

PARÇACIK GÖRÜNTÜLEMELİ HIZ ÖLÇÜMÜ YÖNTEMİ: SPLIT KLİMA İÇ ÜNİTESİ ÖRNEĞİ

Ziya Haktan KARADENİZ
Dilek KUMLUTAŞ
Özgün ÖZER

ÖZET

Ev ve ofis kullanımı gün geçtikçe artan split klimaların, enerji verimliliği ve konfor açısından ayrıntılı olarak incelenmesi gerekmektedir. Split klima iç ünitelerinde hava akışını sağlayan teğetsel fanlar, karmaşık akış yapıları nedeniyle kontrolü zor akış şartları oluşturmaktadır. Fan yuvası ve klimanın dış kabuk tasarımı da bu akış üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve uygun tasarımı yapabilmek için ayrıntılı olarak incelenmeleri gerekir. Akışa müdahalesiz bir alansal hız ölçüm yöntemi olan Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü (PGHÖ), birçok dalda akışın incelenmesi, çözümlenmesi, sayısal metotların doğrulanması ve sistemlerin optimize edilmesi için önemli bir araç olarak ön plana çıkmaktadır. İklimlendirme sanayinde ve ev aletleri üretiminde de taşınım ile ısı transferi ve akış başarımını en üst seviyeye çıkarabilmek için etkin bir araç olarak kullanılma potansiyeline sahiptir. Bu çalışmada düzlem içi üç boyutlu PGHÖ yöntemi tanıtarak, split klima iç ünitesinin çıkış ağzındaki akış incelemesinde kullanımı sunulmuştur. Cihazın tasarımı gereği iki boyutlu düzlemsel bir jet akışı oluşturması beklenmektedir. Ancak, farklı kesitlerde yapılan ölçümlerde, cihazın yan duvarının jet akışı üzerinde farklılıklar yarattığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Parçacık görüntülemeli hız ölçümü (PGHÖ), Split klima iç ünitesi

ABSTRACT

Split air conditioners as an everyday household or office appliances became more and more popular for small scale air conditioning demands. Cross flow fans (CFF), which drive the flow inside a split air conditioner, produce complicated flow conditions inside the device. Also design of the fan casing and device components directly affects the flow conditions. Therefore the effect of these parameters must be investigated carefully for an efficient air conditioner system. Particle Image Velocimetry (PIV) method is a nonintrusive whole field velocity measurement technique which is increasingly used for the investigation of flow systems and together with Computational Fluid Dynamics (CFD) analyses. It has an important potential for being used within Research and Development divisions of the companies which deal with the design and optimization of air conditioning systems and household appliances. In this study, stereo PIV method is overviewed and application of this method on visualizing the flow at the outflow section of a split air conditioner indoor unit is presented. It is expected that the device produces a planar jet flow at the outlet section. However, it is shown that there is an effect of the side walls of the device on this jet flow.

Key Words: Particle image velocimetry (PIV), Split air conditioner indoor unit

1. GİRİŞ

Günümüzde akışın bulunduğu sistemlerin tasarımında; sadece birkaç parametrenin incelenmesi, bu çalışmaya bağlı olarak çok sayıda prototip üretilerek bunların belirli noktalarında yapılan deney sonuçlarına göre içlerinden en iyisinin seçilmesi yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu yöntem kesin sonuç vermeyen, göreceli yavaş ve kısıtlı başarı getiren bir tasarım yöntemidir. Yüksek enerji verimliliğinde tasarımların hayata geçmesi için tüm sistemdeki akışın yapısı konusunda bilgi sahibi olunması ve tüm akış bileşenlerinin uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü (PGHÖ) (Particle Image Velocimetry, PIV) yöntemi akışa müdahalesiz bir alansal hız ölçüm yöntemidir. Birçok dalda akışın incelenmesi, çözümlenmesi, sayısal metotların doğrulanması ve sistemlerin optimize edilmesi için önemli bir araç olarak ön plana çıkmaktadır. Soğutma sanayinde ve ev aletleri üretiminde de taşınım ısı transferi ve akış başarımını en üst seviyeye çıkarabilmek için etkin bir araç olarak kullanılmaya potansiyeline sahiptir. Son yıllarda sanayide Ar-Ge birimlerinde kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

Uygun parçacık kullanımıyla akışı bozucu etkilerin en aza indirgenmesi bu yöntemin rakiplerine göre en önemli üstünlüğüdür. Akışa müdahalesiz bir diğer yöntem olan Lazer Doppler Hız Ölçümü'nden (LDHÖ) (Lazer Doppler Anemometry, LDA) farkı ise ilgilenilen alanın tümünün aynı anda incelenbilmesidir. Bu durum hem zamana bağlı ölçümlerde hem de akış karakterinin gözlemlenmesinde PGHÖ'nü avantajlı bir duruma getirir. Özellikle sonuçları verme şekilleri çok benzediğinden Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) (Computational Fluid Dynamics, CFD) çözümlerinin sonuçlarının doğruluğunu denetlemek için çok iyi bir araçtır. Sistemin tümü aynı anda incelenemese bile, sistem bileşenlerinin çalışma ortamlarında geniş alanlarda incelenmesi deneylerin HAD ile karşılaştırılmasını kolaylaştırmaktadır.

PGHÖ yöntemi bu isimle literatürde ilk kez 1984 yılında yer almıştır ve gelişimi devam etmektedir [1,2,3]. Akış içerisine salınan parçacıkların bir ışık düzleminden geçerken üst üste iki kere görüntülenmesi ve bu görüntülerden elde edilen parçacık yönelimleri kullanılarak hız vektör alanının elde edilmesi ilkesine dayanır. Öncelikle dış akış sorunları için kullanılmaya başlanan bu yöntem, teknolojiyle paralel şekilde gelişerek, günümüzde türbülans yoğunluğu yüksek dış ve iç akışlar, jet akışları gibi karmaşık akış sorunlarının çözülmesinde kullanılır hale gelmiştir [4,5].

PGHÖ'ne, bir ölçüm aracı gibi yaklaşımdan çok, bir deney düzeneği olarak yaklaşılmalıdır. Ölçülmek istenen sistem değişikçe, iki PGHÖ deney düzeneği her ne kadar temel bileşenleri değişmese de bir birinden oldukça farklı bir hale gelebilir. PGHÖ deney sistemlerinin gelişimi günümüzde halen sürmektedir. Avrupa Birliği tarafından desteklenen çeşitli çalıştaylar (workshop) düzenlenmektedir. Bu çalıştaylardan ikincisinin çalışma konularından biri de PGHÖ'nün ev aletlerinde kullanılmasıdır. Çalıştay kapsamında paylaşılan çalışmaların derlemesi Tomasini ve diğerleri tarafından 2008 yılında yayınlanmıştır [6] ve sonuç olarak PGHÖ'nün ev aletlerinde kullanımının hem tasarım hem de geliştirilme süreçleri üzerinde önemli etkilerinin olacağı vurgulanmıştır.

Split klimalarla ilgili olarak yapılan literatür araştırmasında; iç ünitelerin akış ve gürültü açısından incelendiği sayısal ve deneysel çalışmaların olduğu, ancak PGHÖ yöntemi kullanılarak herhangi bir inceleme yapılmadığı görülmüştür. Split klima dış ünitesi ile ilgili olarak J. H. Yoon ve S. j. Lee [7] tarafından yapılan çalışmada, dış üniteye kullanılan aksel fanın arkasındaki akışı PGHÖ yöntemiyle üç boyutlu olarak incelenmiş ve kanatlar etrafında oluşan girdapların yerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların tasarım sürecinde sayısal çözümlerinin doğrulanmasında kullanılabileceği tespiti yapılmıştır.

