

# BİR SANTRİFÜJ FANIN PARÇACIK GÖRÜNTÜLEMELİ HIZ ÖLÇÜMÜ (PIV) YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

Özgün ÖZER  
Dilek KUMLUTAŞ  
Ziya Haktan KARADENİZ

## ÖZET

Santrifüj fanlar sanayide geniş bir kullanımını olan akış yönlendirme araçlarıdır. Günümüzde fanların performansı, fan test cihazlarından elde edilen fan performans eğrileri ile değerlendirilmektedir. Bu eğriler klasik anlamda bir sistem tasarlamak için yeterli olmakla birlikte, fan tasarımının iyileştirilmesi sürecinde hatanın tespiti ya da iyileştirilebilecek yerler hakkında fikir verememektedir. Bu noktada tüm alansal ve akışa müdahalesiz bir hız ölçüm metodu olan parçacık görüntülemeli hız ölçümü (PGHÖ) yöntemi fanların incelenmesinde avantajlı bir yöntemdir.

Bu çalışmada, bir santrifüj fan'ın üfleme ve emiş bölgeleri stereo PGHÖ yöntemi kullanılarak incelenmiştir. İncelenen akış alanında periyodik kesitlerde düzlemsel Üç bileşenli hız verileri elde edilmiştir. Daha sonra bu verilerin işlenmesi sonucunda fanın emiş ve üfleme ağızındaki ortalama akış profilleri, hacimsel üç bileşenli olarak elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Santrifüj Fan, Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü (PGHÖ), Stereo Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü (SPGHÖ)

## ABSTRACT

Centrifugal fans are flow directing devices that are widely used for industrial purposes. Nowadays the performances of these devices are decided by the fan characteristic curves which are obtained at fan performance test devices. Although these curves are enough for designing a system in classical meaning, they are not giving information about positions of the artifacts for the process of design. At this point particle image velocimetry (PIV) which is non-intrusive whole field velocity measurement technique comes forward as an useful method.

In this study, a centrifugal fans entrance and exit flow are investigated by Stereo PIV. Two-dimensional three component velocity data has been gathered at these investigated areas on periodic sections. After that these data processed and three dimensional, three component average flow profiles of the entrance and exit areas have been obtained.

**Key Words:** Centrifugal Fan, Particle Image Velocimetry (PIV), Stereo Particle Image Velocimetry (SPIV)

## 1. GİRİŞ

Santrifüj fanlar genellikle daha ucuz, daha sessiz ve üretimlerinin aksel fanlara göre daha kolay olması nedeni ile iklimlendirme ve soğutma sektöründe tercih edilen sistem bileşenleridir. Kanatların dönme eksenini boyunca bir emiş ağzından içine çektiği gazın kinetik enerjisini artırarak, genellikle kanatların dönüş rotasına teğet bir üfleme ağzından dışarıya üfler. Akışa kazandırılan kinetik enerji kanal, damper ve diğer sistem bileşenlerinde gerçekleşen basınç düşümlerini yenmekte ve akışkanın gönderilmek istenilen bölgeye iletilmesinde kullanılmaktadır. Kinetik enerjinin santrifüj prensibi ile aktarılması santrifüj fanların çıkış ağzında, kendilerine has ve asimetric bir akış profilinin oluşmasına sebep olur. Bu akış profilinin tespit edilmesi, fanın tasarımının doğrulanması açısından önemli olduğu gibi, fanın kullanılacağı sisteme uygunluğunun değerlendirilmesi açısından da kritiktir.

Her ne kadar Bruno Eck, 1976 yılında bu fanların çalışma prensipleri ile ilgili bir kitap yayınlamış olsa da, güncel olarak santrifüj fanlar hakkındaki çalışmalar sürmektedir [1]. 2010 yılında Yu-Tai Lee ve ekibinin yaptığı “santrifüj fanların kanat yapısının sayısal olarak optimize edilmesi” isimli çalışmada hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin kullanımı ile fanların iyileştirilmesi için bir metot ortaya sunulmuş ve bu metot kullanılarak fanın çalıştırılması için kullanılan gücün %8.8 oranında düşürülmesi sağlanmıştır [2]. Literatürde konuya farklı açılardan yaklaşmakta olan birçok sayısal çalışma görülebilir. Öte yandan bu çalışmaların deneysel olarak doğrulanması gerekmektedir. Bu noktada Parçacık görüntüleme hız ölçümü (PGHÖ) yöntemi, hem sayısal çalışmaları doğrulamadaki kabiliyeti ile hem de akış profillerinin detaylı incelenmesindeki kabiliyeti ile ön plana çıkmaktadır. Sandra Velarde-Suárez ve arkadaşları, PGHÖ'nün bu kabiliyetini santrifüj fanlardaki gürültü kaynağının belirlenmesinde kullanmışlardır [3].

