



## Araştırma Makalesi (Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2022, 59 (1):147-160  
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.943702>

Vedat DEMİR<sup>1</sup>

Tuncay GÜNHAN<sup>1</sup>

Hamdi BİLGİN<sup>1</sup>

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

\* Sorumlu yazar (Corresponding author):

[vedat.demir@ege.edu.tr](mailto:vedat.demir@ege.edu.tr)

**Anahtar sözcükler:** HAD, türbülans modelleri, havalandırma fanı, hava hareketi

**Keywords:** CFD, turbulence models, ventilation fan, air movement

# Tarımda kullanılan büyük çaplı tavan tipi vantilatörde hava akışının hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile incelenmesi

Investigation of air flow in large diameter ceiling fans used in agriculture with computational fluid dynamics

Received (Alınış): 28.05.2021

Accepted (Kabul Tarihi): 08.08.2021

## ÖZ

**Amaç:** Bu çalışmada iki farklı dönme dairesi çapına sahip tavan tipi vantilatörün hava hareketlerinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemiyle ortaya konulması ve en uygun türbülans modelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

**Materyal ve Yöntem:** İlk aşamada, tavan tipi vantilatörlerin fan merkezinden belirli uzaklıklardaki eksenel yöndeki hava hızı değişimleri ölçülmüştür. Bu amaçla zeminden iki farklı yükseklik (1.0 ve 1.5 m) dikkate alınmıştır. İkinci aşamada farklı türbülans modelleri ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği analiz yöntemiyle hesaplanan değerler, ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır.

**Araştırma Bulguları:** Sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, en düşük MAE ve NRMSD değerleri 4 m dönme dairesi çapı için Spalart Allmaras ve SST k- $\omega$  modellerinde, 5 m dönme dairesi çapı için SST k- $\omega$  modelinde bulunmuştur. Grafik karşılaştırmalar incelendiğinde SST k- $\omega$  modelinin diğer modellere göre az da olsa daha iyi tahminlemeyi gerçekleştirdiği görülmektedir.

**Sonuç:** HAD simülasyon modellerinin çözüm yaklaşımları birbirine oldukça yakın bulunmuştur. Türbülans modelinin uygun seçimi ve iyi yapılandırılmış ağ yapısı ile zeminden belirli yükseklikteki noktalarda HAD simülasyonu ile deneysel verilere çok yakın tahminlerin elde edilebileceği ortaya konulmuştur.

## ABSTRACT

**Objective:** The objective of this study was to determine the air movements of the ceiling fan with two different rotation circle diameter by using Computational Fluid Dynamics (CFD) method and select the most suitable turbulence model.

**Material and Methods:** In the first stage, the air velocity changes in the axial direction of ceiling fans at certain distances from the fan center were measured. For this purpose, two different heights (1.0 and 1.5 m) from the ground were taken into account. In the second step, the values calculated by the computational fluid dynamics analysis method using different turbulence models were compared with the measurements.

**Results:** The results were evaluated statistically. The lowest MAE and NRMSD values were found by using the Spalart Allmaras and SST k- $\omega$  models for fan with a 4 m rotation circle diameter, and the SST k- $\omega$  model for fan with a 5 m rotation circle diameter. Based on the graphical comparisons, it can be stated that the SST k- $\omega$  model made slightly better estimations than the other models.

**Conclusion:** The solution approaches of the CFD simulation models were found to be close to each other. The appropriate selection of the turbulence model and considering the well-designed mesh structure, it has been shown that estimates that are very close to experimental data can be obtained by CFD simulation at certain heights above the ground.

## GİRİŞ

Tarımsal işletmelerde üretimin yapısına bağlı olarak çevresel iklim faktörleri önemli rol oynamaktadır. İklim faktörlerinden havalandırma, özellikle hayvansal üretimde açık, yarı açık veya kapalı hayvan barınaklarında ve seralarda üretime önemli düzeyde etki etmektedir.

Çiftlik hayvanlarında normal vücut sıcaklıkları, türlere ve yetiştirmeye bağlı olarak değişim göstermekle birlikte büyükbaş çiftlik hayvanlarında yaklaşık 38°C, kanatlılarda 41.7°C civarındadır. Diğer canlılarda olduğu gibi, çiftlik hayvanlarında da vücudun tüm tepkileri büyük ölçüde ortamın sıcaklığına bağlı olup, etkide bulunan tüm hücreler bu vücut sıcaklığını dengede tutacak şekilde koşullanmaktadır. Vücut sıcaklığı, ortam havası sıcaklığından yüksek olduğunda vücuttan dış ortama sürekli ısı kaybı, tersi koşullarda ise dış ortamdan vücuda sürekli ısı iletimi olmaktadır. Bu durumda vücut sıcaklıklarının söz konusu sınırlarda tutulması, vücuttan olan ısı üretimi ve ısı yayılımının dengelenmesi ile mümkün olmakta ve hayvanlar bunu metabolik yolla gerçekleştirmektedir. Hayvanların yüksek sıcaklıklarda uzun süre kalmaları durumunda, yem tüketimleri ve tiroid etkinlikleri azalmakta, bunun sonucunda metabolik hızda düşüşler olmaktadır. Yüksek sıcaklığın olumsuz etkisinin, ortamdaki yüksek oransal nem ile daha da arttığı görülmektedir. Bunun nedeni terleme ile vücuttan buharlaşmanın çok azalması sonucunda buharlaşmanın oluşturacağı serinletme etkisinin ortadan kalkması ile açıklanabilir. Vücut sıcaklığının dengede tutulmasında, sıcaklık ve nem yanında hava hızının da etkisi önemli bir parametre olup, hava hızındaki artış, taşınım ve buharlaşma ile olan ısı yayımlarını kolaylaştırmaktadır (Mutaf, 2012).

Havalandırma, doğal ve zorlamalı olmak üzere iki yöntemle gerçekleştirilmektedir. Zorlamalı havalandırmada yaygın olarak vantilatörler yatay veya düşey konumda uygun aralıklar ile yetiştirme bölgelerinin içine yerleştirilerek, uygun hava debileri ve hızları sağlanarak havalandırma işleminde kullanılmaktadır. Havalandırma vantilatörleri, büyükbaş ve kümes hayvanları için kapalı hayvan barındırma tesislerindeki mekanik havalandırma sistemlerinin temel bileşenleri içerisinde yer almaktadır. Vantilatörler, hem hava akışı hem de hava değişimi oluşturarak ortamın hem hava değişimini hem de serinlemesine katkı sağlayarak sıcak ortamlarda termal konforu arttırmaktadır. Vantilatörlerin taşıdığı temiz hava, hayvanlara oksijen sağlamak ve tesisten fazla ısıyı, nem ve havadaki kirleticileri uzaklaştırmaktadır. Gerekli hava değişim miktarı hayvan boyutuna, stok yoğunluğuna, türüne ve gelen hava sıcaklığına bağlı değişim göstermektedir (Casey et al., 2008). Tavan vantilatörleri, kapalı bir ortamda termal konfor sağlamanın en düşük maliyetli yollarından biridir (Babich et al., 2017; Casseer & Ranasinghe, 2019).

Zorlamalı havalandırmada kullanılan vantilatörlerden birisi de tavan tipi vantilatörler olup yapının tavanına düşey olarak bağlanarak aksiyal akışlı hava hareketini sağlamaktadır. Tavan vantilatörlerini modellemek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) simülasyon yöntemiyle ilgili az sayıda araştırma mevcut olup, bu çalışmalar yoğunlukla evsel kullanımda olan küçük boyutlu vantilatörler ile ilgilidir.

