

Eksenel Çıkışlı Radyal Fan Sistemi Tasarımı

Salih Deniz DEVELİ

Arş. Gör.
Işık Üniversitesi
Makine Mühendisliği
İstanbul
develis@itu.edu.tr
orcid: 0000-0003-4844-8683

Olgun SÖNMEZ

Mak. Müh.
Can Klima Teknik
İstanbul
olgunsonmez@canklm.com

Erkan AYDER

Prof. Dr.
İstanbul Teknik Üniversitesi
Makina Mühendisliği
İstanbul
aydere@itu.edu.tr
orcid: 0000-0002-0546-4838

ÖZ

Radyal fanlar hava veya gaz nakline gerek duyulan klima santralleri, havalandırma tesisatları vb. gibi pek çok yapıda kullanılmaktadır. Son zamanlarda radyal fanların performans artırımlarına yönelik pek çok çalışma yapılmakta ve fan kanatları üzerinde yapılan değişiklikler ile yüksek performanslı fanlar elde edilebileceği vurgulanmaktadır.

Bilindiği üzere radyal fanlarda, akış fanın içerisine eksenel olarak girip 90° dönerek ve radyal olarak çıkmaktadır. Klima santrallerinde çoğunlukla çift emişli salyangozlu radyal vantilatörler ve salyangozsuz plug fanlar kullanılmaktadır. Plug fanlar, salyangozlu vantilatörlere göre daha düşük verimli olsa da sağladığı montaj kolaylığı ve yer tasarrufu üstünlüğü nedeniyle daha yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Plug fanlarda, rotorda basınçlandırılmış hava, çıkışta enerjisinin önemli bir kısmını yitirmekte ve hava hızındaki büyük değişim sistemin gürültü seviyesinin artması ile sonuçlanmaktadır. Birden fazla fanın dizilmesi ile oluşturulan fan demeti uygulamalarında, fanların birbirleriyle etkileşimini ortadan kaldırma amacıyla fanların aralarına belirli uzaklıklarda ayırıcı duvarlar yerleştirilmekte ve bu nedenle sistem boyutları büyümektedir. Rotor çıkışına bir eksenel yönlendirici yerleştirilmesiyile plug fanların bu dezavantajlarının ortadan kaldırılabilceği öngörülmektedir.

Plug fan çıkışındaki akışın eksenel hale getirilmesi, klima santrallerindeki diğer ekipmanların (filtre, eşanjör, nemlendirme ünitesi vb.) performanslarını da arttıracaktır.

Bu nedenle bu çalışma kapsamında radyal fanın hemen çıkışına konumlandırılan, akışı 90° döndürerek eksenel hale getiren bir yönlendirici bileşen tasarlanmış ve performansı hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizleri ile incelenmiştir. Ayrıca tasarlanan bu yönlendiricinin fan performansı üzerindeki etkisi de çalışılmıştır. Varılan sonuç yönlendiricinin sistemin debisini ve verimini arttırdığı yönündedir.

Anahtar Kelimeler

Radyal Fanlar, Santrifüj Fanlar, Difüzör, Eksenel Yönlendirici, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD).

Design of a Radial Fan System With an Axial Exit

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) has an important influence on the performance of radial fans.

In air conditioning plants and ventilation systems, double suction fans with volute or plug fans are mostly used. Plug fans are preferred due to the easy installation and their relatively small size in spite of their low efficiency compare to the fans with volute. The kinetic energy of the pressurized air is lost at the exit of the fan resulting the increase of the noise level of the system. Moreover the swirling flow influences the performances of the other components of the system such as filters, heat exchanger etc.. In the case of plug fan array (fan wall) applications, the exit conditions might have an important influence on the fan performance due to the interaction between neighbouring fans. In order to prevent this interaction, each plug fan is placed in the bounded box resulting large plant size.

