

BİR SANTRİFÜJ FANIN ÇIKIŞ AĞZI ÜFLEME KARAKTERİSTİĞİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Funda KURU
Dilek KUMLUTAŞ
Özgün ÖZER
Ziya Haktan KARADENİZ

ÖZET

Santrifüj fanlar, kullanım yeri ve tasarımları itibariyle günümüzde pek çok uygulamasına rastlanılan, tasarım parametrelerinin performans çok büyük etkilerinin olduğu bilinen sistem elemanlarıdır. Fan çıkışında akış karakteristiklerinin belirlenmesi, hem seçilmiş fanın kullanılacağı sistemin tasarlanması durumunda, hem de mevcut bir sisteme uygun fanın araştırıldığı durumda büyük avantajlar sağlamaktadır.

Yapılan çalışmada bir santrifüj fanın içindeki ve üfleme ağzındaki akış yapısı hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Yapılan analizler, parçacık görüntülemeli hız ölçümü yöntemi (PGHÖ) kullanılarak doğrulanmıştır. Çalışmanın sonucunda HAD'ın bu cihazları incelenmesinde etkin ve ekonomik bir araç olduğu ortaya konularak, istenilen akış profilleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, HAD, Santrifüj Fan.

ABSTRACT

Centrifugal fans are widely used system elements which has important design parameters that affect the performance of the systems. The determination of the characteristic at the exit of the fan, gives advantage on both the process of designing a new fan and choosing a fan for an existing system.

In this study, the internal and the exit characteristics of a centrifugal fan is inspected by using computational fluid dynamics (CFD). The results of the analysis are validated by PIV experimental method. As the result of the study, the desired flow characteristics are obtained and CFD method is pointed as an effective method for investigating these fans.

Key Words: Computational Fluid Dynamics, CFD, Centrifugal Fans.

1. GİRİŞ

Santrifüj fanlar, salyangoz gövde, döner çark ve elektrik motoru olmak üzere üç ana birimden oluşur. Çarkın merkezinden emilen hava dik bir açı yaparak dönen kanatların arasından geçerek fanı terk eder. Kanatların arasında, akışkanın dönmesi ile oluşan merkezkaç etki difüzörden emişi, statik basıncı arttırmayı ve salyangoz çıkışından akışkanı atmayı sağlar. Akışkan kanatları terk ederken akışkanın kinetik enerjisinin önemli bölümü çark ile salyangoz gövde arasındaki genişleme etkisiyle basınca dönüşür.

Younsi ve diğ., ileriye yatık kanatlı, düzensiz akışlı santrifüj fanlar ve bu fanların akustik davranışlarını sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir [1, 2]. Bu çalışmalarla düzensiz kanat ölçülerinin, fan kanadı sayısının ve fan çevresi ile fan yuvası arasındaki radyal uzaklığın gürültü ve fan performansı üzerinde etkili olduğunu belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, duvardaki basınç dalgalanmaları ve uzak bölgedeki ses sinyalleri arasında bir bağıntı çıkarılmıştır.

Geriye yatık kanatlı santrifüj fanlarda aerodinamik gürültü kaynaklarının deneysel olarak incelendiği Velarde-Suarez ve diğ. yaptığı çalışmada ise, farklı debiler için fan çıkış ağzındaki akustik basınç ölçümleri ve fan yuvası yüzeylerindeki noktalardan alınan basınç düşümleri ölçümleri yapılmıştır [3]. En güçlü ses kaynağının, dalgalanan havanın kanatları terk ederken fan yuvası yönlendirici dili arasında olan etkileşim sırasında oluştuğu tespit edilmiştir.

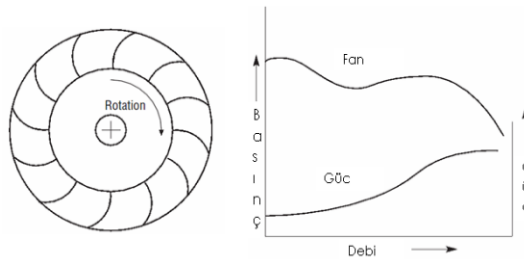
Datong ve diğ.'nin santrifüj fanlarda gürültü seviyesinin düşürülmesi için yaptığı bir diğer benzer deneysel çalışmada, ileriye yatık kanatlı santrifüj fanın performans ve ses karakteristikleri çıkarılarak, literatürde yapılmış geriye ve ileriye yatık kanatlı santrifüj fan ile arasındaki benzerlikler ve farklar karşılaştırılmıştır [4]. Farklı geometrilerdeki fan yuvası konfigürasyonları oluşturularak eğimli fan yuvası yönlendiricisi, fan kanatları açıklığı, merkez hacmi açıklığı ve bunların performans ve ses üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda hem gürültü seviyesinde hem de performansta iyileşmenin görüldüğü modellerin elde edilebileceği görülmüştür.