Momoi et al. (2004), 1.3 m çapında 3 kanatlı tavan tipi vantilatör kullanarak 3x3x3 m boyutlarındaki bir hacim içinde ölçüm ve HAD simülasyonuna dayalı karşılaştırmalar yapmıştır. Standart k-ε türbülans modeli ile HAD analizlerini gerçekleştirerek fan ekseninden itibaren 1.2 m lik bölümdeki aşağı ve yukarı yönlü hava dağılımlarını incelemiş, sonuçların uyumlu olduğunu vurgulamıştır. Ağ yapısı ve diğer akış modellerinin de ileriki çalışmalarda araştırılması gerektiğini vurgulamıştır. Momoi et al. (2007), bir önceki çalışmalarına ilave olarak Reynolds Stress Model (RSM) türbülans modelini de dikkate alarak çalışmalarını geliştirmiştir. Babich et al. (2017), 3 kanatlı 1.2 m süpürme uzunluğu olan bir tavan vantilatörünü kontrollü ortamda ölçülen verilerle, üç boyutlu HAD modelini farklı türbülans modelleri kullanılarak elde ettikleri simülasyon sonuçları ile karşılaştırmıştır. Bu tavan vantilatörü için Standart k-ε, Standart k-ω, RNG k-ε ve SST k-ω türbülans modelleri içinden SST k-ω türbülans modeli kullanıldığında en iyi sonuçların elde edildiğini açıklamıştır. Bassiouny & Korah (2011), vantilatör ile yapılan simülasyon çalışmalarında akış modelini tahmin etmek için analitik ve HAD için sadece Standart k-ε türbülans

modelini kullanmıştır. Farklı devir sayılarında çalıştırdıkları vantilatör için sayısal ve matematiksel sonuçları, deneysel verilerle karşılaştırmıştır. Akış düzeninin fanı terk edip yere doğru ilerledikçe farklı özelliklere sahip olduğunu ve çok farklı bir sapma açısında ve hatta geri dönüşlerin olduğunu ifade etmişlerdir. Zhu et al. (2014), tavan vantilatörlerinin hava karıştırma durumunun yanında dezenfeksiyon etkinliğini belirlemek üzere yaptıkları çalışmada, vantilatörün kapalı bir oda içerisinde farklı giriş hızları ve devir sayılarında çalışması durumunda simülasyonlar gerçekleştirmiştir. Araştırmacılar, Standart k-ε modeline göre dönüş akışlarının modellenmesinde daha iyi sonuçlar göstermesi nedeniyle Reliazable k-ε türbülans modelini simülasyonlarda kullanmıştır. Adeeb et al. (2015), farklı sayıda fan kanatların etkisi üzerinde çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Chen et al. (2018), 3 kanatlı 1.5 m çapındaki tavan vantilatörü ile ilişkili iç mekan hava dağılımını ortaya koymak için farklı fan dönüş hızı, kanat geometrisi, fan-tavan arası mesafe için ölçümler ve Standart k-ε türbülans modeli kullanarak HAD ile simülasyon gerçekleştirmiştir. Genel olarak, incelenen farklı vantilatör kanat tipleri için her yükseklikte silindirik bölge içindeki ortalama hızların çok benzer olduğunu belirtmiştir. Casseer & Ranasinghe (2019), Standart k-ε, Standart k-ω, RNG k-ε ve Spalart Allmaras türbülans modelleri kullanarak 3 kanatlı 1.4 m çapındaki bir tavan vantilatörünün hava hızı dağılımını farklı fan dönüş hızlarında incelemiştir. Spalart Allmaras modelinin deneysel verilere en yakın sonuçları veren türbülans modeli olduğunu belirtmiştir. Raftery et al. (2019), tavan vantilatörlerinin oda boyutu, fan çapı, türü, hızı, yukarı veya aşağı yön, kanat yüksekliği ve fan-tavan arası mesafe gibi çeşitli faktörleri dikkate alarak iç mekanda hava hızlarını deneysel olarak belirlemiştir. Bu etkenlerden en önemlilerinin hız, çap ve yön olduğunu belirtmiş ve boyutsuz doğrusal modeller ortaya koymuştur.

Tarımsal işletmeler başta olmak üzere büyük hacimlerde kullanılacak, dönme çapı büyük tavan vantilatörlerinin hava hareketlerini tahmin ederek, bu konuda çalışan imalatçılara temel parametreleri sağlayacak doğru simülasyon modellerine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışmada tarımsal işletmelerde kullanılan iki farklı dönme dairesi çapına sahip tavan tipi vantilatörün hava hareketlerinin deneysel ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle ortaya konması amaçlanmıştır.

## MATERYAL ve YÖNTEM

### Deneysel çalışmalar

Çalışmada ele alınan tavan tipi vantilatörün fan kanatları 5 adetten oluşmaktadır (Şekil 1 ve Şekil 2). Kanatlar 2.5 mm kalınlığında alüminyum profil malzemeden ekstruderde özel form verilerek imal edilmiştir. Dönme dairesi çapı 4 m olan vantilatörde kullanılan elektrik motorunun çalışma voltajı 3 faz 400 V, verimliliği %83.7, çektiği akım 1.79 A, devir sayısı 1415 min<sup>-1</sup>, cosφ değeri 0.72 ve gücü 0.75 kW olup motora akuple edilmiş bir redüktör ile vantilatör 109 min<sup>-1</sup> devirde dönmektedir. Dönme dairesi çapı 5 m olan vantilatörde kullanılan elektrik motorunun çalışma voltajı 3 faz 400 V, verimliliği %85.3, çektiği akım 2.38 A, devir sayısı 1430 min<sup>-1</sup>, cosφ değeri 0.78 ve gücü 1.1 kW olup motora akuple edilmiş bir redüktör ile vantilatör 98 min<sup>-1</sup> devirde dönmektedir.

Vantilatörler, çevresel etkilerden arındırılmış, yan duvarlardan oluşabilecek geri dönüş hava akımlarından etkilenmeyecek uzunluk, genişlik ve yükseklikte (50x30x7.5 m) tamamen kapalı alanda test edilmiştir. Vantilatörler yapının tavanına, kanatlar zemine paralel olacak şekilde asılmıştır. Dönme dairesi çapı 4 m olan vantilatörde fan ile tavan arası mesafe 3.1 m ve fanın zemin ile olan mesafesi 4.4 m ölçülmüştür. Dönme dairesi çapı 5 m olan vantilatörde ise fan ile tavan arası mesafe 2.9 m ve fanın zemin ile olan mesafesi 4.6 m ölçülmüştür.

Denemeler öncesinde ve denemeler esnasında ortam havası sıcaklığı 33.5°C ve nemi %31 olarak dijital sıcaklık ve nem ölçer (Testo 410-2, Germany) ile ölçülmüştür. Denemeler, ASAE Standard (2016) ASAE EP566.2 JUN2012 (R2016) standardı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Vantilatörün hava hızı dağılımının belirlenmesi amacıyla dijital (Testo 410-2, Germany) ve analog (Wilh Lambrecht vane

