DÜMF Mühendislik Dergisi

web: http://dergipark.gov.tr/dumf

Araştırma Makalesi / Research Article

Kireç oranındaki değişmenin erozyon korozyonuna etkisinin sonlu elemanlar analizi ile araştırılması

Deniz Ada *

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kimya Teknolojileri Bölümü, Kütahya, hdenizada@hotmail.com, ORCID: 0000-0001-9991-8396

Kadir Gök

İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İzmir,kadirgok67@hotmail.com ORCID: 0000-0001-5736-1884

Geliş: 16.05.2019, Revizyon: 21.06.2019, Kabul Tarihi: 26.06.2019

Öz

Bu çalışmada sıvı akışkanın içindeki kireç oranının korozyona etkisi bilgisayar destekli akış analizleri kullanılarak belirlenmesi yöntemi uygulanmıştır. Kireç konsantrasyonundaki değişimin, yuvarlatılmış bir dirsek borudaki erozyon korozyonuna etkisini görebilmek hedeflenmiştir. Petro-kimya endüstrisinde kullanılan borular farklı türde akışkanları bir yerden bir yere taşımakla görevlidirler. Bir dirsek boru tasarımı göz önüne alınarak 3 boyutlu çalışmalar için SolidWorks programı kullanılmıştır. Boru içi akış analizleri hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı Ansys Fluent kullanılarak sonlu hacim metoduna dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, 3 farklı kireç partikül oranı seçilmiştir. Analiz sonunda, farklı kireç oranlarında borularda oluşan erozyon miktarları elde edilmiştir. Kireç oranı arttıkça, dirsek borulardaki korozyon oranında artış görülmüştür.

***Anahtar Kelimeler**: Kireç etkisi, erozyon, sonlu elemanlar metodu, korozyon.*

*Yazışmanın yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.566711

Giriş

Korozyon, metallerin çevreleriyle yaptıkları kimyasal ya da elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu hasar görmeleri olayına denir. Bu reaksiyonlar sonucunda metallerin fiziksel, kimyasal, mekanik ve elektriksel özelliklerinde istenmeyen durumlar vuku bulmaktadır. Bu durumlar metal malzemelerden üretilen parçaların kullanılamaz hale gelmesine yol açmaktadır. Metalik yapıların üretiminde metal yüksek enerjili bir hal almaktadır. Düşük enerjili haline tekrar geri dönmek için güçlü bir eğilime sahiptir. Bu doğal hale dönüş korozyon meydana getirir. Korozyon bir çukur ya da çatlak şeklinde lokal olarak ya da geniş bir alan boyunca uzanan genel bir bozulma şeklinde oluşabilir (Eddy 2010, Aytaç, Özmen and Kabasakaloğlu 2005). Metal ve alaşımlarının kuru ve gaz ortamda oksitlenmesine kimyasal korozyon denilirken, anot, katot, elektrolit ve anot ve katot arasındaki elektron iletimini sağlayacak bir elektron iletkenin bulunduğu ortamda gerçekleşen korozyona kimyasal korozyon denilmektedir. Korozyon istenmeyen bir durumdur ve birçok türü mevcuttur. Yenme, aşınma, darbe, ve oyulmalara neden olan mekanik faktörlerle birleştiğinde korozyonun neden olduğu ekonomik kayıplar çok yüksek değerlere çıkmaktadır (Trabanelli 1977, Trabenelli, Mantovani and Zucchi F. 1988).

