

RADYAL FANLARDA KANAT PROFİLİ BİÇİMİNİN PERFORMANSA ETKİSİ

Influence Of The Blade Profile On The Radial Fan Performance

Salih Deniz DEVELİ
Erkan AYDER

ÖZET

Radyal fanlar endüstride hava veya gaz nakline gerek duyulan klima santralleri, havalandırma tesisatları vb. gibi pek çok yapıda kullanılmaktadır. Son zamanlarda radyal fanların performans artırımlarına yönelik çok sayıda çalışma yapılmakta ve bulgular geometri değişikliklerine yansıtılmaktadır. Bunlardan bazıları, sabit kalınlık yerine airfoil biçimli profile sahip kanatlar kullanmak ve çıkış kenarlarına özel şekiller vermek şeklinde ifade edilebilir. Nitekim sektörde pazar payı yüksek olan fan üretici firmaların ürünlerine bu iyileştirmeleri yansıttıkları görülmektedir.

Bu çalışmada, sabit kalınlıklı ve airfoil biçimli profile sahip kanatlı iki ayrı radyal fan için, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) tekniği ile çözümler yapılarak performansları karşılaştırılmıştır. Çarkların kanatlarının kamburluk eğrisi, giriş ve çıkış kanat açıları ve çapları ile göbek ve yanak şekilleri aynı tutulmuştur. Sonuçlar aerfoil biçimdeki profillere sahip kanatlı fanın aynı basınç farkı için daha yüksek verim ve debi sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Radyal fanlar, Santrifüj fanlar, Airfoil, Kanat profili, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD).

ABSTRACT

Centrifugal fans are used in the air conditioning plants, ventilation systems and etc to pressurize the air and gas. Recent studies have been shown that the blade shape (airfoil type instead of constant thickness type) and wavy trailing edge have an important influence on the performance of radial fans. As a result of this, it is seen that these improvements are reflected on the products of radial fan manufacturers with high market share in the sector.

In the present study, the flow fields of the two radial fans, one with the blades of constant thickness distribution and the second one with airfoil type thickness distribution, have been calculated by means of CFD. The main chamber line of the impeller blade, the inlet and outlet blade angles and diameters and the hub-shroud shapes are kept unchanged. The results show that the aerodynamic blade profile provides higher efficiency and flow rate for the same pressure difference.

Key Words: Radial fans, Centrifugal fans, Airfoil, Blade profile, Computational Fluid Dynamics (CFD).

1. GİRİŞ

Radyal (santrifüj) fanların kullanımı endüstride oldukça geniş olduğundan, bu fanların verimleri toplam enerji tüketimini oldukça etkilemektedir. Bir fanın verimi etkileyen en önemli bileşeni kanatlarıdır. Bilindiği üzere radyal fanlarda kanatlar, santrifüj kuvvetin etkisiyle akışkanın basıncını artırır.

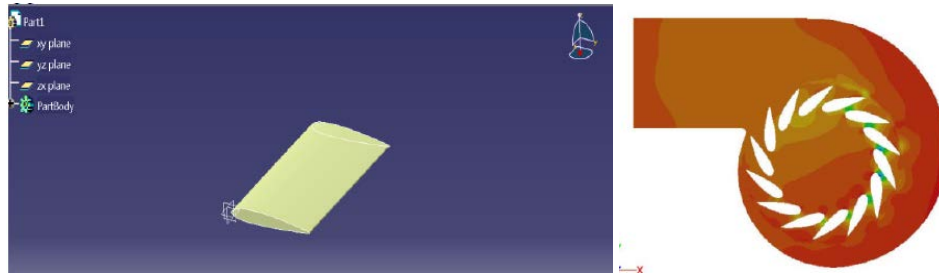
Lin ve Huang [1], dizüstü bilgisayarlarda soğutma amaçlı olarak kullanılan küçük çaplı ileriye dönük kanat yapısına sahip bir radyal fanda sayısal ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. Düşük hız karakteristiğinden dolayı NACA 4412 profilini fan kanatlarında kullanmışlardır. Üç farklı giriş açısına göre aynı kanat profiline sahip fanların, sayısal ve deneysel çalışmalarını yapmış ve $16,5^\circ$ giriş açısına sahip fanın en iyi performansa sahip olduğunu gözlemlemiştir.

Younsi ve diğ. [2], ileriye dönük radyal fanlarda tasarım parametrelerinin fanın akustik performansına etkilerini incelemişlerdir. Dört farklı tasarım parametresinin, düzenli olmayan kanat boşluğu, kanat sayısı, fan ile salyangoz arası mesafe, salyangoz dili, sayısal ve deneysel olarak çalışılmışlardır.

Wang ve diğ. [3], geriye dönük kanatlı radyal fanlar üzerinde sayısal yöntemler kullanarak, kanat sayısı ve giriş açısını birer parametre olarak kabul edip optimizasyon yapmışlardır. Sonuç olarak, ikincil akışların, salyangoz dili, kanat art izi ve hücum açısının fan performansı üzerine oldukça büyük etkisi olduğu vurgulanmıştır.