Bu çalışmada da PGHÖ yöntemi tanıtılarak, sistemin bileşenleri ve uygulaması sırasında dikkat edilmesi gereken noktalar açıklanmıştır. Split klima iç ünitesinin çıkış ağzındaki akış incelemesi örneği üzerinden, bu yöntemin akış sistemlerinin incelenmesindeki başarısı ortaya konulmuştur.

2. PGHÖ BİLEŞENLERİ

PGHÖ yöntemi, ileri teknoloji ürünü hassas optik bileşenlerin bir araya getirilerek, eşgüdüm içerisinde çalıştırılmasını gerektirir. Bu nedenle bileşenler özenle seçilmelidir. Ancak, doğru şekilde kurulmayan bir PGHÖ sistemi, bileşenleri ne kadar kaliteli olursa olsun doğru sonuç vermeyecektir. Bu nedenle, kurulum çalışmalarına da en az seçim sırasındaki kadar özen gösterilmelidir. Özellikle, çift kamera ile yapılan düzlem içi üç boyutlu PGHÖ yönteminin kullanıldığı durumda sistemin kurulumu oldukça dikkatli yapılmalıdır.

Parçacıkların eklenmiş olduğu akışkan, deney düzeneği boyunca ilerleyerek gözlem bölgesinden geçmeye başlar. Gözlem bölgesi, lazer kullanılarak çok kısa aralıklarla en az iki kez aydınlatılır. Lazer ile eş zamanlı olarak çalışan kameralar taneciklerin görüntüsünü yakalar ve elde edilen görüntü çiftleri daha sonra bilgisayarda işlenerek hız vektörleri elde edilir.

2.1 Çift Atımlı ND: YAG Lazer

Akışla birlikte hareket eden çok küçük yansıtma yüzeyine sahip parçacıkların kısa süreli çekimde görüntülenebilmeleri için, yeteri kadar ışığın kameraların ışık algılayıcı yüzeylerine ulaştırılması gerekmektedir. Süreyi uzatmak, tanecik gruplarının ardışık görüntülerde eşleştirilmesini zorlaştırır, hatta imkansız hale getirir. Ayrıca, akış hızlandıkça ve tanecikler küçüldükçe yansıtılan ışık miktarı azalmaktadır. Bu nedenle ışık şiddetini artırmak gerekmektedir. Bunun yanında, yüksek aydınlatma kapasitesine sahip ışığın bir ışın demeti olarak ortam içerisinde saçılmadan yol alması ve düzlem hale getirilebilmesi gerekmektedir. Standart ışık kaynakları, ışığı her yönde dağıttıklarından ihtiyaç duyulan ışık miktarı, ancak düşük hızlı akışlar ve büyük tanecikler için yeterli miktara ulaşır. Halojen lambaların kullanıldığı bu tip uygulamalar günümüzde pek kullanılmamaktadır. Bunun yerine, lazerler PGHÖ uygulamaları sırasında kameranın görüntü alabilmesi için ihtiyaç duyulan şiddetli aydınlatmayı ve istenilen optik özellikleri sağlamaktadır.

Lazerler genellikle isimlerini içlerinde ışınımı sağlayan maddeden alırlar ve Helyum-neon, bakır-buharı, argon-iyonu, yarı iletken, yakut, neodym-YLF, ND: YAG lazerleri PGHÖ uygulamalarında kullanılan çeşitli lazerlerdir. Bu çalışmada kullanılan ışık kaynağı; günümüzde PGHÖ uygulamalarında en sık kullanılan lazer türü olan ve ışın yayan madde olarak "Neodymium-Doped Yttrium Aluminium Garnet" kristali kullanan ND: YAG lazerdir. Lazer salınımını oluşturan madde (yttrium aluminium garnet) katı olduğu için, katı hal lazeri olarak sınıflandırılmaktadır. Kullanım sırasında lazer kristalinin sıcaklığının ya da kimyasal durumunun değişimi, lazerin ışın kalitesini düşürebilir. PGHÖ gibi yüksek frekanslı ve enerjili lazer ihtiyacı olan bir uygulamada, bu lazerlerin tercih edilmelerinin nedeni; iyi termal ve kimyasal özelliklere sahip olmalarıdır.

ND: YAG lazerin ürettiği ışığın dalga boyu 1064 nm'dir. Bu ışık normalde kızıl ötesi aralıkta kalmakta ve görülemezdir. Ancak, çift osilatör sistemi sayesinde bu dalga boyu 532 nm'lik iki ayrı dalga şeklinde gönderilerek ışık görülür hale gelir. Bu özellik, yüksek hızlarda akışın bulunduğu kesitlerde görüntü çifti elde etmek için çok önemlidir. Bu çift atım kabiliyeti olmadan, sürekli aydınlatma yapan lazerler ile de PGHÖ uygulamaları yapılabilir, ancak yüksek aydınlatma ve dolayısıyla yüksek enerji ihtiyacı nedeniyle çok yüksek çalışma maliyetleri ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, sürekli çalışma sırasında lazerin soğutulması da daha zordur. Lazerlerin çift atım kabiliyeti ve bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler, PGHÖ sistemlerinin yaygınlaşmasında ve ilerlemesinde temel itici unsurlardır.

2.2 Kameralar

Dijital kameralar; önüne ışığın düzenli şekilde girmesini sağlayan bir objektif takıldığında, içerisinde bulunan ışığı kaydedecek hassas tabaka (Sensör) CCD (Charge Couple Device) ya da CMOS (Complementary Metal-Oxide Semi-Conductor) sayesinde görüntüyü kaydeden cihazlardır. Bu açıdan bakıldığında, günlük hayatta kullanılan fotoğraf makineleri ile aynı prensiple çalışmasına rağmen, PGHÖ'nde kullanılan kameraların fotoğraf tekniği açısından çok kısa poz süresi (yüksek enstantane) ve yüksek ardışık çekim hızı gibi bazı üstün özellikleri vardır. Günümüz teknolojisi sayesinde 4 milyon piksel ve üzeri çözünürlükte, binlerce görüntünün tek ölçümde kesintisiz olarak alınması mümkündür.

Enstantane ve iki çekim arasındaki süre, PGHÖ görüntüsünün kaydında önemli bir yere sahiptir. PGHÖ sisteminde kullanılan kameralar ile düzgün görüntü alabilmek için, fotoğraf makinalarında olduğu gibi, enstantane ve ışık miktarı orantılı olarak ayarlanmalıdır. Fotoğrafta poz süresi; ışığı kaydeden hassas tabakanın (Film ya da Sensör) ışığa maruz kaldığı süredir. Bu süre, fotoğrafa iki şekilde etki eder. Sürenin uzunluğu, ışığın girdiği açıklığın (diyafram) boyutuna bağlı olarak hassas tabakaya düşen ışık miktarını ayarlar, ayrıca ışığın filme düşme süresi boyunca sabit cisimler net, hareket eden cisimler ise bulanık çıkarlar. Eğer fotoğraf, taneciklerin hızına göre gereğinden uzun bir poz süresi ile kaydedilirse, tanecikler fotoğrafta hareketli görünecektir. Bu da görüntünün çözülmesinde hatalı vektörler oluşmasına sebep olur.

Diğer bir önemli nokta da iki çekim arasındaki süredir. Ardışık iki görüntü arasındaki süre çok kısa olursa, tanecikler bu sürede yeterli miktarda hareket edemez ve iki görüntü arasındaki fark belirgin olmayacağı için hız vektörleri hesaplanamaz. Öte yandan iki çekim arası süre uzun olursa, birinci fotoğraftaki taneciklerin bir kısmı (aşırı durumlarda ise hepsi) çekim alanını terk eder ve ikinci fotoğrafta görüntülenemezler. Bu durumda, veri işleme sırasında iki fotoğraftaki tanecikler eşlenemez ya da yanlış eşlenirler ve dolayısıyla hız vektörleri elde edilemez.