Genel korozyon, galvanik korozyon, erozyon korozyonu, kavitasyon korozyonu, aralık korozyonu, çukurcuk korozyonu, taneler arası korozyon, gerilmeli korozyon ve yorulmalı korozyon en önemli korozyon türleri arasındadır (Mehmet Yüksel and Meran 2010). Elektrokimyasal korozyon ölçümleri Tafel Analiz, Lineer Polarizasyon ve Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi Teknikleri ile yapılır (Ada et al. 2016). Sıvı ve gazların uzak mesafelere taşınmasında kullanılan boru hatları, sıcak buhar kazanları ve türbin kanatları katı ve sıvı akışkanlar tarafından metal yüzeylerinde sürekli olarak aşınmaya maruz kalmaktadırlar. Metal yüzeyinde bir pasif tabaka oluşsa da akışkan bu pasif tabakayı tekrar yok ederek metal yüzeyinde erozyona sebep olacaktır. Kavitasyon olarakda bilinen oyuk hasarları, bir çeşit erozyonlu korozyondur. Bu korozyon türü, boru içinde hızlı olarak akan akışkanın yüzeylere yakın bölgelerde meydana gelen alçak basınç kabarcıklarının büyümesi sonunda patlaması ile oluşur. Bu şok dalgalar sonucunda malzeme yüzeyi tahrip olur. Tahrip sonucu ortaya çıkan metal çözünerek korozyona uğramaktadır. Bu korozyonlu yüzeyler kaba ve sık oyuklara sahip peteksi bir görünüme sahiptirler (Ada 2014).

Erozyon korozyonu petro-kimya endüstrisinde çok sık olarak karşılaşılan bir korozyon türüdür (Şekil 1). Gaz ve sıvıl akışkanların uzak mesafelere kadar taşınmasında kullanılan techizat borularında, kömür yada maden cevherlerinin toz halinde su ile karıştırılarak uzak mesafelere kadar taşınmasını sağlayan boru hatlarında, sıcak su ve buhar hazırlama tesislerinde görülmektedir (Mehmet Yüksel and Meran 2010). Bunun yanısıra, boru içindeki akışın daralma gösterdiği ve yön değiştirdiği bölgeler, gaz akıntılarının katıyı ve sıvıyı sürüklediği durumlar, türbülansın meydana geldiği bölgeler, pompa gövdeleri, boru ağızları, vana oturma yüzeyleri, yoğuşturucular, fırın tüplerinin girişleri, boru eklenti parçaları ve ısıl çiftlerinin çevresinde görülmektedir (MEGEP 2012).



Şekil 1. Erozyon korozyonunun boru iç yüzeyinde görünümü (MEGEP 2012)

Kirecin korozyona etkisi ile ilgili sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Kuyulardan elde edilen sular da en az deniz, göl ve akarsu gibi yüzey kaynakları kadar soğutma sistemleri için kullanılabilmektedir. Fakat, su içeriğinde bulunan gazlar, çözünmüş mineraller ve kireçten dolayı bu sistemlerde korozyon, kirlenme ve mikrobiyolojik oluşumlara sebep olmaktadır (KILIÇCIOĞLU 2014). Küçükgül ve Özdağlar (Küçükgül E. Y and D 2004), Tahtalı Barajı'ndan temin edilen içme sularının korozif etkisinin boru ve donanımında büyük zararlara yol açtığını, özellikle litrede 60 mgr' ın altında $CaCO_3$ içeren suların Cu içeren borularla transferinde akış hızından kaynaklanan etkin saldırıdan dolayı büyük zararlar meydana geldiğini söylemişlerdir. Cl^- iyonları ile yaptıkları deneysel çalışmada 0,77m/sn, 1,42m/sn ve 1,42m/sn hızlar kullanmışlardır. Sonuç olarak polietilen boru malzeme önermişlerdir. Büyüksağiş tarafından yapılan bir çalışmada (Büyüksağiş A 2007), jeotermal sistemlerde, kabuklaşma ve korozyonun çok önemli bir sorun olduğunu belirtmiştir. XRD analizleri sonucunda, şehir dışı jeotermal ısıtma boru hattında $CaCO_3$ kabuklaşması olduğunu, şehir içi kuyu suyu geçen boru hattında ise NaCa(OH), $CaCO_3$ ve MgAlSi içeren bir kabuksu oluşumun meydana geldiğini bildirmiştir. Çukur korozyonunun NaCl ile yumuşatılan kuyu suyunun geçtiği boru hattında meydana geldiğini, benzer bir durumun jeotermal suyun geçtiği borularda da gerçekleştiğini bildirmiştir. Ayrıca, geri dönüş hattındaki sularında çözünmüş partikül miktarının artmasıyla birlikte St 37 çelik malzemenin suyun etkisiyle erozyona uğrayarak korozyona uğradığını söylemiştir. Cl^- iyonlarının varlığında çukurcuk korozyonu ihtimali de arttığından Fiberglas plastik boruların kullanımını ve katodik koruma yöntemini önermiştir.

