



Araştırma Makalesi (Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2022, 59 (1):93-105

<https://doi.org/10.20289/zfdergi.929494>

Vedat DEMİR¹

Hüseyin YÜRDEM¹

Arzu YAZGI¹

Tuncay GÜNHAN¹

¹ Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 35100, Bornova, İzmir, Türkiye

* Sorumlu yazar (Corresponding author):

vedat.demir@ege.edu.tr

Anahtar sözcükler: HAD, mikro jet başlık, su dağılımı, tasarım, türbülans modeller

Keywords: CFD, micro jet sprinkler, water distribution, design, turbulence models

Mikro jet yağmurlama sulama başlığında akış özelliklerinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile incelenmesi

Investigation of the flow properties of the micro jet sprinkler using computational fluid dynamics

Received (Alınış): 30.04.2021

Accepted (Kabul Tarihi): 12.07.2021

ÖZ

Amaç: Bu çalışmanın amacı, mikro jet yağmurlama sulama başlığında akış özelliklerinin hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemiyle ortaya konulması ve en uygun türbülans modelinin belirlenmesidir.

Materyal ve Yöntem: Çalışmada dört farklı meme çapına sahip mikro jet yağmurlama sulama başlığı ele alınmıştır. İlk aşamada, mikro jet yağmurlama sulama başlığının farklı basınçlardaki debi değerleri ve nominal çalışma basıncında (200 kPa) ıslatma çapları ölçülmüştür. İkinci aşamada farklı türbülans modelleri kullanılarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği analiz yöntemiyle hesaplanan değerler, ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Araştırma Bulguları: Tüm meme çaplarının 200 kPa olan nominal çalışma basıncındaki debi değerleri, Reliz k-ε, Enh Wall türbülans modeli ile en yüksek %2.16 gibi oldukça düşük bir hata değeri ile tahmin edilmiştir. Ayrıca başlık meme çıkışı ve çarpma plakası bölgesindeki su dağılımı simülasyonları deneysel değerlere oldukça yakın bulunmuştur.

Sonuç: Mikro jet sulama başlığının debi değeri Reliz k-ε, Enh Wall türbülans modeli kullanılarak çok düşük hata ile tahmin edilebileceği ve başlık meme tasarımının simülasyon kullanılarak hızlı ve kolay bir şekilde yapılabileceği ortaya konulmuştur.

ABSTRACT

Objective: The objective of this study was to determine the flow properties of the micro jet sprinkler by using Computational Fluid Dynamics (CFD) method and also the most suitable turbulence model.

Material and Methods: In the study, micro jet sprinklers with four different nozzle diameters were considered. In the first stage of the study, the flow rates of micro jet sprinklers at different pressures, and wetting diameters at nominal operating pressure (200 kPa) were measured. In the second stage, the values calculated with different turbulence models by using computational fluid dynamics analysis method were compared with the measured ones.

Results: The flow rates for all nozzle diameters were estimated with a very low error value such as the highest 2.16% at 200 kPa, which is the nominal working pressure by using Reliz k-ε, Enh Wall turbulence model. In addition, the simulations of the water distribution in the sprinkler nozzle outlet and flapper area were found to be very close to experimental values.

Conclusion: It was found that the flow rate values of the micro jet sprinkler can be estimated with very low error by using Reliz k-ε, Enh Wall turbulence model and the design of sprinkler nozzles can be achieved with simulations quickly and easily.

GİRİŞ

Mikro sulama sistemlerinde kullanılan mini ve mikro jet yağmurlama başlıkları, geleneksel yağmurlama başlıklarından çok daha küçük yapıda olup, çalışma özelliklerine göre dağıtma başlığı; döner olanlar mini yağmurlama, sabit çarpma plakalı olanlar ise mikro jet olarak sınıflandırılmaktadır. Başlık tipi ve özelliğine göre değişmekle birlikte, genel olarak bu sulama sistemlerinin çalışma basınçları 150-300 kPa, başlık debileri 30-350 L h⁻¹, ıslatma çapları 2-8 m arasındadır (Hills et al., 1986; Singh et al., 1990; Yerdani & Rubinstein, 1991; Boman, 1991; Benami & Ofen, 1993; Post et al., 1985, 1986). Düşük basınçlı veya düşük debili yağmurlama başlıkları olarak da adlandırılan bu başlıklar, genellikle meyve bahçelerinde 15-30 cm yüksekliğinde, sebze bahçelerinde 100 cm'ye kadar yükselticilere takılarak kullanılmaktadırlar (Nir, 1982).

Mikro sulama sistemlerinde suyun çıkış noktasında yer alan mikro jet sulama başlıkları suyun dağılımını etkileyen en önemli parçalardır. Bu başlıkların basınca bağlı debilerinin belirlenmesinin yanında, başlıkların su dağılım karakteristiklerinin ortaya konması, projelendirme açısından son derece önemlidir (Hills et al., 1986; Singh et al., 1990).

Düşük basınçlı başlıklarda debi, başlığın çalışma basıncının bir fonksiyonu olarak karakterize edilmektedir. Başlığın çalışma basıncı ile başlık debisi arasındaki ilişki;

$$q = kH^x \quad (1)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir (Boman, 1991; Hills et al., 1986; Singh et al., 1990; Demir, 1997). Eşitlikte; q , başlık debisi (L h⁻¹); H , başlık basıncı (kPa); k , meme boyutlarını karakterize eden katsayı (Lh⁻¹ kPa^{-x}); x , memenin akış rejimini karakterize eden katsayıdır.

Ayrıca çeşitli araştırmacılar tarafından belirli bir meme çapı için yağmurlama başlıklarının debisinin başlık basıncının karekökü ile doğru orantılı olduğu ifade edilmiş ve bu durum;

$$q = 3600C_d A(2gH)^{0.5} \quad (2)$$

eşitliği ile gösterilmiştir (Güngör & Yıldırım, 1989; Keller & Bliesner, 1990; Korukçu & Yıldırım, 1981). Eşitlikte; q , başlık debisi (m³ s⁻¹); C_d , başlık yapım biçimine bağlı katsayı; A , meme kesiti (m²); H , başlık basıncı (mSS) ve g , yerçekimi ivmesi (m s⁻²)'dir. Demirel & Demir (2015) bir çalışmalarında inceledikleri tüm mini yağmurlama sulama başlıklarının basınç-debi ilişkilerini veren bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Geliştirilen model ile geçerli kısıtlar içerisinde debinin yüksek oranda tahmin edilebildiğini saptamışlardır.

