افزار سه بعدی FracSim
24	Bang et al., 2012	توسعه مدل باغبانان به سه بعد
25	جوادی و شریف‌زاده، 2012	ارائه برنامه محاسباتی FNETF برای تحلیل عددی جریان آرام در شبکه شکستگی در محیط برنامه‌نویسی MATLAB
26	نوروزی، 2015	تهیه و توسعه نرم افزار DFN-FRAC ^{3D}

اولین مرحله در فرآیند مدل سازی DFN

جمع آوری اطلاعات آماری ویژگی های هندسی ناپیوستگی ها

- شیب و جهت شیب
- فاصله داری
- بازشدگی
- پایایی (طول)
- شدت حجمی (P32)

کاربرد انواع روش های برداشت



برداشت دوبعدی

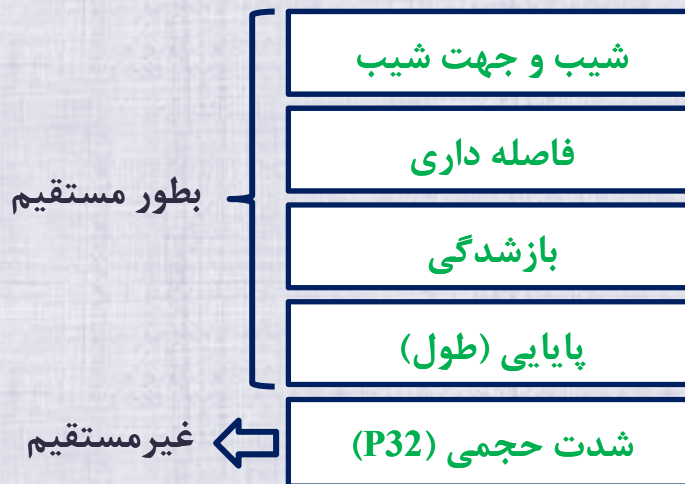
برداشت پنجره‌ای دایره‌ای



برداشت خطی



اطلاعات قابل جمع آوری از ویژگی‌های ناپیوستگی‌ها



قابلیت ساخت مدل DFN بطور دقیق وجود دارد

برداشت تک بعدی

گمانه‌های ژئوتکنیکی

اطلاعات قابل جمع آوری از ویژگی‌های ناپیوستگی‌ها

شیب و جهت شیب

فاصله داری

بازشدگی

شدت خطی (P10)

پایایی (طول)

با فرض پایایی بی نهایت

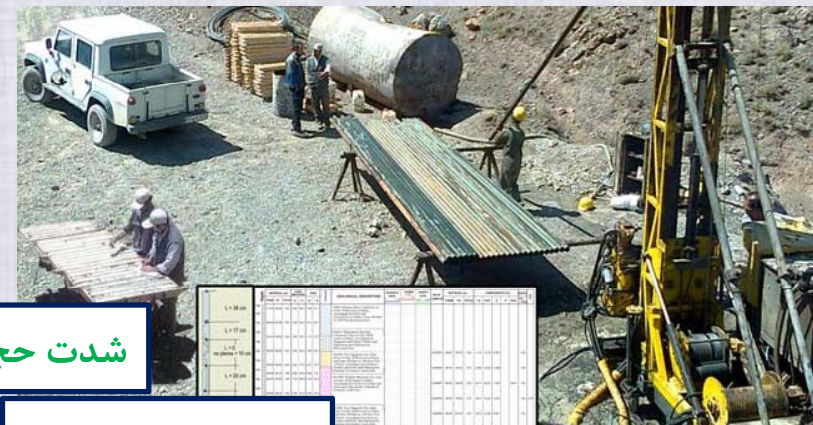
شدت حجمی (P32)

در صنعت نفت

شدت حجمی (P32)

با انجام تحلیل دینامیکی و با کاربرد نرم افزارهایی مثل Eclipse و Petrel بر اساس فرآیندی سعی و خطا

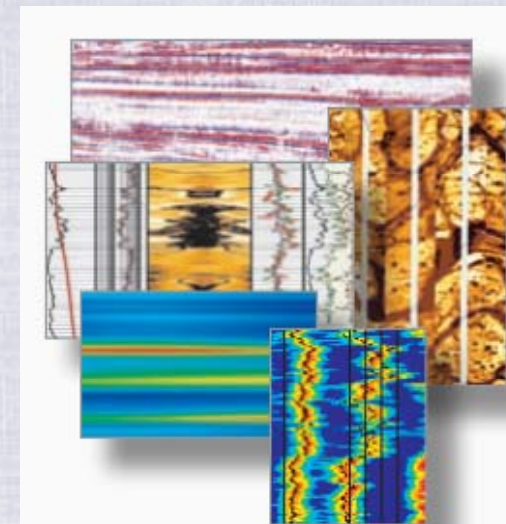
Well Logging



ردیف	تاریخ	شرح	ملاحظات
1	1397/01/01	بازرسی اولیه	
2	1397/01/05	نصب سازه	
3	1397/01/10	آزمایش	
4	1397/01/15	جمع‌آوری داده	
5	1397/01/20	تحلیل نتایج	

قابلیت ساخت مدل DFN وجود دارد

ویدیومتری گمانه



برداشت تک بعدی

گمانه‌های اکتشافی

اطلاعات قابل جمع آوری از ویژگی‌های ناپیوستگی‌ها



فاصله داری



شدت خطی (P10)



قابلیت ساخت مدل DFN وجود ندارد



روش برداشت خطی

نوع سنگ	تعداد درزه‌ها	نوع قطع شدگی (%)			طول اثر متوسط (m)
		R ₂	R ₁	R ₀	
آهکی-دولومیتی	۱۳۷	۷۱	۲۶	۳	۱٫۲

- ۱- درزه‌هایی که هر دو انتهای آنها دیده می‌شود (n)
- ۲- درزه‌هایی که فقط یک انتهای آنها دیده می‌شود (m)
- ۳- درزه‌هایی که هیچ یک از دو انتهای آن دیده نمی‌شود (p)

$$R_0 = \frac{p}{(p + m + n)}$$

$$R_1 = \frac{m}{(p + m + n)}$$

$$R_2 = \frac{n}{(p + m + n)}$$



تونل انحرافی



سطح نمایان سنگی

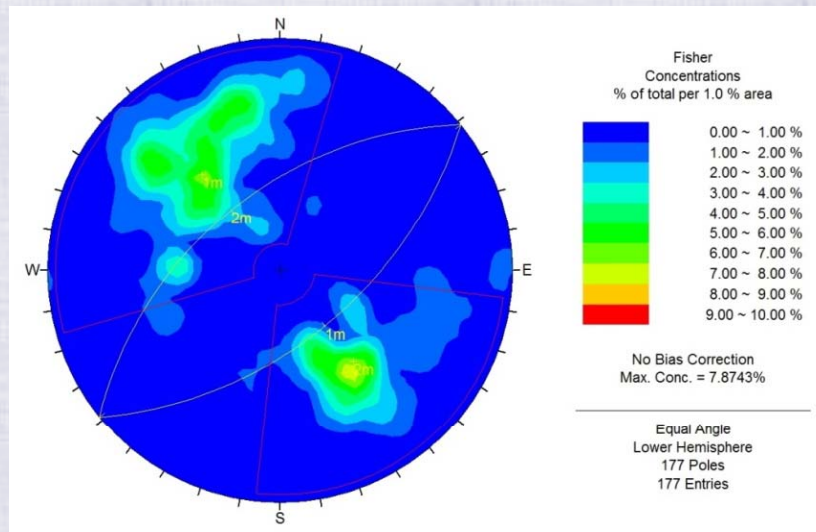


خط برداشت

توزیع جهات درزه

Dips
ver 5.103

✓ برداشت شیب و جهت شیب درزه‌ها



بر اساس تحقیقات قبلی

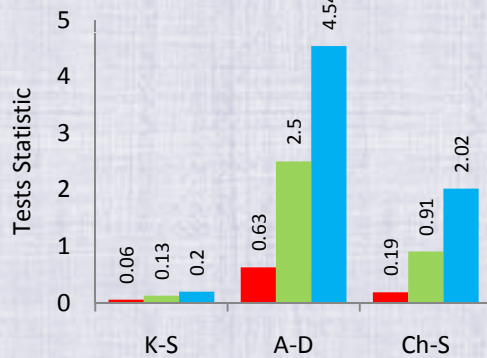
- جهت شیب ← توزیع یکنواخت
- زاویه شیب ← توزیع فیشر

