

Damla Sulama Sistemlerinde Kullanılan Hidrosiklon Filtrelerde Basınç Kaybı ve Ayırma Etkinliğinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Yöntemi ile Belirlenmesi

Vedat DEMİR, Hüseyin YÜRDEM, Tuncay GÜNHAN, Arzu YAZGI
Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü
Bornova/İzmir

Sorumlu yazar: vedat.demir@ege.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 24.02.2017

Kabul Tarihi (Accepted): 21.04.2017

Özet: Bu çalışmada, damla sulama sistemlerinde kullanılan hidrosiklon filtre içindeki toplam basınç kaybı ve partikül hareketine bağlı ayırma etkinliği değerlerinin, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemiyle ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu amaçla, E.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü'ndeki Pompa Deneme ve Araştırma Laboratuvarında basınç (yük) kayıp denemeleri temiz su kullanılarak gerçekleştirilmiş olan 2", 2½", 3" ve 4" giriş ve çıkış çapına sahip toplam 8 adet hidrosiklon filtre kullanılmıştır.

Laboratuvar denemelerinde kullanılan her bir filtrenin tüm boyutları dikkate alınarak katı modelleri oluşturulmuş ve farklı sınır koşulları için RNG k-ε Model, Realizable k-ε Model ve Reynolds Gerilme Modeli (RSM) türbülans modelleri dikkate alınarak akış analizleri Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı ANSYS Fluent 16.2 yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Analizler sonunda, farklı değerlerde ölçülen basınç kayıp değerlerini genel olarak en iyi tahminleyen model, Reynolds Gerilme Modeli (RSM) olmuştur. Bu model ile ayırma etkinliği değerlerine ilişkin simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve yeni dizayn edilen bir hidrosiklon filtrede simülasyon çalışmaları ile partikül ayırma etkinliğinin belirli bir doğrulukla ortaya konulabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Filtrasyon, basınç kaybı, hidrosiklon, ayırma etkinliği, türbülans modelleri

Determination of Pressure Loss and Separation Efficiency of Hydrocyclone Filters used in Drip Irrigation Systems by Using Computational Fluid Dynamics (CFD) Method

Abstract: The objective of this study was to determine the total pressure loss and the separation efficiency due to particle movement in hydrocyclone filters used in drip irrigation systems by employing Computational Fluid Dynamics (CFD) method. For this purpose, eight hydrocyclone filters which are commonly used in drip irrigation systems with 2", 2½", 3" and 4" inlet and outlet diameters were considered. Pressure loss tests of these filters were carried out with clean water in the Pump Experiment and Research Laboratory of the Department of Agricultural Engineering & Technology in the Agricultural Faculty of Ege University. Solid models were drawn by considering all dimensions of each filter used in laboratory experiments. In the models, flow analyzes were carried out considering different boundary conditions and RNG k-ε Model, Realizable k-ε Model and Reynolds Stress Model (RSM) turbulence models by using Computational Fluid Dynamics (CFD) software ANSYS Fluent 16.2. Based on the analyzes, generally the Reynolds Stress Model (RSM) was found to be the closest prediction model for the pressure loss values measured at different flow rates. Simulation studies were carried out with this model for separation efficiency, and it was concluded that the particle separation efficiency for a new designed hydrocyclone filter can be approached with certain accuracy by simulation studies.

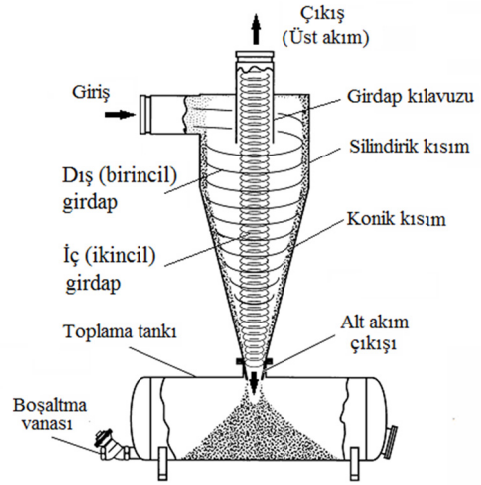
Key words: Filtration, pressure loss, hydrocyclone, separation efficiency, turbulence models

GİRİŞ

Damla sulama sisteminin en önemli elemanı olarak kabul edilen damlatıcılar, su geçiş bölgelerinin küçük olması nedeniyle; fiziksel (su ile taşınan partiküller-kum, silt, organik maddeler, çer-çöp), kimyasal (çökeltme) ve biyolojik (bakteri ve alg) faktörler nedeniyle tıkanmaya elverişlidir (Bucks et al., 1979). Damlatıcıların tıkanması, arazideki su dağılımını bozmakta, bozulan su dağılımı ise ürün kalitesinde ve miktarında kayıplara yol açmaktadır. Bunun yanında, enerji kullanımında ve sistemin bakım maliyetlerinde artışlar da sözkonusudur. Etkili bir filtrasyon işlemi, sistemin başarısı için oldukça önemlidir. Bu nedenle, damla sulama sistemlerinde son derece önemli olan tıkanmanın, özellikle de kısa sürede ortaya çıkabilecek fiziksel tıkanmanın mutlak surette önlenmesi amacıyla filtre kullanılması gerekmektedir.

"Filtrasyon", su içinde bulunan askıdaki katı maddelerin fiziksel özelliklerinden yararlanılarak ayrılması olarak tanımlanır. Ancak, askıdaki katı maddelerin damla sulama sistemlerinde kullanılan sulama suyundan tamamen ayrılması, çok yüksek maliyetlere neden olduğundan pratik değildir (English, 1985; Gilbert and Ford, 1986). Bu nedenle sulama sisteminde, en azından kabul edilebilir partikül çaplarına kadar olan katı maddelerin ayrılmasını sağlayacak filtrasyon sisteminin yer alması gerekmektedir. Sistemin kontrol ünitesinde yer alan birincil (granül filtreler ve santrifüj kum ayırıcılar-hidrosiklon) ve ikincil (elek ve disk) filtreler, damlatıcıların kısa sürede fiziksel olarak tıkanmasını engellemekte ve korunmasını sağlamaktadır.

Hidrosiklon; silindirik ve konik kısım, girdap kılavuzu, akışkan girişi, yukarı akım çıkışı ve aşağı akım çıkışı ile toplama tankı kısımlarından oluşur. Hidrosiklon filtrelerde ayırma işlemi, santrifüj ve yerçekimi kuvvetlerinin etkisi ile gerçekleşmektedir. İçinde kum tanecikleri ve/veya katı partiküller bulunan süspansiyon, hidrosiklon filtrenin silindirik kısımda bulunan giriş borusundan teğetsel olarak belirli bir basınç ve hız altında girer. Süspansiyon, filtrenin yapısal özelliği nedeniyle dönme hareketi kazanır ve hidrosiklonun iç yüzeyi boyunca bir girdap oluşturarak aşağıya doğru iner. Dönme hareketi, hidrosiklon içinde önce dış (birincil) girdabı, sonra da iç (ikincil) girdabı oluşturur (Şekil 1).



Şekil 1. Hidrosiklonun başlıca parçaları, akış ve ayırma yöntemi (NetafimUSA, 2016)

Figure 1. The components of a hydrocyclone filter, flow and separation method (NetafimUSA, 2016)

Birincil girdapta akış ve akış içindeki büyük partiküller, santrifüj ve yerçekimi kuvvetleri ile oluşan hızlara bağlı olarak değişen bir yörünge izleyerek aşağı doğru yönelir. Hidrosiklonun konik kısmının alt bölümünde sıkışan akış, orta bölümden iç (ikincil) girdabı oluşturarak ortadan yukarıya doğru yükselmeye zorlanmaktadır. Akışın yükselmesi sırasında genel olarak akışkan içindeki belirli çaptan büyük partiküller konik kısmın alt ucundan çıkış yaparlar. Aşağı akım olarak bu kısımdan çıkan partiküller, iri ve/veya ağır olduklarından tabanda kalmakta ve tabana yerleştirilen bir toplama tankına dolmaktadır. Genel olarak akışkan içindeki belirli çaptan büyük partiküllerden arındırılmış akışkan, hidrosiklonun orta bölümündeki iç girdabı takip ederek girdap kılavuzu içinden yukarı akım ile hidrosiklon üzerinden sisteme iletilir (Rietema, 1962; Bradley, 1965; Svarovsky and Thew, 1992; Demir ve Uz, 1994; Napier-Munn et al., 1996; Rushton et al., 2000; Svarovsky, 2000; Chu et al, 2002; Holdich, 2002; Concha, 2007)

Bir hidrosiklon filtrenin tasarımı, minimum basınç kaybı ve maksimum partikül ayırma etkinliğini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle hidrosiklon filtrenin tasarımı üzerinde farklı matematiksel teorik modeller, deneysel ve benzeşim yöntemleri kullanılarak yoğun çalışmalar yapılmıştır.

