GEOTHERMAL FLUID(BRINE-WATER) VISCOSITY CALCULATIONS
AND
PROTECTION AGAINST ELECTROCHEMICAL CORROSION IN GEOTHERMAL POWER PLANTS

JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİNDE AKIŞKAN VİSKOZİTE HESAPLAMALARI
ve
ELEKTROKİMYASAL KOROZYON ÖNLEMLERİ

Ahmet ÖVEN
Makine Müh.
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü- Makine Teorisi Sistem Dinamiği ve Kontrol ABD
E-mail: ahmetoven@gmail.com

ÖNSÖZ

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 akışkan (brine water) ‘ın 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 kapsayan teorik ve pratik bilgileri içeren bir çalışma sunulmuştur.

ABSTRACT

In this study,geothermal fluid(brine water) viscosity calculations for geothermal power plant is one of renewable energy sources are specified.The calculations of flow stability are compared with ‘’Pipe Flow Expert’’program. Because of the fact that Geothermal fluid’s chemical properties are similarity to seawater, El Doussky and J.Sündermann 's studies and researches are based . Also fluid movement function(Laminer or Turbulent) is investigated in drawn and welded steel pipes., based on these studies cathodic protection ve galvanic anode applications are maded and calculated against elecro-chemical corrosion events related to mechanical and chemical corrosion,this study which includes many issues concerning with the theoretical and practical knowledges, are submitted.

Anahtar Kelimeler

Jeotermal Akışkan Viskozite Hesaplamaları, Jeotermal Enerji Santrallerinde Katodik ve Galvanik Anod Uygulamaları, Deniz Suyu ve Jeotermal Akışkan Kimyasal Özellikleri ,Jeotermal Akışkan Yoğunluk Hesaplamaları.

Keywords

Geothermal fluid viscosity calculations, Galvanic anode and Cathodic protection applications in Geothermal Power Plants,Chemical properties of Seawater and Geothermal fluid(brine water), Geothermal fluid density calculations.

GİRİŞ

Son 10 yıldır ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yatırımların revançta olması akademisyenlerin bu alanda çalışma yapmalarına olanak tanımıştır. Jeotermal akışkanla ilgili viskozite ,yoğunluk,akış kararlılığı gibi birçok konuya bu makalede yer verilmiş ,bilimsel camiada eksik olan çalışmalar bu makalede sunulmuştur. 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.

