



## **Erozyon Korozyonunda Tasarım Etkisinin Sonlu Elemanlar Analizi İle Araştırılması**

### **Investigation with Finite Element Analysis of Design Effect on Erosion Corrosion**

**H. Deniz Ada <sup>1</sup>, Kadir Gök <sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup> Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kimya Teknolojileri Bölümü, Kütahya  
<sup>2,3</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa  
Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: [kadir.gok@cbu.edu.tr](mailto:kadir.gok@cbu.edu.tr)

Geliş Tarihi / Received: 15.02.2019

Kabul Tarihi / Accepted: 28.03.2019

Atıf şekli/ How to cite: ADA, H.D., GÖK, K.(2020). Erozyon Korozyonunda Tasarım Etkisinin Sonlu Elemanlar Analizi İle Araştırılması. DEUFMD 22(66), 661-670.

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2020226601

#### **Öz**

Bu çalışmanın amacı, boru içerisindeki hareketli sıvıların korozyon etkisinin tasarım değişkeni ile minimuma indirgenmesidir. Petro-kimya endüstrisinde akışkan taşımada kullanılan borular farklı tasarımlara sahiptir. 2 farklı boru tasarımı göz önüne alınarak 3D çalışmaları için SolidWorks programı kullanılmıştır. Boru içi akış analizleri hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı Ansys Fluent kullanılarak sonlu hacim metoduna dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, 90°'lik keskin dirsek boru ve yuvarlatılmış dirsek boru kullanılmıştır. 2 farklı boru için yapılan analiz sonuçlarında, her bir model için akış hızları, basınç, türbülans kinetik enerji, türbülans girdap dağılımı, girdap vizkozitesi, ve erozyon oranı elde edilmiştir. Yuvarlatılmış dirsek boru modelinin geometrik yapısı türbülans ve dolayısıyla girdap oluşumuna 90°'lik dirsek boruya göre daha az müsaade etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kavitasyon, sonlu elemanlar metodu, korozyon.

#### **Abstract**

The aim of this study is to minimize the corrosion effect of moving fluids in a pipe by design variable. The pipes used for fluid transport in the petrochemical industry have different designs. SolidWorks program is used for 3D studies considering two different pipe designs. Intra-pipe flow analyses are performed based on the finite volume method by using computational fluids dynamics program-Ansys Fluent. 90 ° sharp elbow pipe and rounded elbow pipe are used for analyses. Flow velocity, pressure, the turbulence kinetic energy, turbulence eddy dissipation, eddy viscosity, and erosion rate for each model have been obtained in the results of the analysis for two different pipes. The geometrical structure of the rounded elbow pipe model allows turbulence and hence eddy formation less than the 90 ° sharp elbow pipe.

**Keywords:** Cavitation, finite element method, corrosion.

## 1.Giriş

Metallerin çevreleriyle yaptıkları kimyasal ya da elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu hasar görmeleri olayına korozyon adı verilmektedir. 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 [1, 2]. Metal ve alaşımlarının kuru ve gaz ortamda oksitlenmesine kimyasal korozyon denilirken, anot, katot, elektrolit ve anot ve katot arasındaki elektron iletimini sağlayacak bir elektron iletkeninin 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 [3, 4].

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 [5]. Elektrokimyasal korozyon ölçümleri Tafel Analiz, Lineer Polarizasyon ve Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi Teknikleri ile yapılır [6]. 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. Oyuk hasarları (kavitasyon), erozyonlu korozyonun özel bir şeklidir. Kavite korozyonu hızla akan sıvıların malzeme yüzeyine yakın bölümlerinde oluşan alçak basınç kabarcıklarının büyümesi ve patlaması ile meydana gelir. Oluşan şok dalgaları yüzeye

çarparak malzeme yüzeyini örten tabakayı tahrip ederler. Açığa çıkan metal çözünerek korozyona uğrar. Bu tür korozyona uğrayan yüzeylerin görünümü kaba ve deliklidir, oyuklar sıktır, yüzeyde petek görünümü oluşur [7].

Erozyon korozyonunun önlenmesi için birkaç yöntem mevcuttur. Öncelikle aşınmayı önlemek için bazı tedbirlerin alınması gerekir. Özellikle tasarım aşamasında müdahale etmek maliyet açısından çok önemlidir. Özellikle akış yönünün değiştirilmesi gereken uygulamalarda geniş açılı dirsekler, cidar kalınlığı aşınmaya karşı dayanıklı malzeme kullanmak ve korozyon payı gibi önlemler alınabilir.