The main purpose of the present study is to eliminate the above mentioned disadvantages of plug fans. In order to achieve high system performance together with high plug fan performance, a flow-director is placed at the exit of the rotor which converts the flow in axial direction.

The influence of the flow-director on the fan performance is studied by using computational fluid dynamics (CFD) technique. It is concluded that the performance of the plug fan rotor is increased by the flow-director.

Keywords

Radial Fans, Centrifugal Fans, Diffuser, Flow-Director, Computational Fluid Dynamics (CFD).

Geliş Tarihi : 10.12.2018
Kabul Tarihi : 04.02.2019

Develi, S. D., Sönmez, O., Ayder, E., Eksenel Çıkışlı Radyal Fan Sistemi Tasarımı, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, sf. 898-907, 17-20 Nisan 2019.

1. GİRİŞ

Radyal (santrifüj) fanlarda, akış fan içerisine ekselel olarak girmekte ve radyal olarak çıkmaktadır. Bu durum birden fazla fanın yanyana çalıştığı fan demeti uygulamalarında gerekli önlemlerin alınmaması durumunda fanların performansını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Zira bu etkileşimi en aza indirmek için, fan demeti uygulamalarında plug fanlar bir yüzü açık kutular içinde çalışacak şekilde yanyana yerleştirilirler. Fan çıkışı ile kutu çeperi arasında belirli bir mesafenin olması gerekliliği, sistemin boyutlarını büyütür. Bu olumsuzluk, fandan çıkan basınçlandırılmış havanın düzgün bir şekilde yönlendirilip, olabildiğince az akış enerjisi kaybı ile ekselel hale getirilmesi ile giderilebilir. Bunu yapabilmek için fan çıkışında radyal doğrultudaki akışı ekselel doğrultuya yönlendirecek bir elemana ihtiyaç vardır. Bu elemanın ilk bölümü kanatsız bir yayıcı olarak çalışarak statik basıncı artıracaktır. Literatürde kanatlı ve kanatsız difüzörler çokça çalışılmış olmasına rağmen, o çalışmalarda akışın ekseleleştirilmesi üzerine durulmamıştır.

Meakhail ve Park [1], tek kademe santrifüj fan çarkı ve çıkışında yer alan kanatlı difüzör içindeki hız dağılımının ölçüldüğü deneysel bir çalışma ve bütün fan sistemi (çark, kanatlı difüzör ve salyangoz) için sayısal bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmada parçacık görüntülemeli akış hızı ölçüm cihazı (PIV-Particle Image Velocimetry) kullanılmış, sayısal çalışmalar ise CFX-Tascflow ile gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak deneysel çalışmalar ile daimi olmayan akış modeli kullanılarak yapılan sayısal çalışmaların sonuçları karşılaştırılmış ve sayısal çalışmaların akışı büyük bir yaklaşıklık ile hesaplayabileceği vurgulanmıştır.

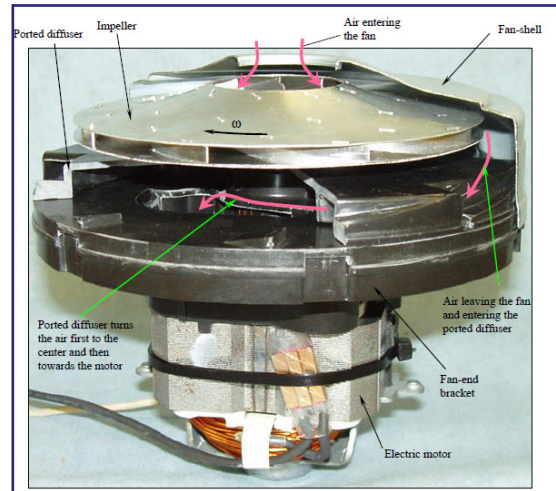
Sharma ve Karanth [2], çarktaki ve kanatlı difüzör üzerindeki yarım kanatçıkların performansa etkisini incelemişlerdir. HAD analizleri sonucunda, difüzörün çıkışına yakın yerleştirilen yarım kanatçıkların, statik basıncın artımında önemli rol oynadığı gösterilmiştir. Yine aynı şekilde fan çıkışına ve difüzör girişine yerleştirilen yarım kanatçıkların da, az da olsa fanın statik basıncını artırdığı hesaplanmıştır.