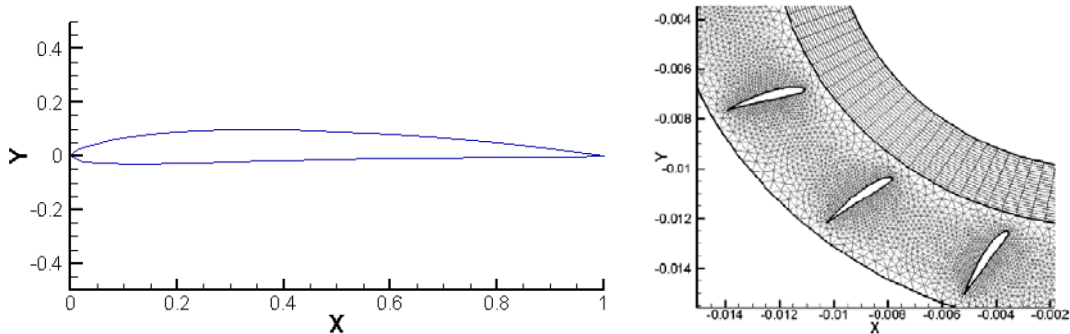
Singh ve diğ. [4], kanat sayısı, kanat çıkış açısı ve çap oranının fan performansına etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. İki farklı kanat sayısına sahip geriye dönük kanatlı fanları kendi sayısal çözümleme modellerinin doğruluğunu göstermek için kullanıp; daha sonra dört farklı kanat sayısına sahip fan ile çalışmışlardır. Bu çalışma sonucunda kanat sayısı artması halinde, debi sayısı ve verimin artacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Pronov ve Raj [5], NACA 2424 profiline sahip geriye dönük kanatlı fan ve içinde yer aldığı salyangozu çalışmışlardır (Şekil 1). Sayısal çözümler MRF (Multiple Reference Frame) ile gerçekleştirilmiştir. Tasarımda salyangoz ile çark arasındaki mesafenin fanın performansında etkili olduğunu göstermişlerdir.



Şekil 1. NACA 2424 kanat profili [5]

Amjadimanesh ve diğ. [6], NACA 4412 profilinin kullanıldığı kanatlara sahip radyal fan ile sayısal çalışmalar gerçekleştirmiş ve kanat sayısının fan performansı üzerindeki etkisini incelemiştir (Şekil 2). Toplamda beş farklı kanat sayısına sahip fan üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda 20 kanatlı fanın en iyi performansa ait olduğunu söylemiştir.



Şekil 2. NACA 4412 kanat profili [6]

Literatürde radyal fanların kanatlarında sabit kalınlık yerine airfoil profil kullanılması ile yüksek performanslı fanlar elde edilebileceğinden bahsedilmiş fakat aynı kamburluk eğrisine sahip sabit kalınlıktaki ve airfoil profillerin karşılaştırılması üzerinde durulmamıştır. Bu çalışmada, temel kamburluk eğrisi, giriş ve çıkış kanat açıları, giriş ve çıkış çapları ile göbek ve yanak şekilleri aynı olan iki farklı kanat profiline sahip radyal fan, sayısal olarak çalışılmış ve sonuç olarak airfoil profile sahip fanın aynı statik basınç farkı için daha yüksek debi ve verim değerleri sağladığı görülmüştür.

2. FAN TASARIMI

Çalışma kapsamında öncelikle fan tasarımları gerçekleştirilmiştir. Fan tasarımına başlamanın ilk adımı fanın tipini ve çapını belirlemektir. Bunun için Cordier diyagramı kullanılır. Şekil 3’de fanlar için literatürde yer alan Cordier diyagramı verilmiştir. Söz konusu diyagram yüksek verime sahip fanların özgül hızları (σ) ile özgül çaplarının (δ) değişimini göstermektedir. Tasarım noktasındaki değerler için bu sayılar aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$\sigma = 2\sqrt{\pi n} \frac{\sqrt{Q}}{(2Y)^{3/2}}$$

$$\delta = \frac{\sqrt{\pi}}{2} D \sqrt[4]{\frac{2Y}{Q^2}}$$

Burada en iyi verim noktasındaki fan debisi Q (m^3/s), fan özgül enerjisi Y ($Y=P/\rho$, m^2/s^2), devir sayısı n (d/d) ve çark çapı D (m) olarak bağıntılara konulmalıdır.