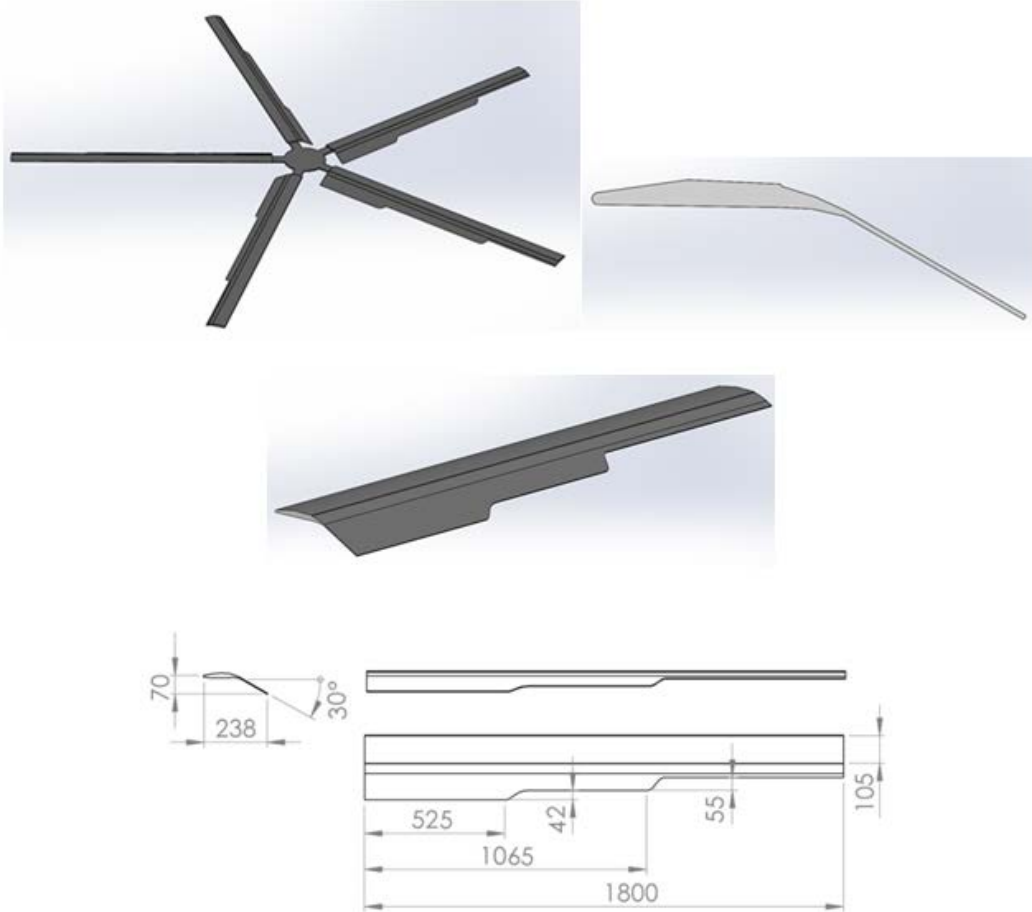
anemometer, Germany) iki adet pervane tipi rüzgar hızı ölçer kullanılmıştır. Vantilatör merkezinin düşey izdüşümünden başlayarak, her iki doğrultuda yatay bir hat boyunca 1 m aralıklar ile ölçüm noktaları belirlenmiştir. Vantilatör çalışmaya başlayıp stabil çalışma koşulları oluşuktan sonra, her bir ölçüm noktasında vantilatör düşey eksenini yönündeki hava hızı değerleri belli bir süre boyunca ölçülerek ortalama değerler kaydedilmiştir. Çalışma kapsamında özellikle büyükbaş hayvan yetiştiriciliği gerçekleştirilen yapılarda hayvan refahını artırmak amacıyla bu tip vantilatörlerin kullanıldığı dikkate alınarak, hayvan vücut bölgesi civarı (Genç, 2018; Koç & Akman, 2007; Yaylak ve ark., 2015) olan zeminden (h) 1.0 ve 1.5 m yüksekliklerde ölçümler gerçekleştirilmiştir.

### HAD analiz çalışmaları

Hava hızı akış analizleri, ticari HAD yazılımı ANSYS Fluent 17.2 kullanılarak yapılmıştır (ANSYS, 2016).

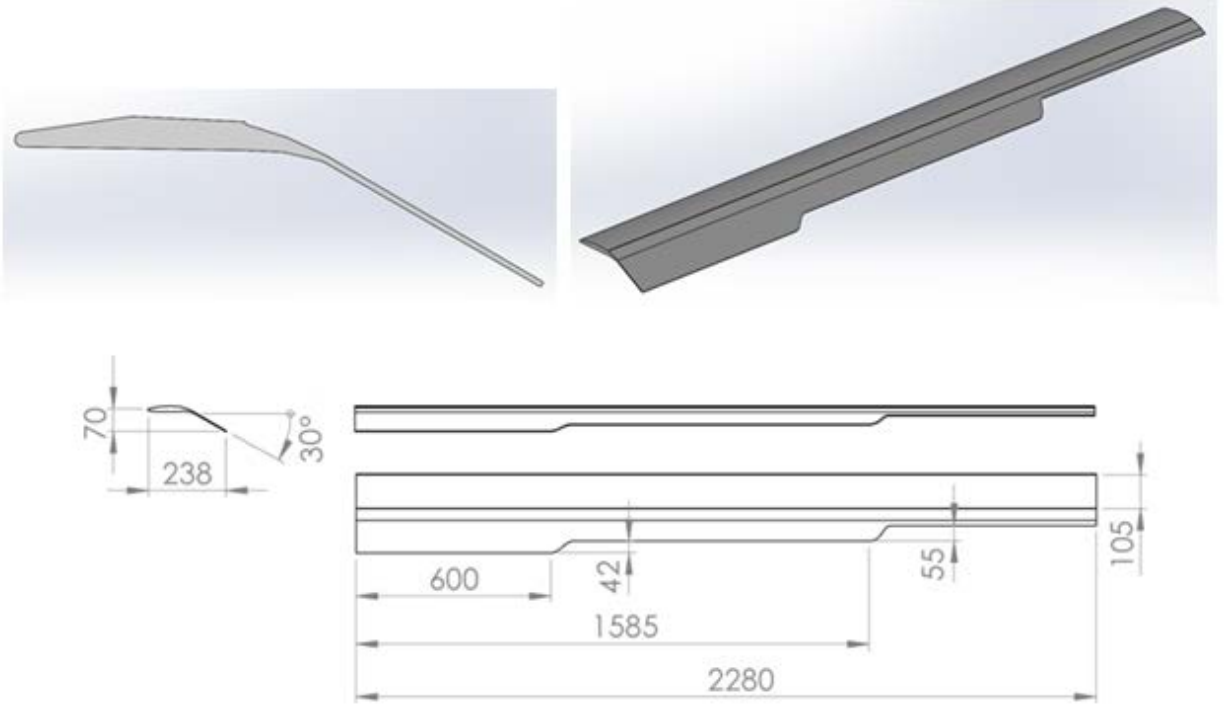
### Geometrik model ve ağ yapısı

Dönme dairesi çapı 4 m ve 5 m olan tavan tipi vantilatörün fan kanadına ait genel özellikler ve teknik ölçüler sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.



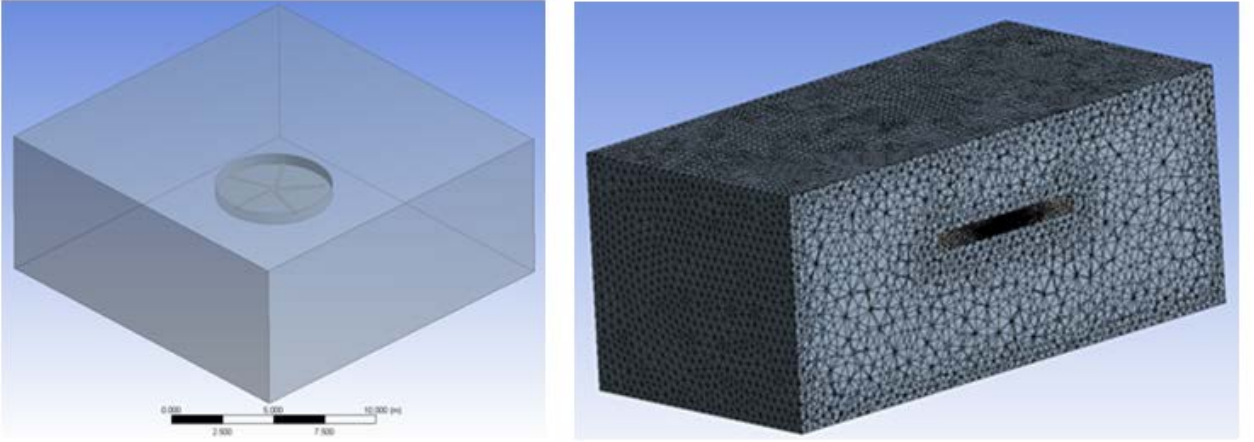
Şekil 1. Dönme dairesi çapı 4 m olan tavan tipi vantilatörün kanadı.

