

Jeokimya Çalışmalarının Jeotermal Rezervuar ve Jeotermal Santrallerin Verimini Arttırmadaki Önemi



Füsun Tut Haklıdır & Raziye Şengün
İstanbul Bilgi Üniversitesi & Zorlu Enerji

Şubat 2019, Ankara

JEOKİMYA VE UYGULAMA ALANLARI

Jeokimya yerküre ve diğer gezegen sistemlerine ait özellikleri yerbilimleri çerçevesinde kimyasal prensiplere göre araştıran bilim dalıdır.

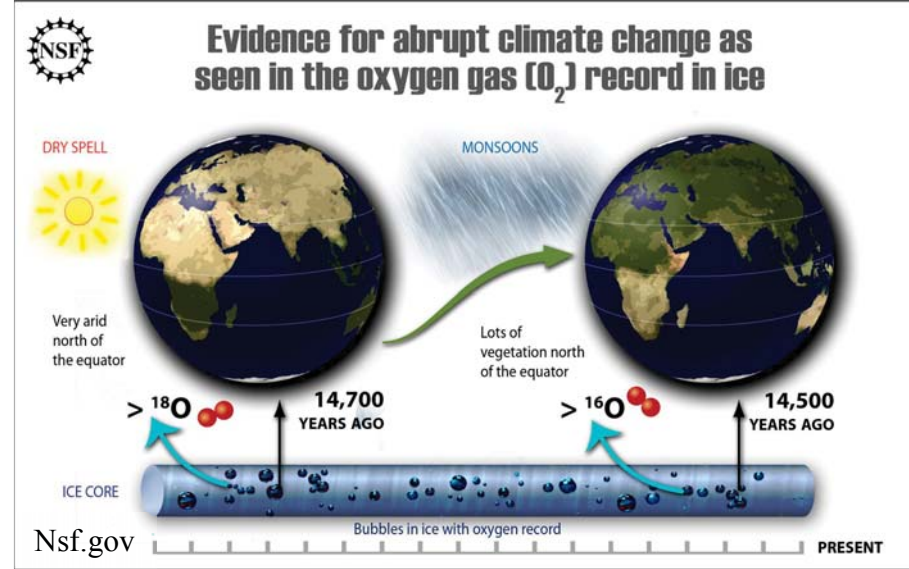
Bu kapsamda kaya, su ve gazların kimyasal bileşimlerini ve yer küresini oluşturan bu bileşenlerin birbirleriyle ilişkilerini inceleyerek, sistemi oluşturan dinamikleri analiz ederek, değişen ortam koşullarına göre gelecekteki değişimlerini irdeler.

Jeokimya çalışmaları jeoloji ve kimya ile yakından ilişkili olup, petroloji, petrokimya maden yatakları, mineraloji, biyoloji, fizikokimya alanlarında kullanılmaktadır.



JEOKİMYA VE UYGULAMA ALANLARI

- 1800'lerde Schönbein tarafından kullanılan jeokimya terimi, 1900'lerde Goldschmidt tarafından termodinamiğin jeokimyaya uygulanması ile uygulamalı jeokimya alanının gelişmesine olanak tanımıştır.
- Uygulamalı jeokimya özellikle maden, petrol, jeotermal, uzay araştırmaları ve iklim çalışmaları konusundaki araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kimya alanındaki metotların ve cihazların gelişmesine bağlı olarak, jeokimya çalışmaları da derinleşebilmektedir.

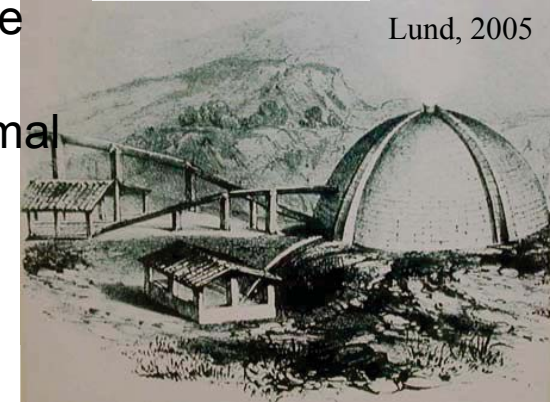


Jeokimya

İnorganik
Organik

JEOKİMYA ve JEOTERMAL İŞBİRLİĞİ

- Jeotermal alanında kimyanın kullanılması ise; İtalya'da 11. yüzyılı dek dayanmaktadır.
- Larderello'da 1904'de ilk jeotermal santralin işletilmeye başlamasından çok daha öncesinde bölgede sıcak su kaynaklarından sülfür, şap, borik asit gibi kimyasalların eldesi mümkündü. 1800'lerin başında ise boratlı suların buharlaştırılarak borat eldesi ticari hale gelmişti.
- 19. Yüzyılın başında ise, kimya endüstrisi Prens Konti'nin döneminde jeotermalden edilen buhardan elektrik üretimine başlanmıştır.
- 1928'de İzlanda ve 1950'de Y. Zelanda'da başlayan jeotermal sondaj çalışmalarıyla su baskın jeotermal sistemler keşfedilerek, ısıtma ve ardından da elektrik üretiminde kullanılmaya



JEOKİMYANIN JEOTERMALDE KULLANIMI

- Akışkan kimyasına ait kompozisyonların belirlenmesi,
- Su tipi sınıflaması (orijin, kimyasal kompozisyon vd.),
- Jeotermometre hesaplamaları ve uygulamaları,
- Kaynama ve karışım etkilerinin araştırılması,
- pH, sıcaklık ve kimyasal kompozisyonlarının belirlenmesi,
- Çökelim-korozyon potansiyellerinin belirlenmesi,
- Rezervuar üretim-enjeksiyon etkileşimlerinin takibi,
- Rezervuardaki zamana bağlı değişimlerin takibi,
- Emisyon ve çevresel etkilerin takibi ve değerlendirilmesi,



SU-KAYA ETKİLEŞİMİ VE JEOTERMAL AKIŞKANIN KİMYASI

İzleyiciler ;

Cl, B, HCO₃, SO₄, N₂, Ar, He, CO₂, H₂S,
18O/16O, D/H, 3He/4He, T, 32S/34S, 13C-CO₂
% NCG oranı

Hidro-jeokimyasal Göstergeler;

Na, K, Ca, Mg, SiO₂, B, Li, Cl

Mühendislik – Çökelim & Korozyon;

SiO₂, Ca, CO₂, HCO₃, H₂S, H₂, SO₄

Çevresel Etkiler;

B, NH₃, As, Hg, H₂S, CO₂, Rn

Alterasyon Tipleri;

Klorit, Biyotit, Pirit, Epidot vb.



