

Araştırma Makalesi / Research Article

Yumurta ve Dairesel Enkesit Geometrisine Sahip Atıksu Boru Modeli İçerisindeki Akışın Hidrodinamik Açından Karşılaştırmalı Sayısal Analizi

Esin ACAR^{1*}

¹ Artvin Çoruh Üniversitesi, Borçka Acarlar Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Artvin, TÜRKİYE
esin.acar@artvin.edu.tr

Received/Geliş Tarihi: 28.05.2024

Accepted/Kabul Tarihi: 27.10.2024

Özet: Çalışmada atık su boru sistemlerinde yaygın olarak kullanılan dairesel kesitli boru hatlarına alternatif olarak yumurta kesitlerin kullanılmasının hidrolik açıdan değerlendirilmesi ve karşılaştırılması yapılmıştır. Bu kapsamda eşdeğer kesit alanına sahip 750 mm dairesel kesitli ve 600mmx900mm yumurta kesitli beton boru hatları kullanılmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programı olan Star CCM⁺ ile hidrolik açıdan tek fazlı (su) olarak değerlendirilmiş ve yumurta kesitli boru hattının ortalama hız değerlerinin daha yüksek, basınç değerlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda yumurta kesitli boru hatlarının kullanımının özellikle taban tortu birikiminin önüne geçeceği ve boru içi basınç düşüklüğünden dolayı daha ekonomik kullanım ömrü sunacağı için daha uzun vadeli bir çözüm yöntemi olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Atık su boru sistemleri, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, Yumurta kesitli borular

Comparative Hydrodynamic Numerical Analysis of Flow in Wastewater Pipe Model with Egg and Circular Cross-Section Geometry

Abstract: In this study, the hydraulic evaluation and comparison of the use of egg sections as an alternative to circular section pipelines, which are widely used in wastewater piping systems, was carried out. In this context, 750 mm circular section and 600mmx900mm egg section concrete pipelines with equivalent cross-sectional area were used. They were hydraulically evaluated as single phase (water) with Star CCM⁺, a computational fluid dynamics (CFD) program, and it was determined that the average velocity values of the egg section pipeline were higher and the pressure values were lower. In this context, it is thought that the use of egg section pipelines will be a longer-term solution method, especially since it will prevent bottom sediment accumulation and offer a more economical lifetime due to the lower in-pipe pressure.

Keywords: Waste water piping systems, Computational fluid dynamics, Egg section pipes

1. Giriş

Atıksu boru sistemleri kullanılırken en yaygın kesit dairesel kesitler olarak görülmektedir. Birçok proje sistemleri dairesel kesitlerden oluşmakta ve üretim alanları da oldukça geniştir. Fakat yumurta kesitli atıksu sistemlerinin kullanımı ülkemizde çok yaygın olmasa da yurtdışında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Üretimleri ülkemizde artmaya başlayan bu kesitlerin hidrolik avantajlarının belirlenmesi projelendirme aşamalarına da ışık tutacaktır.

Bu çalışma ile dairesel ve yumurta kesitli atıksu sistemlerinin hidrolik karşılaştırmaları yapılarak, uzun yıllar kullanımları bakımından öncelikleri belirlenmiştir. Atıksu sistemleri yerleşim yerlerinin altyapı çalışmalarında önemli bir rol oynamakta olup, projelendirilme kriterlerine göre en optimum sonuçlar göz önünde bulundurularak çalışmalar yapılmaktadır. Gök ve Fırat (2022)'ye göre atıksu sistemleri, insan ve çevre sağlığı açısından en önemli alt yapı elemanlarından biridir. İçme ve kullanma suyu temin eden sistemlerin abonelere dağıttığı sular kullanıldıktan sonra modern yöntemler ile toplanması ve çevreye zararsız hale getirilmesi gerekmektedir Ayrıca kullanılmış sular

ile birlikte kar ve yağmur sularının toplanıp, yerleşim bölgelerinden uzaklaştırılmasını sağlayan sistemlerin kanalizasyon sistemleri olduğu belirtilmektedir. Gerger (2021)'e göre kanalizasyon sistemleri yerleşim bölgelerinde bulunan her türlü binalardan, sanayi kuruluşlarından sokak ve caddelerden gelen sıvı ve atık suları toplamaya, uzaklaştırmaya ve arıtma tesislerine iletmeye yarayan, yer altına döşenen birbirleri ile bağlantısı olan kanal sistemidir.

Ağaçkaya (2024)'ün yaptığı bir tanımlamada, kanalizasyon sistemleri, evsel ve endüstriyel kullanım sonucunda kirlenmiş atık suların hidrolik esaslar göz önünde bulundurularak kanallar vasıtasıyla belirlenmiş deşarj noktasına ulaştırılmasını sağlayan sistemler bütünü olduğu şeklindedir. Dündar (2024), yerleşim bölgelerindeki yoğunluğun artmasıyla kanalizasyon şebekesi taşıma kapasitesinin sınırlara ulaştığını ve taşma riskinin oluştuğunu ifade etmektedir.