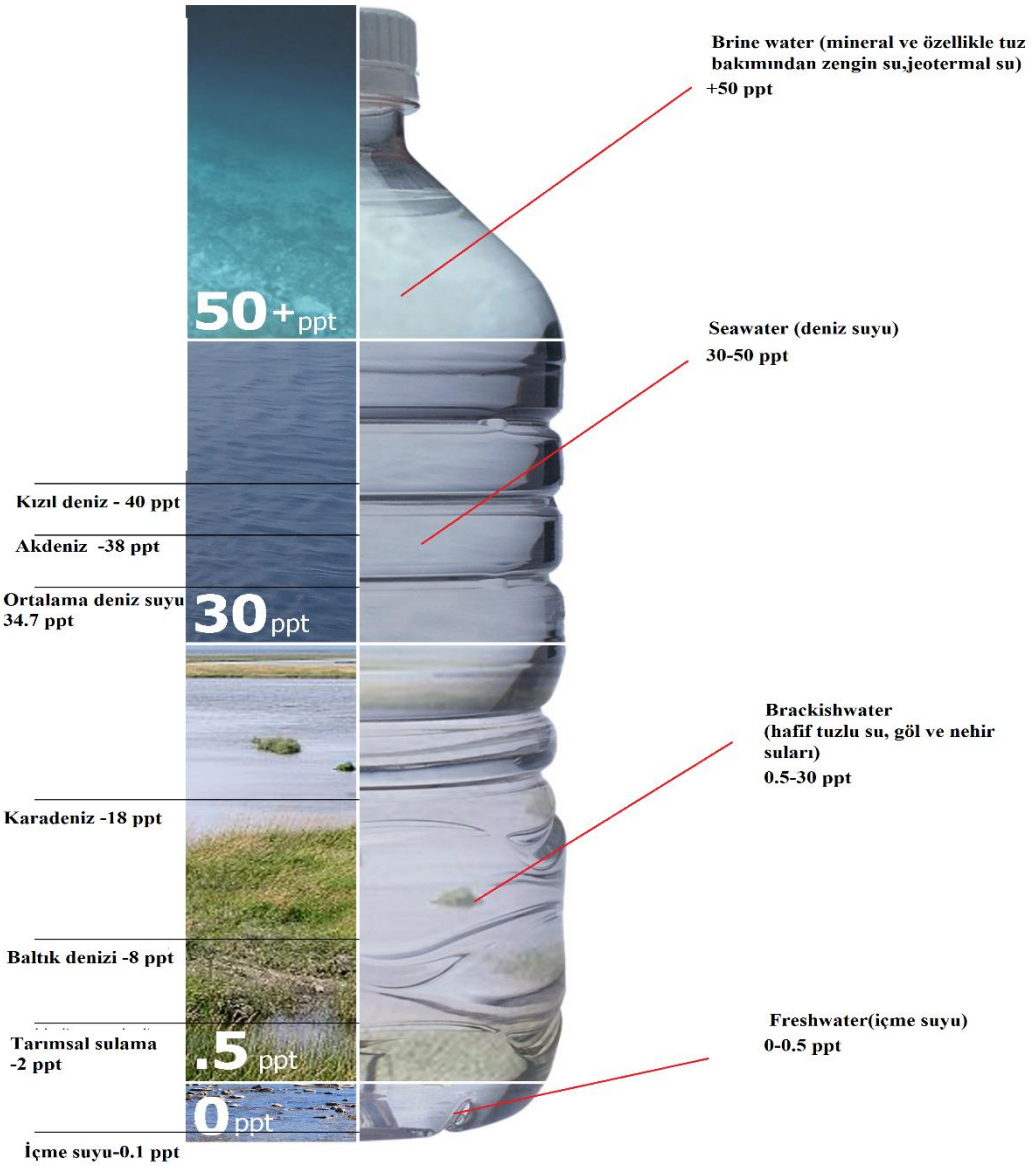
1. Jeotermal Akışkanın Tanımı

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)

1.1 Su Tuzluluk Oranı(Salinity)

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



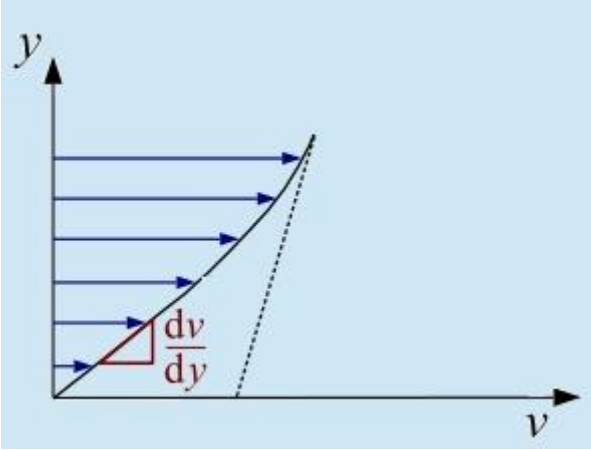
Şekil 1

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)

Tablo 1[1]

2.Akışkan Viskozitesi

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



Şekil 2[2]

Yukardaki şekilde de gösterildiği gibi hareket halindeki sıvı tabakaları arasında oluşan kayma gerilmeleri Newton kuramına göre laminer ve paralel bir akışta, tabakalar arasındaki yüzey gerilimi ($\tau = \frac{F}{A}$) bu tabakalara dik yöndeki hız gradyeni (dv/dy) ile orantılıdır. $\tau = \mu \frac{dv}{dy}$ .Buradaki μ sabiti, akmazlık değişmezi, akmazlık, veya durağan akmazlık olarak bilinir. Su ve gazların çoğu Newton yasasına uyarlar ve Newtonien akışkanlar olarak adlandırılırlar.

2.1 Dinamik Viskozite (μ)

CGS (Centimeter-Gram-Second Unit) sistemine göre birimi poise ‘’P’’ olarak adlandırılır.
1 P = 0.1 Pa·s= 0.1 $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$

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

2.2 Kinematik Viskozite

SI birim sistemine göre m^2/s dir. CGS ye stokes''St'' olarak adlandırılır.

