

JEOTERMAL SAHALARDA KABUKLAŞMA VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Niyazi AKSOY

ÖZET

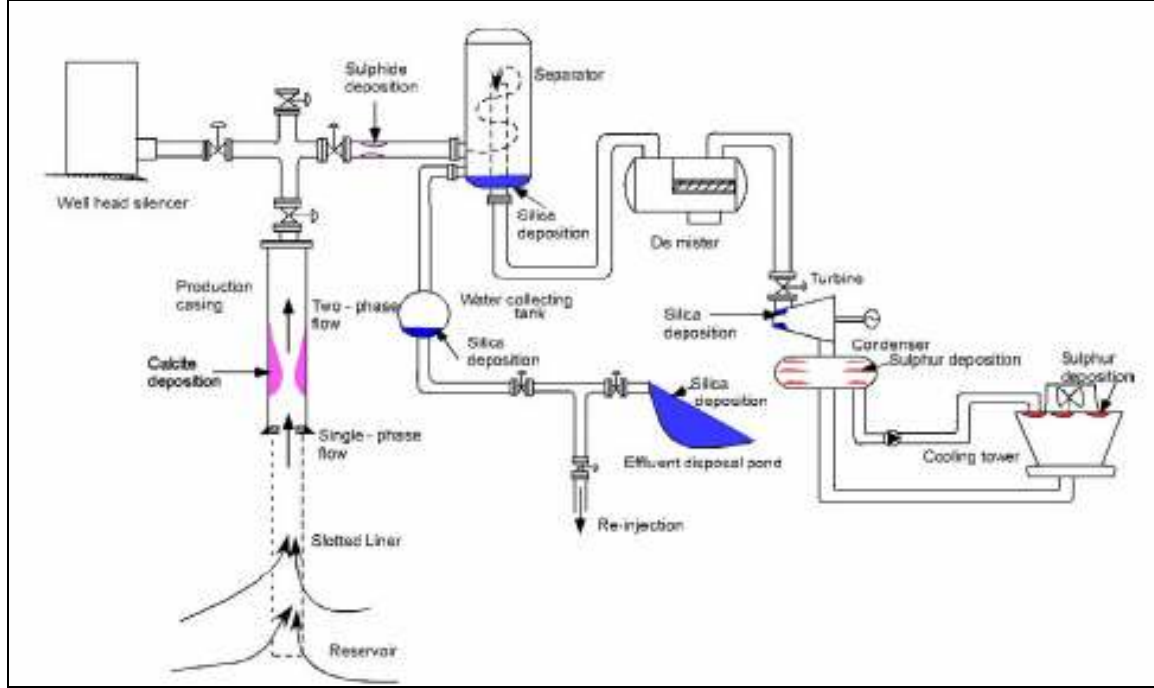
Kabuklaşma, jeotermal akışkanın geçtiği kuyu, boru hattı, ısı değiştiricileri vb. yerlerde akışkanın içerisindeki element ve bileşiklerin uygun koşullarda çökerek mineral ve katı bileşikler oluşturmasıdır. Kabuklaşma üretimin azalmasına neden olur. Oluştığı yerlerdeki mekanik tesisatın çalışmasını engeller. Isı transferini olumsuz etkiler ve bütün bunların sonunda daha az enerji üretilmesine neden olur. Uygun önlem alınmazsa üretim ve geri basım kuyularının tıkanarak kaybedilmesine neden olur. Verimsiz çalışmanın yanı sıra, doğuracağı ilave masraflarla projeye ekonomik yükler getirir. Bu nedenle kabuklaşma, jeotermal kaynak değerlendirme ve finansal risk analizinde ihmal edilmemesi gereken bir faktördür.

Kabuklaşma herhangi bir mineralin, akışkanın bulunduğu sıcaklık ve basınç koşullarındaki doymuşluğu ile ilgilidir. Doymuşluk, basınç, sıcaklık, tuzluluk ve pH ile değişir. En çok bilinen kabuklaşma türleri kalsiyum karbonat, silika, sülfür ve sülfid minerallerinin çökmesidir. Kabuklaşmayı önlemek için kimyasal uygulamaların yanı sıra; kabuklaşma oluştuktan sonra etkilerini ortadan kaldırmak için mekanik temizlik, kazıma, hidrolik çatlatma yöntemleri uygulanabilmektedir. Kimyasal madde dozajı uygun ve ekonomik bir çözüm sağlamaktadır. Bu çalışmada ülkemizde gerçekleştirdiğimiz bir çalışmadan elde edilen sonuç ve deneyimler paylaşılmaktadır.

1. GİRİŞ

Herhangi bir mineralin sudaki çözünürlüğü, sıcaklık, basınç, pH ve redoks potansiyeline bağlıdır. Çözünürlüğü kontrol eden bu parametrelere bağlı olarak mineraller suda çözünürler veya çöklerler. Kalsiyum, silisyum, sülfür ve sülfid çökelmeleri en çok karşılaşılan türlerdendir. Kalsiyum karbonat üretim aşamasında kuyu ve taşıma hatlarında etkili olurken, silika çökmesi ısı eşanjörleri ve geri basım kuyularında, sülfür ve sülfid çökelimleri daha ziyade kondenser, soğutma kuleleri ve eşanjörler içerisinde etkili olmaktadır (Şekil 1).