Arama Dönemi:

- ✓ Su Tipinin Belirlenmesi,
- ✓ Suyun Potansiyel Sıcaklığının Belirlenmesi,
- ✓ Köken Belirleme,
- ✓ Fiziksel koşulların etkisi (kaynama, karışım)

Proje Dönemi:

- ✓ Kısa Dönem Testleri ,
- ✓ Yüze Ekipmanlarının Seçimi,
- ✓ Kapasite Belirleme Çalışmaları,
- ✓ Enjeksiyon Sıcaklığı,
- ✓ İlkel Koşulların Belirlenmesi,
- ✓ İnhibitör Optimizasyon Testleri

İşletme Dönemi:

- ✓ Kuyu Kabuklaşma Kontrolü,
- ✓ Yüze Ekipmaları Kabuklaşma Kontrolü,
- ✓ Rezervuarda Zamana Bağlı Değişimler,
- ✓ Üretim-Enjeksiyon-Doğal Beslenime Bağlı Etkileşimler,
- ✓ Buhar Ölçümleri,
- ✓ Sulu Soğutma Kulesi- Kondens ve NCG Etkileri,
- ✓ Su ve Karbon Ayak İzi
- ✓ Çevresel Etkiler

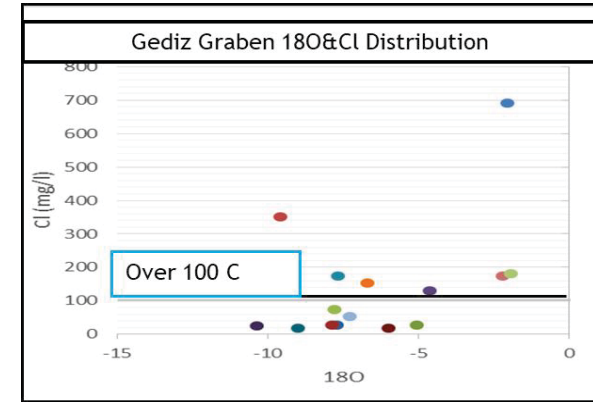
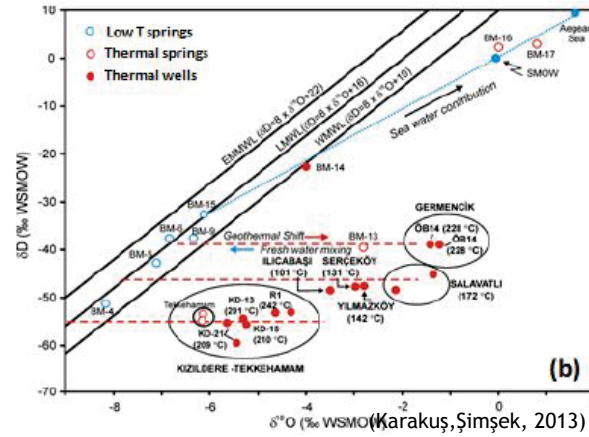
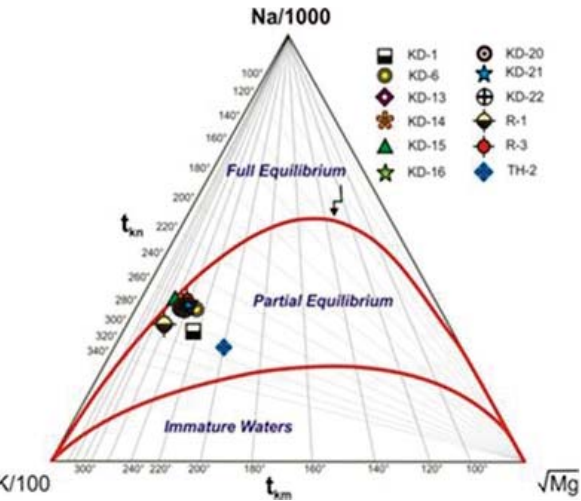
SU-KAYA ETKİLEŞİMİ VE JEOTERMAL AKIŞKANIN KİMYASI

Jeotermal akışkanın kimyasal analizlerinden elde edilen veriler jeotermal rezervuarın karakteristiğine dair ipuçları da sağlamaktadır. Bunlardan bazıları;

- yakın Cl/B, Cl/Br, Cl/As oranları ortak rezervuara,
- düşük Cl, yüksek Mg değerleri yeraltı suyu ile seyrelmeye,
- çok düşük Cl/Mg, Cl/ (Mg+Ca) oranları deniz suyu ile seyrelmeye,
- akışla azalan Cl/B, artan B/Li değerleri akışın yönüne,
- yüksek B, I, NH₃, CO₂ değerleri organik maddece zengin sedimenter kayalara; yüksek Li, Cs, Rb değerleri riyolit, andezit türü kayalara; yüksek F değerleri; riyolit, granodiyorit,
- yüksek SO₄, NH₃, B, HCO₃ konsantrasyon değerleri derinde kaynamayla zenginleşmeyi, yüksek Cl, SiO₂, Cl/F, Cl/SO₄ değerleri yüksek sıcaklık zonlarına işaret edebilir.

Jeotermal Kaynak Arama Dönemi Jeokimyasal Çalışmalar

- Olası kaynaklardan ve yüzey sularında, majör anyon katyon analizleri, gaz analizleri, duraylı ve radyojenik izotop analizleri, kuyu varsa gaz oranı ölçümlerinin yapılması,

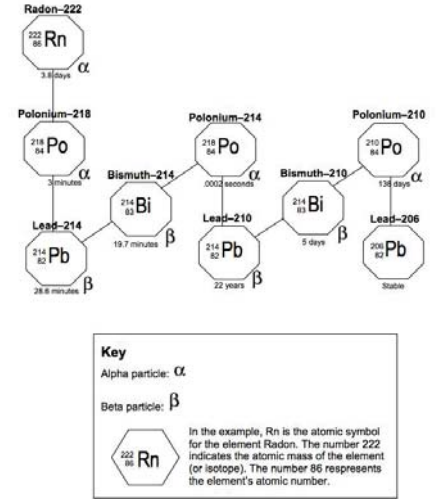


Jeotermal Kaynak Aramada Jeokimyasal Çalışmalar

- Jeoloji ve jeofizik çalışmalarıyla birlikte ; toprakta gaz ölçümleri (CO_2 , Rn, vd.), jeotermometreler yardımıyla ısı akısı yaklaşımları