Bir turbo makina olan santrifüj fanları da kapsayan, Wernet 'in çalışmasında sürekli ve zamana bağlı koşullarda fanlarda meydana gelen akış alanlarının Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm (PGHÖ) metodu ile incelemesi yapılmıştır [5]. Bu metotla, karmaşık akışın meydana geldiği turbo makina kanatlarının arasındaki akış görselleştirilmiş, yapılan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) (Computational Fluid Dynamics, CFD) çalışmaları ile karşılaştırılmış ve akışın türbülans şiddetinin belirlenmesi sağlanmıştır.

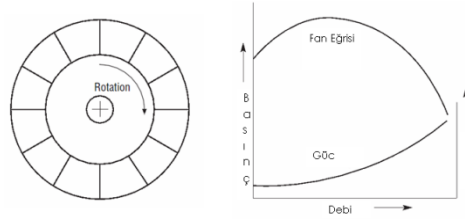
Literatür incelendiğinde, sistemden ayrı olarak değerlendirilen santrifüj fan performansı ve karakteristiği ile ilgili çalışmalarda HAD çözümlerinin ve PGHÖ yönteminin kullanılabilirliğine ait örnekler yukarıda özetlenmiştir.

2. SAYISAL ÇALIŞMALAR

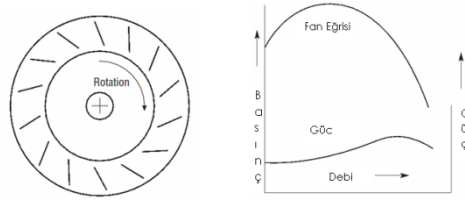
Bir kurutma sisteminde, hava sirkülasyonunun sağlanması amacıyla sisteme santrifüj fan yerleştirilecektir. Kullanılacak fan tipi için kullanım yeri ve çalışması göz önüne alınarak santrifüj tip fanların uygun olacağı öngörülmüştür. Radyal (Radial), İleriye Yatık (Forward Curve) ve Geriye Yatık (Backward Curve) olmak üzere 3 tip santrifüj fan bulunmaktadır. Bu fanların basınç, güç, debi ve verim değerleri incelendiğinde, sistemde fazla basınç kaybı olmaması nedeniyle ileriye yatık çarklı fan kullanılmaktadır. Şekil 1, 2 ve 3'te radyal, geriye yatık ve ileriye yatık ait basınç debi grafikleri bulunmaktadır [6].



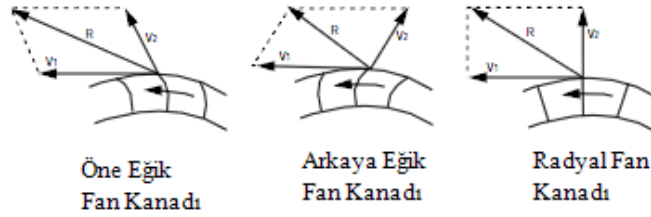
Şekil 1. İleri Yatık Kanatlı Fan Tipi ve Performans Çizgisi