Aslında yukarıda sayılanlardan başka onlarca mineralin çökmesi söz konusu olabilmektedir. Hangi minerallerin çökebileceğini belirlemek için rezervuar koşullarındaki akışkan kompozisyonunun bilinmesi ve üretimden geri basıma kadar olan tüm süreçteki basınç ve sıcaklık koşullarına göre, çökme riskinin olup-olmayacağını veya hangi minerallerin çökebileceğini belirlemek mümkündür. Bu konuda hazırlanmış programlar, denge ayrıştırma hesapları, sıvı fazdaki serbest iyon ve iyon çiftlerini hesaplamaktadır. WATCH, WATSPECT, WATEQ, PhreeqCi gibi bilgisayar kodları kullanılarak çökme koşulları ve çökebilecek mineraller saptanabilir. Bu programlar herhangi bir basınç ve sıcaklık koşullarındaki akışkan kimyasını kullanarak, (geriye) rezervuara doğru veya (ileri) kullanım aşamalarında suyun kimyasının nasıl değişeceğini hesaplamaktadır. Bu programların başarılı olabilmesi ve tutarlı hesaplamalar yapabilmeleri için örnekleme koşulların iyi tanımlanması gerekir. Örneğin örnekleme sıcaklığı ve basınç buharlaşma miktarını etkiler. Buharlaşma arttıkça, örneklenen fazdaki (sıvı faz) elementlerin konsantrasyonları artacaktır. Gazlar sıvı fazdan ayrılacaklarından su kimyası ile birlikte pH'da değişecektir.



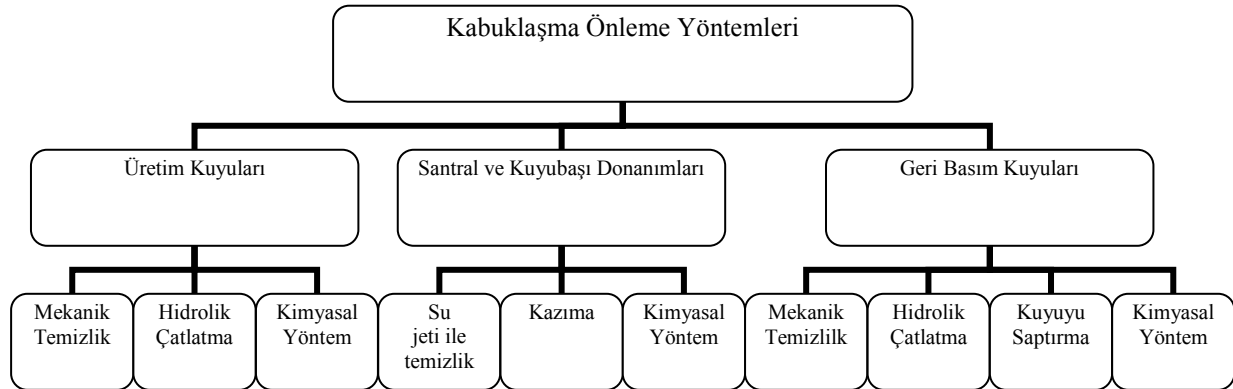
Şekil 1. Kabuklaşma oluşan noktalar ve kabuklaşma tipleri [1].

Yukarıda sözü edilen programlar kullanılarak belirli bir koşul için (basınç, sıcaklık, pH ve redoks potansiyeli) suyun herhangi bir minerale karşı doygunluğu hesaplanabilir. Eğer, doygunluk indeksi (SI);

SI = 0 ise su ve söz konusu mineral ile dengededir.

SI > 0 ise su minerale aşırı doygunudur ve söz konusu mineral çökerir.

SI < 0 ise su, söz konusu minerale doygun değildir, çökeltme olmaz, söz konusu mineralde bir miktar daha suda çözmek mümkündür.



Şekil 2. Kabuklaşma önleme yöntemleri [2].

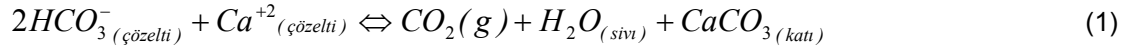
Kabuklaşma kuyu çapını azalttığı için sürekli olarak debi azalmasına üretim ve gelir kaybına neden olur. Kalsiyum karbonat kabuklaşması önceleri kuyularda kabuklaşma oluştuktan sonra bir sondaj makinesi ile mekanik olarak temizlenirdi. Bu iş Kızıldere sahasında hala böyledir. Şekil 2'de kabuklaşma türlerine göre uygulanabilecek çözüm yöntemleri görülmektedir.

Ancak, mekanik temizlik kuyu içerisinde oluşan kabuklaşmayı ortadan kaldırırsa da, üretim kaybına bir çözüm getirmez. Tesisin ihtiyaç duyduğu akışkan debisini sağlamak için daha çok kuyu delinmesini gerektirir. Diğer taraftan kuyuların periyodik olarak, sık sık temizlenmesi ve bu arada koruma borularının karşılaştığı yükler ve termal gerilimler onların ömrünün kısalmasına yol açmaktadır.