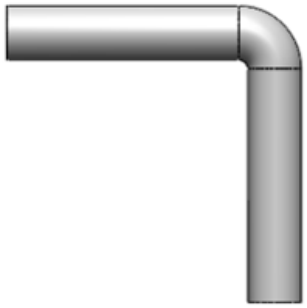
Bu tür uygulamalarda bilgisayar destekli simülasyon araçları kullanarak akışkanın oluşturacağı korozyon tahribatı önceden tahmin edilerek farklı çözüm yöntemleri bulanabilir. Konu ile ilgili literatürde birkaç çalışma mevcuttur. Mansouri vd. (Mansouri et al. 2015) duvar yakınındaki türbülans modelini ve küçük partiküllerin sebep olduğu erozyonun CFD modelini geliştirmişlerdir. Hassan-Beck vd. (Hassan-Beck et al. 2019) dirsek, boru genişletici nozul çıkışındaki ilgili alanlarda, erozyon üzerinde akışın etkisini incelediler. Doroshenko vd. (Doroshenko et al. 2019) yoğunlaşmış damlacıkların hareketinin fiziksel görüntüsünü elde etmek için akış analizleri elde etmişlerdir. Pati vd. (Patil and Bhojwani 2018) katı parçacık erozyonu mekanizması ve çeşitli faktörlerin etkisini incelemişlerdir. Kumar vd. (Kumar et al. 2017) tarafından boru hattının katı-sıvı süspansiyonuna bağlı olarak erozyon aşınma davranışı ticari hesaplamalı akışkanlar dinamiği kodu FLUENT kullanılarak incelenmiştir. Mohyaldinn vd. (Mohyaldinn, Noaman and Ismail 2011), Salama modeli ve Doğrudan Çarpma Modeli (DIM) modeli, boru bileşenlerinde parçacıkların (kum) erozyonunun öngörülmesi için bir hesaplama kodu geliştirmişlerdir. Bu iki model, CFD Fluent ticari yazılımından elde edilen sonuçlara karşılaştırılmıştır.

Erozyon korozyonunun önlenmesi için birkaç yöntem mevcuttur. Öncelikle aşınmayı önlemek için bazı tedbirlerin alınması gerekir. Özellikle tasarım aşamasında müdahale etmek maliyet açısından çok önemlidir. Akış yönünün değiştirilmesi gereken uygulamalarda geniş açılı dirsekler, cidar kalınlığı aşınmaya karşı dayanıklı malzeme kullanmak ve korozyon payı gibi önlemler alınabilir. Bu çalışmada, boru içi akış analizleri hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı Ansys Fluent kullanılarak sonlu hacim metoduna dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Sıvı akışkanın içindeki kireç oranının korozyona etkisinin bilgisayar destekli akış analizleri ile belirlenmesi hedeflenmektedir.

Materyal ve Yöntem

Yuvarlatılmış bir dirsek boru için 3 boyutlu (3D) modeller SolidWorks programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).

Boru içi akış analizleri hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı Ansys Fluent kullanılarak sonlu hacim metoduna dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. 3D model oluşturulduktan sonra, Ansys Workbench programında akış analizlerinde akışkan olarak kullanılacak sıvının (su) özellikleri girilmiştir. Sıvının taşıyacağı partükül için ise kireç ($CaCO_3$) seçilmiştir. Sıvının ve partikülün özellikleri Tablo 1' de verilmiştir.