توزیع پایایی درزه

✓ برداشت طول خط اثر درزهها ✓ فرض ویژگی‌های آماری مشابه برای پایایی (سه بعدی) و طول اثر (دو بعدی) درزهها

دسته درزه ۱

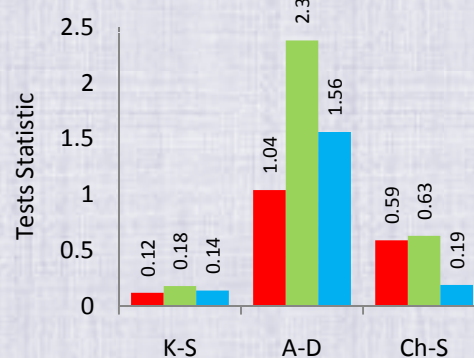
آزمون بهترین برازش



■ Lognormal ■ Exponential ■ Gamma

دسته درزه ۲

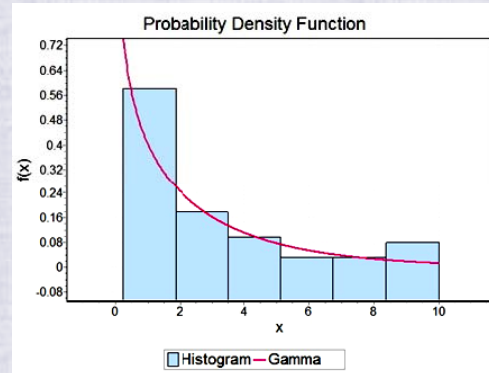
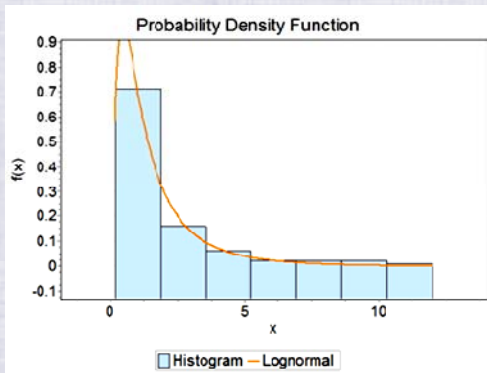
آزمون بهترین برازش



■ Lognormal ■ Exponential ■ Gamma

بر اساس تحقیقات قبلی
 ← نمایی منفی
 ← لاگ نرمال
 ← گاما

پارامترهای توزیع طول					ثابت فیشر (K)	جهت دسته درزه‌ها
انحراف استاندارد (m)	متوسط (m)	پارامتر تابع	پارامتر تابع	تابع توزیع		
۲,۱۷	۱,۸۱	$\mu = ۰,۱۲۱$	$\sigma = ۰,۹۳۷$	لاگ نرمال	۹,۹	دسته ۱ (۵۶/۱۴۱)
۲,۸۴	۲,۴۲	$\beta = ۰,۳۳۴$	$\alpha = ۰,۷۲۶$	گاما	۱۶,۳	دسته ۲ (۵۲/۳۲۰)



شدت حجمی درزه (P32)

تبدیل اطلاعات دو بعدی اثر ناپیوستگی به اطلاعات سه بعدی پایایی

لاگ نرمال

$$E(D) = 2 \left(\frac{2.2}{\mu_l} + \frac{6.96\sigma_l^2}{\mu_l^3} \right)^{-1}$$

Beacher et al., 1977

Beacher and Lanney, 1978

$$E(D) = \frac{128\mu_l^3}{3\pi^3(\mu_l^2 + \sigma_l^2)}$$

Zhang and Einstein, 2000

نمایی منفی

$$E(D) = \frac{2\mu_l}{\pi}$$

Dverstorp and Andersson, 1989

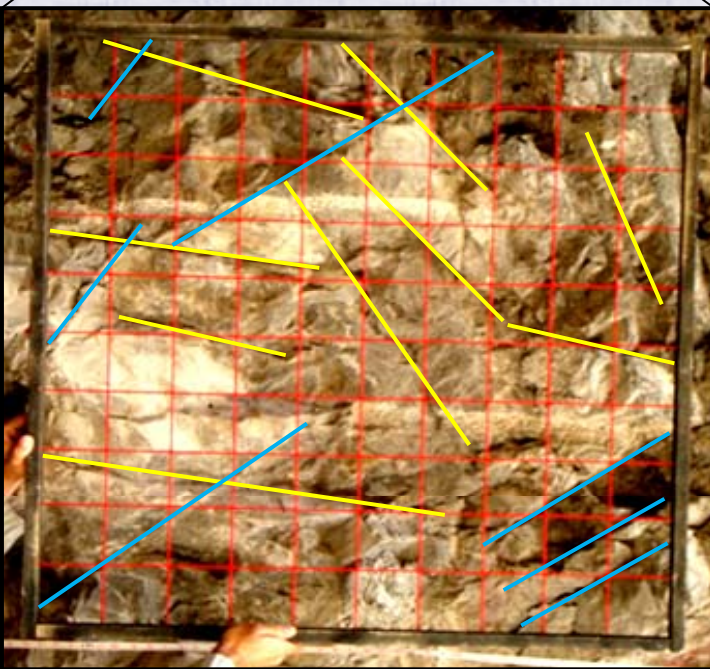
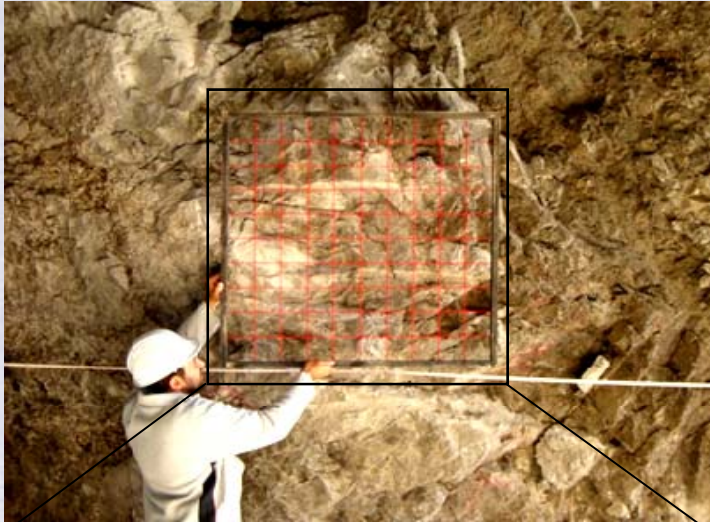
$$E(D) = \frac{2}{\pi} \mu_l \text{ and } V(D) = E(D)^2$$

Zhang and Einstein, 2000

گاما

$$E(D) = \frac{64\mu_l^2 - 3\pi^2(\mu_l^2 + \sigma_l^2)}{8\pi\mu_l}$$

Zhang and Einstein, 2000



مهمترین نرم افزارهای موجود برای مدل سازی به روش DFN

FracMan

FRACA

NAPSAK

3FLO

DFN-FRAC^{3D}

بومی سازی

عدم وابستگی

تکمیل نرم افزارهای
موجود

اهداف

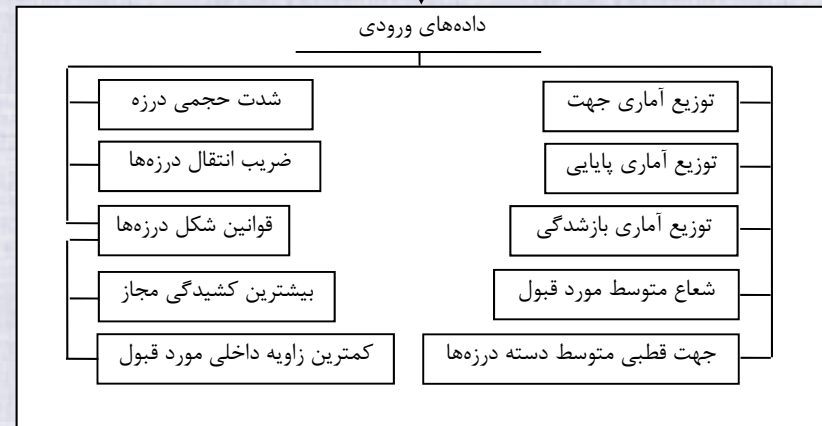
بخش دوم معرفی نرم افزار DFN-FRAC^{3D}

```

double MeanArea, MeanA;
ofstream out;
char strike, dip;
double angleD, angleDip, ratioD;
double ratioMA, CA, gama;
#define x1(a, b, f) (-b+sqrt(f))/(2*a)
#define x2(a, b, f) (-b-sqrt(f))/(2*a)
#include "polar.h"
#include "cartesian.h"
#include "point.h"
#include "line.h"
#include "surface.h"
#include "volume.h"
#include "plane.h"
#include "polygon.h"
#include "listpol.h"
#include "listline.h"
#include "stat.h"
time_t time(time_t *tloc);
double Random01();
double Random0a(double);
double RandomBC(double, double);
double exp_value(double);
int PoissonN(double, double);
Polar ran_uniformn_orientation();
Polar uniform_max_phi_orient(double);
Polar constant_orientation();
Polar Fisher_orientation(double);
Polygon make_initial(Plane&, Volume&);
ListPolygons Poisson_lines_on_polygon(Polygons
    
```