2. KABUKLAŞMA TİPLERİ

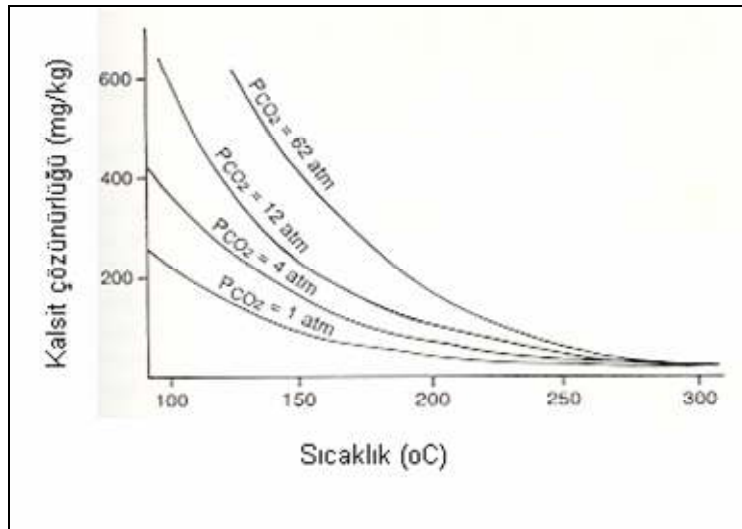
2.1. Kalsiyum Karbonat Kabuklaşması

Kalsiyum karbonat jeotermal sularda çok bol bulunan bir bileşiktir. Kalsit, aragonit ve vaterit kalsiyum karbonatın mineral çeşitleridir. Vaterit çok kararlı değildir ve kalsite dönüşür. Sonuç olarak kalsiyum karbonat, kalsit ve aragonit formlarında çöker. Kalsit çözünürlüğü, kısmi karbon dioksit basıncı ile ilgilidir. Karbon dioksit kısmi basıncı azalırken, $CO_{2(gaz)}$ buhar fazına süratle geçer, akışkanın pH'ı yükselir. Akışkan kalsite karşı aşırı doygun hale gelir ve kalsit çöker. Kalsit çökmesi Eşitlik 1 ile ifade edilir.



Kalsit çözünürlüğü karbon dioksit gazının basıncı ile artar sıcaklıkla arttıkça azalır (Şekil 3). Her iki parametre de bir ölçüde kontrol edebileceğimiz değerler olup, kalsiyum karbonat kabuklaşması için bize önemli bilgiler verir. Bunlar:

- Kabuklaşma kaynama ile başlar.
- Akış basıncı karbondioksit kısmi basıncının üzerinde tutulması durumunda, kabuklaşma olmaz.
- Kalsit çözünürlüğü sıcaklıkla ters orantılıdır. Yani düşük sıcaklıkta daha çok kalsit çözünür.



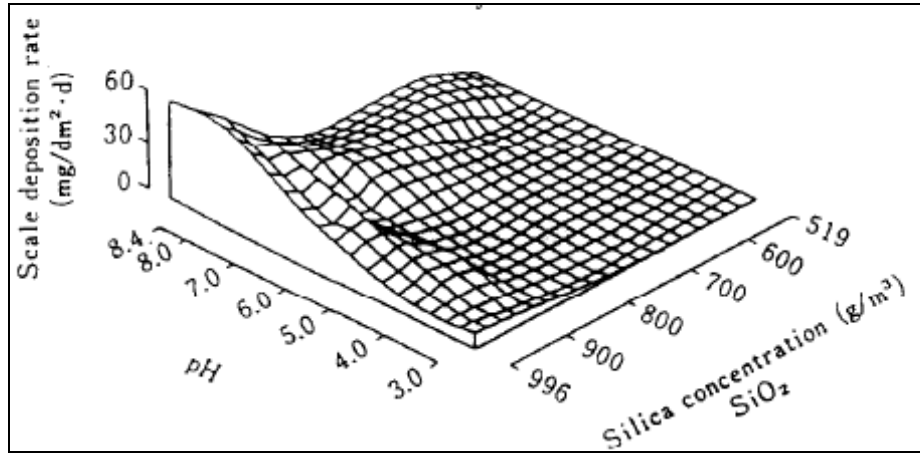
Şekil 3. Kalsit çözünürlüğü [3].

Yukarıdaki özete göre jeotermal akışkanın soğumaya başladığı yerlerde eşanjörlerde ve iletim hatlarında, soğuma ile çözünürlük arttığından kalsit çökmesi beklenmez. Kuyu ve iletim hatlarında akışkanın kaynamasına izin verilmez ise bu bölgelerde de kabuklaşma olmaz. Ama bu her zaman mümkün değildir.

Çünkü, sistem basıncının karbon dioksit kısmi basıncının üzerinde tutulmak istenmesi durumunda bir çok kendiliğinden üretim yapan kuyu üretim yapamaz veya üretim miktarı son derece azalır. Burada pompalı üretim tek başına ve kabuklaşma inhibitörleri ile birlikte uygun çözümler sağlayabilir.

2.2. Silika Kabuklaşması

Silika kabuklaşması jeotermal santrallerin en önemli sorunudur. Silika rezervuarda denge halinde bulunur. Sıcaklık arttıkça çözünen silika miktarı artar ve bu nedenle rezervuar sıcaklığını tahmin etmek için iyi bir jeotermometredir. Silikaya doymun olan jeotermal su, buharlaştıktan sonra silikaya aşırı doymun hale gelir ve silika çökelmeye başlar. Silika çökmesi başlıca pH, sıcaklık, silika konsantrasyonuna ve diğer minerallerin ve tuzların etkisine bağlıdır (Şekil 4). Santraller, diğer jeotermal tesislere göre daha yüksek sıcaklıklı kaynaklar üzerine kurulduğundan, silika kabuklaşması özellikle elektrik santrallerin sorunu olmaktadır.



Şekil 4. Silika konsantrasyonu, pH ve çökeltme miktarı ilişkisi [2].

Jeotermal sularda silika genellikle 700 ppm den azdır, çünkü silika çözünürlüğü 340 °C de 770 ppm de maksimum noktaya ulaşır ve daha sonraki sıcaklıklarda azalır. Jeotermal sularda tipik olarak 100-300 ppm arasında bulunur [3]. Silika kuvars, kalseduan, kristobalit ve amorf silika formlarındadır. Her birinin sudaki çözünürlüğü farklıdır. Kuvars ve amorf silika bizleri daha çok ilgilendirir, zaten diğer formların çözünürlüğü bu iki silika formunun arasında yer alır. Rezervuarda, yüksek sıcaklıkta amorf silika veya kuvarsla dengede olan jeotermal akışkandaki silika, monosilik asit formundadır, Eşitlik 2.