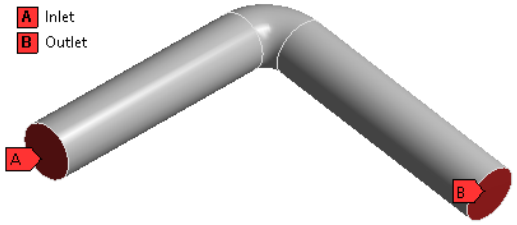
Şekil 2. Yuvarlatılmış bir dirsek boru 3D modeli

Tablo 1. Suyun ve partikülün özellikleri

Sıvı (H_2O)	**Değerler**
Yoğunluk (kg/m3)	998.2
Viskozite (kg/m-s)	0.001003
Su Hızı (m/sn)	0.5
Başlangıç Gösterge Basıncı (Pa)	78000
Partikül ($CaCO_3$)	
Çap (m)	0.015
Çap Dağılımı	Uniform
Kireç Akış Oranı (mg)	60-120-180 (Küçükgül E. Y and D 2004)
Sürekleme Kanunu	Küresel

Yükleme ve Sınır Şartları

Malzeme özellikleri tanımlandıktan sonra sınır şartları belirlenir. Geometrik modeller üzerinde akışkanın giriş ve çıkış yüzeyleri (Şekil 3) belirlendikten sonra ağ (mesh) işlemi gerçekleştirilir. Ağ işlemlerinde modelin tamamı için üçgen (triangle) eleman tipi seçilmiştir. Bu işlem için elaman boyutu 0,017 mm olarak belirlenmiştir. Ağ işlemi sonrasında sonlu hacim modeli 20224 düğüm ve 52624 elemana sahiptir. Ağ işlemi Şekil 4' de görülmektedir. Akış analizlerinin tamamında başlangıç hızı borunun Inlet yüzeyinden 0,5 m/sn olarak seçilmiştir



Şekil 3. Akışkanın giriş ve çıkış yüzeyleri



Şekil 4. Sonlu eleman modelinin ağ yapısı

Literatürde birçok ampirik erozyon ilişkisi yayınlanmıştır. Bunların hepsi çarpma açısı, darbe hızı, parçacık çapı, parçacık kütlesi ve buna bağlı çarpışma frekansını içerir. Tipik bir erozyon modeli aşağıdaki genel forma sahiptir. ANSYS Fluent'te varsayılan erozyon akış dinamik modeli Denklem (1)' deki gibidir.

$$ER = \sum_{p=1}^{N_{particles}} \frac{\dot{m}_p C(d_p) f(\alpha) {v_p}^n}{A_{face}} \quad (1)$$

burada,

$\dot{m}_p$: parçacıkların kütle akış hızı,

$f(\alpha)$: darbe açısı fonksiyonu,

$C(d_p)$:partikül çap fonksiyonu,

v_p :partikül darbe hızı,

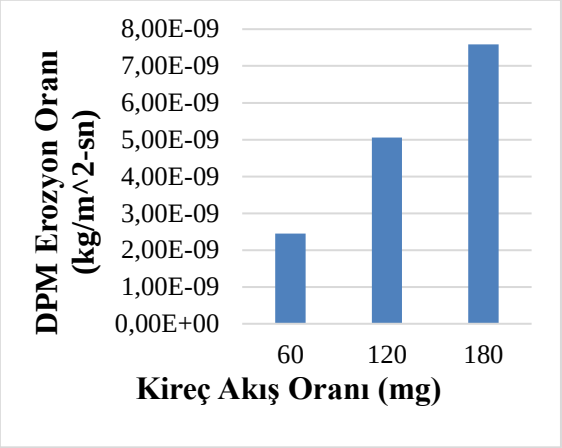
n :hız üssü,

A_{face} :duvardaki hücre yüzeyinin alanı.