Matematiksel modeller, tasarım parametrelerinin değişimine bağlı olarak sistem değişkenlerinin etkisini önceden tahminlemek üzere geliştirilmiş matematiksel eşitlikler olarak tanımlanabilir. Hidrosiklon çok basit bir tasarıma sahip olmasına ve işletme kolaylığına rağmen, çok sayıda tasarım ve işletme değişkenine sahip olduğundan, performansının belirlenmesi oldukça karmaşıktır. Hidrosiklonlarda/siklonlarda akış mekanizmasının karmaşıklığı nedeniyle, akış ve ayırma süreçlerini matematiksel olarak ifade edebilmek için araştırmacılar, hem teorik hem de ampirik birçok modelleme çalışması ortaya koymuştur (Plitt, 1976; Svarovsky and Thew, 1992; Asomah and Napier-Munn, 1997; Nageswararao et al., 2004; Wang, 2004; Kraipech et al., 2006; Narasimha et al., 2007; Martinez et al., 2008). Bu modellerin geliştirilmesi, denemelerden elde edilen sonuçlarla ilişkilendirildiğinden, model çalışma aralığı deneme limitleriyle sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle, çoğu durumda ampirik modeller, tek bir hidrosiklon veya kullanıcı gereksinimlerini karşılamak üzere bütün bir tesisin dizaynında güvenilir şekilde tahminleme amacıyla kullanılamamaktadır (Kraipech et al., 2006). Bu kapsamda daha genel kullanılabilecek modeller üzerinde çeşitli çalışmalar yürütülmüştür.

Yurdem et al. (2010), Türkiye'de imal edilen damla sulama sistemlerinde kullanılan metal gövdeli bazı hidrosiklon filtrelerin farklı debilerdeki yük kayıplarının tahmininde kullanılabilecek bir matematiksel modeli, Buckingham pi-teoremini kullanarak, boyutsal analiz yöntemiyle ortaya koymuşlardır. Giriş ve çıkış çapları 2", 2½", 3" ve 4" olan farklı teknik özelliklere sahip 21 adet hidrosiklon filtre için ölçüm sonuçlarından elde edilen yük kayıp verileri ile tahminleme katsayısı %98.1 olan bir model elde etmişlerdir. Ayrıca geliştirilen matematiksel model, literatürdeki diğer modeller ile karşılaştırılarak, modelin uygunluğunu göstermişlerdir.

Şahin Kılavuz (2007), atmosfere açık çalışan 25 ve 50 mm çaplı hidrosiklonlarda işletim değişkenlerinin (siklon çapı, girdap kılavuzu çapı, aşağı akım çıkış çapı, besleme katı konsantrasyonu, basınç) ayırma etkinliğine etkisini incelediği çalışmasında, geliştirilmiş ampirik modellerin küçük çaplı hidrosiklonlarda kullanılabilirliğini test etmiştir. Bu modellerin küçük çaplı siklonlarda ayırma etkinliği eğrisini düzeltmede başarılı olmadığını belirlemiş ve bulduğu sonuçların

literatürde verilen sonuçlar ile aynı doğrultuda olmakla birlikte, model parametrelerinin niceliksel olarak farklı olduğunu belirtmiştir.

Hidrosiklonlarda tasarım amacıyla ampirik modellerin yanı sıra, teoriye dayalı veya ampirik ve teorik yaklaşımların birleşiminden oluşan modeller kullanılabilmektedir (Şafak, 2005). Ancak, teorilere dayalı ve ampirik modellerin çoğu basınç kaybını ve ayırma etkinliğini farklı çalışma şartlarında yüksek doğrulukla tahminleyememektedir (Chen et al., 2000). Bu olumsuz durumu ortadan kaldırmak adına hidrosiklonlarda tasarım amacıyla ampirik veya teoriye dayalı modellerin yanı sıra, özellikle bilgisayar destekli mühendislik yöntemi olan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemiyle de farklı akış modelleri kullanarak iki veya üç boyutlu çeşitli çözüm çalışmaları üzerinde durulmaktadır. Son yıllarda yapılan bu çalışmalarda, simülasyon sonuçlarının deneysel sonuçlara önemli düzeyde yakınlık göstermesi bu tekniğe olan ilginin artmasına neden olmaktadır. Ancak bu konuda yapılan çalışmaların çoğu sıvı sistemlerden ziyade hava içerisindeki partiküllerin siklonlar ile ayrılmasına yönelik olmuştur (Gimbun et al., 2005; Kaya ve Karagöz, 2007; Elsayed and Lacor, 2009). Sıvı sistemlerle ilgili çalışmalar ise, daha çok küçük gövde çapına sahip hidrosiklonlarda, kimya, petrokimya ve madencilik alanında yoğunlaşmıştır.

He et al. (1999), hidrosiklonlarda akışın ve ayırma etkinliğinin üç boyutlu sayısal analizini gerçekleştirmiş ve analiz sonuçlarını, Dabir (1983) tarafından gerçekleştirilen 76 mm gövde çapına sahip olan ve katı partikül içermeyen suyla çalıştırılan hidrosiklon deneme sonuçlarıyla ve Hsieh (1988) tarafından gerçekleştirilen 75 mm gövde çapına sahip olup üç farklı sıvıyla çalıştırılan hidrosiklon deneme sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Analizlerde türbülans, basınç kaybı eşitliğinde deneysel bir katsayıyla eğri düzeltme teriminin eklendiği bir Realizable k-ε modeliyle açıklanmıştır. Standart k-ε modelinin akış koşulları için yanlış tahminlemeler verdiği görülmüştür. Realizable k-ε modelini kullanarak yapılan üç boyutlu hesaplamalar deneysel verilerle iyi bir uyum göstermiştir. Wang et al. (2009), 150 mm gövde, 30 mm ayırma bölümü taban ve 50 mm çıkış borusu çapına sahip olan ve suyağ süspansiyonundan katı partiküllerin ayrılmasında kullanılan bir hidrosiklondaki sıvı-katı akış alanını HAD tekniğiyle simüle etmek amacıyla, Euler-Euler yaklaşımı

ve Reynolds Gerilme Modeli (RSM)'ni kullanmışlardır. Çalışmada deneysel veriler ile simülasyon sonuçları arasında iyi bir uyum olduğu ve çalışma aralığı içinde katı-sıvı ayırmasının esas itibarıyla hidrosiklonun konik kısmında gerçekleştiği ifade edilmiştir.

Bhaskar et al. (2007), çamur sıvısından katı partiküllerin ayrılmasında kullanılan, 76 mm gövde çapında dört farklı hidrosiklon örneğinde, HAD simülasyonunun kullanılabilirliğini ortaya koymuştur. Çalışılan standart k-ε, RNG k-ε ve RSM türbülans modelleri arasında, RSM modelinin deneysel sonuçlara en yakın tahminlemeleri verdiği görülmüştür. Sonuçlar, giriş besleme basıncının siklon içerisindeki kütle akışı üzerinde ve konik kısmın taban çapının ise kütle çıkış oranı üzerinde etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Delgadillo and Rajamani (2005), kireçtaşı ihtiva eden çamur sıvısından katı partiküllerin ayrılmasında kullanılan ve 75 mm gövde çapı ile 12.5 mm ayırma bölümü taban çapına sahip hidrosiklon örneğinde, alt ve yukarı akım kütle ayrılma oranı, eksenel ve teğetsel hızların tahmini için RNG k-ε modeli, RSM ve LES modellerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada, LES modelinin türbülansın bazı ayrıntılı özelliklerini üretebildiğini, diğer iki modele göre deneysel verileri daha iyi tahminleyebildiğini ve partikül boyut dağılım eğrisini de doğru şekilde ortaya koyabildiğini belirtmişlerdir.

HAD tekniğiyle, hidrosiklonlarda zamana bağlı, dinamik analiz gerçekleştiren Neesse and Dueck (2007), 40 mm gövde çapına sahip, suyun bulunduğu hidrosiklona ayrı ayrı farklı büyüklükte partiküller içeren süspansiyonlar ilave ederek üç boyutlu ve giriş kısmını basitleştirerek iki boyutlu analiz yapmışlardır. Büyük partiküllerin siklonunda kalma süresinin daha uzun olduğunu ve Realizable k-ε modelinin ayırma etkinliğine uygun bir model olduğunu belirtmişlerdir.

Shojaeefard et al. (2006), giriş çapı 30 mm, çıkış çapı 36 mm olan atmosfere açık çalışan hidrosiklonun HAD tekniğiyle üç boyutlu modelini oluşturmuş ve ayrık faz modeli (Discrete Phase Model, DPM) kullanarak suyun içine kum partiküllerini ilave etmişlerdir. RNG k-ε modeli kullanılarak yapılan analiz sonucunda elde edilen giren ve çıkan suyun ve kumun kütleli debi değerlerinin denemeyle elde edilen değerlere yakın olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda, partikül boyutu arttıkça ayırma etkinliğinin de arttığı belirlenmiştir.