Atmosfer koşullarında buharlaşan jeotermal akışkandaki silika genellikle amorf silika olarak aşırı doymun hale gelir, koloidal, jel, iğneli veya opal silika olarak çökeler. Silisli çökeller, yüzey donanımları ve reenjeksiyon kuyularında ve kuyu-formasyon arasında çökelmektedir. Reenjeksiyon kuyularında hızla enjektivitenin azalmasına neden olmaktadır. Silika çökelleri mekanik ve kimyasal uygulamalarla giderilmektedir. Çoğu zaman tek başına mekanik çözüm yeterli olmamakta ve HF (hidro florik), NH₄HF₂ (amonyum hidrojen biflorid)+HCl (hidro klorik) ile asitleme yapmak gerekmektedir.

Silika çökelimini önlemek için HCl ilavesiyle pH'ın 5'in altına düşürülmesi veya NaOH enjeksiyonu pH in süratle yükseltilmesi silika çökelimini önlemektedir. Kireç eklenerek silika, kalsiyum silikat olarak çökeltilir. Bekleme havuzlarında silikanın çökmesinden sonra reenjekte edilmesi de bir başka yöntemdir.

2.3. Sülfür ve Sülfid Kabuklaşması

Sülfitler düşük, orta, yüksek entalpili ve yüksek TDS (toplam çözünmüş madde) miktarına sahip tüm jeotermal sularda çökebilir. Korozif jeotermal su kuyudaki koruma borularını korozyona uğratarak Fe, Pb, Zn gibi metalleri açığa çıkarır. Bu metaller, metal sülfid formunda çöklerler. Yüksek sıcaklığa sahip sahalarda silika çökmesiyle birlikte görülürler.

Sülfür minerallerinden stibnit (Sb_2S_3) kabuklaşması antimon konsantrasyonu, sıcaklık ve pH tarafından kontrol edilir. Soğuma bölgelerinde çökler. Bu nedenle çift çevrimli (binary) santrallarda eşanjörlerin kirlenmesine ve verim kaybına neden olur [4].

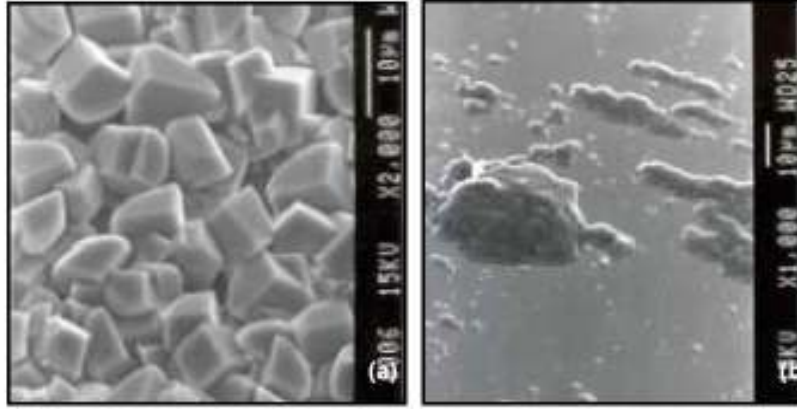
3. KABUKLAŞMAYI KONTROL ETME VE ÖNLEME

Kabuklaşmayı kontrol etmek için bir çok yöntem bulunmaktadır. Bunlar: pH kontrolü, kaynama basıncının kontrol altında tutulması (gerekirse kuyu içi pompalar kullanılması), mekanik ve kimyasal temizlik ve kimyasal madde enjeksiyonudur (Şekil 2). Bunlardan en uygunu kimyasal madde (inhibitör) enjeksiyonu ile kabuklaşmanın önlenmesidir.

Kalsit ve aragonit kabuklaşması düşük ve orta entalpili sahaların ana kabuklaşma sorunudur. Düşük entalpili ve düşük karbondioksit içeren sularda, sadece basınç kontrolü ile kabuklaşma önlenemez. Örneğin, Balçova sahasında ($140\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve $\%0.01\text{ CO}_2$ için) üretim kuyularından eşanjöre kadar sistem basıncı 6 bar'da – belirtilen sıcaklıktaki kaynama basıncının üzerinde- tutularak, kabuklaşma kontrolü sağlanmıştır. Jeotermal su eşanjörde adyabatik soğumaya maruz kaldığından, kalsiyum karbonat çökmesi bir yana, soğuma nedeniyle kalsite doymamış duruma geçmektedir. Bu koşullarda işletilen Balçova sahasında, inhibitör tüketimi yıllık 2-3 bin \$ düzeyine çekilmiş ve 100 bin \$/yıl tasarruf sağlanmıştır.

Ancak, yüksek sıcaklık ve yüksek miktarda CO_2 içeren sularda, kaynama sağlanmadan üretim neredeyse olanaksızdır. Bu durumda kaynama noktasından itibaren kabuklaşma riski oluşacaktır. En riskli bölgede kuyuda kaynamanın başladığı yer ve üzeridir. Kaynama sonrasında kuyu içerisinde iki fazlı akış başlar ve sıcaklık düşeceği için bu durum kalsit çözünürlüğünü artırır ve kabuklaşma çoğu zaman kuyu başına kadar ulaşmaz. Yüzeyle ulaşan akışkanın sıvı fazının yeniden kaynamasına izin vermemek gerekir. Örneğin çift çevrimli (binary) santrallarda, sıcak su doğrudan eşanjöre gönderilir ve burada hızla soğur. Bu nedenle eşanjörün içerisinde kalsit kabuklaşması riski olmaz.

