

# ALAŞEHİR JEOTERMAL SAHASININ AYRIK ÇATLAK AĐ MODELLEMESİ

GT'2019 TÜRKİYE JEOTERMAL KONGRESİ

6-7 Őubat 2019

BİLKENT OTEL

HAKKI AYDIN

SERHAT AKIN



# İÇERİK

- Çatlaklı - Heterojen Rezervuarların Karakteristikleri
- Çatlaklı Rezervuarların Model Çeşitleri
- Alaşehir Jeotermal Sahası
- Çalışma Metodolojisi
- Veri Derleme
- Model Kalibrasyonu ve Doğrulanması
- Model Sonuçları
- Sonuçlar ve Öneriler

# ÇATLAKLI – HETEROJEN REZERVUARLAR

- Kırılgan kayaç (brittle rock) + tektonik hareketler = Fay (Doğal Çatlak)
- En tipik özellikleri heterojen olmaları (anisotropy)
- Belirsizlik (uncertainty), risk!
- Yüksek geçirimsizlik(hızlı akışkan dolaşımı)
- İkincil gözeneklilik (secondary porosity= fractures+dissolutions)

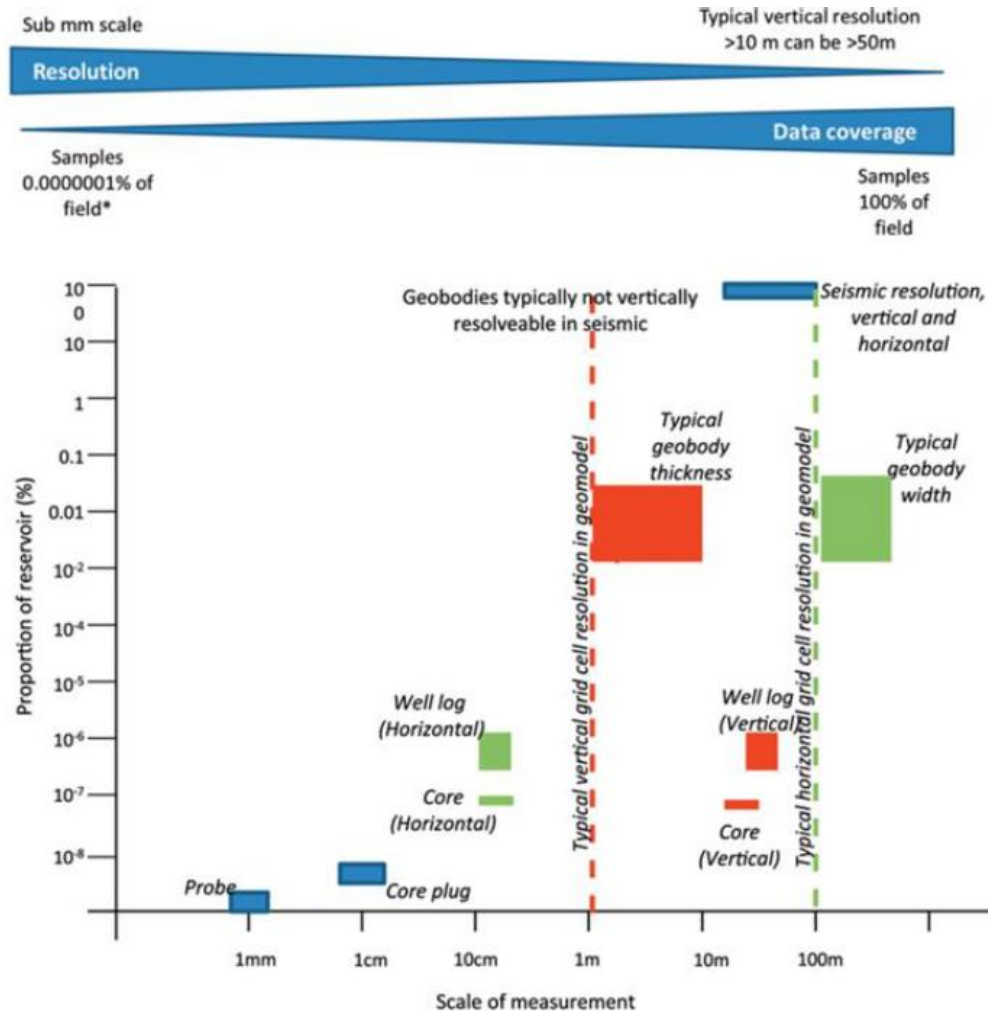


# ÇATLAK KARAKTERİZASYONU

- **FMI (Formation Micro Imager):** Su bazlı sondaj akışkanında uygulanabilir. Çatlak açıklığı, gözenekliliği ve oryanasyonu. (Kuyu içi ile sınırlıdır)
- **Karot Analizi (core analysis):** FMI logu doğrulamak için kullanılabilir.
- **Çamur Kaçakları (Drilling Mud loss):** Doğal çatlak varlığı için en önemli indikatör
- **Yüzlekler (outcrops):** Rezervuar kayacını temsil eder (Rezervuar koşulları?)
- **Sismik (seismic):** Fayların ve birimlerin tanımlanmasında kullanılan en güçlü araçlardandır (Çözünürlük sorunu, fayların dolgulu olması veya dolaşıma kapalı olması?)
