

Visualization Of The Flow With PIV In Rectangular Channels

Mehmet DOĞAN, Atila Abir İGÇİ

Bozok University, Department of Mechanical Engineering, 66200 Campus, Yozgat, Turkey
atila.igci@bozok.edu.tr

Abstract: PIV systems are basically based on fog density, laser light intensity, and camera combination. In order to obtain an accurate flow field and flow vectors in a flow imaging process, the intensity of the fog and the intensity of the laser beam must be set correctly. In addition, it is necessary to prevent reflections in the wave-size range that cause noise from the test setup surfaces. In this study, the test section surfaces of the experimental setup were painted with special paint to prevent the reflections from these surfaces. Furthermore, special filters were also used to capture the laser beams in the appropriate wavelength within the image-receiving cameras. Careful should be taken when choosing the proper installation configuration for PIV systems. By taking these criteria into account, the flow was visualized in rectangular cross-section channels using the PIV system.

Keywords: PIV, channel flow, visulation

Dikdörtgen Kesitli Kanallarda Akışın PIV ile Görüntülenmesi

Özet: PIV sistemleri temelde, sis yoğunluğu, lazer ışığı şiddeti ve kamera kombinasyonuna dayanır. Bir akış görüntüleme işleminde doğru bir akış alanı ve akış vektörleri elde edebilmek için sis yoğunluğu ve lazer ışığı şiddeti doğru ayarlanmalıdır. Bunlara ilaveten deney düzeneği yüzeylerinden gürültüye neden olan dalga boyutu aralığındaki yansımaların önlenmesi gerekir. Bu çalışmada test odası yüzeylerinden yansımaların önlenmesi hususunda deney düzeneği test bölgesi özel boya kullanılarak boyanmıştır. Ayrıca görüntü alan kameralar içinde uygun dalga boyutundaki lazer ışınlarını alabilecek özel filtreler kullanılmıştır. PIV sistemleri için uygun kurulum yapılandırmasını seçerken dikkatli olunması gerekir. Bu kriterler dikkate alınarak dikdörtgen kesitli kanallarda akış PIV sistemi kullanılarak görselleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: PIV, kanal akışı, görselleştirme.

Reference to this paper should be made as follows (bu makaleye aşağıdaki şekilde atıfta bulunulmalı):

Mehmet DOĞAN, Atila Abir İGÇİ, "Visualization Of The Flow With PIV In Rectangular Channels", , Elec Lett Sci Eng , vol. 12(3) , (2016), 1-10

1. Giriş

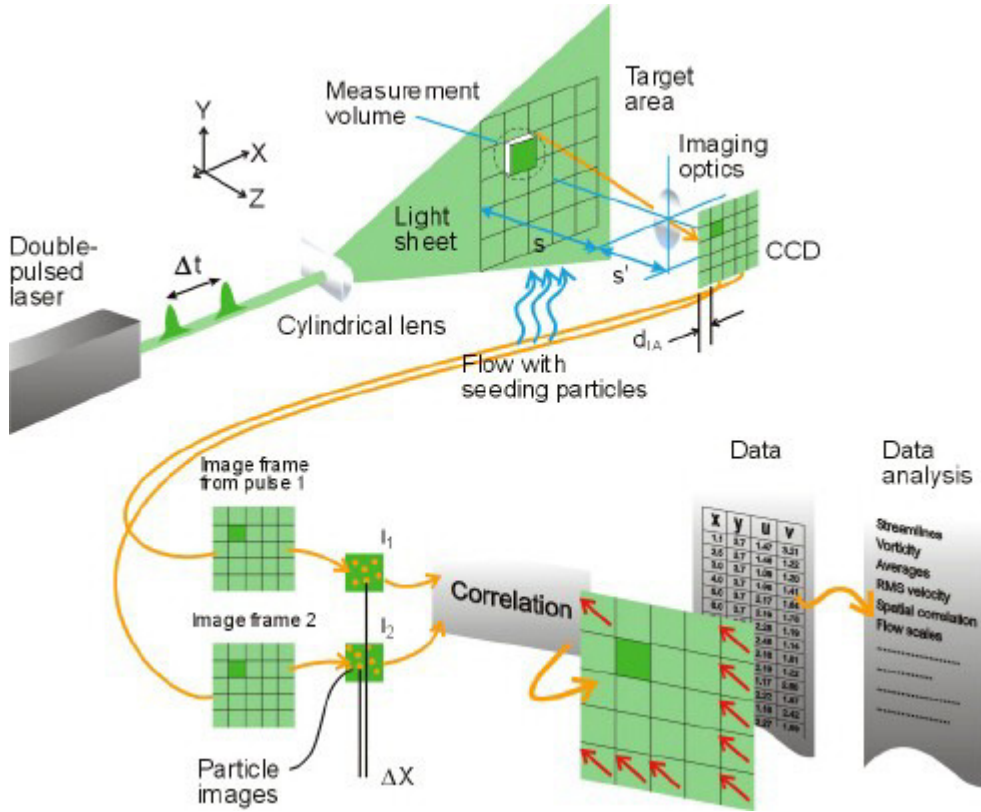
Sıcaklıkları farklı katı bir cisim ile bir akışkanın etkileşimi sonucunda cisim ile akışkan arasında gerçekleşen ısı transferi üzerinde akışkanın hareketi önemli bir rol oynamaktadır. Cisim üzerindeki akışkan hareketinin, bazı yöntemler ile kontrol edilip yönlendirilme yapılması sonucunda normal olarak gerçekleşen ısı transfer hızının üzerinde bir ısı transfer hızı elde edilebilir. Bunun için akış alanında akışkanın vorteks oluşturmasını sağlayan farklı geometrilere sahip cisimler kullanılır. Bu en basit ve ucuz olan yöntemlerden bir tanesidir. Parçacık görüntüsü hız ölçümü PIV, akış, türbülans, mikro akışkanlar, püskürtme atomizasyonu ve yanma prosesleri ile ilgili araştırma ve analizler yapmak için, akış alanını herhangi bir şekilde etkilemeksizin bir lazer optik ölçüm tekniğidir. PIV, akış alanının detaylı bir şekilde incelenmesi ile akış rejiminin belirlenmesi noktasında kullanılan en son ve en yaygın yöntemlerden biridir. PIV sistemler kullanılarak vorteks oluşumları ve akış yapıları incelenerek ısı transferinin artırılması noktasında çalışmalar hız kazanmıştır. Başta elektronik cihazların soğutulması olmak üzere, nükleer santralleri soğutulması gibi bir çok sanayi alanlarında ve ısı değıştircilerinde bunun gibi ısı transfer hızının artırılmasına yönelik uygulamalar yapılmaktadır. PIV 1980'lerin ortalarından beri kullanılan, akış alanını bir bütün