Kaya ve Karagöz (2007) çalışmalarında aynı giriş hızında ve hücre sayısındaki siklon için türbülans modelleri ve duvar fonksiyonlarını karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürdeki mevcut deneysel ve nümerik sonuçlar ile karşılaştırılarak literatürde girdaplı akışlar için gerçek sonuçlardan belirli sapmalar altında doğru sonuçlar verdiği kabul edilen Standart k-ε ve RNG k-ε türbülans modelleri ile RSM standart duvar fonksiyonu ve Non-equilibrium duvar fonksiyonları yaklaşımları ile çözülmüş ve karşılaştırılmıştır. Yapılan nümerik analizler sonucunda, türbülans modelleri ve kullanılan duvar fonksiyonlarına bağlı olarak eksenel ve teğetsel hız değişimleri, oluşan basınç düşümü ve türbülans büyüklükleri incelenmiştir. Duvar fonksiyonlarında belirgin bir fark olmasa bile, özellikle eksenel hızın hesabında RSM türbülans modelinin oldukça başarılı olduğu ifade edilmiştir.

Davailles et al. (2012), katı-sıvı ayırmasında kullanılan, gövde çapları 75 ve 100 mm, giriş-çıkış çapları 25 ve 33 mm olan atmosfere açık çalışan iki farklı hidrosiklonun, yarı ticari bir HAD yazılımıyla üç boyutlu analizini yapmışlardır. k-ε ve RSM türbülans modelleriyle yapılan analiz sonuçlarını, gerçekleştirilen deney sonuçlarıyla ve literatür verileriyle karşılaştırmışlardır. RSM modeliyle elde edilen sonuçların deneysel sonuçlara yakın olduğu ve hız profiline, hidrosiklon içindeki girdaplı akışı açıklayan en iyi kriter olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Siklon ve küçük boyutlu, alttan atmosfere açık hidrosiklonlar konusunda, teorik ve deneysel çalışmaların yanı sıra simülasyona dayalı olarak kullanılan akış analiz yöntemlerinden HAD yönteminin kullanıldığı çeşitli çözüm çalışmalarında; genel olarak iki veya üç boyutlu farklı akış modelleri oluşturularak, bu tür siklon ve hidrosiklonlarda akış alanı içerisindeki hız dağılımının, yük kayıplarının ve ayırma etkinliğinin tahminlemesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Ancak, damla sulama sistemlerinde kullanılan büyük giriş-çıkış ve gövde çapına sahip, tamamen kapalı sistemde çalışan hidrosiklon filtrelerle ilgili bilgisayar destekli simülasyona dayalı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu tip hidrosiklonlarda, yüksek debiler, çok geniş partikül sınırları ve ayırma etkinliği çalışmalarının yoğun ve zaman alıcı olması nedeniyle deneysel çalışmalar da çok sınırlıdır. Bu çalışmada, damla sulama sistemlerinde kullanılan hidrosiklon filtre içindeki partikül hareketine bağlı ayırma etkinliği ve toplam basınç kaybı

değerlerinin, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemiyle ortaya konulması amaçlanmıştır.

HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİNDE (HAD) AKIŞ DENKLEMLERİ

Bir akış alanında hız ve basınç dağılımlarının incelenebilmesi için akışkanın özkütlesi ve sıcaklığındaki değişimlerin önemsiz olarak kabul edilmesi durumunda, kütlenin korunumu ve Newton'un ikinci yasası olan momentumun korunumu denklemlerinin mevcut sınır şartlarında çözülmesi gerekir. Bir kontrol hacmi için belirli bir zaman aralığında kontrol hacmine giren veya çıkan net kütle geçişi, bu süre içinde kontrol hacmindeki net kütle değişimine eşittir. Akış problemlerinde, diferansiyel bir kontrol hacmi için yazılan kütlenin korunumu denklemi, genellikle süreklilik denklemi olarak adlandırılmaktadır. Kontrol hacmi içerisindeki kütlenin zamanla değişim hızı, sıkıştırılmaz akışkanlar için akışkanın özkütlesi, akış alanı boyunca sabit olduğundan süreklilik denklemi aşağıdaki şekilde yazılabilir (White, 2001; Çengel ve Cimbala, 2008; Munson et al., 2006; Young et al., 2013).

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0$$

Bir akışkan elemanının üzerine etkiyen yüzey kuvvetleri, elemanın çevresi ile etkileşiminin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Euler hareket denklemi sıkıştırılmaz Newton tipi akışkanlar için düzenlenerek sadeleştirildiğinde, sıkıştırılmaz Navier-Stokes denklemi aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\vec{\nabla}P + \rho\vec{g} + \mu\nabla^2\vec{V}$$

Eşitliklerde; ρ , özkütle; P , basınç; V , hız; g , yerçekimi ivmesi; μ , mutlak viskozite ve t , zamandır.

Türbülanslı akışta girdap hareketi, hız, basınç, sıcaklık değerlerinde önemli değişimlere neden olur. Bu nedenle ilk yaklaşım olarak Navier-Stokes denklemlerini, denklemlerdeki hız ve basınç terimlerinin zaman ortalaması alınmış değerler ile ifade edilerek sayısal çözümü olacak hale getirilmesidir. Bu yaklaşıma "Reynolds Ortalama Alınmış Navier-Stokes" (Reynolds Averaged Navier Stokes-RANS) denklemleri denilmektedir. RANS yaklaşımında türbülans (Reynolds) gerilmeleri ($-\rho\overline{u_i' u_j'}$) terimini uygun şekilde açıklayan bir modele ihtiyaç bulunmaktadır. Çok sayıda araştırmacı tarafından çalışma konusunu içeren

hidrosiklon/siklonlarda oluşan girdaplı akışları içeren akışkanlar mekaniği uygulamalarında yaygın olarak kullanılan türbülans modellerinin; RNG k- ϵ , Realizable k- ϵ ve Reynolds Gerilme Modeli (Reynolds Stress Model-RSM) olduğu ifade edilmektedir (He et al., 1999; Delgadillo and Rajamani, 2005; Shojaeefard et al., 2006; Wang and Yu, 2006; Bhaskar et al., 2007; Delgadillo and Rajamani, 2007; Kaya ve Karagöz, 2007; Neesse and Dueck, 2007; Wang et al., 2009; Hsu et al., 2011; Davailles et al., 2012).

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Çalışmada, damla sulama sistemlerinde yaygın olarak kullanılan dört farklı anma giriş ve çıkış çapına (2", 2½", 3" ve 4") sahip iki farklı firma tarafından imal edilen ("S" ve "P" olarak tanımlı) toplam 8 adet yerli yapım hidrosiklon filtre kullanılmıştır. Çalışmada ele alınan hidrosiklon filtrelerin teknik görünüşü Şekil 2'de, teknik ölçüleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Yöntem

Hidrosiklon Filtrelerde Basınç (Yük) Kayıplarının Deneysel Olarak Belirlenmesi

Hidrosiklon filtrelerde basınç (yük) kayıplarının belirlenmesi amacıyla, E.Ü.Z.F. Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü'nde bulunan 5 m derinliğinde 72 m³ depo kapasitesine sahip olan Pompa ve Sulama Ekipmanları Deneme ve Araştırma Laboratuvarında bir deneme düzeni oluşturulmuştur. Deneme düzenine temiz su, dalgıç pompa yardımıyla sağlanmış olup, filtrelerden geçen debi değerleri vanalar yardımıyla ayarlanmış ve manyetik debimetre yardımıyla ölçülmüştür. Filtreden geçen her debiye karşılık gelen yük kaybı değerleri, filtrenin su giriş ve çıkışına yerleştirilen basınç sensörleri yardımıyla ölçülmüştür. Yapılan ölçümler GeniDAQ 4.25 yazılımı ve Adam 4017+ ve Adam 4520 veri toplama kartlarıyla toplanarak bilgisayara kaydedilmiştir. Denemeler esnasında su sıcaklıkları da ölçülerek kaydedilmiştir. Her bir ölçümde elde edilen çok sayıda verinin ortalaması alınarak debi-basınç kaybı ilişkisi ortaya konulmuştur.

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)

Yöntemiyle Simülasyon Çalışmaları

Çalışmada, denemesi yapılan hidrosiklon filtrelerin farklı su geçiş hızlarında oluşturdukları yük kayıp değerleri ve ayırma etkinlikleri, Hesaplamalı Akışkanlar

Dinamiği (HAD)'nin Sonlu Hacimler Yöntemi esas alınarak ANSYS Fluent 16.2 (ANSYS, Inc. Products USA Release 16.2) yazılımı yardımı ile hesaplanmıştır.