Metcalf & Eddy Inc. vd. (2013) ve Dündar (2024), geleneksel sistemlerde atık suyun, yerçekimi etkisi ile taşındığı, bu sistemlerin tasarımında boru eğimi ve uygun boru boyutunun belirlenerek boru içinde akımın serbest yüzeyli olması ve bileşim noktalarında taşkınların önlendiğini belirtmişlerdir. Dikici (2021), kanalizasyon sistemlerinin performansının atık suyun ve selin hidrolik dengelerini bozmadan ilemesine bağlı olduğunu ifade etmektedir. Sistemin minimum ekolojik hasar ile iyi bir yapısal kararlılık göstermesi gerektiğini de belirtmektedir. Tan vd. (2020), kanalizasyon sistemlerinin maliyetli tasarımlar olduğunu ifade etmekte ve maliyetlerdeki düşüşün ekonomik olarak tasarruf getireceğine değinmektedir. Bu sebeple ilk yatırım maliyetlerinin hidrolik ve işletme kısıtlarına göre minimize edilmesini, hem ekonomik hem de hidrolik açıdan dengeli bir atıksu sisteminin oluşturulması gerekliliğini savunmuşlardır.

Kanalizasyon sistemlerinde kesit şekilleri dışında farklı malzeme türleri de oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizdeki kanalizasyon sistemlerinde çoğunlukla beton/betonarme borular, korozyon borular, cam takviyeli plastik borular ve polivinil klorür (pvc) borular tercih edilmektedir (Ağaçkaya, 2024).

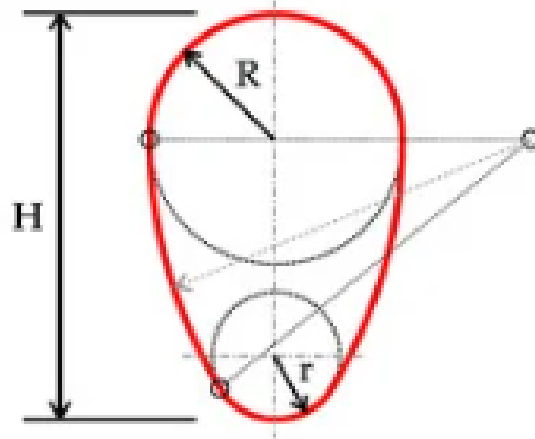
Regueiro-Picallo (2016) çalışmasında yumurta şeklindeki borunun hidrolik özelliklerini incelemek amacıyla, yumurta şeklindeki profilin eşdeğer alana sahip dairesel bir kesitle karşılaştırılabilmesi için bir CFD modeli geliştirmiştir. CFD modeli, yumurta biçimli kesitli bir metal boruda yapılan bir dizi deneyle doğrulanmıştır. Lamsal (2023), bir borudaki akışı ve parametreleri değiştirdikten sonraki etkiyi analiz etmek için bir hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) çalışması ile CFD simülasyonları gerçekleştirilerek, laminer ve türbülanslı akışların, hız profillerinin ve basınç dağılımlarının kapsamlı bir araştırmasını yapmıştır. Yavuz ve Çavdar (2021) çalışmalarında, Newtonyen olmayan bir akışkan modelini ele almış ve akış geometrisi için bir CFD çözümü sunmuştur. Boru içindeki akışın farklı parametreleri için hız, basınç, dinamik viskozite ve hücre Reynolds sayısı üzerindeki etkilerini tartışmıştır.

Atıksu sistemlerinde boru hatlarının tıkanması istenmeyen bir durum olduğu için alternatif boru kesit şekilleri ve bunların kullanımının araştırılması gerekliliği doğmuştur. Bu sebeple çalışmanın amacı atıksu sistemlerinde ülkemizde yaygın kullanıma sahip dairesel kesitlere alternatif yumurta kesitlerin hidrolik açıdan avantajlarının belirlenmesine yöneliktir.

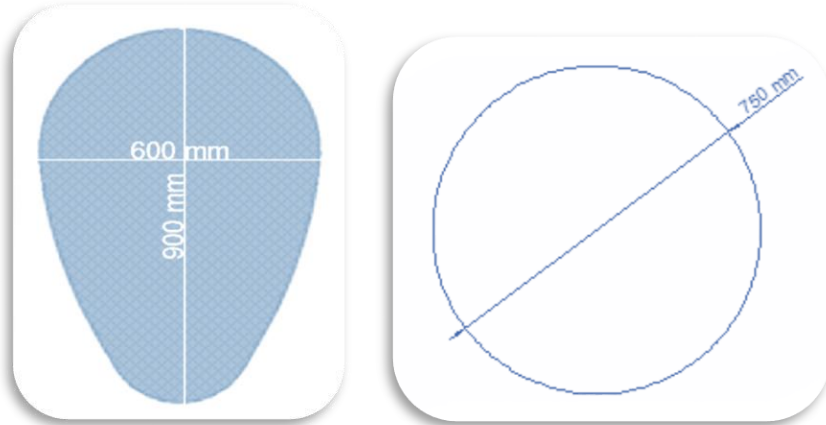
2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada dairesel ve yumurta kesitler (Şekil 1) için HAD programı olan Star CCM⁺ programı ile çalışılmış olup, öncelikle uygun kesit çapları belirlenmiş ve bu çapların kesit alanlarının birbiri ile yakın olmasına özen gösterilmiştir. Karşılaştırma yapılabilmesi açısından kesit alanı değerleri en önemli kriter olarak alınarak, hidrolik hesaplamalar bu kapsamda yapılmıştır. Çalışmada öncelikle 600 mm × 900 mm ebatlarındaki yumurta kesit ile 750 mm boyutunda dairesel kesit (Şekil 2) alınmıştır. Kesit alanı değerleri yumurta kesit için 0.413 m², dairesel kesit için 0.441 m² olup, yakın

değerlerdedir. Hesaplamalarda kararlı (zamana bağlı değişmeyen) çözüm yöntemi ve boru hattı içinde ilerleyebilecek akışkanın minimum hız değeri kullanılmıştır. Yumurta kesit çap seçimi yapılırken üretimi yaygın olarak devam eden bir boru kesiti olmasına dikkat edilmiştir. Boru malzemesi beton seçilmiş olup n pürüzlülük değeri 0.013 alınmıştır. Hidrolik hesaplamalarda kesit malzemesi olan betonun tanımlanabilmesi amacıyla aşağıda yer alan Manning-Strickler denkleminde (1) yararlanılmıştır;