Günümüzde sulama sistemlerinde kullanılan ürünler, bütün fonksiyonel ve üretim özellikleri dikkate alınarak görünür modeller üzerinden tasarlanabilmektedir. Ortaya konulan tasarımın prototip imalatı yapılmadan mekanik ve akış özellikleri belirlenip performans analizleri yapılabilmektedir. Bilgisayar ortamında yapılan sayısız analizlerle optimum performansa oldukça yakın son ürünün elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Böylece daha düşük maliyetle, en uygun performansa sahip ürünlerin daha kısa zamanda elde edilmesi mümkün olmaktadır. Akış analizlerinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yaklaşımı birçok alanda yaygın olarak kullanıldığı gibi sulama alanında özellikle hidrosiklon filtrelerde; yük kayıpları, ayırma etkinliği (Hsieh, 1988; Wang et al. 2009; Bhaskar et al. 2007; Demir vd., 2017), damlatıcı tasarımında, akış yolu, tıkanma vb. (Palau et al., 2004; Wei et al., 2006; Wang et al., 2006; Zhang et al., 2007; Philipova et al., 2009; Wu et al., 2013; Demir vd., 2020) gibi analizlerde kullanılmıştır. Yan et al., (2009) büyük yağmurlama başlıklarının gövde içinde basınç ve hız değişimleri, Zhang et al., (2018) hareketli sulama makinalarında kullanılan çarpma plakalı yağmurlama başlıklarının çıkışında debi ve hız değişimlerinin HAD yöntemiyle tahminine yönelik çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bir çok araştırmacı

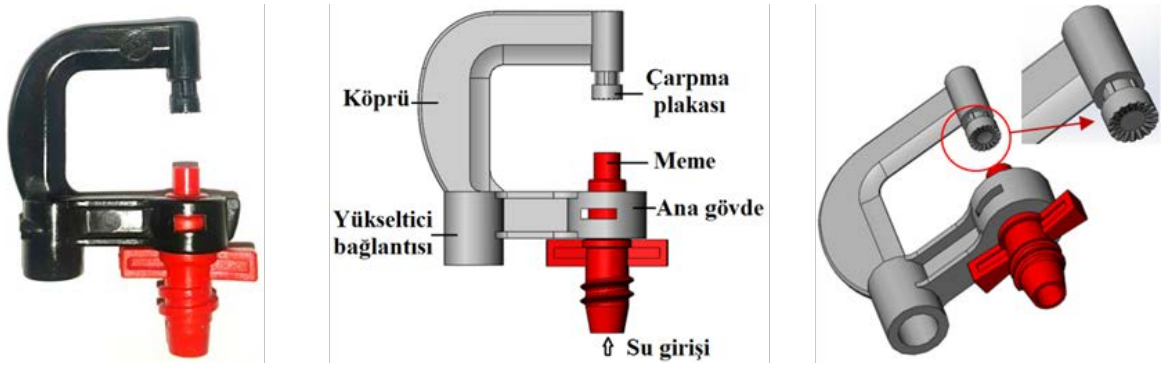
deneysel ve HAD simülasyon değerleri arasında yüksek uyumlu sonuçlar bulmuşlar ve tasarım amaçlı kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Çok çeşitli alanlarda HAD yönteminin deneysel ve simülasyona dayalı karşılaştırmalar ile kullanımına ve uygun HAD yönteminin saptanmasına yönelik çalışmalar olmasına karşın mikro sulama başlıkları ile ilgili bilgisayar destekli simülasyona dayalı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmanın amacı, mikro jet yağmurlama sulama başlığında akış özelliklerinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle ortaya konulması ve en uygun türbülans modelinin belirlenmesidir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Deneyel çalışmalar

Çalışmada kullanılan mikro jet yağmurlama sulama başlığının genel görünümü Şekil 1’de verilmiştir.

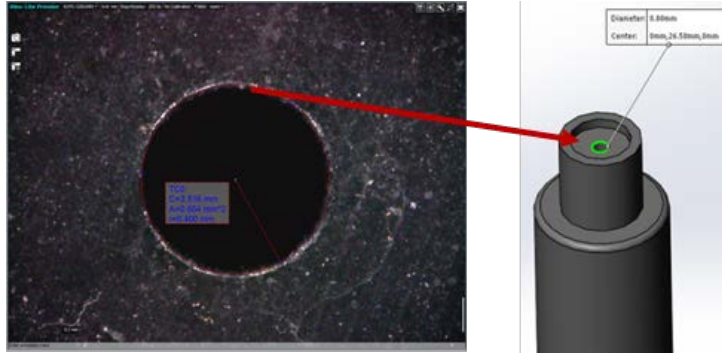


Şekil 1. Çalışmada kullanılan mikro jet yağmurlama sulama başlığının genel görünüşü.

Figure 1. General view of micro jet sprinkler used in the study.

Çalışma Şekil 1’de gösterilen mikro jet yağmurlama sulama başlığının 0.8, 1.1, 1.3, 1.8 mm meme çaplı dört tipi ile yürütülmüştür. Denemeye alınan mikro jet sulama başlıkları laboratuvarında oluşturulan deneme düzenine yerleştirilmiştir. Denemeler 100, 150, 200, 250, 300, 350 ve 400 kPa basınçlarda yürütülmüştür. Basınç ölçümlerinde, ölçüm hassasiyeti tam skalasının % 0.1’i olan bir dijital manometre (Keller LEO1, İsviçre) kullanılmıştır. Deneme düzenine su, bir pompa yardımıyla filtreden geçirildikten sonra verilmiş olup, basınç; pompa çıkışındaki vanalar yardımıyla ayarlanmıştır. Her bir basınç değerinde başlıkların debi değerleri, başlıklardan çıkan suyun hacmi belirli bir kabı doldurması için geçen süreler dikkate alınarak üç tekrarlı ölçümle belirlenmiştir. Çalışmalar esnasında su sıcaklıkları 18-22°C civarında ölçülmüştür. Gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarından yararlanılarak mikro jet yağmurlama sulama başlıklarının basınç-debi ilişkileri belirlenmiştir. Aynı anda başlıkların 0.25 m yükseklikte yerleştirilmesi durumundaki ıslatma çapları da ölçülmüştür. Denemelerde ISO 8026, ASAE S398.1 ve TS ISO 7749-1 standartları dikkate alınmıştır (ISO Standard, 1985; ASAE Standard, 1995; Türk Standardı, 2007).

Mikro jet sulama başlıklarının meme çaplarının ölçülmesi amacıyla, çözünürlüğü 5 Megapixel olan AD7013MZT(R4) model Dino-Lite Digital Microscope ve DinoCapture 2.0 yazılımı kullanılmıştır (Şekil 2). Mikro jet başlık ve borunun diğer tüm boyutları, ± 0.01 mm hassasiyetle dijital bir kumpas kullanılarak ölçülmüştür. Denemesi yapılan mikro jet sulama başlıklarının firma tarafından verilen nominal değerleri ile ölçülen meme çapı değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 2. Mikro jet sulama başlıklarının meme çaplarının belirlenmesi.

Figure 2. Determination of the nozzle diameters of micro jet sprinklers.

Çizelge 1. Mikro jet sulama başlıklarının üretici firma tarafından verilen teknik değerleri ve ölçülen meme çapları

Table 1. Technical values of micro jet sprinklers given by the manufactured company and measured nozzle diameters

Nominal meme çapı* mm	Ölçülen meme çapı mm	Nominal debi* L h ⁻¹	Nominal ıslatma çapı* m
0.8	0.80	33	2.2
1.1	1.06	61	2.4
1.3	1.24	87	2.6
1.8	1.73	166	2.8

* Firma tarafından mikro jet sulama başlıklarının nominal debi değerleri 200 kPa çalışma basıncında ve ıslatma çapları yerden 0.25 m yükseklikte çalışacağı dikkate alınarak verilmiştir.