Li [3], elektrik süpürgelerinde kullanılan tek kademelı santrifüj fanın (Şekil 1) performansını belirlemeye yönelik bir sayısal model geliştirmiş ve bir fanın deneysel çalışmaları ile sınımıştır. Bu

çalışmada fan ve çıkışında yer alan kanatlı difüzör içindeki akışı detaylıca incelenmiş ve bu tip uygulamalarda kullanılan fanlar için tasarım önerileri sunulmuştur.

Cherdieu ve diğ. [4], santrifüj fan ve kanatlı difüzörlerle ilgili bir dizi deneysel ve sayısal çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalar beş farklı debi değerinde gerçekleştirilmiş ve fanın performansının tasarım dışı çalışma koşullarında da kabul edilebilir bir yaklaşıklık ile sayısal yöntem ile hesaplanabileceğini göstermişlerdir.

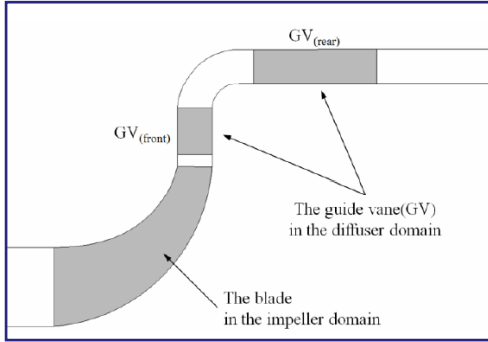
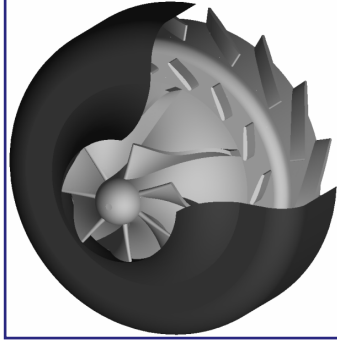
Madwesh ve diğ. [5], bir santrifüj fan ve kanatlı difüzör arasındaki etkileşimi ve akışı incelemişlerdir. Bu çalışma sırasında akışın daimi olmayan yapısını daha iyi çözümleyebilmek için hareketli çözüm ağı kullanılmıştır. Sonuç olarak, aynı kanat sayısına sahip fanlarla yapılan çalışmalarda daha yüksek basınç oranına; kanat sayısı en az olan difüzör ile ulaşılmıştır. Ayrıca fan kanat sayısı artırıldığında daha yüksek basınç oranına ulaşıldığı belirtilmiştir.



Şekil 1. Li'nin üzerinde çalıştığı santrifüj fan ve kanatlı difüzör [3]

Jung ve diğ. [6], yüksek hızlı santrifüj fanlarda difüzör tasarımı üzerine yaptıkları çalışmada altı farklı tasarım parametresi (difüzör kanat sayısı, çark çıkışı difüzör kanatlarının meridyenel uzunluğu, ekselel yönlendicinin kanat uzunluğu, difüzör kanatlarının hucum kenarındaki kesit alanı, ekselel yönlendiricinin kanatlarının çıkış açısı, kanatlardaki maksimum kalınlık ve kanatlardaki maksimum kalınlık dağılımı) incelenmiştir (Şekil

1). Çalışmalar sırasında HAD tekniği kullanılmış olup; sonuç olarak performansı en çok etkileyen parametrelerin aksel yönlendiricinin kanatlarının çıkış açısı ve difüzör kanat sayısı olduğu vurgulanmıştır.

