

Jeotermal Enerji Santrallerinde Akışkan Viskozite Hesaplamaları ve Elektrokimyasal Korozyon Önlemleri

Ahmet Öven*

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan Jeotermal Enerji Santrallerindeki Jeotermal Akışkanla ilgili viskozite hesaplamaları yapılmış, "Pipe Flow Expert" programı ile akış kararlılığı karşılaştırılmıştır. Jeotermal akışkanın (brine water) kimyasal özelliklerinin deniz suyuna benzemesinden dolayı El Doussky ve J. Sündermann'ın çalışmaları baz alınmıştır. Ayrıca çelik çekme ve dikişli borulardaki akışın hareket fonksiyonu incelenmiş ve bu çalışmalar baz alınarak mekanik ve kimyasal korozyonla ilgili Elektrokimyasal korozyonu önleyici katodik koruma ve galvanik anod uygulaması ile hesaplamalar yapılarak birçok konuyu içeren bir çalışma sunulmuştur.

1. GİRİŞ

Son 10 yıldır ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yatırımların revaçta olması akademisyenlerin bu alanda çalışma yapmalarına olanak tanımıştır. Jeotermal akışkanla ilgili viskozite, yoğunluk, akış kararlılığı

gibi birçok konuya bu makalede yer verilmiş, enerji santrallerinde kullanılan boru hatlarıyla ilgili akış hesaplamaları "Pipe Flow Expert" programı ile desteklenmiş, bu hesaplamalardan yola çıkılarak elektrokimyasal korozyon önlemleriyle ilgili çalışmalar ortaya konmuştur.

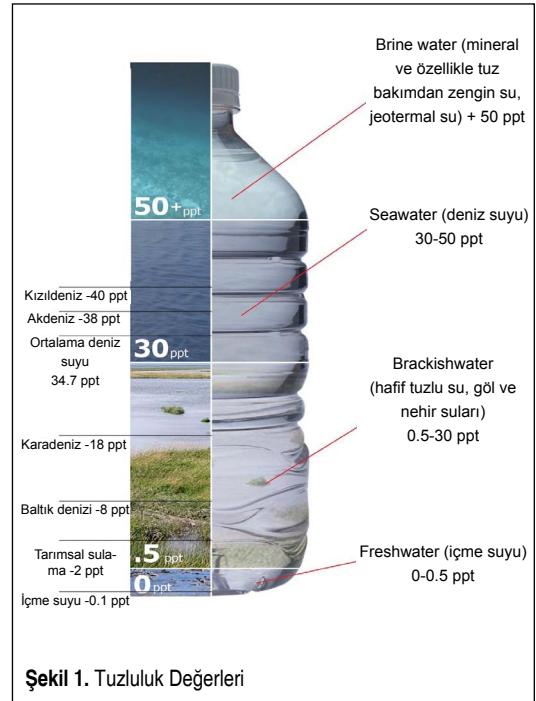
2. JEOTERMAL AKIŞKANIN TANIMI

Yer altındaki magma faaliyetlerinin sonucunda, sıcak kayaların üstünde biriken yüksek sıcaklıktaki ve mineral bakımından zengin olan su "Jeotermal Akışkan" olarak adlandırılmaktadır. Su, tuzluluk oranına bağlı kalmak suretiyle dört gruba ayrılmaktadır.

- Freshwater (içme suyu)
- Brackishwater (hafif tuzlu su, göl ve nehir suları)
- Seawater (deniz suyu)
- Brine water (mineral ve özellikle tuz bakımından zengin su, jeotermal su)

2.1 Su Tuzluluk Oranı (Salinity)

Oransal ifadeler Tablo 1'de belirtilmektedir. Şekil 1'de ise gruplandırığımız suya ait ppt (tuzluluk) oranı görsel olarak sunulmuştur.



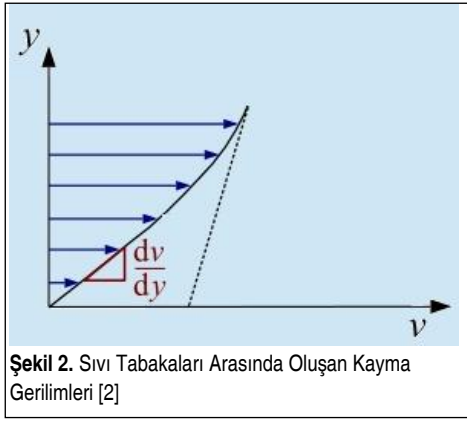
* Yıldız Teknik Üniversitesi - ahmetoven@gmail.com

Tablo 1. Derişim Birimi Kısaltmaları [1]

Kısaltma	İngilizcesi	Türkçesi
pph	Parts per hundred	Yüzde bir
ppt	Parts per thousand	Binde bir (mili)
ppm	Parts per million	Milyonda bir (mikro)
ppb	Parts per billion	Milyarda bir (nano)
ppt	Parts per trillion	Trilyonda bir (piko)
ppq	Parts per quadrillion	Katrilyonda bir (femto)

3. AKIŞKAN VİSKOZİTESİ

Akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Akışkanın akma veya akmazlık potansiyeli, kimyasal testlerin sonucunda belirlenebilmekte, hidro-dinamik sistemlerde büyük bir etken oluşturmaktadır.