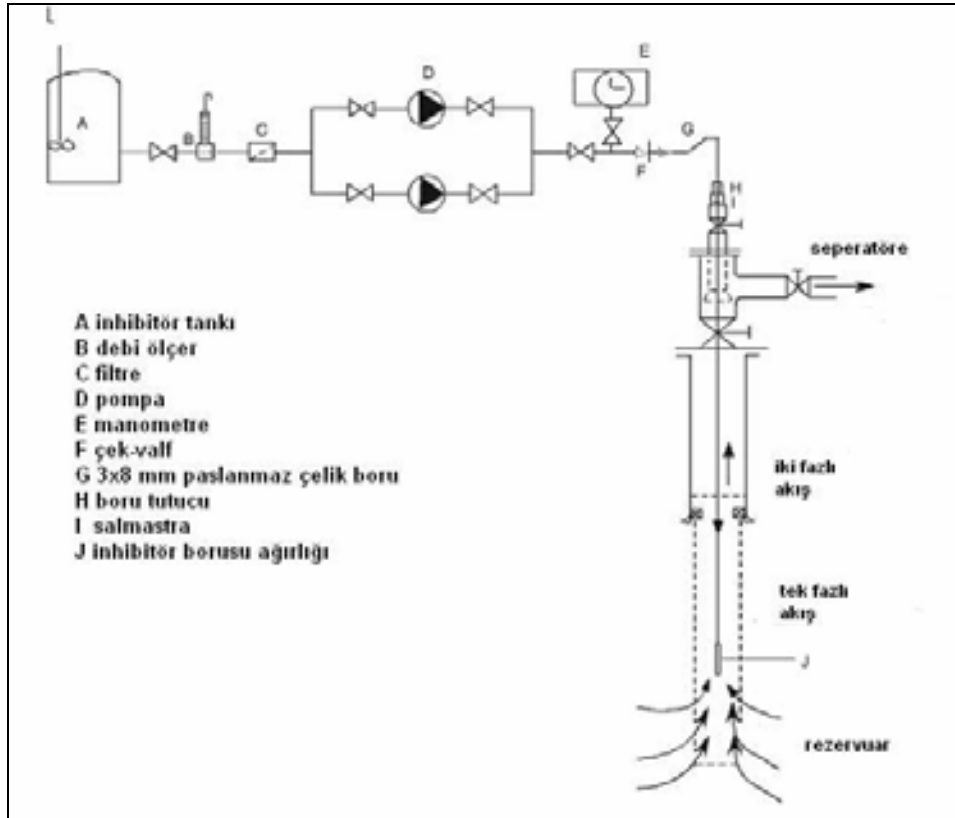
Kalsiyum karbonat kabuklaşmasını önlemede kimyasal madde enjeksiyonu çok etkilidir. Poliakrilatlar ve fosfat bazlı inhibitörler kalsiyum karbonat kabuklaşmasını önlemede çok başarılıdır. Fosfat bazlı inhibitörler $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ye kadar çalışırken, poliakrilatlar daha yüksek sıcaklıklarda da stabilitelerini korumaktadır. Her iki kimyasal madde kuyudaki kaynama noktasının altından basılırken, poliakrilatların daha da derinden basılması tavsiye edilmektedir. Inhibitörlerin kabuklaşmayı önlemek için yaptıkları etkilerden biri çekirdek oluşumunu engellemek (Şekil 5), tuzların çökmesini veya belirli kanyonları tutarak kabuklaşmayı önlemektedir.



Şekil 5. Laboratuvarda kalsit oluşumun elektron mikroskobu görüntüleri. a) İnhibitör yok, b) 5 ppm fosfonat bazlı inhibitör kullanılırken [5].

4. İNHİBİTÖR ENJEKSİYONU ve DONANIM

Inhibitör dozajlaması sırasında kullanılan tüm donanım Şekil 6,7 ve 8’de verilmiştir. Aşağıda bu şekillerde görülen donanımlar ve çalışma şekli açıklanmaktadır.



Şekil 6. İnhibitör dozajı ve dozaj donanımları.

4.1. Depolama Tankı, Bağlantılar ve Karıştırıcılar

Koruyucu kimyasalların büyük bir kısmı asidik ve korozif maddeler olduğundan, bu tür ortamlarda kimyasal depolanması için paslanmaz çelik ve daha da uygunu yüksek yoğunluklu polietilen tanklar kullanılması uygun olur. Depolama tankından dozaj pompalarına kadar olan boru ve bağlantıların yüksek yoğunluklu polietilen malzemeden ve paslanmaz çelikten olması gerekir. Tankın içerisindeki kimyasal madde türüne göre zaman zaman karıştırılmalıdır. Böylece tankta olası çökelmelerin önüne geçilebilir. 5 dakika/saat uygun bir karıştırma süresidir. Bazı kimyasalları sürekli karıştırmak gerekebilir.

4.2. Dozaj Pompaları

Kimyasal maddeleri kuyuya basacak olan pompaların uzun süreli ve kötü koşullarda çalışmaya dayanıklı olması gerekir. Az bakım gerektiren, yedek parçası bol veya yedek parçası stoklanabilen pompalar seçilmelidir. Diyaframlı volümetrik veya pistonlu pompalar yüksek basınç sağlayabilmektedir. Tipik bir dozaj pompası 20-25 L/saat debi ve 75-100 bar basınçta çalışabilmelidir. En uygun pompayı seçmek için kuyu debisi, ihtiyaç duyulan kimyasal madde konsantrasyonu ve kimyasal maddenin seyreltme oranını bilmek gerekir. Tüm bunlara rağmen pompa kapasitesinin gelecekteki ihtiyaçlar veya farklı kimyasal maddelerde dikkate alınarak %30 daha büyük seçilmesi faydalıdır. Basınç için kılcal boru derinliği dikkate alınmalıdır. Örneğin boru 500 m derinliğe yerleştirilirse, bu borunun için gazla dolması durumunda gazı öteleyebilmek için yaklaşık 50 bar basınçlı bir pompa gerekecektir. Diğer taraftan kısmi gaz basıncı ve boru set derinliğindeki basınç dikkate alınarak, bunlardan hangisi daha büyükse pompa basıncı o büyüklükten %30 kadar daha büyük olmalıdır.