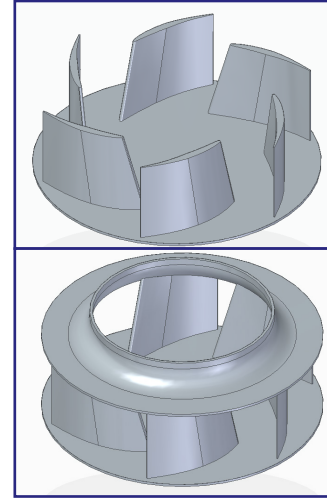


Şekil 2. Jung ve diğ. üzerinde çalıştığı kanatlı difüzör yapısı [6]

Önceden de bahsedildiği gibi literatürde salyangozsuz radyal fanların çıkışına tasarlanabilecek ve akışı akselleştirecek bir kanatsız bir yönlendirici tasarımdan bahsedilmemektedir. Bu sebepten dolayı fan içerisine aksel olarak giren akışın yine aksel çıkması amacıyla fanın çıkışına bir yönlendirici tasarlanmış ve fan performansına etkileri HAD çalışmaları ile gösterilmiştir. Yapılan analizler sonucunda fan çıkışındaki akışı aksel hale getiren bu yönlendiricinin fan performansını artırdığı görülmüştür.

2. EKSENEL YÖNLENDİRİCİNİN TASARIMI

Eksenel yönlendiricinin çıkışında yer aldığı plug fanın resimleri Şekil 3'de ve geometrik boyutları Tablo 1'de verilmiştir. Radyal fanın airfoil şeklinde profile sahip altı adet kanadı vardır. Bu çalışma kapsamında sabit kalınlıklı kanat profiline göre daha yüksek verime sahip olan airfoil kanatlara sahip radyal fanın kullanılması tercih edilmiştir [7].

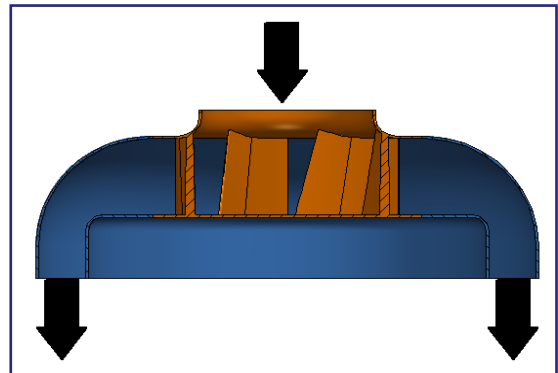


Şekil 3. Airfoil kanat profiline sahip radyal fan

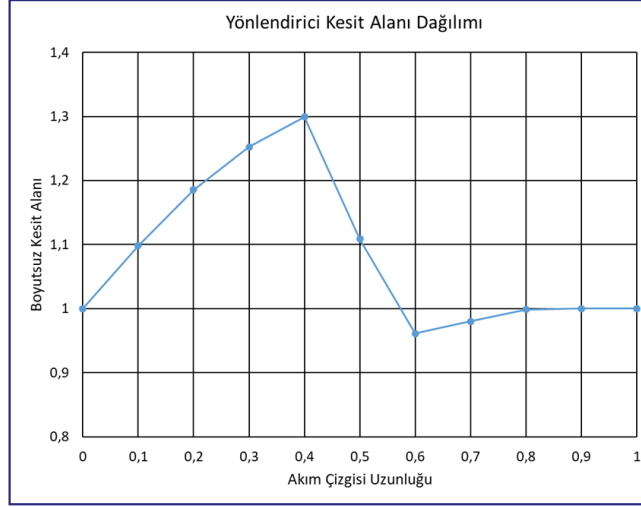
Tablo 1. Fanın Boyutları

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

Tablo 1'de boyutları verilmiş radyal fanın çıkışında yer alan akış yönlendiricinin meridyenel görünümü Şekil 4'de verilmiştir. Eksenel yönlendiricinin tasarımında, dış çeper geometrisinin, imalat kolaylığı bakımından çember parçası biçiminde olması tercih edilmiştir. Çark çıkışından yönlendirici çıkışına kadar tanımlanan yönlendirici kesit alanı dağılımı Şekil 5'de yer almaktadır.