Mevcut çalışmada ise, örnek bir santrifüj fan PGHÖ yöntemi ile incelenerek, fanın kesiti boyunca çeşitli düzlemlerden ortalama akış profili elde edilmiştir. Daha sonra bu farklı kesitlerden elde edilen akış profilleri bilgisayar ortamında birleştirilerek üç boyutlu ortalama akış profili oluşturulmuştur. Bu profillerin incelenmesi sonucunda santrifüj fanın akış yapısı ortaya konmuştur ve üfleme profilinde üç boyutta da asimetric bir yapı olduğu gözlemlenmiştir.

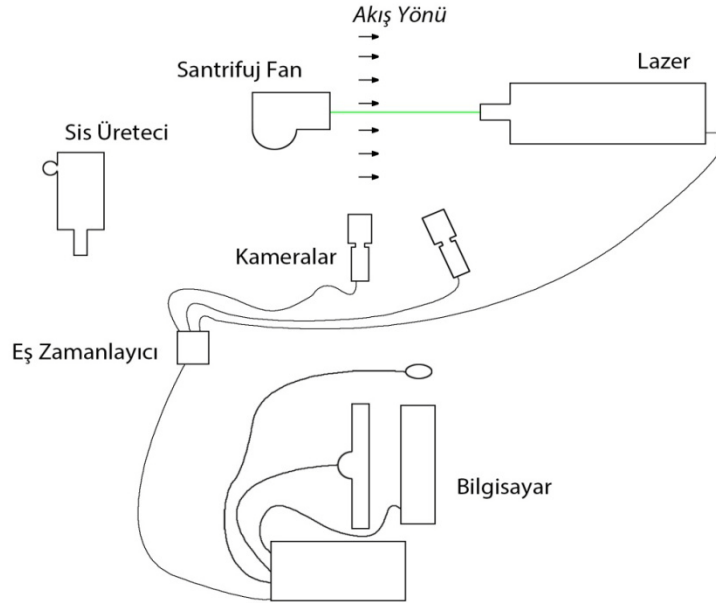
## 2. PARÇACIK GÖRÜNTÜLEMELİ HIZ ÖLÇÜMÜ YÖNTEMİ

PGHÖ yöntemi, incelenmek istenilen akışın içine eklenen ve akışla birebir uyum sağlayan takipçi parçacıkların görüntülenmesi prensibine dayanır. Mevcut çalışmada incelenen akışkan hava olduğundan, takipçi parçacıklarında tanecik boyutu da küçük olmak zorundadır. Bu sebeple taneciklendirme için sis kullanılmıştır. Sis, göreceli olarak temiz ve ucuz bir taneciklendirme yöntemi oluşu ile, hava ortamında yapılan PGHÖ deneylerinde oldukça sık kullanılan bir taneciklendirme yöntemidir. Ortalama tanecik boyutları 1 µm'den küçüktür [4]. Bu nedenle yüksek aydınlatma gücüne ihtiyaç duyulabilmektedir.

Bu ihtiyacı karşılamak adına mevcut çalışmada aydınlatma düzlemi için, 135 mJ gücünde, 532 nm dalga boyunda (yeşil) çift atımlı ND:YAG lazer kullanılmıştır. Lazer, fanın üfleme ağzına dik olarak yerleştirilmiştir. Böylece lazerin oluşturduğu aydınlatma düzlemi akışın profilini gösterecek bir şekilde akışı kesmektedir.