Dozaj pompaları genelde yüksek basınçlar için seçilmesine rağmen çoğu zaman çok küçük basınçlarda, hatta negatif basınçlara karşı çalışmak durumunda olabilirler. Bu durumda pompalar minimum çalışma basınç ve debilerinin de bilinmesinde fayda vardır. Pompayı daha etkili çalıştırabilmek için, kılcal borunun alt ucuna veya pompanın önüne basınç altında açılan bir valf konulabilir.

Dozaj pompaları mutlaka yedekli olmalı, eşit sürelerle değiştirilerek eşit yaşlanma sağlanmalı ve pompalardan herhangi birinde oluşabilecek bakım, arıza gibi duraksamalarda diğeri otomatik olarak devreye girmelidir. Pompaların düzgün çalışıp-çalışmadığı bir görevli tarafından yerinde sık sık veya SCADA sistemi ile sürekli denetlenmelidir.

4.3. Filtreler

İnhibitör düzeneği üzerinde üç ayrı noktada filtre bulundurulmasında yarar vardır. Depolama tankı girişi, çıkışı ve pompanın basma tarafı en uygun yerlerdir. Kimyasal maddeyi hazırlama aşamasından depolama tankına kadar çevresel kirleticilerden (toz-toprak vs.) korumak gerekir. Yine de önlem olarak depolama tankına kimyasal madde boşaltırken burada bir süzgeçten geçirilmesinde fayda vardır. Taşıma ve boşaltma sırasında karışabilecek kirleticiler bu filtrede tutulabilir. İkinci filtre tank çıkışında yer alır ve pompayı korur. Üçüncü filite pompa çıkışına yerleştirilerek kapiler borunun korunmasına özen gösterilir. İkinci ve üçüncü filtrelerin yedekli olmasında ve birinin bakımı yapılırken diğersinin kullanılması gerekir. Filtre büyüklüğü için, tank çıkışına 10 mesh ve pompa çıkışına 50 mesh filtre uygundur.

4.4. Kapiler Boru ve Ağırlık

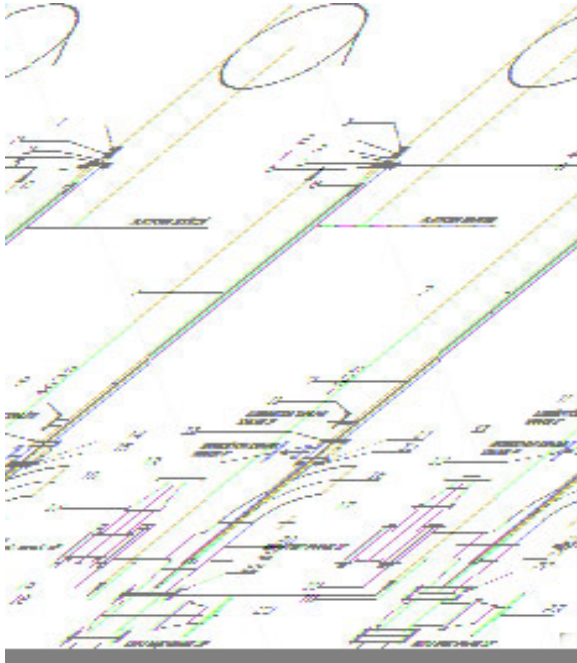
Kuyulara inhibitör enjeksiyonu için kullanılan kapiler boru ve ağırlık korozyona karşı dayanıklı olmalıdır. SS 316 ASTM A269 veya SS316 L dikişsiz paslanmaz çelik uygun bir malzemedir. 8 mm çapa ve 1.65 mm et kalınlığına sahip borular uygun bir çözüm sağlamaktadır. Kapiler borunun akışla birlikte sürüklenmemesi için, borunun alt ucuna ağırlık asılmalıdır. 1 veya 1-1/2 inç paslanmaz çelik kütük malzeme veya içi kurşunla doldurulan borularla 80-90 kg ağırlık, kapiler boru ucuna asılabilir. Bu ağırlık 9-5/8 inç boruda 400 ton/saat debide çalışan bir kuyuda, kapiler borunun sürüklenmesini önleyebilmektedir.

4.5. Tambur, Kule ve Makaralar

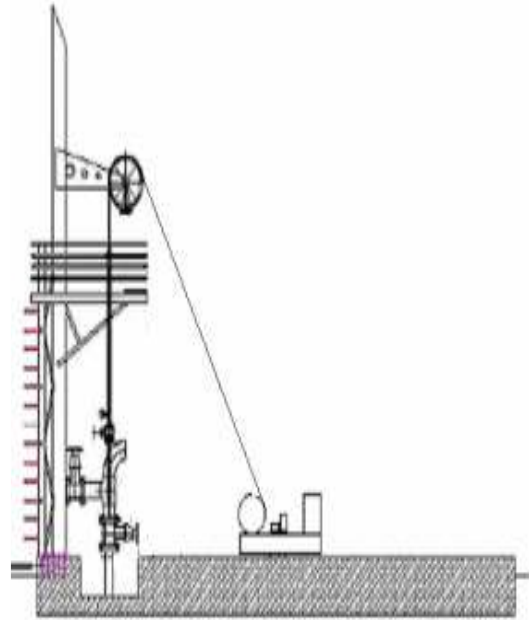
Tambur, inhibitör borusunun kuyuya indirilip-çıkartılmasını sağlar (Şekil 7). Önceden kuyuya indirilecek miktarda boru ölçülerek tambura sarılır. Kule ve makaralar, inhibitör boru ve ağırlıkların kuyuya indirilip-çıkartılmasına yardımcı olur. Kule, salmastra yatağının makaranın bakımını yapabilecek bir balkona sahip olmalıdır (Şekil 8). Kule dozaj borusunun kuyuya indirilmesi ve çıkartılmasında karşılaşılabilecek yüklere dayanımlı olarak yapılmalıdır.