Şekil 4. Eksenel yönlendiricili fan sistemi



Şekil 5. Eksenel yönlendiricinin akış doğrultusunda kesit alanı dağılımı

Yönlendiricinin kesit alanının artışı gösterdiği ilk bölümünde akışın statik basıncı artacaktır. Ayrıca fan çıkışında akışta oluşan yüksek ve düşük enerjili bölgeler çok kısa bir mesafede hızlı bir şekilde karışarak görece olarak düzgün dağılıma sahip akış yapısı oluşacaktır. Bu koşulların fanın performansını olumlu yönde etkilemesi beklenir. Söz konusu basınç artışının akış ayrılmasına yol açmayacak biçimde gerçekleştirilebilmesi önemlidir. Bu çalışmada bu hususa dikkat edilerek alan dağılımı belirlenmiştir. Akışın hızlandığı ikinci bölümde ise akış radyal doğrultudan eksenel doğrultuya dönmektedir. Hızlanan akış nedeniyle bir akış ayrılmasının beklenmeyeceği öngörülse de merkezkaç kuvvetlerin basınç dağılımı ile dengelenmemesi durumunda ikincil akışların oluşması ve enerji kayıplarına yol açması olasıdır. Eksenel akışın yer aldığı üçüncü bölümde ise kesit dağılımı görece olarak değişmemektedir ve sadece sürtünme kayıpları söz konusudur.

3. AKIŞ ANALİZLERİ

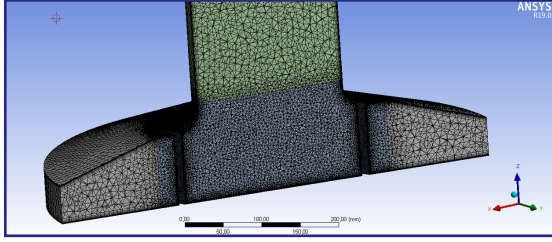
Fan ve yönlendiriciden oluşan sistemin, HAD yöntemi kullanılarak detaylı akış analizleri gerçekleştirilmiş ve performansı hesaplanmıştır. HAD yönteminin gerçekleştirilmesi için gereken akış hacmi ve çözüm ağı yapısı oluşturma işlemlerinde sırasıyla Ansys Design Modeller ve Ansys Meshing modülleri kullanılmıştır. Fan ve yönlendirici sistemi içerisindeki akış çözümlenmeleri ise Ansys CFX modülü yardımıyla türbülanslı akışta RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) denklemleri

çözülerek gerçekleştirilmiştir. Daha sonra sonuçlar Ansys CFD-Post modülü ile incelenmiştir.

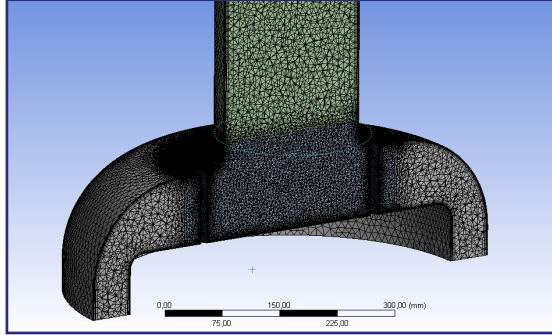
Şekil 3’de gösterilmiş olan üç boyutlu fan katı modelinden, akış analizlerini gerçekleştirebilmek için akış hacimlerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmada eksenel yönlendirici olmadan yapılan çalışmalar için fanın çıkışına, akış bölgesi çıkış sınır koşullarını daha doğru tanımlayabilmek için, akışa dik kesit alanı sabit biçimde tasarlanan, kanatsız bir difüzör; fanın girişine ise, her iki durum için de, silindir biçiminde bir giriş hacmi yerleştirilmiştir. Yönlendiricisiz durum için oluşturulan difüzör ve giriş hacmi Şekil 6’da görülmektedir.