ایجاد حجم مدل سازی
(Z, Y, X صفحات) ✓

داده‌های ورودی



تولید موقعیت مرکز درزه‌ها بر اساس فرآیند پواسونی ✓

تولید صفحات درزه دسته درزه ✓

مفروش سازی خطی پواسونی صفحه درزه با چندضلعی‌ها ✓

انتخاب چندضلعی‌ها به عنوان درزه بر اساس شکل و اندازه مناسب و حذف سایر چندضلعی‌ها ✓

انتخاب چندضلعی‌ها به عنوان درزه بر اساس برازش بر توزیع آماری پایایی مطلوب و حذف سایر چندضلعی‌ها ✓

اختصاص بازشدگی به چندضلعی‌ها بر اساس همبستگی بین توزیع خاص پایایی و توزیع لاگ نرمال بازشدگی ✓

انتقال چندضلعی‌های درزه از صفحه اصلی آنها برای در نظر گرفتن ویژگی غیر هم‌صفحه‌ای درزه‌ها ✓

اعتبارسنجی مدل تولید شده

ایجاد خروجی گرافیکی و رقمی مدل سه بعدی، صفحات مقطع و اثرهای درزه ✓ ۱۸

ورودی برنامه

```

INPUT - Notepad
File Edit Format View Help
Line 1 : 40.
Line 2 : 40.
Line 3 : 100.
Line 4 : 0.01 100.
Line 5 : 2
Line 6 : 0
Line 7 : y y y
Line 8 : y y y
Line 9 : y
Line 10 : 0. 1. 0. 5.
Line 11 : 0. 0. 1. 5.
Line 12 : 0.3
Line 13 : 10.0
Line 14 : 1.04720
Line 15 : 0.937 0.121
Line 16 : 0.726 3.334
Line 17 : 0.5
Line 18 : 1.6
Line 19 : 48
Line 20 : .05 .1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 .8 .9 1. 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 2.2 2.4 2.6 2.8 3.0
          3.2 3.4 3.6 3.8 4.0 4.2 4.4 4.6 4.8 5.0 5.2 5.4 5.6 5.8 6.0 6.5 7.0 7.5
          8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 11.0 12.0 13.0 14.0
Line 21 : 0.60
Line 22 : 2.4609 0.9773
Line 23 : f
Line 24 : L
Line 25 : 1.0
Line 26 : 1.02
Line 27 : 0.25
Line 28 : 5.5850 0.9075
Line 29 : f
Line 30 : G
Line 31 : 1.0
Line 32 : 1.40
Line 33 : 11
Line 34 : 0.25 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 5.0 7.5
    
```

حجم مدل سازی

حدود کمینه و بیشینه اندازه نسبی درزه‌ها

تعداد دسته درزه‌ها

تعداد نواحی با شدت درزه‌های مختلف

خروجی گرافیکی و متنی مطلوب (سیستم سه بعدی، رخنمون افقی، رخنمون عمودی)

تولید نمونه‌های تصادفی و خروجی‌های متنی بر اساس ساختار ورودی نرم افزار PFC3D

ضرایب معادلات صفحات مقطع افقی و عمودی

زاویه ارتفاع بیشینه، برای PDF یکنواخت جزئی جهات صفحه

قابث فیشر برای PDF فیشر جهات صفحه

ضرایب PDF های لاگ نرمال، گاما و نمایی منفی برای پایایی درزه

زاویه کمینه و کشیدگی بیشینه مورد قبول برای درزه

تعداد فواصل اندازه برای محاسبه PDF پایایی درزه‌ها

مقادیر حدود بالا و پایین فواصل اندازه

شدت حجمی درزه

جهت قطبی متوسط صفحات دسته درزه

نوع PDF موردنظر جهات صفحات درزه

نوع PDF موردنظر پایایی صفحات درزه

ضریب انتقال پلی گون‌ها

مقدار متوسط شعاع درزه‌ها برای اولین دسته درزه

تعداد نمونه تصادفی موردنظر در داخل بلوک بزرگ DFN

اندازه‌های پایه نمونه‌های مکعب مستطیلی (با نسبت ارتفاع به عرض ۲)

مشخصات درزه های تولید شده

خروجی برنامه

متنی

تصویری

تعداد درزه ها

در هر سطر مختصات یک راس از پلی گون (X,Y,Z)

به ترتیب مساحت، شعاع معادل و مختصات مرکز درزه

```

FRACTURES - Notepad
File Edit Format View Help
N PO1 144535
-40.6674 39.0674 95.4238
-40.6674 38.1966 95.936
-38.6817 38.0261 97.1695
-38.6829 40.6878 95.6035
-39.2256 40.6878 95.2937
5.10223 1.2744 -39.585 39.3331 95.8853
-8.28207 38.8704 96.9343
-9.83187 38.9629 96.183
-10.0263 37.3638 96.7225
-7.97089 38.353 97.2814
-8.03091 38.4895 97.2
2.26809 0.849679 -8.82841 38.4079 96.8642

5.08625 14.266 47.6213
4.14523 12.5071 49.2008
3.94755 11.8342 50.0392
6.70085 13.8179 50.6979
7.33001 15.1595 49.3654
7.27217 15.2793 49.0819
9.07234 1.69936 5.74701 13.8107 49.3344

3.0906 -26.314 82.4144
2.55947 -26.0531 83.0498
2.18941 -26.7781 82.7071
2.35146 -26.9096 82.4683
0.51701 0.405671 2.54774 -26.5137 82.6599

-41.788 34.107 90.3633
-41.788 33.4666 90.6153
-41.6718 33.3682 90.7076
-41.5232 33.4359 90.7495
-41.0779 34.2573 90.6317
-41.6583 34.2859 90.3528
0.477107 0.389702 -41.5845 33.8201 90.57

-17.6345 33.0264 93.4184
    
```



مشخصات اثرهای درزه تولید شده

```

PLAN - Notepad
File Edit Format View Help
N LINE 2229
-40.7296 32.3188 5
-40.2317 32.6619 5
length 0.604734
-2.85001 36.9023 5
-2.38065 37.1874 5
length 0.549186
7.03424 34.4265 5
6.53481 34.3349 5
length 0.507745
-30.0742 26.2574 5
-28.6619 26.5163 5
length 1.43587
23.6909 36.7757 5
20.9098 36.2659 5
length 2.82742
-29.4635 4.36336 5
-28.9505 8.31336 5
length 3.98317
-18.8715 14.6425 5
-20.7462 13.4457 5
length 2.22416
  
```

تعداد خطوط اثر درزه‌ها

مختصات ابتدا و انتهای خطوط

طول خط اثر درزه

خروجی برنامه

متنی

تصویری

توابع توزیع تجمعی برازش شده بر طول و بازشدگی

$$\frac{F_A(h) - F_A(h_a)}{F_A(h_b) - F_A(h_a)} = \frac{F_L(l) - F_L(l_a)}{F_L(l_b) - F_L(l_a)}$$

تابع توزیع تجمعی لاگ نرمال $F(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left[\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma\sqrt{2}} \right]$