- **Kuyu Basınç Testleri (Pressure Transient Tests):** Buildup (basınç yükselim), drawdown (basınç azalım), injection-fall of (basınç düşüm), interference (girişim) testi
- **İzleyici testi (tracer test):** Kuyular arası hidrolik bağlantının belirlenmesi ve çatlak özelliklerini hesaplama

Bütün bu yöntemler çatlak özellikleri hakkında çok önemli bilgiler sağlarlar fakat bir takım dezavantajları vardır !

# AVANTAJ - DEZAVANTAJLAR



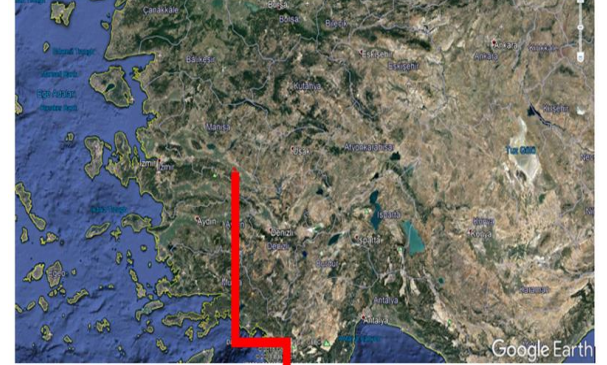
Hower et al., 2018

# MODEL ÇEŞİTLERİ

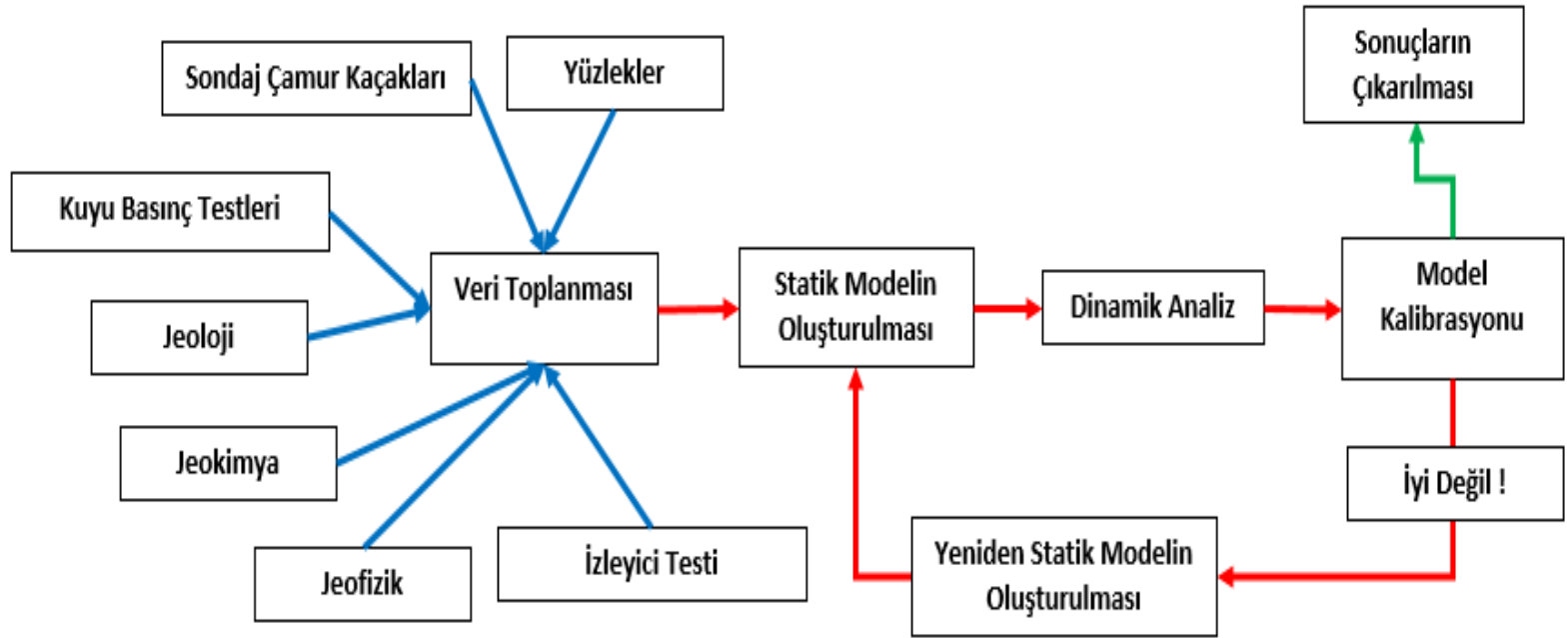
- **Süreklilik Yaklaşımı (Continuum Approach)**
  - Çatlakların sayısı arttıkça sistem poroz sisteme daha çok yaklaşır
  - Equivalent porous medium (eş değer gözeneklilik)
  - Simülasyon süresi kısa
  - Çatlak özelliklerinin gözenekli yapının özelliklerinden ayırt etmek mümkün değil
- **Çift Gözeneklilik Modeli (Dual Porosity Model)**
  - Primary porosity (birincil gözeneklilik) ve secondary porosity (ikincil gözeneklilik)
  - Çatlak ve gözeneklerin geçirimsizliklerini ayrı ayrı kullanır
  - Jeotermal sistemi iyi temsil eder fakat yüksek debilerde yetersiz kalmaktadır
- **Ayrık Çatlak Ağ Modeli (Discrete Fracture Network)**
  - Çatlakların geometrik özelliklerini ve birbirleri ile olan iletişimini kullanır
  - Her çatlağın toplam akışa katkısı belirlenebilir
  - Çatlak geometrik özelliklerinin biliniyor olması gerekir