Bu çalışma kapsamında tasarlanan Fanın tasarım noktası Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Tasarım Verileri

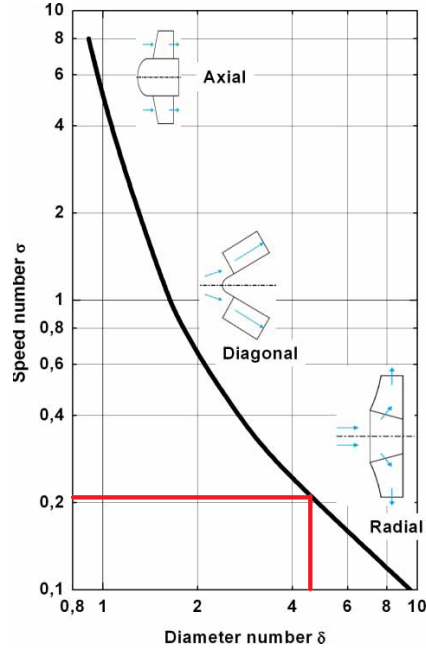
Devir sayısı	2880 d/d
Debi	2100 m^3/sa
Basınç Farkı	650 Pa

Tablo 1’deki verilere göre yapılan hesaplama sonucunda özgül hız 0,21 olarak bulunmuştur. Cordier diyagramından söz konusu özgül hıza karşılık gelen özgül çap değerine ulaşılmıştır (Şekil 3). Bu değer 4,2’dir. Ayrıca Cordier diyagramı, fanın radyal olması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Özgül çap tanımı kullanılarak fanın çark çapı 630 mm olarak bulunmuştur. Fakat bu tip radyal fanların tasarımını gerçekleştiren pazar payı yüksek firmaların katalogları incelendiğinde bu çapın çok büyük olduğu ve bu tasarım verilerindeki fanları daha küçük çaplarda imal ettikleri görülmüştür. Bu nedenle fan çapı olarak 310 mm alınmış ve tasarım çalışmaları bu değere göre gerçekleştirilmiştir. Fanın diğer boyutsal özelliklerinin (fan giriş çapı, göbek ve yanak çapı, girişi ve çıkış açısı, giriş ve çıkış kanat yüksekliği vb.) tasarımı için Epple ve diğ. [7] yapmış olduğu çalışmadan yararlanılmış ve fanın katı modelini oluşturmak için gereken bütün boyutlar hesaplanarak Tablo 2’de verilmiştir.

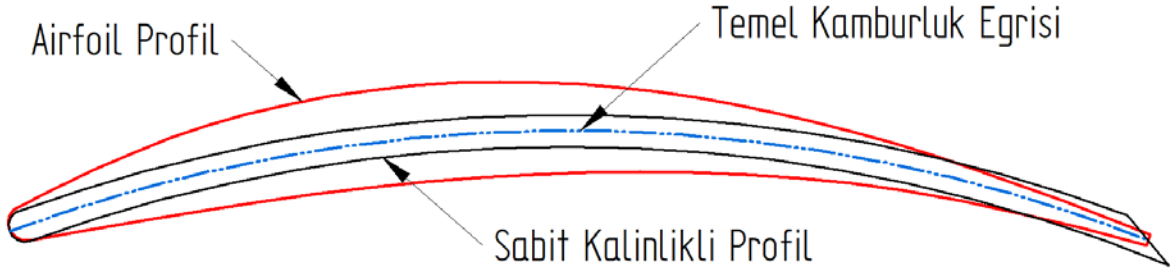
Tablo 2. Fanın Boyutları

Fan Çapı (Kanat Çıkış Çapı)	310 mm	Kanat Giriş Yüksekliği	110 mm
Kanat Başlangıç Çapı	210 mm	Kanat Çıkış Yüksekliği	96 mm
Emme Çapı	205 mm	Giriş Açısı	16°
Göbek ve Yanak Çapı	325 mm	Çıkış Açısı	29°



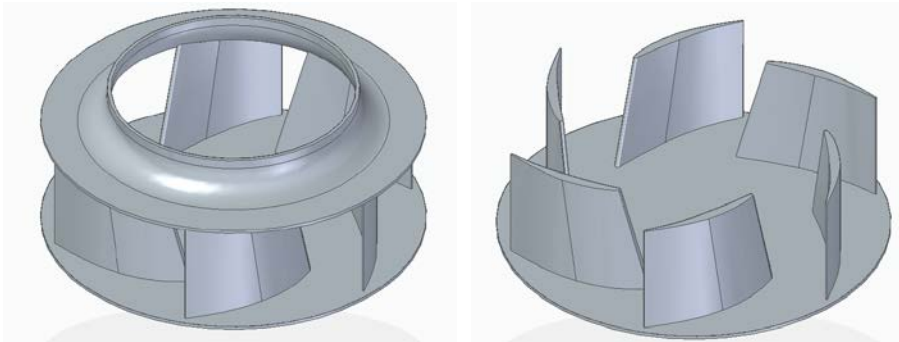
Şekil 3. Cordier diyagramı [7]

Tablo 2'de gösterilen boyutlara göre önce airfoil kanat profiline sahip fan (Fan1) daha sonra ise kanadın temel kamburluk eğrisi değiştirilmeden sabit kalınlılı kanat profiline sahip fan (Fan2) oluşturulmuştur. Şekil 4'de her iki fanında kanat profilleri karşılaştırılmalı olarak görülmektedir.