تابع توزیع تجمعی گاما $F(x) = 1 - \sum_{k=0}^{n-1} \frac{e^{-\beta x} (\beta x)^k}{k!}$

تابع توزیع تجمعی نمایی منفی $F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$

مقادیر بازشدگی درزه در مقابل شعاع درزه تولید شده بر اساس همبستگی آماری آنها

شعاع درزهها بر حسب متر

File	Edit	Format	View	Help
Npo1 All Fracture 2356				
center				
-58.504	34.3568	95.6741	dip	strike
-29.4903	33.7594	66.4868	35.2377	-162.281
-25.4462	23.3398	62.9467	35.2377	-162.281
-12.7414	-18.9236	87.1816	35.2377	-162.281
-20.6995	-34.5072	107.692	35.2377	-162.281
-7.72185	25.3956	85.7014	35.2377	-162.281
47.3426	-61.2988	8.82592	54.0596	-138.828
-19.9979	-38.4211	87.5141	35.2377	-162.281
-9.80997	2.95394	88.0076	35.2377	-162.281
-8.27714	-48.7067	35.5222	35.2377	-162.281
-19.009	33.8588	62.6476	19.7997	-162.589
-45.3907	24.7541	80.2551		
			radius	aperture
			2.64547	0.0062875
			5.51795	0.00814375
			5.26069	0.00814375
			14.985	0.00984531
			4.98484	0.00783438
			18.9578	0.01
			0.796124	0.00303906
			2.60895	0.0062875
			13.2235	0.00969063
			1.52171	0.00474063
			9.78257	0.00938125

بازشدگی درزهها



ویژگی‌های آماری درزه‌ها و خطوط اثر درزه‌ها

```
File Edit Format View Help

EXPECTED FRACTURE INTENSITY 0.6
PLANE INTENSITY 1.5
EXPECTED RADIUS AREA 1.02 3.26851
LINE INTENSITY 1.45416

EXPECTED FRACTURE INTENSITY 0.25
PLANE INTENSITY 0.625
EXPECTED RADIUS AREA 1.4 6.15752
LINE INTENSITY 1.05946

Mean SD Total N P32 3.79627 7.48477 548694 144535 0.857334
profile length mean sd total P21 1.78656 1.3833 5345.39 0.668174
plan length mean sd total P21 1.803 1.37668 4173.94 0.652179
```

مقادیر ورودی شدت، شعاع و مساحت درزه

متوسط، انحراف استاندارد، مقدار کل مساحت، تعداد درزه و P32 محاسبه شده برای کل درزه‌ها

مقادیر نام برده برای اثرهای درزه در مقطع عمودی و افقی

متنی

تصویری

خروجی برنامه

توزیع اندازه‌های درزه‌های تولید شده

Size	Count
0.1	23615
0.2	16932
0.3	12914
0.4	10542
0.5	8765
0.6	7377
0.7	6342
0.8	5445
0.9	4755
1	4187
1.2	6988
1.4	5580
1.6	4514
1.8	3704
2	3055
2.2	2497
2.4	2122
2.6	1852
2.8	1533
3	1394
3.2	1192
3.4	1017
3.6	834
3.8	774
4	658
4.2	592
4.4	542
4.6	425
4.8	414
5	371
5.2	329

اندازه درزه‌ها بر حسب
متر مربع

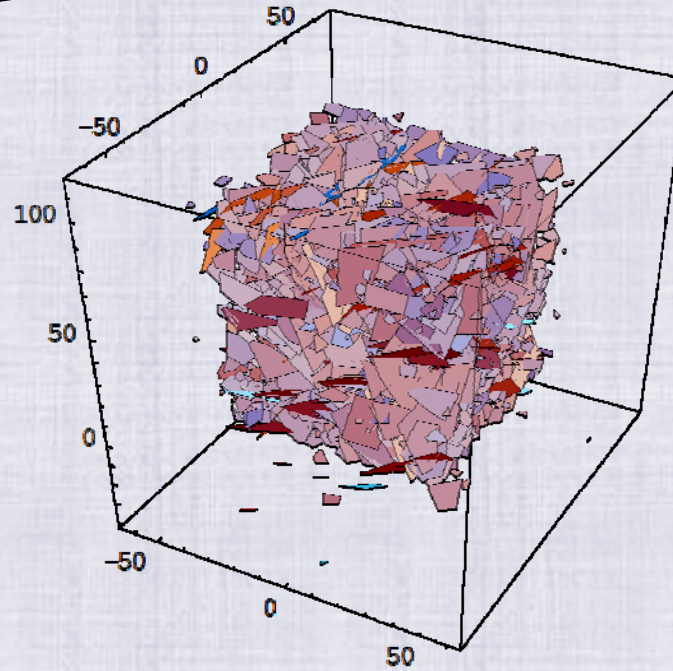
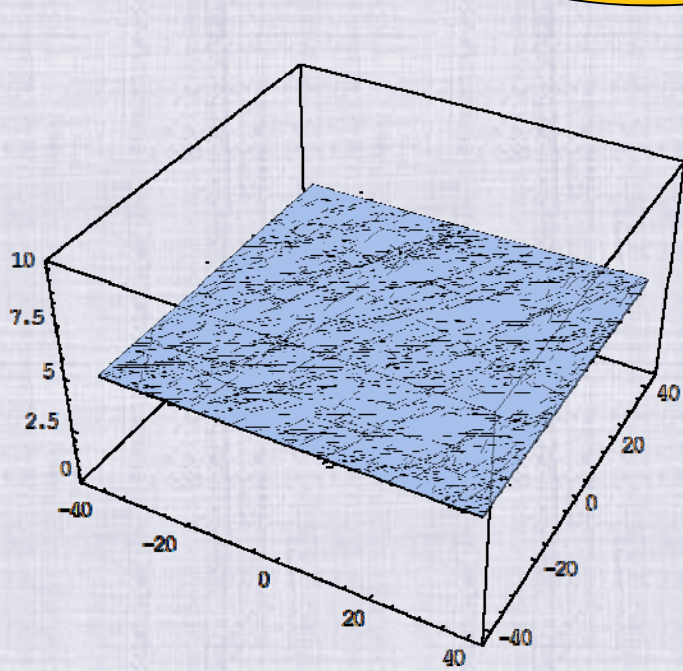
تعداد درزه‌ها در هر بازه اندازه درزه