# ALAŞEHİR JEOTERMAL SAHASI

- Manisa Alaşehir ilçesi, Alaşehir grabeni üzerinde
- 7 Farklı operatör tarafından işletilen 214 MW kurulu güç (9 adet çift çevrim, 1 kombine sistem santral)
- Rezervuar Sıcaklığı 140 °C – 250 °C arasında
- 100 kuyudan fazla sondaj çalışması
- Meteorik kökenli Sıvı baskın jeotermal akışkan, yüksek oranda kondanse olmayan (NCG) gaz 2.5 % - 3.5 %
- Rezervuar kayacı çatlaklı Paleozoyik metamorfik kayalar (kalkışist, mermer, kuvarz)



# ÇALIŞMA METODOLOJİSİ



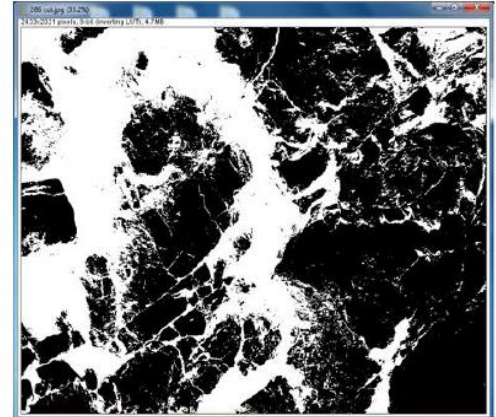


# MODEL İÇİN VERİ DERLEME

- FMI (Formation Micro Imager) ve Karot Analizi (core analysis) çalışması olmadığı için yararlanılamamıştır
- Çamur Kaçakları, yüzlekler, sismik çalışmalar, kuyu basınç testleri ve izleyici testi çalışmalarından yararlanılarak çatlak özellikleri (açıklık, uzunluk, geçirimsilik, gözeneklilik vb.) için ilk tahminler oluşturulmuştur

No	Dip direction (°N)	Dip amount (°)
1	016	43
2	033	40
3	027	40
4	035	40
5	004	62
6	196	54
7	184	64
8	180	51
9	034	50
10	350	44
11	017	79
12	003	81

Sample	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
Total Fracture Length ( $L_{total}$ ) (m)	13.62	6.06	9.72	4.85	1.61	7.32	31.81	13.67	6.04	25.93
Unit Area (A) ( $m^2$ )	4.62	3.40	2.00	2.09	1.06	0.93	2.22	0.97	0.83	13.13
Fracture Porosity ( $\phi$ )	0.02	0.08	0.06	0.12	0.11	0.07	0.07	0.03	0.05	0.04
Areal Fracture Density (D) ( $m/m^2$ )	2.95	1.78	4.85	2.32	1.52	7.83	14.33	14.11	7.30	1.97
Permeability (mD)	76.25	806.40	501.12	119.21	24.70	2536.03	4037.44	523.00	370.77	355.49