1 St = 1 cm2·s−1 = 10−4 m2·s−1.

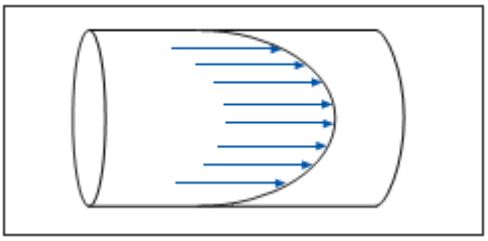
1 cSt = 1 mm2·s−1 = 10−6 m2·s−1.

$\upsilon = \frac{\mu}{\rho}$ ''υ'' kinematik viskozite, ″μ″dinamik viskozite ve ''ρ'' akışkan yoğunluğu olarak adlandırılmaktadır.

3.Akışkan Kararlılığı

3.1 Laminer Akış

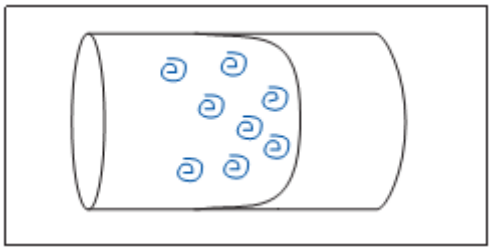
Akışkan tabakaları birbirinin üzerinde kayarak hareket ederler.



Şekil 3

3.2 Türbülanslı Akış

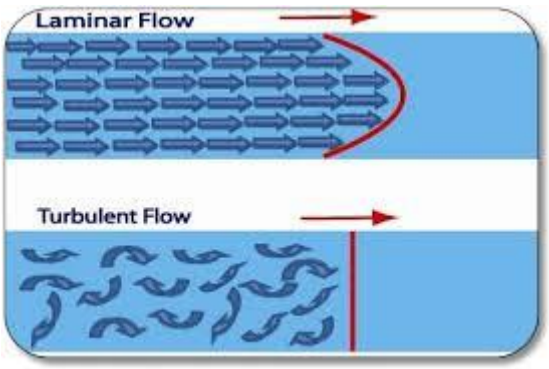
Akışkanın hareket halindeki düzensizliği olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4

3.3 Akışkan Kararlılığının Belirlenmesi

Reynold sayısı baz alınarak akışkan kararlılığı belirlenebilmekte ve Tablo 2'de gösterilmektedir.



Şekil 5

$$Re = vx\frac{DN}{\upsilon}$$

Re	Reynold sayısı
v	Akış hızı
DN	Boru çapı
υ	Kinematik viskozite

Tablo 2

Laminer akış Re<2320 Türbülanslı akış≥2320

4.Jeotermal Akışkan(Brine water) Yoğunluk ,Viskozite ve Termal İletkenlik Hesaplamaları

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 ifadelere dayalı formüllerinden, tablo ve eğri grafiklerinden yola çıkılarak yapılacaktır. Jeotermal Akışkan Sıcaklığımızın yaklaşık 150 °C olması ve su tuzluluk oranının 50 ppt'nin üstünde olması sebebiyle aşağıdaki formülasyonları kullanacağız.

<u>Akışkan yoğunluğu ile ilgili hesaplamalar;</u>

(A,B,G,F=sbt. X= 50 ppt T= 150 °C)