Şekil 2’de de gösterildiği gibi, hareket halindeki sıvı tabakaları arasında oluşan kayma gerilmeleri Newton Kuramı’na göre, laminer ve paralel bir akışta, tabakalar arasındaki yüzey gerilimi ($\tau = \frac{F}{A}$) bu tabakalara dik yöndeki hız gradyeni ($\frac{dv}{dy}$) ile orantılıdır. $\tau = \mu \frac{dv}{dy}$. Buradaki μ sabiti, akmazlık değişmezi, akmazlık, veya durağan akmazlık olarak bilinir. Newton Yasası’na uyan su ve gazların çoğu, Newtonyen akışkanlar olarak adlandırılır.

3.1 Dinamik Viskozite

CGS (Centimeter-Gram-Second Unit) sistemine göre, birimi poise “P” olarak adlandırılır.

$$1 P = 0.1 Pa \cdot s = 0.1 kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$$

$$1 cP = 1 mPa \cdot s = 0.001 Pa \cdot s = 0.001 N \cdot s \cdot m^{-2} = 0.001 kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$$

3.2 Kinematik Viskozite

SI birim sistemine göre m^2/s^2 ’dir. CGS ve Stokes “St” olarak adlandırılır.

$$1 St = 1 cm^2 \cdot s^{-1} = 10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$$

$$1 cSt = 1 mm^2 \cdot s^{-1} = 10^{-6} m^2 \cdot s^{-1}$$

$\nu = \frac{\mu}{\rho}$: “ ν ” kinematik viskozite, dinamik viskozite ve “ ρ ” akışkan yoğunluğu olarak adlandırılmaktadır.

4. AKIŞKAN KARARLILIĞI

4.1 Laminer Akış

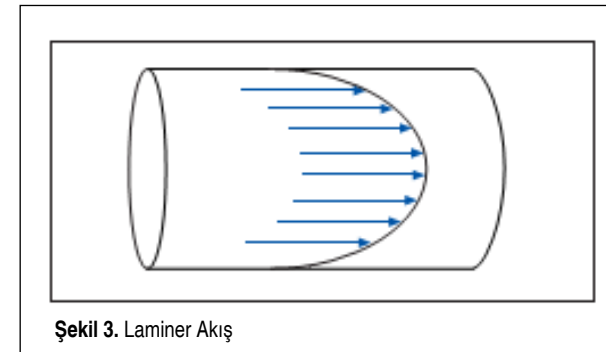
Akışkan tabakaları birbirinin üzerinde kayarak hareket eder.

4.2 Türbülanslı Akış

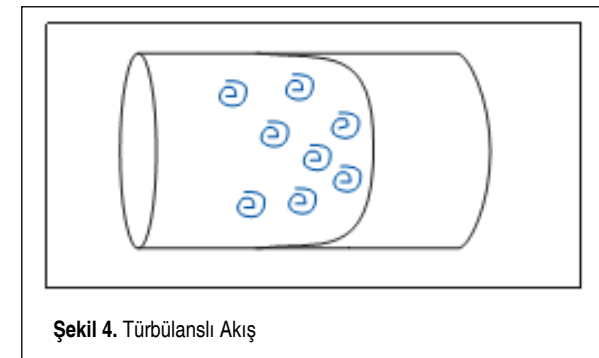
Akışkanın hareket halindeki düzensizliği olarak tanımlanmaktadır.

4.3 Akışkan Kararlılığının Belirlenmesi

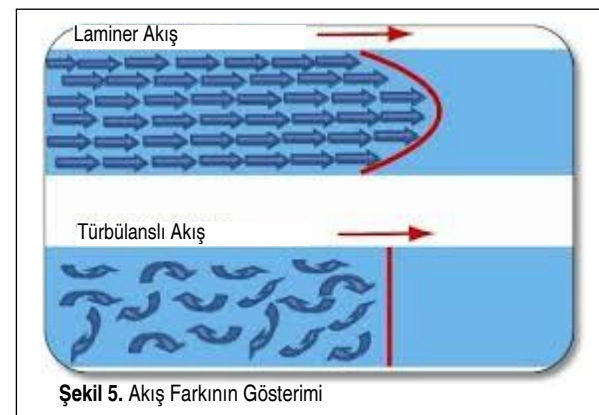
Reynold sayısı baz alınarak akışkan kararlılığı belirlenebilir.



Şekil 3. Laminer Akış



Şekil 4. Türbülanslı Akış



Şekil 5. Akış Farkının Gösterimi

mekte ve Tablo 2’de gösterilmektedir.

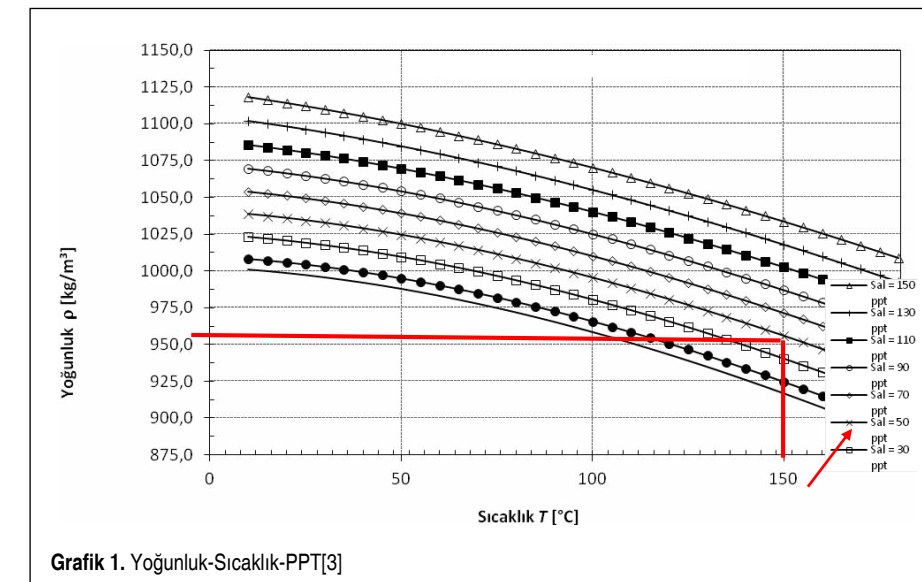
Tablo 2. Laminer Akış $Re < 2320$, Türbülanslı Akış $Re \geq 2320$