4.6. Kuyubaşı ve Sızdırmazlık

İnhibitör dozaj borusu, kurtarma borusu olarak adlandırılan ve üst ucunda sızdırmazlığı sağlayan bir salmastra kutusuna sahiptir. Boru çapı ve uzunluğu ağırlığı içine alacak ölçülerde olmalıdır. Ağırlık kuyu kapalı iken kurtarma borusu içerisine yerleştirilir, salmastralar sızdırmayacak kadar sıkılır ve master vana açılarak, kapiler boru kuyuya indirilir. Kapiler boru kuyudan çekilmek istendiğinde, yukarıda belirtilen işlerin tersi yapılır. Kurtarma borusu çapı ve boyu ağırlıktan büyük olmalıdır. Kurtarma borusunun üzerine 1 inç çapında basınç tahliye vanası konulmalıdır.



Şekil 7. Dozaj borusu ve donanımı (1, sızdırmazlık elemanı; 7, koruma boursu; 8, difüzör ve soket; 9, ağırlık)



Şekil 8. İnhibitör dozaj kulesi

4.7. Vana ve Çekvalfler

Dozaj grubu üzerinde kullanılacak tüm vana ve çekvalfler korozyona dayanıklı, paslanmaz çelikten yapılmış, bağlantı çapları kapiler boru çapına uygun olmalıdır. Pompaların önüne geri akışı önlemek veya gerektiğinde kapatmak için vana konulması faydalı olacaktır. Kullanılacak vana ve çekvalfler dozaj pompalarının maksimum çalışma basıncına uygun seçilmelidir.

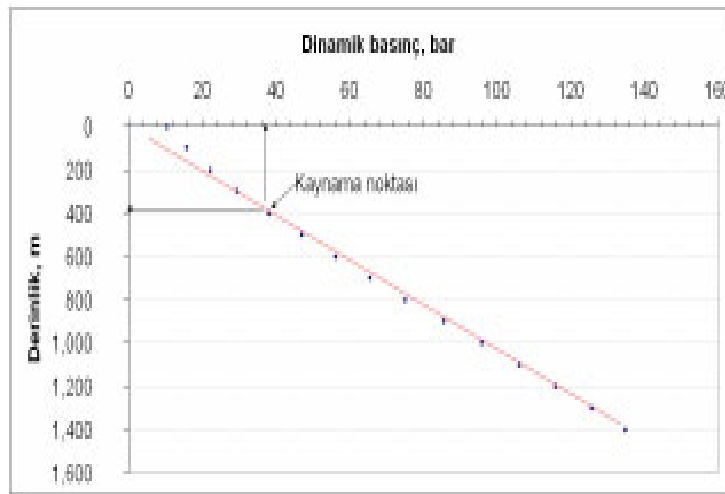
4.8. Basınç ve Debi Ölçerler

Dozaj basıncını izleyerek inhibitör borusunda tıkanma olup olmadığını anlayabiliriz. Dozaj basıncının yükselmesi boruda daralmayı gösterir. Ayrıca basınç yükseldiği için dozaj debisi azalabilir ve arzu edilen miktar basılamayabilir. Bu durumda, dozaj debisi ölçülmelidir. Bunun için küçük debi ölçerler kullanılabilir gibi, hacmi belirli kapların kullanılması da iyi sonuçlar verir. Dozaj debisi, inhibitör tanklarına ilave edilen miktar ve zaman kayıtları edilerek sürekli olarak kontrol edilmelidir. Artma ya da azalma olması durumunda nedeni araştırılmalıdır.

5. SİSTEMİN ÇALIŞTIRILMASI ve TESTİ

5.1. Dozaj Derinliğinin Belirlenmesi

Su baskın jeotermal sahalarda akışkan kuyuda yükselirken, hidrostatik basıncı da doğal olarak azalır. Hidrostatik basıncın kaynama basıncının altına düştüğü noktada jeotermal akışkan, kaynamaya başlar. Kaynama basıncını sıcaklık, kondense olmayan gaz ve tuzların konsantrasyonu belirler. Kaynama noktası derinliği doğrudan ölçülebilir. Planlanan maksimum üretim dinamik basınç ölçüsü olarak kaynama noktası derinliğini grafikten belirleyebiliriz (Şekil 9). Diğer bir yol kaynama derinliğini hesaplamaktır. Kaynamanın hangi basınçta oluşacağı veren bağıntılar kaynak [6]'da verilmiştir. Ancak kaynama basıncı hesaplanmasına karşın, bunun hangi derinlikte gerçekleşeceğini hesaplamak biraz daha karmaşıktır. Çünkü rezervuardan kuyuya akış basınç farkını ve kuyu içindeki sürtünme kayıplarını bilmek gerekir. Akış basıncı verimlilik indeksi ve debinin bir fonksiyonudur. Bu konuda kuyu için akışı modelleyen programlardan yararlanabiliriz. Dozaj derinliği kaynama noktasının 100-200 m altından olmalıdır. Böylece basılan kimyasal madde homojen olarak jeotermal akışkana karışır ve etkili olur.