Lazerin saniyede 7 çift atım kabiliyeti olmasına rağmen deneylerin hedefinin ortalama akış belirlemek olması nedeniyle saniyede 3 görüntü çifti alınacak şekilde ayarlanmıştır. Böylece bir kesitin inceleme süresi, görüntü sayısı artırılmadan uzatılmış ve deneylerin tekilliklerden daha az etkilenmesi sağlanmıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda bu süre uzatmak amacı ile ölçüm sayısının artırılması sonuçlar da değişikliğe neden olmazken, deney verilerinin işlenmesinde büyük zaman kayıplarına yol açtığı görülmüştür. Özellikle bir yerine iki kameranın kullanıldığı ve dolayısı ile işlenecek görüntü sayısının iki katına çıktığı Stereo PGHÖ yönteminde bu sürenin önemi artmaktadır.

Akışın üç boyutlu yapısı nedeni ile PGHÖ yerine Stereo PGHÖ yöntemi tercih edilmiştir. Stereo PGHÖ yönteminde görüntü, incelenen akış düzlemine farklı açılarla bakan iki kamera ile yakalanır. Bu iki kamera bir kalibrasyon hedefi ile birbirlerine göre kalibre olduklarından, aldıkları görüntüler bilgisayar ortamında işlendiğinde düzlemsel üç boyutlu sonuçlar elde edilebilmektedir.



**Şekil 1.** Santrifuj Fanın İncelenmesi İçin Kurulan PGHÖ Deney Düzenegi.

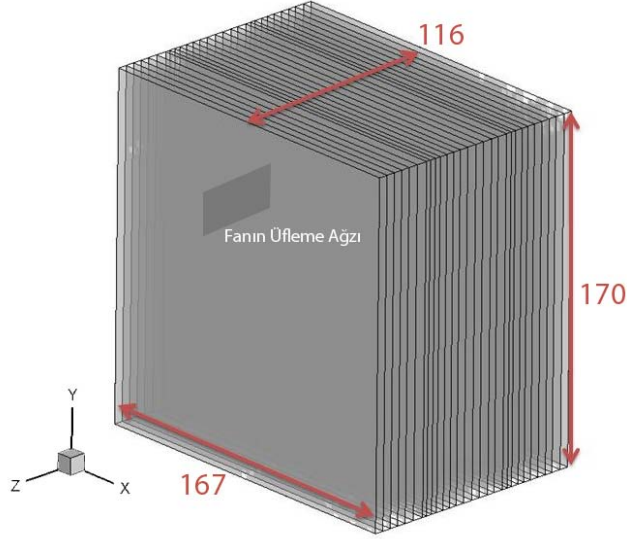
İleriki çalışmalarda tek kamera ile çift kameranın karşılaştırılabilmesi açısından kameralardan biri inceleme düzlemine dik bakacak şekilde diğeri ise açılı bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Anlatılan deney düzenegi, lazer ve kamera yerleşimleri Şekil 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Yapılan Ölçümlerin Konumları

Düzlem Numarası	Başlangıca olan mesafesi (mm)	Düzlem Numarası	Başlangıca olan mesafesi (mm)
1	0	16	63
2	4,5	17	68
3	9	18	72
4	13,5	19	77
5	18	20	80
6	23	21 (2. Kenar)	82,5
7	28,5	22	86,5
8	31	23	90
9 (1. Kenar)	34	24	94
10	37	25	98,5
11	41	26	103
12	45	27	107
13	49	28	112
14	53,5	29	116,5
15	58,5		

Akış profillerinin üç boyutlu olarak elde edilebilmesi için bu düzlemsel üç boyutlu bilginin incelenmek istenen hacim boyunca elde edilmesi gerekmektedir. Bunun sağlanması adına üfleme ağzında 29 ayrı düzlemden ölçüm alınmıştır. Akış yapısının tam olarak görüntülenebilmesi için ölçüm noktalarının

tarama aralığı, ağızdan daha geniş seçilmiştir. Birinci lazer düzlemi santrifüj fanın çıkış ağzından 30 mm dışında seçilmiş ve bu konum referans alınarak diğer düzlemler çıkış ağzı boyunca yerleştirilmiştir. Bu düzlemlerin konumları Tablo 1’de verilmiş ve Şekil 2’de örnek akış profili üzerinde gösterilmiştir.