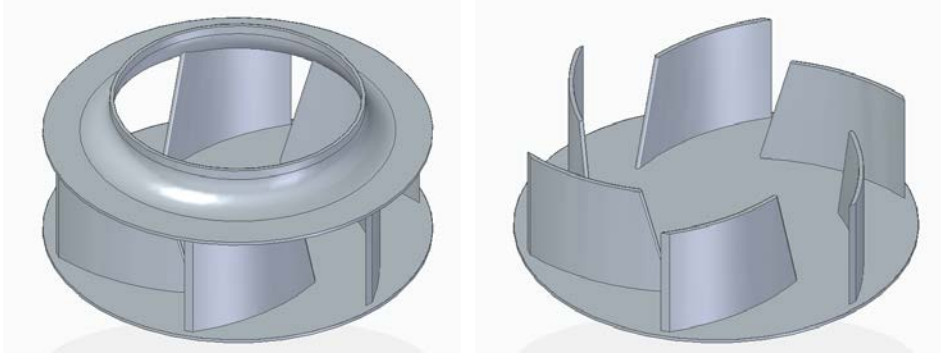


Şekil 4. Oluşturulan profillerin karşılaştırılması

Tasarlanan her iki fanda da altı adet kanat bulunmakta olup, sırasıyla Fan1 ve Fan2'nin üç boyutlu geometrileri Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Airfoil kanat profiline sahip radyal fan (Fan1)



Şekil 6. Sabit kalınlıklı kanat profiline sahip radyal fan (Fan2)

3. AKIŞ ANALİZLERİ

Oluşturulan radyal fan geometrilerinde HAD yöntemi kullanılarak akış analizleri yapılmıştır. HAD yönteminin ilk adımları olan akış hacmi ve çözüm ağı yapısı oluşturma işlemleri sırasıyla Ansys Design Modeller ve Ansys Meshing modülleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Fan içerisindeki akış çözümleri ise Ansys CFX modülü yardımıyla türbülanslı akışta RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) denklemleri çözülerek gerçekleştirilmiştir. Daha sonra sonuçlar Ansys CFD-Post modülü ile incelenmiştir.

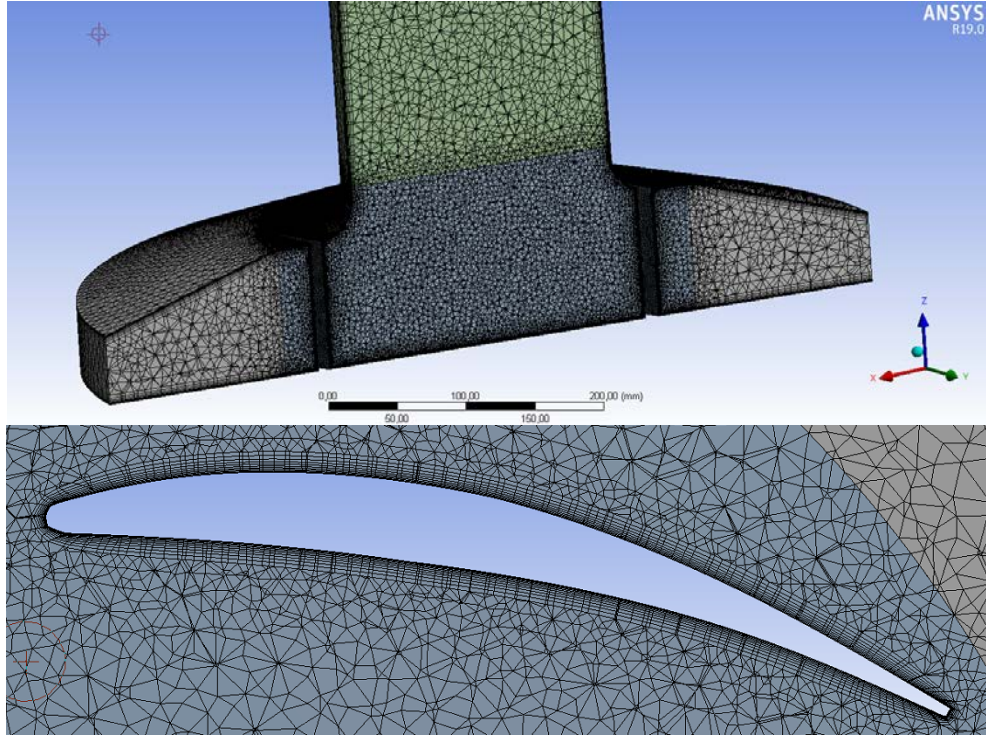
Şekil 5 ve 6'da gösterilmiş olan üç boyutlu fan katı modellerinden, akış analizlerini gerçekleştirebilmek için akış hacimlerinin oluşturulması gerekmektedir. Klima ve havalandırma santrallerinde kullanılan bu tip plug fanlar salyangozsuz olarak çalıştığı için, fanın çıkışına, sabit kesit alanlı kanatsız bir difüzör ve fanın girişine de silindirik bir giriş hacmi yerleştirilmiş biçimde analizler gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan difüzör ve giriş hacmi Şekil 7'de görülmektedir.