Şekil 1. Yumurta Kesitli boru görünümü (Regueiro-Picallo, 2016)



Şekil 2. 600 mm × 900 mm yumurta kesiti ve 750 mm dairesel kesit

Dairesel kesitli ve dairesel kesitli olmayan akımlar için tam dolu veya kısmi dolu olmasına bakılmaksızın, akış hızı Manning denklemi kullanılarak şu formülle hesaplanır (URL-1):

$$V = \frac{1}{n} R_H^{2/3} J_E^{1/2} \quad (1)$$

Burada,

- n Manning katsayısı
- R_H hidrolik yarıçap (m)
- J_E piyezometre çizgisinin eğimi (hidrolik gradyen)

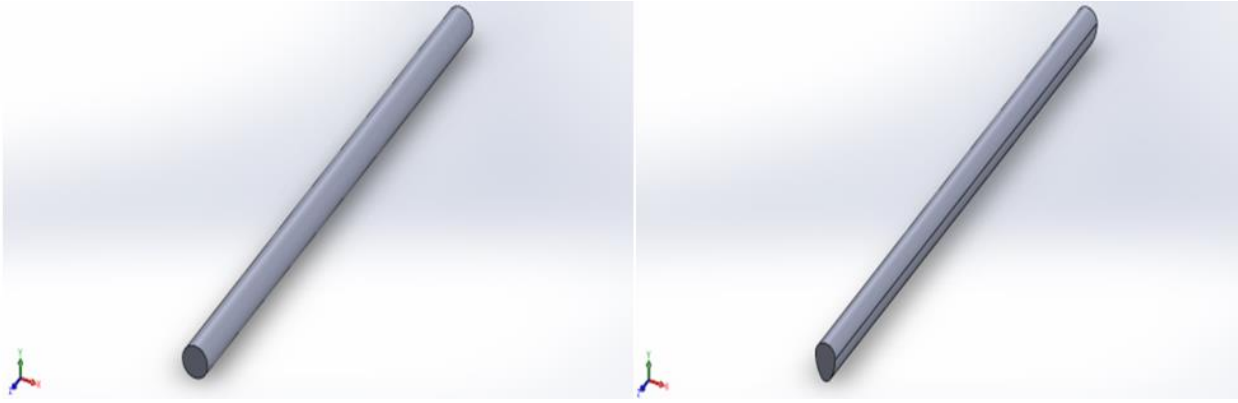
Çalışmada dairesel ve yumurta kesit akış dağılımları incelenmiştir. Değerlendirme yapabilmek amacı ile 750 mm çaplı dairesel kesit ile 600 mm × 900 mm boyutlarında yumurta kesit boru hattı CAD programı Solidworks ile 15 m uzunluğunda, sıfır eğimli ve 3 boyutlu olarak çizilerek ve HAD programına aktarılarak hesaplamaları yapılmıştır.

Hesaplamalarda;

- Kararlı akım
- Tek fazlı sıvı
- K-epsilon türbülans modeli
- Giriş ortalama hızı 0.41 m/s

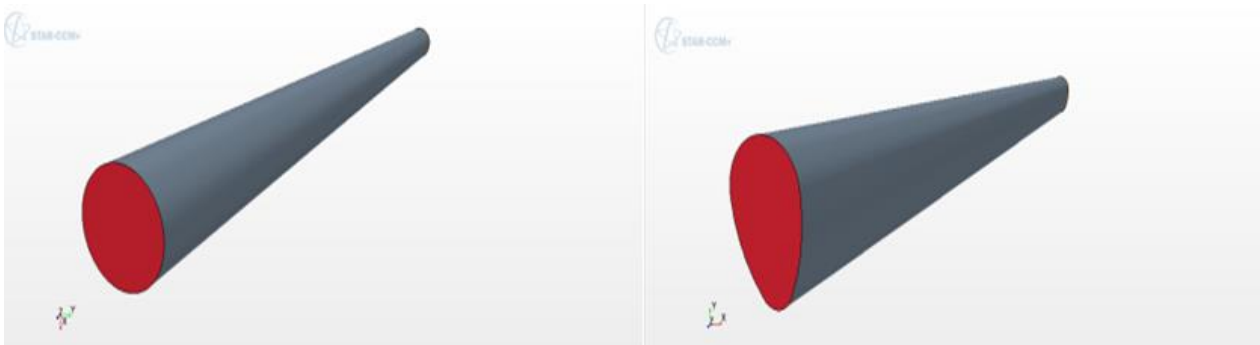
olarak girilmiştir.