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

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

$$G_1 = 0.5$$

$$G_2 = \mathrm{B}$$

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

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

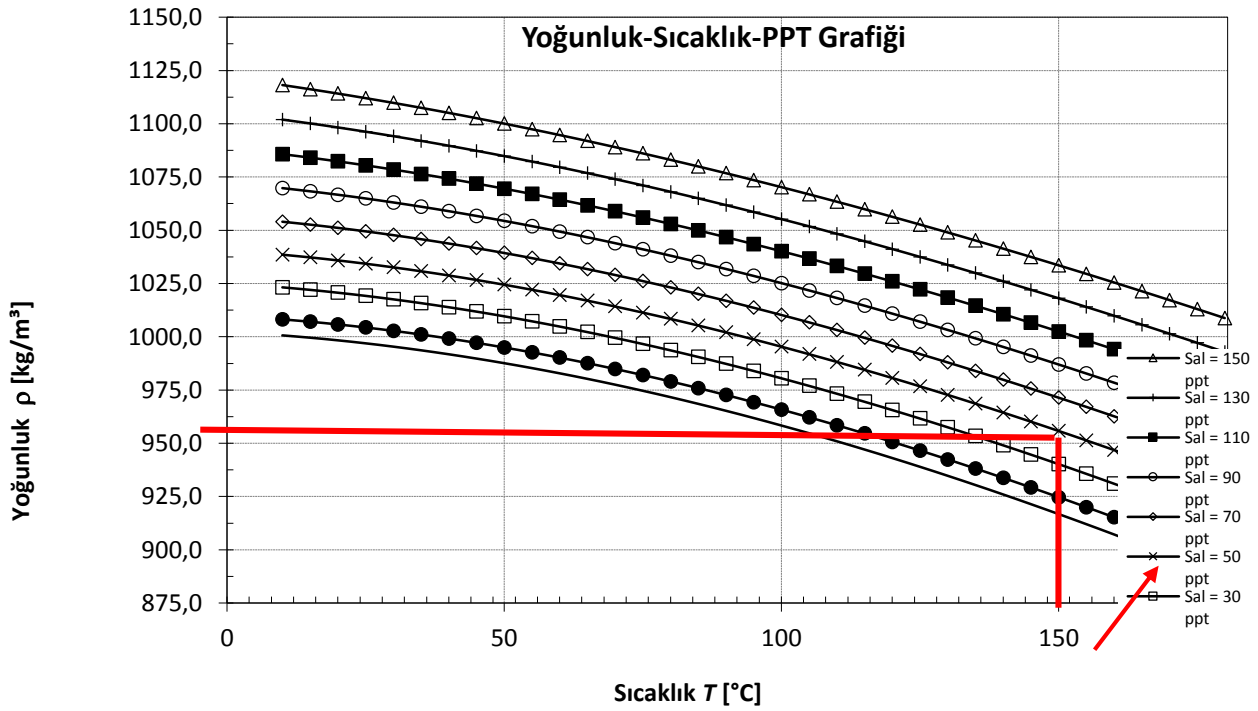
$$A_2 = -0.108199\,G_1 + 1.571\,x\,10^{-3}\,G_2 - 4.23\,x\ 10^{-4}\,G_3$$