Bu bilgilerden yola çıkılarak, yüksek akış hızlarında taneciklerin PGHÖ yöntemine uygun görüntülenebilmesi için çok yüksek hızlarda görüntü alınmalıdır. Ayrıca, verilerin sağlıklı olarak işlenebilmesi için çok kısa bir süre içinde aynı hızda bir kare daha çekilmelidir. Normal bir kamera (ya da fotoğraf makinesi) ile ancak 1/8000 s'lik poz süresinde ve 1/20 s ara ile çekimler yapılabilir. PGHÖ'de kullanılan kameralar ise hem 1/6250000 s gibi çok hızlı enstantanelerde çekim yapabilmekte ve birinci karenin ardından nano-saniye mertebesinde bir süre bekledikten sonra aynı özellikte ikinci bir kare görüntüyü daha kaydederek görüntü çiftleri oluşturabilmektedir.

2.3 Eş Zamanlayıcı (Zamanlama Kutusu-Synchronizer)

Bu cihaz, kamera ile lazerin eş zamanlı çalışmasını sağlamaktadır. Düzgün görüntü elde edebilmek için; ışık miktarının ve ışığın kameralara alınma süresinin öneminin yanında, görüntü kaydının ve aydınlatmanın aynı anda olması da gerekmektedir. Aksi durumda, fotoğraflar hiç aydınlatma olmamış şekilde siyah çıkar ve tanecikler gözlemlenemez. Ancak, zamana bağlı ölçümlerin yapılmasında kullanılan çok yüksek tekrar oranlarına sahip, örneğin 1000 Hz frekansta aydınlatma yapan ve yine 1000 FPS (Frame per Second) ile görüntü kaydeden bir kamera beraber kullanıldığında eş zamanlayıcıya ihtiyaç duyulmaz. Bu ölçüde sık tekrarlarda, lazerin aydınlatması kameranın enstantanesine göre daha uzun tutularak çekim anının ışıklı bir ana denk gelmesi sağlanır.

2.4 Parçacıklar ve Duman Üretici

Bu yöntemin kullanıldığı çoğu durumda akışın görüntülenebilmesi için dışarıdan taneciklendirme gerekir. Taneciklendirme, ışığı yansıtma kabiliyeti yüksek parçacıkların akışa dahil edilmesi işlemidir. Bu tanecikler, akışla birlikte hareket ederek akış bileşenlerinin görüntülenmesini ve çözülmesini sağlarlar. Taneciklerin akışa mümkün olduğunca uyum sağlamaları ve yüksek ışık yansıtma kabiliyetine sahip olmaları; bir deney düzeneğinin taneciklendirilmesi için seçilen tanecik türünün sağlaması gereken önemli iki özelliktir.

Tanecikler, akışın karakteristiğini bozmayacak kadar küçük olmalıdır. Genellikle, ya sis adı verilen küçük (μm 'nin onda biri boyutlarında) taneciklerden oluşan duman ya da yine aynı boyutlarda olacak şekilde püskürtülen yağ, taneciklendirme için kullanılır. Yağ, yansıtma oranının fazla olması nedeniyle sise göre daha iyi sonuç verir ve daha düşük güçlü lazerlerle kullanılabilir. Ancak, aynı zamanda çalışılan ortamı büyük ölçüde kirletmekte ve incelenen sisteme zarar verebilmektedir. Çok nadiren akışın içinde kendiliğinden bulunan parçacıklar da PGHÖ için kullanılabilir.

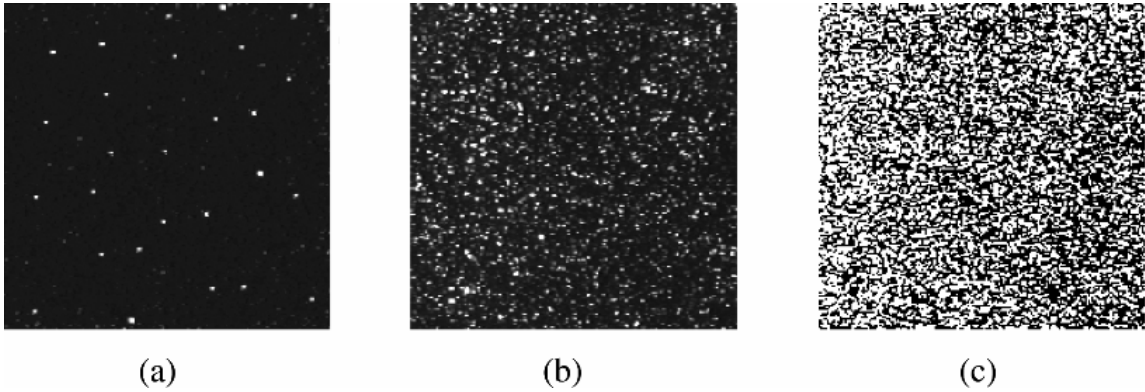
Parçacıkların ışık yansıtma kabiliyeti, kullanılacak lazerin seçimi ile bire bir ilgilidir. İlgilenilen alanın yeterince aydınlatılmış bir görüntüsünün elde edilemediği durumlarda, kullanılan parçacık türünü değiştirmek, lazeri değiştirmeye göre oldukça ekonomik bir seçim olacaktır. Küçük parçacıkların

yansıtma kabiliyeti; parçacığın büyüklüğünün, şeklinin, oryantasyonunun ve parçacıkların kırılma indisinin ortamın kırılma indisine oranının bir fonksiyonudur.

Sıvıların ve gazların kırılma indisleri arasındaki fark incelendiğinde, havada bir parçacığın aydınlatılması kolay, suda ise göreceli daha zor olduğu görülür ve bu nedenle sıvılarda çok daha büyük parçacıklar (10–1000 μm) kullanılarak, yansıtma yüzeyinden gelen kazançla kırılma indisi oranındaki kayıp telafi edilirken, gazlarda ise kırılma indisi oranı daha uygun olduğu için daha küçük parçacıklar (0.5–10 μm) kullanılabilir. Bazı özel durumlarda gazlarda büyük, sıvılarda ise küçük parçacıklar da tercih edilebilir.

Işık yansıtma kabiliyeti tek başına yeterli değildir. Parçacıkların boyutunun veya yoğunluğunun gereğinden büyük olduğu durumda parçacıklar akışla uyumlu hareket etmeyecekler ve bu durumda da, PGHÖ'de ölçülen hızın parçacıkların hızı olmasından ötürü, yanlış hız verisi elde edilmiş olacaktır. Bu duruma, hız gecikmesi denir. Bu nedenle, sıvılarda kırılma indisi oranı ile ilgili sıkıntılar bulunsa da, büyük parçacıkların yoğunluklarının ve boyutlarının sıvılara daha iyi uyum sağlaması nedeni ile sıvılarda deney yapılması daha kolaydır. Gaz akışlarının incelenmesinde ise, her ne kadar kırılma indisi oranında bir avantaj olsa da gazların akışına uyum sağlayacak parçacıklar çok küçük olduğu için daha kuvvetli lazer ve görüntü yoğunluğu daha yüksek kameralarla daha iyi sonuç alınmaktadır. Bu noktada parçacıkların boyut ve yoğunluğu; ışık yansıtılabilir özelliğine göre daha ön plana çıkmaktadır. Sonuç olarak, az yansıtma özelliği olan bir tanecik daha çok aydınlatılarak görülebilir hale getirilebilir, ancak akışa uyum sağlamayan parçacıkla ölçülen hız ne olursa olsun yanlış sonuç olacaktır.