Bu tür uygulamalarda bilgisayar destekli simülasyon araçları kullanarak akışkanın oluşturacağı korozyon tahribatı önceden tahmin edilerek farklı çözüm yöntemleri bulunabilir. Konu ile ilgili literatürde birkaç çalışma mevcuttur. Mansouri vd. [8] duvar yakınındaki türbülans modelini ve küçük partiküllerin sebep olduğu erozyonun CFD modelini geliştirmişlerdir. Hassan-Beck vd. [9] dirsek, boru genişletici nozul çıkışındaki ilgili alanlarda, erozyon üzerinde akışın etkisini incelediler. Doroshenko vd. [10] yoğunlaşmış damlacıkların hareketinin fiziksel görüntüsünü elde etmek için akış analizleri elde edilmiştir. Pati vd. [11] katı parçacık erozyonu mekanizması ve çeşitli faktörlerin etkisini incelemişlerdir. Kumar vd. [12] tarafından boru hattının katı-sıvı süspansiyonuna bağlı olarak erozyon aşınma davranışı ticari hesaplamalı akışkanlar dinamiği kodu FLUENT kullanılarak incelenmiştir. Mohyaldinn vd. [13], 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.

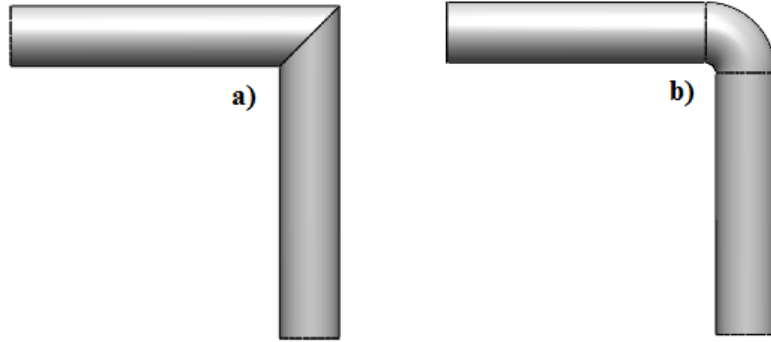
Bu çalışmada, boru içi akış analizleri hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı Ansys Fluent kullanılarak sonlu hacim metoduna dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. 90°'lik keskin dirsek boru ve yuvarlatılmış dirsek boru için yapılan analiz sonuçlarında, her bir model için akış hızları, basınç, türbülans kinetik enerji, türbülans girdap

dağılımı, girdap viskozitesi, ve erozyon oranı elde edilerek tasarım etkisi incelenecektir.

## 2. Materyal ve Metot

90°'lik keskin dirsek boru ve yuvarlatılmış dirsek boru için 3 boyutlu (3D) modeller SolidWorks programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Boru içi akış analizleri hesaplamalı akışkanlar dinamiği

programı Ansys Fluent kullanılarak sonlu hacim metoduna dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. 3D modeller oluşturulduktan sonra, Ansys Workbench programında akış analizlerinde akışkan olarak kullanılacak sıvının (su) özellikleri girilmiştir. Sıvının taşıyacağı partikül için ise antrasit seçilmiştir. Sıvının ve partikülün özellikleri Tablo 1' de verilmiştir.



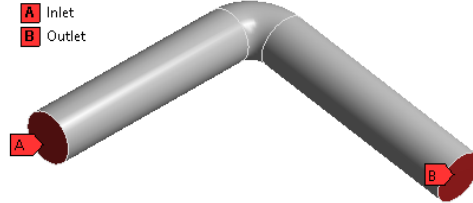
Şekil 1. 3D modeller, a) 90°'lik keskin dirsek boru, b) yuvarlatılmış dirsek boru

Tablo 1. Suyun ve partikülün özellikleri

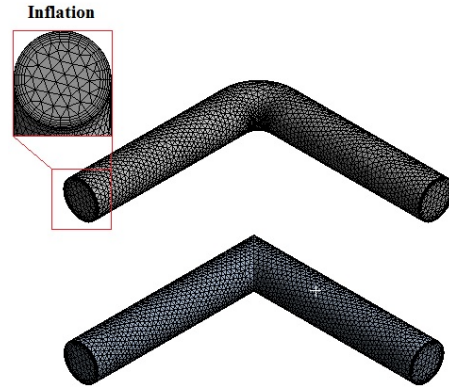
Sıvı (Su)	Değerler
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	998.2 [14]
Viskozite (kg/m-s)	0.001003 [14]
Su Hızı (m/sn)	0.5
Partikül (Anthracite)	
Çap (m)	0.015 [9]
Toplam akış oranı (kg/sn)	1e-20 [9]

### 2.1. Yükleme ve Sınır Şartları

Malzeme özellikleri tanımlandıktan sonra sınır şartları belirlenir. Geometrik modeller üzerinde akışkanın giriş ve çıkış yüzeyleri (Şekil 2) belirlendikten sonra ağ (mesh) işlemi gerçekleştirilir. Ağ işlemlerinde modelin tamamı için üçgen (triangle) eleman tipi seçilmiştir. Bu işlem için eleman boyutu 0,017 mm olarak belirlenmiştir. Ağ işlemi sonrasında sonlu hacim modeli 20224 düğüm ve 52624 elemana sahiptir. Ağ işlemi Şekil 3' de görülmektedir. Akış analizlerinin tamamında başlangıç hızı borunun Inlet yüzeyinden 0,5 m/sn olarak seçilmiştir.



