

## JEOTERMAL SULARDA KABUK OLUŞUMUNUN ÖNLENMESİ VE KONTROLÜ

Yalçın BOSTANOĞLU<sup>(1)</sup>, Osman TUTKUN<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> AKÜ, Afyon Meslek Yüksekokulu AFYON

<sup>(2)</sup> Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi SAKARYA

### ÖZET

Sulu çözeltilerden çözünmeyen tuzların çökelmeleri çözeltide granüler veya flokülenent çökelti veya daha önceden oluşan bir substrat üzerindeki bir kabuk (katı bir yüzey üzerinde veya tuz çözeltisindeki askıdaki çökelti üzerinde) olarak meydana gelebilir. Jeotermal tuz çözeltilerinden kabuk çökmesi tuz bileşimi, sıcaklık, basınç ve proses şartlarına bağlıdır.

Tuz çözeltisi kimyası, proses şartları ve kabuk çökmesi arasındaki bağıntılar izah edilmiştir. Silika ve silikat çökeltiler çok az miktardaki katyonik bileşenlerin değerine bağlıdır. Çökeltilerin kimyasal ve fiziksel tabiatı çökmenin proses şartlarına karşı gayet hassas olduğunu göstermektedir.

Çoğu hallerde hız denklemi basitçe zaman ile lineer olacak şekilde yüzeyin çökme hızını etkilemeyecektir. Çökme hızı aşağıdaki denklemle verilebilir.  $R_D = k (C_B - C_S^*)$

Çekirdekleşmeden ziyade yüzey etkilerinin çökme hızında bir değişime sebep olacağı bir hal, ısı akısı ve yüzey sıcaklığına bağlı olan çökme hızının var olmasıdır. Geçmişte çökmenin kontrolü sınırlıydı. Bununla beraber, jeotermal hidrotermal rezervuarların kullanılmasında çökme kontrolüne olan ihtiyaç anlaşılmıştır. pH, kinetik, termal şok ve kimyasal bileşim tek olarak veya toplu bir şekilde kabuklaşmayı kontrol etmekte kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Jeotermal sular, Kabuk, Önleme

## PREVENTION AND CONTROL OF SCALE FORMATION IN GEOTHERMAL WATER

### ABSTRACT

The deposits of insoluble salts from aqueous solutions may occur in the bulk of the solution as a granular or flocculent precipitate or as a scale or an already-formed substrate, scale deposition from geothermal brines depends on the brine composition, temperature, pressure, and process conditions. Relationships between brine chemistry, process conditions, and scale deposits depend on the content of minor cationic constituents. The chemical and physical nature of the deposits show that the deposition is quite sensitive to process conditions.

In most cases, the surface will not affect the deposition rate so that the rate equation will simply be a linear one with time in which the deposition rate is given by equation of the form:  $R_D = k ( C_B - C_S^* )$

One case in which surface effects, other than nucleation, will cause a change in deposition rate as scale deposits is that in which there is a heat flux and the deposition rate depends on surface temperature. In the past, control of deposition has been limited. However, the need for deposition control for exploiting geothermal reservoirs has been recognised.

Kinetics, pH, thermal shock, and chemical composition can be individually or collectively used to control scale.

**Key Words :** Geothermal Water, Scale, Prevention

## 1 GİRİŞ

### 1.1 Jeotermal Enerji

Tanım: Jeotermal enerji, yer kabuğunda erişebilir ekonomik derinliklerde, geçirimli kayalar içerisinde yer alan, basınç altındaki sıcak su, buhar veya sıcak kuru kayaların içerdikleri ısı enerjisidir[1].

Dolayısıyla jeotermal enerji yer küreden kaynaklanan ısı olduğundan doğal bir kaynak olarak değerlendirilir.

Yapay olarak sıcak su buhar üretmek yatırım ve pahalı işlemler gerektirmektedir.Hammadde kaynakları kömür, petrol, veya doğal gaz aranıp bulunacak, taşınacak, depolanacak, üretim tesisleri olan dev ocaklarda,dev kazanlarda yakılıp su ısıtılacak ve buhar elde edilecektir[2]. Oysa, jeotermal kaynaklara sahip ülkeler bu ucuz ve tekrar kullanılabilir enerji kaynağından yeterince faydalanabilirlerse büyük yararlar görürler.