Çözüm ağı yapısı oluşturulurken, çeperlerde oluşacak olan sınır tabakanın doğru modellenmesine özen gösterilmiştir. Radyal fan içindeki türbülanslı akışın hesaplanmasında, literatürdeki uygulamalar esas alınarak, k- ω SST (Shear Stress Transport) modeli kullanılmıştır. Bu türbülans modeli ile sınır tabakayı doğru modelleyebilmek için, sınır tabakaya oluşturulan çözüm ağının ilk elemanın yüksekliğinin bir ölçüsü olan y^+ boyutsuz değerinin 3'ten küçük olması sağlanmıştır [8]. Hesaplamalar yaklaşık 3,5 milyon eleman ile gerçekleştirilmiştir. Çözüm ağı kalitesini gösteren çarpıklık (skewness) değeri maksimum 0,85 mertebesinde olup Fan1 için oluşturulan çözüm ağı yapısı Şekil 7'de gösterilmiştir.

Akış çözümleri RANS denklemleri kullanılarak Ansys CFX modülü ile gerçekleştirilmiştir. Bu çözüm esnasında radyal fanların dönüşünü modellemede MRF (Multiple Reference Frame) [8] kullanılmıştır. Her iki fan için de Tablo 3'deki sınır koşulları tanımlanarak analizler gerçekleştirilmiş; sonuç olarak fanların içinden geçen debi, basınç artışı ve verim değerlerine ulaşılmıştır.

Tablo 3. Sınır koşulları

Devir sayısı	d/d	2880
Giriş sınır koşulu	Toplam Basınç (Pa)	0 (atmosferik sınır koşulu)
Çıkış sınır koşulu	Statik Basınç (Pa)	650
Duvar sınır koşulu	-	kaymamazlık sınır koşulu



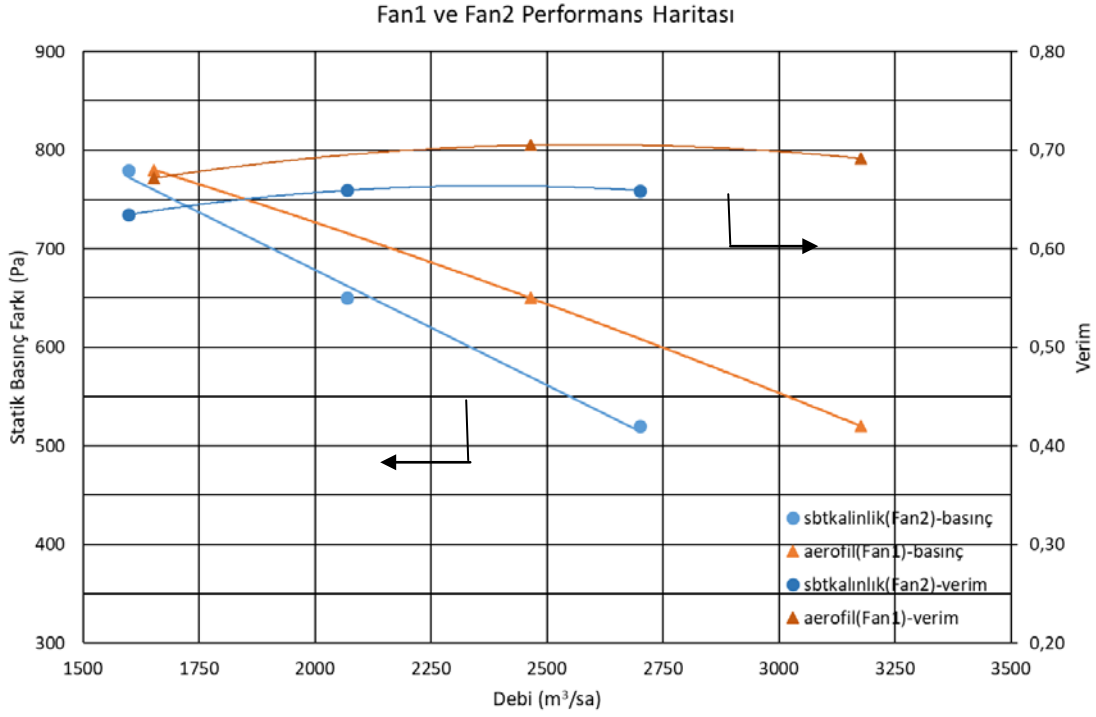
Şekil 7. Giriş hacmi, difüzör ve Fan1 için oluşturulan çözüm ağı yapısı

Çalışmada göz önüne alınan radyal fanın tasarım noktasına ait değerler, 2880 d/dak değerinde, 2100 m³/sa debi ve 650 Pa statik basınç artışı biçimindedir. Fan performans haritası, 520 Pa, 650 Pa ve 780 Pa statik basınç artışı değerleri için elde edilmiştir.