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

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

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

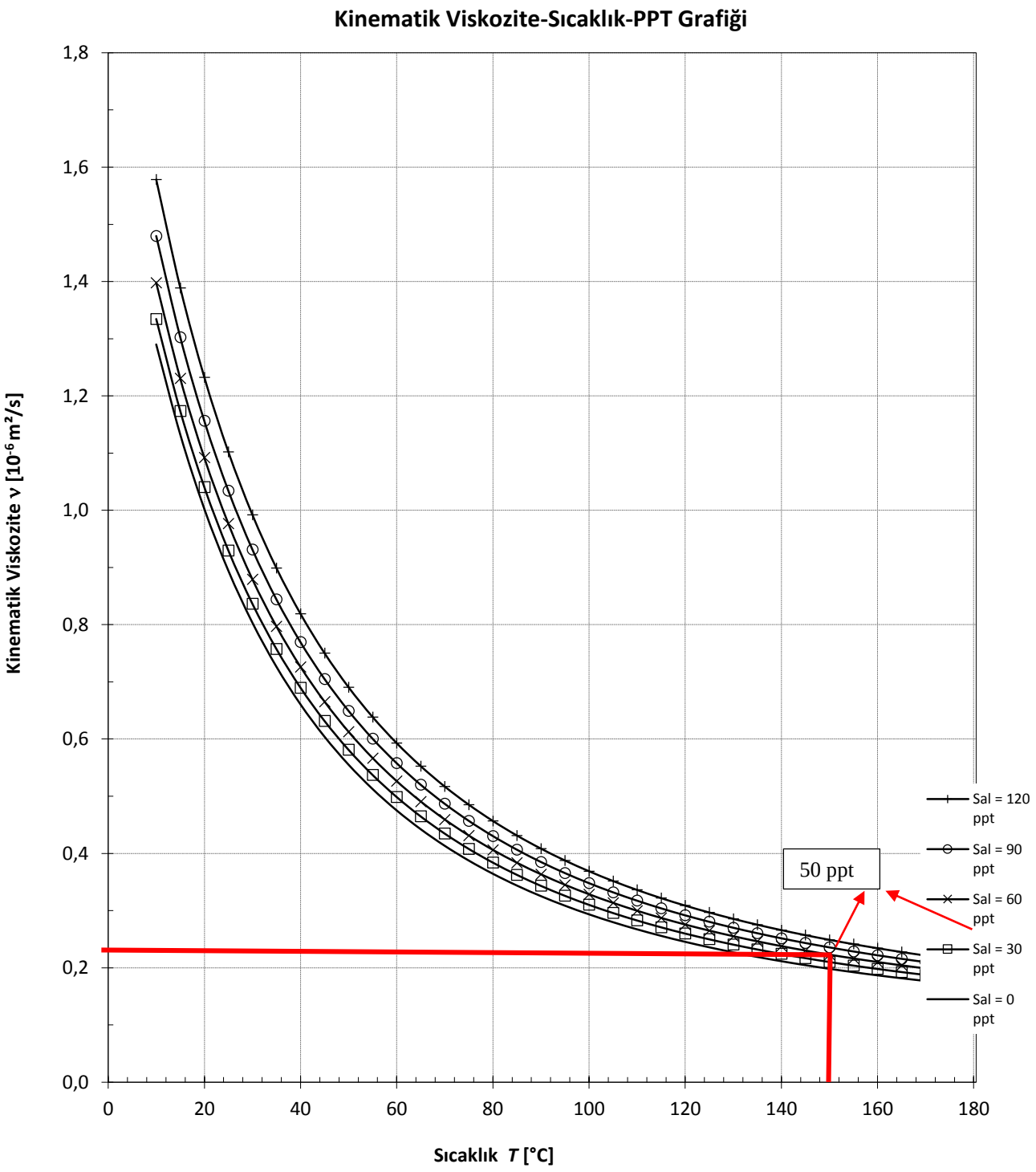
$$F_1 = 0.5\,,\,F_2 = \mathrm{A}\,,\,F_3 = 2\,A^2 - 1\,,\,F_4 = 4\,A^3 - 3\,A$$



Grafik 1[3]

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

<u>Kinematik ve Dinamik viskozite ile ilgili hesaplamalar;</u>



Grafik 2[3]

Aşağıdaki formülasyonlar hesaplandığı takdirde dinamik viskozite $\mu = \mathbf{0,209\ x\ 10^{-3}}$ **kg/m s** dir. Kinematik viskozite ise $\upsilon = \mu/\rho$ $0{,}209\ x\ 10^{-3}/\ 955{,}866$ = **0.2186 x 10^{-6} m^2/s 'dir.**

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

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

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

$$A = 1.474\ x\ 10^{-3} + 1.5\ x\ 10^{-5}\ T - 3.927\ x10^{-8}\ T^2$$

$$B = 1.0734\ x\ 10^{-5} + 1.5\ x\ 10^{-5}\ T - 3.927\ x10^{-8}\ T^2$$

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

<u>Termal iletkenlikle ilgili hesaplamalar;</u>

Birimi kW/ m ° C olup fiziksel ve kimyasal özelliklere bağlı olarak ısıl iletkenlik kapasitesini ifade etmektedir.

$$\log_{10}(k) = \log_{10}(240 + As) + 0.434\left(2.3 - \left(\frac{343.5 + Bs}{T + 273.15}\right)\right) * \left(1 - \frac{T + 273.15}{647.3 + C\ s}\right)^{1/3}$$

$$A = 2x10^{-4}\ \ B = 3.7\ x\ 10^{-2}\ \ C = 3\ x\ 10^{-2}\ \ s = 50\ ppt\ \ T = 150\ °\ C\ \ k = termal\ iletkenlik$$