Figure 1. Blade of ceiling type fan with a 4 m rotation circle diameter.



**Şekil 2.** Dönme dairesi çapı 5 m olan tavan tipi vantilatörün kanadı.

**Figure 2.** Blade of ceiling type fan with a 5 m rotation circle diameter.



**Şekil 3.** HAD simülasyonlarında kullanılan deneme odası hava hacminin geometrisi ve hava akış bölgesinin ağ yapısı.

**Figure 3.** Geometry of air volume in test chamber and mesh structure of air flow zone used in CFD simulations.

### HAD yöntemi

Vantilatör fan kanatlarının hareketlerinin simülasyonu için önceki bir çok çalışmada da dikkate alınan Hareketli Referans Çerçeve (Moving Reference Frame) yöntemi kullanılmıştır (Chen et al., 2018; Casseer & Ranasinghe, 2019). Bu yöntemde, eylemsiz referans çerçevede hareket eden bir cisim, hareketli bir referans çerçevesine göre durgun hale getirilmektedir. Dönen çerçeve durgun çerçeveye göre hareket halinde

olduğundan, vektör miktarları iki bölge arasındaki ara yüzlerde işlenerek hesaplamalar gerçekleştirilmektedir. HAD için hesaplama alanı, hareketli referans çerçevesine göre tanımlanmaktadır. Hızlar, aşağıdaki ilişki kullanılarak sabit çerçeveden hareketli çerçeveye dönüştürülebilmektedir (ANSYS, 2016);

$$\vec{v}_r = \vec{v} - \vec{u}_r \quad (1)$$

Eşitlikte;

$$\vec{u}_r = \vec{v}_t + \vec{\omega} \times \vec{r} \quad (2)$$

Eşitliklerde;  $\vec{v}_r$ , bağıl hız (hareketli çerçeveden görüntülenen hız);  $\vec{v}$ , mutlak hız (sabit çerçeveden görüntülenen hız);  $\vec{u}_r$ , hareketli çerçevenin eylemsiz referans çerçevesine göre hızı;  $\vec{v}_t$ , öteleme çerçeve hızı;  $\vec{\omega}$ , açısal hız ve  $\vec{r}$ , hareketli çerçevenin merkezinde olan konum vektörüdür. Çalışmada ANSYS Fluent'te momentum denklemlerinde mutlak hız formülasyonu kullanılarak çözümler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada HAD analizleri için çeşitli araştırmacılar tarafından da önerilen Spalart Allmaras (SA), Reliazable k-epsilon (Reliz k-ε), Renormalization Group k-epsilon (RNG k-ε), SST k-omega (SST k-ω) türbülans modelleri dikkate alınmıştır (Zhu et al., 2014; Babich et. al., 2017; Casseer & Ranasinghe, 2019).

ANSYS akış analizlerinde; akışkan olarak hava seçilmiş, kararlı ve viskoz akış kabul edilmiştir. Simülasyonlarda giriş ve çıkış sınırı koşulları ortam atmosfer basıncı olacak şekilde kabul edilmiştir. Tüm çözümlerde basit algoritmalar ve ikinci dereceden ayrıklaştırma şemaları kullanılmıştır. Çözüm yakınsama doğruluğu  $1 \times 10^{-5}$  olarak kabul edilmiştir.

### İstatistik analiz

DeneySEL hız verileri ile HAD akış modelleri kullanılarak tahmin edilen veriler arasındaki farkları karşılaştırmak için ortalama mutlak hata (MAE) ve normalize edilmiş ortalama karekök hata sapması (NRMSD) kullanılmıştır (Ding et al., 2017; Casseer & Ranasinghe, 2019). Aşağıda verilen bu karşılaştırma kriterlerinin en düşük değerleri en yüksek model tahminini temsil etmektedir.

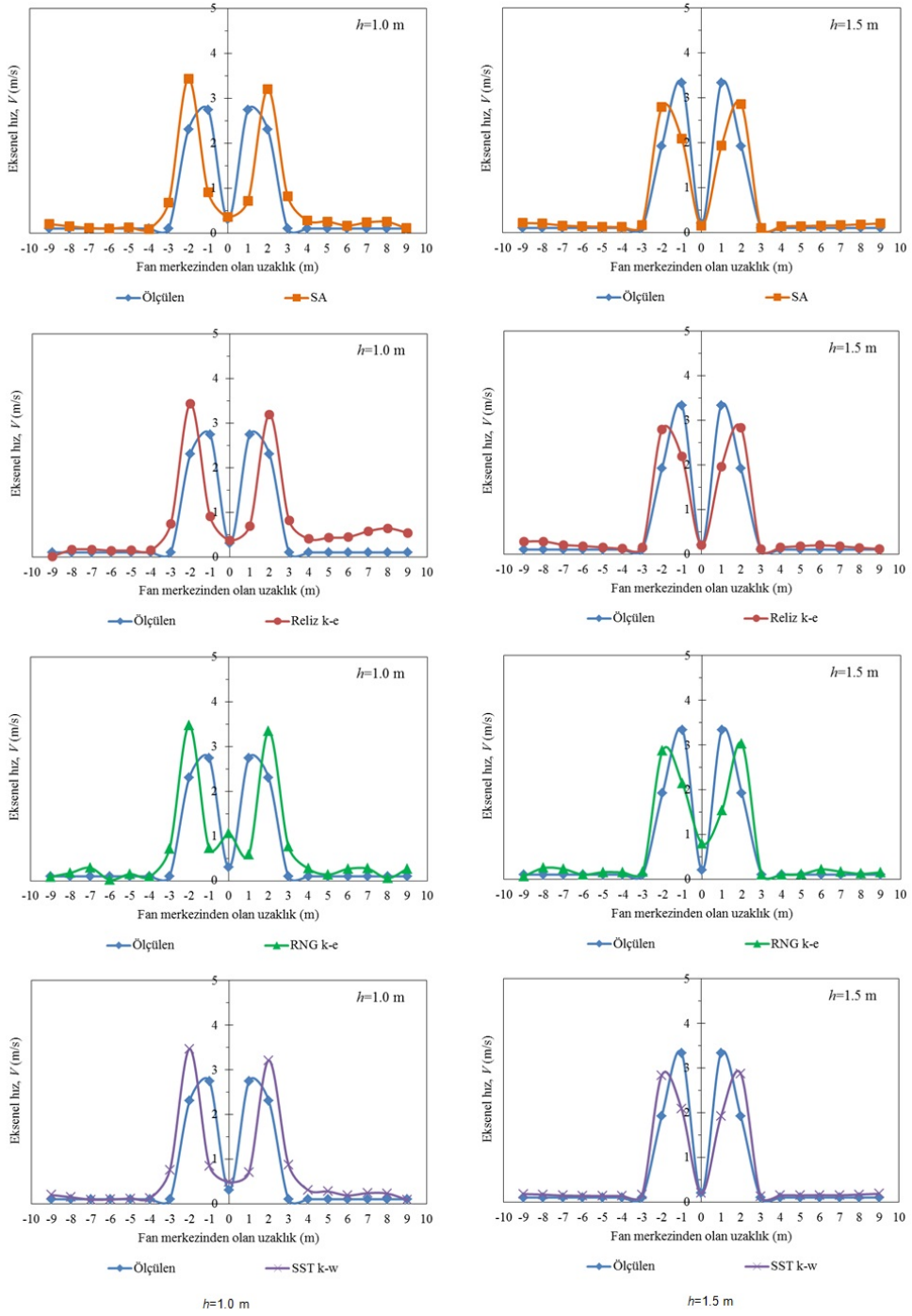
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |V_{i,Deneme} - V_{i,HAD}| \quad (3)$$

$$NRMSD = \frac{\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_{i,HAD} - V_{i,Deneme})^2 \right]^{1/2}}{(V_{i,HADmax} - V_{i,HADmin})} \quad (4)$$

Eşitliklerde;  $V_{i,Deneme}$  deneme ile ölçülen hız değerleri,  $V_{i,HAD}$  HAD simülasyon ile hesaplanan hız değerleri,  $n$  ise veri sayısıdır.