Jeotermal enerjinin yararları; tekrarlanabilir oluşu, çok amaçlı ve farklı yararlanma imkanlarının bulunması, diğer enerji kaynaklarına göre bol oluşu, gerekli teknoloji düzeyinin ekonomik oluşu, çevre kirliliği yapmaması olarak sıralayabiliriz.

## **1.2 Kullanım Alanları**

Jeotermal enerjinin kullanılacağı alan akışkanın doğal olarak sıcaklığına bağlıdır. Sıcaklığı 180-380<sup>0</sup> C arasında olan yüksek entalpili sular elektrik üretiminde ve diğer entegre kullanımlarda; 25-180<sup>0</sup> C arasındaki düşük entalpili olanlar da ısıtmada, endüstriyel uygulamalarda, bazı kimyasalların elde edilmesinde çeşitli amaçlarla yaygın olarak kullanılmaktadır. Tablo 1' de jeotermal akışkanların sıcaklıklarına göre değerlendirilmesi verilmiştir.

## **2. JEOTERMAL SULARDA KABUK OLUŞUMU VE ÖNLENMESİ**

### **2.1 Sebepleri ve Türleri**

Jeotermal kaynaklardan yararlanırken kuyularda, üretim kanallarında, üretim ekipmanlarında ve reinjeksiyon kuyularında kabuk birikmesinin karakteri çözeltinin iyonik dengesine bağlıdır. Suyun iyonik dengesi, yeraltı katmanlarında suyun çözücülük özelliğinden dolayı kaya-su, organik-su etkileşimine bağlıdır. Oluşan birikim ayrıca ekonomiyle de ilgilidir. Kullanılan tüm enerji,tuzluluk ve sıcaklığın bir fonksiyonudur[3].

**Tablo 1** Jeotermal Akışkanların Sıcaklıklarına Göre Değerlendirilmesi [1]

Sıcaklık <sup>0</sup> C	Değerlendirme şekli
180	Yüksek derişimli çözeltilerin buharlaştırılması NH <sub>3</sub> Absorbsiyonuyla soğutma Kağıt hamurunun elde edilmesi
170	Ağır su (Dötöryum oksit,D <sub>2</sub> O ) ve H <sub>2</sub> S eldesi Diatomitlerin kurutulması
160	Kereste kurutulması Balık gibi yiyeceklerin kurutulması
150	Bayers yoluyla Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve diğer kimyasal maddelerin eldesi
140	Çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması Konservecilikte
130	Şeker endüstrisinde ve tuz eldesinde
120	Distilasyonla saf su eldesinde Çok pahalı evaporasyonlarda derişimin artırılmasında
110	Kereste ve çimento kurutulmasında
100	Organik materyallerin (deniz ürünleri,et,sebze ..gibi) Kurutulmasında
90	Balık kurutulması,yün yıkanması,buzların eritilmesinde
80	Kentlerin ısıtılmasında,seracılıkta
70	Soğutmanın alt sıcaklık sınırında
60	Sera,kümes,ahır..gibi işletmelerin ısıtılmasında
50	Mantar üretiminde,kaplıca turizmde
40	Toprak ve alt sınırdaki kent ısıtmalarında Tedavi amaçlı kaplıca ve tesislerinde
30	Yüzme havuzlarında,fermantasyon ünitelerinde
20	Balık üretim çiftliklerinde

Kabuk oluşumunda jeotermal su iyonlarının kontrol edilip çökelmeye neden olan iyonların en aza indirgenmesi en önemli sorundur. Jeotermal su kullanım alanlarında çözülmüş iyonların toplamı genellikle 1000 ile 400.000 ppm arasında olmaktadır.