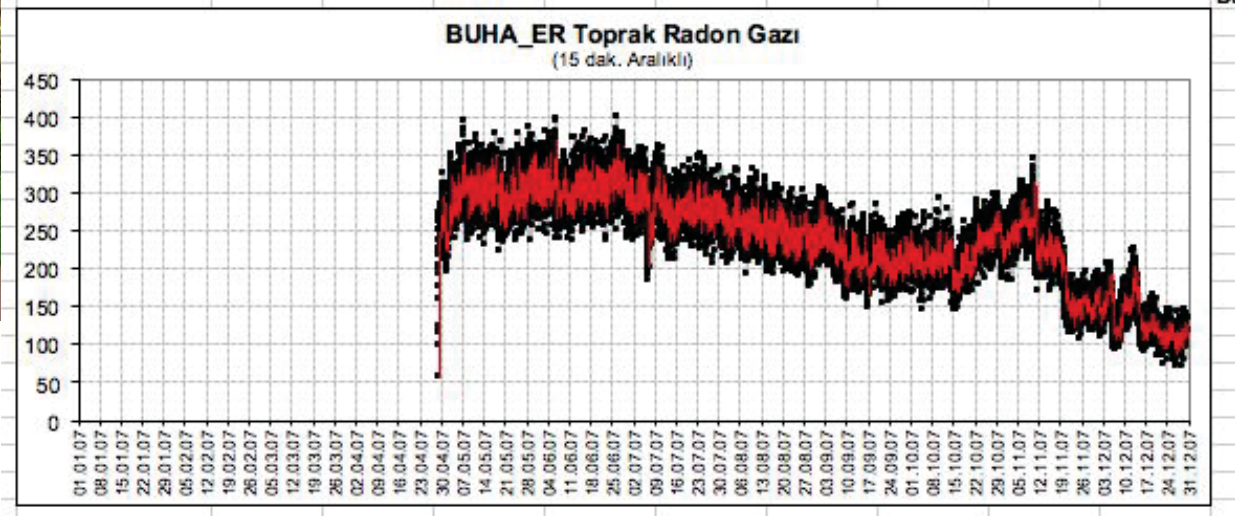
Radon gazı aktif tektonizmanın bulunduğu bölgelerde toprakta yüksek değerler verebilmektedir. Ancak U bozuşmasıyla ortaya çıkan Radon-222 izotopunun yarılanma ömrü 3.8 gün olup, hızla Polodyum-218'e dönmekte, bu izotop ise yarılanma ömrü 3 dakika olduğundan Pb-214 izotopuna dönüşmektedir. Bu bakımdan tektonizmaya bağlı oluşan jeotermal sahalarda radon gazı beklentisi doğal olmakla birlikte tam tesbiti ve miktarının belirlenmesi düşük yarılanma ömrü nedeniyle kolay değildir. Radon toprakta veya suda çözülü olarak bulunabilmekte olup, radon gazı aynı zamanda U-Th bozuşması nedeniyle He gazı araştırmalarında izleyici olarak öngörülebilmektedir.

Radon-222 Decay Chain



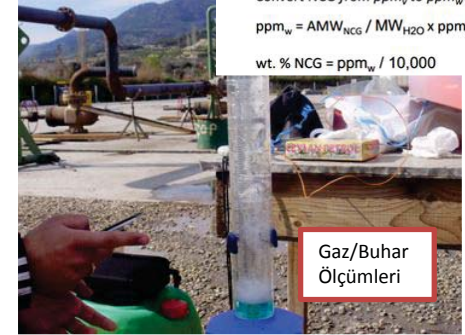
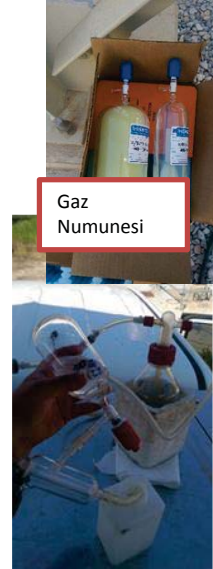
Jeotermal Kaynak Aramada Jeokimyasal Çalışmalar

Toprakta radon gazı ölçümleri (Marcus cihazı)



Proje Geliştirme Dönemi Jeokimyasal Çalışmaları

- Kuyu tamamlama testleri kapsamında çift fazlı sistemlerde akışkanın su, buhar –gaz fazından örnekler alınarak akışkanın tam kompozisyonu belirlenmektedir.
- Bu veriler türbin dizaynı ve santral tasarım parametrelerinin ortaya konulması, ekipman malzeme kalitesinin belirlenmesi ve potansiyel kabuklaşma eğilimlerinin belirlenmesi açısından kritiktir.



NCG Correction for Steam Pressure

$$f_i = \phi_i y_i P_{tot}$$

f_i , ϕ_i and y_i are the fugacity, fugacity coefficient, mole fraction of component i in the gas phase.

$$P_{tot} = P_{H_2O} + P_{CO_2} + P_{N_2} + P_1 + \dots$$

$$P_{NCG} = P_{tot} - P_{H_2O}$$

$$ppm_v = P_{NCG} / P_{tot} \times 10^6$$

Convert NCG from ppm_v to ppm_w :

$$ppm_w = AMW_{NCG} / MW_{H_2O} \times ppm_v$$

$$wt. \% NCG = ppm_w / 10,000$$

Proje Geliştirme Dönemi Jeokimyasal Çalışmaları

Brine-Chemical Compositions

■ K
■ Na
■ Ca
■ Mg
■ Li
■ Fe
■ Bt
■ SiO2*
■ NH4+
■ CO3 2-
■ HCO3-
■ Cl-



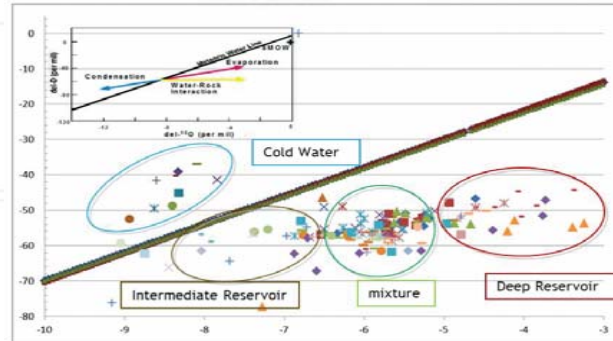
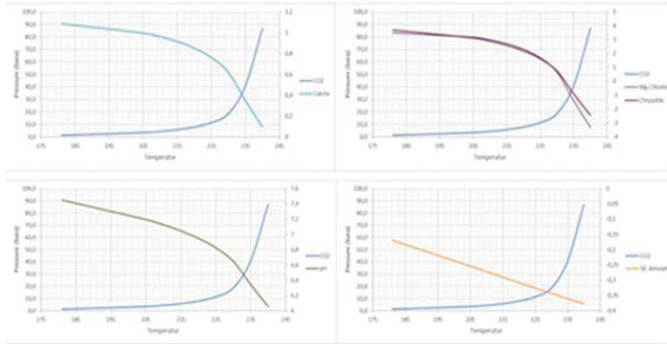
%99 CO2 and

NCG- Chemical Composition

■ H2S
■ N2
■ CH4
■ Ar
■ O2
■ H2
■ He
■ C2H6
■ C3H8



SI - Modeled



Arama Dönemi:

- ✓ Su Tipinin Belirlenmesi,
- ✓ Suyun Potansiyel Sıcaklığının Belirlenmesi,
- ✓ Köken Belirleme,
- ✓ Fiziksel koşulların etkisi (kaynama, karışım)

Proje Dönemi:

- ✓ Kısa Dönem Testleri ,
- ✓ Yüzey Ekipmanlarının Seçimi,
- ✓ Kapasite Belirleme Çalışmaları,
- ✓ Enjeksiyon Sıcaklığı,
- ✓ İlk Koşulların Belirlenmesi,
- ✓ İnhibitör Optimizasyon Testleri

İşletme Dönemi:

- ✓ Kuyu Kabuklaşma Kontrolü,
- ✓ Yüzey Ekipmanları Kabuklaşma Kontrolü,
- ✓ Rezervuarda Zamana Bağlı Değişimler,
- ✓ Üretim-Enjeksiyon-Doğal Beslenime Bağlı Etkileşimler,
- ✓ Buhar Ölçümleri,
- ✓ Sulu Soğutma Kulesi- Kondens ve NCG Etkileri,
- ✓ Su ve Karbon Ayak İzi
- ✓ Çevresel Etkiler

Jeotermal Santral İşletme Dönemi Çalışmaları

Sürekli Yapılan Takipler

- ✓ Kuyu Şartlandırmasına Yönelik Çalışmalar
- ✓ Yüzey Tesislerinin Şartlandırmasına Yönelik Çalışmalar
- ✓ NCG – G/S Oranı Ölçümleri
- ✓ Brine Örneklemeleri
- ✓ Buhar Örneklemeleri (Steam Purity)
- ✓ Scale Kupon Gözlemleri
- ✓ Rezervuar Kimyası & Değişimleri
- ✓ Çökel XRF Analizleri

Dönemlik Yapılan Çalışmalar

- ✓ Tubing Değişimleri Sırasında Yapılan Gözlemler
- ✓ NCG-İzotop-Kimyasal Major Örneklemeler
- ✓ İnhibitör performans çalışmaları



Arama Dönemi:

- ✓ Su Tipinin Belirlenmesi,
- ✓ Suyun Potansiyel Sıcaklığının Belirlenmesi,
- ✓ Köken Belirleme,
- ✓ Fiziksel koşulların etkisi (kaynama, karışım)

Proje Dönemi:

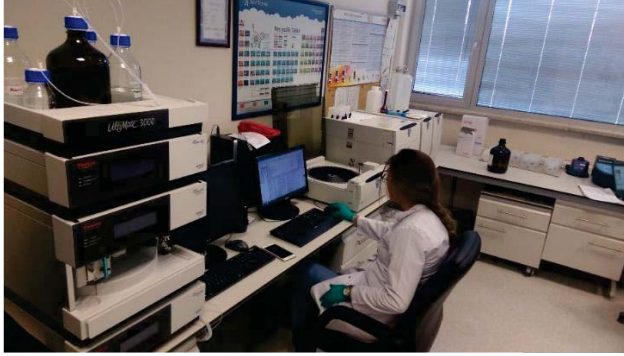
- ✓ Kısa Dönem Testleri ,
- ✓ Yüzey Ekipmanlarının Seçimi,
- ✓ Kapasite Belirleme Çalışmaları,
- ✓ Enjeksiyon Sıcaklığı,
- ✓ İlksel Koşulların Belirlenmesi,
- ✓ İnhibitör Optimizasyon Testleri

İşletme Dönemi:

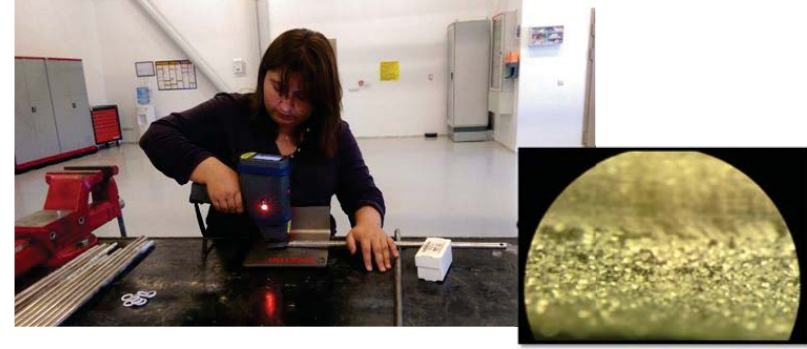
- ✓ Kuyu Kabuklaşma Kontrolü,
- ✓ Yüzey Ekipmanları Kabuklaşma Kontrolü,
- ✓ Rezervuarda Zamana Bağlı Değişimler,
- ✓ Üretim-Enjeksiyon-Doğal Beslenime Bağlı Etkileşimler,
- ✓ Buhar Ölçümleri,
- ✓ Sulu Soğutma Kulesi- Kondens ve NCG Etkileri,
- ✓ Su ve Karbon Ayak İzi
- ✓ Çevresel Etkiler