Şekil 2. Akışkanın giriş ve çıkış yüzeyleri



Şekil 3. 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

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

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 [15].

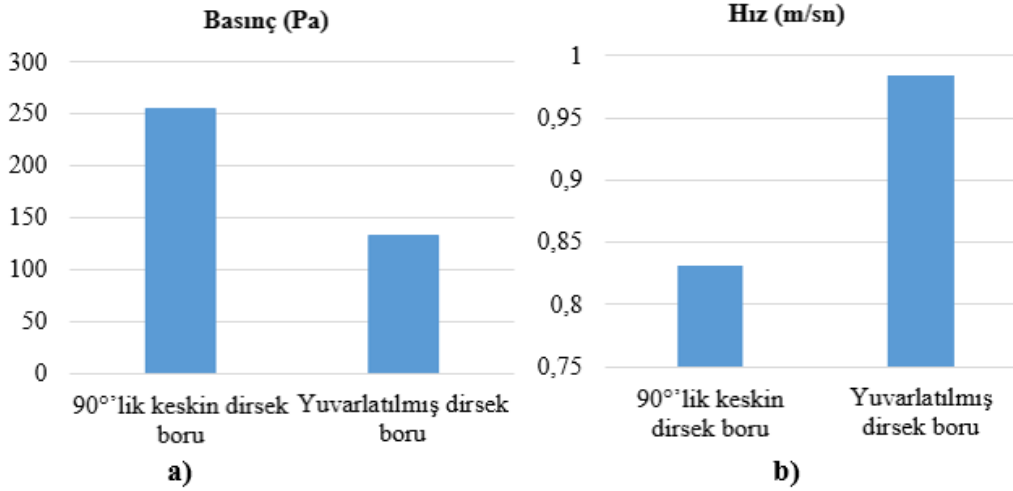
Çözüm, k-epsilon (2 eqn) türbülanslı akış modeli seçilerek ve toplam 300 iterasyonda gerçekleştirilmiştir. k-epsilon modeli olarak Standard model, çözüm yöntemi olarak

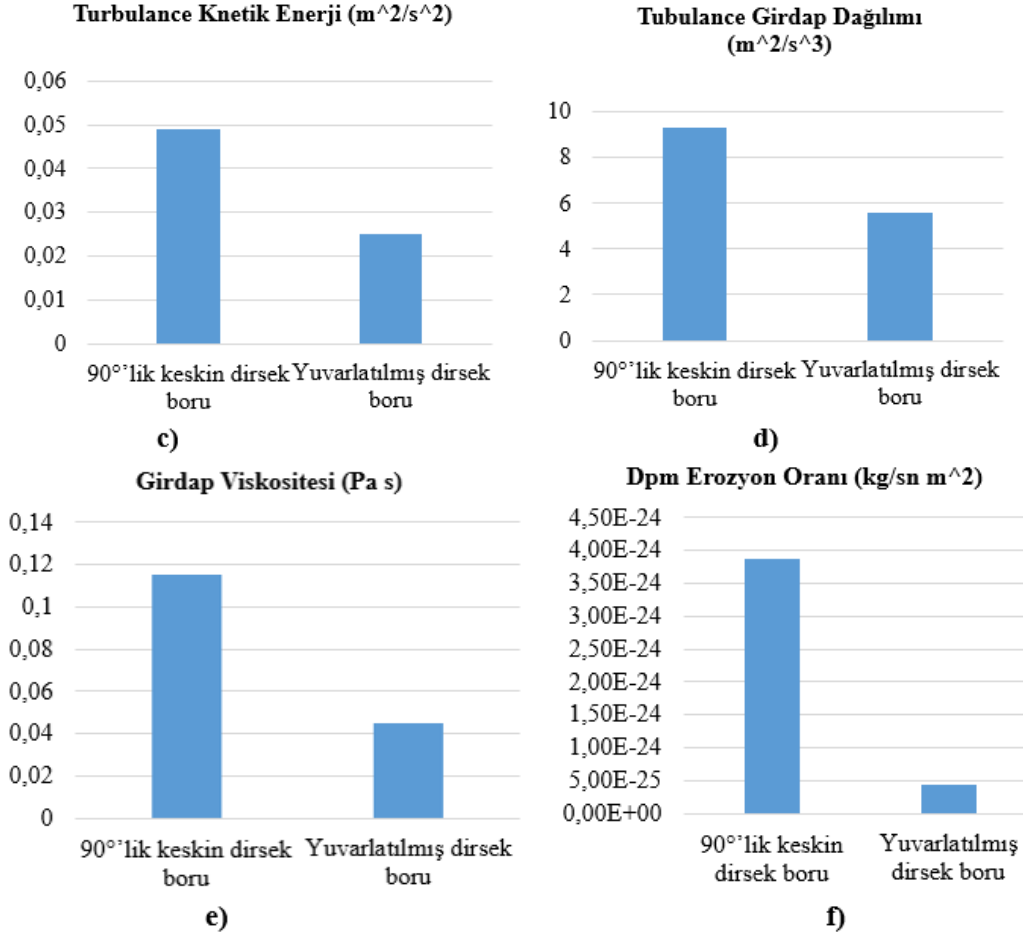
erozyon modeli aşağıdaki genel forma sahiptir. ANSYS Fluent'te varsayılan erozyon akış dinamik modeli Denklem (1)'deki gibidir.