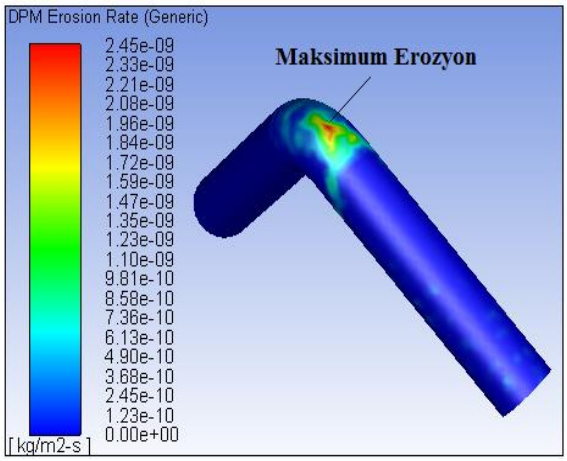
Çözüm, k-epsilon (2 eqn) türbülanslı akış modeli seçilerek ve toplam 150 iterasyonda gerçekleştirilmiştir. k-epsilon modeli olarak Standard model, çözüm yöntemi olarak SIMPLE çözüm yöntemi seçilmiştir. Türbülans modelinde kullanılan model sabitleri, Cmu: 0.09, C1-Epsilon: 1.44, C1-Epsilon: 1.92 olarak program tarafından önerilmiştir. 0.00006 kg/s, 0.00012 kg/s ve 0.00018 kg/s (Küçükgül E. Y and D 2004) olmak üzere 3 farklı partikül akış oranı seçimiştir.

Bulgular ve Tartışma

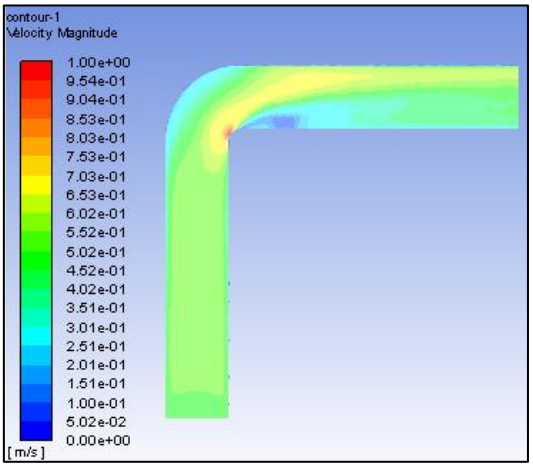
Yükleme ve sınır şartları girildikten sonra analizler çözdürülmüştür. Erozyon oranı Şekil 5' de grafiksel olarak, Şekil 6'da ise erozyon oranı akış hızı, basınç, türbülans kinetik enerji ve türbülans girdap dağılımı renk değişimi olarak gösterilmiştir. Kireç oranı 60 mg iken erozyon oranı 2,45E-09 kg/m^2 sn, 120 mg iken erozyon oranı 5,06E-09 kg/m^2 sn, 180 mg iken erozyon oranı 7,59E-09 kg/m^2 sn olarak analiz edilmiştir.



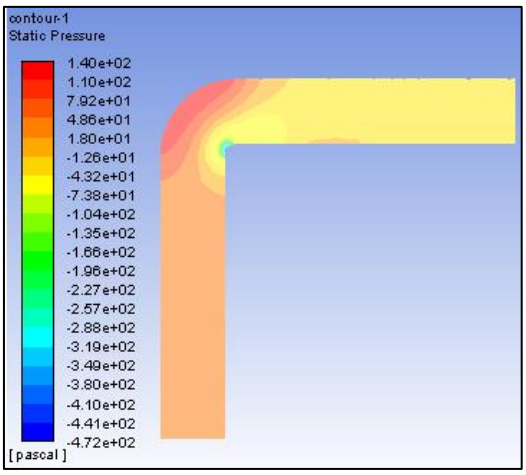
Şekil 5. Erozyon oranı



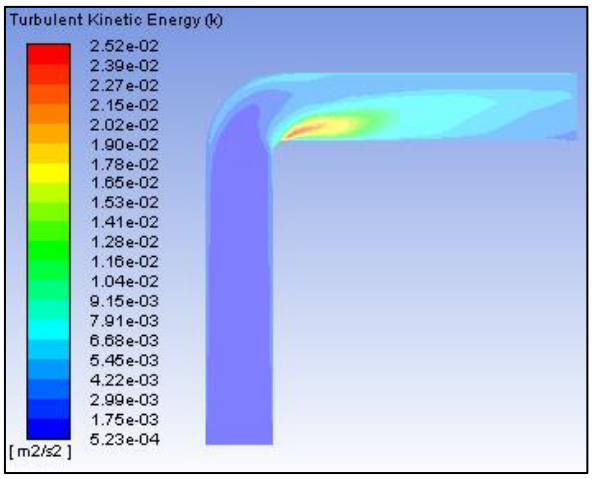
a)