Jeotermal Santral İşletme Dönemi Laboratuvar Çalışmaları

-Kimyasal Analizlerin Gerçekleştirilmesi

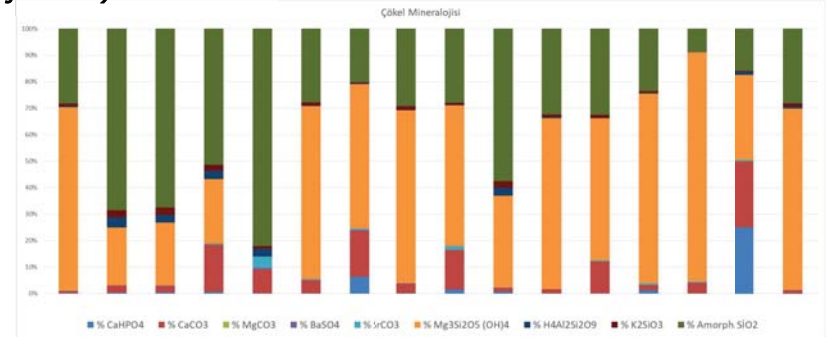


-Kabuklaşma Analizlerin Gerçekleştirilmesi



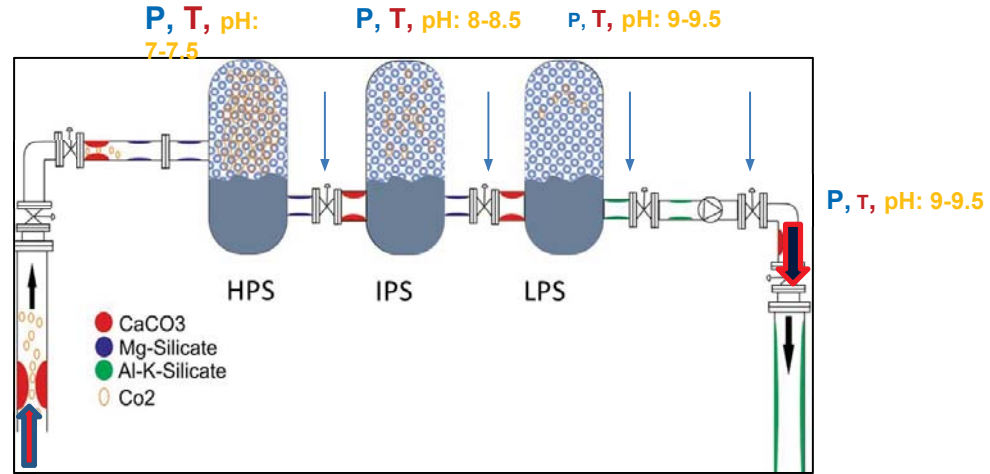
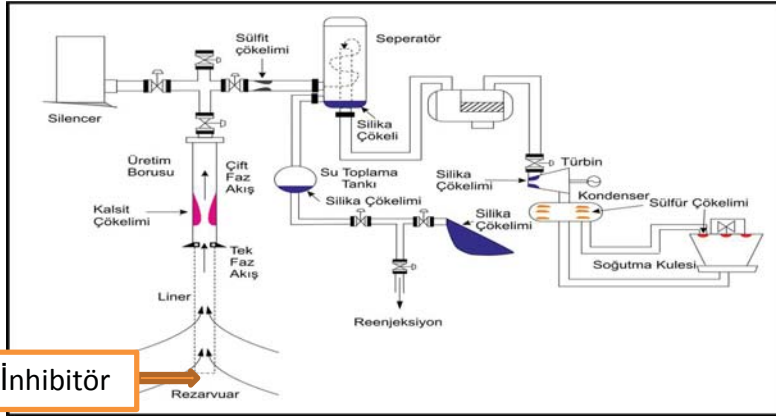
Çökel Tip ve Oluşumları (Triple Flaş Sistem)

Flashing No:	1		2		3		4		5		6		7	
P & T Changes	P (bara)	T (C)	WHP (bara)	WHT (C)	Line P (bara)	Line T (C)	HPS P (bara)	HPS T (C)	IPS P (bara)	IPS T (C)	LPS P (bara)	LPS T (C)	WHP (bara)	WHT (C)
	41,6	230	27,7	211,3	9,53	175,4	7,7	170	2,6	140	0,16	104	29,5	104
Flashing Starts at:	Bore hole		Well Head		After Flow Control Valve		HPS Brine		IPS Brine		LPS Brine		LPS Brine	
Chemistry	pH	5,433	pH	6,4	pH	6,973	pH	7,498	pH	9,404	pH	9,627	pH	9,586
	SiO ₂ (mg/l)	405	SiO ₂ (mg/l)	419	SiO ₂ (mg/l)	449	SiO ₂ (mg/l)	508	SiO ₂ (mg/l)	552	SiO ₂ (mg/l)	538	SiO ₂ (mg/l)	542
	Mg (mg/l)	0,9	Mg (mg/l)	0,93	Mg (mg/l)	1	Mg (mg/l)	0,03	Mg (mg/l)	0,039	Mg (mg/l)	0,064	Mg (mg/l)	0,063
	Ca (mg/l)	10,6	Ca (mg/l)	11	Ca (mg/l)	11,8	Ca (mg/l)	5,6	Ca (mg/l)	8,8	Ca (mg/l)	10,3	Ca (mg/l)	10,9
CO ₂ (mg/l)	123458	CO ₂ (mg/l)	10924	CO ₂ (mg/l)	3765	CO ₂ (mg/l)	1906,32	CO ₂ (mg/l)	897	CO ₂ (mg/l)	693	CO ₂ (mg/l)	696	



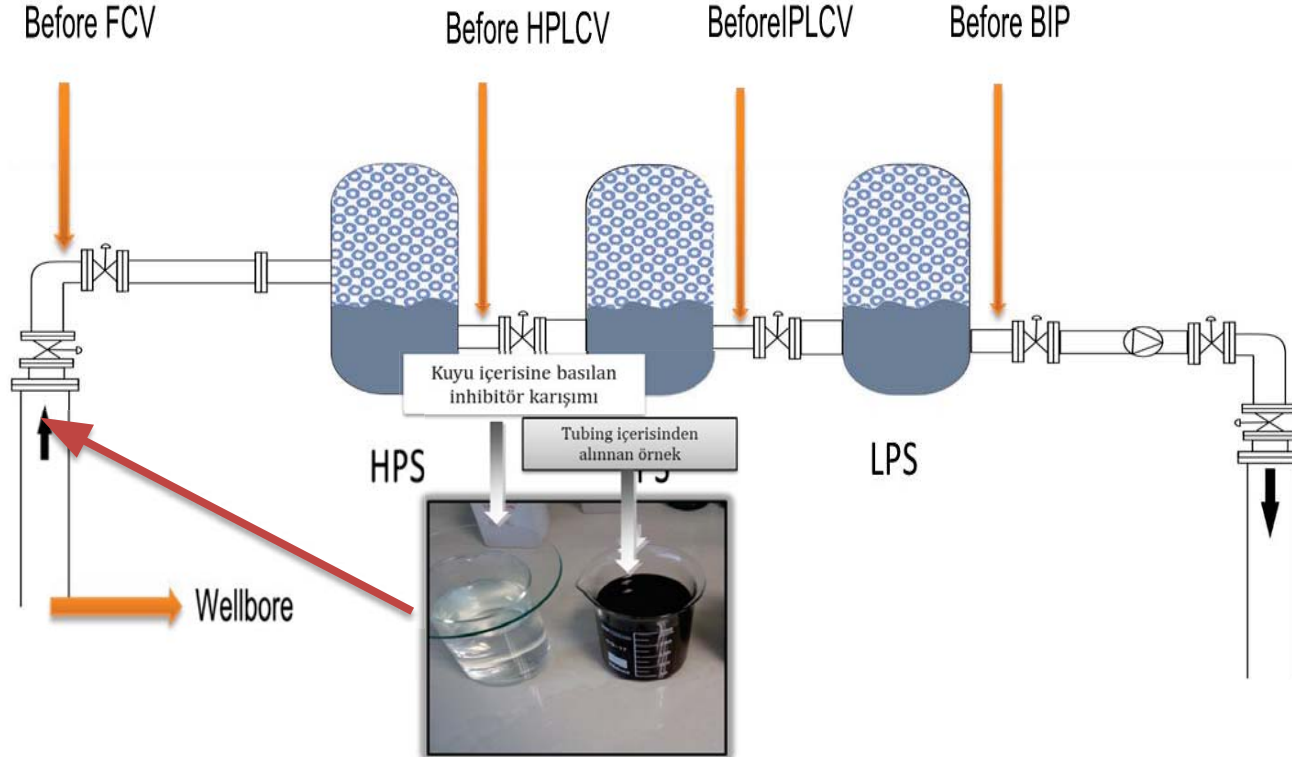
Jeotermal Santral İşletme Dönemi Saha ve Lab. Çalışmaları