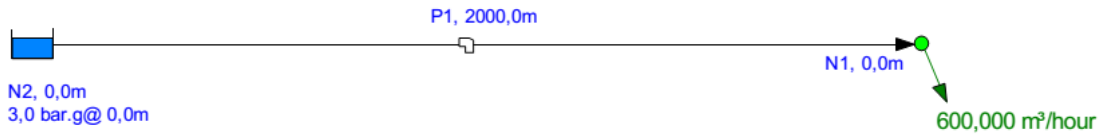
$$k = 0.676\ \frac{kW}{m°\ C}$$

5. ''Pipe Flow Expert'' Programı İle Akış Hesaplamaları

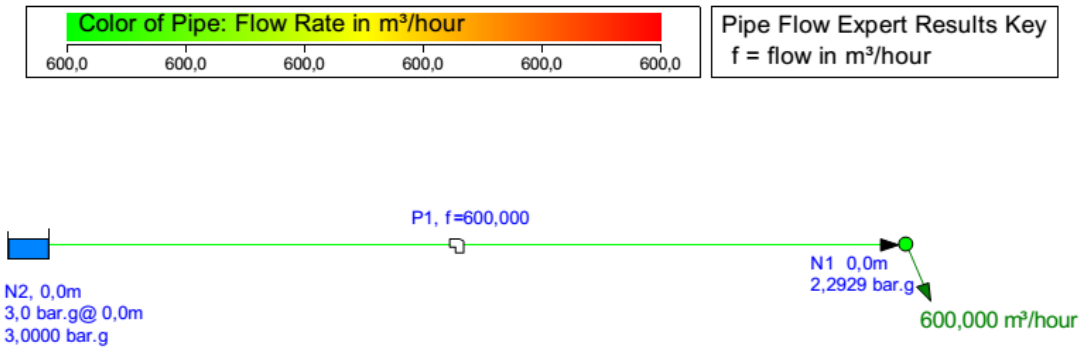
Hesaplanan yoğunluk ve viskozite değerleri baz alınmak suretiyle 2000 m DN 600 lük bir boru hattı için ''Pipe Flow Expert'' programı ile akış cinsi (laminar, türbülanslı) basınç kaybı gibi hesaplamalar yapılmış ve sizlere sunulmuştur.

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

Tablo3



Şekil 6 (Hesaplama öncesi)



Şekil 7 (Hesaplama sonrası)

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

Tablo 4

5.1 Teorik hesaplama metoduyla karşılaştırılması

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

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

v=1.4618 m/s dir.

$$Re = \frac{v\,x\,DN}{\upsilon} \qquad Re = \frac{1.4618\,x\,0.381}{0{,}219\,x\,10\hat{}-6} \qquad 2543131 > 2300\ \ Türbülanslıdır.$$

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.

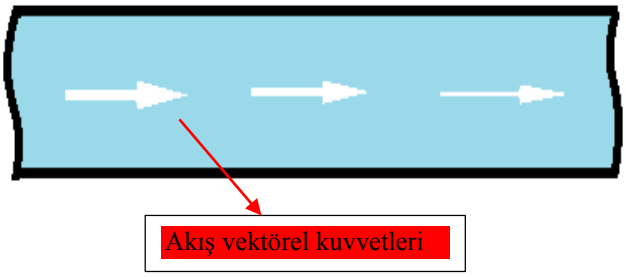
6.Çelik Çekme ve Dikişli Borudaki Akış Hareketi ve Akışı Etkileyen Fonksiyonların Tespiti

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.

6.1 Çelik Çekme Boru

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

Şekil 8



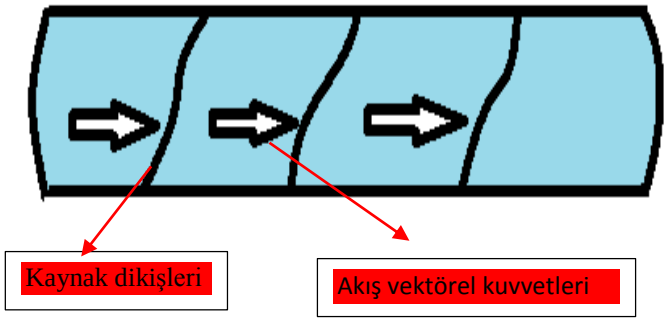
Şekil 9

Çelik çekme borudaki akış, kararlılık göstermektedir. Borunun iç yüzeyinde dikişli borudaki gibi kaynak dikişleri olmamasından dolayı kararlı hareket etmekte, akış cinsi laminer(kararlı) yahut türbülanslı ise borunun fiziki özelliği akışın cinsine ve hareket kabiliyetin etki etmemektedir.