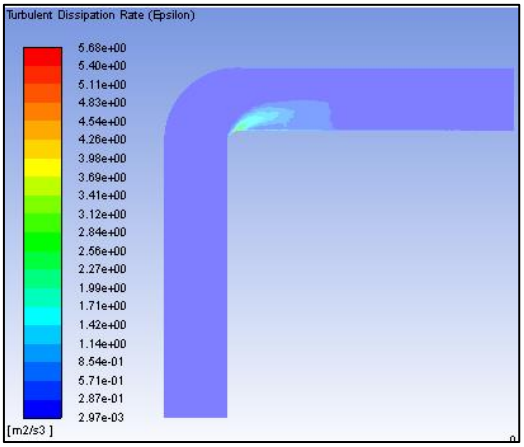
b)



c)



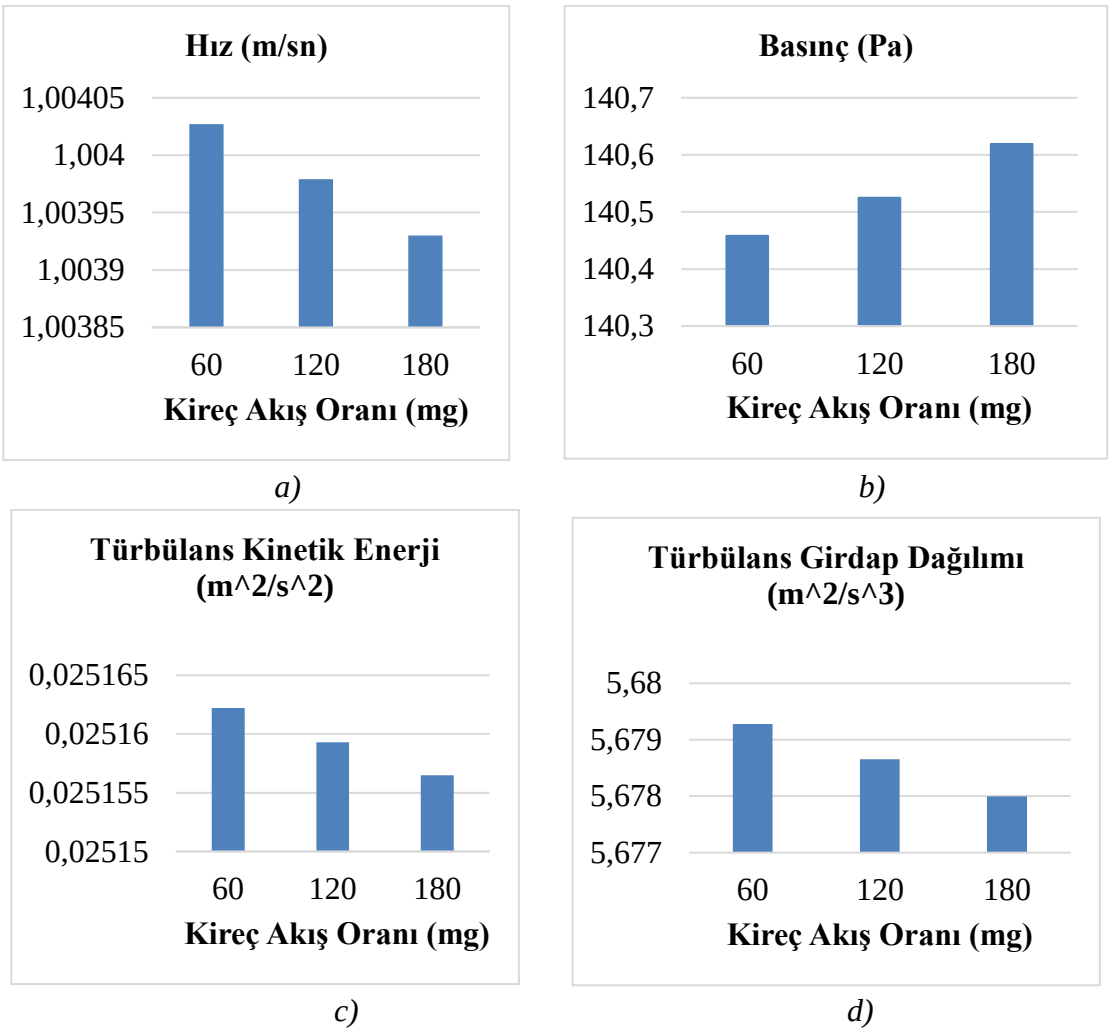
d)