Şekil 2. Radyal Kanatlı Fan Tipi ve Performans Çizgisi



Şekil 3. Geriye Yatık Kanatlı Fan Tipi ve Performans Çizgisi

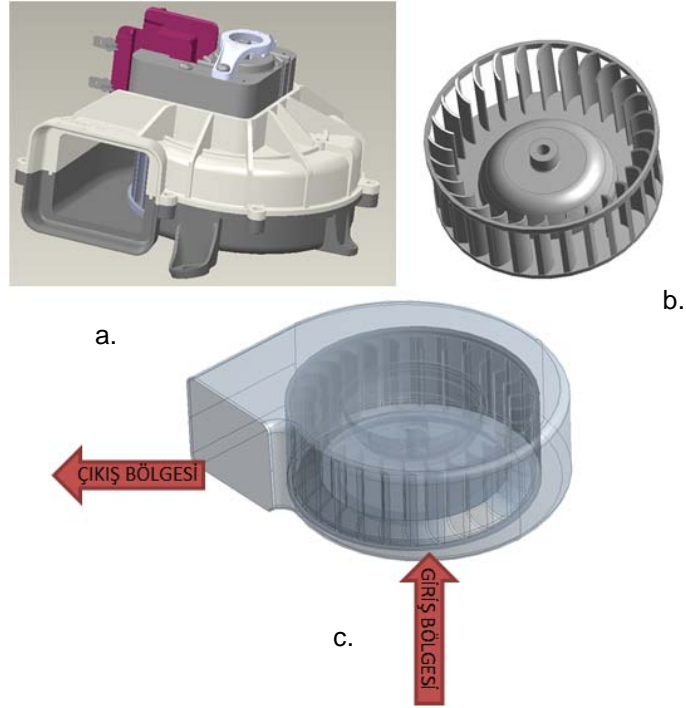


Şekil 4. Fan Hız Vektörleri

Şekil 4'teki hız vektörleri incelendiğinde, kanat yapılarına göre gruplandırılan santrifüj fan içerisindeki en hızlı fan tipinin ileriye yatık kanatlı olduğu görülmektedir.

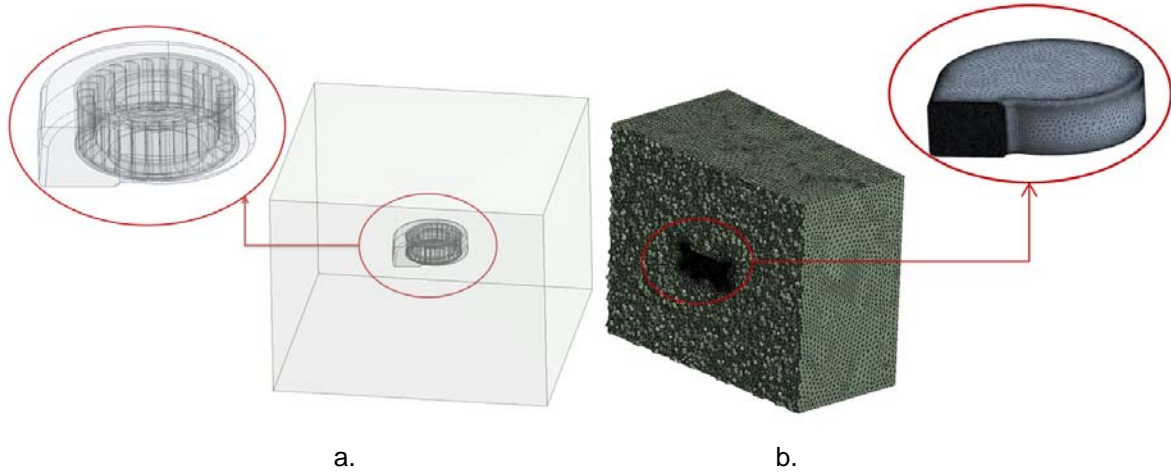
Santrifüj fan için, sayısal çalışma kapsamında, fan yuvası ve kanatlarına ait hava hacmi modellemesi yapılmıştır. Modellemede, fan yuvası kabuğuna ait geometrilerde, motor ve motor milinde akışa etkisinin olmadığı öngörülen sadeleştirmeler yapılmış böylece sayısal model hazırlığının ilk aşaması olan ve analizde program yükünün rahatlatılmasını sağlayan sadeleştirilmiş fan havası hacmi elde edilmiştir. Şekil 5'te santrifüj fana ait katı model ve sayısal analiz için oluşturulan hava hacmi modellemesi gösterilmiştir.

Santrifüj fan, çalışma prensibine göre, giriş bölgesi olarak gösterilen alandan havayı çekerek santrifüj etkisiyle çıkış ağzından kullanıldığı hacim içerisine yönlendirmektedir. Şekil 5.c'de bu giriş ve çıkışlar katı model üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5. Santrifüj Fanın a. Katı Modeli, b. Kanat Geometrisi ve c. Sayısal Analiz İçin Oluşturulan Fan Yuvasına Ait Hava Hacmi Modellemesi

Santrifüj fan için, üretici firmadan alınan model baz alınarak HAD analizi için fan bölgesi hava hacmi ve fan çıkışındaki akış karakteristiklerinin incelenebilmesi adına, fan çark çapının dört katı büyüklüğünde kenarlara sahip bir ortam havası hacmi oluşturulmuştur. Şekil 6.a'da, oluşturulan hava hacimlerine ait model verilmiştir.