Jeotermal tuzluluğun kabuk birikiminde en belirgin örnekleri CaCO<sub>3</sub> ve SiO<sub>2</sub> (silika ) birikimidir. CaCO<sub>3</sub> birikimine kalsit kabuğu

denilmektedir. Kalsit birikimi yapmayan diğer maddeler silikat ve hidroksitlerdir.  $\text{OH}^{1-}$  katyonları  $\text{CaCO}_3$  birikimi gibi Fe ve Mg ile de birikim yapar. Silika birikimi ise, amorf silika veya diğer katyonlarla silika katyonlarının Fe veya Al silikatları şeklinde meydana gelir. Bunun yanında  $\text{OH}^{1-}$  katyonlarının birikimi amorf silikanın pıhtılaşmasına veya değişik çökeltme şekillerine neden olur. Ayrıca karbonat, silika ve silikat birikimleri  $\text{OH}^-$  katyonlarının çözünmez hidroksit birikimleridir[4].

$\text{CaCO}_3$  sıcaklıkla tersine doğru çözünür. Silika çözünürlüğü ise genelde tuzlarla hariç sıcaklığın azalmasıyla azalır.

**Tablo: 2** İşlem ekipmanlarında jeotermal tuzluluğun birikimi ve tabiatı

Birikim	Yapı	Çözünürlük	Tepkime kinetiği
$\text{CaCO}_3$	Kristal	Ters yönde	Hızlı
Silika	Amorf	İlk yönde	Çok yavaş
Silikatlar	Amorf,Partiküllü,Kristal	İlk yönde	Yavaş

## 2.1 Kabuk birikiminin genel tanımı ve ısıl işlemlerdeki durumu

$\text{CaCO}_3$  birikimi,  $\text{CO}_2$ 'in kısmi basıncı ve çözeltinin pH'ı ile ilgilidir. Örneğin, Bolshe-Banny (USSR) jeotermal alanındaki bir kuyuda  $\text{CaCO}_3$  birikimi derinliğe karşı sıcaklık değişkenlerine göre incelendi.

Kaynama noktası bölgesinde sıcaklık eğrisi birden bire kırılma yapmadan önce derinliğin azalmasıyla doğrusal olarak sıcaklık ve basınç azalır[5].

Yeni Zelandanın Wairakai jeotermal alanındaki birikim silika birikimi olup işletme ekipmanlarının iç cidarlarında görülmektedir. Yeterince biriken silika kabukları mekanik kazımayla kaldırılmaktadır. Japonya'nın Ozawa ve Fuji jeotermal alanındaki birikimi önlemek için, yukarıya çıkan sıcak su bir depoda dinlendirilerek kabuklaşmaya neden olan silika tuzlarının çökmesi sağlanıp boru cidarlarındaki birikim eğilimi düşürülür.

Jeotermal işlemlerde en çok problem olan konu kabuk oluşumudur[6]. Kabuğu oluşturan değişik çözünenlerin ortak olan sorunları teknik ve dolayısıyla da ekonomiktir. Dünyada birçok jeotermal üretim projelerinde çok değişik denemeler yapılmış ve bu konuda büyük gelişmeler sağlanmıştır.

**Tablo 3** Jeotermal bir işlemde ağırlıkça tipik bir kabuk birikiminin kimyasal bileşimi

Ülke	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Al	Fe	Si	Ca	Mg
Japonya	78,48	-	-	2,44	2,25	0,20	-	-
Japonya	51,80	-	-	0,19	9,60	-	0,26	0,23
İzlanda	61,51	0,68	1,05	6,19	2,80	0,25	2,83	0,49
USA	0,20	0,12	-	6,40	-	-	0,71	3,13
USA	36,50	1,40	0,95	-	15,90	-	0,87	0,04
Meksika	90,02	0,08	0,03	0,07	0,10	-	0,18	0,01
Yeni Zel	39,80	0,24	0,01	0,27	5,40	-	0,03	24,20

Genel olarak kabuklaşma 3 kısımda incelenebilir.

1. Sıvı ve katı fazlı jeotermal akışkanda kabuk oluşumuna fiziksel ve kimyasal olaylar neden olur.
2. Oluşan kabuğun giderilmesi
3. Kabuk oluşumuna neden olan sorunların giderilmesi

Kabuklaşma, çeşitli inorganik kimyasalların orada bulunma nedenlerinden dolayı ikinci bir birikim olayıdır.

Birikmeye sebep olan en küçük parçalar birikme yerinde bir araya gelerek toplanmaları ise birinci olaydır.