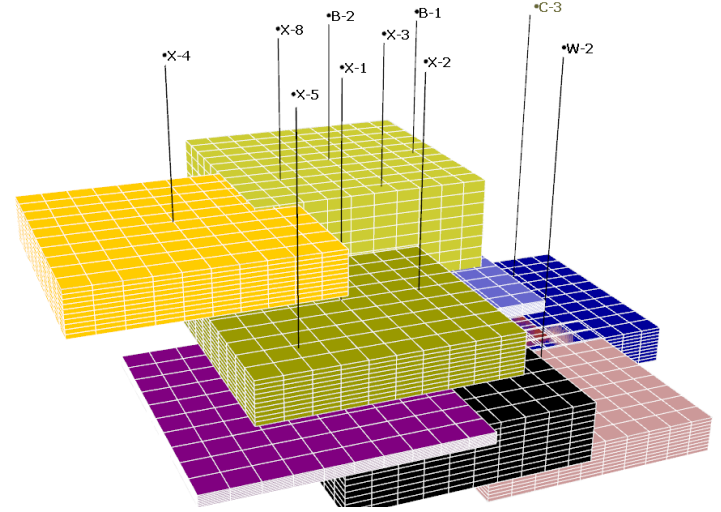


Bozkurt and Sözbilir, 2004

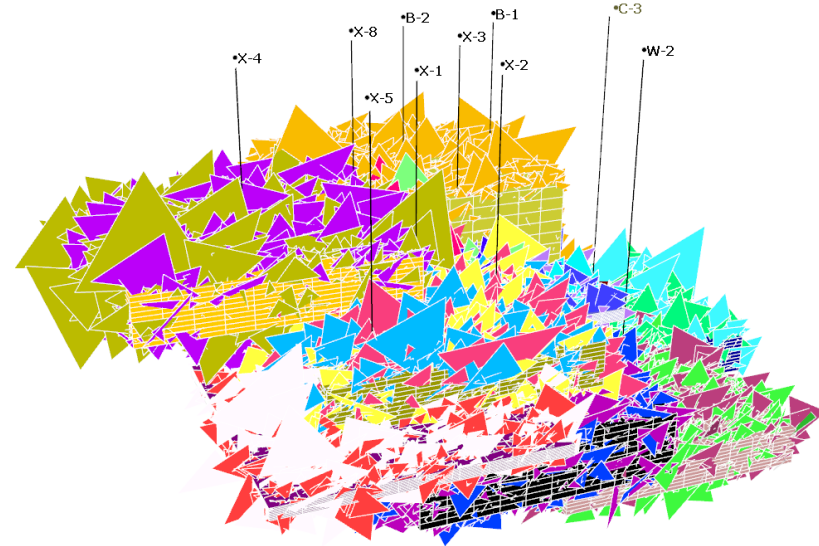
Gürel, 2016

# STATİK MODEL OLUŞTURULMASI

- FracMan7.6 (Academic Version)
- 10 Adet üretim kuyusu dahil edilmiştir.
- Her kuyu için 1200 m uzunluğunda dikdörtgen drenaj alanı kullanılarak, kalınlık olarak kuyuda delinen rezervuar kayacı kalınlığı baz alınmıştır
- Her kuyu için 10x10x10 adet grid blok kullanılmıştır
- Çatlak özelliklerine göre olasılıklı çatlaklar oluşturulmuştur.