**Şekil 2.** İncelenen Düzlemlerin Akış Yapısı Üzerindeki Konumları.

Her düzlemden 2 kamera ile 200 er görüntü çifti kaydedilmiştir ve Şekil 3’te verilen 3 boyutlu vektör haritaları, her kameradan elde edilen 200 er anlık vektör haritasının ortalamaları alındıktan sonra 3 boyutlu hale getirilmesi ile oluşturulmuştur. Böylece, sayısal çalışmada yapılan kararlı durum çözümleri ile karşılaştırılması uygun olan zamansal ortalama akışlar elde edilmiştir.

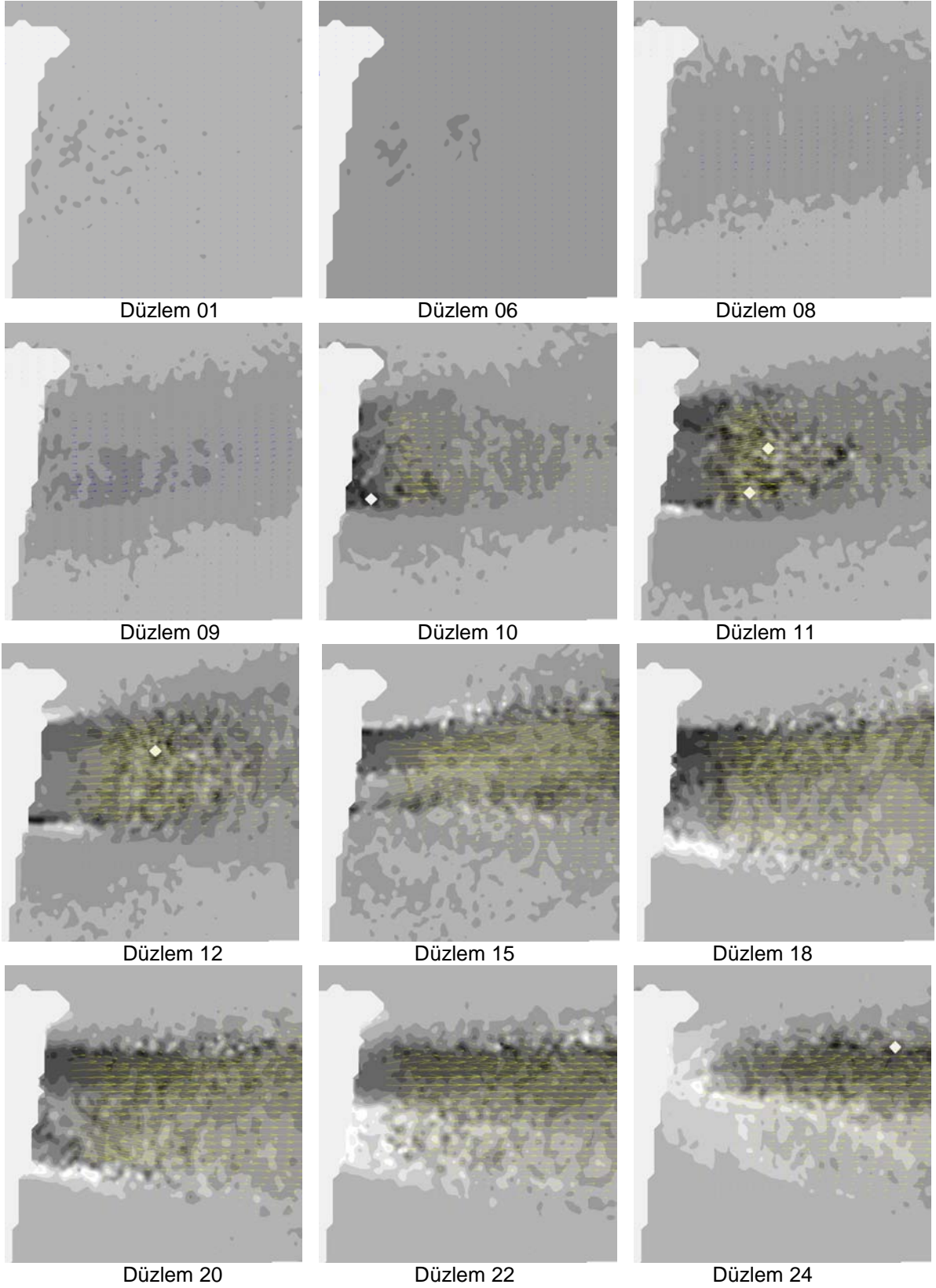
Benzer çalışma emiş bölgesi için de yapılmıştır. Emiş bölgesindeki akışın daha homojen olması beklentisi nedeni ile buradaki düzlemlerin konumu 5 mm farkla sabit olarak değiştirilmiş ve yine 29 düzlem kullanılmıştır. Düzlem sayısının tek sayı seçilmesinin nedeni simetrik konumlandırma dır.