Tablo 4'de gerçekleştirilen analizlerin sonuçları her iki fan için de görülmektedir. Şekil 8'de ise fan performans haritaları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

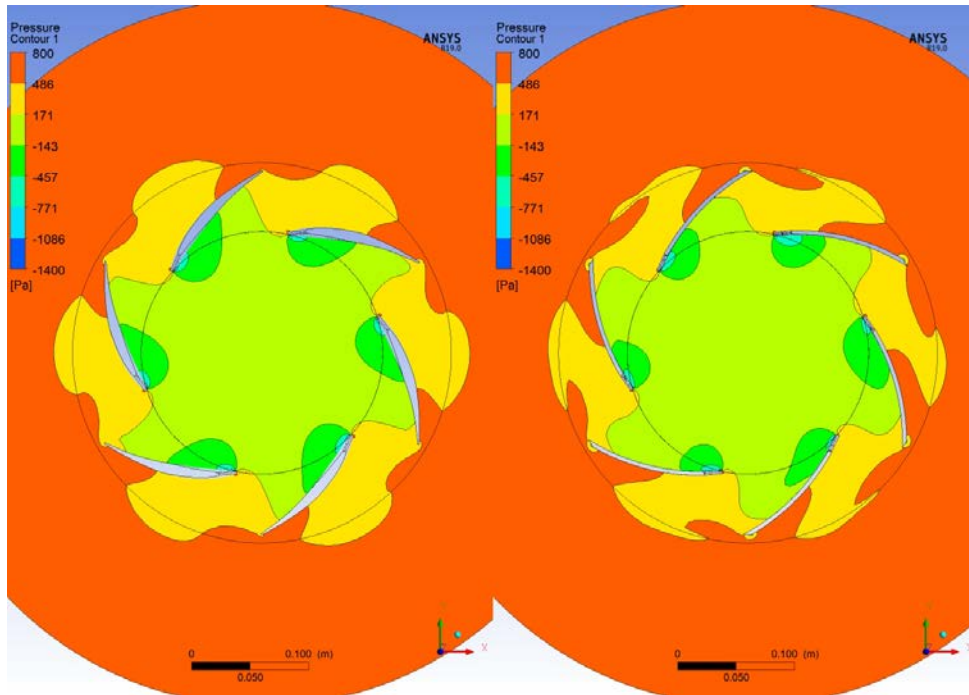
Tablo 4. Akış analizi sonuçları

Devir Sayısı	2880	d/d				
	Debi (Q) m ³ /sa	Basınç Farkı (ΔPst) Pa	Akışkan Gücü W	Mil Momenti Nm	Mil Gücü W	Verim -
Aerofil Profil (Fan1)	1653	780	358,15	1,77	533,22	0,67
	2465	650	445,07	2,09	631,23	0,71
	3177	520	458,90	2,20	663,50	0,69
Sabit kalınlıklı kanat profili (Fan2)	1597	780	346,02	1,81	545,28	0,63
	2068	650	373,39	1,88	566,39	0,66
	2700	520	390,00	1,96	591,73	0,66