Re	Reynold sayısı
ν	Akış hızı
DN	Boru çapı
ν	Kinematik viskozite

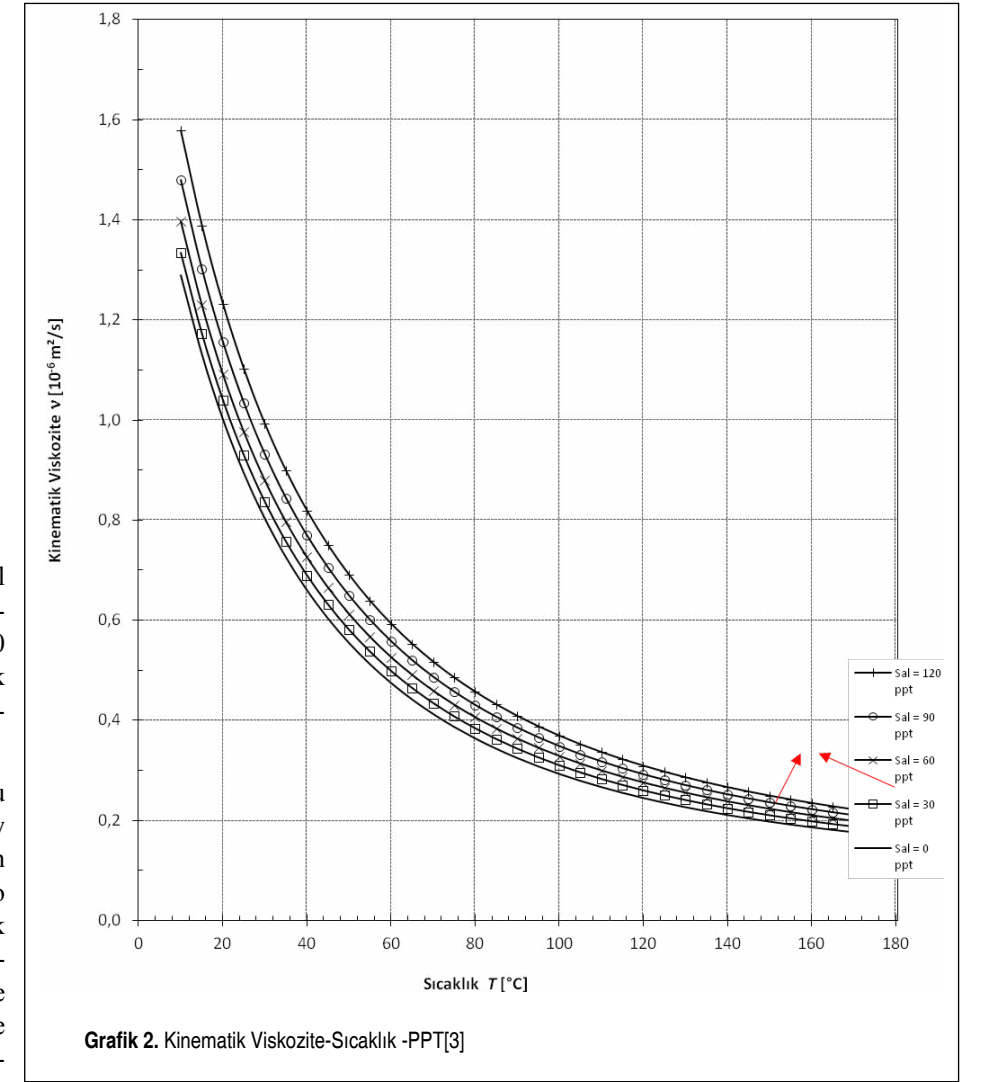
5. JEOTERMAL AKIŞKAN (BRINE WATER) YOĞUNLUK, VİSKOZİTE VE TERMAL İLETKENLİK HESAPLAMALARI

Şekil 1’de ifade edildiği gibi, jeotermal akışkan, deniz suyunun kimyasal özelliklerine yakın olduğundan dolayı 50 ppt ve üstündeki tuzluluk oranını alarak dinamik ve kinematik viskoziteyi hesaplamak mümkündür.

Viskozite hesaplamaları, deniz suyu üzerine araştırmalar yapan El Doussky ve J. Sündermann’ın logaritmik ve ln ifadelerine dayalı formüllerinden, tablo ve eğri grafiklerinden yola çıkılarak yapılacaktır [3]. Jeotermal Akışkan Sıcaklığımızın yaklaşık 150 °C olması ve su tuzluluk oranının 50 ppt’nin üstünde olması sebebiyle aşağıdaki formülasyonları kullanacağız.