### 3. PGHÖ DENEY SONUÇLARI

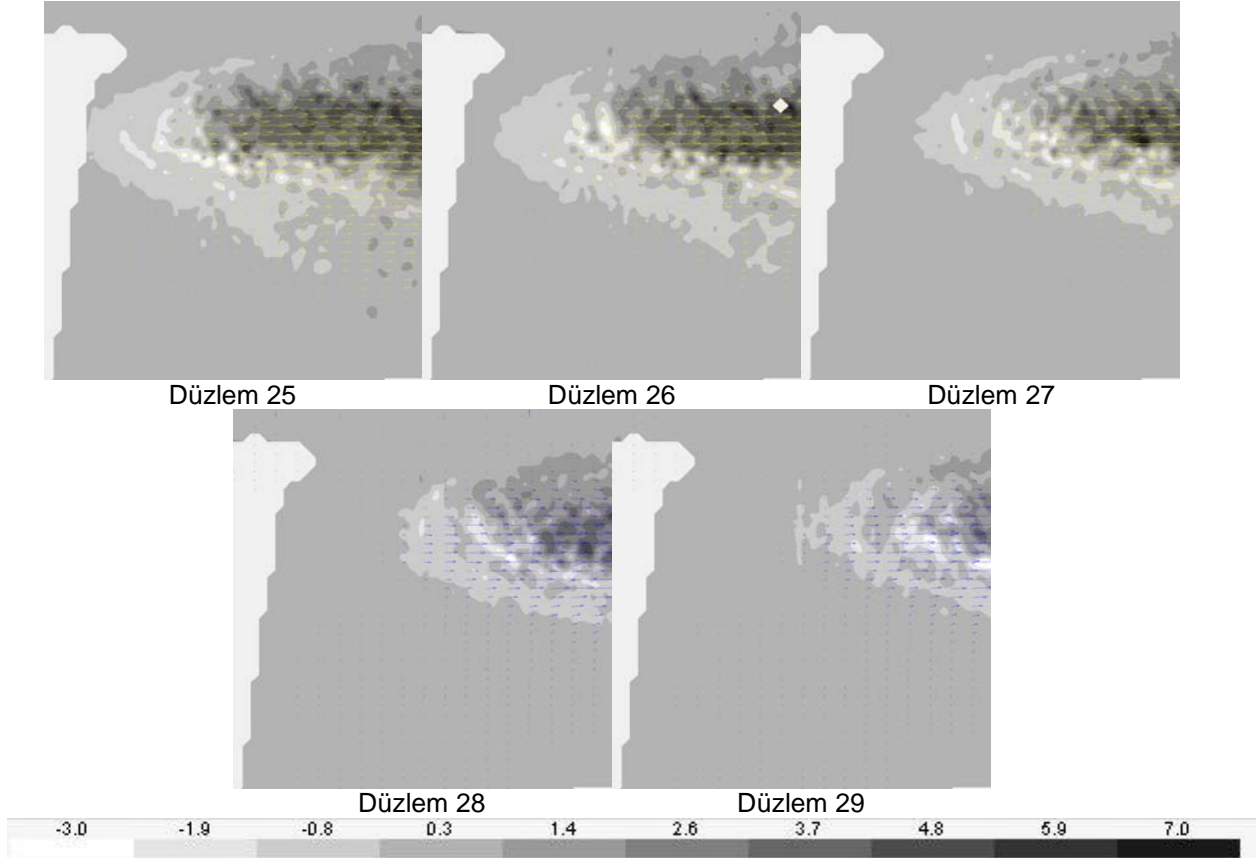
#### 3.1. Santrifüj Fanın Üfleme Ağızının İncelenmesi

Şekil 3’te Santrifüj fanın üfleme ağzındaki 29 düzlemden PGHÖ yöntemi ile elde edilen düzlemsel 3 boyutlu ortalama hız verilerinin kritik olanları verilmiştir. Şekil 3’teki vektörler ölçüm düzlemindeki hızları, arka fondaki gri renk tonları ise düzlem dışı hızları göstermektedir. Siyahlar görüntüye bakan kişiye doğru olan vektörleri gösterirken, beyazlar aksi yöndeki vektörleri göstermiştir. Şeklin alt kısmındaki renklerle gösterilmiş skala z eksenindeki hızların mertebesini göstermektedir.