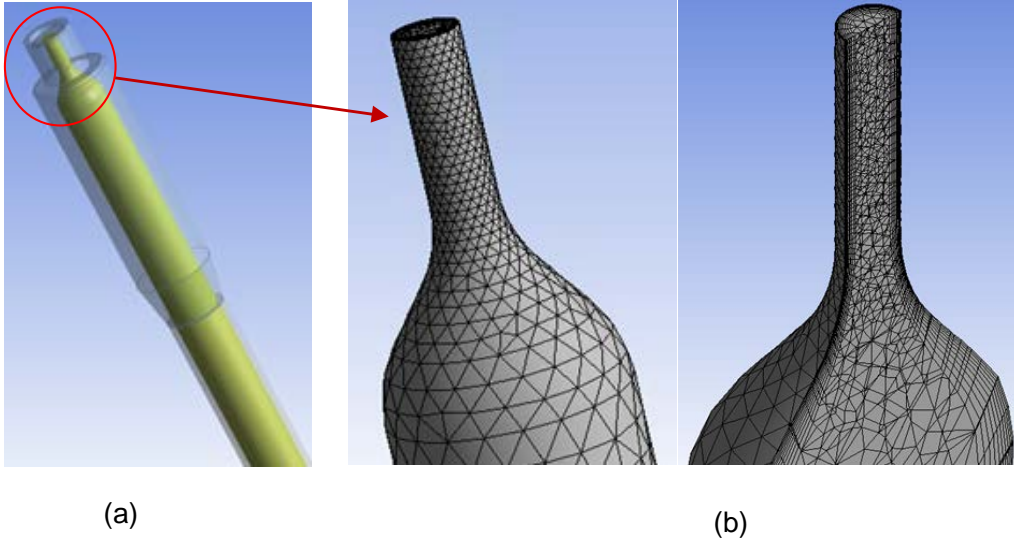
HAD analiz çalışmaları

Mikro jet sulama başlıklarında akış analizi, ticari HAD yazılımı ANSYS Fluent 17.2 (ANSYS, 2016) kullanılarak yapılmıştır. Simülasyon çalışması iki aşamada yürütülmüştür.

Birinci aşamada ele alınan memelerin basınca bağlı denemelerde elde edilen debi değerlerinin en uygun türbülans modeli/modelleri ile saptanmasına yönelik çalışmalar yürütülmüştür. İkinci aşamada ise belirlenen model/ler ile ıslatma çapının belirlenmesi ve su dağılım simülasyonun ortaya konmasına yönelik çalışmalar yürütülmüştür.

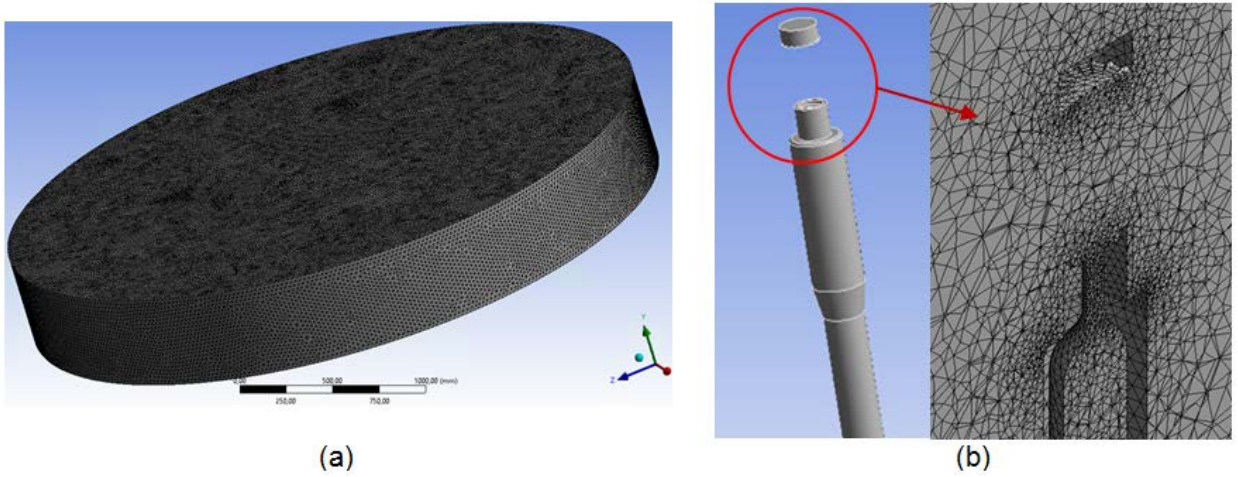
Çalışmada dikkate alınan mikro jet sulama başlıkları için geometrik modeller ANSYS Design Modeler yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Birinci aşama için geometrik modeller oluşturulduktan sonra, memedeki ve memeden çıkan suyun dağılımındaki su akış bölgesi için ağ yapıları ANSYS Meshing yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 3). Ağ yapısında en düşük boyut 0.025 mm olarak seçilmiştir. Bu ağ yapısındaki düğüm ve elemanların sayısı sırasıyla 1.1×10^5 ve 2.5×10^5 te fazla olmuştur.

İkinci aşamada su dağılım simülasyonu analizleri için 0.5 m yüksekliğinde 3.5 m çapında dairesel bir çalışma hacmi tanımlanmış, başlık çalışma yüksekliği 0.25 m alınarak bu bölge içinde dağılım için akış analizleri gerçekleştirilmiştir. Ağ yapısında en düşük boyut 0.25 mm olarak seçilmiştir (Şekil 4). Bu ağ yapısındaki düğüm ve elemanların sayısı sırasıyla 3.0×10^5 ve 1.6×10^6 dan fazla olmuştur.



Şekil 3. Mikro jet meme ve iletim borusunun geometrisi (a) ile memedeki su akış bölgesinin ağ yapısı (b).

Figure 3. Geometry of micro jet nozzle and pipe (a), and mesh structure of the water flow zone in the nozzle (b).



Şekil 4. Mikro jet meme çalışma hacmi geometrisi (a) ve su akış bölgesinin ağ yapısı (b).

Figure 4. Geometry of micro jet nozzle working volume (a), and mesh structure of the water flow zone (b).