6.2 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.

Şekil 10

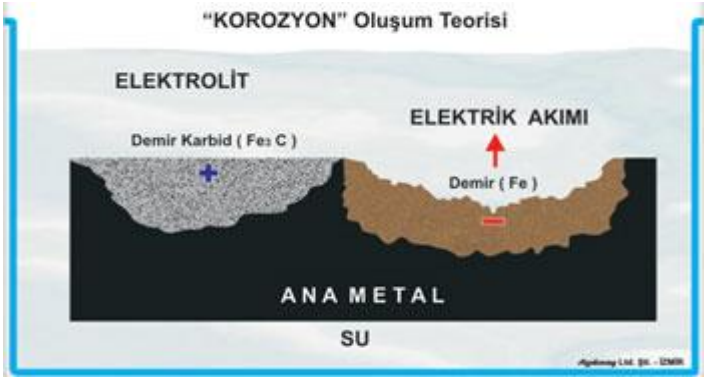


Şekil 11

Dikişli borularda ,akış vektörel kuvvetlerinin dikişsiz boru(çelik çekme)’daki gibi pürüzsüz bir yüzeyde değil de direkt olarak kaynak dikişlerine çarpmasını sonucunda ‘’ateşli silahlardaki merminin yiv içersinde 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.

7.Elektro Kimyasal Korozyon Oluşumu

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

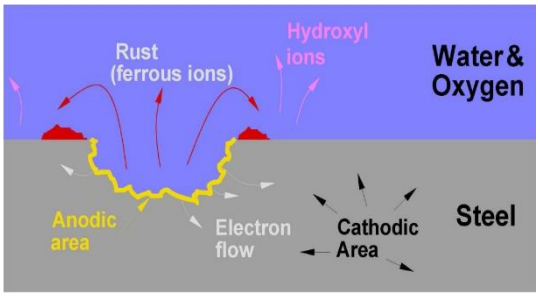


Şekil 12 Şekil 13[4]

Metal ve alaşımların kararlı halleri olan bileşik haline dönme eğilimleri yüksektir. Bunun sonucu olarak metaller içinde bulundukları ortamın elemanları ile tepkimeye girerek, önce iyonik hale ve oradan da ortamdaki başka elementlerle birleşerek bileşik haline dönmeye çalışırlar; yani kimyasal değişime uğrarlar ve bozulurlar. Sonuçta metal veya alaşımın fiziksel, kimyasal, mekanik veya elektriksel özelliği istenmeyen değişikliklere (zarara) uğrar.

Korozyon, metalik malzemelerin içinde bulundukları 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-katot arasındaki iletken bağlantıdan oluşur. Bu dört bileşenden biri dahi olmasa korozyon oluşmaz. Korozyon oluşumu anot rolünü üstlenen maddede meydana gelir(Şekil 14) . Maddelerin korozyon hücresindeki rollerini belirleyen çeşitli faktörler vardır. Örneğin çözünme potansiyeli yüksek bir metal(mesela Sn), çözünme potansiyeli düşük bir metalle (Mesela 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.



Şekil 14[5]

7.1 Korozyona Etki Eden Faktörler

-Ortam etkisi-Sıcaklık etkisi-Malzeme seçimi-Sistem dizaynı-Sistemin bulunduğu ortamın oksijen konsantrasyonu-Zeminin elektriksel özgül direncinin etkisi olarak tanımlanabilir.

7.2 Katodik Koruma

Katodik koruma, bir tür metal koruma metodur. 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.

7.3 Galvanik Anod Uygulaması

Metallerin birçoğu su veya hava ile temas 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 15

Şekil 15,16 ve 17'de galvanik anod montajı görsel olarak sunulmuş olup, boru dış yüzeyindeki boru montaj bağlantı yerlerini de görmektesiniz.