İlk aşamada denemesi yapılan filtrelerin simülasyon çalışması için gerekli olan katı modelleri çizilmiş ve sayısal ağ (mesh) yapıları oluşturulmuştur. Ön çalışmalar sonucunda en iyi yakınsama (kalıntı) değerleri, ANSYS Fluent programının otomatik ağ yapısında varsayılan bölüm seçenekleri dışında; Advanced Size Function: On: Proximity and Curvature, Relevance Center: Fine, Smoothing: High, Span Angle Center: Fine seçenekleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Hidrosiklon tipine ve gövde çapına bağlı olarak ağ yapısına ilişkin veriler ise düğüm noktası sayısı: 230000-36000, eleman sayısı: 1230000-1925000 ve ağ yapısı kalitesini içeren Maksimum Skewness: 0.7639-0.7998, Minimum Orthogonal Quality: 0.2001-0.2655 ve Maksimum Aspect Ratio: 9.0906-17.801 aralıklarında oluşmuştur.

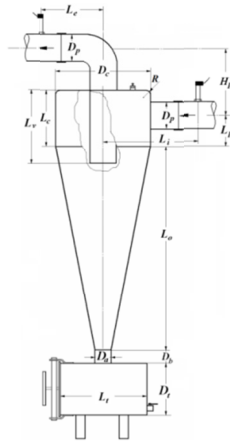
Hidrosiklon filtre simülasyonunda kullanılan türbülans modellerine ilişkin parametreler

Yazılım içerisinde Sonlu Hacimler Yöntemi kullanılarak sayısal çözümleme için RNG k-ε, Realizable k-ε ve RSM türbülans modelleri kullanılmıştır. Her seçilen modele ilişkin kabul edilen genel ve model parametreleri, duvar seçimleri ve çözüm parametreleri aşağıda verilmiştir.

RNG k-ε türbülans modeli

Girdaplı akışlar için geliştirilmiş iki denklemlilik türbülans modelidir. Navier-Stokes denklemlerinden yeniden normalleştirme teorisi (renormalization group theory-RNG) olarak adlandırılan istatistik teknik kullanılarak elde edilmiş yarı ampirik bir modeldir. RNG k-ε türbülans modelinde türbülans viskozitesi (μ_t) aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$



| Simgeler | Açıklama |
|----------|---|
| D_p | Su giriş-çıkış borusu çapı (mm) |
| D_c | Gövde çapı (mm) |
| D_b | Konik kısmın taban çapı (mm) |
| D_p | Konik kısmın tabanı ile toplama tankı arası (mm) |
| R | Silindirik kısım eğrilik yarıçapı (mm) |
| L_o | Konik kısmın yüksekliği (mm) |
| L_c | Silindirik kısmın yüksekliği (mm) |
| L_v | Çıkış borusu gövde içi uzunluğu (mm) |
| L_i | Hidrosiklon simetri eksenine ile giriş basıncı ölçüm noktası arası (mm) |
| L_e | Hidrosiklon simetri eksenine ile çıkış basıncı ölçüm noktası arası (mm) |
| L_p | Su giriş borusu eksenine ile konik kısım arası uzaklık (mm) |
| H_p | Su giriş-çıkış noktaları arası dikey uzaklık (mm) |
| L_t | Hidrosiklon toplama tankı uzunluğu (mm) |
| D_t | Hidrosiklon toplama tankı yüksekliği (mm) |

Şekil 2. Çalışmada ele alınan hidrosiklon filtrelerin teknik görünüşü

Figure 2. Technical view of the hydrocyclone filters used in the study

Çizelge 1. Çalışmada ele alınan hidrosiklon filtrelerin teknik ölçüleri

Table 1. Technical properties of the hydrocyclone filters used in the study

| Hidrosiklon Tipi | D_p (inch) | D_p (mm) | D_c (mm) | D_b (mm) | L_o (mm) | L_c (mm) | L_v (mm) | L_i (mm) | L_e (mm) | L_p (mm) | H_p (mm) | L_t (mm) | D_t (mm) | D_b (mm) |
|------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| S20 | 2" | 53 | 223 | 52 | 430 | 195 | 190 | 210 | 160 | 120 | 180 | 250 | 165 | 50 |
| S25 | 2.5" | 68 | 251 | 52 | 480 | 205 | 195 | 250 | 195 | 132 | 195 | 260 | 220 | 50 |
| S30 | 3" | 81 | 281 | 52 | 640 | 225 | 230 | 290 | 230 | 140 | 235 | 350 | 220 | 50 |
| S40 | 4" | 105 | 328 | 52 | 565 | 255 | 290 | 365 | 300 | 175 | 255 | 350 | 220 | 50 |
| P20 | 2" | 53 | 195 | 52 | 415 | 160 | 160 | 200 | 160 | 110 | 175 | 325 | 170 | 0 |
| P25 | 2.5" | 69 | 251 | 52 | 560 | 220 | 205 | 250 | 195 | 165 | 185 | 325 | 170 | 0 |
| P30 | 3" | 81 | 251 | 52 | 560 | 220 | 200 | 275 | 230 | 165 | 210 | 325 | 170 | 0 |
| P40 | 4" | 106 | 307 | 52 | 660 | 260 | 250 | 355 | 300 | 180 | 255 | 335 | 220 | 0 |

Eşitlikte; k , türbülans kinetik enerjisi ve ε , türbülans yayılım oranı olup, $C_\mu=0.0845$ yeniden normalleştirme (RNG) teorisi kullanılarak türetilen katsayıdır. Çalışma kapsamında açıklamalar ışığında kabul edilen RNG k- ε türbülans modelinin yeniden düzenlenmesi ile türbülans kinetik enerjisi (k) için taşınım denklemi ve türbülans yayılım oranı (ε) için taşınım denklemi, akışkanın sıkıştırılmaz olduğu ve kaldırma kuvveti ihmal edilerek düzenlenmiş olup eşitlikteki katsayılar; $\eta=S_{ij}\varepsilon$, $\eta_0=4.38$, $\beta=0.012$, $C_{1\varepsilon}=1.42$ ve $C_{2\varepsilon}=1.68$ alınmıştır (ANSYS Fluent Theory Guide, 2016). Ayrıca değişken parametreleri aşağıdaki şekilde seçilmiştir.

Models

- RNG options: Swirl Dominated Flow
- Near Wall Treatment: Non-Equilibrium Wall Functions
- Options: Curvature Corrections

Boundary Conditions

Turbulence Specification Methods:

Intensity and Hydraulic Diameter

Backflow Turbulent Intensity: %5

Backflow Hydraulic Diameter: Her bir hidrosiklonun giriş-çıkış çapına göre hesaplanan değerler girilmiştir

Wall Roughness: hidrosiklon filtrelerin sac levhadan kıvrılarak üretilmesi nedeniyle tüm duvarlar için pürüzlülük değeri 0.05 mm olarak alınmıştır (White, 2001).

Solution Methods

Pressure-Velocity Coupling Algorithm: Scheme: SIMPLEC, Skewness Correction: 5

Spatial Discretization

Pressure: PRESTO!

Momentum: Second Order Upwind

Turbulent Kinetic Energy: Second Order Upwind

Turbulent Dissipation Rate: Second Order Upwind

Realizable k- ε türbülans modeli

Realizable k- ε türbülans modeli, akım alanındaki yüksek şekil değiştirme hızlarının ve sınır tabakası ayrılmasının mevcut olduğu karmaşık akım durumlarında daha doğru sonuçlar elde edilebilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Türbülans viskozitesi (μ_t) eşitliği RNG k- ε türbülans modeli ile aynı olup, eşitlikteki C_μ katsayısı sabit olmayıp bir eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır. Çalışma kapsamında açıklamalar ışığında kabul edilen RNG k- ε türbülans modelinin yeniden düzenlenmesi ile türbülans kinetik enerjisi (k) için taşınım denklemi ve türbülans yayılım oranı (ε) için taşınım denklemi, akışkanın sıkıştırılmaz olduğu ve kaldırma kuvveti ihmal edilerek düzenlenmiş olup eşitlikteki katsayılar; $\sigma_k=1.0$ ve $\sigma_\varepsilon=1.2$ ile $C_{1\varepsilon}=1.44$ ve $C_{2\varepsilon}=1.9$ 'dir (ANSYS Fluent Theory Guide,

2016). Realizable k- ε türbülans modeline ilişkin kabul edilen genel ve model parametreleri, duvar seçimleri ve çözüm parametreleri RNG k- ε türbülans modeli ile aynıdır.

Reynolds Gerilme Modeli (RSM)

Reynolds gerilme modeli (RSM), Reynolds Ortalama Alınmış Navier-Stokes (RANS) denklemlerini kullanmaktadır. Reynolds Gerilme Modeli (RSM); eğrisel ve yüksek dönüşlü akımların, siklon/hidrosiklon akışı, girdaplı akımların, döngülü akım geçişleri, ikincil akışların, ayrılma olan akışların doğru bir şekilde çözülmesi için iyi bir model olarak tanımlanmaktadır.