Yanlış yoğunlukta parçacık seçiminin yarattığı bir diğer problem ise, dairesel akışın bulunduğu ortamlarda santrifuj etkisi ile parçacıkların akışın belli bir bölgesine toplanmasıdır. Bu durumda, akışın bir bölümünde incelenecek hiç parçacık yok iken diğer bölümünde ise istenilen parçacık görüntüleme yoğunluğundan daha fazlasının yığılması nedeniyle inceleme yapılamaz. Farklı tanecik yoğunlukları PGHÖ yöntemi ve benzer diğer akış inceleme yöntemlerinde kullanılabilir (Şekil 1).



Şekil 1. Tanecik Dağılım Görüntüleri [2]

- (a) Düşük görüntüleme yoğunluğu: Parçacık Takibiyle Hız Ölçümü PTHÖ (Particle Tracing Velocimetry, PTV) yönteminde kullanılır. Bu yöntemde bir parçacığın her iki görüntüde de tanınması kolaydır. Bu nedenle parçacık hızının belirlenmesinde uygun bir yöntemdir. Fakat tanecik yoğunluğunun az olması vektör yoğunluğunun da az olmasına neden olduğundan yapılan ölçüm tüm akış alanını ayrıntılı bir şekilde ifade etmez.
- (b) Orta görüntüleme yoğunluğu: Bu yoğunluk, PGHÖ sisteminin kullanılması için en uygun yoğunluktur. Birinci görüntüdeki taneciklerin, ikinci görüntüde hangi tanecik olabileceği özel korelasyon yöntemleri ile tahmin edilir. Öte yandan, taneciklerin sıklığı akışın incelenmesi için yeterli dağılıma sahip olur.
- (c) Yüksek Görüntüleme Yoğunluğu: Bu sistem, 19. yüzyılın başlarında kullanılan bir sistemdir. Taneciklerin tanınması mümkün olmadığı için, akış alanlarının belirlenmesinde başarılı olsa da taneciklerin hızlarının belirlenmesi mümkün değildir. Ancak nitel bilgi sağlayabilmektedir.

Dolayısı ile yapılacak uygulamaya uygun tanecik türünün seçilmesinin yanı sıra, doğru miktarda taneciğin akışa eklenmesi ile uygulamaya uygun tanecik yoğunluğunun sağlanması şarttır.

2.5 Bilgisayar ve Yazılım

Bir PGHÖ deneyinin ardından büyük miktarda veri (görüntü) elde edilir. Elde edilen görüntüler üstünde yapılan çapraz korelasyon işlemi sayesinde, görüntüler üzerindeki tanecik grupları istatistiki olarak tanımlanarak, iki aydınlanma süresi arasında yaptıkları yer değişikliği gözlemlenir. Böylece, yer değiştirme ve geçen süre bilindiğinden hız vektör haritası elde edilmiş olunur. Sonuçların sağlıklı değerlendirilmesi için, bu işlemlerin tamamının bir bilgisayar sistemi tarafından yürütülmesi gerekir. Bu noktada yüksek bilgisayar gücü ve iyi hazırlanmış yazılımlar, sonuçların hızlı yorumlanabilmesi için önem taşır.

Hız vektörlerinin çıkarılması için önce ilk görüntü inceleme alanlarına bölünür. Bunun ardından ikinci görüntü ile bir çapraz-korelasyon işlemi yapılır. Çapraz korelasyonun maksimum değeri bize birinci görüntüdeki parçacık grubunun, ikinci görüntüde en çok hangi bölge ile uyum sağladığını ve buna göre bulunma ihtimalinin en yüksek olduğu bölgeyi verir. Taneciklerin ikinci fotoğrafta buldukları bölge ile birinci fotoğrafta buldukları bölge arasındaki vektör, akışkanın yer değiştirme vektörüdür. İki kare arasındaki çekim hızı bilindiği için, yer değiştirme vektörünün süreye bölümünden hız vektörü elde edilir.

3. PGHÖ YÖNTEMİNİN SPLIT KLİMA İÇ ÜNİTESİNE UYGULANMASI

Split klima iç ünitelerinde hava akışını sağlayan teğetsel fanlar, karmaşık akış yapıları nedeniyle kontrolü zor akış şartları oluşturmaktadır. Fan yuvası ve klimanın dış kabuk tasarımı da bu akış üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, iç akışın incelenmesi en uygun tasarımı oluşturmak için gerekli olmakla birlikte, çıkış ağzının incelenmesi akış sorunlarının tanımlanmasında ve yapılan iyileştirmelerin sonuca ulaşip ulaşmadığının saptanmasında önemlidir. Böylece iç kısmın incelenmesine göre de daha hızlı sonuca ulaşılabilir.

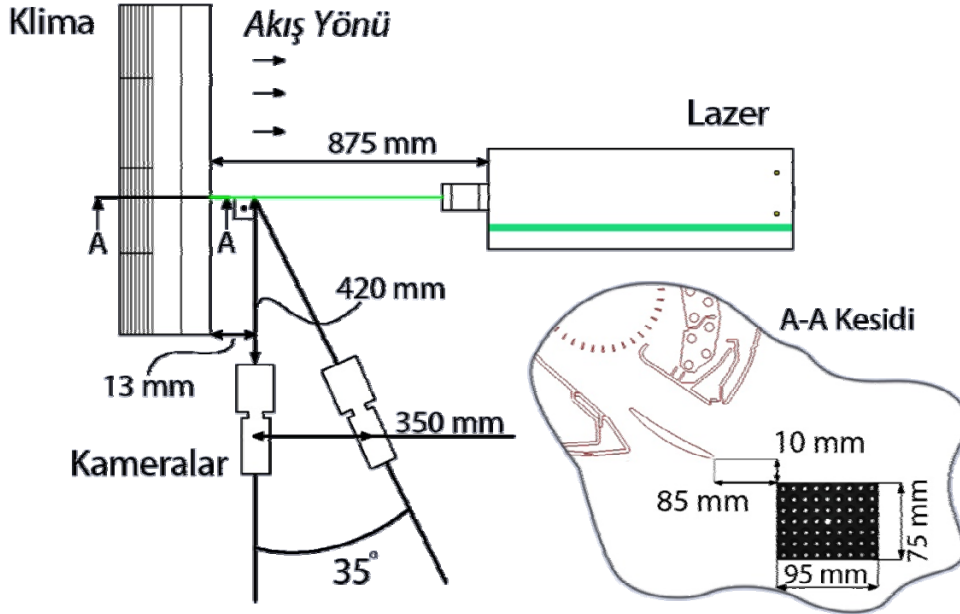
PGHÖ deney sistemimiz kameralar, lazer, bağlantı ve kontrol elemanları, sis üretici ve bilgisayar bileşenlerinden oluşmaktadır. Temel bileşenlerin teknik özellikleri Tablo 1.'de verilmiştir. Deneyler 3480 x 6840 mm ölçülerinde dikdörtgen şeklinde bir odada yapılmaktadır. Split klima iç ünitesi odanın uzun eksenini boyunca üflecek şekilde yerleştirilmiştir. Böylece akışın odayı çeviren duvarlardan en az miktarda etkilenmesi hedeflenmiştir.