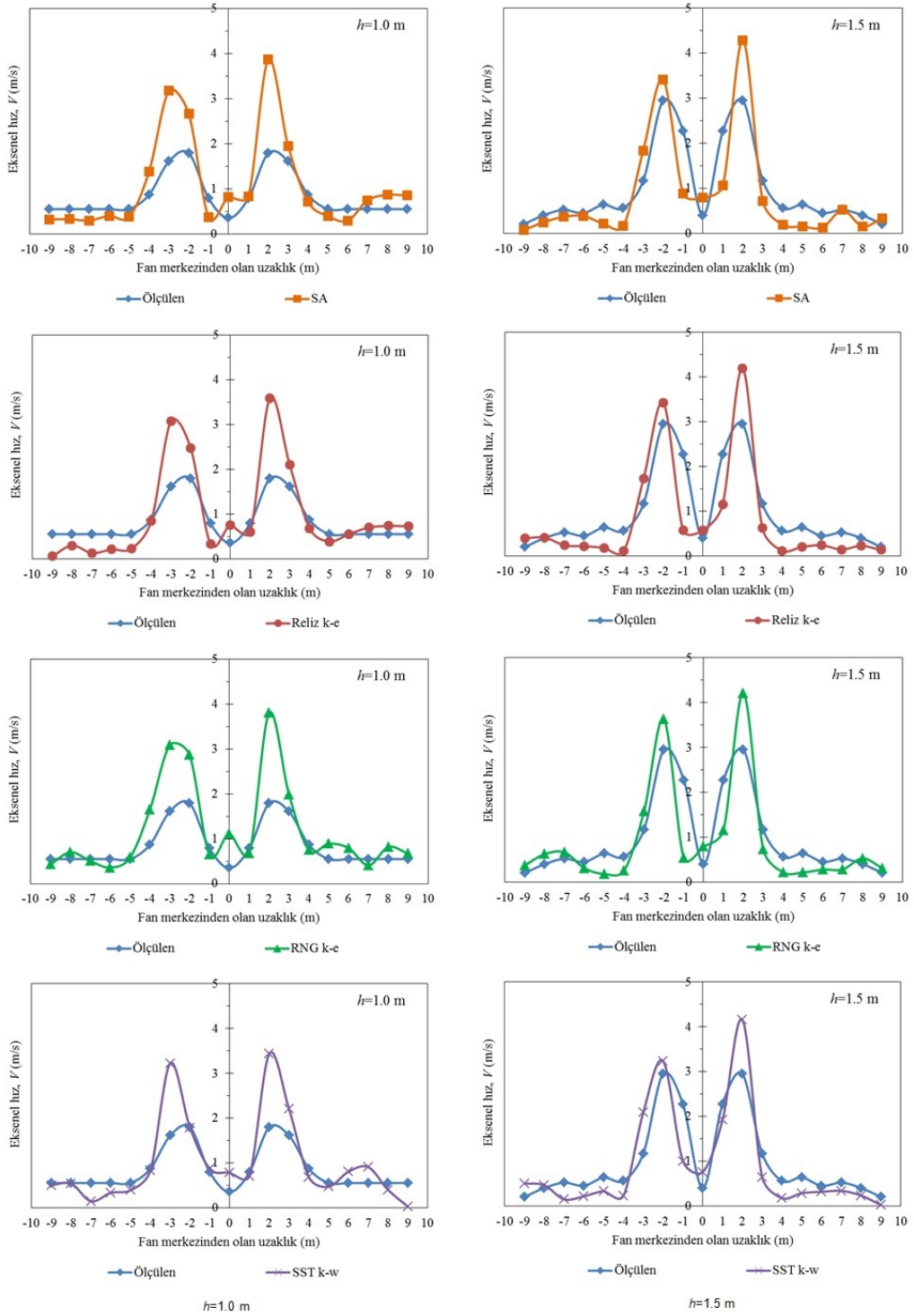
## ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Çalışmada ele alınan dönme dairesi çapı 4 m ve 5 m olan tavan tipi vantilatörün zeminden farklı yüksekliklerde eksenel yönde fan merkezinden belirli uzaklıklarda ölçülen ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle hesaplanan ortalama hava hızı değişimi değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin sonuçlar sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmiştir.



**Şekil 4.** Dönme daireesi çapı 4 m olan tavan tipi vantilatörün zeminden farklı yüksekliklerde ( $h$ ) ölçülen ve farklı HAD modelleriyle hesaplanan ortalama hava hızları.

**Figure 4.** Average air velocities measured and calculated by the different CFD models at different heights ( $h$ ) above the ground for ceiling fan with a 4 m rotation circle diameter.