Değişken parametreleri aşağıdaki şekilde seçilmiştir.

Models

• Reynolds-Stress Model: Stress-Omega

• K-omega Options: Shear Flow Corrections

duvar seçimleri ve çözüm parametreleri RNG k- ε türbülans modeli ile aynıdır.

Omega Gerilme Modeli (Stress-Omega Model) dikkate alınarak akışkanın sıkıştırılmaz olduğu ve kaldırma kuvveti ihmal edilerek düzenlenmiş eşitlikteki katsayılar; $C_1=3.4$, $C_1^*=1.8$, $C_2=4.2$, $C_3=0.8$, $C_3^*=1.3$, $C_4=1.25$, $C_5=0.4$ 'dir (ANSYS Fluent Theory Guide, 2016).

Çalışma kapsamında çözümün kararlılığı için 2500 iterasyon sayısı ve çözümün yakınsama (kalıntı) değerleri tüm değişkenler için 1×10^{-5} sınır değer kabul edilerek, her bir türbülans modeli için simülasyon çözümlenmeleri gerçekleştirilmiş ve çalışma sonuçları elde edilmiştir.

Hidrosiklon Filtrelerde Ayırma Etkinliğinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Yöntemiyle Belirlenmesi

Çalışma kapsamında materyal, kum seçilmiş ve kumun özkütlesi 2770 kgm^{-3} olarak alınmıştır. Kum tanesinin özelliklerine göre hidrosiklonlarda ayırmanın öngörüldüğü yani elek/disk filtrelerin etkin ayırma çapı olan 120-150 mikrondan büyük taneleri ayırdığı öngörüsüyle, 150 mikrondan büyük ve 1 mm'den küçük çaplı taneler dikkate alınmıştır. Ayrıca ayırmada partikül debisi olarak Gediz Nehri'nin yaz aylarında taşıdığı ortalama askıdaki katı madde miktarı olan 0.2 kgs^{-1} değeri materyal debisi olarak kabul edilmiştir (Bulancak, 2000).

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği simülasyonlarında, "Ayrık Faz Modeli (Discrete Phase

Model-DPM) kullanılmıştır. Kum tanelerinin hidrosiklona giriş yüzeyinden, tane çaplarının "rosinramlar" dağılımı (Mular, 2003) ile su hızı ile eşit hızda girdiği, çaplarının sayısı 20, fiziksel olarak tanelerin küresel olduğu ve ayırma esnasında ayrılan kum tanelerinin hidrosiklonun tank kısmında toplandığı kabulü yapılmıştır. HAD analizinde hidrosiklona giren partiküllerin kütesel değerlerinin yerine benzer yaklaşımla giren tanelerin, çıkıştan kaçan ve tankta toplanan sayıları oranına göre etkinlik değerleri belirlenmiştir (Salopek et al., 1995; Faulkner et al., 2007).

$$E_T = \left(\frac{n_u}{n_u + n_o} \right) \times 100$$

Eşitlikte; E_T , hidrosiklonun genel toplama etkinliği (%); n_u , hidrosiklonun toplama tankında toplanan partikül maddenin sayısı (adet); n_o , hidrosiklondan çıkıp sulama sistemine geçen partikül sayısı (adet) dir.

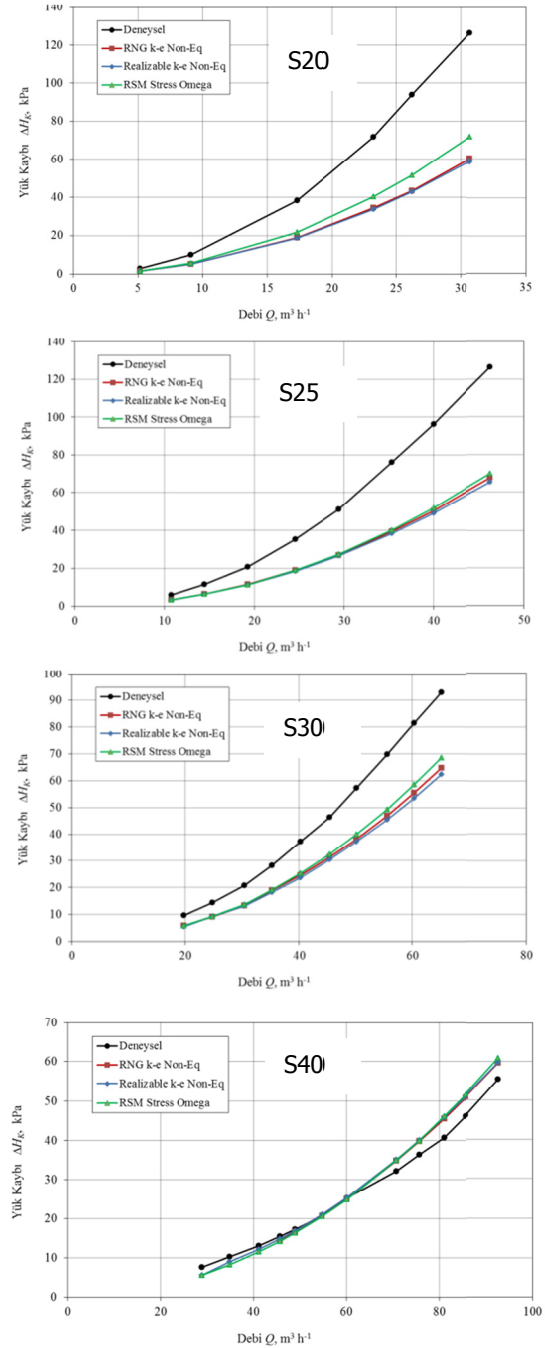
BULGULAR ve TARTIŞMA

"S" Olarak Tanımlı Hidrosiklon Filtrelerde Basınç (Yük) Kayıplarına İlişkin Bulgular

"S" olarak tanımlı hidrosiklon filtreler için RNG k- ϵ , Realizable k- ϵ ve RSM türbülans modelleri ile gerçekleştirilen akış analizlerinden elde edilen yük kayıplarına ilişkin sonuçlar S20, S25, S30 ve S40 tipi hidrosiklon filtreler için sırasıyla Şekil 3'de verilmiştir. S20 hidrosiklon filtre için değişik debi değerlerinde RNG k- ϵ , Realizable k- ϵ ve RSM türbülans modelleriyle yapılan akış analizleri sonucunda elde edilen yük kayıp değerleri ile deneysel veriler arasında, debi değerlerindeki artışa bağlı olarak farklılık olduğu görülmektedir. RNG k- ϵ ve Realizable k- ϵ modelleri arasında önemli oranda fark gözlemlenmemiş olup, RSM türbülans modelinin deneysel verilere en yakın model olduğu gözlenmiştir. Bu fark özellikle sulama sistemlerinde kullanılan borular için optimum su hızı aralığı olan 1.5–2.5 ms⁻¹ için (filtre giriş çapında 10–20 m³h⁻¹ debi değerleri) daha da azalmakta olup üst debi sınırında (20 m³h⁻¹) ortalama 17–20 kPa civarında bir farka çıkmaktadır. Bu fark, 250–300 kPa çalışma basınç aralığı düşünüldüğünde % 6–8 gibi bir sapma değeri olarak ortaya çıkmaktadır.

S25 tipi hidrosiklon filtre için deneysel verilere en yakın model çok küçük bir farkla RSM türbülans modelinde olmuştur. Bu hidrosiklon için yaygın olarak kullanılan çalışma debi aralığı 20–35 m³h⁻¹ (1.5–2.5 ms⁻¹) değerlerinde bulunan simülasyon sonuçları ile

deneysel veriler arasında en yüksek debide 35–40 kPa civarında bir fark olduğu belirlenmiş olup bu fark, 250–300 kPa çalışma basınç aralığı düşünüldüğünde %12–16 gibi bir sapma değeri olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3. "S" olarak tanımlı hidrosiklon filtrelerde deneysel yük kayıpları ile farklı türbülans modellerine göre HAD çözümlemesi ile yük kayıp sonuçlarının karşılaştırılması

Figure 3. Comparison results of experimental and CFD analysis head losses based on different turbulence models for S type hydrocyclone filters

S30 tipi hidrosiklon filtre için modeller arasında önemli oranda fark gözlemlenmemiş olup, deneysel verilere en yakın model, en yüksek debide 24 kPa farkla RSM türbülans modelinde olmuştur. Bu hidrosiklon için yaygın olarak kullanılan çalışma debi aralığı olan $30\text{--}45\text{ m}^3\text{h}^{-1}$ ($1.5\text{--}2.5\text{ ms}^{-1}$) değerlerinde bulunan simülasyon sonuçları ile deneysel veriler arasında 15 kPa civarında bir fark olduğu belirlenmiş olup bu fark, 250–300 kPa çalışma basınç aralığı düşünüldüğünde %5-6 gibi küçük bir sapma değeri olarak ortaya çıkmaktadır.