Tablo 1. Sistemin Bileşenleri

Bileşen Adı	Teknik Özellikler
Lazer	135mJ 15Fps çift atımlı ND:Yag Lazer
Kameralar ve Objektifler	Flow Sence Mark II, 4 MPx, kare sensörlü kamera. 50mm f 2 Zeiss Lens Planar Macro
Bilgisayar	Dell T7500 İş istasyonu, 12 GB ram, Raid 0
Bağlantı Elemanları	Eş zamanlayıcı ve Özel Bağlantı Kabloları
Sis Üretici	Safex Sis Üretici

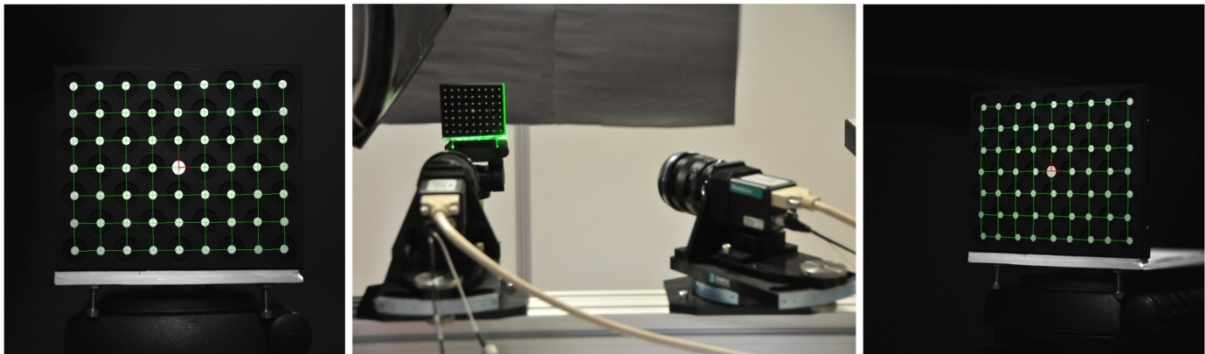
Kameraların, lazerin ve ölçüm yapılacak bölgenin hem birbirlerine göre, hem de oda içerisindeki konumları, deney sonuçlarının düzgün olarak belirlenebilmesi için önemlidir. Kameralar ile lazer düzleminin birbirlerine göre konumlarının tümünden sistemin ya da sadece iç ünitenin yer değiştirme işlemleri sırasında değişmemesi için, alüminyum profiller kullanılarak bu bileşenler birbirlerine

bağlanmıştır. Böylece, profil boyutlarına bağlı olarak belli sınırlar içerisinde kameralar ve lazer kaydırılabilirken, birbirlerine göre yerleşimleri değişmemektedir. İlk çalışma için kameralardan biri lazer düzlemine dik bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu şekilde, bu kamera için lazer düzlemindeki tanecik görüntülerinin netliği daha kolay sağlanmaktadır. İki kamera arasındaki açı ise 35° olarak seçilmiştir. Lazer, kameralar ve iç ünitenin konumları Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Lazer, Kameralar ve İç Ünitenin Birbirlerine Göre Konumları ve Hedefin Yerleşimi

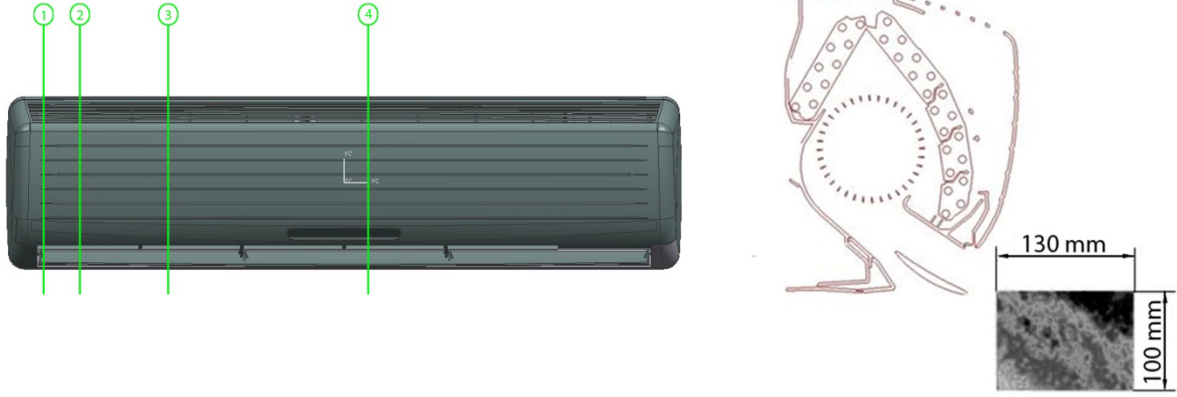
Yerleşim belirlendikten sonra, alınan görüntüleri doğru şekilde işleyebilmek için gerekli olan kalibrasyon işlemi yapılmıştır. Kalibrasyon işleminde, düzlem içi üç boyutlu PGHÖ ölçümleri için hazırlanmış, iki katmanlı, 95 x 75 mm ölçülerinde kalibrasyon hedefi kullanılmıştır. Şekil 3’de görüldüğü gibi, hedef, ölçüm yapılması düşünülen bölgeye lazer düzleminde olacak şekilde hassas olarak yerleştirilip kameralar hedefe netlenir. İki kameradan alınan hedef görüntüleri işlenerek, kameraların yakaladığı görüntüyü oluşturan fotoğraf elemanlarının (piksel) fotoğrafı çekilen düzlemde ne kadar büyüklükte bir alanı temsil ettiği ve dolayısıyla fotoğrafta görülen alanın boyutları bilgisayar ortamına aktarılır (Şekil 3). Böylece akış içerisindeki tanecik kümelerinin, ardışık fotoğrafları arasında ne kadar piksel yer değiştirdikleri verisi, gerçek yer değiştirmelerine dönüştürülerek, hız vektörlerinin belirlenmesi mümkün olmaktadır.



Şekil 3. Hedefin Kameralara Göre Konumu ve Kameraların Aldığı Görüntüler

Netleme ve kalibrasyon işlemi bir kere yapıldıktan sonra kameraların ve lazerin konumu değiştirilmeden, sadece cihaz yatay olarak (sağa ya da sola) kaydırılarak cihazın tüm çıkış ağız boyunca görüntü almak mümkün olmaktadır. Split klima içerisindeki akışı oluşturan teğetsel fanın akış

yapısı iki boyutludur. Sadece kenar bölgelerde cihazın duvarlarının etkisiyle akışın değişmesi beklenmektedir. Bu nedenle cihazın farklı kesitlerindeki akışın görüntülenmesi için, akışın değişmesi beklenen kenar bölgede iki tane ve genel akış yapısının sağlandığı orta bölgede bir tane olmak üzere toplam 3 düzlemden ölçüm alınmıştır. İncelenen düzlemlerin yerleri Şekil 4'de gösterilmiştir. Belirlenen bu düzlemler üzerinde 130x100 mm boyutlarında dikdörtgen şeklinde, cihazdan çıkan ana akışı köşegeni boyunca gözlemleyebileceğimiz bir bölge incelenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Klimanın Çıkış Ağızında İncelenen Bölgeler

Hız vektörlerini belirlemek için gerekli son adım ise akışın taneciklendirilmesidir. Bunun için sis kullanılmıştır. Kullanılan sis üretici, sıvı haldeki glikol su karışımından 1 µm'den küçük boyutlarda yansıtıcı tanecikler oluşturmaktadır. Deney öncesi oda içerisine duman püskürtülerek içeride gerekli yoğunlukta tanecik olması sağlanmaktadır. Yerel olarak incelenecek bölgeye sis sağlamak yerine odanın tamamen sis ile doldurulması, sürekli olarak belli yoğunlukta sisin ortamda bulunmasını garanti etmektedir. Bu taneciklerin lazer düzleminde geçen kısmının ardışık fotoğrafları çekilip işlenerek hız vektör alanı oluşturulabilmektedir.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