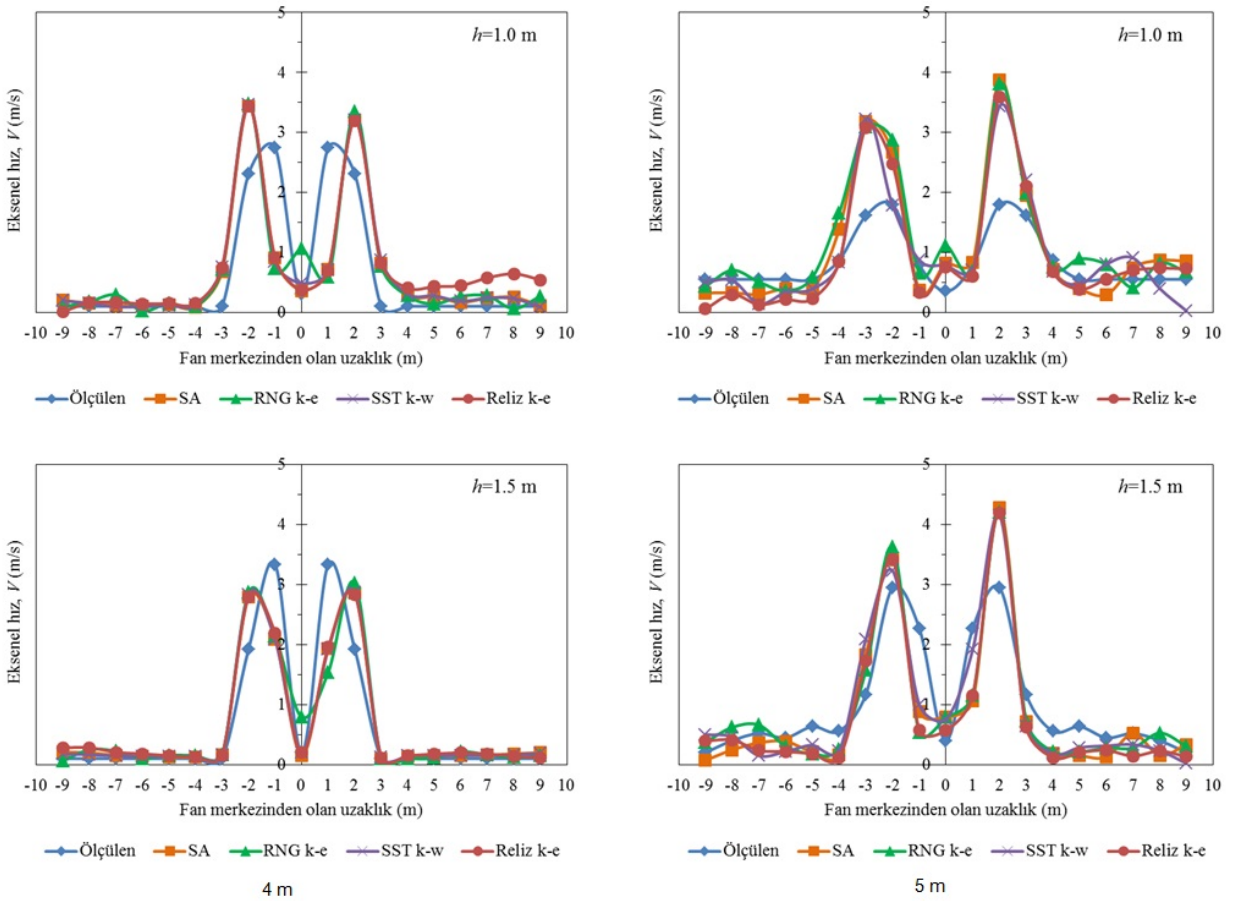


**Şekil 5.** Dönme daireesi çapı 5 m olan tavan tipi vantilatörün zeminden farklı yüksekliklerde ( $h$ ) ölçülen ve farklı HAD modelleriyle hesaplanan ortalama hava hızları.

**Figure 5.** Average air velocities measured and calculated by the different CFD models at different heights ( $h$ ) above the ground for ceiling fan with a 5 m rotation circle diameter.



Şekil 4 ve Şekil 5 incelendiğinde, ölçülen ve tüm türbülans modelleri ile hesaplanan hava hızı değerleri eğilimlerinin birbirlerine oldukça yakın bulunduğu görülmektedir. Vantilatör dönme dairesi altında yer alan bölgede hava hareketleri incelendiğinde, vantilatör merkezine yakın bölgede hava hızının çok düşük olduğu, kanat uçlarına doğru ise hava hızının en yüksek değere ulaştığı açıklıkla görülmektedir. Dönme dairesi dışında hava hızlarının ölçüm yapılan 1.0 m ve 1.5 m yüksekliklerde oldukça düşük değerlerde dönme dairesi çapı 4 m olan vantilatörlerde ortalama 0.25-0.5 m/s hızları civarında, dönme dairesi çapı 5 m olan vantilatörde ise 0.5-1.0 m/s civarında ölçülmüş ve hesaplanmıştır. Tüm türbülans modellerine ilişkin sonuçlar birlikte karşılaştırıldığında da birbirlerine oldukça benzer sonuçların çıktığı görülmektedir (Şekil 6). İşletmede istenen hava debisi inek başına 23-28 m<sup>3</sup>/dakika ve hava hızı ineklerin üzerinde 3.5-7.5 km/h (1-2 m/s) düzeyindedir (Kaya & Kaya, 2018). Bu kapsamda vantilatörler değerlendirildiğinde işletmede büyük bir alanda özellikle 5 m çaplı vantilatörler kullanıldığında hayvan vucüt bölgesinde istenilen hava hızlarının elde edildiği görülmektedir. Bu da hayvan refahının sağlanması yönüyle önemlidir.



Şekil 6. Ölçülen ve dikkate alınan HAD türbülans modelleri ile hesaplanan hava hızı değerlerinin karşılaştırılması.

Figure 6. Comparison of the measured and calculated air velocities for considered CFD models.

Çalışmada ele alınan dönme dairesi çapı 4 m ve 5 m olan tavan tipi vantilatörlerin farklı HAD türbülans modelleri ile elde edilen değerlerinin ölçüm değerlerine ne ölçüde yaklaştığının istatistiksel değerlendirilmesi Çizelge 1'de verilmiştir.

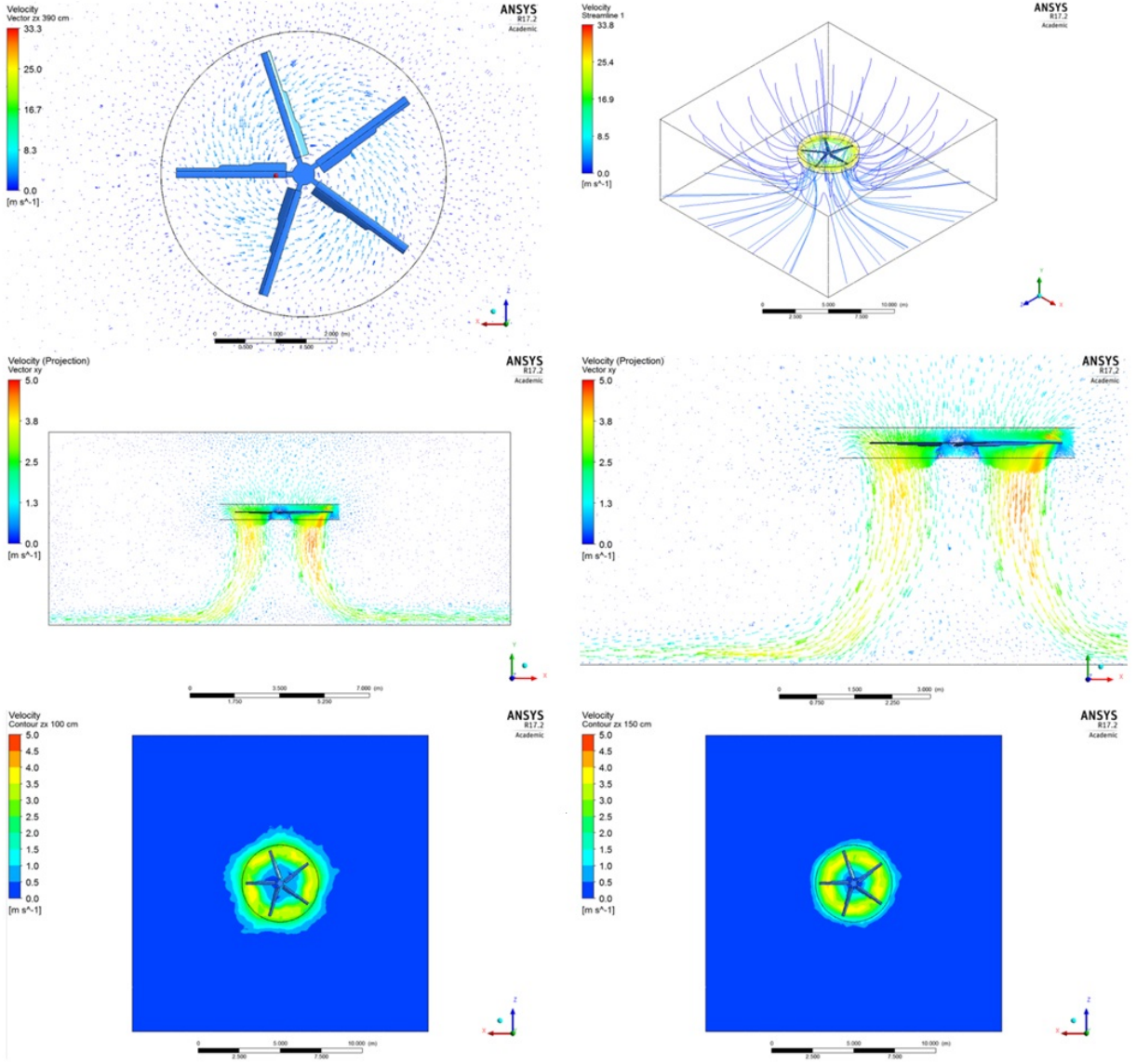
**Çizelge 1.** Ölçülen ve farklı HAD türbülans modelleri ile hesaplanan MAE ve NRMSD değerlerinin karşılaştırılması**Table 1.** Comparison of MAE and NRMSD values between the measured and calculated with CFD turbulence models