Çökel Tipleri ve İnhibitör Uygulamaları (Tekli Flaş ve/ veya ORC Sistem and Üçlü Flaş Sistemi)



Jeotermal Santral İşletme Dönemi Saha ve Lab. Çalışmaları

İnhibitör Uygulamaları (Triple Flaş Sistem)

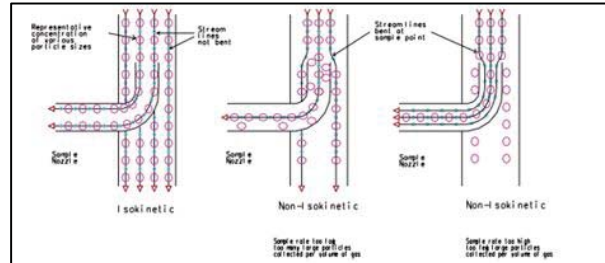


Jeotermal Santral İşletme Dönemi Saha ve Lab. Çalışmaları

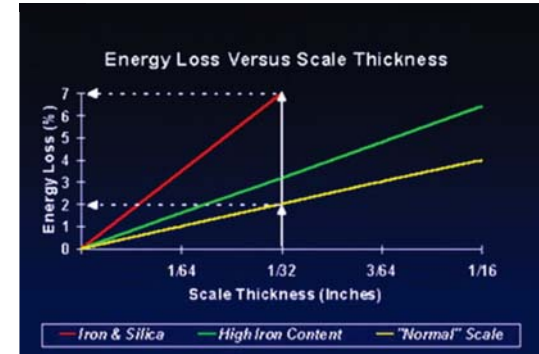
Buhar Kalitesinin Ölçülmesi Çalışmaları



İzokinetik proba buhar örneği alımı

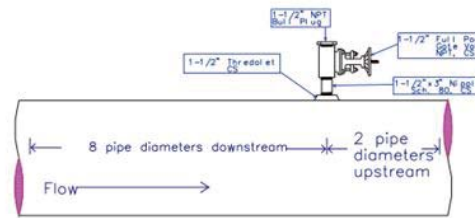


Isokinetic versus Non-Isokinetic Sampling Diagram 1



Comparison of Sampling Probe Data	
Isokinetic Traversing Probe vs. Total Plant Condensate	Chloride mg/kg
Traversing Isokinetic Probe Separator Outlet Steam	31.4
Total Plant Condensate (including condensate-trap drains)	21.2
Traversing Isokinetic Probe Turbine Inlet Steam	0.331
Total Plant Condensate (not including condensate-trap drains)	0.239
Standard Fixed ASTM Probe vs. Total Plant Condensate	
Fixed ASTM Probe Turbine Inlet Steam	0.063
Total Plant Condensate (not including condensate-trap drains)	0.936
Thermochem MNP2000 Probe vs. Traversing Isokinetic Probe	
MNP2000 Probe Separator Outlet Steam	0.270
Traversing Isokinetic Probe Separator Outlet Steam	0.267

Main Steam Line Traversing Isokinetic Probe Port



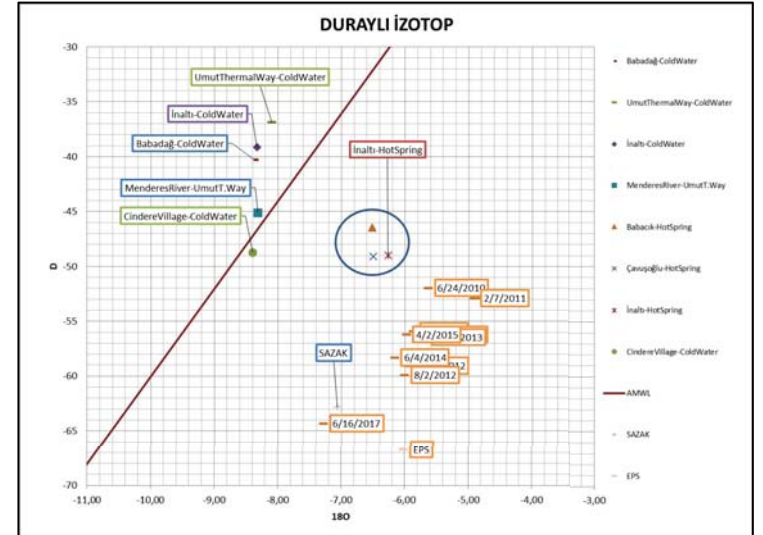
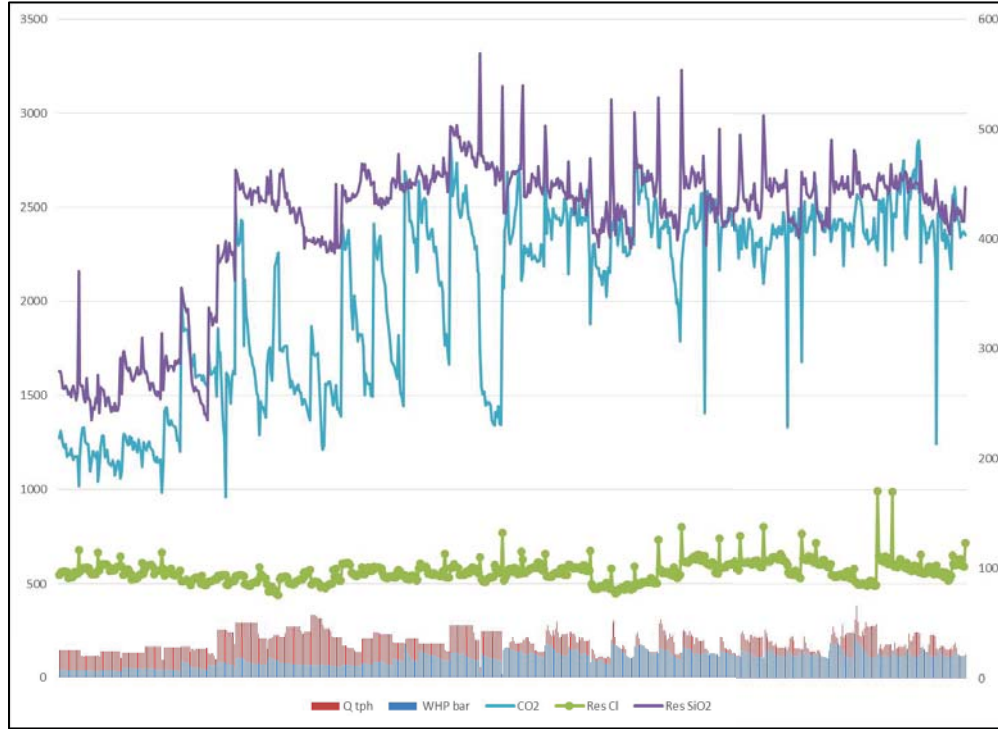
Note: Minimum Pipe Diameters Required Upstream and Downstream of Major Flow Disturbances (piping bends, reductions)