Grafik 1. Yoğunluk-Sıcaklık-PPT[3]



Grafik 2. Kinematik Viskozite-Sıcaklık -PPT[3]

Akışkan Yoğunluğu ile İlgili Hesaplamalar:

(A,B,G,F=sbt. X= 50 ppt T= 150 °C)

$$\rho = 10^3 (A_1 F_1 A_2 F_2 + A_3 F_3 + A_4 F_4)$$

$$B = \frac{(2)(X) - 150}{1000}$$

$$G_1 = 0.5$$

$$G_2 = B$$

$$G_3 = 2 B^2 - 1$$

$$A_1 = 4.032219 G_1 + 0.115313 G_2 + 3.26 + 3.26 \times 10^{-4} G_3$$

$$A_2 = -0.108199 G_1 + 1.571 \times 10^{-3} G_2 - 4.23 \times 10^{-4} G_3$$

$$A_3 = -0.012247 G_1 + 1.74 \times 10^{-3} G_2 - 9 \times 10^{-6} G_3$$

$$A_4 = 6.92 \times 10^{-4} - 8.7 \times 10^{-5} G_2 - 5.3 \times 10^{-5} G_3$$

$$A = ((2)(T) - 200) / 160$$

$$F_1 = 0.5, F_2 = A, F_3 = 2A^2 - 1, F_4 = 4A^3 - 3A$$

Hesaplamaların sonucunda yoğunluk, $\rho = 955,866 \text{ kg/m}^3$ 'tür. Grafik 1'de, 150°C ve 50 ppt değerleri için hesaplanan yoğunluk değeri ile örtüşmektedir.

Kinematik ve Dinamik Viskozite ile İlgili Hesaplamalar:

Aşağıdaki formülasyonlar hesaplandığı takdirde dinamik viskozite, $\mu = 0,209 \times 10^{-3} \text{ kg/m s}$ 'dir. Kinematik viskozite ise $\nu = \mu/\rho = 0,209 \times 10^{-3} / 955,866 = 0,2186 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 'dir.

$$\mu = \mu_w \times \mu_R \times 10^{-3}$$

$$\ln(\mu_w) = -3.79418 + \frac{604.129}{139.8} + T$$

$$\mu_R = 1 + As + Bs^2$$

$$A = 1.474 \times 10^{-3} + 1.5 \times 10^{-5} T - 3.927 \times 10^{-8} T^2$$

$$B = 1.0734 \times 10^{-5} + 1.5 \times 10^{-5} T - 3.927 \times 10^{-8} T^2$$

Hesaplanan kinematik viskozite değeri, Grafik 2'de, 150°C ve 50 ppt değerleri için hesaplanan değerle örtüşmektedir.

Termal İletkenlikle İlgili Hesaplamalar:

Birimi $\text{kW/m}^\circ\text{C}$ olup, fiziksel ve kimyasal özelliklere bağlı olarak ısı iletkenlik kapasitesini ifade etmektedir.

$$\log_{10}(k) = \log_{10}(240 + As) + 0.434$$

$$\left(2.3 - \left(\frac{343.5 + Bs}{T + 273.15}\right)\right) * \left(1 - \frac{T + 273.15}{647.3 + Cs}\right)^{1/3}$$

$$A = 2 \times 10^{-4} \quad B = 3.7 \times 10^{-2} \quad C = 3 \times 10^{-2} \quad s = 50 \text{ ppt} \quad T = 150^\circ\text{C} \quad k = \text{termal iletkenlik}$$

$$k = 0.676 \frac{\text{kW}}{\text{m}^\circ\text{C}}$$

6. "PIPE FLOW EXPERT" PROGRAMI İLE AKIŞ HESAPLAMALARI

Hesaplanan yoğunluk ve viskozite değerleri baz alınarak, 2000 m DN 600'lük bir boru hattı için "Pipe

Tablo 3. (Pipe Flow Giriş Parametreleri)

Program Girdileri	Değerleri
Boru Hattı Uzunluğu	2000 m
Boru Çapı	DN 400 (16")
Debi	600 m³/h
Giriş Basıncı	3,0 bar
Dinamik Viskozite	0,209 cP
Dış Ortam Basıncı	1 atm

Flow Expert" programı ile akış cinsi (laminar, türbülanslı) basınç kaybı gibi hesaplamalar yapılmıştır.

6.1 Teorik Hesaplama Metoduyla Karşılaştırılması

Grafik 1, 2 ve Tablo 3 ve 4'teki değerler baz alınarak;

$$Q = A v \left(\frac{600}{3600}\right) = v \times \frac{\pi \times 0.381^2}{4}$$

$$v = 1.4618 \text{ m/s}'\text{dir.}$$

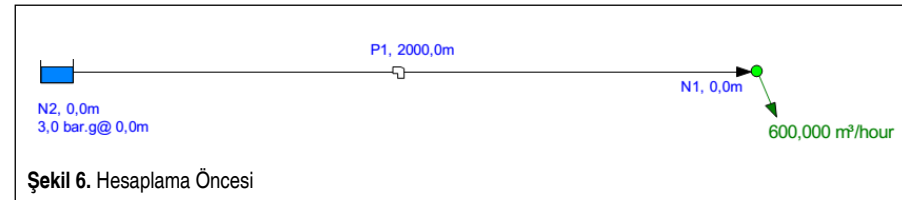
$$Re = \frac{v \times DN}{\nu} \quad Re = \frac{1.4618 \times 0.381}{0.219 \times 10^{-6}} = 2543131 > 2300$$

türbülanslıdır.