Çözüm ağı yapısı oluşturulurken, çeperlerde oluşacak olan sınır tabakanın doğru modellenmesine özen gösterilmiştir. Radyal fan içindeki türbülanslı akışın hesaplanmasında, literatürdeki uygulamalar esas alınarak, $k-\omega$ 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 oluşturulan çözüm ağı yapıları Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilmiştir.

Akış çözümleri RANS denklemleri kullanılarak Ansys CFX modülü ile gerçekleştirilmiştir. Radyal fanın dönüşü MRF (Çoklu Koordinat Sistemi



Şekil 6. Yönlendiricisiz fan için oluşturulan çözüm ağı yapısı



Şekil 7. Eksenel yönlendiricili fan için oluşturulan çözüm ağı yapısı

- Multiple Reference Frame) ile modellenmiştir. Hesaplamalarda kullanılan sınır koşulları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. 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	-	kaymazlık sınır koşulu

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 3’de söz konusu basınç artışı değerleri için gerçekleştirilen analizin sayısal sonuçları; Şekil 8’de ise her iki durum için karşılaştırılmalı grafiksel performans haritaları görülmektedir.

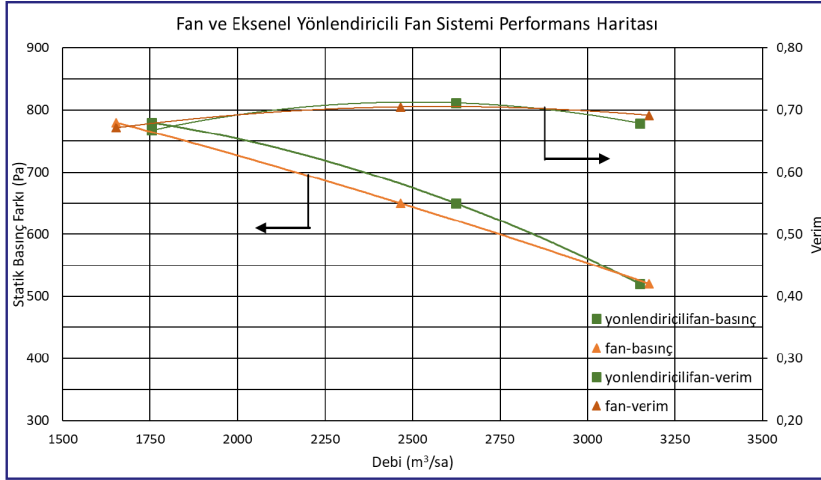
Tablo 3’de yer alan sayısal değerler, fan içindeki aynı statik basınç artışına karşılık, yönlendiricili sistemin, fanda herhangi bir verim kaybına yol açmadan, daha yüksek debi değerleri sağladığını göstermektedir. Tasarım dışı koşullarda yönlendirici, fanın veriminde bir miktar azalmaya neden olmaktadır. Yönlendirici çıkışında görece olarak daha eksenel olan akışın, sistemin diğer elemanları üzerindeki performans etkisinin olumlu yönde olacağı değerlendirilmektedir.

Şekil 9’de çark içindeki bağlı akış ve yönlendiricideki mutlak akış vektörlerinin gösterilen meridyenel düzlem üzerine izdüşümleri, vektörlerin renk ölçeği ile birlikte gösterilmektedir. Akış yönlendiricinin, akışı 90° döndürerek eksenelleştirdiği görülmektedir. Yönlendirici içinde, özellikle dönüş bölgesinde, ikincil akışların varlığı, yönlendirici geometrisinin iyileştirilmesi ile daha iyi performans değerlerine ulaşabileceği sonucunu doğrulamaktadır.