Vektörlerin daha rahat görülebilmesi için düzlem dışı hızların yüksek olduğu haritalarda vektörler sarı, diğer görsellerde vektörler mavidir. Bu renk farkının görselleştirmeyi kolaylaştırmak dışında ek bir anlatımı yoktur. Vektör haritalarının sol tarafındaki üçgene benzer açık renkli alan fanın çıkış ağzının konumunu göstermektedir.



**Şekil 3.** Santrifüj Fanın Üfleme Ağızından PGHÖ Yöntemi İle Elde Edilen Düzlemsel Üç Boyutlu Ortalama Hız Verileri.



**Şekil 3 Devamı.** Santrifüj Fanın Üfleme Ağzından PGHÖ Yöntemi İle Elde Edilen Düzlemsel Üç Boyutlu Ortalama Hız Verileri.

İlk 8 vektör haritası incelendiğinde hızların 1 m/s 'nin altında olduğu görülmüştür. Bu ölçüm düzlemleri zaten fanın çıkış ağzının dışında konumlanmış durumdadır. Ancak fanın çıkış ağzının diğer tarafındaki verilerle karşılaştırıldığında (Düzlem 22 ve sonrası) akış yapısının oldukça farklı olduğu gözlemlenmektedir. Bunun nedeni, temel santrifüj fan akışının merkezden dışarı doğru olmasıdır.

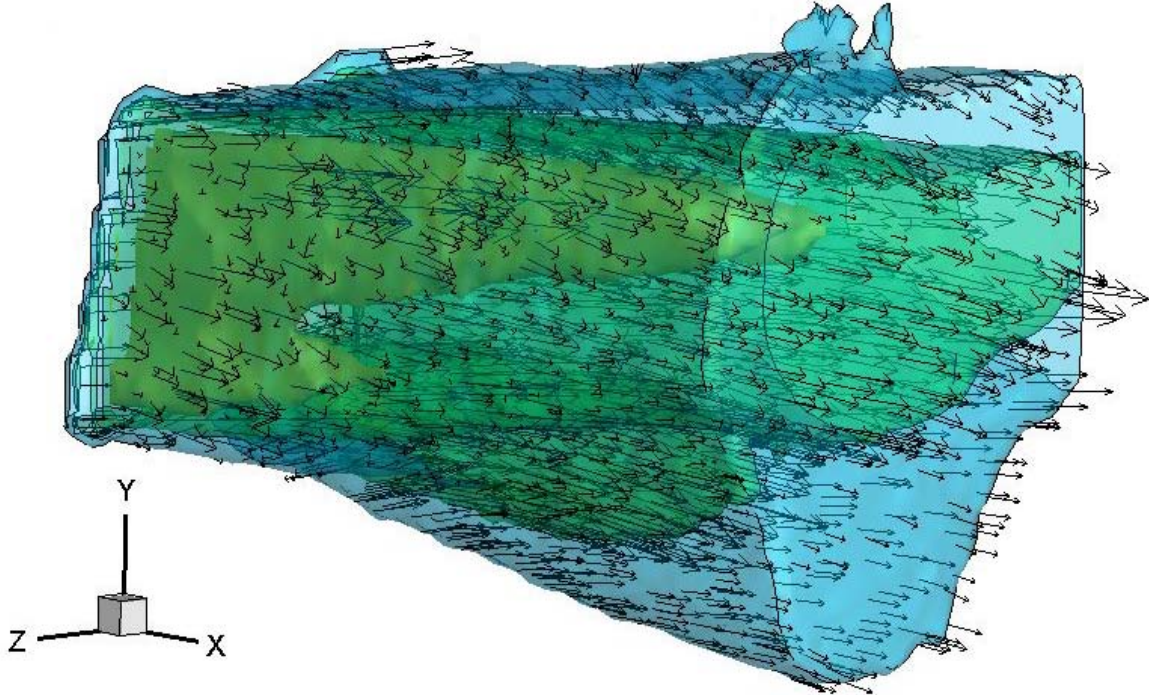
9 no 'lu ölçüm düzleminde fanın ilk başladığı ölçüm noktasında akışın hızı artmaya başlamaktadır. Fanın ağızı boyunca 12~15 m/s mertebesinde çıkış hızlarından oluşan bir akış çekirdeği ve bunun etrafında durgun hava ile jet akışının temas ettiği geçiş bölgesi gözlemlenmiştir. Bu bölgelerde, siyah ile gösterilen +z yönlü akış bileşenlerinin baskın olduğu akışın bu yönünde çarpık olduğunu göstermektedir. Bu sonuç aynı zamanda çalışmada stereo PGHÖ yönteminin kullanılmasını doğrulamaktadır. Tek kameralı bir PGHÖ sisteminin kullanılması durumunda bu konumdaki hızların ölçümünde düzlem dışı bileşenin hesaba katılmaması nedeni ile büyük ölçüm hataları gerçekleşmesi söz konusudur.