Tablodaki kimyasal bileşenlerin hepsi birlikte bir kabukta bulunmaz.

Örneğin yeni kurulmuş bir jeotermal işletmede kabuğu oluşturan bileşenlere yeni bazı kimyasal maddeler daha eklenebilir[7].

Tablo 4 Kabuklaşmaya neden olan bileşenler

a) Tabii bileşenler	1. Silika 2. Sülfat ( Ba, Na, Ca, Mg ) 3. Sülfidler ( Fe, Zn, Pb, Cu, Ag, Sb ) 4. Silikatlar 5. Karbonatlar (Ca, Fe) 6. Halojenler (F, Cl, Br, I)
b) Yapay bileşenler	1. Sülfatlar 2. Silikatlar 3. Killer 4. Sülfidler ( As ) 5. Değişik organikler 6. Yabancı maddeler

Jeotermal sularda kabuk oluşumu bir sübriz değildir. Akıcı üründe, katı parçacıklar kayadan ayrılıp suya geçmiştir. Rezervuar içindeki suda çözünen maddelerin iç faza taşınmalarının sonucunda kabuk birikimi olur. Oluşan kabuk, kuyu veya madeni ekipmanların cıdarlarında meydana gelir. Birikimden dolayı çökme olur ve kabuk oluşur.

Yalancı kabuk olan diğer bir birikim tam anlamıyla kabuk değildir. Bu yalancı kabuk , kimyasalların tepkimeye uğramamasından veya doğal akışkanın içindekilerinin kimyasal reaksiyona girmeden çökmesi sonucunda oluşmuştur. İsteksiz kimyasal tepkimelerle, jeotermal akışkanın bazı bileşenleri birkaç çeşit demirli yalancı kabuklar yapabilmektedir.

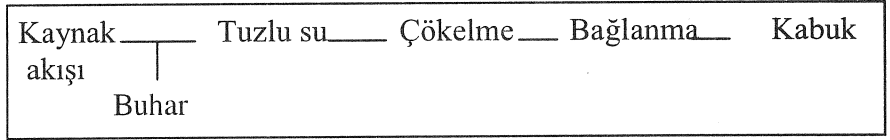
Kimyasal bir çözücüyle çözünen yalancı kabuklar, orjinal kabuk problemlerinden daha kötü teknik problemlere neden olabilmektedirler[8].

Jeotermal akışkan sistemlerinde bir kaç tip yalancı kabuk oluşumları vardır ve bu kabukların birkaç değişik mekanizmaları bulunmaktadır.

Bu mekanizmalarda kabuk oluşumu son derece kolay gösterilir. Örneğin şekil 2’de jeotermal işlemlerde şimdiye kadar görülen kabuk tiplerinin bir kaç değişik mekanizması gösterilmektedir. Çalışma

alanlarında jeotermal kabuklaşmanın tüm çökeltme reaksiyonları bu tablolar yardımıyla önceden kestirilebilir. Genelde kabuklaşmanın tahmini için önemli modeller çoğunlukla jeotermal alan çalışmalarında geliştirilir. Bunun için kaynağın yüksek entalpisinin hesaplanması önemlidir.

Örneğin, jeotermal akış üretimi esnasında, akış ürün kütlesi veya hacim başına düşen kabuk oluşumunun miktarı yerel olarak hesaplanabilir. Jeotermal alanın ticari olarak kararlaştırılmasından sonra kabuk önleme metotları veya tiplerinin bilinmesi gerekir. Jeotermal sahalarda kabuk önlenmesinde ilk akla gelen metot, kuyu içindeki veya kuyu ağzındaki oluşan kabuğun giderilmesi için kuyunun tekrar delinmesidir. Ama, kabuğun oluşum modellerinin bilinmesi jeotermal sahada birçok faydalar sağlar. Örneğin, ısısı alınmış tuzlu suyun reenjeksiyonu, kaynağın basıncının devamının sağlanması için yabancı su da olsa onun reenjeksiyonu, enjekte edilen ve mineralleri bilinen suyun jeotermal su ile uyumu ..gibi faydalar sayılabilir[9].