Çalışmada öncelikle dairesel kesitli 750 mm çapında ve 600 mm × 900 mm ebatlarında yumurta kesitli 15 m uzunluğunda boru hattı Solidworks programında oluşturulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. Boru hatlarına ait Solidworks görünümleri

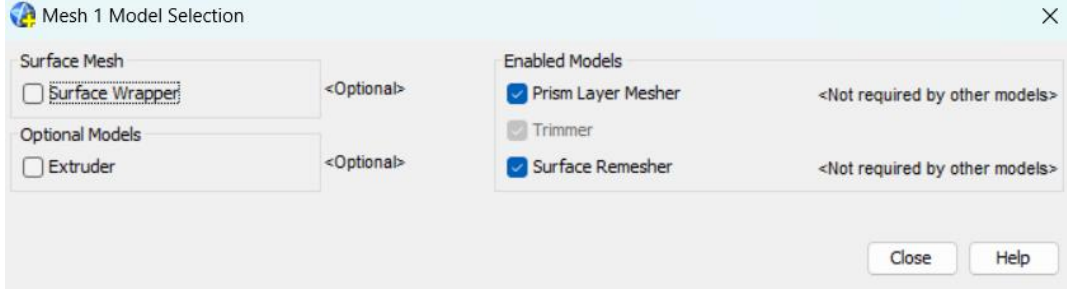
CAD programında çizilen geometri dairesel ve yumurta kesitli olmak üzere Star CCM⁺ programına aktarılarak çalışmaya hazır hale getirilmiştir (Şekil 4).



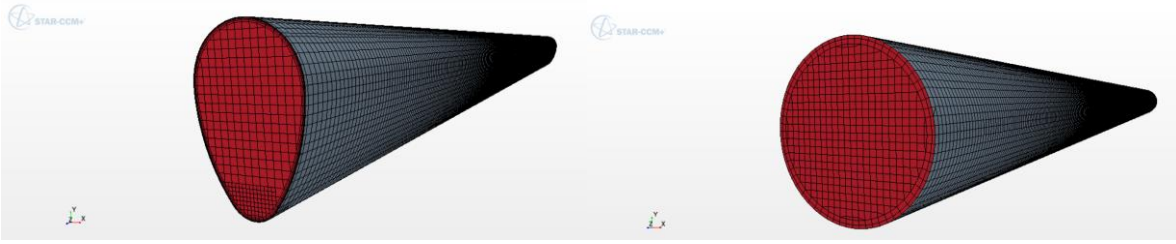
Şekil 4. Star CCM⁺ programı boru görünümleri

Star CCM⁺ programında boru hatlarının meshleme işlemleri yapılmış olup, Şekil 5'te mesh model seçimi gösterilmiştir. Mesh özellikleri seçilerek, kenar yüzeyleri tanımlama, daha sık meshleme ile kenar ve köşelerin düzgün şekil alması sağlanmıştır. Burada yüzeylerde minimum 1 cm, maksimum 5 cm'lik meshler oluşturularak, kenar yüzeylerde yüzeyin tanımlanabilmesi amacıyla sınır tabakasında 5 sıra mesh yapılması ve düzgün olmayan yüzeylerde ise %20'ye kadar mesh boyutlarının değiştirilebilmesi kriterleri seçilerek mesh işlemi gerçekleştirilmiştir. Mesh tipi olarak

hexahedra kullanılmış olup, yumurta kesitte toplam 246 824 hücre, dairesel kesitte ise 218 204 hücre oluşmuştur (Şekil 6).