Ölçüm yüksekliği	HAD modelleri	Dönme dairesi çapı			
		4 m		5 m	
		MAE <sup>*</sup>	NRMSD <sup>**</sup>	MAE	NRMSD
h=1.0 m	SA	0.430	0.223	0.459	0.191
	Reliz k-ε	0.533	0.228	0.433	0.176
	RNG k-ε	0.506	0.237	0.449	0.202
	SST k-ω	0.451	0.226	0.363	0.173
h=1.5 m	SA	0.279	0.190	0.463	0.146
	Reliz k-ε	0.283	0.187	0.481	0.156
	RNG k-ε	0.337	0.208	0.467	0.158
	SST k-ω	0.279	0.194	0.417	0.129

\*Ortalama Mutlak Hata

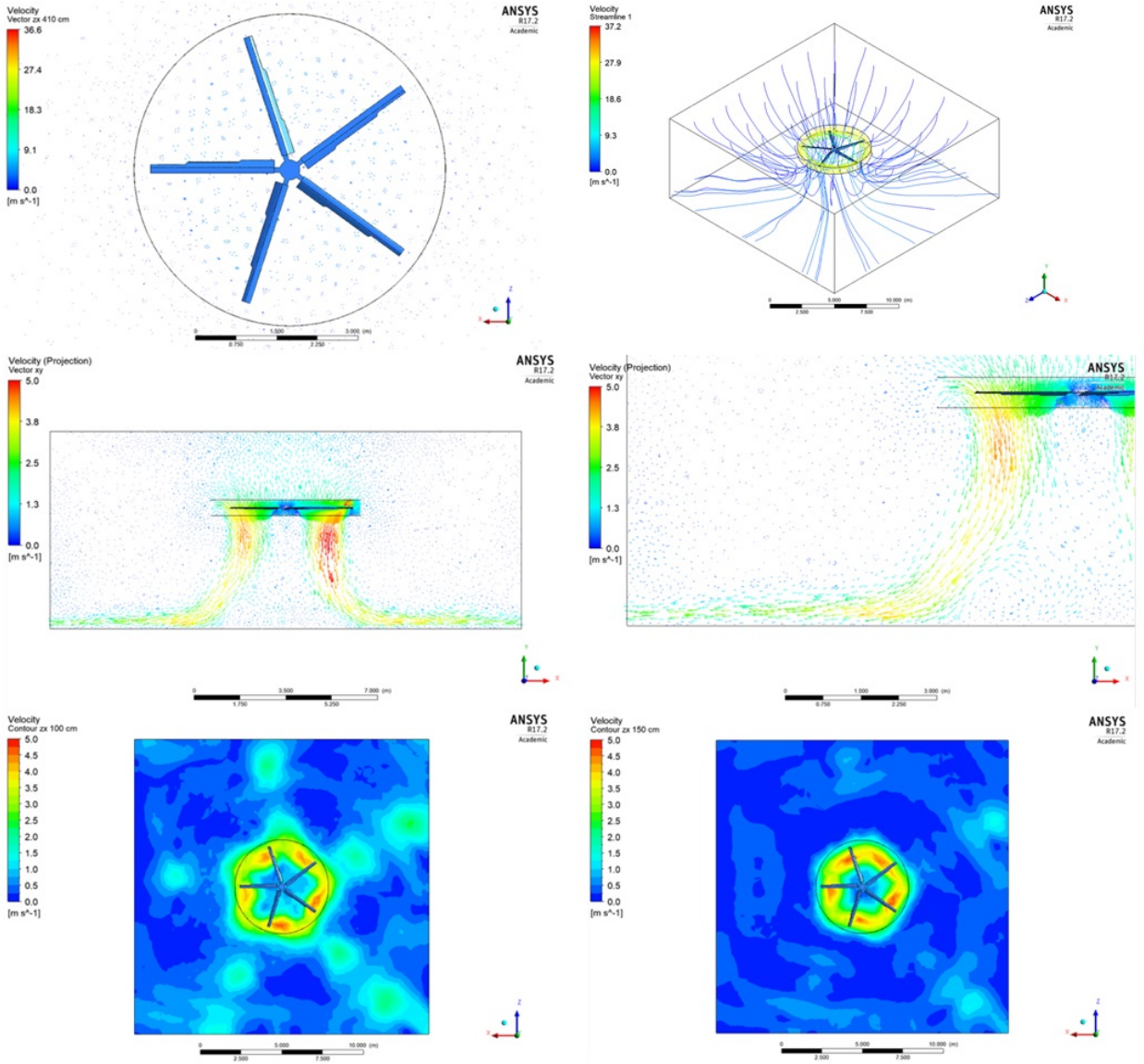
\*\*Normalize Edilmiş Ortalama Karekök Hata Sapması

Çizelge 1’de görüldüğü gibi vantilatörlerin oluşturduğu hava hızına ilişkin sonuçlar istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde, hem dönme dairesi çapı hem de ölçüm yükseklikleri için ölçüm ve HAD simülasyon modelleri arasında en düşük MAE ve NRMSD değerleri 4 m dönme dairesi çapı için Spalart Allmaras ve SST k-ω modellerinde, 5 m dönme dairesi çapı için ise SST k-ω modelinde bulunmuştur. Grafik karşılaştırmalar incelendiğinde SST k-ω modelinin dikkate alınan diğer modellere göre az da olsa daha iyi tahminlemeyi gerçekleştirdiği görülmektedir. Her iki dönme dairesi dikkate alındığından SST k-ω türbülans modelinin tercih edilmesinin uygun olacağı görülmektedir. Bu kapsamda SST k-ω türbülans modeli ile elde edilen hava akımı dağılımlarına ilişkin görseller 4 m ve 5 m çaplı vantilatörler için sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 7. Dönme dairesi çapı 4 m olan tavan tipi vantilatörde hava hızı dağılımının SST  $k-\omega$  türbülans modeli ile bulunan sonuçları.

Figure 7. Air velocity distribution results for SST  $k-\omega$  turbulence model for a 4 m rotation circle diameter.



**Şekil 8.** Dönme dairesi çapı 5 m olan tavan tipi vantilatörde hava hızı dağılımının SST  $k-\omega$  türbülans modeli ile bulunan sonuçları.

**Figure 8.** Air velocity distribution results for SST  $k-\omega$  turbulence model for a 5 m rotation circle diameter.

Şekil 7 ve Şekil 8 incelendiğinde hava akışının vantilatör dönme dairesi altında etkin olduğu ve zemine ulaştıkça akışın aksenal akıştan yatay akışa doğru geçtiği görülmektedir. Vantilatör dönme dairesi altında yer alan bölge detaylı incelendiğinde, kanat uçlarında hava hızının yüksek, merkezde ise çok düşük olduğu açıklıkla izlenebilmektedir.