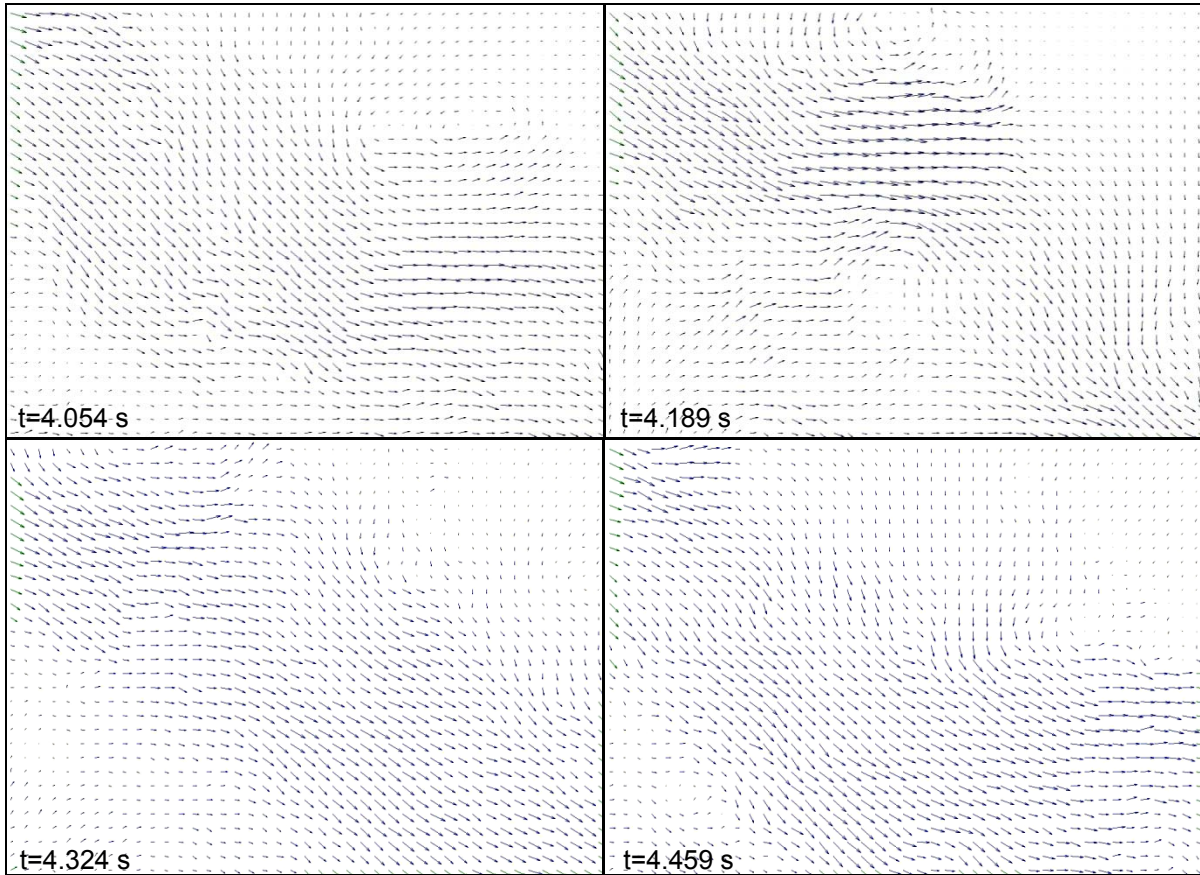
Teğetsel fanın yapısı gereği, akış zamana bağlı olarak değişmektedir. Deneyler sırasında her bir kesit için her bir kameradan iki yüzer görüntü alınarak incelemeler yapılmıştır. Şekil 5'de bu durumu göstermek için aynı kesitte, ölçümün farklı anlarında alınan verilerden elde edilen iki boyutlu vektör alanları verilmiştir. PGHÖ ile alınan anlık hız dağılımları incelendiğinde (Şekil 5) akışın çıkış ağızı boyunca zamana bağlı olarak belli bir genlikte yükselen alçalan bir yapı gösterdiği belirlenmiştir. Bu durumun tespiti ve gerekli tasarım önlemlerinin alınması hem konfor, hem de enerji verimliliği açısından klimanın iyileştirilmesine önemli bir katkı sağlamaktadır.

Akışın anlık değişimi ısı ve akustik konfor açısından önemlidir. Ancak, farklı kesitlerde akışın değişimini belirleyebilmek için sonuçların sadeleştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle sonuçların yorumlanmasında, alınan iki yüzer görüntü çiftinden elde edilen iki yüz anlık vektör alanının ortalaması kullanılmıştır. Bu şekilde akıştaki anlık dalgalanmalar elenerek, ana yapının ortaya çıkarılması mümkün olmaktadır.

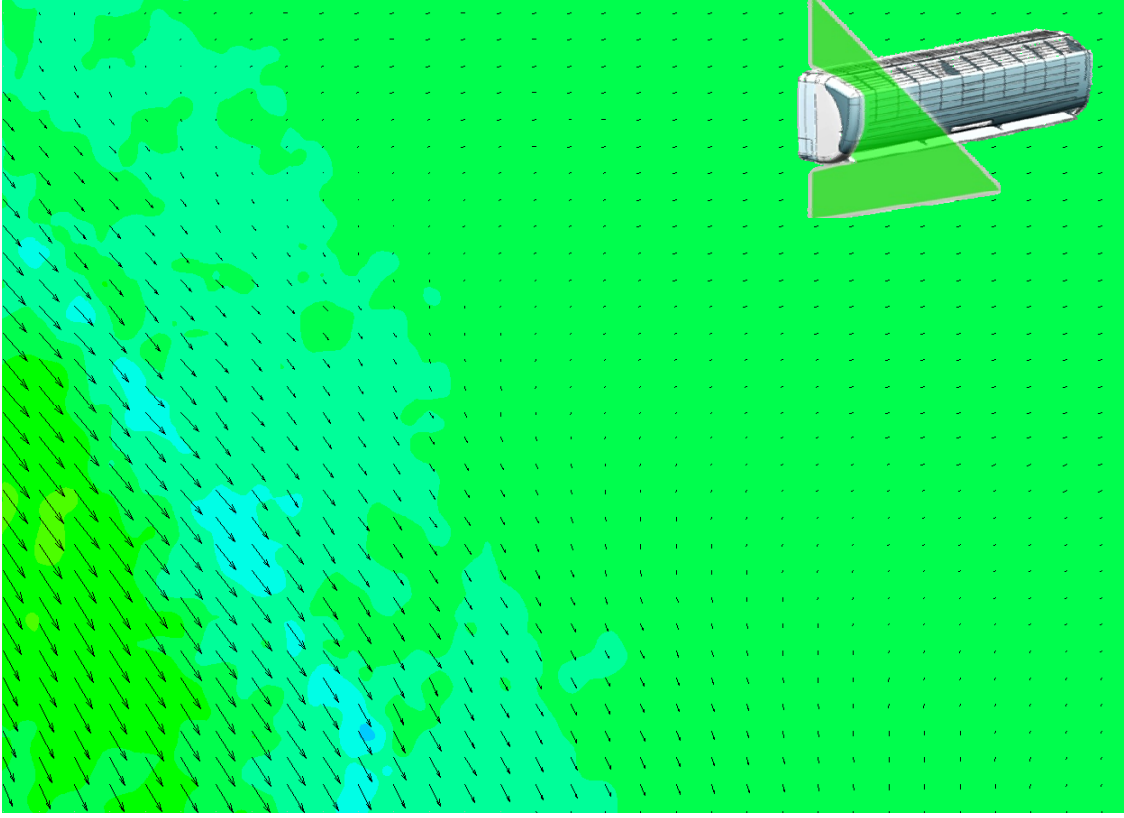
Cihazın 1, 2, 3 ve 4 numaralı kesitlerinden elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 6, 7, 8 ve 9'da verilmiştir. Bu kesitlerden 1 ve 2, kenar bölgede akışın bağıl olarak daha yavaş olduğu bölgede, 3 ve 4 ise orta kısımdaki asıl akış bölgesinde bulunmaktadırlar. Şekillerde verilen vektörler lazer düzlemi içindeki iki boyutlu akışı gösterirken, renkler ise düzlem içi üçüncü boyuttaki akışı belirtmektedir. Kırmızı tonlar sayfa düzleminde dışarı gelen akışı temsil ederken, mavi tonlar ise sayfa düzlemine doğru olan akış bölgelerini göstermektedir.