SIMPLE çözüm yöntemi seçilmiştir. Türbülans modelinde kullanılan model sabitleri, Cmu: 0.09, C1-Epsilon: 1.44, C1-Epsilon: 1.92 olarak program tarafından önerilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Girilen sınır şartları ve seçilen modellere göre çözümler yapıldıktan sonra, akış hızları, basınç, türbülans kinetik enerji, türbülans girdap dağılımı, girdap viskozitesi ve erozyon oranı Şekil 4' de grafiksel olarak oluşturulmuştur.

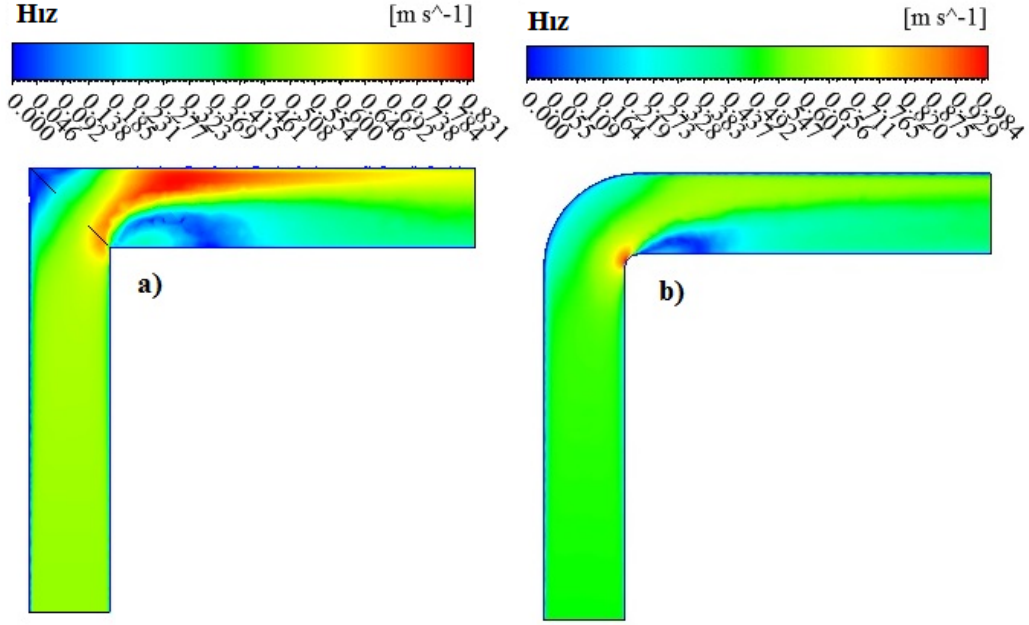




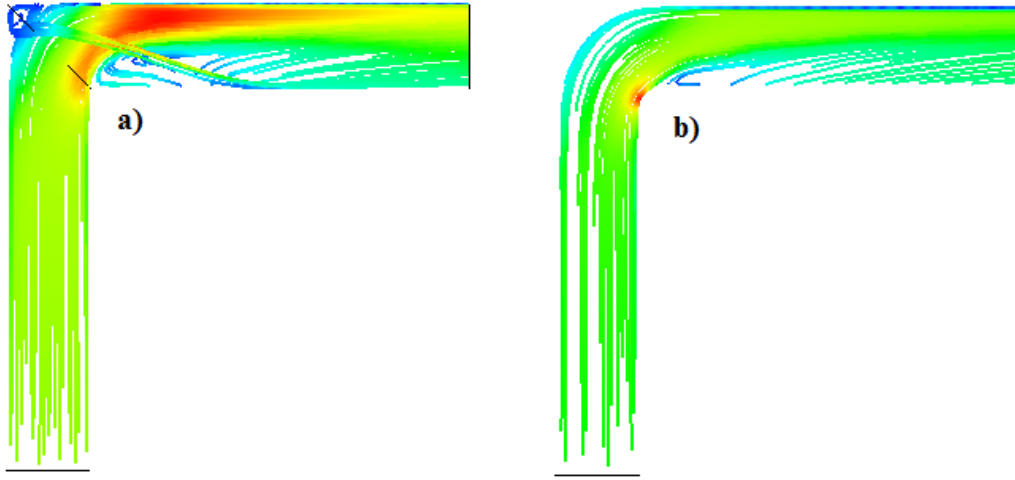
**Şekil 4.** Akış analizleri sonuçları, a) akış hızı, b) basınç, c) türbülans kinetik enerji, d) türbülans girdap dağılımı, e) girdap vizkositesi ve f) erozyon oranı

Grafiklerde görüldüğü gibi akış hızı hariç tüm değerlerde yuvarlatılmış dirsek borudaki değerler, 90°'lik keskin dirsek borudaki değerlere göre daha düşük çıkmıştır. Şekil 5'de akışkan hızı 90°'lik keskin dirsek boruda özellikle akışkan ve partikülün karşı duvara çarptığı kısımda maksimum değerini alırken