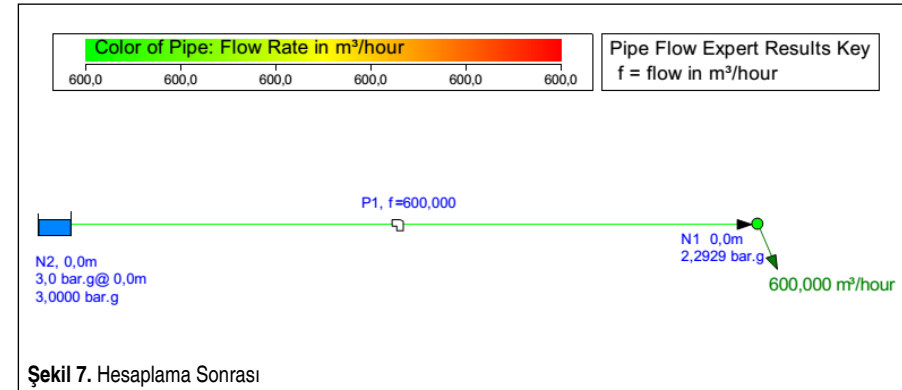
Yapılan teorik hesaplamalar "Pipe Flow Expert" programı ile karşılaştırıldığında sonuçlar birbirini teyit etmektedir. 2000 m'lik boru hattındaki bu akış hesaplamaları, mekanik ve kimyasal korozyonların yorumlanmasına ilişkin sayısal nitelikler taşımaktadır.

7. ÇELİK ÇEKME VE DİKİŞLİ BORUDAKİ AKIŞ HAREKETİ VE AKIŞI ETKİLEYEN FONKSİYONLARIN TESPİTİ

Enerji santrallerinde su, buhar ve gaz hatlarında kullanılan çelik çekme ve dikişli borular aşağıdaki konu başlıklarına istinaden incelenmiş ve borunun fiziksel özelliğinin akışın hareket kabiliyetine olan etkisi açıklanmıştır.



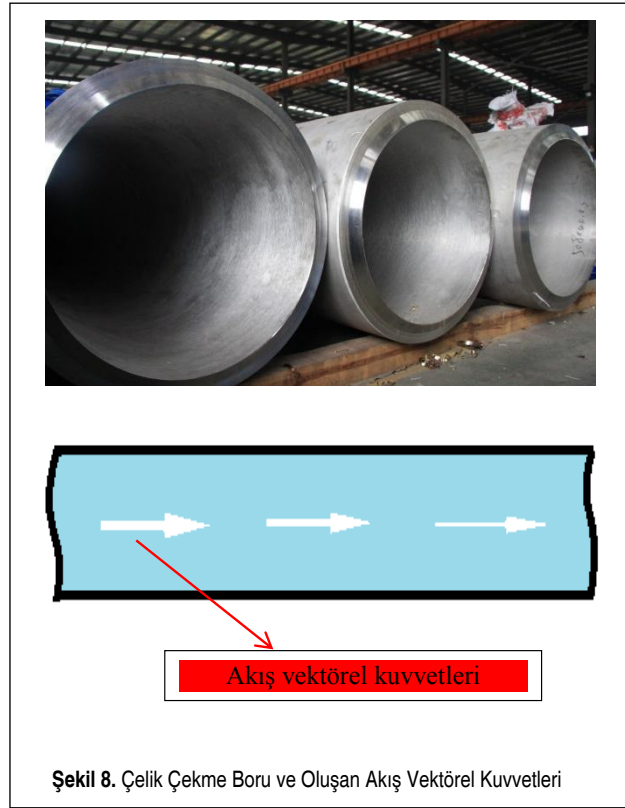
Şekil 6. Hesaplama Öncesi



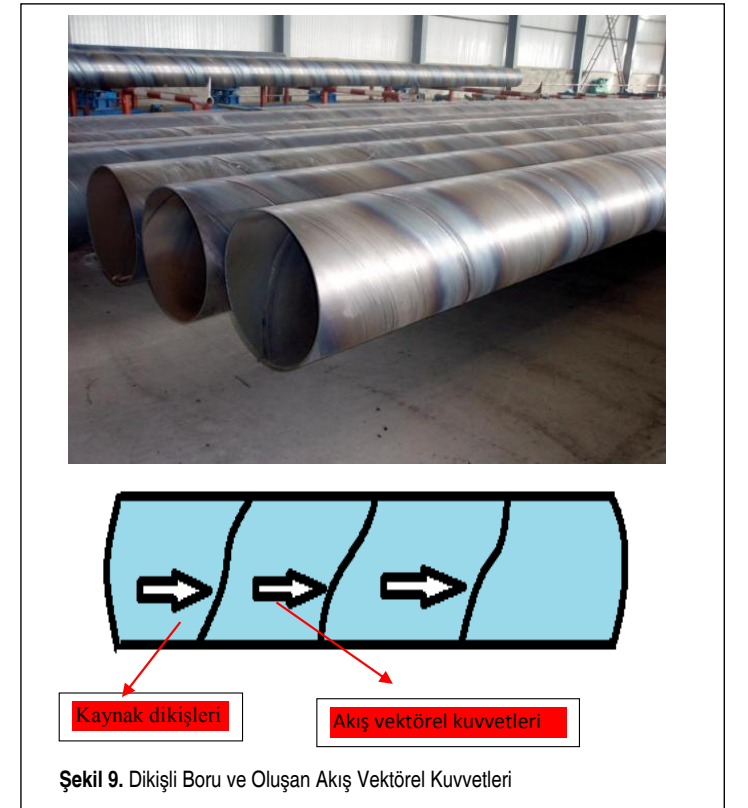
Şekil 7. Hesaplama Sonrası

Tablo 4. Pipe Flow Sonuç Değerleri

Hesaplama Sonrasında Program Çıktıları	Değerleri
Çıkış Basıncı	2.2929 bar
Akış Hızı	1.462 m/s
Reynold Sayısı	2547327
Akış Cinsi	Türbülanslı (Re>2300)
Sürtünme Akış Kaybı	7,435 m.hd
Kinematik Viskozite	0,219 cSt