Mathematica

متنی

تصویری

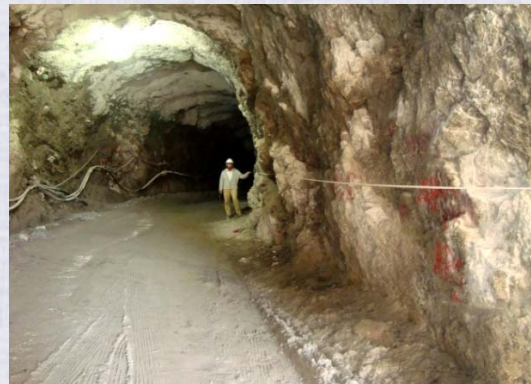
خروجی برنامه



۱۰۰×۸۰×۸۰ متر مکعب

دو دسته درزه اصلی

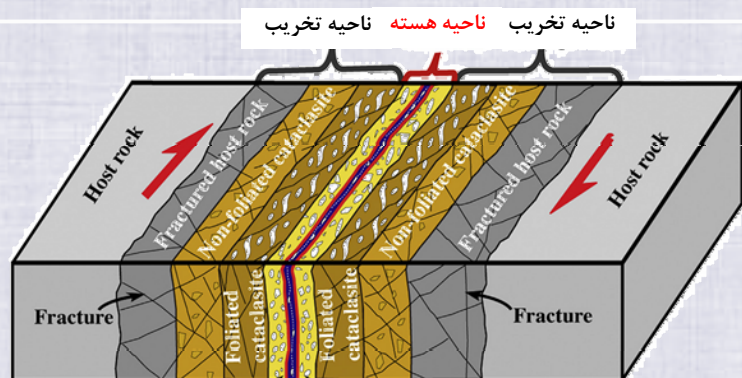
۱۴۴۵۳۵ درزه







توسعه مدل سازی تصادفی الگوی درزه داری در اطراف ساختارهای زمین شناسی



نواحی کسلی

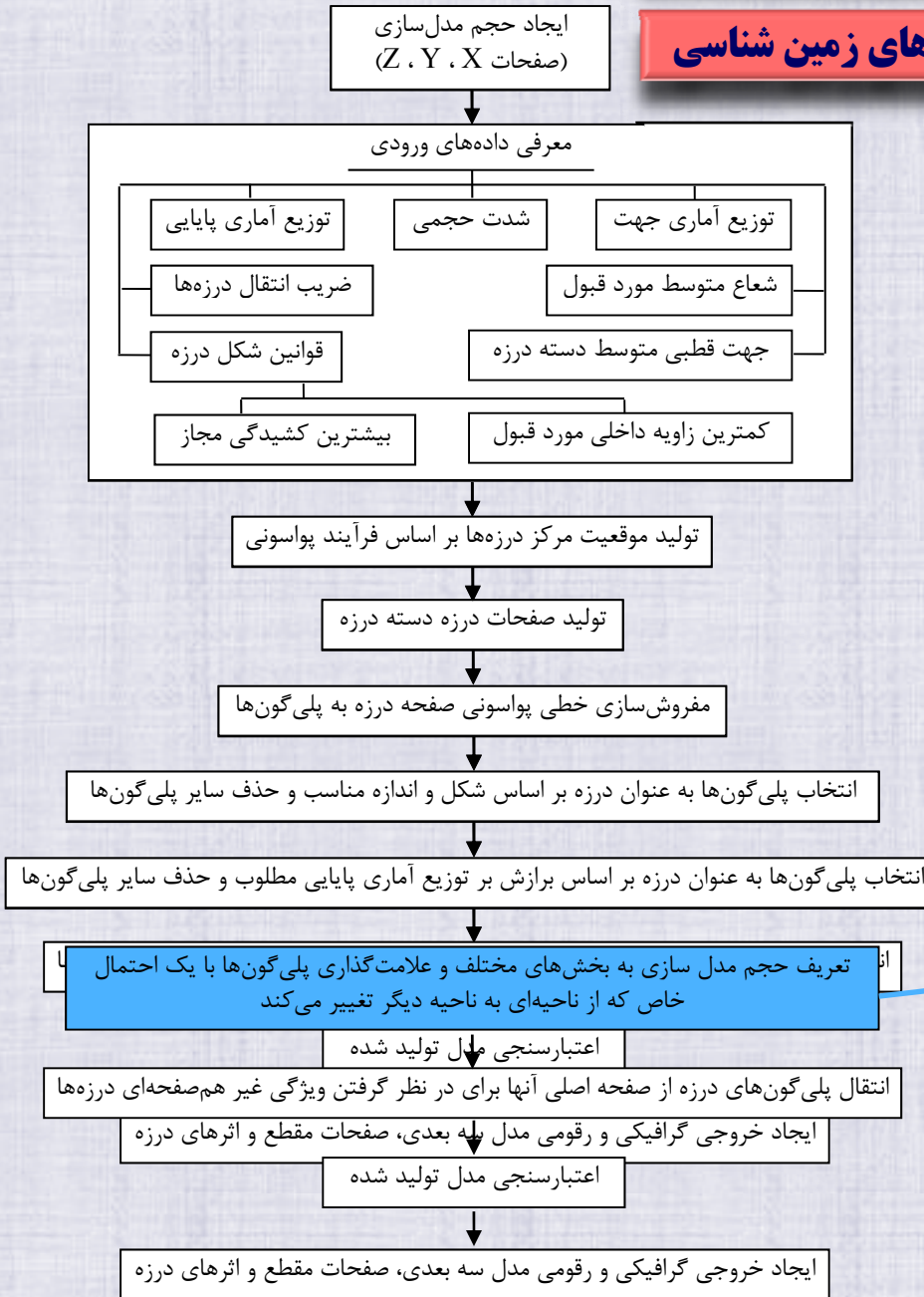
کنترل ویژگی های مکانیکی و هیدرولیکی توده سنگ

عاملی مهم در پایداری شیب های سنگی و حفاری های زیرزمینی (مخصوصا در معدنکاری تخریب بلوکی)

امکان تقسیم نواحی مختلف سنگ مخزن با توزیع درزه داری مختلف

نتایج بررسی ها نشان داده است که چگالی درزه ها با دور شدن از هسته ساختارهای زمین شناسی، طی یک روند نمایی یا خطی کاهش می یابد

توسعه مدل سازی تصادفی الگوی درزه داری در اطراف ساختارهای زمین شناسی



DFN-FRAC^{3D}

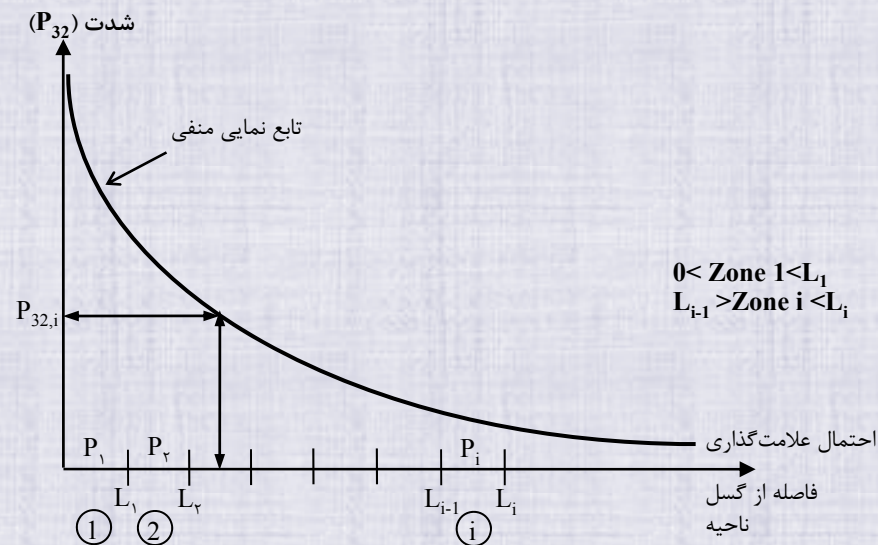
ابزار اصلاح شدت درزه (P_{32}) را در نواحی مختلف حجم مدل سازی

در هر فاصله مشخصی از گسل، Zone 1 ... Zone i، چندضلعی های تولید شده توسط مدل، با احتمال P_i به عنوان درزه انتخاب می شوند. مقدار احتمال P_i در حجم V_i (ناحیه i) از رابطه زیر محاسبه می شود.

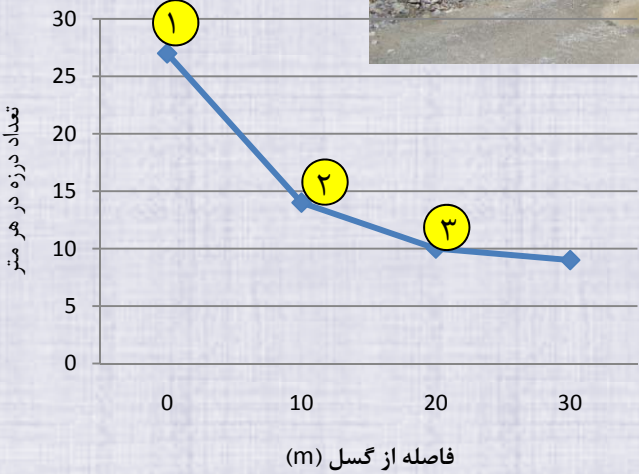
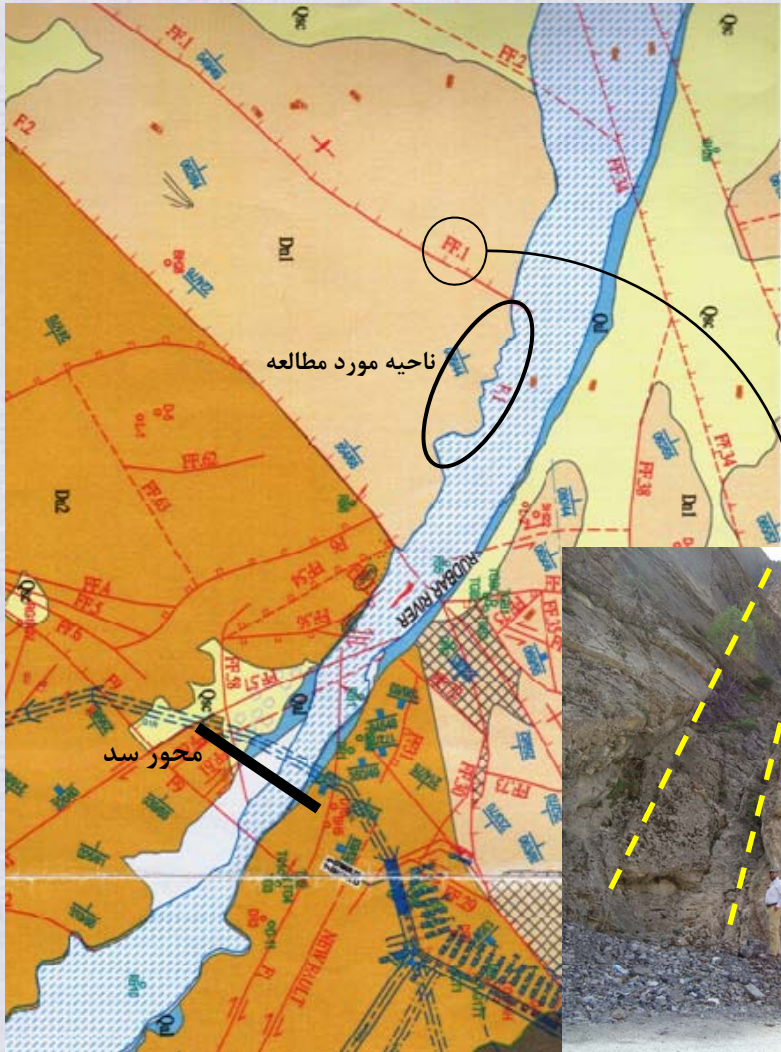
$$P_i = \frac{P_{32,i}}{P_{32,max}}$$