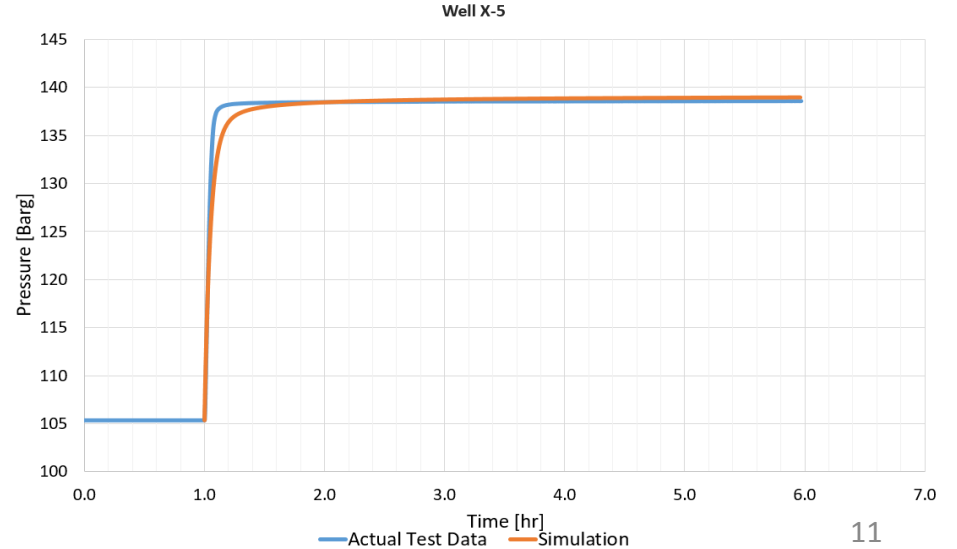
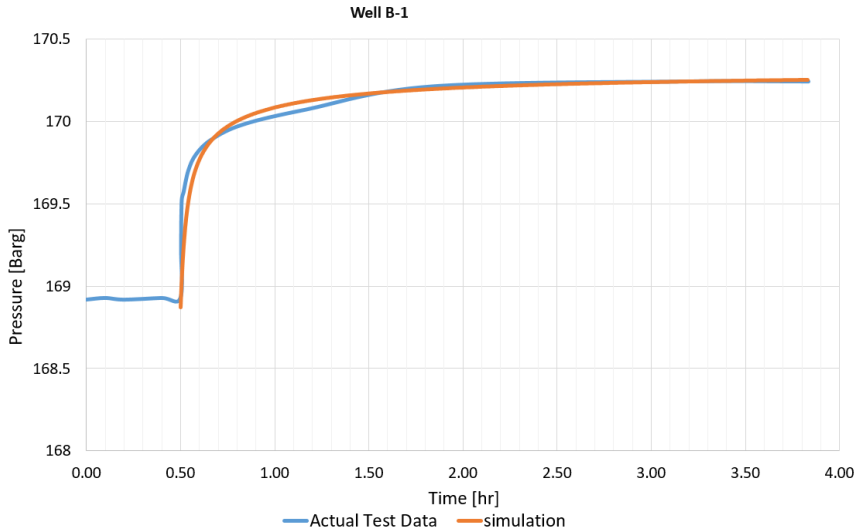
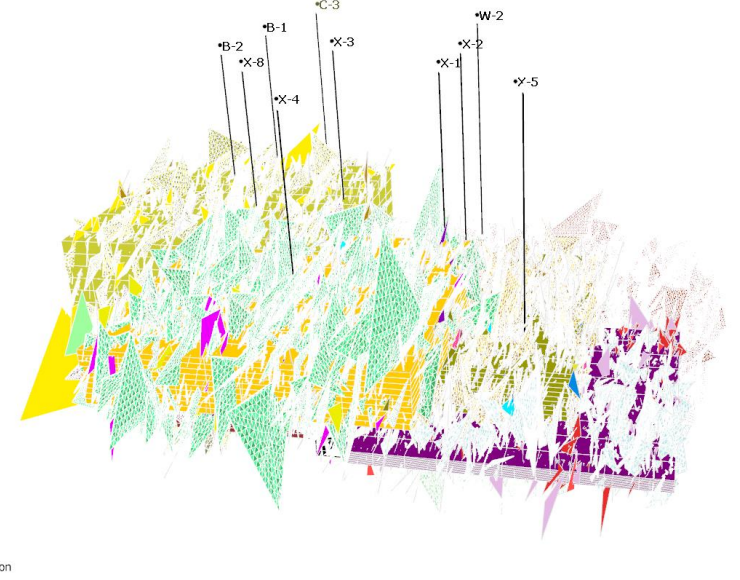


	Mean Fracture length (m) (exponential)	Mean Volumetric Fracture Intensity(1/m) (exponential)	Reservoir pay zone (m) Uniform distribution	Mean Permeability(md) Lognormal distribution	Mean Fracture Aperture(mm) Exponential distribution
Well X-1	20	0.06	200	1360	1.6
Well X-2	20	0.065	300	570	1.3
Well X-3	25	0.073	56	3600	1.6
Well X-4	25	0.06	214	5600	1.5
Well X-5	20	0.08	50	216	1.5
Well X-8	25	0.065	117	220	1.6
Well B-1	25	0.045	250	340	1.8
Well B-2	25	0.055	586	420	1.7
Well W-2	20	0.055	170	500	1.6
Well C-3	25	0.06	200	38	1.6



# DİNAMİK MODEL KALİBRASYONU

- Dinamik model kalibrasyonu için kuyular basınç yükselim testine tabi tutulur.
- Gerçek veriler ile simülasyon verileri çakışana kadar statik modelde kalibrasyon parametrelerinde tuning yapılmıştır
- Çakışmaların güvenilirliği chi square test ile test edilmiştir.