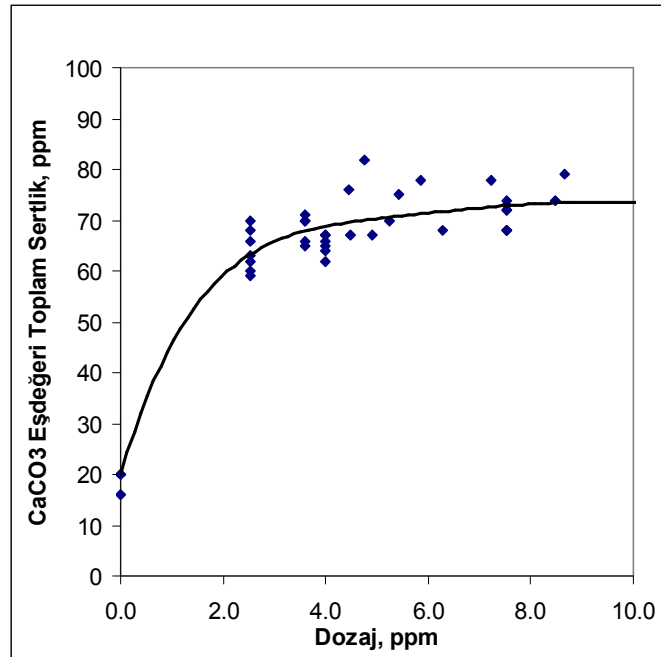
Şekil 9. Bir kuyudaki dinamik basınç profili.

5.2. Uygun Dozajın Belirlenmesi

Uygun kimyasal madde dozajının belirlenmesi için birkaç yöntem uygulanmaktadır. En kolay uygulanabilir yöntem kabuklaşmaya yol açan kimyasal bileşiklerin konsantrasyonunun ölçülmesidir. Bu yöntemde bir tarafta kabuklaşmaya neden olan bileşiklerin konsantrasyonu ölçülürken, diğer tarafta kimyasal madde enjeksiyon dozajı ölçülmektedir. Basılan kimyasal miktarı arttıkça, yüzeyle ulaşan bileşiklerin konsantrasyonu artar, belirli bir değerden sonra artış durur. Bu yöntem kalsit ve aragonit çökelmeleri için kullanılabilir. Bu durumda Ca ve Mg ve/veya sertlik ölçerek test yapmak en kolay yoldur. Uygun dozajın belirlenmesinde, aşırı yüksek bir dozajdan başlayıp elde edilebilecek maksimum sertlik veya Ca+Mg miktarı belirlenir. Daha sonra maksimum konsantrasyonu taşıyacak, minimum doz debisini belirlemek için dozaj azaltılarak örnekleme yapılır (Şekil 10).

5.3. Gözlem ve Çalıştırma

Kabuklaşma sürekli izlenmesi gereken bir çalışmadır. Sıcak su ve buhar hatlarında, dirsekler, eşanjörler, büyük sıcaklık ve basınç farklarının olduğu tüm noktalar kontrol altında tutulmalıdır. Bu noktalara kontrol boruları, kabuk kontrol kuponları konularak kabuklaşma izlenebilir. Ayrıca bakım onarım için sistem durdurulduğunda, sökülen tüm parçalar dikkatle incelenmelidir. Bunlara ilave olarak, kritik noktalarda periyodik su örnekleri alınarak kalsiyum, magnezyum ve silis analizleri yapılmalıdır. Bu elementlerde bir azalma var ise çökelmeden şüphelenmek gerekir. Eğer kuyuya ihtiyaçtan daha uzun miktarda kapiler boru indirirse, daha iyi olur. Boru her ay 0.5 m kadar geri çekilirse tambur, kule, salmastra yatağı, makaralarda ve kuyu içerisinde yıpranan noktalar yer değiştirir ve borunun kullanım ömrü uzar.



Şekil 10. Uygun dozaj debisinin bulunması. Grafikte 4-5 ppm ve üzeri dozajın fazla geldiği ve sertliği artırmadığı görülüyor. Bu durumda 5 ppm dozaj uygun bir dozaj debisi olmaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada ülkemiz koşullarına uygun olarak gerçekleştirilen ve iki yıla yakın süredir başarı ile çalışan, inhibitör uygulaması tanıtılmıştır. Kabuklaşma jeotermal işletmelerin ana problemlerinden birisidir. Kimyasal madde kullanımı ile kabuklaşmanın önlenmesi en kolay ve ekonomik yöntemdir. Bunun için korozyona ve yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemeler seçilerek, kaynama noktasının 200 m kadar altından uygun kimyasal madde dozajlamak sorunu çözmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] TASSEW, M., "Effect of Solid Deposition on Geothermal Utilization and Methods of Control". The United Nations University, Geothermal Training Programme, Orkustofnun, 2001.
- [2] HIROWATARI, K., " Chemistry of Scale Formation", Textbook for the fourth International Training Course on Geothermal Energy (Advanced), Kyushu University, Japan, 1993.
- [3] NICHOLSON, K., "Geothermal Fluids: Chemistry and Exploration Techniques". Springer-Verlag, Berlin, Germany, 263 pp., 1993.
- [4] WILSON, N., BROWN, J. W., BROWN, K., " Controls on Stibnite Precipitation at Two New Zealand Geothermal Power Stations", Geothermics 36, 330-347, 2007.
- [5] ANDRITSOS, N., KARABELAS, A. J., KOUTSOUKOS, P.G., "Scale formation in Geothermal plants". International Summer School on Direct Application of Geothermal Energy, pp 179-189, 2001.
- [6] SATMAN, A., UGUR, Z., ONUR, M., "The Effect of Calcite Deposition on Geothermal Well Inflow Performance". Geothermics 28, 425-444, 1999.

ÖZGEÇMİŞ

Niyazi AKSOY

1962 Gümüşhane doğumludur. 1984 yılında İTÜ Maden Fakültesi, Petrol Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 1984-1994 yılları arasında MTA'da jeotermal sahalarda sondaj ve kuyu testleri konularında çalışmıştır. 1999-2001 yılları arasında Balçova-Narlıdere jeotermal sahasında doktora çalışması olarak izleyici testleri yapmıştır. Halen DEÜ' de öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Jeotermal enerji projeleri, sondaj, saha yönetimi ve kuyu testleri ilgi alanlarıdır.