$P_{32,max}$ شدت درزه در نواحی مجاور با گسل

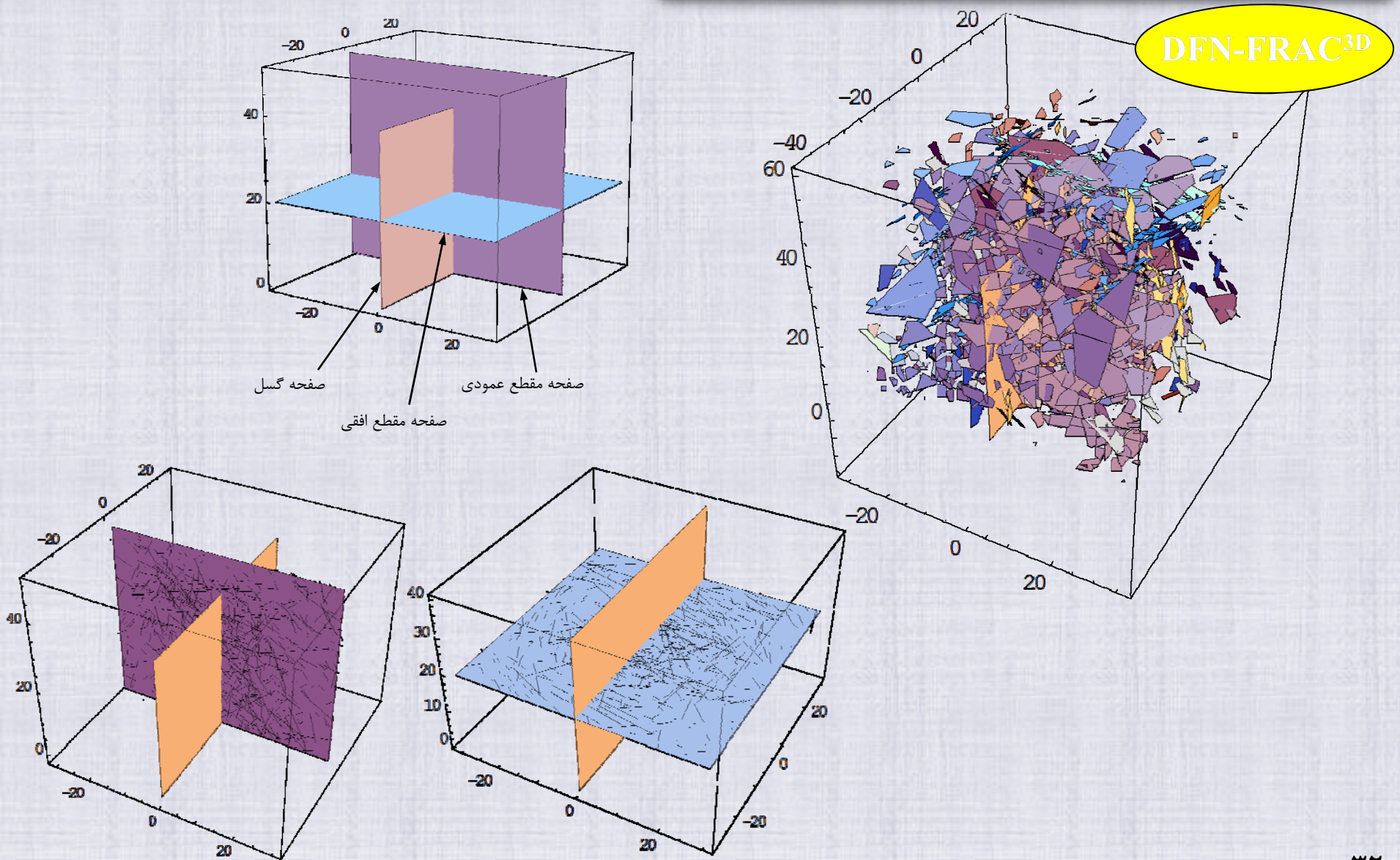
$P_{32,i}$ شدت درزه در ناحیه i



توسعه مدل سازی تصادفی الگوی درزه داری در اطراف ساختارهای زمین شناسی (برای مثال یک گسل)



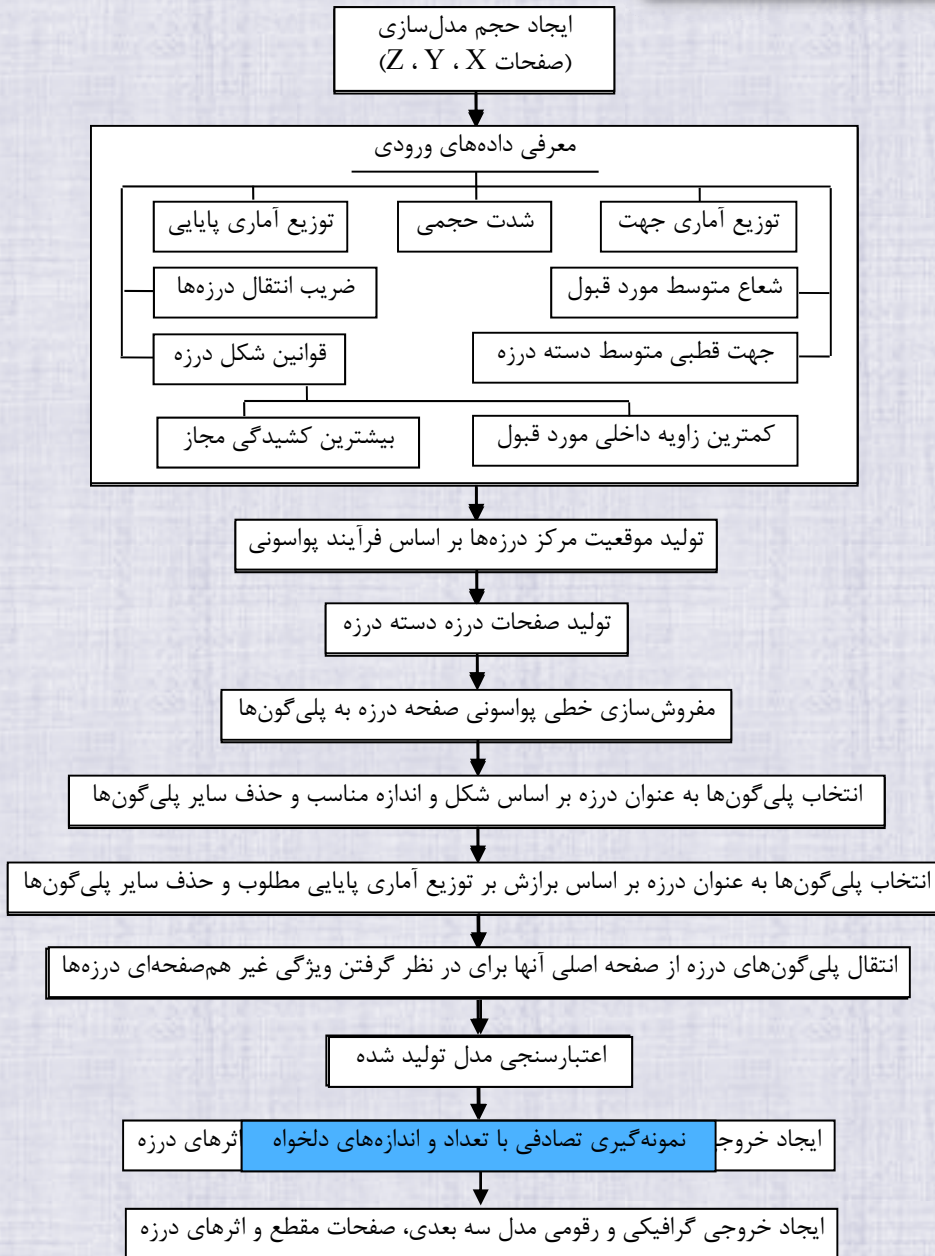
توسعه مدل سازی تصادفی الگوی درزه داری در اطراف گسل ها