Zemine yakın bölgede hava hareketleri incelendiğinde ise dönme dairesinin altındaki bölgede zemine çarpan havanın türbülans hareketinin arttığı, dönme dairesinin dışına doğru yönelen hava hareketinin zemine yakın bölgeden yatay hareketle akışa devam ettiği izlenebilmektedir. Bu bölgede hava hızının oldukça düşük olduğu, hem ölçüm hem de HAD türbülans modelleri ile elde edilen sonuçlardan açıklıkla görülmektedir (Şekil 6, Şekil 7 ve 8).

Deneme sonuçları ile hesaplanan türbülans modellerinin ölçüm yüksekliğine bağlı değişimleri incelendiğinde, özellikle 1.5 m yükseklikte HAD ile bulunan sonuçların ölçüm sonuçlarına daha yakın olduğu ve 1.0 m yüksekliğe göre daha iyi tahmin yapabildiği görülmektedir. Chen et al. (2018) 1.1 m ve 1.7 m yükseklikler için ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırdıklarında çalışmalarında, 1.7 m yükseklikteki karşılaştırma değerlerinde uyumun daha yüksek olduğunu göstermiştir. Çalışmada elde edilen sonuçların benzer çalışmalar ile uyumlu olduğu açıklıkla görülmektedir. Bu durum özellikle zemine yakın bölgede diğer bir ifade ile daha düşük yüksekliklerdeki ölçüm ve simülasyon sonuçlarının türbülans hareketlerinden etkilenmesinden kaynaklanması ile açıklanabilir.

Farklı dönme dairesi çapının etkisi açısından sonuçlar değerlendirildiğinde, 4 m çaplı vantilatörde HAD sonuçlarının ölçüm sonuçlarına daha yakın olduğu görülmektedir. Küçük dönme çaplı vantilatörün oluşturduğu hava hareketinin zemin seviyesindeki yatay akışı, 5 m çaplı vantilatörün oluşturduğu akıma göre daha dar yatay bölgede olduğu anlaşılmaktadır. Bu da vantilatör dönme dairesi büyümesi nedeniyle yatay hava akışının daha yüksek bölgede hareket edebildiği hava hareketleri dağılımına ilişkin simülasyon sonuçlarından da görülebilmektedir (Şekil 7 ve 8). Ölçüm yüksekliği arttıkça, simülasyon ile ölçüm sonuçlarının çok daha yüksek benzeşim göstermektedir (Şekil 6).

## SONUÇ

Bu çalışma tarımsal işletmelerde kullanılabilecek büyük dönme dairesine sahip tavan tipi vantilatörlerde yaygın kullanılan farklı HAD türbülans modellerinin değerlendirilerek uygun modelin ortaya konması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada deneysel ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla farklı Spalart Allmaras, Reliazable  $k-\epsilon$ , RNG  $k-\epsilon$ , SST  $k-\omega$  türbülans modelleri dikkate alınmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlardan; büyük dönme dairesi çapına sahip vantilatörlerin hava hareketlerinin analizinde özellikle zeminden 1.0 ve 1.5 m yüksekliklerdeki değerlendirmelerinde SST  $k-\omega$  türbülans modelinin Hareketli Referans Çerçeve yöntemiyle kombinasyonunun kullanımı önerilebilir.

## KAYNAKLAR

- Adeeb, E., A. Maqsood & A. Mushtaq, 2015. Effect of number of blades on performance of ceiling fans. MATEC Web Conferences 28 (2015) 02002. <http://doi.org/10.1051/mateconf/20152802002>
- ANSYS, 2016. Fluent Theory Guide, Release 17.2, ANSYS, Inc.
- ASAE Standard, 2016. ASAE EP566.2 JUN2012 (R2016), Guidelines for Selection of Energy Efficient Agricultural Ventilation Fans, ASAE Standards. ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- Babich, F., M. Cook, D. Loveday, R. Rawal & Y. Shukla, 2017. Transient three-dimensional CFD modelling of ceiling fans. Building and Environment, 123: 37-49. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.039>
- Bassiouny, R. & N.S. Korah, 2011. Studying the features of air flow induced by a room ceiling-fan. Energy and Buildings, 43: 1913-1918. <https://doi:10.1016/j.enbuild.2011.03.034>
- Casey, K.D., R.S. Gates, E.F. Wheeler, H. Xin, Y. Liang, A.J. Pescatore & M.J. Ford, 2008. On-farm ventilation fan performance evaluations and implications. The Journal of Applied Poultry Research, 17: 283-295. <https://doi:10.3382/japr.2006-00055>
- Casseer, D., & C. Ranasinghe, 2019. Assessment of Spalart Almaras turbulence model for numerical evaluation of ceiling fan performance. Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon), 577-582.
- Chen, W., S. Liu, Y. Gao, H. Zhang, E. Arens, L. Zhao & J. Liu, 2018. Experimental and numerical investigations of indoor air movement distribution with an office ceiling fan. Building and Environment, 130: 14-26. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.016>

- Ding, C., K.P. Lam & W. Feng, 2017. An evaluation index for cross ventilation based on CFD simulations and ventilation prediction model using machine learning algorithms. *Procedia Engineering*, 205: 2948–2955. <https://doi:10.1016/j.proeng.2017.10.112>
- Genç, S., 2018. Holstein sığırlarda klasik ölçüm metodu ve sabit nesne fotoğraf tekniği ile vücut ölçülerinin karşılaştırılması. *Black Sea Journal of Engineering and Science* 1(3): 89-97.
- Kaya, A. & İ. Kaya, 2018. "Süt Sığırcılığında Bazı Yetiştirme Uygulamaları, 265-309". In: Süt Sığırcılığı (Eds. A. Kaya, İ. Kaya & C. Uzmay). Ege Üniversitesi, 383 pp.
- Koç, A. & N. Akman, 2007. Siyah-alaca tosunların değişik dönemlerdeki vücut ölçüleri ve vücut ölçülerinden canlı ağırlığın tahmini. *ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4(1-2): 21-25.
- Momoi, Y., K. Sagara, T. Yamanaka & H. Kotani, 2004. Modeling of ceiling fan based on velocity measurement for CFD simulation of airflow in large room. *Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ)*. [https://doi:10.3130/aije.70.41\\_3](https://doi:10.3130/aije.70.41_3)
- Momoi, Y., K. Sagara, T. Yamanaka & H. Kotani, 2007. "Modeling of prescribed velocity generated by ceiling fan based on velocity measurement for CFD simulation, 1141-1150". *Proceedings of 10th International Conference on Air Distribution in Rooms-Roomvent 2007, Vol.1 (13-15 June 2007, Helsinki, Finland), The Finnish Association of HVAC Societies FINVAC ry, 1289 pp.*
- Mutaf, S., 2012. Mühendislik Yaklaşımı İle Hayvan Barınaklarında İklimsel Çevre ve Denetim İlkeleri. *Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tarım Bilim Serisi Y.No:1, 895 s.*
- Raftery, P., J. Fizer, W. Chen, Y. He, H. Zhang, E. Arens, S. Schiavon, & G. Paliaga, 2019. Ceiling fans: Predicting indoor air speeds based on full scale laboratory measurements. *Building and Environment*, 155: 210-223. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.040>
- Yaylak, E., Y. Konca & N. Koyubenbe, 2015. "Damızlık sığır yetiştiricileri birliği üyesi işletmelerde yetiştirilen farklı yaşlardaki dişi siyah alaca sığırların vücut ölçüleri, Poster Bildiri, 913". 9. Ulusal Zootekni Bilim Kongresi (3-5 Eylül 2015, Konya) Aybil Dijital Baskı, Konya, 958 s.
- Zhu, S., J. Srebric, S.N. Rudnick, R.L. Vincent, & E.A. Nardell, 2014. Numerical modeling of indoor environment with a ceiling fan and an upper-room ultraviolet germicidal irradiation system. *Building and Environment*, 72: 116-124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.10.019>