Şekil 6. Santrifüj Fan İle Dış Ortam Hava Hacmi a. Geometrisi, b. Sayısal Modeli

Oluşturulan sayısal modelde, eleman sayısı 3659175, düğüm sayısı 3659175 olan tetrahedral ağ elemanları kullanılmıştır. Şekil 6.b'de ortam havası ve fan yuvası hacmi için oluşturulan ağ yapısı gösterilmiştir.

Tetrahedral elemanlar, özellikle yeterli yoğunlukta kullanıldığında eğimli yüzeylere iyi bir uyum sağlayabilmektedir. Hem fan hem de fan yuvasının bu tür eğimli ya da dairesel yüzeylere sahip olması nedeni ile bu eleman türü seçilmiştir. Oluşturulan ağ yapısının, sayısal modelin sonuçlarına etkilerinin

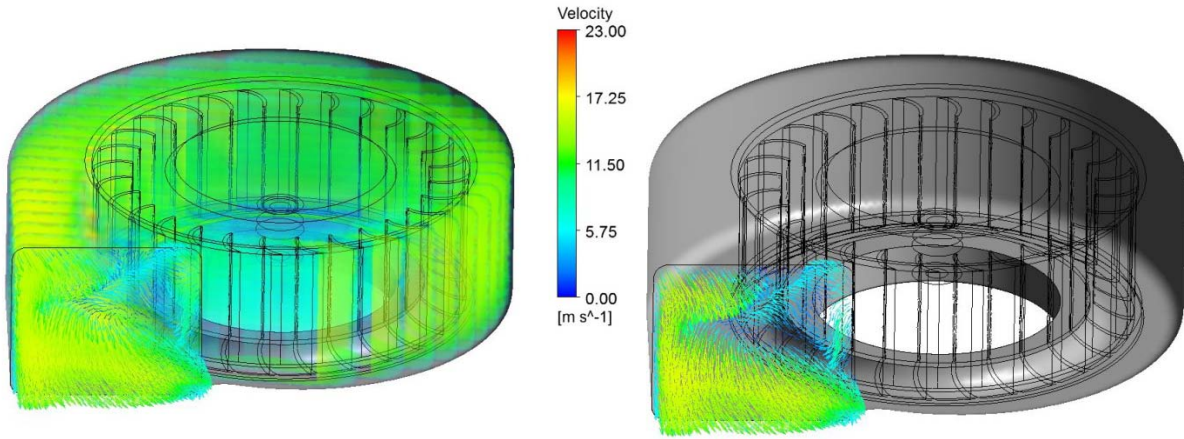
karşılaştırılması ve gereğinden fazla veya yetersiz elemanların kullanılarak analizi farklı noktalara taşımalarını engellemek adına kullanılan ağ yapısı önem teşkil etmektedir.

Fanın, bir sisteme dahil edilmeksizin tek başına ortam havasında çalıştırılması durumunu simule edecek olan HAD modelinin sınır şartı olarak, fan giriş ve çıkışının ortam havasına açıldığı yüzeylere ara yüzey tanımlamaları yapılmıştır. Buna göre, giriş ve çıkış bölgeleri için direncin olmadığı koşul sayısal modele sınır şartı olarak verilmiştir. Fanın boşta çalıştırıldığı bu durum için fan devrinin belirlenmesi adına, stroboskop ile ölçümler yapılmıştır. Bu ölçüm sonucunda sistem dışında haricen çalıştırılan fan devri 1876 dev/dk olarak ölçülmüş ve sınır koşulu olarak bu değer girilmiştir. Analiz yükünü hafifletmek adına, fan yuvası kabuğu katı olarak modellenmek yerine fan iç hacmine ait sınırlar duvar olarak tanımlanmıştır.

Fan içerisindeki ve fanın bulunduğu ortamı temsil eden ortam havasındaki akışın modellenmesi için, ilk çalışma olarak akışın kararlı rejimde olduğu kabulü yapılmış ve fan modellemelerinde en kapsamlı türbülans çözümlerini içeren k-ε türbülans modeli seçilmiştir. Başlangıç şartı olarak, kararlı duruma ait analiz sonuçları seçilen ve çarkın 125 tur atması için geçecek süre olarak hesaplanan 4 s boyunca zamana bağlı akış analizi tanımlanmıştır.