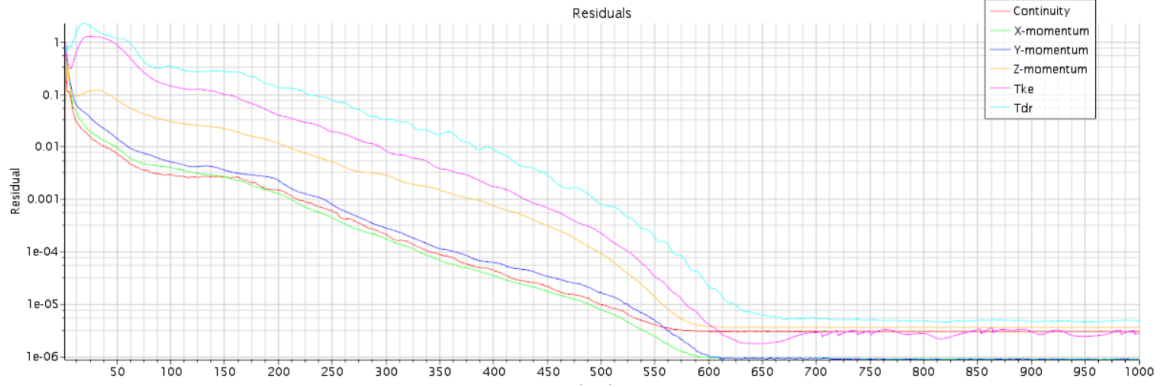


Şekil 5. Mesh model seçimi

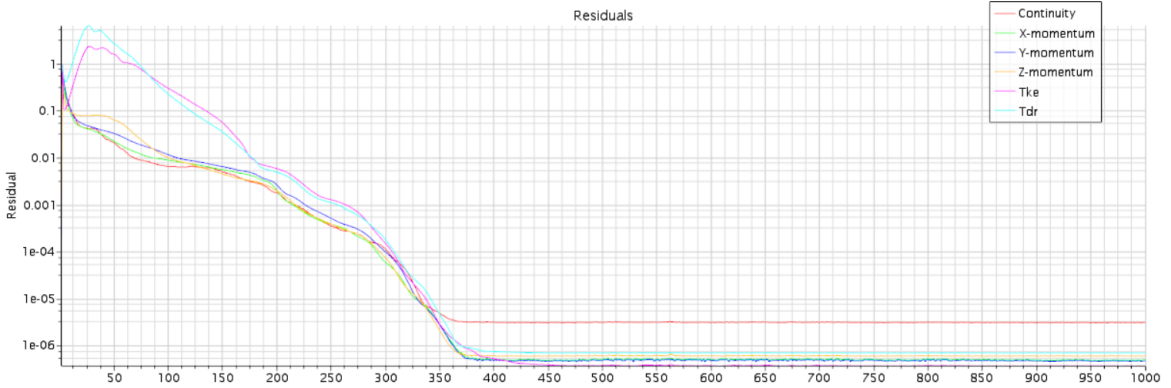


Şekil 6. Boru hatlarının Mesh görünüşleri

Fizik değerleri olarak kararlı akım, tek fazlı sıvı, türbülanslı akış, k-epsilon türbülans modeli ve akışın ortalama hızı girilerek de HAD programında işletme çalışması yapılmıştır. Yapılan işletme programı için 1000 adet iterasyon uygun yakınsama değerlerine ulaştığı için yapılmış olup, yakınsama değerleri yaklaşık olarak 10^{-5} civarında olduğundan (Şekil 7) işletme sonlandırılmıştır.



(a)

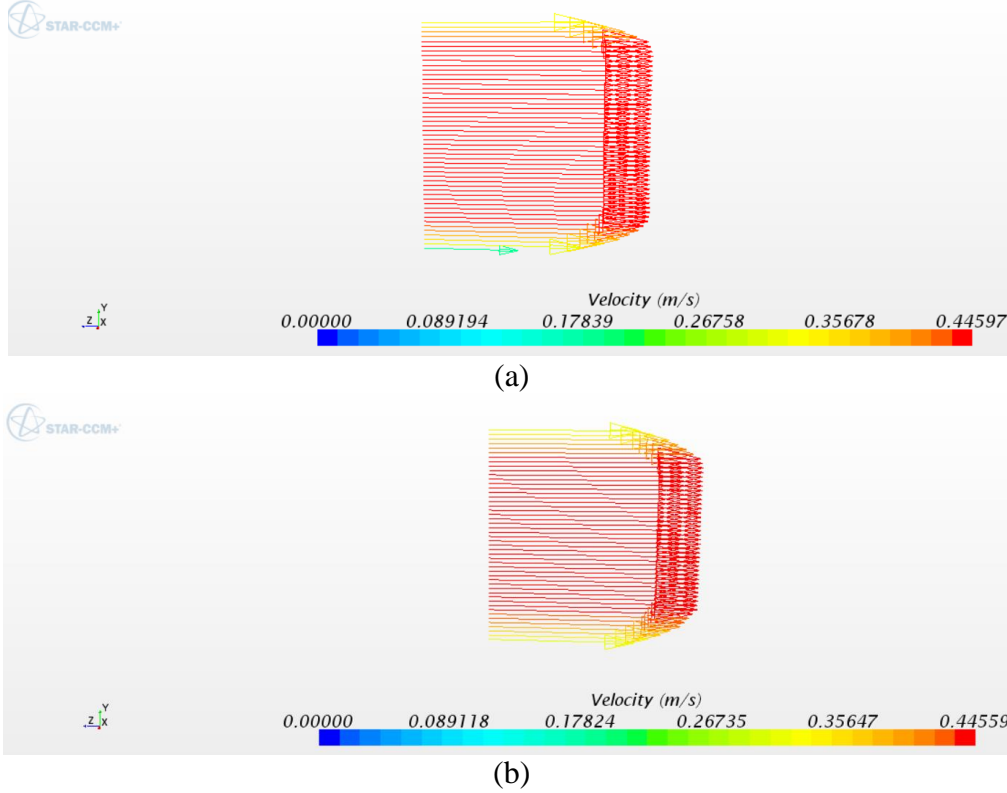


(b)

Şekil 7. (a) Yumurta kesitli, (b) Dairesel kesitli işletme çalışması yakınsama değerleri