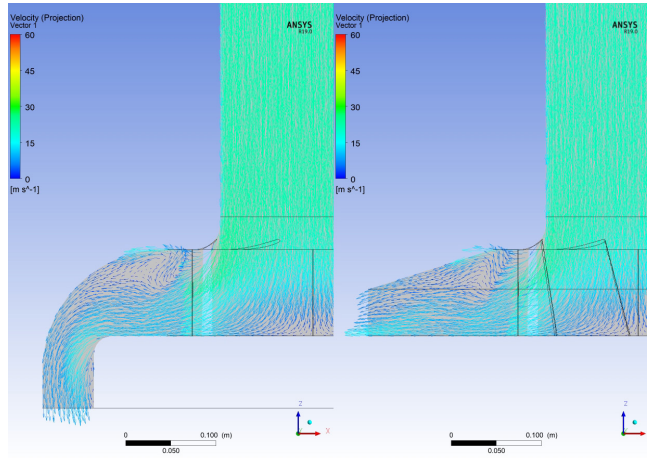
Şekil 10’da fanın orta düzleminde, yönlendiricili (solda) ve yönlendiricisiz (sağda) durumda, 650 Pa basınç artışı çalışma koşulunda, statik basınç dağılımları yer almaktadır. Fanın her iki durum içinde performans değerlerinin aynı kaldığı bu durum için (Şekil 8), basınç dağılımları da aynıdır. Debinin az miktarda değişmesinin basınç dağılımı üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Benzer durum, fan kanatları üzerindeki statik basınç dağılımlarının karşılaştırılmasında da söz konusudur (Şekil 11).

Tablo 3. Analiz Sonuçları

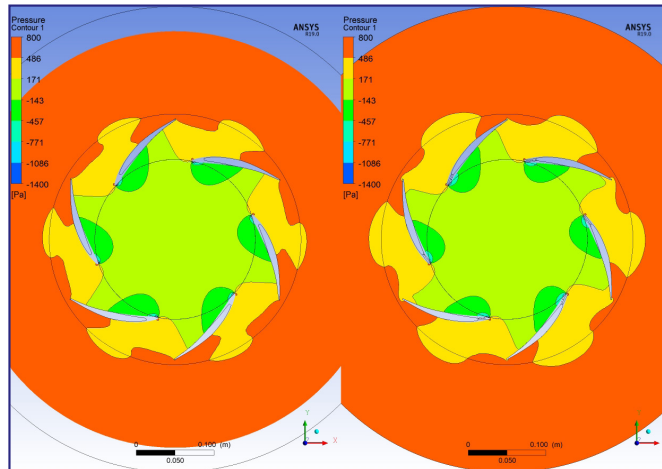
Devir Sayısı	2880	d/d	Akışkan Gücü	Tork	Mil Gücü	Verim
	Debi (Q) m ³ /sa					
Fan	1653	780	358,15	1,77	533,22	0,67
	2465	650	445,07	2,09	631,23	0,71
	3177	520	458,90	2,20	663,50	0,69
Eksenel Yönlendiricili Fan Sistemi	1754	780	380,03	1,89	569,41	0,67
	2623	650	473,60	2,21	665,62	0,71
	3150	520	455,00	2,22	670,14	0,68



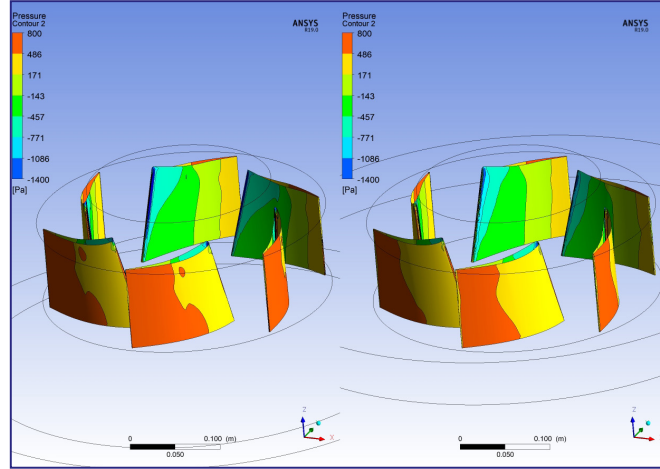
Şekil 8. Fan ve eksenel yönlendiricili fan sistemi performans haritası