# MODEL SONUÇLARI

- Oda Analysis
- Cluster Analysis
- Flow Paths Analysis

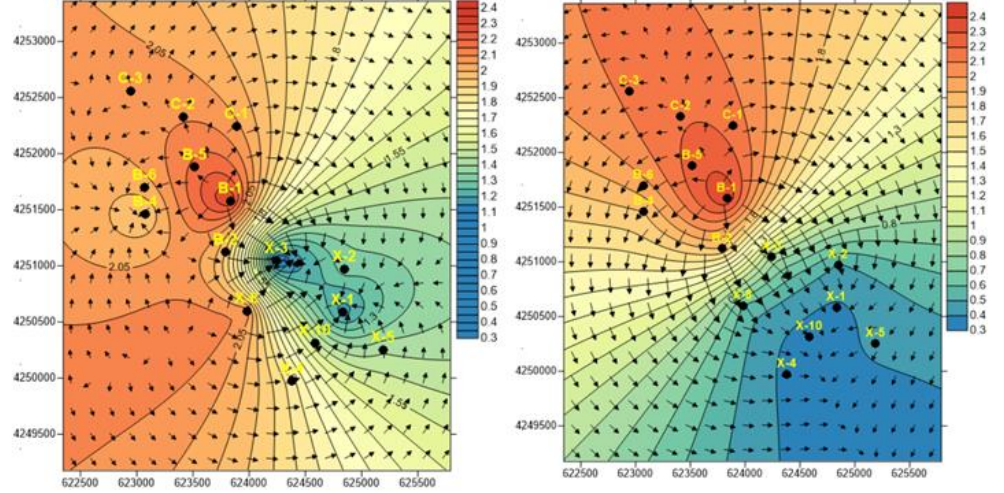
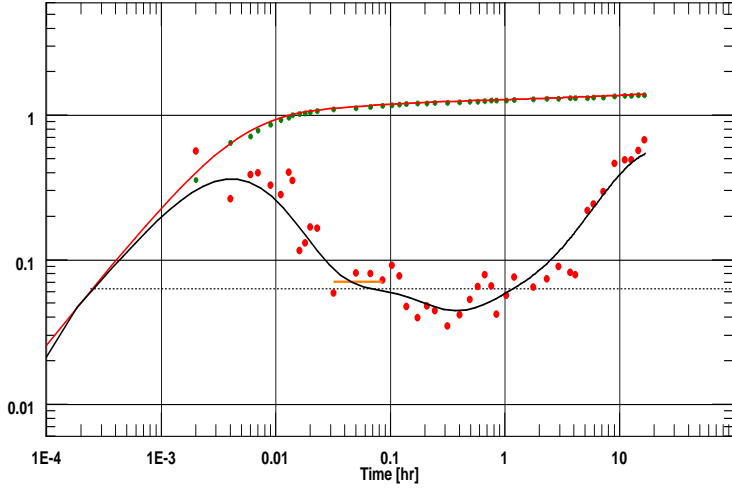
	Well-X1	Well-X2	Well-X3	Well-X4	Well-X5
Number of Grids	1000	1000	1000	1000	1000
Max Porosity,%	7.1	4.1	5.8	3.4	4.3
Min Porosity,%	0.2	0.3	0.6	0.2	0.2
Mean Porosity,%	2.9	1.5	2.6	1.37	1.4
Max Permeability in X direction	1861	627	2169	878	1005
Min Permeability in X direction	56	11.4	170	18	21
Mean Permeability in X direction	429	81	657	235	203
Max Permeability in Y direction	6207	3301	6680	3068	5022
Min Permeability in Y direction	329	65	1186	202	102
Mean Permeability in Y direction	2155	417	3257	1218	984
Max Permeability in Z direction	5793	3133	6672	3179	4903
Min Permeability in Z direction	328	61	1170	207	102
Mean Permeability in Z direction	2026	398	3068	1149	927

Gözeneklilik ve Geçirimsizlik

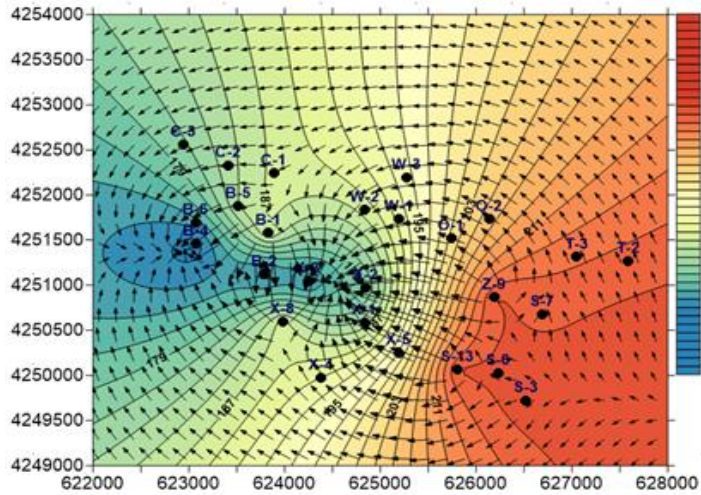
	Shortest Flow Paths			Highest Conductance Paths	
	Fracture Length	Number of fractures	Fracture Volume,m <sup>3</sup>	Number of fractures	Fracture Volume,m <sup>3</sup>
X-1 to X-2	657	12	324	223	36765
X-1 to X-3	1020	21	291	215	21150
X-1 to X-4	1373	24	226	200	30524
X-1 to X-5	708	16	72	100	11847
X-1 to X-8	1522	24	296	278	49533
X-4 to X-8	885	12	181	79	20475
X-4 to X-5	2535	38	718	153	25451
X-8 to X-3	830	16	281	212	29940
X-8 to B-2	520	12	15	127	44853
B-2 to X-3	1005	16	623	467	68956
B-2 to B-1	2620	42	726	1229	137729
B-1 to C-3	657	10	75	118	14138
B-1 to W-2	1931	23	376	98	11932
C-3 to W-2	1965	21	760	20	24663
X-3 to X-2	1485	27	628	915	70243