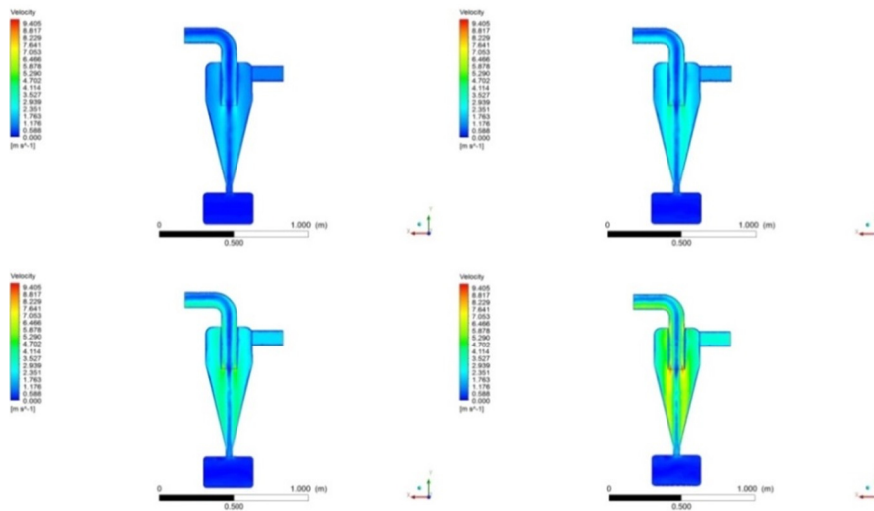
S40 tipi hidrosiklon filtre için değişik debi değerlerinde RNG $k\text{--}\epsilon$, Realizable $k\text{--}\epsilon$ ve RSM türbülans modelleriyle akış analizleri sonucunda elde edilen yük kayıp değerlerinin deneysel verilere çok yakın olduğu ve büyük benzerlik içerdiği açıklıkla görülmektedir. Deneysel yük kaybı ve HAD ile hesaplanan yük kaybı değerleri arasında en yüksek fark 5-6 kPa düzeyinde olmuştur. Söz konusu değer bu sistemlerin çalışma basıncı olan 250-300 kPa basınç aralığı düşünüldüğünde %2 gibi oldukça küçük bir değer olarak ortaya çıkmaktadır. Bu fark özellikle sulama sistemlerinde kullanılan borular için optimum su hızı aralığı olan $1.5\text{--}2.5\text{ ms}^{-1}$ için (S40 tipi filtrenin çalışma debisi olan $45\text{--}70\text{ m}^3\text{h}^{-1}$ debi değerleri aralığında) daha da azalmakta ve deneysel ölçüm ile hesaplama sonuçları arasındaki fark 3 kPa düzeyinde olup çalışma basınç değerine göre %1 lik bir sapma ortaya çıkmaktadır. Özellikle bu hidrosiklon için yaygın olarak kullanılan çalışma debi aralığı olan $45\text{--}60\text{ m}^3\text{h}^{-1}$

için bulunan simülasyon sonuçları ile deneysel verilerin tam uyumlu olduğu söylenebilir.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analiz sonuçlarından filtre içindeki hız dağılımları da incelenmiştir. Bu amaçla S40 tipi hidrosiklon filtrede 4 farklı su giriş hızında ($0.93, 1.46, 1.93, 2.97\text{ ms}^{-1}$) ve yaklaşık $30, 45, 60$ ve $90\text{ m}^3\text{h}^{-1}$ debi değerlerinde, hidrosiklon içinde meydana gelen hız değişimlerinin RSM türbülans modeli ile belirlenen sonuçlarına ilişkin bulgular Şekil 4'de verilmiştir.

S40 tipi hidrosiklon filtre için alt değer olarak kabul edilen 0.93 ms^{-1} hızda ($30\text{ m}^3\text{h}^{-1}$ debi değerindeki) girdap kılavuzu bölgesinde ve hidrosiklon konik kısmındaki hızların birbirlerine oldukça yakın olduğu ve ayırım için gerekli olan kritik hızların oluştuğu görülmektedir.

İkinci ve üçüncü şekiller incelendiğinde girdap kılavuzu uzantısının ve hidrosiklonun iç ve dış girdap sınırındaki arayüz çapının belirgin bir şekilde oluştuğu görülmektedir. Hızın yükselmesine bağlı olarak bu arayüzün kaybolmaya başladığı dördüncü şekilden açıklıkla görülmektedir. Hidrosiklon filtreler için giriş çapına bağlı olarak optimal çevre hızlarında çalışması iyi bir ayırım için önemli olan kritik arayüz çapının oluşmasında etkili olduğu söylenebilir. Yüksek hız (2.97 ms^{-1}) değerinde ise bu sınır arayüz çapının yavaş yavaş birbirine karıştığı, girdap kılavuzu girişinde oldukça yüksek hızların oluştuğu açıklıkla görülmektedir.

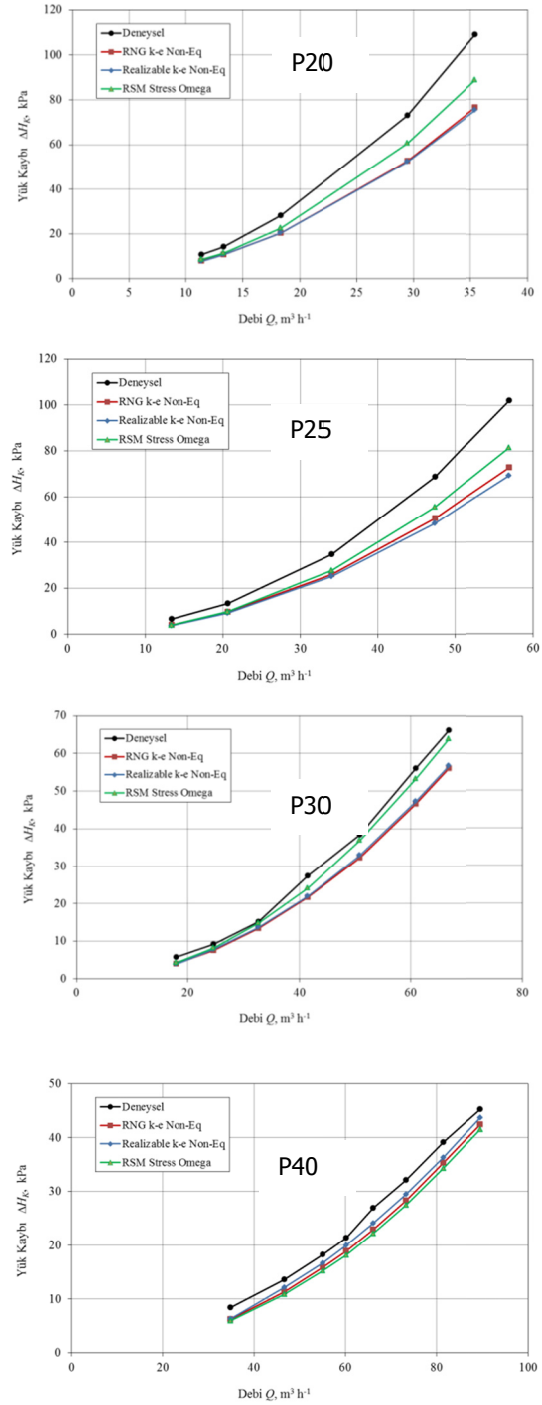


Şekil 4. S40 tipi hidrosiklon filtre için 4 farklı su giriş hızında ($0.93, 1.46, 1.93, 2.97\text{ ms}^{-1}$) meydana gelen hız değişimlerinin RSM türbülans modeli ile çözümlemesine ilişkin sonuçlar

Figure 4. The analysis results of velocity variation at 4 different water inlet velocities ($0.93, 1.46, 1.93, 2.97\text{ ms}^{-1}$) for S40 type hydrocyclone filter using RSM turbulence model

"P" Olarak Tanımlı Hidrosiklon Filtrelerde Basınç (Yük) Kayıplarına İlişkin Bulgular