Şekil 9. Yönlendirici ile akışın 90° döndürülmesi (Yönlendirici içerisindeki hız vektörleri)



Şekil 10. Eksenel yönlendiricili sistemdeki (solda) ve tekil durumdaki (sağda) fan içerisindeki statik basınç dağılımları



Şekil 11. Eksenel yönlendiricili sistemdeki (sol) ve tekil durumdaki (sağ) fan kanat üzerindeki statik basınç dağılımları

SONUÇ

Çalışma kapsamında, airfoil profil biçimli kanatlara sahip bir radyal fanın, çıkışındaki akışı eksenelleştiren bir yönlendirici ile birlikte çalışması incelenmiştir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) tekniği kullanıldığı çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Akış yönlendiricinin, tekil fan performansı üzerinde olumlu etkisi bulunmaktadır. Yönlendirici ile çalıştırılan fanda aynı statik basınç artışında hem fazla debi hem de daha yüksek verim değeri elde edilmektedir.
- Akış yönlendirici sayesinde, daha iyi performans değerlerini daha küçük genel boyutlar ile sağlayabilecek fan demetleri imal etmek mümkün olabilecektir.
- Fanın çıkışına yerleştirilen yönlendirici, sonucunda sistemin filtre, eşanjör, nemlendirme ünitesi gibi elemanlarının performanslarının artması beklenmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Üniversite-Sanayi işbirliği çerçevesinde Can Klima Teknik ve İTÜ Makina Fakültesi, Hidromekanik ve Hidrolik Makinalar Çalışma Grubu tarafından gerçekleştirilmiş ve 3170289 No'lu "TEK EMİŞLİ EKSENEL ÇIKIŞLI SANTI-RİFÜJ VANTİLATÖR VE VANTİLATÖR DEMETİ TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ" başlıklı TÜBİTAK-TEYDEB projesi kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden ötürü, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na ve TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] Meakhail, T., Park, S.O., "A Study of Impeller-Diffuser-Volute Interaction in a Centrifugal Fan", A Journal of Turbomachinery, 2005.
- [2] Sharma, N.Y., Karanth, K.V., "Numerical Analysis of a Centrifugal Fan for Improved Performance Using Splitter Vanes", World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering, vol:3, No:12, 2009.
- [3] Li, H., "Fluid Flow Analysis of a Single-Stage Centrifugal Fan with a Ported Diffuser", Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 3:2, 147-163, 2009.
- [4] Cherdieu, P., Dazin, A., Dupont, P., Bayeul-Laine, A.C., Roussette, O., Bois, G., "Analysis of Unsteadinesses in a Vaned Diffuser of Centrifugal Machinery", 21ème Congrès Français de Mécanique, 2013.
- [5] Madhves, N., Manjunath, M.S., Karanth, K.V., "Influence of Number of Impeller and Diffuser Blades on the Pressure Recovery of Centrifugal Fan", IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology, 2015.
- [6] Jung, U.H., Kim, J.H., Park, C.H., Jun, S.O., Choi, Y.S., "Optimum Design of Diffuser in a Small High Speed Centrifugal Fan Using CFD and DOE", Journal of Mechanical Science and Technology, 30 (3) 1171~1184, 2015.
- [7] Develi, S.D., Ayder, E., "Radyal Fanlarda Kanat Profili Biçiminin Performansa Etkisi", 14. Ulusal Tesiat Mühendisliği Kongresi, 2019.
- [8] Ansys CFX Tutorials.