HAD yöntemiyle akışın analizinde önemli noktalardan birisi uygun matematik modelin ortaya konmasıdır. Sıvının akış hareketi, kütle ve momentum korunum denklemleri ile tanımlanabilir. Newton tipi, sıkıştırılmaz ve sabit durumdaki akış koşulu için, özkütle (ρ) sabit iken kütle korunumu veya süreklilik denklemi şu şekilde tanımlanır (White 2001; ANSYS, 2016):

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (3)$$

Benzer şekilde, sıkıştırılmaz sabit viskoziteye sahip Newton tipi akışta, Navier-Stokes denklemlerinin vektör gösterimi şu şekilde tanımlanır:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla)v \right) = -\nabla p + \rho g + \mu \nabla^2 v \quad (4)$$

Denklemlerde; ∇ , vektör operatörü ($\nabla = \partial/\partial x + \partial/\partial y + \partial/\partial z$); V , ortalama hız vektörü; ρ , sıvının özkütlesi; p , statik basınç; g yerçekiminin ivmesi; μ , sıvının viskozitesidir (White 2001; ANSYS, 2016). Eşiklikte (4), sol tarafın ilk terimi ($\partial v/\partial t$) yerel ivme, ikincisi konvektif hızlanma terimi olarak adlandırılır. Sağ tarafta ilk terim basınç gradyanı, ikinci ve üçüncü olanlar ise sırasıyla kuvvet ve difüzyon terimleridir (Provenzano et al., 2005; Palau-Salvador et al., 2006; Provenzano et al., 2007; Vijapurapu & Cui, 2010).

Herhangi bir akış geometrisi için akış rejimi, Newton tipi akışlar için boyutsuz Reynolds sayısı ile tanımlanabilir (Munson et al., 2006):

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (5)$$

Eşitlikte; V , ortalama akış hızı ($m\ s^{-1}$); D , meme çapı (m); ν , kinematik viskozitesi ($m^2\ s^{-1}$) ($20^\circ C$ standart su sıcaklığı için $\nu=1.01 \times 10^{-6}\ m^2\ s^{-1}$).

Mikro jet memelerin çaplarının oldukça küçük olması (0.8 mm ile 1.73 mm) ve çalışma basınçlarının değişkenliği (100...400 kPa) ve iletim borusu çapının (4 mm) sabit olması nedeniyle akış hattındaki su iletim hızları büyük değişimler göstermekle birlikte oldukça düşük Reynolds sayıları görülmektedir. ANSYS Fluent 17.2 (ANSYS, 2016) teori rehberinde Standart k- ϵ ve Reliazable k- ϵ modelinin dönen homojen akışlar, jetler ve karıştırma katmanları dahil serbest ve ayrılmış akışlar olmak üzere çok çeşitli akışlar için kullanılabileceği ifade edilmektedir. Bu durumlar için Reliazable k- ϵ , modelin performansının standart modelinkinden önemli ölçüde daha iyi olduğu bildirilmiştir. ANSYS Fluent Flow Lab1.2, (ANSYS, 2007) tarafından borulardaki akış simülasyonları dikkate alındığında Reynolds sayıları ($Re > 10000$) için k- ϵ türbülans modelini ve $2000 < Re < 15000$ aralığındaki Reynolds sayıları için türbülans modellerinde, iyileştirilmiş duvar fonksiyonu (enhanced wall treatment) uygulamasını önermişlerdir. Tüm bu açıklamalar doğrultusunda modeller arasındaki farkları da görebilmek ve en uygun tahminleme modelini ortaya koyabilmek amacıyla çalışmada; Standard k- ϵ (Std k- ϵ) ve Reliazible k- ϵ (Reliz k- ϵ) türbülans modelleri dikkate alınmıştır. Türbülans modelleri ile uyumlu duvar fonksiyonları için standart duvar (Std Wall) ve iyileştirilmiş duvar fonksiyonu (Enh Wall) kullanılmıştır.

Ele alınan memelerin basınca bağlı debi değerlerinin en uygun türbülans modeli/modelleri ile saptanmasına yönelik ilk aşamadaki ANSYS akış analizlerinde; düzenli, sıkıştırılmaz, viskoz su seçilmiş ve yerçekimi etkisi dikkate alınmıştır. Giriş sınırı koşulu, basınç kabul edilerek çalışma basınçları 100, 150, 200, 250, 300, 350 ve 400 kPa ve çıkış sınırı koşulu ise 0 kPa (atmosferik basınç) olarak kabul edilmiştir. Çözüm kararlılığı ulaşıncaya kadar iterasyon uygulanmıştır.

İkinci aşamada ise belirlenen model/ler ile ıslatma çapının belirlenmesi ve su dağılım simülasyonun ortaya konmasına yönelik ANSYS akış analizlerinde; düzenli, sıkıştırılmaz, viskoz su seçilmiş ve yerçekimi etkisi dikkate alınmıştır. Giriş sınırı koşulu, hız büyüklüğü kabul edilerek, birinci aşamadaki basınç değerlerinde ilgili türbülans modeli ile hesaplanan giriş hız ve çalışma basınç değerleri ve çıkış sınırı koşulu ise 0 kPa (atmosferik basınç) olarak kabul edilmiştir. Bu aşamada çarpma plakasının etkisi olması nedeniyle ayrık faz modeli (DPM) ile giriş yüzeyinden, hesaplanan nominal basınçtaki hız değerinin düzensiz parçacık hareketi ile gireceği ve Rosin-rammler damla çapı dağılım modeli ile dağılacığı kabul edilmiştir. İletim borusu, meme ve çarpma plakasında seçilen DPM koşulları Çizelge 2'de verilmiştir. Çözüm kararlılığı ulaşıncaya kadar iterasyon uygulanmıştır.

Çizelge 2. İletim borusu, meme ve çarpma plakasında seçilen DPM koşulları**Table 2.** DPM conditions in pipe, nozzle and flapper

Parça	DPM koşulları	DPM çarpma-yansıma katsayıları	
		Normal	Tanjant
İletim borusu ve meme	Çarpma-yansıma	Sabit, 0	Polinomial, 0
Çarpma plakası	Çarpma-yansıma	Polinomial, 1	Polinomial, 10, 5, 3

Meme ve boru plastik malzemeden üretildiğinden ve yüzeyleri oldukça düşük pürüzlülük değerlerine sahip olduğundan tüm analizlerde yüzey pürüzlülüğü dikkate alınmamıştır. Tüm çözümlerde basit algoritmalar ve ikinci derece ayrıklaştırma şemaları kullanılmıştır. Çözüm yakınsama doğruluğu 1×10^{-5} olarak kabul edilmiştir.

İstatistik analiz

HAD modelleri kullanılarak tahmin edilen debi değerlerinin deneysel debi değerlerine ne ölçüde yaklaştığını ve en yakın tahmin eden modeli ortaya koymak amacıyla, ortalama mutlak hata (MAE), kök ortalama kare hata (RMSE) ve ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) kriterleri kullanılmıştır (Willmott & Matsuura, 2005; Willmott et al., 2012).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |q_{i,Olcum} - q_{i,HAD}| \quad (6)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_{i,HAD} - q_{i,Olcum})^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{q_{i,Olcum} - q_{i,HAD}}{q_{i,Olcum}} \right| \quad (8)$$

Eşitliklerde; $q_{i,Olcum}$ deneysel debi değerleri; $q_{i,HAD}$ simülasyon ile hesaplanan debi değerleri; n , veri sayısıdır.

ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Mikro jet yağmurlama başlıklarının farklı çalışma basınçlarındaki ölçüm sonuçlarına bağlı ortalama debileri (q), başlıkların özelliklerini belirten meme parametreleri (k , x) ve akış hızı aralığına göre Reynolds sayıları Çizelge 3'de verilmiştir. Ayrıca, HAD modelleri kullanılarak hesaplanan başlık debileri ve tahminlenen debilerin ölçülen debilere göre yüzde sapma değerleri de aynı çizelgede gösterilmiştir.