"P" olarak tanımlı hidrosiklon filtreler için RNG k- ϵ , Realizable k- ϵ ve RSM türbülans modelleri ile gerçekleştirilen akış analizlerinden elde edilen yük kayıplarına ilişkin sonuçlar S20, S25, S30 ve S40 tipi hidrosiklon filtreler için sırasıyla Şekil 5'de verilmiştir. Genel olarak büyük giriş çıkış çaplı hidrosiklon filtreler için değişik debi değerlerinde laboratuvarında bulunan sonuçlar ile çalışmada ele alınan RNG k- ϵ , Realizable k- ϵ ve RSM türbülans modelleriyle yapılan akış analizleri sonucunda elde edilen modeller uyumlu bir tahminleme gerçekleştirmiştir. Özellikle RSM türbülans modelinin çok yakın bir tahminlemeyi gerçekleştirdiği görülmektedir. Küçük giriş çıkış çaplı hidrosiklon filtreler için modeller ile tahminlerin tam uyumlu olmaması, simülasyon için hazırlanan katı modellerin hatasız olmalarından kaynaklanmaktadır. Özellikle küçük boyutlu hidrosiklon filtrelerde silindirik ve konik kısımlarda sacların birleştiği kenarlarda, silindirik kısma giriş borusunun teğet olarak bağlantı yaptığı bölümde parçaların kesimi sırasında ve kaynaklı birleştirme aşamasında bazı hatalı bölümler oluşabilmektedir. Ancak katı model çizimlerinde yekpare kusursuz birleşimlerin oluşturulması ve yukarıda ifade edilen birleşme hatalarının tam olarak çizilen parça üzerine aktarılamaması nedeniyle gerçek ölçümler ile similasyondan elde edilen sonuçlar arasında farklılıklar oluşmaktadır. Bu nedenle deneysel olarak elde edilen sonuçların hemen hemen hepsi HAD çözümüyle elde edilen yük kayıp sonuçlarına göre daha yüksek olmaktadır. Bu durum deneysel yük kayıpları değerlerinin HAD çözümüyle elde edilen yük kayıp sonuçları ile karşılaştırıldığı tüm şekillerde de görülmektedir. Bununla birlikte model verilerinin eğrilerinin uyumlu olduğu, ancak yüksek debilerde (hidrosiklon filtrelerin gerçek çalışma sınırının üstüne çıktığında) sapmanın arttığı, ancak bunun en büyük sapmada bile %12–16 aralığında kaldığı açıklıkla görülmektedir.



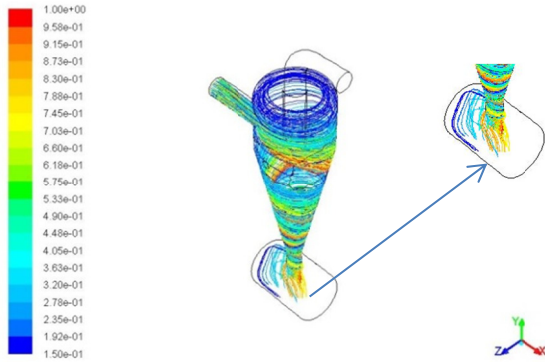
Şekil 5. "P" olarak tanımlı hidrosiklon filtrelerde deneysel yük kayıpları ile farklı türbülans modellerine göre HAD çözümüyle elde edilen yük kayıp sonuçlarının karşılaştırılması

Figure 5. Comparison results of experimental and CFD analysis head losses based on different turbulence models for P type hydrocyclone filters

Hidrosiklon Filtrelerde Ayırma Etkinliğine İlişkin Bulgular

Çalışma kapsamında ele alınan "S" ve "P" tanımlı hidrosiklon filtrelerde ayırma etkinliği HAD "Ayrık Faz Modeli (DPM)" yöntemiyle ortaya konmuş, örnek olarak S20 tip hidrosiklon filtresinin iki farklı çalışma su hızına (debi değerine) ilişkin sonuçlar verilmiştir. Birinci hız olan filtre girişinde 0.65 ms^{-1} hız ve yaklaşık $5 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ debi değeri için ayırma etkinliğine ilişkin olarak, analiz başlangıcında 120 adet partikül yörüngede yer almış, bunun 119 adedi toplama tankında toplanmış (n_u), filtre çıkışından geçen partikül olmamış ancak 1 adet partikül ise oluşan girdap nedeniyle hareketine devam ettiğinden işlem tamamlanmamıştır. Bu durumda hidrosiklonun genel toplama etkinliği %100 olarak hesaplanmış ve hidrosiklon içinde değişik çaplardaki partiküllerin meydana getirdiği yörüngelerin durumu ve ayırma durumu Şekil 6'da verilmiştir. Partiküllerin tamamının ayrıldığı şekilden de açıklıkla görülmektedir.

S20 tipi hidrosiklon filtresinin girişinde daha yüksek giriş hız ve debi (2.93 ms^{-1} hız ve yaklaşık $23 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ debi) değerleri için ayırma etkinliğine ilişkin gerçekleştirilen analiz başlangıcında 120 adet partikül yörüngede yer almış olup, bunun 88 adedi toplama tankında toplanmış (n_u), 15 adedi filtre çıkışından geçmiş (n_o) ve 17 adet partikül ise oluşan girdap nedeniyle hareketine devam ettiğinden işlem tamamlanmamıştır. Bu durumda hidrosiklonun genel toplama etkinliği, %85.44 olarak hesaplanmış ve hidrosiklon içinde değişik çaplardaki partiküllerin meydana getirdiği yörüngelerin durumu ve ayırma durumu Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6. RSM türbülans modeli için 2" (S20) hidrosiklon filtrede 0.65 ms^{-1} hız değerinde ayırık faz modeli için değişik çaplardaki partiküllerin meydana getirdiği yörüngeler ve ayırma durumu

Figure 6. The trajectory and separation of particles at different diameters, and a velocity of 0.65 ms^{-1} for the discrete phase model for RSM turbulence model for 2" (S20) hydrocyclone filter



Şekil 7. RSM türbülans modeli için 2" (S20) hidrosiklon filtrede 2.93 ms^{-1} hız değerinde ayırık faz modeli için değişik çaplardaki partiküllerin meydana getirdiği yörüngeler ve ayırma durumu

Figure 7. The trajectory and separation of particles at different diameters, and a velocity of 2.93 ms^{-1} for the discrete phase model for RSM turbulence model for 2" (S20) hydrocyclone filter

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, damla sulama sistemlerinde yaygın olarak kullanılan 2", 2½", 3" ve 4" anma giriş ve çıkış çapına sahip hidrosiklon filtrelerin yük kaybı ve ayırma etkinliği değerlerinin HAD yöntemiyle ortaya konması amaçlanmıştır.

Tarımsal sulamada kullanılan hidrosiklon filtrelerde suyun giriş ve çıkış noktaları arasında meydana gelen yük kayıplarını tahminlemeye yönelik olarak yapılan HAD simülasyonunda RSM türbülans modeli, RNG k-ε ve Realizable k-ε modelleri kullanılmıştır. Yapılan analizlerde literatürde de türbülanslı akış için doğruya en yakın sonuçları verdiği belirtilen RSM türbülans modeli diğer modellere göre daha yüksek doğrulukta deneysel verileri tahminleyebilmektedir. RSM türbülans modeli ile birlikte kullanılan ve standart duvar fonksiyonunda ihmal edilen yüksek basınç ve hız değişimlerini göz önüne alarak hesaplama yapan non-equilibrium duvar fonksiyonu, model doğruluk derecesini yükseltmiştir. Deneysel sonuçlarla uyumluluk gösteren simülasyon sonuçları, literatürde incelenen model çalışmalarında olduğu gibi uygulamada kullanılan gerçek boyutlu hidrosiklonlarda da HAD simülasyonunun yük kayıplarının tahminlenmesinde etkin şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte hidrosiklonların gerçek çalışma sınırının üstündeki debilere çıktığında sapma artmış ancak bu durumda bile en büyük sapma %12-16 aralığında kalmıştır.

Hidrosiklon filtrelerde ayırma etkinliğinin belirlenmesinde ise "Ayrık Faz Modeli (Discrete Phase Model - DPM)" yöntemiyle analizler gerçekleştirilmiş ve ayırma etkinliğine ilişkin sonuçlar elde edilmiştir. Genel olarak yük kayıplarının tahminlemesinde denemelerde elde edilen yük kayıp değerlerine daha yakın hesaplama sonuçları veren RSM türbülans modeli ile ayırma etkinliği irdelenmiştir. Deneysel sonuçlarla uyumluluk gösteren simülasyon sonuçları, gerçek boyutlu hidrosiklonlarda HAD simülasyonunun ayırma etkinliğinin tahminlenmesinde etkin şekilde kullanılabilceğini göstermektedir.

Çalışma sonucunda elde edilen verilerin, hidrosiklon imalatı yapan sektör temsilcilerine aktararak, etkinliği

daha yüksek filtrelerin imal edilmesi ve kullanılmasını sağlayabilecektir. Bu durum, damla sulama sistemlerinde daha verimli çalışmayı ve enerji maliyetinde azalmayı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenen 2014-ZRF-024 nolu proje kapsamında hazırlanmış olup, projeyi destekleyen Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na teşekkür ederiz.