Method 1021 Diagram 2

Key Steam Parameters	Value
Cl	Corrosion, HCl / NaCl
SiO ₂	Turbine Scaling
B	Cooling Tower Cycles, Borate scale
Na, Ca	Brine or process water carry-over, Steam Quality
Fe	Corrosion products
TDS?	Must be defined clearly

Jeotermal Santral İşletme Dönemi Saha ve Lab. Ve Ofis Çalışmaları

Üretim-Enjeksiyon ve Rezervuar Etkileşim Takiplerinin Jeokimyasal Parametrelerle Yapılması



Jeotermal Santral İşletme Dönemi Saha ve Lab. Çalışmaları

Jeotermal Akışkandan Kaynaklanabilecek Kirleticilerin Ortaya Konulması

Su ve Karbon Ayak İzi Hesapları

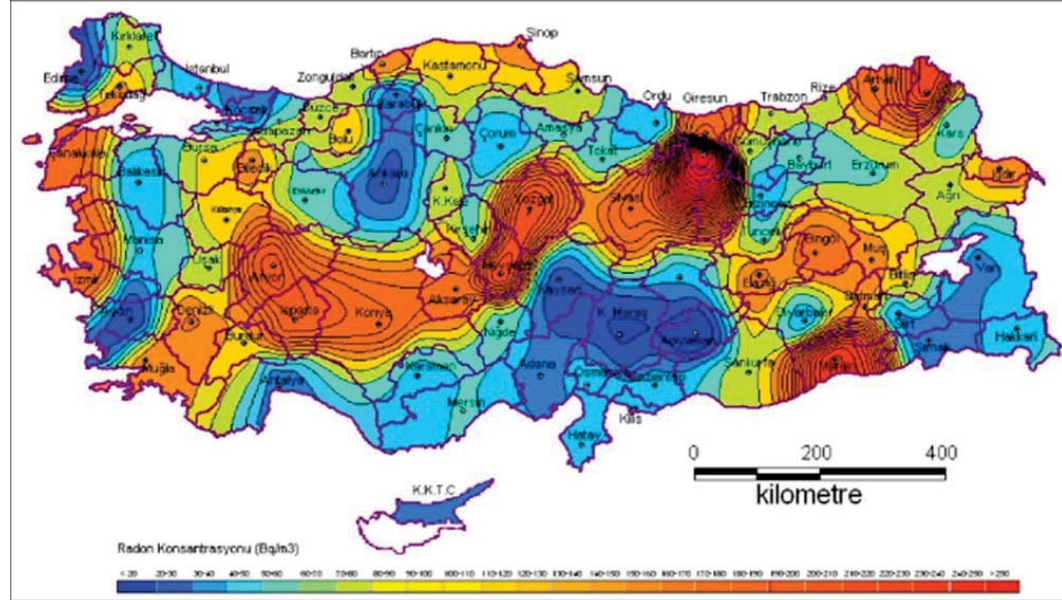
Lokasyon	gr CO ₂ /kWh	%G/(G+S) Avg	NCG	Buhar	CO ₂	CH ₄	tCO ₂ /tBuhar	tCH ₄ /tBuhar
KZDI	707	5,116208448	33613	625363	33464,65	0,007431	0,053512361	1,18828E-08
KZDII	563	6,049815724	337336	5165178	335980,7	0,007738	0,065047264	1,49809E-09

KZDI+KZDII		
toplam üretim	toplam enj.	enj. % değer
19.512.992	18.136.115	92,94379347

Jeotermal Santral İşletme Dönemi Saha ve Lab. Çalışmaları

Jeotermal Akışkandan Kaynaklanabilecek Kirlenmelerin Ortaya Konulması

A.B.D.	150	Hindistan	150	Norveç	200
Almanya	250	İngiltere	200	Rusya	200
Avustralya	200	İrlanda	200	Türkiye	400
Çin	200	İsveç	200	AB*	400
Danimarka	400	Kanada	800	ICRP**	400
Fransa	400	Lüksembourg	250	WHO***	100



Faktör	Önerilen değer	
Eylem seviyesi (Etkin doz)	3 mSv yıl ⁻¹	10 mSv yıl ⁻¹
Evler için eylem seviyesi (Radon konsantrasyonu)	200 Bqm ⁻³	600 Bqm ⁻³
İş yerleri için eylem seviyesi (Radon konsantrasyonu)	500 Bqm ⁻³	1500 Bqm ⁻³

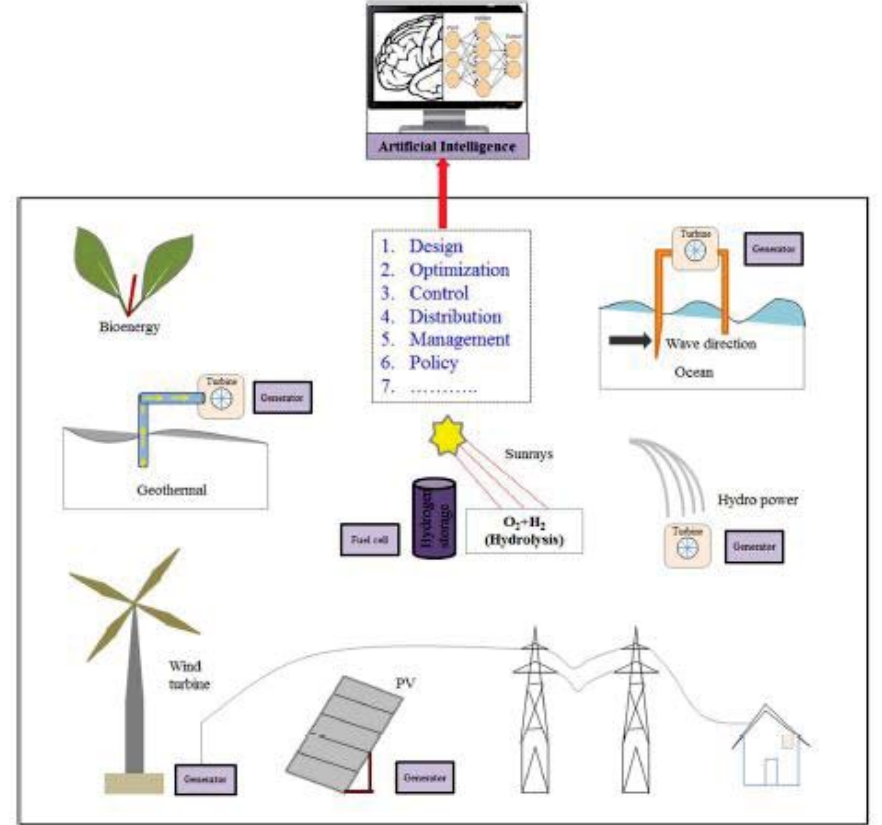
Jeotermal Santral İşletme Dönemi Saha ve Lab. Çalışmaları