Sonuçlar incelendiğinde (Şekil 6–9) cihazın çıkış ağzındaki ana akışın her bir kesitte köşegen boyunca ilerlediği söylenebilir, ancak cihazın orta bölgesine doğru ana akış yükselerek incelenen alanın köşegeni doğrultusuna gelmektedir. Teğetsel fanların oluşturduğu kesit boyunca değişmeyen düzlemsel jet akışı, elde edilen sonuçlarda net olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, tasarım kısıtları nedeniyle ideal durumdan yaşanan sapmalar da PGHÖ yöntemiyle incelenebilmektedir. Şekil 6'da görüldüğü gibi cihazın kenarındaki akışın (1 numaralı kesit) ilgilenilen bölgenin sol alt tarafına yönlendiği gözlemlenmektedir. Üçüncü boyutta ise hemen hemen hiç hareket yoktur (yeşil renkli kısımlar), sadece akışın üst tarafında az miktarda düzlem dışı akış belirlenmiştir. Orta bölgeye doğru ilerledikçe (2 numaralı kesit, Şekil 7) ana akış yukarı doğru biraz genişleyerek yayılmaktadır. Ayrıca köşegen eksenli, saate ters yönde bir burulma hareketi görülmektedir. 1 numaralı kesite göre düzlem dışı hız bileşeninde görülen bu farklılık cihazın yan duvarlarından uzaklaştıkça (3 numaralı kesit, Şekil 8) daha düşük çaplı bir burulma hareketine dönüşerek etkisini sürdürmektedir. Ayrıca, 3 numaralı kesitteki ana akışın kenar bölgeye göre biraz daha genişlediği ve neredeyse gözlem bölgesinin tamamını kapladığı görülmektedir. 4 numaralı kesit incelendiğinde ise (Şekil 9), burulmanın yerini düzlemden dışarı doğru tek yönlü bir akışa bıraktığı ve ana akışın incelenen bölgenin köşegeni üzerinde daraldığı gözlemlenmektedir.

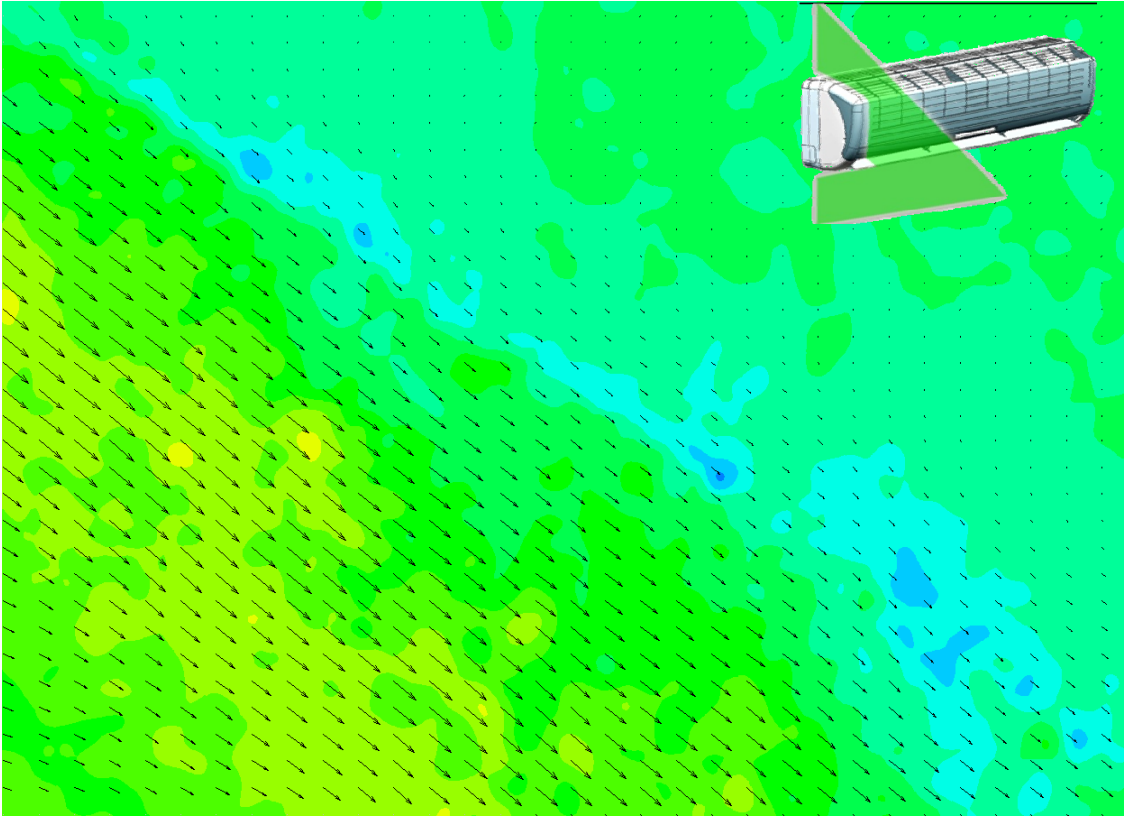
Cihaz tarafından oluşturulan düzlemsel jet akışının etkisiyle çevredeki durgun veya göreceli olarak düşük hızdaki havanın ana akışa katılımı, özellikle verilen şekillerin (Şekil 6–9) sağ üst bölgelerinde görülmektedir. 4 numaralı kesitte ise ana akışın daralması sonucu sol alt köşede de çevre havanın ana akışa katıldığı belirlenmiştir. Daha geniş bir gözlem alanı görüntülenerek ana akışın çevre hava üzerindeki etkisi ayrıntılı olarak incelenebilir. Düzlem dışı hız bileşeninde gözlemlenen büyük değişim kenar bölgelerde düzlem jet akışının üçüncü boyuttaki etkisinin daha baskın olması ile açıklanabilir. Ana akış üzerinde etkili olduğu görülen ve normalde beklenmeyen burulma etkisi ise ayrıntılı olarak incelenmelidir.