LİTERATÜR LİSTESİ

- ANSYS Fluent Theory Guide, 2016. Release 17.2 August 2016 ANSYS, Inc. Southpointe 2600 ANSYS Drive Canonsburg, PA 15317 A
- Asomah, I.K. and Napier-Munn, T.J. , 1997, An empirical model of hydrocyclones, incorporating angle of cyclone inclination, *Minerals Engineering*, 10(3):339-347.
- Bhaskar, K.U., Murthy, Y.R., Raju, M.R., Tiwari, S., Srivastava, J.K. and Ramakrishnan, N., 2007, CFD simulation and experimental validation studies on hydrocyclone, *Minerals Engineering*, 20:60-71.
- Bradley, 1965 *The Hydrocyclone*. Pergamon Press Ltd. London
- Bucks, D.A., Nakayama, F.S. and Gilbert, R.G., 1979, Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. *Agricultural Water Management*, 2:149-162.
- Bulancak, S., 2000. Ege Bölgesi Pamuk Tarımında Damla Sulama Sistemlerinin Uygulanabilirliğinde Filtre Seçimi ve Performansı Üzerinde Bir Araştırma, E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi), İZMİR.
- Chen, W., Zydek, N. and Parma, F., 2000, Evaluation of hydrocyclone models for practical applications, *Chemical Engineering Journal*, 80(1-3):295-303.
- Chu, L.Y., Chen, W.M. and Lee, X.Z., 2002, Effects of geometric and operating parameters and feed characters on the motion of solid particles in hydrocyclones, *Separation and Purification Technology*, 26, 237-246.
- Concha, F., 2007. Flow pattern in hydrocyclones, *KONA Powder and Particle Journal*, 25, 97-132.
- Çengel, Y.A. ve Cimbala, J.M., (2008, *Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları*, (Editör: T. Engin, Editör Yardımcıları: H. R. Öz, H. Küçük, Ş. Çeşmeci), Güven Bilimsel, İzmir Güven Kitabevi, İzmir
- Dabir, B., 1983, Mean Velocity Measurements in a 3rd-Hydrocyclone using Laser Doppler Anemometry, Ph.D Thesis, Michigan State University, Dept. of Chemical Engineering
- Davailles, A., Climent, E. and Bourgeois, F., 2012, Fundamental understanding of swirling flow pattern in hydrocyclones, *Separation and Purification Technology*, 92:152-160.
- Delgadillo, J.A. and Rajamani, R.K., 2005, A comparative study of three turbulence-closure models for the hydrocyclone problem, *International Journal of Mineral Processing*, 77 (01), 217-230.
- Delgadillo, J.A. and Rajamani, R.K., 2007, Large-Eddy Simulation (LES) of large hydrocyclones, *Particulate Science and Technology*, 25: 227-245.
- Demir, V. ve Uz, E., 1994, Damla sulama sistemlerinde kullanılan filtreler, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt:31, Sayı:2-3, 177-184.
- Elsayed, K. and Lacor, C., 2009, Investigation of the geometrical parameters effects on the performance and the flow-field of cyclone separators using mathematical models and Large Eddy Simulation, 13th International Conference on Aerospace Sciences & Aviation Technology, May 26-28, 2009, Military Technical College, Kobry Elkobbah, Cairo, Egypt.
- English, S.D., 1985, Filtration and water treatment for micro irrigation, In *drip/trickle irrigation in action: Proc.Third Inter'l Drip/Trickle Irrigation Congress*, California, USA, 50-57.
- Faulkner, W. B., Buser, M. D., Whitelock, D. P. and Shaw B. W., 2007. Effects of cyclone diameter on performance of 1d3d cyclones: cutpoint and slope. *Structures & Environment Division of ASABE* in November 2007.
- Gilbert, R.G., Ford, H.W., 1986, Operational principles/emitter clogging, 142-187, *Trickle Irrigation for Crop Production*, Nakayama, F.S. and Bucks, D.A. (Eds.), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 383.
- Gimbun, J., Chuah, T.G., Choong, T.S.Y. and Fakhru'l-Razi, A., 2005, A CFD study on the prediction of cyclone collection efficiency, *International Journal for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics*, 6:161-168.
- He, P., Salcudean, M. and Gartshore, I.S., 1999, A numerical simulation of hydrocyclones, *Trans. Inst. Chem. Eng.*, 77 (A):429-441.
- Holdich, R.G., 2002, *Fundamentals of Particle Technology*, Midland Information Technology & Publishing, Shepshed, Leicestershire, 182.
- Hsieh, K.T, 1988, Phenomenological Model of the Hydrocyclone, Ph.D Thesis, University of Utah, Dept. of Metallurgy and Metallurgical Engineering.
- Hsu, C.Y., Wu, S.J. and Wu, R.M., 2011. Particles separation and tracks in a hydrocyclone. *Tamkang Journal of Science and Engineering*, 14 (1), 65-70.
- Kaya, F. ve Karagöz, İ. 2007, Girdaplı akışlarda türbülans modellerinin uygunluğunun incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 12 (1), 85-96.
- Kraipech, W., Chen, W., Dyakowski, T. and Nowakowski, A., 2006, The performance of the empirical models on industrial hydrocyclone design, *International Journal of Mineral Processing*, 80(2-4):100-115.

- Martinez, L.F., Lavin, A.G., Mahamud, M.M., Bueno J.L., 2008. Vortex finder optimum length in hydrocyclone separation, *Chemical Engineering and Processing* 47 (2) 192–199.
- Mular A.L. 2003. Size Separation. Chapter 4 in *Principles of Mineral Processing*. (Ed. Maurice C. F., and Kenneth N. H., 2003)., Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc. (SME) 8307 Shaffer Parkway Littleton, Colorado, USA 80127
- Munson, B.R. Young D.F. and Okiishi, T. H., 2006. *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 6. Basım, J. Wiley and Sons
- Nageswararao, K., Wiseman, D. M. and Napier-Munn, T. J., 2004, Two empirical hydrocyclone models revisited, *Minerals Engineering*, 17(5):671-687.
- Napier-Munn, T.J., Morrell, S., Morrison, R.D. and Kojovic, T., 1996, *Mineral comminution circuits-their operation and optimisation*, JKMRRC Monograph Series, Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre, University of Queensland, Brisbane, 413.
- Narasimha, M., Brennan M., and Holtham P.N., 2007. A Review of CFD Modelling for Performance Predictions of Hydrocyclone. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 1:2, 109-125, DOI: 10.1080/19942060.2007.11015186
- Neesse T. and Dueck, J., 2007, Dynamic modelling of the hydrocyclone, *Minerals Engineering*, 20:380-386.
- Plitt, L. R., 1976. A mathematical model of the hydrocyclone classifier. *CIM Bulletin*, pp. 114-123
- Rietema, K., 1962. *Cyclones in Industry*. Elsevier
- Rushton, A., Ward, A.S. and Holdich, R.G., 2000, *Solid-Liquid Filtration and Separation Technology*, WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 542.
- Salopek, B., Filipovic S., and Dragan K., 1995. Possibilities of the efficient solid-liquid separation, in the hydrocyclone of 25 mm diameter. *Rudarsko-geoldko-naftni zbornik* (7) 71-75.
- Shojaeefard, M.H., Noorpoor, A., Yarjiabadi, H. and Habibian, M., 2006, Particle size effects on hydro-cyclone performance, *IUST International Journal of Engineering Science*, 17 (3-4), 9-19.
- Svarovsky, L. and Thew, M.T., 1992, *Hydrocyclones: Analysis and Applications*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 413.
- Svarovsky, L. 2000, *Solid-Liquid Separation*. 4th Edition, Butterworths-Heinemann. London.
- Şafak, Z., 2005, *Filtreler ve Ayırıcılar*, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Şahin Kılavuz F., 2007, *Küçük Çaplı Hidrosiklonlarda İşlem Değişkenlerinin Ayırım Etkinliği Üzerine Etkilerinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Wang, B. and Yu, A.B., 2006, Numerical study of particle-fluid flow in hydrocyclones with different body dimensions, *Minerals Engineering*, 19:1022-1033.
- Wang, L., 2004. *Theoretical Study of Cyclone Design*. PhD. Thesis, Texas A&M University
- Wang, L., Zheng, Z., Wu, Y., Guo, J., Zhang, J. and Tang, C., 2009, Numerical and experimental study on liquid-solid flow in a hydrocyclone, *Journal of Hydrodynamics*, 21(3): 408-414.
- White, F. M., 2001. *Fluid Mechanics*, 4th Edition, McGraw Hill
- Young, D.F., Munson, B.R. Okiishi, T.H., and Huebsch, W.W. 2013. *A Brief Introduction to Fluid Mechanics*, 5th Edition, Wiley and Sons, ve Türkçe Çevirisi (Nuri Yücel, Nureddin Dinler, Haşmet Türkoğlu, Zekeriya Altaç, Nobel Yayınevi.
- Yurdem, H., Demir, V. and Degirmencioglu, A., 2010, Development of a mathematical model to predict clean water head losses in hydrocyclone filters in drip irrigation systems using dimensional analysis, *Biosystems Engineering*, 105 (4):495-506 pp, doi:10.1016/j.biosystemseng.2010.02.001.
- NetafimUSA, 2016. <http://www.netafimusa.com/agriculture/products/sand-separators-op>