Jeotermal Akışkandan Kaynaklanabilecek Kirleticilerin Ortaya Konulması

Parametre	TÜRK STANDARTLARI TS 266 / 2005	DÜNYA SAĞLIK ÖRGÜTÜ WHO /2011	ABD ÇEVRE KORUMA AJANSI EPA / 2008	AVRUBA BİRLİĞİ EC/1998
Birincil Standartlar İnorganik kimyasallar, mg/l				
Alüminyum	0,2	0,1	0,2	
Arsenik	0,01	0,01	0,01	
Bor	1	2,4		
Nikel	0,02	0,02		
Baryum		0,7	2	
Kadmiyum	0,005	0,003	0,005	0,005
Krom	0,05	0,05	0,1	0,05
Bromür				
Florür	1,5	1,5	2	1,5
Siyanür	0,05	0,07	0,2	0,05
Kurşun	0,01	0,01	0,015	0,01
Civa	0,001	0,001	0,002	0,002
Nitrat	50	50	45	50
Selenyum	0,01	0,01	0,05	0,01
Gümüş		0,1	0,1	
Antimon	0,005	0,02	0,006	0,005
Berilyum			0,004	

Jeotermalde Jeokimyasal Çalışmaların Olası Yapay Zeka Uygulamaları

Yapay zeka uygulamaları günümüzde verilerin dijitalleştirilmeye başlanmasıyla farklı çalışma alanlarında kullanılmaya başlanmış olup, enerji de bunlardan biridir. Yapay zekanın bir alt dalı olan uzman sistem uygulaması olan bulanık mantık bir süredir kontrol sistemleri gereken alanlarda uygulanmaktadır.



Jeotermalde Jeokimyasal Çalışmaların Olası Yapay Zeka Uygulamaları

Makina öğrenmesi de yapay zekanın en yaygın kullanılan alanlarından biri olup, jeotermal enerji alanında da çok yeni olarak iki temel uygulamayla kullanılmaya başlanmıştır.

Bunlardan ilki; yöntemin jeotermal arama çalışmalarında kullanımıdır. Hedef var olan jeoloji, jeofizik, jeokimya, sondaj, rezervuardan elde edilen dijital verilere makina öğrenmesi tekniklerinin uygulanması yoluyla derindeki jeotermal akışkanın varlığı, olası karakteristik özellikleri, sıcaklığı gibi önemli parametrelerin tahmin edilebilmesidir.

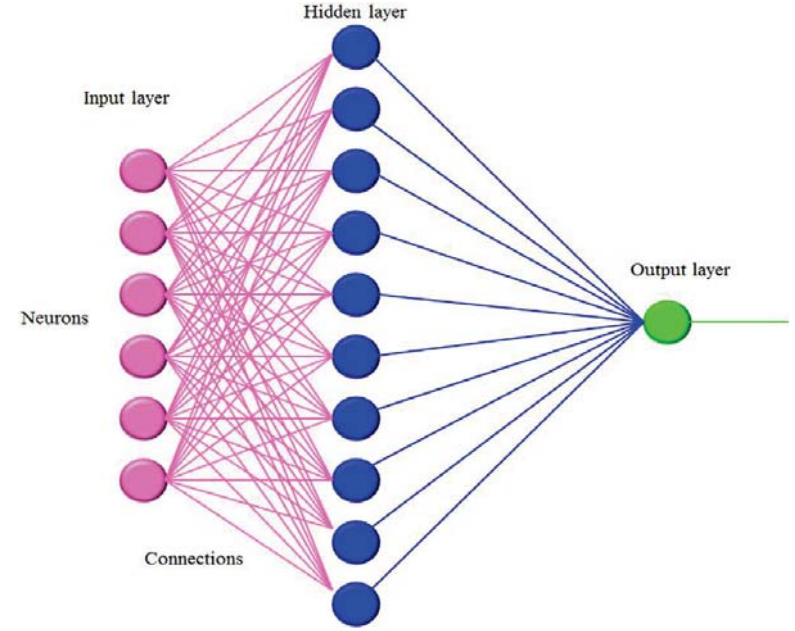


Fig. 14. A simple architecture of ANN method.]

(Jaha vd.2017)

Jeotermalde Jeokimyasal Çalışmaların Olası Yapay Zeka Uygulamaları

Diğer bir olası alan ise; jeotermal enerji santrallerinden elde edilen farklı veriler sayesinde santral performansının arttırılmasına yönelik ve kaynak yönetimini iyileştirmek amacıyla gelişmiş veri analizlerinin uygulanmasıdır.

Bu sayede santrallerinin optimizasyonu, rezervuar koşullarının takibi, santrallerdeki ekipmanların (türbin, pompa vs) bakım zamanlarının tahmin edilebilmesi, potansiyel sorunların önceden öngörülebilmesi, verilerin bu tip ileri yöntemlerle değerlendirilmesiyle mümkün olabilecektir.

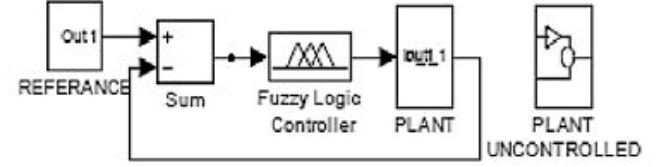


Fig. 10. A diagrammatic view of a silica fuzzy controlled system.

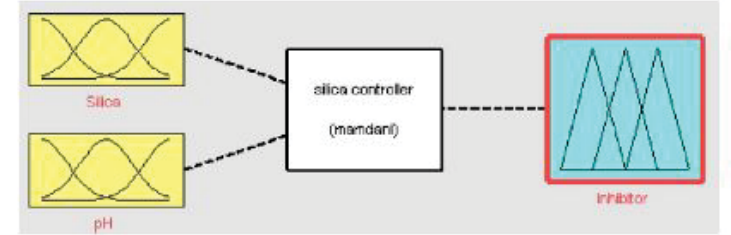


Fig. 11. Inputs and output of a silica fuzzy controller.

(Haklıdır Tut&Haklıdır, 2017)

Teşekkürler