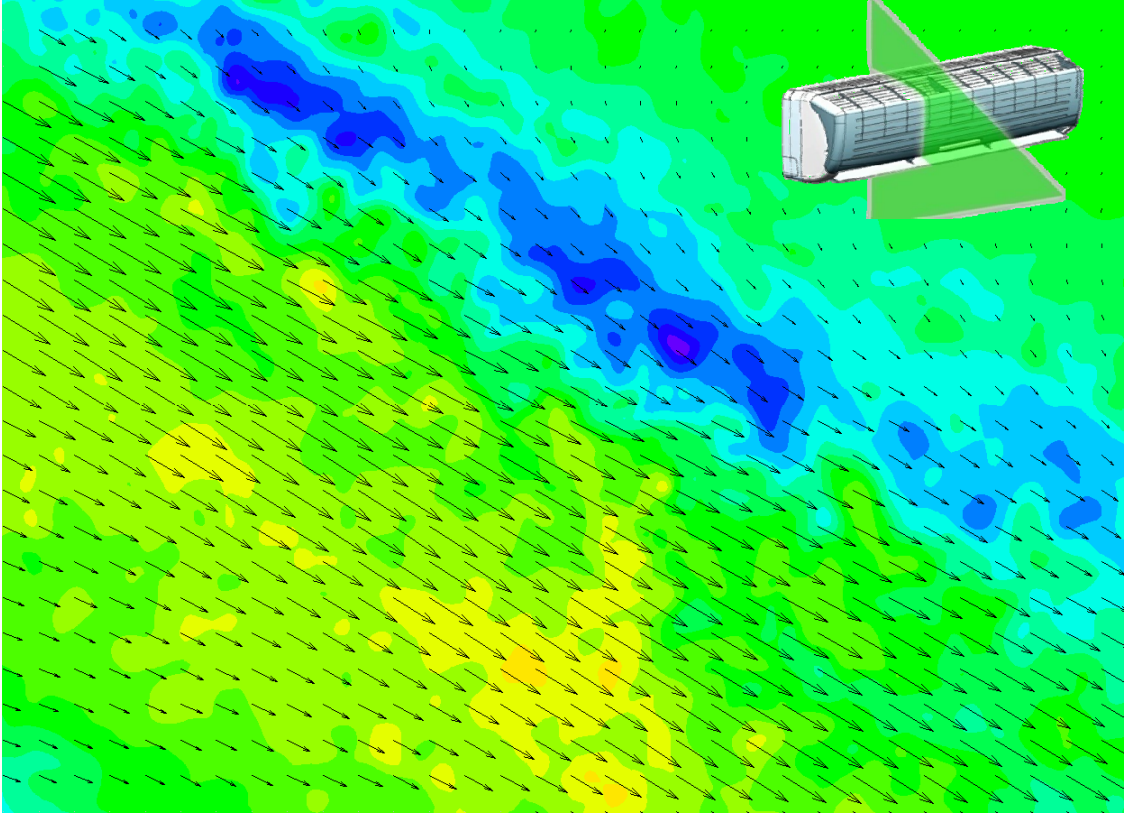
Şekil 5. 4 Numaralı Kesitte Farklı Anlardaki İki Boyutlu Hız Vektör Alanları



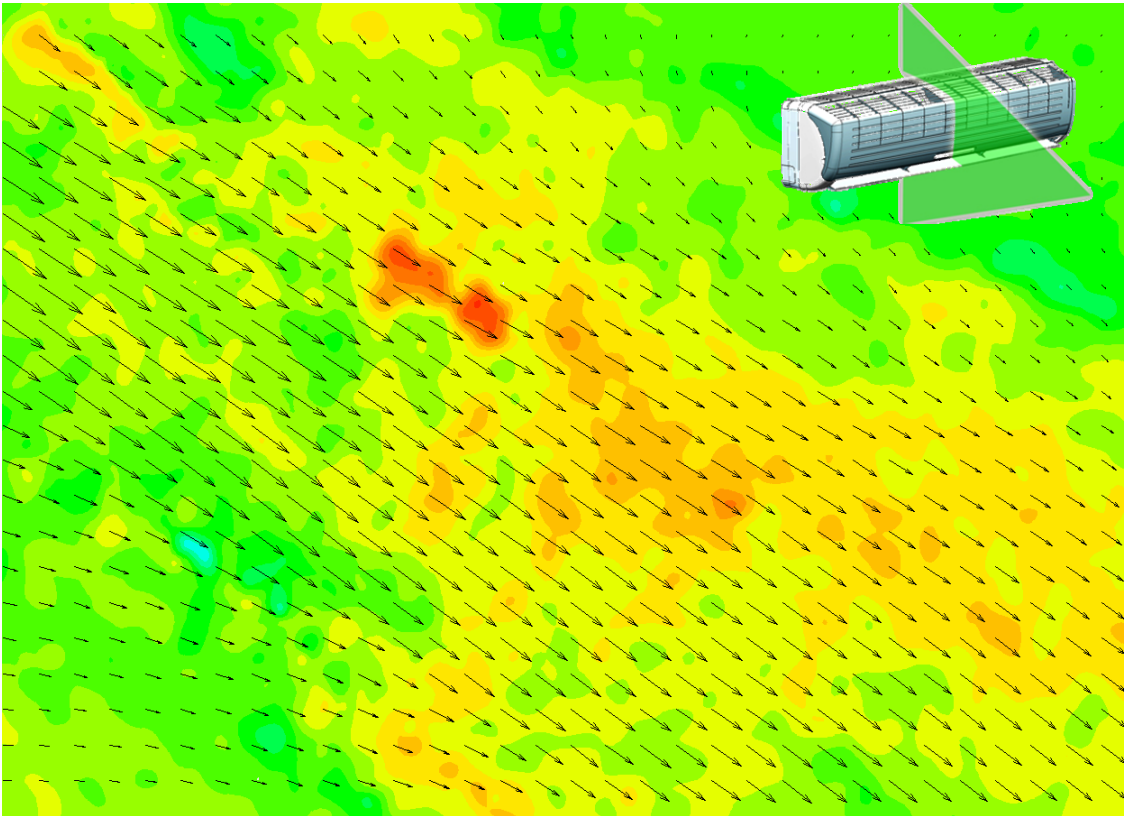
Şekil 6. 1 Numaralı Kesitteki Akış



Şekil 7. 2 Numaralı Kesitteki Akış



Şekil 8. 3 Numaralı Kesitteki Akış



Şekil 9. 4 Numaralı Kesitteki Akış

Bu çalışma göz önüne alındığında; PGHÖ metodunun, hız profilinin gözlenmesindeki ve akış yapılarının çözümlenmesindeki başarısı nedeniyle, günümüz iklimlendirme sanayinde ve ev aletleri üretiminde taşınım ısı transferi ve akış başarımını en üst seviyeye çıkarabilmek için etkin bir araç olarak kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

Bu çalışma Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından, San-Tez programı kapsamında, 00343.STZ.2008–2 kodlu proje ile desteklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] ADRIAN, R.J., "Twenty years of particle image velocimetry", Experiments in Fluids, 39 159-169.
- [2] RAFFEL M., WILLERT, C.E., WERELEY, S.T., KOMPENHANS, J., Particle Image Velocimetry, A Practical Guide, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1998-2007.
- [3] SCHROEDER, A., WILLERT, C.E., Particle Image Velocimetry New Developments And Recent Applications, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008.
- [4] KRAUSE, N., ZHRINGER, K., PAP, E., Time-resolved particle imaging velocimetry for the investigation of rotating stall in a radial pump, Experiments in Fluids, 39 (2005) 192-201.
- [5] BRICAUD, C., RICHTER, B., DULLENKOPF, K., BAUER, H.J., Stereo PIV measurements in an enclosed rotor stator system with pre-swirled cooling air, Experiments in Fluids, 39 (2005) 202-212.
- [6] TOMASINI E.P., PAONE, N., ROSSI, M., CASTELLINI P., Overview on PIV Application to Appliances, Topics in Applied Physics, 112 (2008) 271-281
- [7] YOON, J.H., LEE, S.J., Stereoscopic PIV measurements of flow behind an isolated low-speed axial-fan, Experimental Thermal and Fluid Science, 28 (2004) 791-802.

ÖZGEÇMİŞ

Ziya Haktan KARADENİZ

1980 yılında İzmir’de doğan Ziya Haktan KARADENİZ; 2002 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü’nden, 2005 yılında ise aynı Üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Yüksek Lisans Programı’ndan mezun olmuştur. Halen, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Doktora Programında eğitimine devam etmektedir. 2002 yılından beri Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma görevlisi 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 mezun olmuştur. Halen, aynı Üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Programında Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir. Ayrıca, 2005’ten bu yana İzmir Fotoğrafçılar Odası ve Halk Eğitim İşbirliğinde düzenlenen fotoğraf kurslarında “uzman eğitmen” olarak görev yapmaktadır.