Fanın bittiği konum olan 22 no 'lu ve daha sonraki ölçüm düzlemlerinde yüksek hızlı vektörlerin çıkış ağzından daha ileride başladığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, akışın inceleme düzlemine çapraz girmesidir. Yani bir önceki düzlemde görünen +z yönündeki (düzlem dışı) hız bileşenlerinin süreklilik gereği bir sonraki düzleme aktarılmasıdır. Dolayısı ile daha ileri bir ölçüm düzlemine bakıldığında vektörlerin başladığı konum da ileriye ötelenmektedir. Son inceleme düzlemi olan 29 no 'lu düzlem incelendiğinde yüksek hızlı vektörlerin inceleme alanının yarısını geçmiş olduğu gözlenmektedir.

Düzlemsel veriler her ne kadar akışın detaylı incelenmesinde avantaj sağlasa da, tüm yapının anlaşılıp yorumlanması ve sonuçların hesaplamalı akışkanlar dinamiği sonuçları ile karşılaştırılması için zor bir araçtır. Bu nedenle, incelenen bu düzlemler interpolasyon yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir ve hacimsel üç boyutlu hız haritaları haline getirilmiştir.



Şekil 4 'te santrifüj fanın üfleme ağzında PGHÖ ile elde edilen üç boyutlu hacimsel hız haritası üzerinde işaretlenmiş eş hız yüzeyleri görülmektedir. İç tarafta açık yeşil ile görselleştirilmiş olan 12 m/s, orta kısımda koyu yeşil ile gösterilmekte olan yüzey 7 m/s, dışarıda mavi ile gösterilmekte olan yüzey ise 3 m/s hızların oluşturduğu yüzeylerdir. Yüzeylerin üzerine yerleştirilmiş olan vektörler akış yönlerinin anlaşılmasını kolaylaştırmak içindir. Şekil incelendiğinde akış karakteristiğinin +z yönüne olan yönelmesi Şekil 3 'te de görüldüğü gibi gerçekleşmektedir. Ancak, akış profilinin alt kısmına bakıldığında düzlemsel verilerde seçilemeyen bir ayrılan akış yapısı olduğu görülmektedir. Bu akış yapısı kıvrılarak alt kısımdan ayrılmakta ve hem 12 m/s 'lik akış çekirdeğinde hem de 3 m/s ve 7 m/s 'lik hız yüzeylerinde görülmektedir. Mevcudiyeti akışta enerji kayıplarına neden olabilecek bu akış yapısının konvansiyonel hız ölçüm yöntemleri ile tespit edilmesi mümkün değildir.