Şekil 8. Çelik Çekme Boru ve Oluşan Akış Vektörel Kuvvetleri



Şekil 9. Dikişli Boru ve Oluşan Akış Vektörel Kuvvetleri

7.1 Çelik Çekme Boru

St 37, St 44, St 52'den üretilmektedir.

Çelik çekme borudaki akış, kararlılık göstermektedir. Borunun iç yüzeyinde, dikişli borudaki gibi kaynak dikişleri olmamasından dolayı kararlı hareket etmekte; akış cinsi laminar (kararlı), türbülanslı ise borunun fiziki özelliği akışın cinsine ve hareket kabiliyetine etki etmemektedir (Şekil8, Şekil 9).

7.2 Dikişli Boru

Önceden delinerek hazırlanmış olan sac şerit, boru biçiminde kıvrıldıktan sonra, dikiş yeri çeşitli kaynak yöntemleri ile birleştirilir. Dikiş yeri, genellikle uzunlamasına ve düz dikiş şeklinde olmakla birlikte, spiral dikişli borularda, sac şeridin helisel olarak sarılıp otomatik kaynak yöntemleri ile kaynak edilmesi şeklinde de düzenlenebilmektedir.

Dikişli borularda, akış vektörel kuvvetlerinin dikişsiz borudaki (çelik çekme) gibi pürüzsüz bir yüzeyde değil de di-

rekt olarak kaynak dikişlerine çarpmasının sonucunda, "ateşli silahlardaki merminin yiv içerisinde dönüş hareketini kazanması" gibi girdap etkisiyle akış kuvvetleri ilerlemekte, dikişlere etki eden kuvvet ve girdap etkisi borunun ömrünü kısaltmakta, daha çok yıpranmasına sebebiyet vermektedir. Ayrıca çelik çekmeye göre daha fazla korozyona uğramaktadır.

8. ELEKTRO KİMYASAL KOROZYON OLUŞUMU

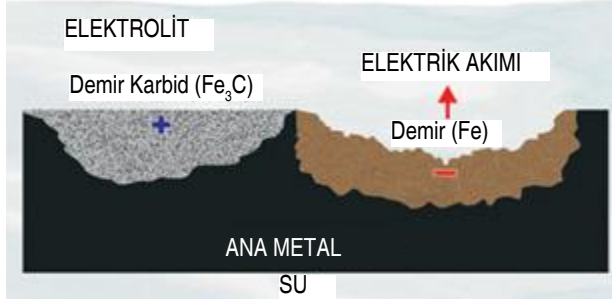
Korozyon, metal veya metal alaşımlarının oksitlenme veya diğer kimyasal etkilerle aşınma durumudur. Demirin paslanması, alüminyumun oksitlenmesi korozyona örnek olarak verilebilir.

Metal ve alaşımların kararlı halleri olan bileşik haline dönme eğilimleri yüksektir. Bunun sonucu olarak metaller, içinde buldukları ortamın elemanları ile tepkimeye girerek, önce iyonik hale ve oradan da ortamdaki başka elementlerle birleşerek bileşik haline dönmeye çalış-

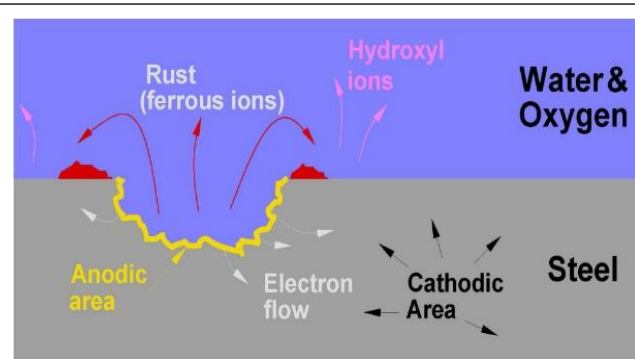
şırlar, yani kimyasal değişime uğrarlar ve bozulurlar. Sonuçta, metal veya alaşımın fiziksel, kimyasal, mekanik veya elektriksel özelliği istenmeyen değişikliklere (zarara) uğrar.

Korozyon, metalik malzemelerin içinde buldukları ortamla reaksiyona girmeleri sonucu, dışardan enerji vermeye gerek olmadan, doğal olarak meydana gelen olaydır.