توسعه نمونه گیری تصادفی با تعداد و اندازه های دلخواه

DFN-FRAC^{3D}



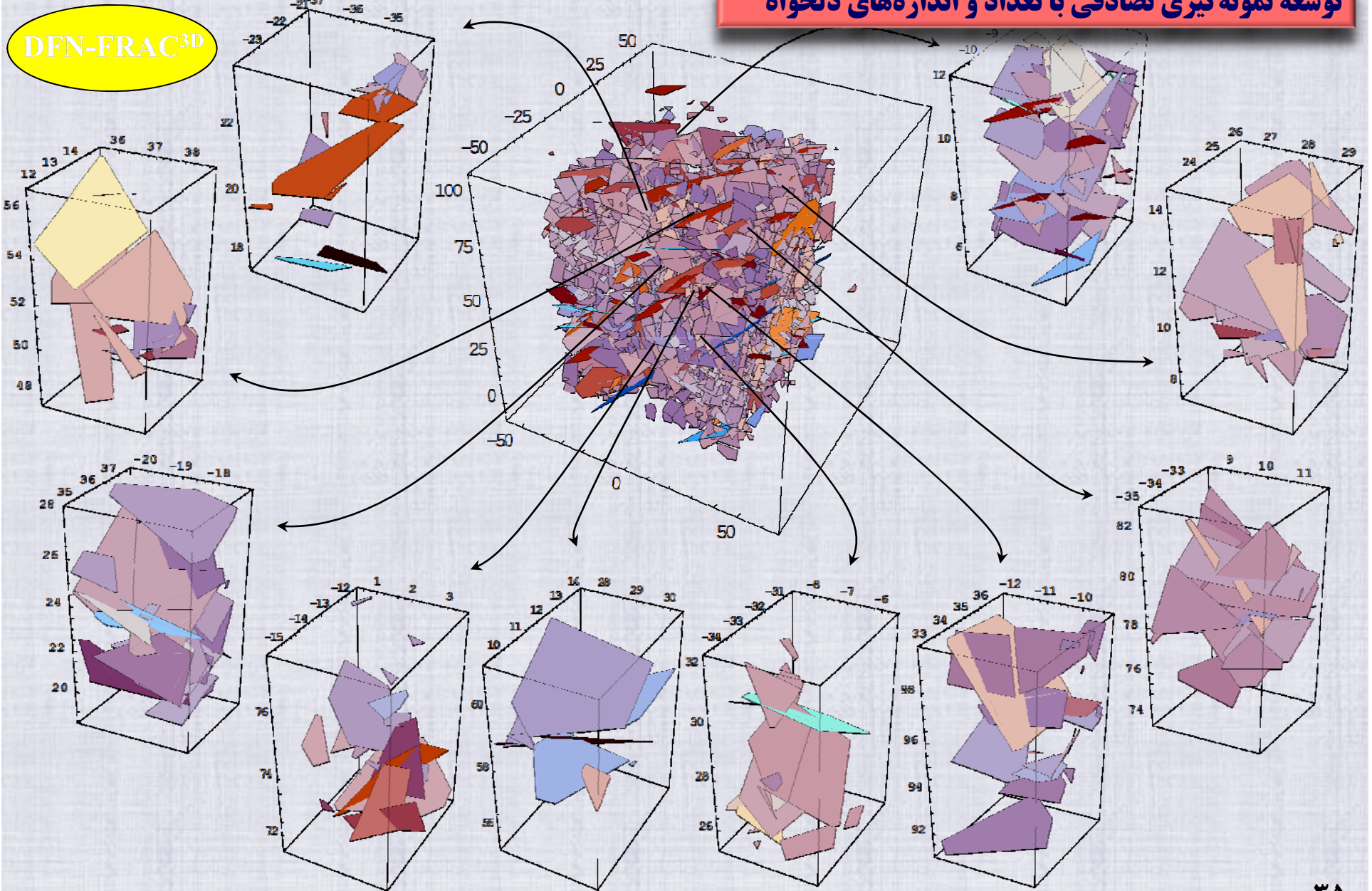
```

INPUT - Notepad
File Edit Format View Help
Line 1 : 40.
Line 2 : 40.
Line 3 : 100.
Line 4 : 0.01 100.
Line 5 : 2
Line 6 : 0
Line 7 : y y y
Line 8 : y y y
Line 9 : y
Line 10 : 0. 1. 0. 5.
Line 11 : 0. 0. 1. 5.
Line 12 : 0.3
Line 13 : 10.0
Line 14 : 1.04720
Line 15 : 0.937 0.121
Line 16 : 0.726 3.334
Line 17 : 0.5
Line 18 : 1.6
Line 19 : 48
Line 20 : .05 .1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 .8 .9 1. 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 2.2 2.4 2.6 2.8 3.0
      3.2 3.4 3.6 3.8 4.0 4.2 4.4 4.6 4.8 5.0 5.2 5.4 5.6 5.8 6.0 6.5 7.0 7.5
      8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 11.0 12.0 13.0 14.0
Line 21 : 0.60
Line 22 : 2.4609 0.9773
Line 23 : f
Line 24 : L
Line 25 : 1.0
Line 26 : 1.02
Line 27 : 0.25
Line 28 : 5.5850 0.9075
Line 29 : f
Line 30 : G
Line 31 : 1.0
Line 32 : 1.40
Line 33 : 11
Line 34 : 0.25 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 5.0 7.5
    
```

تعداد نمونه تصادفی مورد نظر در داخل بلوک بزرگ DFN

اندازه های پایه نمونه های مکعب مستطیلی (با نسبت ارتفاع به عرض ۲)

توسعه نمونه گیری تصادفی با تعداد و اندازه های دلخواه



با توجه به در اختیار داشتن SourceCode نرم افزار، می توان آن را برای موارد مطالعاتی مختلف بسته به نیاز پروژه اصلاح نمود.