3. Bulgular ve Tartışma

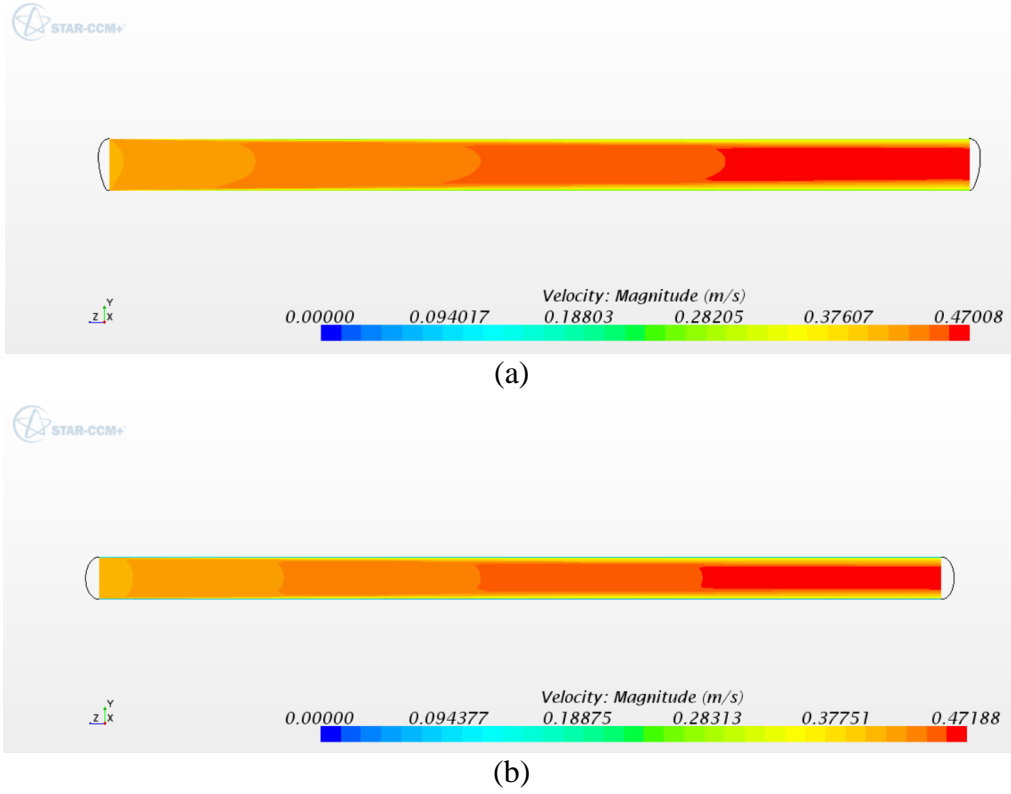
Çalışmada farklı kesit özelliklerine sahip iki boru hattının aynı fiziksel girdi değerlerine göre karşılaştırılması sağlanmıştır. Çalışmada türbülanslı akış kullanılmış olup yumurta ve dairesel kesitli boru hattının 7.50 m mesafesindeki hız profilleri Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. (a) Yumurta kesitli, (b) Dairesel kesitli boru hattının orta noktasındaki hız profilleri

Yumurta kesitli boru hattı ile dairesel kesitli boru hattının akış özellikleri karşılaştırılarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu kapsamda girilen fizik değerlerine göre HAD işletme çalışması yapılmış, 0-3-6-9-12 ve 15 m mesafelerde hız değerleri m/s olarak verilmiştir. Şekil 9’da sırasıyla yumurta ve dairesel kesitlerin ortalama hız değerlerinin program çıktısı görüntüleri yer almaktadır.

Her iki kesite göre boru içindeki hız değerlerine ait değişimler ile kesitler arasındaki hidrolik farklılıkların ortaya koyulması sağlamıştır. Eşit fiziki şartlarda oluşturulan sistemin işletme çıktıları değerlendirilerek karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Çalışmada boru hatları için elde edilen 0-3-6-9-12 ve 15 m mesafelerdeki hız değerleri, boru hattı ortasında ve tabandan yaklaşık 0.001 m kadar yukarıda olmak üzere ölçülerek Tablo 1’de verilmiştir.



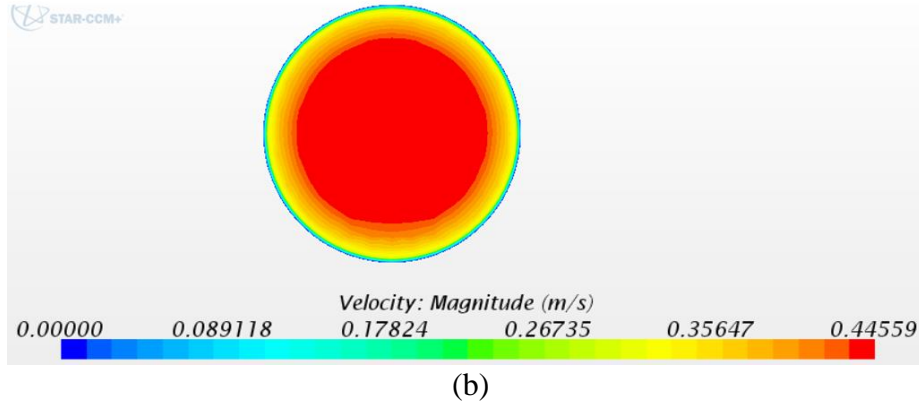
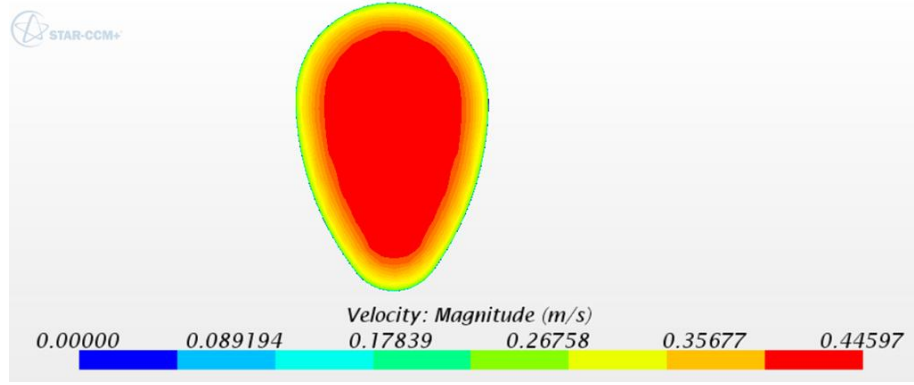
Şekil 9. (a) 600 mm × 900 mm yumurta kesitli, (b) 750 mm dairesel kesitli boru hatlarına ait ortalama hız değerleri

Tablo 1. 750 mm dairesel kesit ve 600 mm × 900 mm yumurta kesit karşılaştırma tablosu