En kısa ve En Geçirimli Çatlaklar

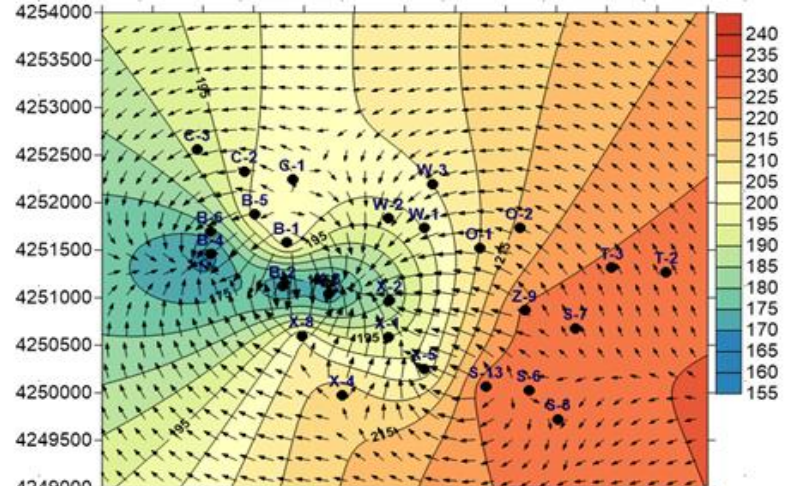
# DİNAMİK MODELİN DOĞRULANMASI



Karbondioksit oranlarındaki değişim (Sol: Mayıs 2016, Sağ: Ocak 2017)



Kasım 2015

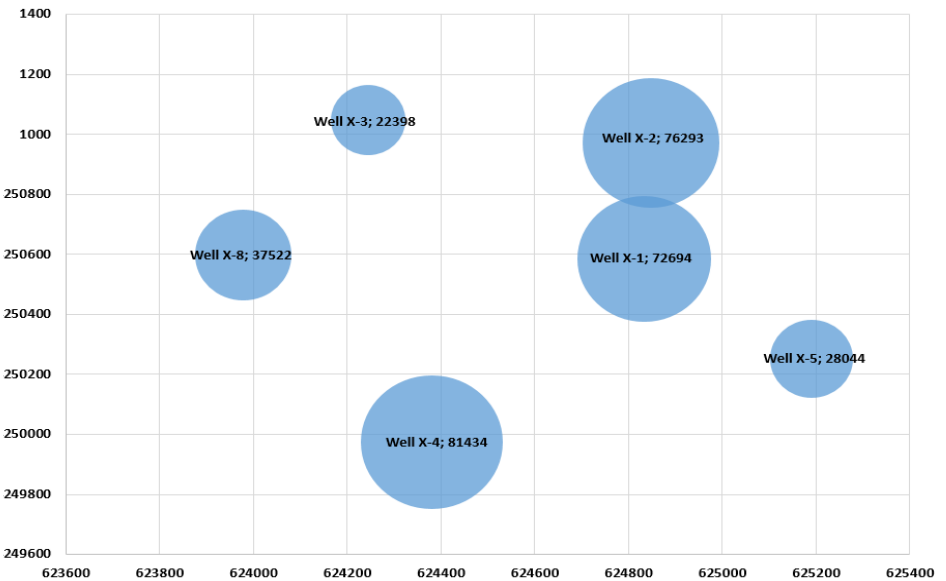
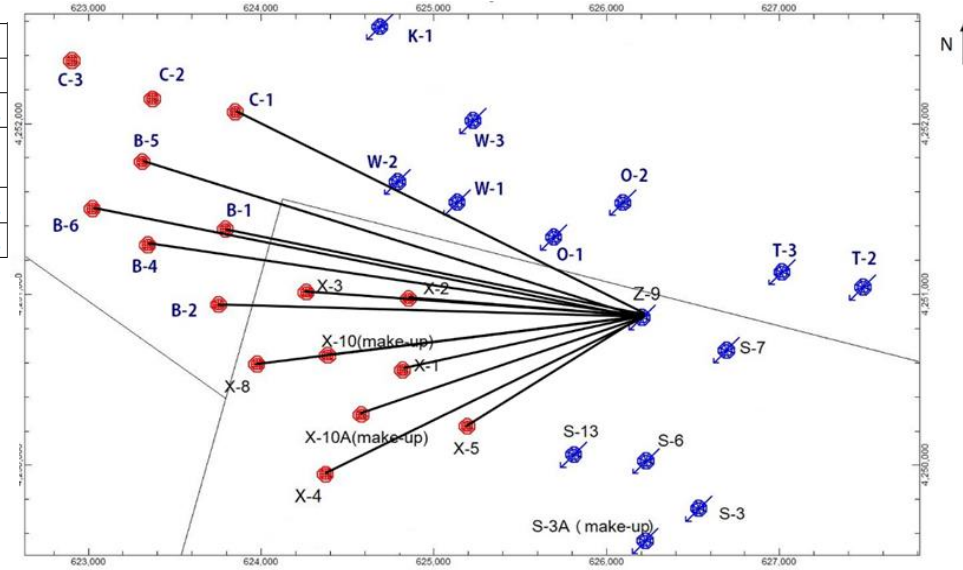
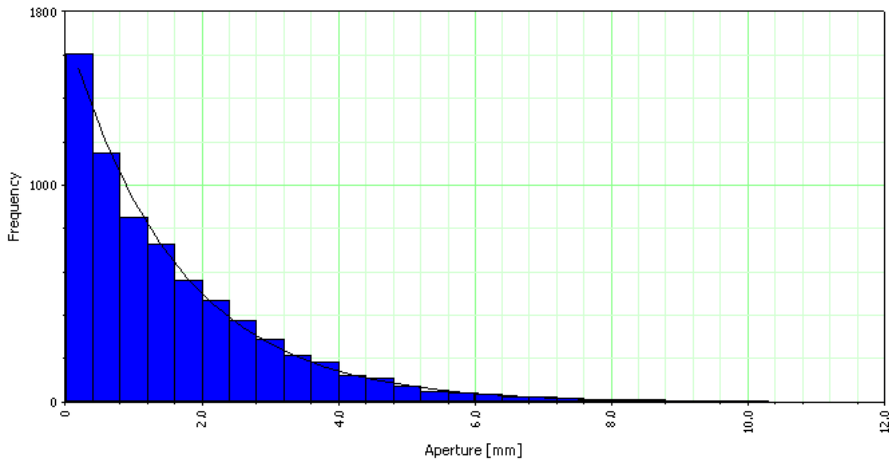
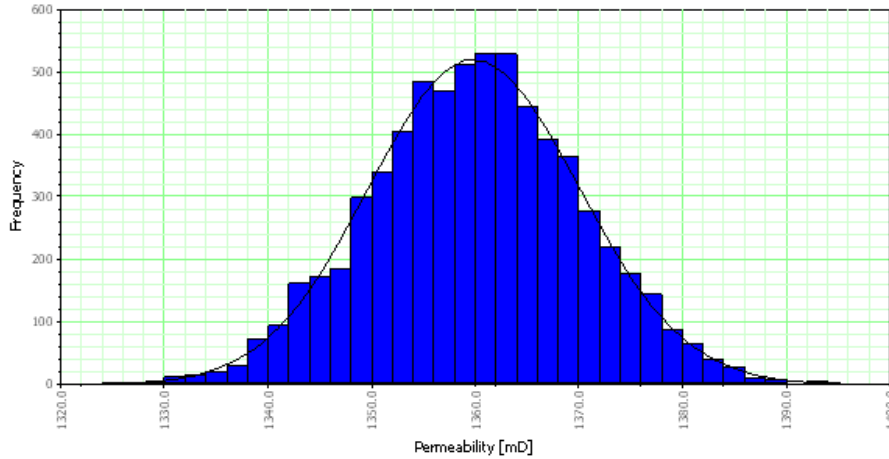