Şekil: 2 Kabuklaşmanın mekanizması (I)

### 3. BİRİKMENİN ÖNLENMESİ

#### 3.1 Kimyasal yolla

##### 3.1.1 Ferrik silikat kabuğunun önlenmesi[10]

##### 3.1.2 Kalsiyum karbonat kabuğunun önlenmesi

##### 3.1.3 Silikat kabuğunun önlenmesi

#### 3.2 Kimyasal çözme yoluyla kabuğun önlenmesi

#### 3.3 Su şiddetiyle kabuğun önlenmesi

#### 3.4 Kabuk oluşumunun elektrik akımıyla önlenmesi

#### 3.5 Miknatıslanma yöntemiyle kabuğun önlenmesi:



#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

CO<sub>2</sub> giderilmesi sonucu oluşan pH atışı ile sebep olunan karbonat konsantrasyonu artışı çökelmeye sebep olduğundan, kalsiyum karbonat çökmesi pH'ın kontrol edilmesi ile kontrol edilebilir. Bu etki, genellikle çözeltilerin azalan sıcaklığı nedeniyle çözünürlükteki artışı azalacaktır. Bunun sonucu karbon dioksit giderilmesi ve çıkışı nedeni ile çözeltilerin pH'ındaki bir değişimi önlemekle çökelti azaltılabilir. Alternatif olarak çözünürlüğü devam ettirmek üzere yeterli derecede düşük pH'ı muhafaza etmek için asit ilave edilmesi mümkündür. Kalsiyum karbonat çökmesi hızlı olduğundan kalsiyum karbonat kabuğu teşkil etmek için yeterli miktarda kalsiyum ve karbonata sahip olan jeotermal çözeltiler için problem kritik bir durum arzeder.

Diğer bir durum ise silika çözeltilerinin kontrolüdür. Relatif olarak daha yavaş kinetiğe sahip olduğundan silika çökmesi çeşitli yollarla kontrol edilir.

Genelde jeotermal çözeltilerden çökmenin kontrolü için bir yaklaşım, ya jeotermal suların çökmenin meydana geldiği sıcaklığın yukarısında çözeltileri muhafaza etmek veya tuzların konsantrasyonunun bunların çözünürlük sınırının aşagısında tutmak üzere tuz çözeltilerini seyreltmektir.

Sabit ısı akışı tipik bir proses şartı olmadığından, jeotermal çözeltilerden maddenin çökme hızı, tüm proses şartlarının sabit kaldığı varsayılırsa soğutulmuş veya ısıtılmış bir yüzeyde üstel olarak azalan bir hızda meydana gelir. Hiç bir ısı akışının olmadığı bir yüzey için çökme hızı sabit olur. Çökme hızı aşırı doygunluk derecesi ile orantılıdır.

#### KAYNAKLAR

[1].Özpinar Yahya, Jeotermal Uygulamalar Sempozyumu 94, Pamukkale Üniv. Müh. Fk. Jeoloji Müh. Bl. ,Denizli, 1994

[2].Mertođlu Orhan ve Murat, Başarır Nilgün, Jeotermal merkezi ısıtma sistemlerinin çevreye mäsnet katkısı, teknoloğisi ve ekonomik değerlendirilmesi, Ankara 1993

[3].Başarır Hikmet,Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Üniv, İstanbul, 1993

[4].Anatolia, Turizm ve Çevre Kültür Dergisi, Eylül - Ekim ,1993, İstanbul

[5].Sarışık Mehmet, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 1994

[6].Afyon Sanayi ve Ticaret Odası, Afyon Jeotermal Araştırma sahasında yürütölen çalışmaları

[7].Eriřen Bilge, Use of Afyon Geothermal area in heating the cities minerals Research and Exploration Institute, Ankara, Turkey

[8].Atılđan Mehmet, Ülkemizde jeotermal kaynaklar ve konut ısıtılması, Afyon Belediyesi Beldemiz dergisi, yıl 10 sayı 37, 1994, Afyon

[9].Anson S., Sinclair K., Swezey B., Profiles in Renewable Energy Geothermal, Ormesa Geothermal Complex, Dixie Valley Project,

[10]U.S Department of Energy, U.S Geothermal Technoloji, 1994,