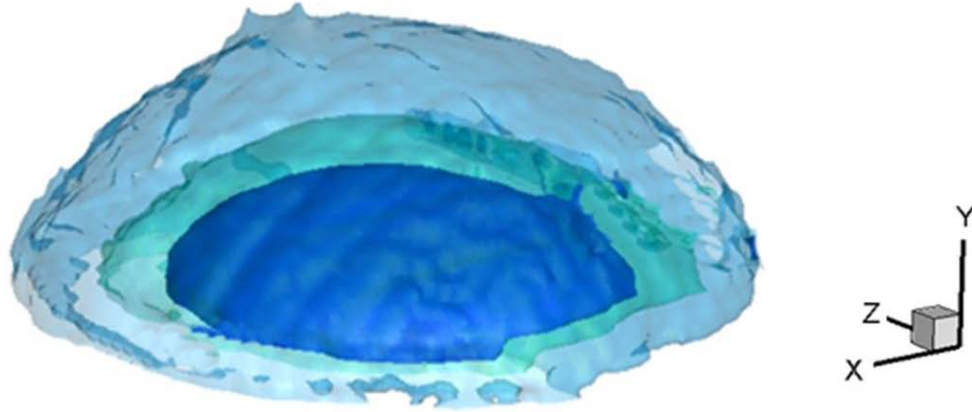


**Şekil 4.** Santrifüj Fanın Üfleme Ağzından Elde Edilen Düzlemsel Üçboyutlu Hız Verilerinin İnterpolasyonu İle Elde Edilen Hacimsel Üç Boyutlu Hız Verisi Üzerinde Çizdirilmiş Eş-Hız Yüzeyleri. (İç yüzey 12 m/s, orta yüzey 7 m/s, dış yüzey 3 m/s)

### 3.2. Santrifüj Fanın Emiş Ağzının İncelenmesi

Emiş ağzında yapılan inceleme sonucunda, akış yapısının beklendiği gibi oldukça düzenli olduğu görülmüştür. Şekil 5 'te, Santrifüj fanın emiş ağzından elde edilen düzlemsel üç boyutlu hız verilerinin interpolasyonu ile elde edilen hacimsel üç boyutlu hız verisi üzerinde çizdirilmiş eş-hız yüzeyleri verilmiştir. Yüzeyler dıştan içe doğru, 1 m/s, 2 m/s ve 3 m/s 'lik hızların oluşturduğu yüzeyleri göstermektedir.

Beklendiği gibi, emiş neredeyse her yönde simetriktir. Ancak, yüzeyler incelendiğinde üstün basık bir yarı küre şeklinde şekil aldıkları görülmektedir. Bu da emiş ağzına dik gelen akışın hızının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bunun temel nedeni yüzeylere temas ederek gelen akışın bir kısım enerjisini sürtünme ile kaybetmesi olabilir.



**Şekil 5.** Santrifuj Fanın Emiş Ağzından Elde Edilen Düzlemsel Üçboyutlu Hız Verilerinin İnterpolasyonu İle Elde Edilen Hacimsel Üç Boyutlu Hız Verisi Üzerinde Çizdirilmiş Eş-Hız Yüzeyleri. (Dış 1 m/s, orta 2 m/s, iç 3 m/s)

## SONUÇ

Yapılan çalışmada bir santrifuj fanın üfleme ve emiş ağzındaki hız profilleri stereo PGHÖ yöntemi ile incelenmiştir ve veriler işlenerek bu cihazın emiş ve üfleme bölgesindeki akış karakteristiği üç boyutlu olarak elde edilmiştir.

Elde edilen bu veriler; mevcut fanın veya fanın monte edileceği sistemin iyileştirilmesinde, mevcut fanın başka bir fanla karşılaştırılmasında ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinin doğrulanmasında kullanılmaktadır.

Günümüz teknolojisi ve enerji verimliliği ihtiyaçları düşünüldüğünde, PGHÖ yönteminin kullanılması ile akış yapılarının geliştirilmesi giderek bir ihtiyaç haline gelecektir.

Bu çalışma Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının 00998.STZ.2011-2 kodlu projesi ile desteklenmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] ECK, B., "Design and operation of centrifugal axial flow and cross flow fans". Oxford: Pergamon Press. (1973).
- [2] LEE, Y., AHUJA, V., HOSANGADI, A., SLIPPER, M.E., MULVIHILL, L. P., BIRKBECK, R., COLEMAN, R.M., "Impeller Design of a Centrifugal Fan with Blade Optimization" International Journal of Rotating Machinery, (2011).
- [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] RAFFEL, M., WILLERT, C., WERELEY, S., KOMPENHANS, J., "Particle image velocimetry a practical guide (2nd ed.)". New York: Springer, (2007).



## ÖZGEÇMİŞ

### 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.

### 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.

### 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.