yuvarlatılmış dirsek boruda küçük yarıçapın olduğu kısımda maksimum değerini almıştır. Şekil 6'da akış çizgileri incelendiğinde, yuvarlatılmış dirsek borudaki akışın daha düzgün ve homojen olduğu görülmüştür.

Esasen bu tür uygulamalarda akışkanın yönü değiştirilirken hızının düşmesi istenir. 90°'lik keskin dirsek boruda çarpma anında akışkanın hızı maksimum çıkması bu bölgede muhtemel bir erozyon oluşumunun işaretçisidir. Yuvarlatılmış dirsek boruda ise akışkan hızı akışkan yönünün değiştirildiği bölgedeki küçük yarıçapta maksimumdur ve bunu sebebi akışkanın dıştaki büyük yarıçapa göre daha küçük bir yarıçapta daha az yol alarak yön değiştirmesinden dolayıdır.



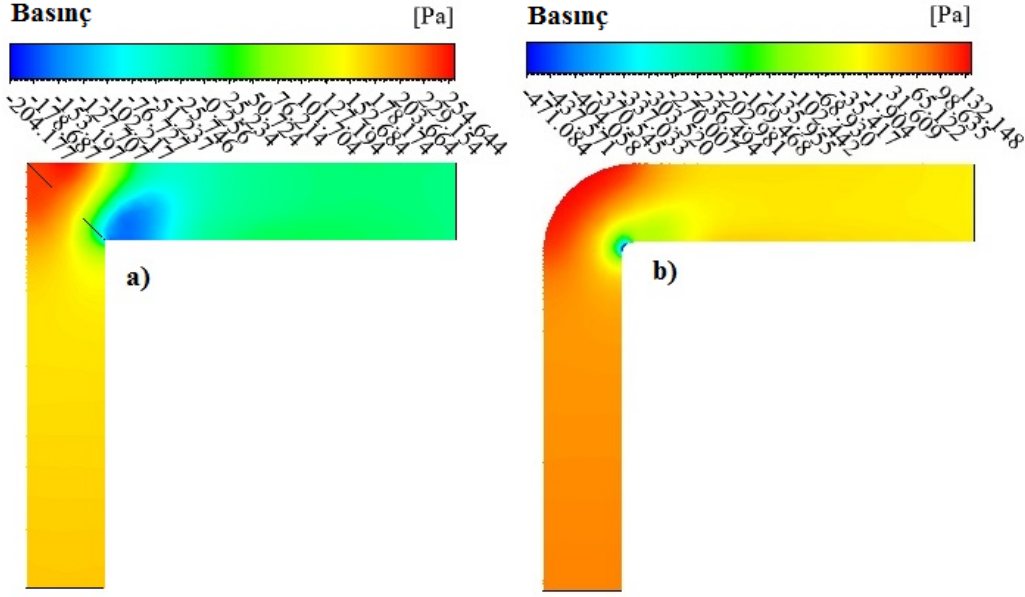
Şekil 5. Akış hızları, a) 90°'lik keskin dirsek boru, b) yuvarlatılmış dirsek boru



Şekil 6. Akış çizgileri, a) 90°'lik keskin dirsek boru, b) yuvarlatılmış dirsek boru

Şekil 7'de her model ile yapılan akış analizlerindeki basınç dağılımları görülmektedir. 90°'lik keskin dirsek boruda