Elektro-kimyasal korozyon esasen anot rolündeki maddenin çözünmesidir. Elektrokimyasal korozyon, ister mikro ölçekte ister makro ölçekte oluşsun korozyon hücresi ile modellenebilir. Korozyon hücresi; anot, katod, iletken ortam (elektrolit) ve anot-katod arasındaki iletken bağlantıdan oluşur. Bu dört bileşenden biri dahi olmasa korozyon oluşmaz. Korozyon oluşumu, anot rolünü üstlenen maddede meydana gelir (Şekil 11). Maddelerin korozyon hücresindeki rollerini belirleyen çeşitli faktörler vardır. Örneğin çözünme potansiyeli yüksek bir metal (Sn), çö-



Şekil 10. Korozyon Oluşumu [4]



Şekil 11. Elektro Kimyasal Korozyon [5]

zünme potansiyeli düşük bir metalle (Fe) temas halinde çözeltiye konacak olursa, anot rolünü üstlenecek ve çözünecektir. Elektrolit olarak bir çatlak içindeki buğu kalınlığında bir rutubet, film tabakası veya su artığı, hatta el teri bile yeterlidir.

8.1 Korozyona Etki Eden Faktörler

Ortam etkisi-Sıcaklık etkisi-Malzeme seçimi-Sistem dizaynı-Sistemin bulun-

duğu ortamın oksijen konsantrasyonu-Zeminin elektriksel özgül direncinin etkisi olarak tanımlanabilir.

8.2 Katodik Koruma

Katodik koruma, bir tür metal koruma metodudur. Gemilerin yüzeylerinin paslanmasını önlemek için de kullanılır. Katodik koruma, korunacak metal yapıyı oluşturulacak bir elektrokimyasal hücrenin katodu haline getirerek metal

yüzeyinde yürümekte olan anodik reaksiyonların durdurulmasıdır.

Katodik korumada amaç, korunacak olan metalin potansiyelini anodun açık devre potansiyeline kadar polarize etmektir. Bunu sağlamak için metale katodik yönde bir dış akım uygulanır.

8.3 Galvanik Anod Uygulaması

Metallerin birçoğu su veya hava ile te-

mas ettiğinde korozyona uğrar. Bu, özellikle suyun içindeki veya toprağın altındaki metal borular için büyük bir risktir ve bu boruların yapıldığı metalin korozyona uğramaması için birçok koruma yöntemi geliştirilmiştir. Korozyonu

önlemek için bu boruların yanına, onlarla temas edecek şekilde, daha aktif bir metalin yerleştirildiği koruma metoduna ise galvanik usul katodik koruma denir.

Şekil 12’de, galvanik anod montajı gör-

sel olarak sunulmuş olup, boru dış yüzeyindeki boru montaj bağlantı yerleri de görülmektedir.

9. JEOTERMAL BORULARDAKİ ELEKTROKİMYASAL KOROZYON HESAPLAMALARI

9.1 Anod

Anod, oksidasyon (Yükseltgenme) reaksiyonunun yürüdüğü elektrodur. Anod’da doğru akım, metalden elektrolite geçer.

9.2 Galvanik Anod

Standart elektrot potansiyeli, demirden daha negatif olan magnezyum ve çinko vb. anodlardır. Boruya yeterli miktarda galvanik anod bağlanarak katodik koruma sağlanmaktadır (Şekil 13).

9.3 Katodik Koruma

Zemin içine gömülü veya su altında bulunan borunun katod haline getirilmesidir.

Tablo 5 ve Tablo 6’daki değerler kullanılmak suretiyle, TS 8591 standartlarına göre, 2000 m’lik jeotermal bir boru hattı iç koruma için aşağıdaki hesaplamalar yapılmış, viskozite hesaplamalarında jeotermal suyun kimyasal özelliklerinin deniz suyuna benzemesinden dolayı deniz suyunun grafikleri baz alınmış, aynı şekilde Deniz içi-Çelik ve Diğer Metal Yapılarla ilgili de bu standart kullanılmıştır.

Standartta, Gemilerin ve deniz içinde hareket eden araçların su ile temas eden kaplamalı yüzeyleri için uygulanacak akım miktarı 10 mA/m²-100mA/m² olarak ifade edilmektedir. Tablo 8’de ortalama değer olarak 50mA/m² alınmıştır.

Tablo 9’daki hesaplamalar, Tablo 6’daki TS5141 standartındaki “Orta korozyif” için tanımlanan değerler baz alınarak yapılmış, akım yoğunluğu olarak 0.5 mA/m² değeri belirlenmiştir.

Tablo 5. Anod Cinsine Göre Verim-Kapasite-Yıpranma Değerleri

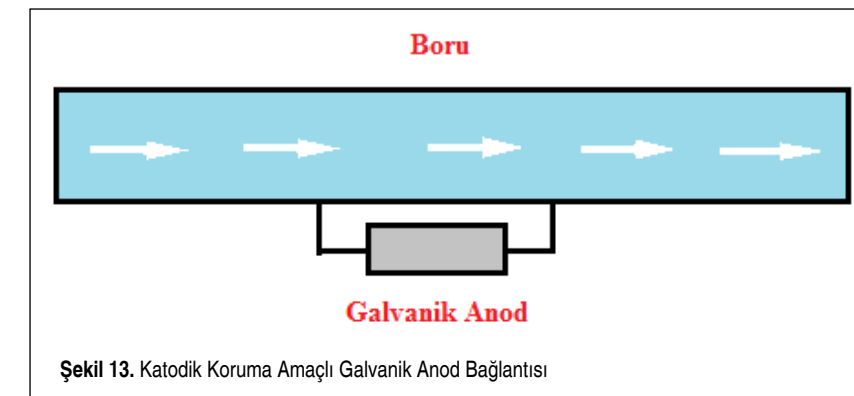
Anod cinsi	Magnezyum	Aluminyum	Çinko
Verimi (%)	50	90	90
Teorik Akım Kapasitesi (A.S./Kg)	2200	2965	820
Gerçek Akım Kapasitesi (A.S./Kg)	1100	2668	768
Teorik Yıpranma (Kg./A.Yıl)	8	3,5	11