Mart 2016

Klor değerlerindeki değişim

# DİNAMİK MODELİN DOĞRULANMASI

Parameters/Well ID	X-1	X-2	X-3	X-4	B-1	K-3	Units
Wellbore Storage, C	0.639	0.171	0.436	0.1	0.97	0.3	m <sup>3</sup> /Bar
Skin Factor	1.59	1.27	1	3.07	-3.6	-3.6	Dimensionless
Permeability*thickness kh	96.5	35.5	278	570	34	0.88	Darcy*m
Omega	0.286	0.00753	0.00194	0.011	0.0155	6.50E-05	Dimensionless
Lambda	1.10E-07	1.23E-07	4.98E-08	3.98E-08	1.57E-05	4.80E-05	Dimensionless



# SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- AÇA Modeli ile Alaşehir jeotermal sahasının çatlak karakterizasyonu yapılmıştır.
- Sonuçlar, sahada yapılan diğer çalışmalar ile uyumludur.
- AÇA Modeli sonucu elde edilen çatlak hacmi, tracer test ile süpürülen çatlak hacmi ile benzerdir.
- 13 km<sup>2</sup>'lik çalışma alanında kompartmentalize alanlar tespit edilmemiştir.
- Bütün kuyular güçlü bir çatlak ağ sistemi ile girişim halindedir. (Jeokimyasal izlenimler ve tracer test ile de kanıtlanmıştır).
- Geçirimsizlik yüksek (200 -2000 mD), gözeneklilik düşüktür (1.5-3 %). Yüzlek çalışmasında 3-12% arasında bulunmuş (Confine pressure olmaması!)
- Çatlak açıklığı 1.3-1.8 mm aralığında olmuştur. Bulunan bu sonucun gerçek değerinden yüksek olabileceği düşünülmüştür. FMI logu ile doğrulanması yapılabilir.
- Bu modelin sonucunda elde edilen çatlak özelliklerinin çıktıları, numerik modellemenin ilk durum koşulunu oluşturmak için kullanılabilir.

# Teşekkürler