e)

Şekil 6. a) DPM Erozyon oranı, b) akış hızı, c) basınç, d) türbülans kinetik enerji ve e) türbülans girdap dağılımı

Ayrıca, akış hızları, basınç, türbülans kinetik enerji ve türbülans girdap dağılımları, Şekil 7' de gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, kireç oranındaki artış, akışkan hızında çok düşükte olsa azalmaya neden olmaktadır. Kireç (partikül) oranındaki artış akışkanın hızını zayıflatmaktadır. Artan partikül oranıyla bu azalmanın daha da artması beklenmektedir. Türbülans kinetik enerji ve türbülans girdap dağılımındaki azalmanın sebebide akış hızındaki azalmaya bağlıdır. Akış hızının azalması boru içindeki basıcın artmasına sebep olacaktır.



Şekil 7. Akış analizleri sonuçları, a) akış hızı, b) basınç, c) türbülans kinetik enerji, d) türbülans girdap dağılımı

Sonuçlar

Petro-kimya endüstrisinde akışkan taşımada yaygın olarak kullanılan boruların içindeki kireç gibi partiküller ya da çözünmüş diğer bazı mineraller belirli bir süre sonra boruda korozyon oluşumuna sebep olabilmektedir. Analiz sonuçlarına göre, kireç oranındaki artış, akış hızı, basınç ve türbülans değerlerinde çok az bir değişime neden olurken, erozyon korozyonunda ise kireç oranı ile orantılı bir artışa sebep olmaktadır.

Kaynaklar

AnsysWorkbench Fluent Materials.

https://www.sharcnet.ca/Software/Fluent6/html/ug/node818.htm.

Ada, H. D. 2014. Ankara Şeker Fabrikası'nda değişik ünitelerden alınan şerbet örneklerinde çelik türlerinin korozyon direnç ölçümleri,uygun malzeme seçimi ve maliyet analizi çalışmalar In *Kimya Anabilim Dalı / Fizikokimya Bilim Dalı*. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü

Ada, H. D., S. Altanlar, F. Erdem & G. Bereket, (2016). Investigation of corrosion resistance of steel used in beet sugar processing juices *International Journal of Industrial Chemistry,* **7,** 431-439.

Aytaç, A., Ü. Özmen & M. Kabasakaloğlu, (2005). Investigation of some Schiff bases as acidic corrosion of alloy AA3102 *Materials Chemistry and Physics,* **89,** 176-181.

Büyüksağiş A, (2007). Afyonkarahisar jeotermal ısıtma sisteminde oluşan kabuklaşma ve korozyon *Jeoloji Mühendisliği Dergisi,* **31** 9-24.

Doroshenko, Y., J. Doroshenko, V. Zapukhliak, L. Poberezhny & P. Maruschak. 2019. *Modeling computational fluid dynamics of multiphase flows in elbow and T-junction of the main gas pipeline*.