olarak inceleyen hız ölçüm tekniğidir [1]. Bu makalede, PIV'nin tarihsel gelişimi, çalışma modları ve teori ile birlikte PIV'nin deneysel kullanımı ayrıntılı olarak verilmektedir. Sıcak tel anemometre ve pitot-statik tüp gibi diğer geleneksel yöntemlerin aksine PIV, akışların anlık olarak hem nitel hem de nicel olarak yorumlanmasını sağlar. PIV sistemlerinin ölçümlerinde verdikleri doğruluk, esneklik ve çok yönlülük, onları akış hız ölçüm çalışmaları için son derece değerli araçlar yapmıştır.

Akış görselleştirme, özellikle düşük Reynolds sayısında karışık taşınım ısı transferinde kaldırma kuvveti etkili ikincil akışların ve vorteksli akışların doğasına dair bir fikir vermektedir. Literatürde akışın görselleştirilmesi konusunda, kanal uzunluğu boyunca görselleştirme [2,3,4,5,6] ve çapraz akış yönünde çalışmalar yapılmıştır [7,8,9]. Örneğin akış görselleştirme ile kare kesitli ısıtılmış bir kare kanalın test bölgesinde birbirinden farklı dört farklı akış bölgesi belirlenmiştir [6]. Akış modellerine dayanılarak bunların laminer zorlanmış konveksiyon, laminer karışık konveksiyon, geçici karışık konveksiyon ve türbülanslı serbest konveksiyon olduğunu ifade etmişlerdir. Son yapılan çalışmalarda geleneksel PIV sistemlerine özel mikroskopların monte edilmesi ile micro PIV çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalarda mikro boyutlarındaki kanal içerisindeki akışın görüntülenmesi ve akış analizleri yapılmaktadır [10,11].