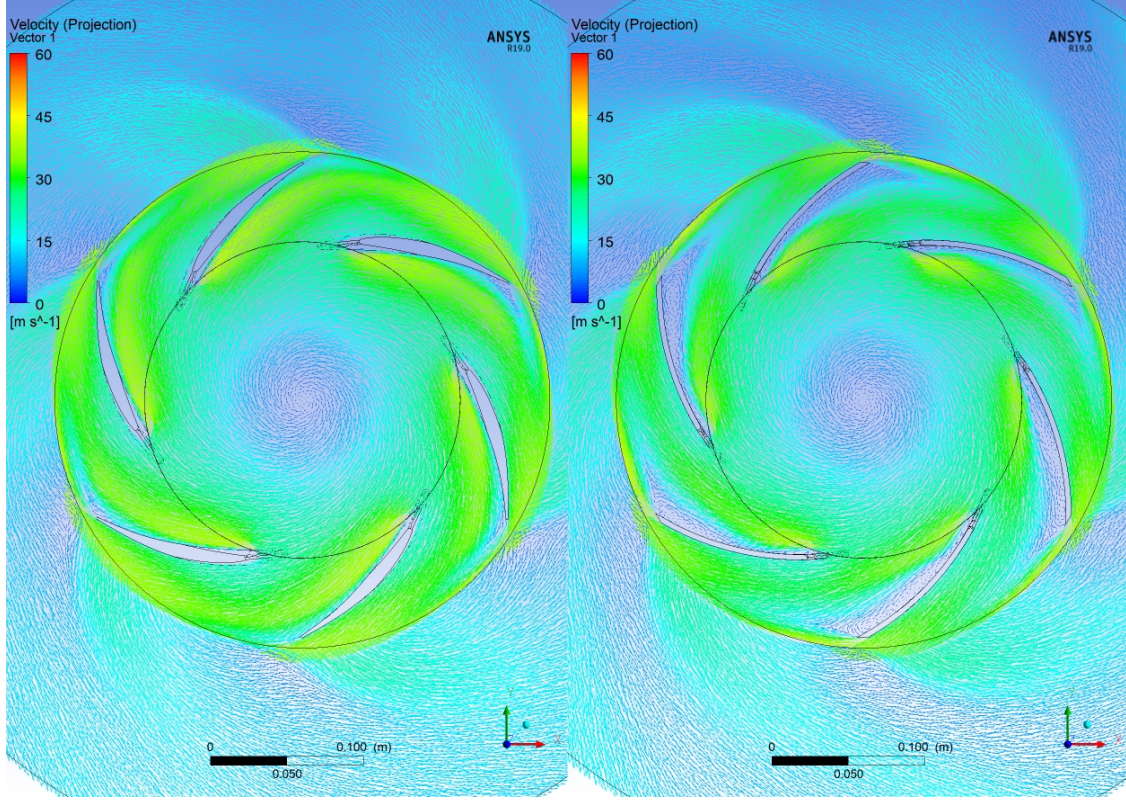


Şekil 8. Fan1 ve Fan2 performans haritası

Tablo 4 ve Şekil 8 de yer alan sonuçlar airfoil profili kanatlara sahip fanın sabit kalınlıklı kanada sahip fana göre aynı debide çok daha yüksek verim ve statik basınç farkı sağladığını göstermektedir. Bunun nedenleri Şekil 9 ila Şekil 11’de açıklanmıştır.



Şekil 9. Fan1 (solda) ve Fan2 (sağda) statik basınç dağılımı



Şekil 10. Fan1 (solda) ve Fan2 (sağda) bağlı hız vektörleri

Şekil 9'da her iki fanın da orta düzleminde aynı basınç artışıdaki statik basınç dağılımları gösterilmiş olup giriş ve çıkış statik basınç dağılımları çok benzerdir. Aynı benzer yapı kanat yüzeyleri üzerindeki statik basınç dağılımlarında da görülmektedir (Şekil 11). Fakat Fan1, Fan2'ye göre daha fazla debi sağlamaktadır (Tablo 4). Ayrıca verimi de daha yüksektir (Şekil 8). Fan2'nin daha düşük verime sahip olmasının temel nedenlerinden biri, sabit kalınlık kanatların emme yüzeylerinde meydana gelen akış ayrılmalarıdır (Şekil 10). Bu akış ayrılmaları ek olarak çarkın çıkış alanını da daraltmakta ve debi azalmasına yol açmaktadır.