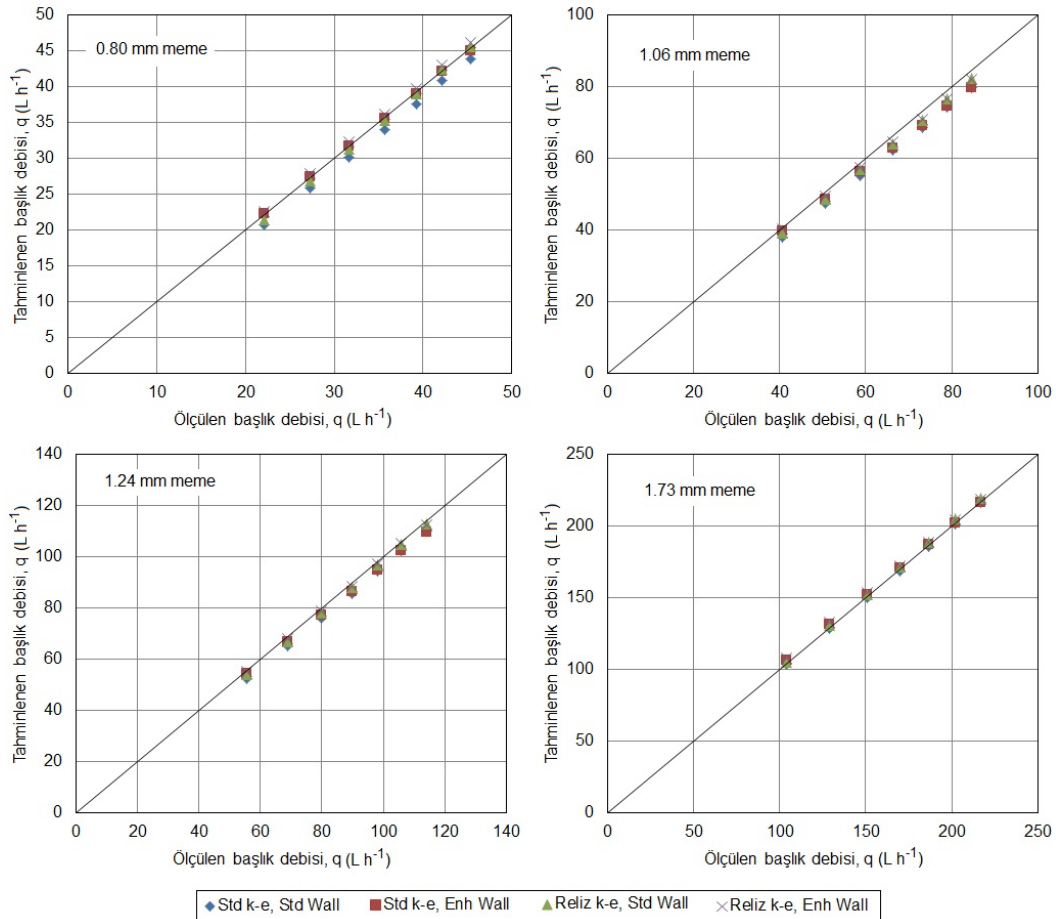
Akış üssü (x) değerleri, 0.5'e çok yakın bulunmuştur (Çizelge 3). Bulunan sonuçlar çeşitli araştırmacılar tarafından eşitlik 2'de verilen basınç üssü değeri ile de uyumlu olup, memedeki akış rejiminin türbülans olduğu söylenebilir (Boman, 1991; Singh et al., 1990). Başlıkların debi değerleri, basınç ve meme çapındaki artışa bağlı olarak artış göstermektedir. Hem meme çapları, hem de basınç değişimleri dikkate alınarak gerçekleştirilen HAD simülasyonlarında, seçilen türbülans modeline göre farklılıklar olmakla birlikte ölçülen başlık debilerine oldukça yakın debilerin tahminlendiği görülmektedir.

Mikro jet memelerin çaplarının oldukça küçük olması (0.8 mm ile 1.73 mm), çalışma basınçlarının değişkenliği (100...400 kPa) ve iletim borusu çapının (4 mm) sabit olması nedeniyle akış hattındaki su iletim hızları büyük değişimler göstermekle birlikte oldukça düşük Reynolds sayıları görülmüştür (9665 43932). Buradan da düşük Reynolds sayıları için ANSYS teori rehberinde belirtildiği gibi çalışmada seçilen $k-\epsilon$ türbülans modelinin uygun hesaplama modeli olduğu görülmektedir (ANSYS, 2007; ANSYS,

2016). Deneysel debi değerleri ile HAD modelleri kullanılarak tahmin edilen debi değerlerindeki sapma değerleri incelendiğinde, %6'lara varan değerlerle en yüksek sapmanın Std k-ε, Std Wall türbülans modeli uygulamasında olduğu görülmektedir. Bu HAD uygulamasında en düşük Reynolds sayılarında en büyük sapma değerleri hesaplanmıştır.

Çalışmada dikkate alınan HAD modellerinin performanslarını karşılaştırmak için ortalama mutlak hata (MAE), kök ortalama kare hata (RMSE) ve ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4'de verilmiştir. Ayrıca karşılaştırma kriterine ek olarak, dört HAD türbülans modeli için ölçülen ve tahmin edilen debiler arasındaki uyum Şekil 5'te gösterilmiştir.

HAD simülasyon modelleri arasında Std k-ε, Std Wall türbülans modeli uygulamasında 1.73 mm meme çapındaki tahminlerin dışındaki tüm tahminlerin, diğer model tahminlerinden daha düşük olduğu açıklıkla görülmektedir (Çizelge 4). Diğer üç türbülans modeli uygulamasında ise meme çapı değişimine bağlı tahminlerde iyileşmeler olmakla birlikte birbirlerine yakın tahminlerin olduğu görülmektedir. Bu modeller içerisinde tüm meme çapları dikkate alınarak ortak bir uygulama için Reliz k-ε, Enh Wall türbülans modelinin seçilebileceği, başlık debi değerinin ölçülen debiye göre çok düşük hata ile hesaplanabileceği söylenebilir (Şekil 5). Bu model ile nominal çalışma basıncı olan 200 kPa değerinde tüm meme çapları için debi değerlerinin en yüksek %2.16 gibi oldukça düşük bir hata değeri ile hesaplanabileceği ve başlık meme tasarımının simülasyon kullanılarak hızlı ve kolay bir şekilde yapılabileceği söylenebilir (Çizelge 3).



Şekil 5. Mikro jet sulama başlıklarının ölçülen ve tahminlenen debilerinin karşılaştırılması.

Figure 5. Comparison of measured and estimated flow rates of the micro jet sprinklers.