Şekil 16

Şekil 17

8.Jeotermal Borulardaki Elektrokimyasal Korozyon Hesaplamaları

Anot 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 5

8.1 Anod

Anod,oksidasyon(Yükseltgenme) reaksiyonunun yürüdüğü elektrodudur.Anodda doğru akım metalden elektrolite geçer.

8.2 Galvanik Anod

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

8.3 Katodik Koruma

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

Zemin cinsi	Zemin elektrik özgül direnci (ohm.com)	Borunun ortalama akım ihtiyacı I(mA/m^2)
Çok korozif	< 1000	20 < i
Korozif	1000-3000	20 > i > 5
Orta korozif	3000-10000	5 > i > 0,1
Az korozif	10000 <	İ < 0,1

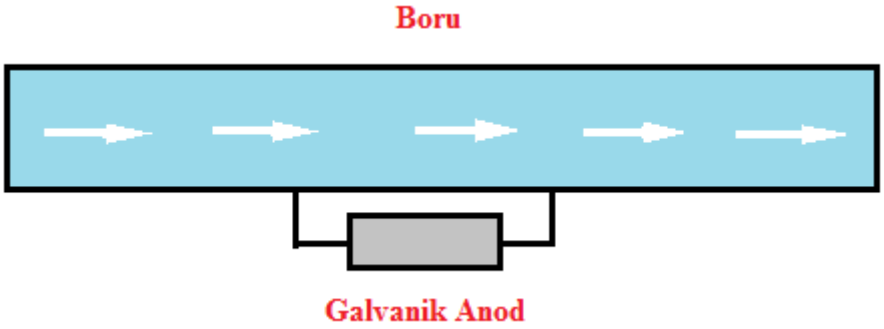
Tablo 6

(Çıplak Çelik Boruların Farklı Zeminler İçindeki Akım İhtiyaçları)

Kaplama Cinsi	Akım ihtiyacı(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

Tablo 7

(Çeşitli Koruyucu Kaplama Yapılmış Boruların Ortalama Akım İhtiyaçları)



Şekil 18

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 bu standart baz alınmıştır.

Standartta; Gemilerin ve deniz içinde hareket eden araçların su ile temas eden kaplamalı yüzeyleri için uygulanacak akım miktarı 10 mA/m^2-100mA/m^2 olarak ifade edilmektedir. Tablo 8'de ortalama değer olarak 50mA/m^2 alınmıştır.

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

Boru hattı iç koruma (çinko)	
Boru çapı (m)	DN 400
Boru boyu (m)	2000
Koruma akım yoğunluğu(mA/m^2)	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 8[6]

Tablo 9'deki hesaplamalar,Tablo 6 daki TS5141 standartındaki ''Orta korozif'' için tanımlanan değerler baz alınarak yapılmış, akım yoğunluğu olarak 0.5 mA/m^2 değeri belirlenmiştir.

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

Boru hattı dış yüzey koruma (çinko)	
Boru çapı (m)	DN 400
Boru boyu (m)	2000
Koruma akım yoğunluğu(mA/m^2)	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

Tablo 9[7]

9.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 ifadelere dayalı bu çalışmada yapılan teorik hesaplarla, grafiklerde bulunan sonuçlar teyit edilmiştir. St 37 boru malzemesinin 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.

10. Kaynaklar

1.''Ppm'', http://tr.wikipedia.org/wiki/Ppm,2015

2. ''Viskositat'',http://de.wikipedia.org/wiki/Viskositaet,2015

3.El-Dessouky,H.T.,Ettouney,H.M.2002.Fundamentals Of Salt Water Desalination, ISBN 0-444-50810-4 Elsevier Science, Amsterdam

4.''KorozyonTeorisi'', http://www.aydinay.com.tr/genelbilgi/Korozyon-Olusum-Teorisi.html,2008

5.''Cathodic Protection'', http://www.cathodicanodes.com.au/cathodic-protection,2015

6.''TS8591'', http://arkatodikkoruma.com/images/stories/standartlar/ts8591.pdf,2015

7.''TS5141'', http://arkatodikkoruma.com/images/stories/standartlar/ts5141.pdf,2015