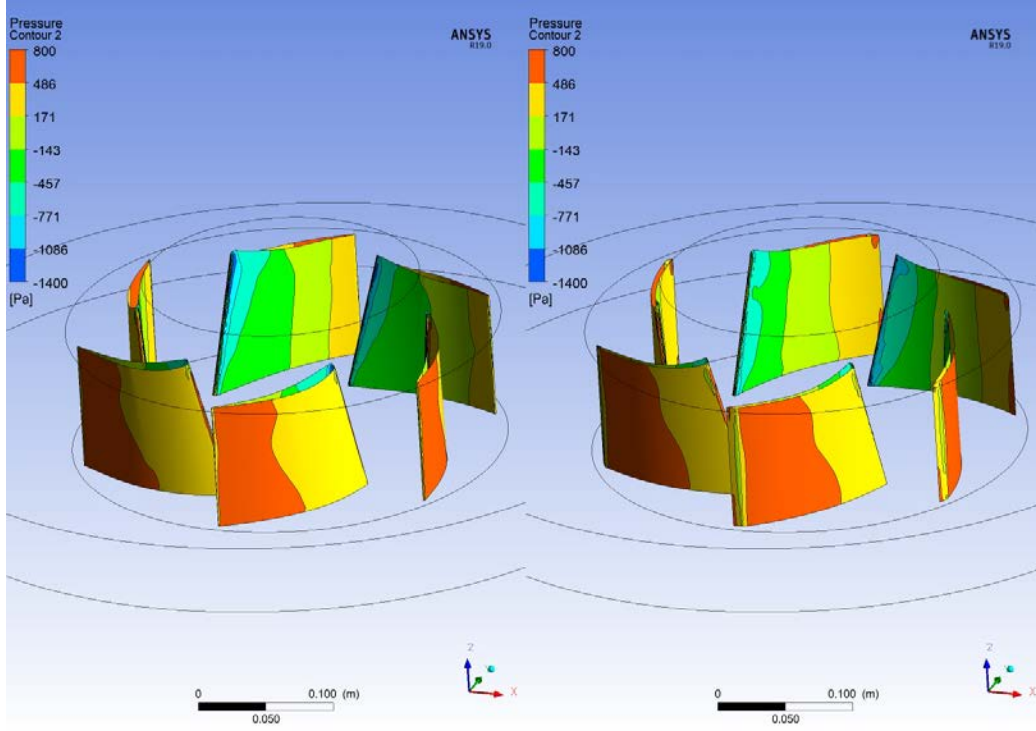
SONUÇ

Çalışma kapsamında radyal fanlarda kanat profil biçimin fan performansına etkisi incelenmiştir. İki farklı kanat profili (airfoil ve sabit kalınlıklı profil) oluşturulmuş; çarkın kanadının temel kamburluk eğrisi, giriş ve çıkış kanat açıları ve çapları ile göbek yanak biçimleri aynı korunmuştur. Bu şekilde oluşturulan radyal fan geometrilerine Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) tekniği kullanılarak sayısal çözümler gerçekleştirilip aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

-Aerodinamik bir profil olan airfoil kanat profiline sahip radyal fan hem statik basınç artışı hem de verim bakımından sabit kalınlıklı profile sahip fandan üstündür.

-Fan içerisindeki akış incelendiğinde airfoil profilede akışın kanat üzerinde ayrılmadığı, sabit kalınlıklı profilede ise akış ayrılmaları görüldüğü bunun da fanın performansını düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, aynı boyutsal özelliklere sahip radyal fanlarda sabit kalınlıklı profil yerine airfoil profilli kanatlar kullanmak, fan verimlerinde %4-5 puanlık artış sağlamakta ve enerji tüketimini azaltıcı bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 11. Fan1 (solda) ve Fan2 (sağda) kanatları üzerindeki statik basınç dağılımları

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Üniversite-Sanayi işbirliği çerçevesinde Can Klima Teknik Ltd. Şti. ve İTÜ Makina Fakültesi Hidromekanik ve Hidrolik Makinalar Çalışma Grubu tarafından yapılmıştır. Desteklerinden ötürü, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na ve TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] LIN, S.C., and HUANG, C.L., "An integrated experimental and numerical study of forward-curved centrifugal fan," *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2002, 26(5): pp. 421-434.
- [2] YOUNSI, M., BAKIR, F., KOUIDRI, S., REY, R., "Influence of Impeller Geometry on the Unsteady Flow in a Centrifugal Fan: Numerical and Experimental Analyses," *International Journal of Rotating Machinery*, 2007: pp. 10.1155/2007/34901.
- [3] WANG, S., ZHANG, L., WU, Z., QIAN, H., "Optimization Research of Centrifugal Fan with Different Blade Number and Outlet Blade Angle," *Power and Energy Engineering Conference, APPEEC*, 2009, 1: pp. 27-31.
- [4] SINGH, O.P., KHILWANI, R., SREENIVASULU, T., KANNAN, M., "Parametric Study of Centrifugal Fan Performance: Experiments and Numerical Simulation," *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 2011, 1(2): pp. 33-50.
- [5] PRANAV, C.A., RAJ R.T.K., "Numerical Design and Parametric Optimization of Centrifugal Fans with Airfoil Blade Impellers," *Research Journal of Recent Sciences*, 2012, 1(10): pp. 7-11.
- [6] AMJADIMANESH, A., AJAM, H., HOSSEIN NEVZAD, A., "Numerical Study of Blade Number Effect on the Performance of a 3D FC Centrifugal Fan," *International Journal of Mechatronics, Electrical and Computer Technology (IJMEC)*, 2015, 5(15): pp 2109-2119.
- [7] EPPLER, P.H., DURST, F., DELGADO, A., "A Theoretical Derivation of the Cordier Diagram For Turbomachines," *J. Mechanical Engineering Science*, 2010.
- [8] Ansys CFX Tutorials.



ÖZGEÇMİŞ

Salih Deniz DEVELİ

1989 yılı Tokat doğumludur. 2012 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Halen İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Isı-Akışkan Bölümü'nde yüksek lisans eğitimini devam ettirmekte ve Can Klima Teknik Ltd. Şti.'de yarı zamanlı Ar-Ge mühendisi olarak çalışmaktadır.

Erkan AYDER

1962 yılı Balıkesir doğumludur. 1983 yılında İTÜ Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Doktorasını 1993 yılında von Karman Enstitüsü'nden almıştır. 1993 yılından bu yana İTÜ Makina Fakültesi'nde öğretim üyeliği yapmakta olup, Akışkanlar Mekaniği ve Turbomakinalar konularında dersler vermektedir.