Çizelge 3. Mikro jet yağmurlama başlıklarının hidrolik özellikleri ve başlık debilerinin yüzde sapma değerlerine ilişkin sonuçlar**Table 3.** The results for micro jet sprinkler hydraulic properties and percentage deviation of nozzle flow rates

Meme çapı	Meme parametreleri		Meme çıkış hız aralığı	Reynolds sayısı aralığı	Çalışma basıncı	Ölçülen debi	HAD simülasyon modelleri							
	Akış katsayısı	Akış üssü					Std k-ε, Std Wall		Std k-ε, Enh Wall		Reliz k-ε, Std Wall		Reliz k-ε, Enh Wall	
<i>D</i>	<i>k</i>	<i>x</i>	<i>V</i>	<i>Re</i>	<i>H</i>	<i>q_{Ölcüm}</i>	Tahminlenen debi, <i>q_{HAD}</i>	Sapma*	Tahminlenen debi, <i>q_{HAD}</i>	Sapma*	Tahminlenen debi, <i>q_{HAD}</i>	Sapma*	Tahminlenen debi, <i>q_{HAD}</i>	Sapma*
(mm)	(L h ⁻¹ kPa ^{-x})	-	(m s ⁻¹)		(kPa)	(L h ⁻¹)	(L h ⁻¹)	(%)	(L h ⁻¹)	(%)	(L h ⁻¹)	(%)	(L h ⁻¹)	(%)
0.80	2.0309	0.5186	12.20-25.05	9665-19842	100	22.08	20.73	-6.11	22.37	1.31	21.52	-2.54	22.56	2.17
					150	27.33	25.85	-5.42	27.50	0.62	26.82	-1.87	27.85	1.90
					200	31.67	30.21	-4.61	31.78	0.35	31.35	-1.01	32.30	1.99
					250	35.70	34.07	-4.57	35.55	-0.42	35.38	-0.90	36.20	1.40
					300	39.26	37.58	-4.28	38.97	-0.74	39.04	-0.56	39.75	1.25
					350	42.19	40.83	-3.22	42.12	-0.17	42.43	0.57	43.04	2.01
					400	45.33	43.85	-3.26	45.07	-0.57	45.60	0.60	46.09	1.68
1.06	3.6098	0.5268	12.82-26.62	13459-27939	100	40.74	38.10	-6.48	39.68	-2.60	39.17	-3.85	40.24	-1.23
					150	50.70	47.39	-6.53	48.65	-4.04	48.74	-3.87	49.55	-2.27
					200	58.76	55.27	-5.94	56.26	-4.25	56.89	-3.18	57.49	-2.16
					250	66.25	62.25	-6.04	63.05	-4.83	64.12	-3.22	64.51	-2.63
					300	73.14	68.58	-6.23	69.12	-5.50	70.68	-3.36	70.84	-3.14
					350	78.82	74.42	-5.58	74.71	-5.21	76.73	-2.65	76.63	-2.78
					400	84.57	79.86	-5.57	79.89	-5.53	82.38	-2.59	82.01	-3.03
1.24	5.1430	0.5172	12.75-26.22	15651-32185	100	55.42	52.67	-4.96	54.35	-1.93	53.92	-2.71	55.27	-0.27
					150	68.86	65.41	-5.01	66.73	-3.09	66.99	-2.72	68.13	-1.06
					200	79.83	76.22	-4.52	77.29	-3.18	78.10	-2.17	79.05	-0.98
					250	89.86	85.78	-4.54	86.50	-3.74	87.93	-2.15	88.63	-1.37
					300	98.14	94.46	-3.75	94.89	-3.31	96.84	-1.32	97.26	-0.90
					350	105.87	102.46	-3.22	102.59	-3.10	105.05	-0.77	105.18	-0.65
					400	113.97	109.92	-3.55	109.76	-3.69	112.70	-1.11	112.54	-1.25
1.73	9.0737	0.5300	12.30-25.65	21063-43932	100	104.06	103.61	-0.43	106.63	2.47	105.36	1.25	107.78	3.57
					150	128.97	128.72	-0.19	131.43	1.91	130.78	1.40	132.84	3.00
					200	150.93	150.01	-0.61	152.27	0.89	152.37	0.95	153.85	1.93
					250	169.89	168.84	-0.62	170.62	0.43	171.48	0.94	172.30	1.42
					300	186.69	185.92	-0.41	187.21	0.28	188.81	1.14	188.98	1.23
					350	201.79	201.66	-0.06	202.48	0.34	204.79	1.49	204.36	1.27
					400	217.04	216.35	-0.32	216.74	-0.14	219.70	1.23	218.72	0.77

$$* 100 \cdot (q_{HAD} - q_{Ölcüm}) / q_{Ölcüm}$$

Bu değerlendirme dikkate alınarak memenin meme çıkışı ve çarpma plakası bölgesinde su dağılımının deneysel ve simülasyon sonuçları Reliz k-ε, Enh Wall türbülans modeli dikkate alınarak değerlendirilmiş ve örnek olması açısından bir meme çapı için sonuçlar karşılaştırmalı olarak Şekil 6'da gösterilmiştir. Gerek meme çıkışında gerekse çarpma plakası dağılım bölgesinde ve tüm alanda dağılımlar karşılaştırıldığında, yöntem bölümünde model seçim kriterleri dikkate alınarak gerçekleştirilen HAD simülasyonlarının, deneysel sonuçlarla örtüştüğü açıklıkla görülmektedir. Meme çaplarına bağlı ıslatma çapları değerlendirildiğinde, deneysel olarak 2.3 - 2.5 m aralığında ölçülen ıslatma çapları, HAD simülasyonunda 2.26 - 2.32 m aralığında hesaplanmış olup ölçülen değerlere oldukça yakın bulunmuştur. ıslatma çaplarının oluşumunda en önemli parça çarpma plakası ve plaka üzerinde yer alan kanalcıklar olmaktadır (Şekil 6). Memeden fırlatılan su hüzmesi çarpma plakasına çarptıktan sonra yüzeyin yapısına ve yüzeyde bulunan kanalcıklara bağlı olarak açılı bir şekilde dağıtılmaktadır. Çarpma plakasının uyguladığı yönlendirme nedeniyle, meme çapı ve basınç değişikliği fırlatma mesafesinde çok büyük farklılığa neden olamamıştır.