3. ANALİZ SONUÇLARI

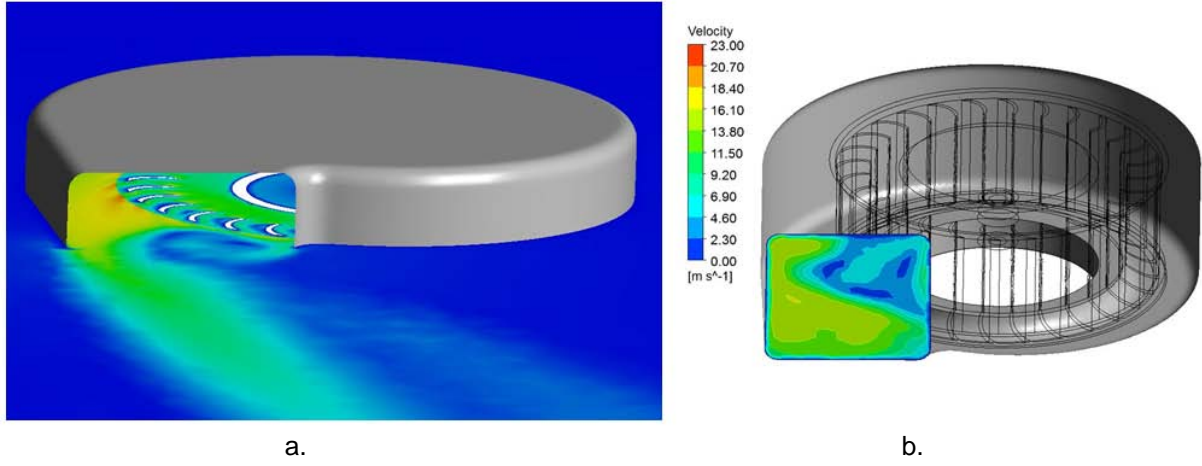
Bu kabuller ışığında yapılan ilk analizler sonucunda elde edilen hacimsel hız dağılımı Şekil 7'de verilmiştir.



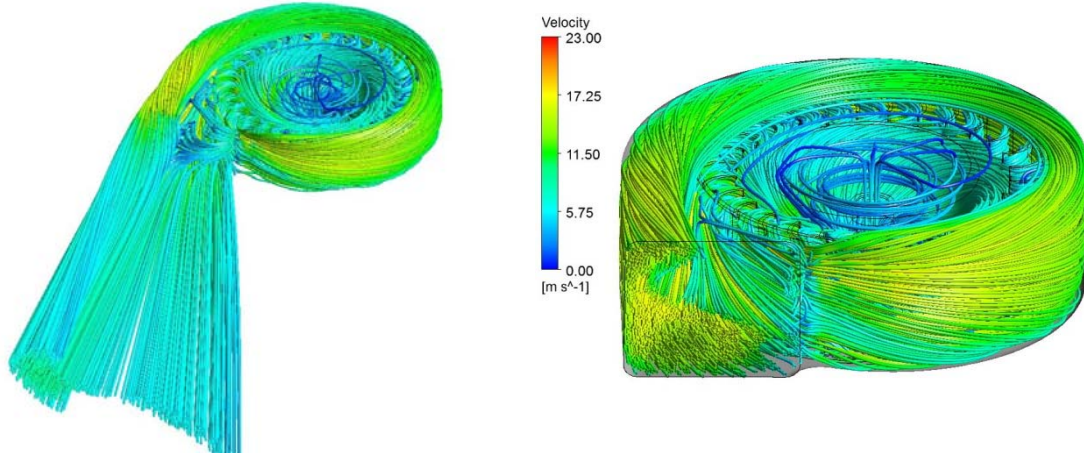
Şekil 7. Santrifüj Fan Hacmi Hız Dağılımı

Fan yuvası içerisinde ve özellikle fan çıkış ağzında oluşan hız dağılımının incelenmesi amacıyla, vektörel hız dağılımları HAD modellemesi ile görselleştirilmiştir. Santrifüj fanın çalışma prensibine uygun olarak ortaya çıkan hız dağılımında, akışın çıkış ağzında fan yuvasının dış duvarlarına yakın sağ yan yüzeylerinde yüksek hızlara ulaştığı gözlenmiştir (Şekil 7).