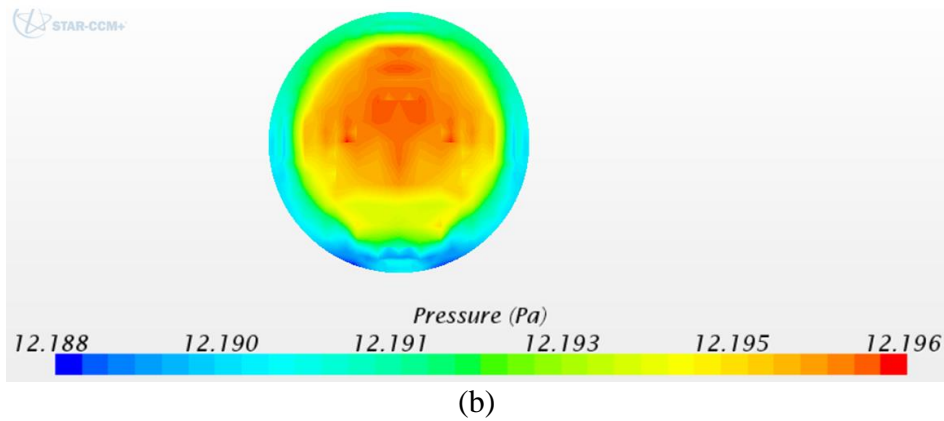
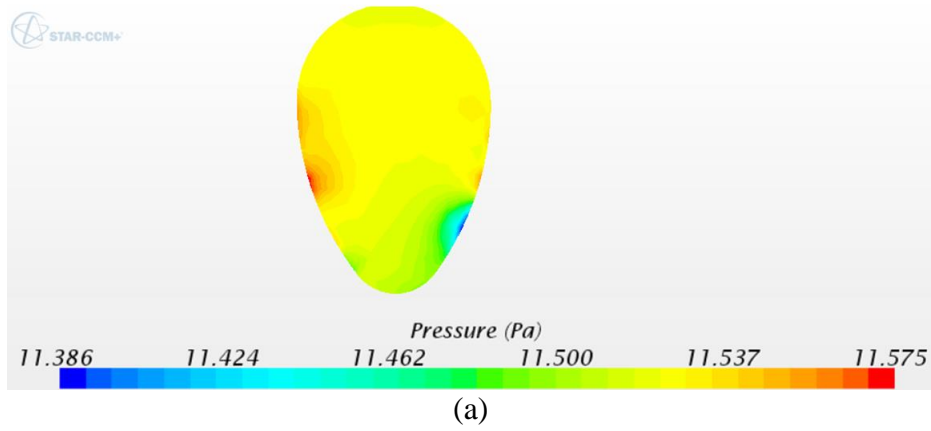
	Boru Hattı ortasındaki hız değerleri (m/s)					
L (m)	0 m	3 m	6 m	9 m	12 m	15 m
750 mm	0.410	0.426	0.440	0.451	0.462	0.471
600x900 mm	0.410	0.428	0.441	0.453	0.464	0.472
	Boru Hattı tabanındaki hız değerleri (m/s)					
L (m)	0 m	3 m	6 m	9 m	12 m	15 m
750 mm	0.410	0.426	0.439	0.450	0.461	0.471
600x900 mm	0.410	0.431	0.444	0.451	0.463	0.472

Boru hatlarının hız en kesitlerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla boru hattının tam orta noktası olan 7.50 m mesafesindeki alınan enine kesite göre hız değerleri Şekil 10’da ve basınç değerleri ise Şekil 11’de verilmiştir.

Her iki kesit değerlendirildiğinde hız değerlerinin benzer fakat yumurta kesitin tabanında hızın daha yüksek olduğu ve basınç değerlerinde de dairesel kesite etkiyen basıncın daha yüksek, yumurta kesitte daha düşük olduğu görülmektedir. Yumurta kesitte taban hızının yüksek oluşu sürüntü maddesinin birikmesini engellemekte ve basıncın daha düşük olması da yumurta kesitin daha uzun vadeli kullanımına olanak sağladığı şeklinde değerlendirilmesi mümkündür.



Şekil 10. (a) Yumurta kesitli, (b) Dairesel kesitli boru hattının hız en kesiti



Şekil 11. (a) Yumurta kesitli, (b) Dairesel kesitli boru hattının basınç en kesiti

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (ÇSGB) Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Hizmetleri Müdürlüğü tarafından, galeri sistemlerinin tasarımında, boru sistemlerinde yumurta kesite geçilebileceği (betonun içine kalıpla yumurta kesit dökülmesi şeklinde), kesit daraldıkça akış hızının artacağı ve kokunun oluşmayacağı belirtilmiştir (URL-2).

En yaygın kullanılan kanal, dairesel kesit tipidir. Gerek hidrolik bakımdan, gerekse inşaa bakımından en uygun olanıdır. Yalnız karışık sistemde bilhassa kurak havalarda tabanın eğimi az olduğundan çamur ve buna benzer maddeler kolaylıkla dibe çöker ve kalırlar. Elverişli olmayan hızlar bu çökelti maddelerini sürükleyemezler. Normal yumurta kesitli kanallar küçük su derinliklerinde diğer tip profilli kanallara nazaran daha büyük debi geçirirler. Bu sebeple kendi kendini yıkama özelliği vardır. Buna bağlı olarak tabanda yığıntı tehlikesi azdır (Erdemgil vd., 1976).