مشخصات درزه قابل کاربرد بطور مستقیم توسط نرم افزار المان مجزای PFC^{3D}

```

RS[1][5]
Npol Sample Fracture 2
1 0.805328 0.461825 0.528119
55.9047 45.6375 0.43312
1 0.31321 0.385294 1.41878
67.5075 -161.986 0.65341

RS[1][6]
Npol Sample Fracture 4
1 0.0169026 0.0998662 1.85522
60.1269 -121.092 0.0391075
1 0.0282554 0.441054 0.618204
56.2639 32.6242 0.0708894
1 0.307296 1.21976 1.3164
56.2639 32.6242 0.476516
1 0.129075 0.247169 1.6363
77.3531 -137.267 0.396536

RS[1][7]
Npol Sample Fracture 3
1 0.597522 0.854025 0.0135403
61.5912 37.7058 0.023549
1 0.268674 0.386716 1.42258
21.9974 40.7675 0.437409
1 0.738184 0.229492 0.752423
21.9974 40.7675 0.30146

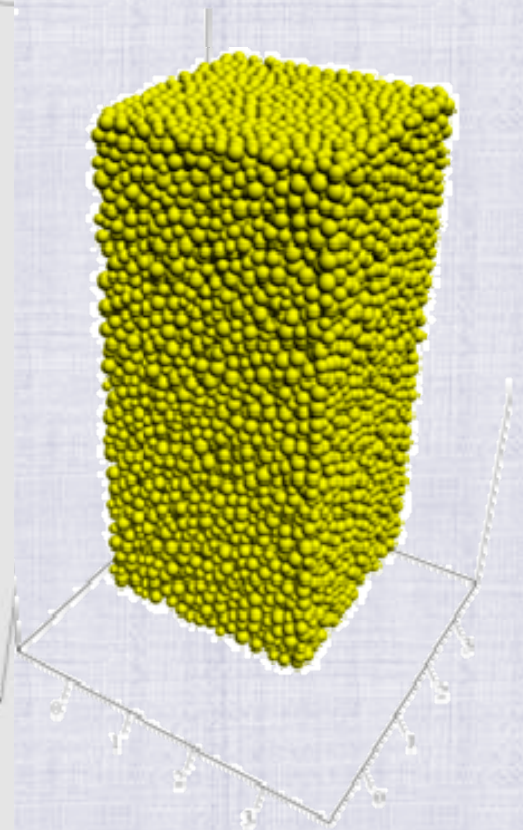
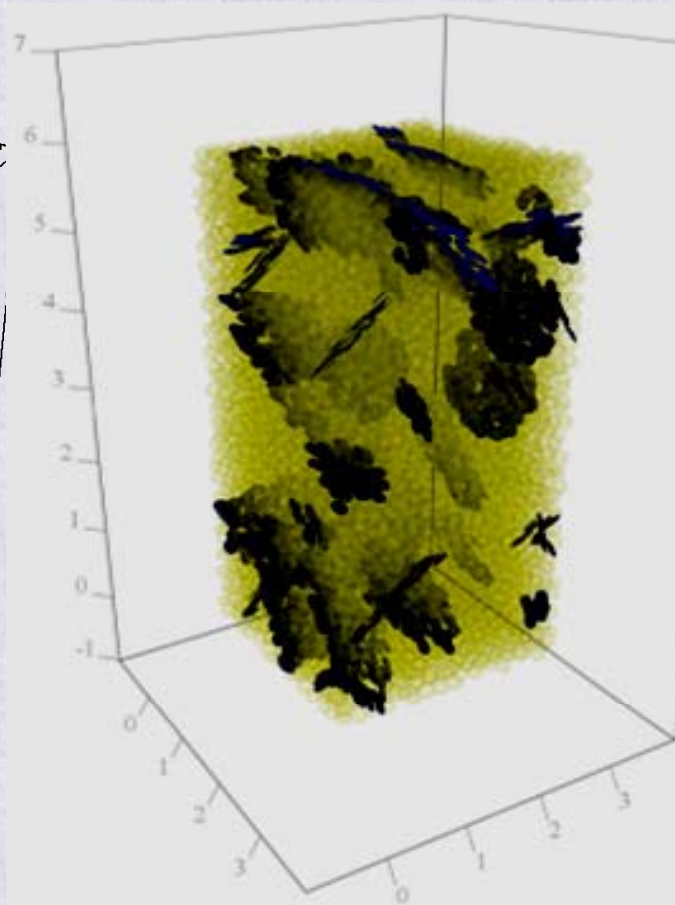
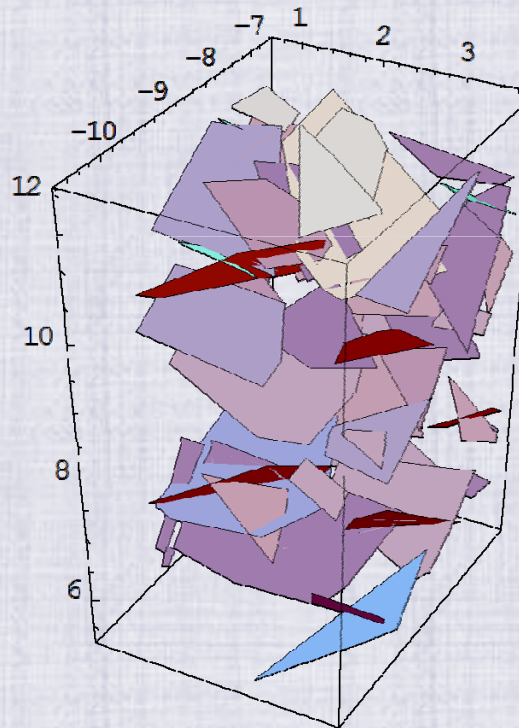
RS[1][8]
Npol Sample Fracture 2
1 0.461699 0.428997 0.676588
47.2548 83.5497 0.624826
1 1.17968 0.562385 1.12338
62.7279 -147.92 0.793561
    
```

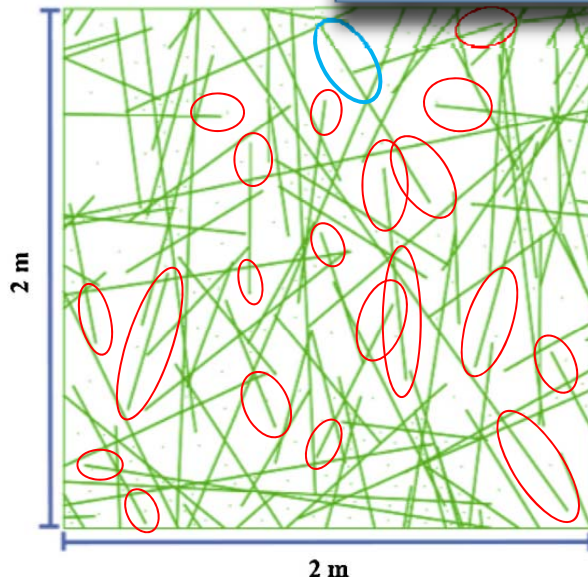
اندیس نمونه تصادفی

تعداد درزه های متقاطع با نمونه

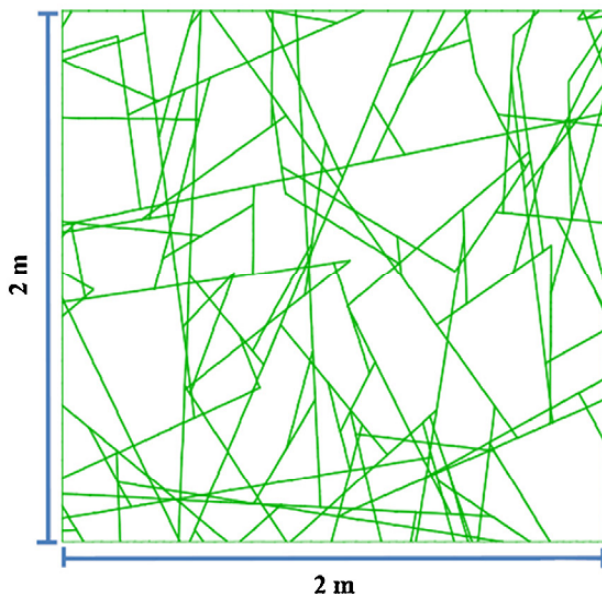
ویژگی های مرکز، شیب، جهت شیب و شعاع درزه مطابق فرمت ورودی PFC^{3D}

تهیه مدل SRM برای توده سنگ درزه دار





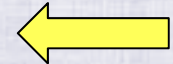
مدل DFN قبل از منظم نمودن دوباره سیستم درزه



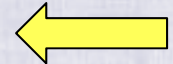
مدل DFN بعد از منظم نمودن دوباره سیستم درزه

معایب کاربرد روش اجزای مجزای UDEC و 3DEC در مقابل PFC

تغییر شبکه درزه



تغییر توزیع تنش



مطالعه انجام شده توسط یانگ و همکاران در سال ۲۰۱۴ نشان داد که حذف انتهای بسته درزه ها سبب حصول نتایج **اشتباه** در تعیین ویژگی های توده سنگ های درزه دار می شود

خرد شدن بلوک سنگی

~~درزه های~~

ترک زایی اولیه



پایان