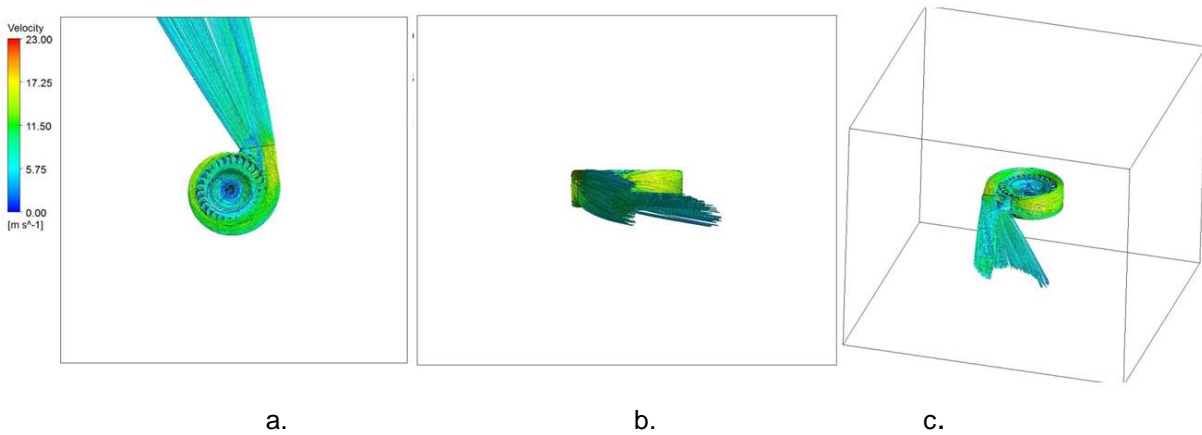
Fan yuvası üfleme ağzında, fanın boşta çalışması durumu göz önüne alınarak yapılan analiz sonrasında, fanın girişinde ve çıkışında herhangi bir direncin oluşmadığı durum için elde edilen hız vektörleri Şekil 7'deki gibi elde edilmiştir. Çıkış ağzındaki hız kontörlerinin Şekil 8'deki gibi görselleştirildiği bu dağılım, yapılan PGHÖ Deney sonuçları ile karşılaştırılarak, modellemenin doğruluğu kontrol edilmiştir.



Şekil 8. Santrifüj Fan a. Orta Düzlemi b. Çıkış Ağızı, Hız Dağılımı Kontörleri



Şekil 9. Santrifüj Fan Yuvası Çıkışında Akışın Ortam Havasındaki Dağılımı ve Fan Yuvası İçindeki Akım Çizgileri



Şekil 10. Fan Yuvası Çıkışındaki Akış Yapısının a. Üstten, b. Önden, c. İzometrik Görünümü

Buna göre, sayısal çalışmalar kapsamında fan yuvası içerisindeki ve çıkış ağzında elde edilen akışa ait akım çizgileri Şekil 9'da verilmiştir. Fan yuvası salyangoz tasarımı ile fan çarkının geometrik yapısına bağlı olarak elde edilen akış karakteristikleri incelendiğinde, salyangozun dil bölgesindeki akış ayrılmalarının çıkışa yakın bölgede türbülansa neden olduğu görülmüştür. Ayrıca, yine salyangoz duvarının genişleyen bölgesinde oluşan yüksek hızlardaki akış ile akış ayrılmaları sonrasında fan yuvasını terk eden akışın karakteristiği, oluşturulan dış hava hacmi bölgesi sayesinde rahatlıkla görselleştirilebilmiştir (Şekil 10).

Bu modelleme yöntemi ile görselleştirilebilen akış yapısı, fan yuvasında veya çark geometrisinde yapılacak tasarım değişiklikleri ile istenilen formlara taşınabileceği gibi, birlikte çalıştırılacağı sistemle olan etkileşimi altındaki akış davranışı da önceden tespit edilebilecektir. Yapılan kabuller ile elde edilen analiz sonuçları ve deneysel çalışmalardan ulaşılan veriler karşılaştırılmıştır.

4. SAYISAL ÇALIŞMANIN DOĞRULANMASI

Sayısal çalışmalar, tasarım süreçlerinde çok sayıda alternatif model içinden denenmeye değer olanların tespiti için kullanılarak önemli zaman ve maliyet kazançları sağlamaktadır. Ancak bu yöntemler matematiksel modellemeye ve tanımlanan sınır koşullarına bağlı olarak yaklaşık çözüm yöntemleridir. Dolayısı ile analiz sonrası elde edilen sonuçlar her ne kadar matematiksel anlamda yakınsasa da kurulan matematiksel model araştırılan gerçeklikle uyum içinde değilse sonuçlar da gerçeği yansıtmayacaktır. Bu tür hataların ortaya çıkma oranının analiz mühendisinin tecrübesi ile ters orantılı olarak değiştiği kabul edilse dahi, tasarım süreçlerinde deneylerle doğrulanmamış bir sayısal çalışmaya göre tasarımı yönlendirmek risktir.