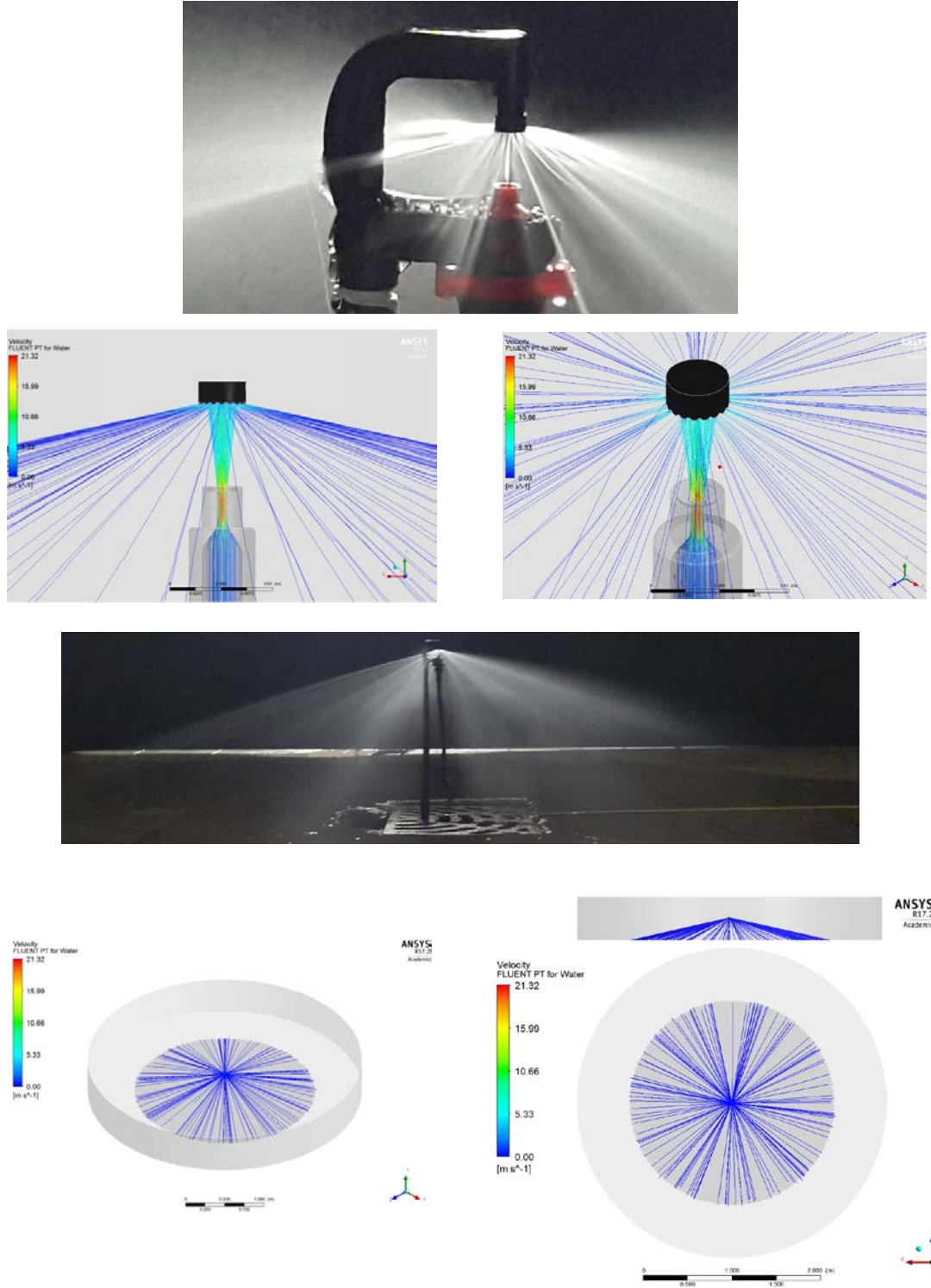
Sonuç olarak, mikro jet sulama başlık debi değerinin ölçülen debiye göre Reliz k-ε, Enh Wall türbülans modeli ile çok düşük hata ile hesaplanabileceği, meme çıkışı ve çarpma plakası bölgesinde su dağılımı simülasyonun deneysel değerlere oldukça yakın olduğu söylenebilir. Bu model ile nominal çalışma basıncı olan 200 kPa değerinde tüm meme çapları için debi değerlerinin en yüksek %2.16 gibi oldukça düşük bir hata değeri ile hesaplanabileceği ve başlık meme tasarımının simülasyon kullanılarak hızlı ve kolay bir şekilde yapılabilecektir.

Çizelge 4. Tüm simülasyon modelleri için MAE, RMSE ve MAPE sonuçları

Table 4. MAE, RMSE and MAPE results for all simulation models

Meme çapı D (mm)	İstatistik değerlendirme kriteri	HAD simülasyon modelleri			
		Std k-ε, Std Wall	Std k-ε, Enh Wall	Reliz k-ε, Std Wall	Reliz k-ε, Enh Wall
0.8	MAE	1.491	0.191	0.349	0.604
	RMSE	1.496	0.208	0.370	0.620
	MAPE (%)	4.496	0.597	1.148	1.772
1.06	MAE	3.873	3.089	2.039	1.673
	RMSE	3.936	3.312	2.055	1.807
	MAPE (%)	6.053	4.568	3.246	2.462
1.24	MAE	3.576	2.834	1.489	0.841
	RMSE	3.600	2.987	1.533	0.924
	MAPE (%)	4.223	3.150	1.850	0.926
1.73	MAE	0.609	1.230	1.989	2.780
	RMSE	0.687	1.503	2.075	2.874
	MAPE (%)	0.378	0.922	1.199	1.886

MAE: Ortalama Mutlak Hata; RMSE Kök Ortalama Kare Hata; MAPE: Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi



Şekil 6. Mikrojet 1.06 mm çaplı memenin meme çıkışı ve çarpma plakası bölgesinde su dağılımının deneysel ve simülasyon (Reliz $k-\epsilon$, Enh Wall) sonuçları.

Figure 6. Experimental and simulation (Reliz $k-\epsilon$, Enh Wall) results of the water distribution in the nozzle outlet and flapper zone of the microjet with 1.06 mm diameter nozzle.