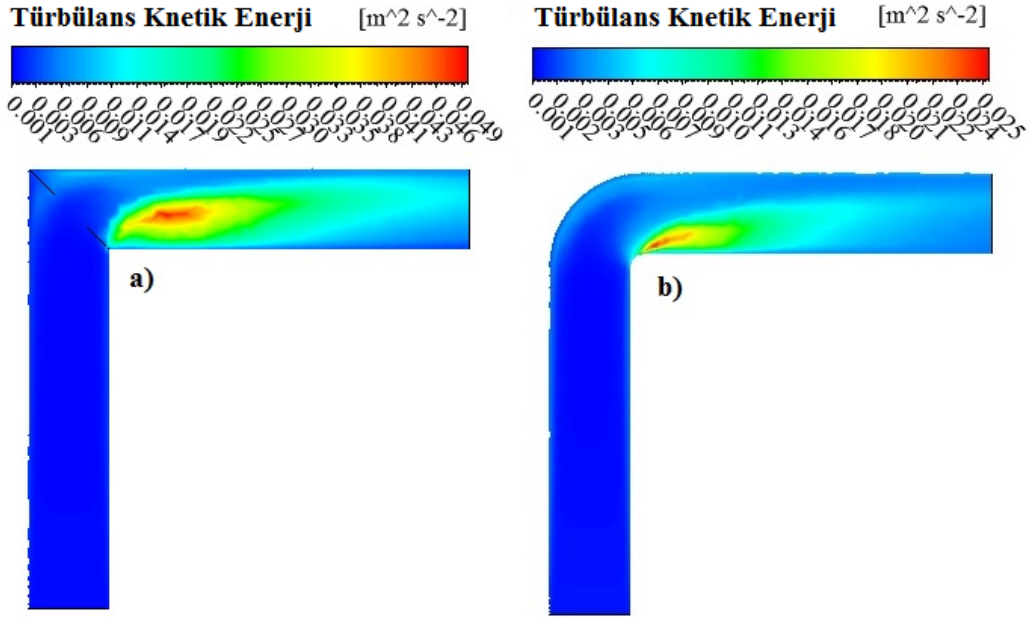
basınç 254.644 Pa iken yuvarlatılmış dirsek boruda ise 132.148 Pa olarak hesaplanmıştır. Yuvarlatılmış dirsek boruda basınç dağılımı daha homojendir.



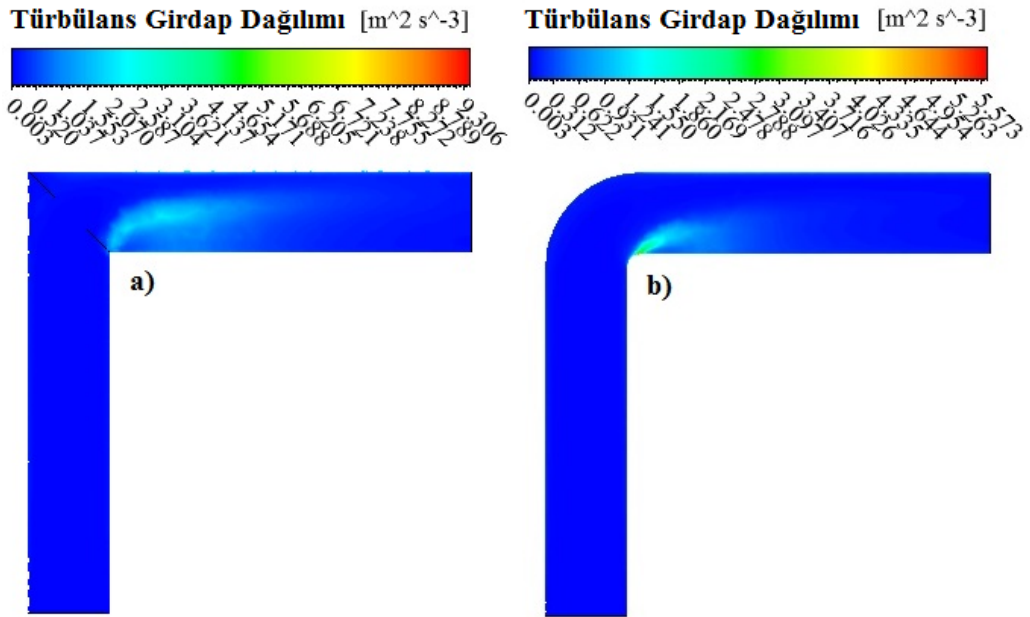
Şekil 7. Basınç, a) 90°'lik keskin dirsek boru, b) yuvarlatılmış dirsek boru