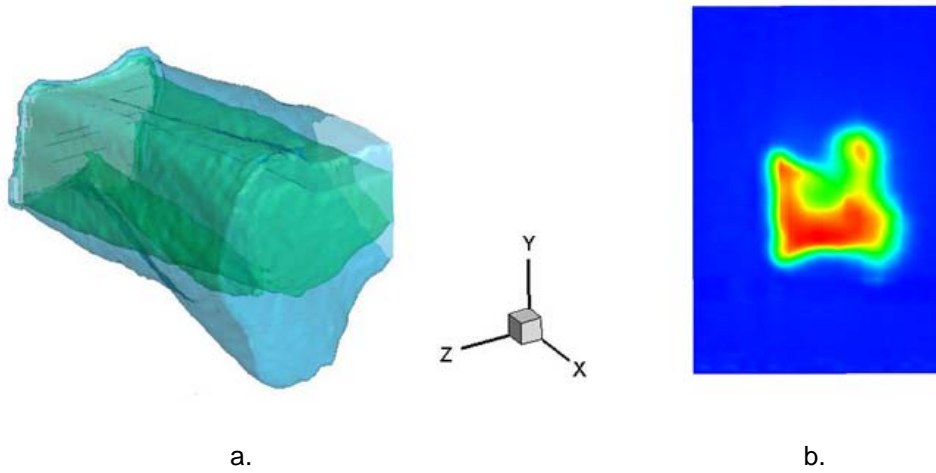
Bu bilgi ışığında, SAN-TEZ kapsamında devam ettirilen mevcut çalışmada deneysel ve sayısal çalışma paralel olarak sürdürülmekte ve deneysel çalışmalardan sayısal çalışmaların doğrulanması için de faydalanılmaktadır.

Bu çalışmada, doğrulama metodu olarak Stereo Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü (SPGHÖ) yöntemi kullanılmıştır. PGHÖ yöntemi akışa müdahalesiz ve tüm alansal bir ölçüm yöntemi olarak sayısal çalışmaların doğrulanması için mevcut en etkin yöntemlerden birisidir.

Yöntem temelinde, akış ile tamamen beraber hareket edebilen taneciklerin akışa eklenmesi ve daha sonra bunların lazer ile aydınlatılarak görüntülenmesi prensibine dayanır. Uygun sıklıkta alınan görüntüler karşılaştırıldığında; tanecikler arasındaki konum farkı ile yer değiştirme, yer değiştirmenin zamana oranı ile ise mevcut alandaki taneciklerin hızı elde edilmiş olunur. Bu basit görünen metodun santrifuj fan gibi turbo cihazlarda uygulanabilmesi için; görüntüleme için yüksek hızlı kameralar, aydınlatma için lazer, verilerin kaydedilmesi ve işlenebilmesi için yüksek başarılı iş istasyonları ve son olarak bütün bu ekipmanın eş olarak işlenmesini sağlayacak kontrol sistemine gerek duyulmaktadır.

Bu çalışmada 135 mJ gücünde, çift atımlı ND:YAG lazer kullanılmıştır. Deney, fanın gerçek çalışma ortamı olan hava ortamında yapılmış ve taneciklendirme elemanı olarak sis kullanılmıştır. Akışın üç boyutlu yapısı nedeni ile tek kamera kullanılarak uygulanan PGHÖ yerine, aynı anda farklı açılardan çalışan çift kamera ile uygulanan SPGHÖ yöntemi kullanılmıştır.

Fanın çıkış ağzında 29 düzlemden elde edilen SPGHÖ verileri, interpolasyon ile hacimsel hale dönüştürülmüş böylece HAD ile karşılaştırılabilir hale getirilmiştir (Şekil 11.a). Yapılan karşılaştırma çalışmasının sonucunda, jetin çekirdeğindeki hızların SPGHÖ ve HAD sonuçlarında 12 ila 15 m/s mertebesinde olduğu saptanmıştır. Şekil 11.b'de kırmızı ile gösterilen bölge bu hızları temsil etmektedir. Ayrıca, Şekil 11.b'de verilen SPGHÖ deneylerinden elde edilen akış profilinin, HAD analizinden elde edilen (Şekil 8.b) akış profiliyle uyum gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 11. HAD Sonuçlarının Doğrulanmasında Kullanılan SPGHÖ Deney Sonucu a. Santrifüj Fanın Üfleme Ağzından Elde Edilen Hacimsel Üç Boyutlu Hız Verisi Üzerinde Çizdirilmiş Eş-Hız Yüzeyleri (iç Yüzey 7 m/s, Dış Yüzey 3 m/s) b. Çıkış Ağzı Profil Kesiti