KAYNAKLAR

- ANSYS, 2016. Fluent Theory Guide, Release 17.2, ANSYS, Inc.
- ANSYS, 2007. ANSYS Fluent Flow Lab1.2, ANSYS, Inc.
- ASAE Standard, 1995. ASAE S398.1, Procedure for Sprinkler Testing and Performance Reporting. ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- Benami, A. & A. Ofen, 1993. Irrigation Engineering. Irrigation Engineering Scientific Publications, Hafia, Israel.
- Bhaskar, K.U., Y.R. Murthy, M.R. Raju, S. Tiwari, J.K. Srivastava & N. Ramakrishnan, 2007. CFD simulation and experimental validation studies on hydrocyclone. Minerals Engineering, 20:60-71. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2006.04.012>
- Boman, B. J., 1991. Micro tubing effects on microsprinkler discharge rates. Transactions of the ASAE, 34(1):51-56. <https://doi: 10.13031/2013.31631>
- Demir, V., 1997. Mikro Sulama Sistemlerini Oluşturan Elemanların Teknik Özelliklerinin ve Bu Sistemlerdeki Sürtünme Kayıplarının Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Basılmamış) Doktora Tezi, İzmir, 211 s.
- Demir, V., H. Yürdem, T. Günhan & A. Yazgı, 2017. Damla sulama sistemlerinde kullanılan hidrosiklon filtrelerde basınç kaybı ve ayırma etkinliğinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi ile belirlenmesi. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 13 (1): 55-67.
- Demir, V., H. Yürdem, A. Yazgı & T. Günhan, 2020. Determination of the hydraulic properties of a flat type drip emitter using computational fluid dynamics. Tarım Bilimleri Dergisi - Journal of Agricultural Sciences, 26(2): 226-235. <https://doi: 10.15832/ankutbd.492686>
- Demirel, Ç. & V. Demir, 2015. Mini yağmurlama sulama başlıklarının teknik özelliklerinin incelenmesi ve debi değerlerinin tahminlenmesinde kullanılabilecek bir matematiksel modelin geliştirilmesi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 30 (2015): 118-125. <https://doi: 10.7161/anajas.2015.30.2.118-125>
- Güngör, Y. & O. Yıldırım, 1989. Tarla Sulama Sistemleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara, No:1155, 325 s.
- Hills, D.J., R.C.M. Silveria & W.W. Wallender, 1986. Oscillating pressure for improving application uniformity of spray emitters. Transactions of the ASAE, 29 (4):1080-1085. <https://doi: 10.13031/2013.30273>
- Hsieh, K.T., 1988. Phenomenological Model of the Hydrocyclone, University of Utah, Dept. of Metallurgy and Metallurgical Engineering, Ph.D Thesis, Utah,143 pp.
- ISO Standard, 1985. ISO 8026, Agricultural Irrigation Equipment - Sprayers - General Requirements and Test Methods. International Organization for Standardization.
- Keller, J. & R. D. Bliesner, 1990. Sprinkler and Trickle Irrigation. An Avi Book, Van Nostrand Reinhold Pub., New York. Pereira L.S.
- Korukçu, A. & O. Yıldırım, 1981. Yağmurlama Sistemlerinin Projelenmesi. Topraksu Gn. Müd. Yayınları, Ankara.
- Munson B.R., D.F. Young & T.H. Okiishi, 2006. Fundamentals of Fluid Mechanics. 6th Edition, J. Wiley and Sons.
- Nir, D., 1982. Drip Irrigation. In: Finkel,H.J (Ed), Handbook of Irrigation Technology. Vol.1.CRC. Press, Inc., 2000 N.W. 24th Street, Boca Raton, Florida 33431.
- Palau-Salvador, G., J. Arviza-Valverde & V. Bralts, 2004. Hydraulic flow behaviour through an in-line emitter labyrinth using CFD techniques. In: Proceedings of the ASAE/CSAE Annual International Meeting, 1-4 August, Ottawa, Canada, pp. 1-8. <https://doi: 10.13031/2013.16437>
- Palau-Salvador G., L.H. Sanchis, P. González-Altozano & J. Arviza-Valverde, 2006. Real local losses estimation for on-line emitters using empirical and numerical procedures. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE, 132(6): 522–530. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2006\)132:6\(522\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2006)132:6(522))
- Philipova, N., N. Nikolov, G. Pichurov & D. Markov, 2009. A mathematical model of drip emitter discharge depending on the geometric parameters of a labyrinth channel. In: 11th National Congress on Theoretical and Applied Mechanics, 2-5 September, Borovets, Bulgaria, pp. 1-6.

- Post, S.E.C., D.E. Peck, R. Abrenoler, N.J. Sakovich & L. Waddle, 1985. Evaluation of non-overlapping, low-flow sprinklers. Drip/Trickle Irrigation in Action, Proc. Third Inter'l. Drip/Trickle Irrig.Cong. 1: Pg.294-305, ASAE St.Joseph, Michigan, 49085.
- Post, S.E.C., D.E. Peck, R. Abrenoler, N.J. Sakovich & L. Waddle, 1986. Evaluation of Low-Flow Sprinklers. California Agriculture, July-August, 27-29.
- Provenzano, G., D. Pumo, P. Di Dio, J. Arviza-Valverde & G. Palau-Salvador, 2005. Assessing a computational fluid dynamics technique (CFD) to evaluate pressure losses in co-extruded drip laterals. In: Proceedings of the ASAE International Meeting, 17-20 July, Tampa Florida, Paper Number: 052212, pp. 1-12. <https://doi.org/10.13031/2013.19030>
- Provenzano, G., P. Di Dio & G. Palau-Salvador, 2007. New computational fluid dynamic procedure to estimate friction and local losses in coextruded drip laterals. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE, 133(6): 520-527. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2007\)133:6\(520\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:6(520))
- Singh, J., A.K. Singa, S. Jain, R. Gars & I.N. Nathur, 1990. Micro sprinklers performance evaluation and constraint for its adaption. XI. International Congress on the Use of Plastics in Agriculture Pg.B.79-B.87. New Delhi.
- Türk Standardı, 2007. TS ISO 7749-1, Tarımsal Sulama Donanımları-Döner Yağmurlama Başlıkları Bölüm 1: Tasarım ve İşletme Kuralları. Türk Standardları Enstitüsü, Necatibey Caddesi No.112 Bakanlıklar/Ankara.
- Vijapurapu S. & J. Cui, 2010. Performance of turbulence models for flows through rough pipes. Applied Mathematical Modelling, 34(6): 1458-1466. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2009.08.029>
- Wang W., F. Wang & F. Zhao, 2006. Simulation of unsteady flow in labyrinth emitter of drip irrigation system. Computers in Agriculture and Natural Resources, 4th World Congress Conference, 24-26 July, Florida, ASABE Publication Number 701P0606, 630-635 pp.
- Wang, L., Z. Zheng, Y. Wu, J. Guo, J. Zhang & C. Tang, 2009. Numerical and experimental study on liquid-solid flow in a hydrocyclone. Journal of Hydrodynamics, 21(3): 408-414. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(08\)60164-X](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(08)60164-X)
- Wei Q., Y. Shi, W. Dong, G. Lu & S. Huang, 2006. Study on hydraulic performance of drip emitters by computational fluid dynamics. Agric. Water Management 84(1-2): 130-136. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.01.016>
- Wu D., Y. K. Li, H.S. Liu, P.L. Yang, H.S. Sun & Y. Z. Liu, 2013. Simulation of the flow characteristics of a drip irrigation emitter with Large Eddy Methods. Mathematical and Computer Modelling, 58(3-4): 497-506. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2011.10.074>
- Willmott, C. J. & K. Matsuura, 2005. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. Climate Research, 30: 79-82. <https://doi.org/10.3354/cr030079>
- Willmott, C. J., S. M. Robeson & K. Matsuura, 2012. A refined index of model performance. International Journal of Climatology, 32: 2088-2094. <https://doi.org/10.1002/joc.2419>
- Yan, H., Y. Ou, K. Nakano & C. Xu, 2009. Numerical and experimental investigations on internal flow characteristic in the impact sprinkler. Irrig Drainage Syst, 23: 11-23. <https://doi.org/10.1007/s10795-009-9061-2>
- Yerdani, A. & Z. Rubinstein, 1991. Development of Dynamic Mini-Sprinkler With High Clogging Resistance. Agroteam Consultans Ltd., P.O.B 116, Israel. 53-56 pp.
- Zhang, J., W. Zhao, Z. Wei, Y. Tang & B. Lu, 2007. Numerical and experimental study on hydraulic performance of emitters with arc labyrinth channels. Computer and Electronics in Agriculture, 56(2): 120-129. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.01.007>
- Zhang, Y., B. Sun, H. Fang, D. Zhu, L. Yang & Z. Li, 2018. Experimental and simulation investigation on the kinetic energy dissipation rate of a fixed spray-plate sprinkler. Water, 10(10): 1365, 1-13. <https://doi.org/10.3390/w10101365>