Eddy, N. O., (2010). Part 3. Theoretical study on some amino acids and their potential activity as corrosion inhibitors for mild steel in HCl *Molecular Simulation,* **36,** 354-363.

Hassan-Beck, H., T. Firmansyah, M. I. Suleiman, T. Matsumoto, M. Al Musharfy, A. H. Chaudry & M. A. Rakib, (2019). Failure analysis of an oil refinery sour water stripper overhead piping loop: Assessment and mitigation of erosion problems *Engineering Failure Analysis,* **96,** 88-99.

Kiliççioğlu, F., (2014). Su soğutmalı santrallerde korozyon ve birikinti oluşumunun engellenmesi için uygulanan kimyasal koşullandırma programları *Jeotermal Enerji Semineri***,** 307-318.

Kumar, S., J. P. Singh, P. Kumar & S. K. Mohapatra, (2017). CFD modeling of erosion wear in pipe bend for the flow of bottom ash suspension AU - Singh, Jashanpreet *Particulate Science and Technology***,** 1-11.

Küçükgül E. Y & Ö. D, (2004). İçme suyunda Agresivitenin saptanması ve şebekede korozyonun önlenmesi *DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi,* **6,** 19-39.

Mansouri, A., H. Arabnejad, S. Karimi, S. A. Shirazi & B. S. McLaury, (2015). Improved CFD modeling and validation of erosion damage due to fine sand particles *Wear,* 338-339**,** 339-350.

MEGEP. 2012. *Yüksek Sıcaklık Ve Erozyon Korozyonu*. Ankara.

Mehmet Yüksel & C. Meran. 2010. *Malzeme Bilgisine Giriş*. Ankara: TMMOB Makina Mühendisleri Odası.

Mohyaldinn, M., E.-K. Noaman & M. Ismail. 2011. *Evaluation of Different Modelling Methods Used for Erosion Prediction*.

Patil, P. A. & V. K. Bhojwani, (2018). Investigation of erosion phenomena and influencing factors due to the presence of solid particles in the flow: a review AU - Shinde, Suhas M *International Journal of Ambient Energy***,** 1-9.

Trabanelli, G. M., G. Zucchi, F. . 1977. *Corrosion control in the beet sugar industry* Information Systems Division, National Agricultural Library.

Trabenelli, G., G. Mantovani & Zucchi F., (1988). Corrossion Control in The Sugar Industrie *Sugar Tech. Rew.,* **1,** 1-27.

Investigation of lime effect with finite element analysis in erosion corosion

Extended Abstract

This study includes the determination of the corrosion effect of the lime content in the liquid fluid using computer aided flow analysis. Pipes used in the petro-chemical industry are responsible for transporting different types of fluids from one place to another. SolidWorks program is used for three dimensional studies considering an elbow pipe design. Intra-pipe flow analyses are performed based on the finite volume method by using computational fluids dynamics program-Ansys Fluent. In analyzes, 3 different lime particle ratios were selected. At the end of the analysis, erosion rates in pipes were obtained at different lime ratios.

The corrosion rate in the elbow pipes increases with increasing of lime ratio.3D models for a rounded elbow pipe were performed using the SolidWorks program (Figure2). Intra-flow flow analyzes were performed based on finite volume method using the computational fluid dynamics program Ansys Fluent. After the 3D model was created, the properties of the fluid (water) to be used as fluid in flow analyzes were entered in Ansys Workbench program. The input and output surfaces of the fluid and the network structure of the finite element method are given together; after the loading and boundary conditions were entered, the analyzes were solved.

Erosion rate is shown as graphical in Figure 5 and as color distribution in Figure 6. While the lime ratio was 60 mg, the erosion rate was 2,45E-09 kg / m2 sec, 120 mg, while the erosion rate was 5,06E-09 kg / m2 sec, 180 mg and the erosion rate was 7,59E-09 kg / m2 sec. According to the results of the analysis, the increase in lime ratio cause a little change in fluid velocity, pressure and turbulence values. A linear increase in erosion rate was observed,

***Keywords**: Lime effect, erosion, finite element method, corrosion*