SONUÇ

Bu çalışmada, bir santrifüj fanın iç ve üfleme ağzındaki akış karakteristikleri HAD yöntemiyle belirlenmiştir. Bu çözümler SPGHÖ deney sonuçlarıyla doğrulanması, sayısal modelin fanın gerçek durumunu simule ettiğini göstermektedir. Böylece HAD yöntemi, sisteme uygun fan seçiminde veya fan giriş-çıkışında oluşan akış karakteristiklerine uygun sistem seçiminde, güvenilir bir çözüm önerisi olarak sunulmuştur.

Ayrıca; HAD yöntemiyle, kanat diplerinde oluşan akışın ve fan yuvası geometrisi tasarımının akış üzerindeki etkilerinin incelenmesine de olanak sağlayan daha detaylı çalışmaların yapılması mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] YOUNSI, M., BAKIR, F., KOUIDRI, S. and REY R., "Influence of Impeller Geometry on The Unsteady Flow in a Centrifugal Fan: Numerical and Experimental Analysis", International Journal of Rotating Machinery, ID:34901 (2007).
- [2] YOUNSI, M., BAKIR, F., KOUIDRI, S. and REY R., "3D Unsteady Flow in a Centrifugal Fan: Impeller – Volute Interaction", Journal of Computational and Applied Mechanics, 8 (2007) 211-223.
- [3] VELARDE-SUÁREZ, S., BALLESTEROS-TAJADURA, R., HURTADO-CRUZ, J.P., SANTOLARIA-MORROS, C., "Experimental determination of the tonal noise sources in a centrifugal fan", Journal of Sound and Vibration, 295, (2006).
- [4] DATONG, Q., YIJUN, M., XIAOLIANG, L., MINJIAN, Y., "Experimental Study on The Noise Reduction of an Industrial Forward-Curved Blades Centrifugal Fan", Applied Acoustics, 70 (2009) 1041–1050.
- [5] WERNET, M. P., "Application of DPIV to Study Both Steady State and Transient Turbomachinery Flows", Optics & Laser Technology, 32 (2000) 497-525.

ÖZGEÇMİŞ

Funda KURU

1985, Eskişehir doğumlu olan Funda Kuru 2003 yılında TED Aliağa Kolejinden mezun olmuştur. 2003-2007 yıllarında DEÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nde lisans, 2007-2010 yılları arasında ise aynı Üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Yüksek Lisans Programı'nı tamamlamıştır. 2011 yılı itibariyle Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Doktora Programında eğitimine devam etmekte olup Vestel Beyaz Eşya Fabrikası'nda Ar-Ge Mühendisi olarak çalışmaktadır.

Dilek KUMLUTAŞ

İzmir doğumludur. 1990 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı Üniversite'nin Enerji Anabilim dalında 1994 yılında Yüksek Lisans, 1999 yılında Doktora Eğitimini tamamlamıştır. 1990-1999 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 1999-2007 yıllarında Yardımcı Doçent olarak görev yapmıştır. 2007 yılından beri Makina Bölümü'nde Doçent olarak çalışmaktadır.

Özgün ÖZER

1984'te İzmir'de doğmuştur. 2008 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü'nden, 2011 yılında aynı Üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Yüksek Lisans Programı'ndan mezun olmuştur. Halen, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Doktora Programı'nda eğitimine devam etmektedir. Ayrıca, 2005'ten bu yana İzmir Fotoğrafçılar Odası tarafından düzenlenen fotoğraf kurslarında "uzman eğitimci" olarak görev yapmakta olup, Fotoğrafçılık ve Kameramanlık ön lisans bölümü mezunudur.

Ziya Haktan KARADENİZ

1980 yılında İzmir'de doğan Ziya Haktan KARADENİZ; 2002 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden, 2005 ve 2011 yıllarında ise sırasıyla aynı Üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Yüksek Lisans ve Doktora Programlarından mezun olmuştur. 2002 yılından beri Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.