Tablo 6. Çıplak Çelik Boruların Farklı Zeminler İçindeki Akım İhtiyaçları

Zemin Cinsi	Zemin Elektrik Özgül Direnci (ohm.com)	Borunun Ortalama Akım İhtiyaçları I (mA/m ²)
Çok korozyif	< 1000	20 < i
Korozyif	1000-3000	20 > i > 5
Orta korozyif	3000-10000	5 > i > 0,1
Az korozyif	10000 <	i < 0,1

Tablo 7. Çeşitli Koruyucu Kaplama Yapılmış Boruların Ortalama Akım İhtiyaçları

Kaplama Cinsi	Akım İhtiyaçları (mA/m ²)
Sıcak bitüm kaplama	0,5 – 2,0
Bitüm emdirilmiş tek kat sargılı kaplama	0,2 – 0,5
Bitüm emdirilmiş tek kat cam elyaf sargılı kaplama	0,05 – 0,2
Bitüm emdirilmiş çift kat cam elyaf sargılı kaplama	0,005 – 0,05
Polietilen veya plastik kaplamalar	0,005



Şekil 13. Katodik Koruma Amaçlı Galvanik Anod Bağlantısı

Tablo 8. Boru Hattı İç Koruma [6]

Boru Hattı İç Koruma (Çinko)	
Boru çapı (m)	DN 400
Boru boyu (m)	2000
Koruma akım yoğunluğu (mA/m²)	50
Akım yoğunluğu (A) (Boru çapı x π x Boru boyu x Akım yoğunluğu) / 1000	119,634
20 yıl ömre göre toplam kütle (kg) (Akım yoğunluğu x 20 x 8760) / (738 x 0.85)	24140,77951
1 m boru için koruma anot miktarı (kg) (Toplam kütle / Toplam boru boyu)	12,070

Tablo 9. Boru Hattı Dış Yüzey Koruma [7]

Boru Hattı Dış Yüzey Koruma (çinko)	
Boru çapı (m)	DN 400
Boru boyu (m)	2000
Koruma akım yoğunluğu (mA/m²)	0,5
Akım yoğunluğu (A) (Boru çapı x π x Boru boyu x Akım yoğunluğu) / 1000	1,27484
20 yıl ömre göre toplam kütle (kg) (Akım yoğunluğu x 20 x 8760) / (738 x 0.85)	257,248
1 m boru için koruma anot miktarı (kg) (Toplam kütle / Toplam boru boyu)	0,1286

Eskime faktörü: 0.85, Tüm yıl saat (365x24): 8760, Akım kapasitesi: 738

10. SONUÇ

50 ppt 150 ° C jeotermal akışkan (brine water) değerlerini, DN 400 2000 m'lik bir boru hattı için uyguladık, viskozite yoğunluk termal iletkenlik gibi hesaplamaları yapıp, "Pipe Flow Expert"

programı ile karşılaştırarak basınç kayıpları, akışkan hızı ve akışkan kararlılığı ile ilgili bilgiler edinmiş olduk. Bu bilgiler ışığında, çelik çekme ve dikişli borulardaki akışkanın vektörel hızlarını inceleyip, mekanik ve kimyasal korozyona ilişkin tespitlerde bulunduk. Logaritmik ve ln ifadelerine dayalı teorik hesaplarla, grafiklerde bulunan sonuçlar teyit edilmiştir. St 37 boru malze-

mesinin özelliklerine sahip 2000 m'lik boru hattının ana maddesi toprak ve minerallerdir, çelik boru toprağa gömüldüğünde ana maddesi olan toprağa karışmak ve dönmek istediği için toprak ve boru arasında korozyon önleyici bir koruma sağlanmaktadır. Bu boru hattı değerleri baz alınarak elektrokimyasal korozyona karşı galvanik anod (katodik koruma) uygulaması tasarlanmış, ilgili tasarım parametreleri ve standartları sunulmuştur. Ayrıca "Spirax Sarco" firmasının su ve buhar tablolarından da faydalanılarak akışla ilgili birçok parametreye ulaşmak mümkündür.

KAYNAKÇA

1. 2015. "Ppm," <http://tr.wikipedia.org/wiki/Ppm>, son erişim tarihi: 26.05.2015.
2. Schröder, V. 2015. "Viskositat," <http://de.wikipedia.org/wiki/Viskositaet>, son erişim tarihi: 20.08.2015.
3. El-Dessouky, H. T., Ettouney, H. M. 2002. Fundamentals of Salt Water Desalination, ISBN: 0-444-50810-4, Elsevier Science, Amsterdam, Nederland.
4. 2008. "KorozyonTeorisi," <http://www.aydinay.com.tr/genelbilgi/Korozyon-Olulum-Teorisi.html>, son erişim tarihi: 01.02.2015.
5. 2015. "Cathodic Protection," <http://www.cathodicanodes.com.au/cathodic-protection>, son erişim tarihi: 04.06.2015.
6. Odabasoglu, M. 2015. "TS8591," <http://arkatodikkoruma.com/images/stories/standartlar/ts8591.pdf>, son erişim tarihi: 16.03.2015
7. Odabasoglu, M. 2015. "TS5141," <http://arkatodikkoruma.com/images/stories/standartlar/ts5141.pdf>, son erişim tarihi: 16.03.2015. ■