4. Sonuçlar ve Öneriler

Yumurta kesitli borular, eşdeğer dairesel borulara göre daha düşük giriş hızlarında daha iyi hız karakteristiğine sahiptir. Bazı kanalizasyon sistemlerinde dairesel kesitlere göre pompalamaya gerek kalmadan döşenebileceği için daha düşük işletme maliyetleri bulunmaktadır. Yüksek hız kapasitesine sahip olduğu için kendi kendini temizleme özelliği de büyük bir avantaj olup, daha az tıkanma riski vardır.

Yumurta ve dairesel kesitli 15 m uzunluğunda boru hatları ile çalışılmış olup; tek fazlı (su), kararlı akım ve $V=0.41$ m/s ortalama hız hesaplamalarındaki HAD sonuçlarına göre;

- 1- Yumurta kesitli boru hattındaki ortalama hız değeri dairesel kesite göre kesit ortasında %0.50, kesit tabanında ise %1 daha fazla olduğu görülmektedir.
- 2- Her iki kesitte de ortalama giriş hızları 0 m mesafesinde eşit iken boru orta mesafesi olan 7.50 m mesafesinde %7 ve boru sonunda %15 civarında artış göstermektedir.
- 3- Basınç değerleri incelendiğinde yumurta kesitteki basınç dağılım değerlerinin ortalama dairesel kesite göre %5 ila %7 arasında daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışma ile ortaya konan sonuçlar değerlendirildiğinde, yumurta kesitli boruların özellikle taban hızlarının yüksek olması katı madde birikimini önleyeceği için hem ekonomik hem de hidrolik açıdan daha verimli bir atık su hattı sağlayacaktır. Boru içi basınç değerlerinde de dairesel kesitli borulardaki basıncın yüksekliği uzun vadeli kullanımlarda boruların tahrip olmasına ve ekonomik ömrünün azalmasına neden olacaktır.

Bu değerlendirmelere göre düşük hız değeri olan $V=0.41$ m/s ile çalışılmış olup, düşük hızlarda kesit tipi karşılaştırması yapılmıştır. Daha sonraki çalışmalarda farklı hız değerlerine göre çalışılması önerilmektedir.

Yumurta kesitlerin ilk yapım ve kazı maliyetleri dairesel kesitlere göre biraz daha yüksek olsa da uzun vadeli işletme sağlandığında katı madde birikimi daha az olacağı için bakım maliyetleri ve katı malzemeden kaynaklı tıkanmaları önlemesi optimum sonuçlar doğurmaktadır. Bu sebeple günümüzde daha yaygın kullanımı hem üretim maliyetlerini azaltacak, hem deneyim kazanılmasını sağlayarak uzun vadeli güvenli sonuçlar sunacaktır.

Çıkar çatışması

Yazar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

Ağaçkaya, Ç. (2024). 2011 Van depremi sonrasında Erciş ilçesindeki kanalizasyon hatlarında meydana gelen hasarların incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye.

Dikici, M. (2021). Büyükşehirlerin Kanalizasyon Hatlarının Etkili İşletmesi ve İstanbul Örneği. *ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 29-43. <https://doi.org/10.46740/alku.841422>

Dündar, O. (2024). Kanalizasyon ve yağmur suyu toplama şebekesi bacalarının hidrolik etkilerinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi, Doktora Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, Türkiye.

Erdemgil, N., Sırma, M. & Yavuz, M. (1976). Su Getirme ve Kanalizasyon, Birsen Kitabevi Yayınları, Ankara, Türkiye.

Gerger, R., Tulpar, H., Toplamacı, M. M. & Gerger E. (2021). Kanalizasyon Şebekelerinde Kullanılan Boruların Hidrolik ve Maliyet Açısından Değerlendirilmesi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(2), 91-101. <https://doi.org/10.46578/humder.890819>

Gök, S. & Fırat, M. (2021). Analysis of Faults in Sewage Systems with Geographical Information Systems, *4th International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism (ICCAUA-2021)*, 786-797, 20-21 Mayıs 2021, Alanya, Antalya, Türkiye. <https://doi.org/10.38027/ICCAUA2021TR0050N9>

Lamsal, A. (2023). Analyzing Pipe Flow Scenarios using Computational Fluid Dynamics (CFD), *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 8(3), 162-166.

Metcalf & Eddy Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Tsuchihashi, R & Stensel, H.D. (2013). Wastewater engineering: Treatment and resource recovery, 5th edition. McGraw-Hill Education, ISBN:9780073401188, New York, ABD.

Regueiro-Picallo, M., Naves, J., Anta, J., Puertas, J., & Suárez, J. (2016). Experimental and Numerical Analysis of Egg-Shaped Sewer Pipes Flow Performance. *Water*, 8(12), 587. <https://doi.org/10.3390/w8120587>

Tan, E., Sadak, D., & Ayvaz, M. T. (2020). Kanalizasyon Sistemlerinin Diferansiyel Evrim Algoritması Kullanılarak Optimum Tasarımı. *Teknik Dergi*, 31(5), 10229-10250. <https://doi.org/10.18400/tekderg.541507>

URL-1, (2024). <https://webdosya.csb.gov.tr/db/altyapi/icerikler/ekler-20180215122652.pdf>, 22.05.2024

URL-2, (2017). https://webdosya.csb.gov.tr/db/altyapi/editordosya/file/TOPLANTI%20NOTU-22_09_2017.pdf, 27.05.2024

Yavuz, M., & Çavdar, P. (2021). CFD Modelling of Non-Newtonian Fluid Flow in a Pipe Including Obstacle. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 17(2), 129-136. <https://doi.org/10.18466/cbayarfbe.865261>