Şekil 8'de her iki model ile yapılan akış analizlerindeki türbülans kinetik enerji dağılımları görülmektedir. Her iki modelde türbülans dağılımlarının akış yönünün değiştiği bölgelerinin önünde yoğunlaştığı görülmektedir. 90°'lik keskin dirsek borudaki türbülans kinetik enerji değeri  $0.049 \text{ m}^2/\text{s}^2$  iken yuvarlatılmış dirsek boru için  $0.025 \text{ m}^2/\text{s}^2$  olarak hesaplanmıştır. Bu iki modelde oluşan türbülans miktarları göz önüne

alınırsa yuvarlatılmış dirsek boruda oluşan türbülans değeri, 90°'lik keskin dirsek boruda oluşan türbülans değerinin hemen hemen yarısı kadardır. Bur durum Şekil 9'daki türbülans girdap dağılımı ve Şekil 10' daki girdap viskozitesi içinde geçerlidir.

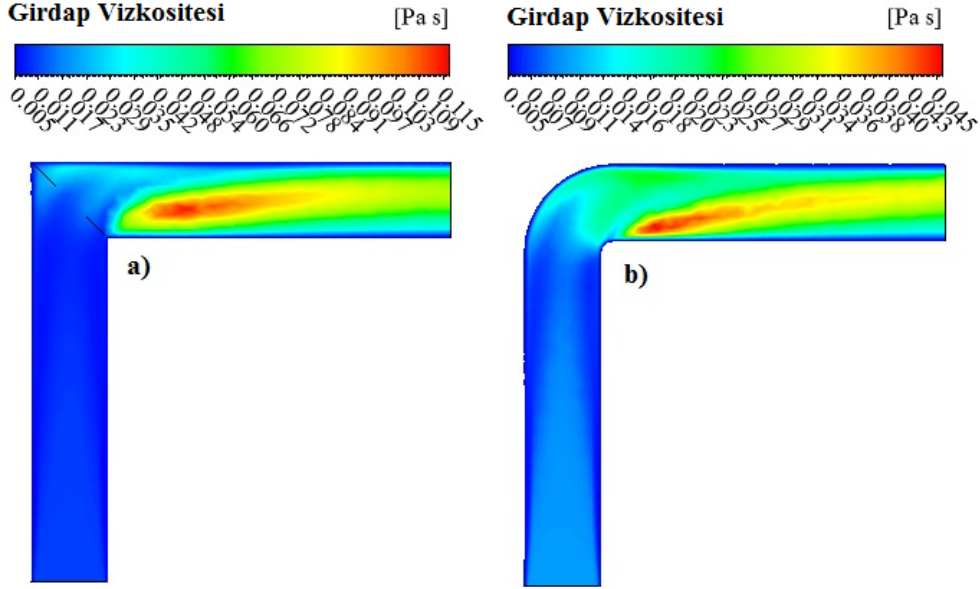


Şekil 8. Türbülans kinetik enerji, a) 90°'lik keskin dirsek boru, b) yuvarlatılmış dirsek boru



Şekil 9. Türbülans girdap dağılımı, a) 90°'lik keskin dirsek boru, b) yuvarlatılmış dirsek boru

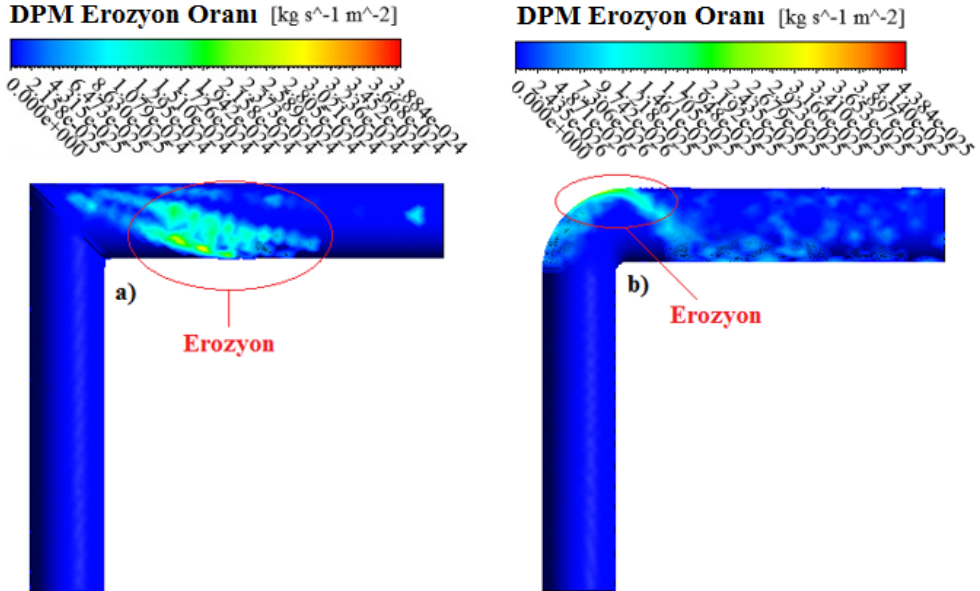




Şekil 10. Girdap viskozitesi, a) 90°lik keskin dirsek boru, b) yuvarlatılmış dirsek boru

Şekil 11' de her iki modelin erozyon oranları görülmektedir. Sayısal olarak 90°lik keskin dirsek boruda  $3.884e-0.24$  kg/s m<sup>2</sup> hesaplanırken, yuvarlatılmış dirsek boruda

$4.384e-025$  kg/s m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Yuvarlatılmış dirsek boruda erozyon oranı daha düşüktür. Bu durum yuvarlatılmış dirsek borudaki akışta daha az türbülans meydana gelmesi ile açıklanabilir.



Şekil 11. DPM Erozyon oranı çizgileri, a) 90°lik keskin dirsek boru, b) yuvarlatılmış dirsek boru

#### 4. Sonuçlar

Petro-kimya endüstrisinde akışkan taşımada yaygın olarak kullanılan borular farklı tasarımlara sahiptir. Akış hızları, basınç, türbülans kinetik enerji, türbülans girdap dağılımı, girdap vizkozitesi ve erozyon oranı verilerine göre yuvarlatılmış dirsek borunun özellikle daha az türbülansa ve daha az erozyon korozyonuna uğramasından dolayı avantajlı olduğu düşünülmektedir. Petro-kimya endüstrisinde kullanılan su dışındaki akışkanların korozyona etkisinin gelecek çalışmalarda yapılması planlanmaktadır.

#### Kaynaklar

- [1] 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*, Cilt. 36, Sayı. 5), s. 354-63.
- [2] Aytaç, A., Özmen, Ü., Kabasakaloğlu, M. 2005. Investigation of some Schiff bases as acidic corrosion of alloy AA3102, *Materials Chemistry and Physics*, Cilt. 89, Sayı. 1), s. 176-81.
- [3] Trabaneli, G.M., G. Zucchi, F. . Corrosion control in the beet sugar industry Information Systems Division, National Agricultural Library, 1977.
- [4] Trabaneli, G., Mantovani, G., Zucchi F. 1988. Corrossion Control in The Sugar Industrie, *Sugar Tech Rew*, Cilt. 1, Sayı. 14), s. 1-27.
- [5] Mehmet Yüksel, Meran, C. Malzeme Bilgisine Giriş. Ankara: TMMOB Makina Mühendisleri Odası, 2010.
- [6] Ada, H.D., Altanlar, S., Erdem, F., Bereket, G. 2016. Investigation of corrosion resistance of steel used in beet sugar processing juices, *International Journal of Industrial Chemistry*, Cilt. 7, Sayı. 4), s. 431-9.
- [7] Ada, H.D. Ankara Şeker Fabrikası'nda değişik ünitelerden alınan şerbet örneklerinde çelik türlerinin korozyon direnç ölçümleri, uygun malzeme seçimi ve maliyet analizi çalışmaları Kimya Anabilim Dalı / Fizikokimya Bilim Dalı. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü 2014.
- [8] Mansouri, A., Arabnejad, H., Karimi, S., Shirazi, S.A., McLaury, B.S. 2015. Improved CFD modeling and validation of erosion damage due to fine sand particles, *Wear*, Cilt. 338-339, Sayı. s. 339-50.
- [9] Hassan-Beck, H., Firmansyah, T., Suleiman, M.I., et al. 2019. Failure analysis of an oil refinery sour water stripper overhead piping loop: Assessment and mitigation of erosion problems, *Engineering Failure Analysis*, Cilt. 96, Sayı. s. 88-99.
- [10] Doroshenko, Y., Doroshenko, J., Zapukhliak, V., Poberezhny, L., Maruschak, P. Modeling computational fluid dynamics of multiphase flows in elbow and T-junction of the main gas pipeline 2019, p.19-29.
- [11] Patil, P.A., Bhojwani, V.K. 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*, Cilt. Sayı. s. 1-9.
- [12] Kumar, S., Singh, J.P., Kumar, P., Mohapatra, S.K. 2017. CFD modeling of erosion wear in pipe bend for the flow of bottom ash suspension AU - Singh, Jashanpreet, *Particulate Science and Technology*, Cilt. Sayı. s. 1-11.
- [13] Mohyaldinn, M., Noaman, E.-K., Ismail, M. Evaluation of Different Modelling Methods Used for Erosion Prediction 2011.
- [14] AnsysWorkbench Fluent Materials, Cilt. Sayı. s.
- [15] <https://www.sharcnet.ca/Software/Fluent6/html/ug/node818.htm>, Cilt. Sayı. s.