2. Yöntem

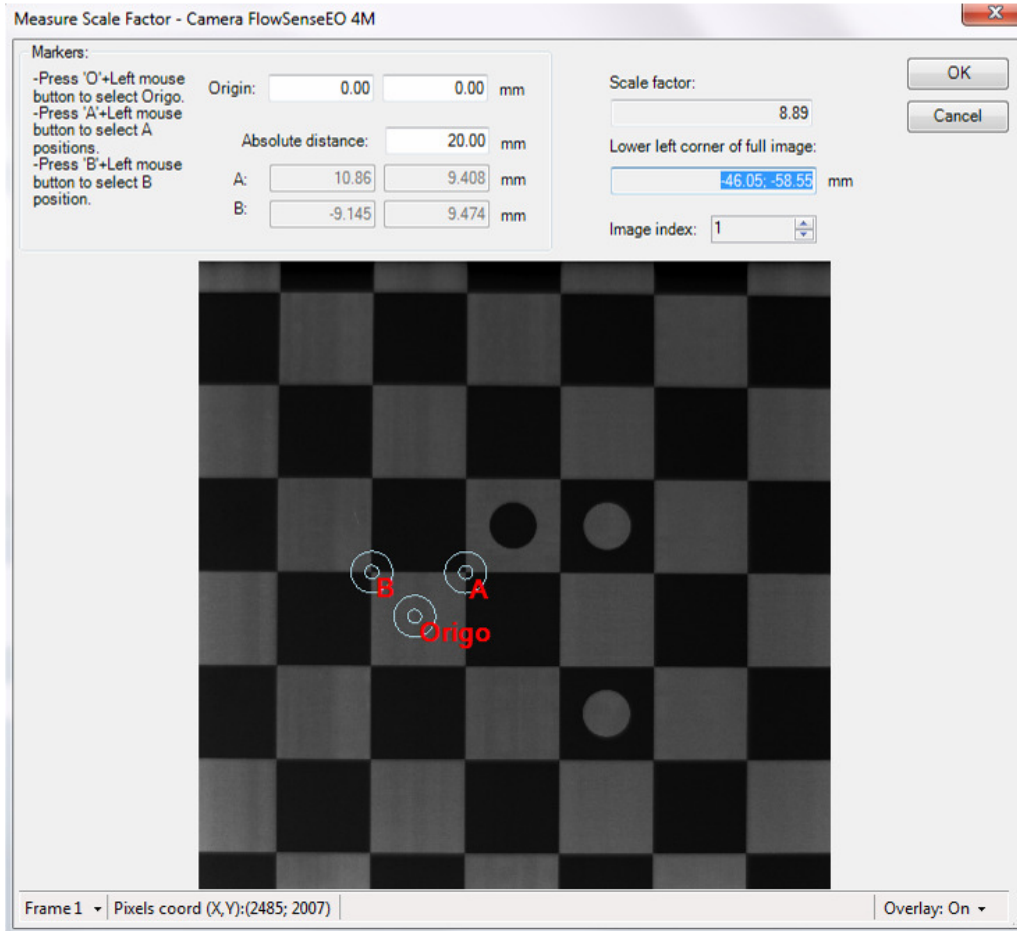
Parçacık Görüntülü Hız Ölçümü (Particle Image Velocimetry – PIV, Şekil 1) çok kısa zaman aralığında, akış düzlemindeki parçacıkların yer değiştirmesini fotoğrafik olarak belirlemek suretiyle, aynı düzlemdeki anlık hız dağılımını bulmak için kullanılan çift-darbeli (double-pulsed) lazer tekniğidir. İlk adım akışkan hareketinin izlenebilmesi için akışa, akıştaki yörünge çizgilerini takip edebilen ve lazer ışınlarını yansıtabilen mikron mertebesinde uygun parçacıklar bırakılmasıdır. Peşinden darbe halinde lazer ışını ile akış görüntülenmesi yapılacak düzlem ince bir lazer ışığı tabakası olarak çok kısa zaman aralığında (genellikle birkaç μs) art arda iki kez aydınlatılır. Bu sırada bu ışık tabakasına dik bir açıda yerleştirilmiş bir fotoğrafik kamerada eş zamanlı olarak parçacıkların saçtığı lazer ışığını algılayıp bu düzlemdeki parçacıkların çok kısa zaman aralığındaki art arda çekilmiş görüntü çiftini elde eder. PIV yazılımı da üst üste bindirilmiş bu iki kamera görüntüsündeki bilgiyi kullanarak, bütün düzlemdeki parçacıkların yer değişimleri, hızları, hareket yönü gibi bilgiler hesaplar. PIV yazılımında bulunun algoritmalar, sorgulama bölgeleri (Interrogation area) denilen bütün düzlemdeki binlerce alan elemanında hızı belirler ve istenen formatta hız alanını çıkartabilir. Hız ölçümleri için PIV yöntemi şu üç adımdan oluşur: kalibrasyon, görselleştirme ve görüntü algılama ve veri işleme.



Şekil-1 Parçacık görüntülü hız ölçüm sistemi

2.1. PIV Sisteminin Kalibrasyonu

Kalibrasyon, elde edilen görüntülerde ince lazer dilimine odaklanılmasını ve görüntülerin işlenmesi için gerekli olan ölçek faktörünün elde edilmesini sağlamak için gereklidir. Kalibrasyon işleminde takip edilen yol şöyledir. Kalibrasyon plakası lazer tabakasıyla çakışacak şekilde hizalanır ve ölçülecek olan akış alanının merkezine sabitlenir. Daha sonra lazer kapatılır. Kalibrasyon plakası, kontrast renklere sahip ve kenar uzunlukları 20 mm olan karelerden oluşmuş bir ızgara görüntüsündedir. İdeal olarak, kalibrasyon plakası aydınlatması iyi bir kontrast verecek şekilde düzgün ve parlak olmalı ve mümkün olduğunca kameralara yansımalar önlenmelidir. Genellikle mevcut aydınlatma sınırlı olduğundan aydınlatmayı iyileştirmek için farklı açılardan led-tipi projektörler ile üniform aydınlatma sağlanabilir. Görüntüler çekilmeden önce, kamera kalibrasyon plakası keskin görünecek şekilde odaklanır. Kalibrasyon için yeni bir veritabanı oluşturularak ölçüm başlatılır. PIV yazılımı veri toplama (data-acquisition) ve kalibrasyon görüntüleri alınırken kamera tek-çekim (single-frame) modunda çalıştırılır. Kalibrasyon plakası ve işlemine ait kaydedilmiş görüntü örneği Şekil 2’de görülmektedir. Bu görüntüler bilgisayar tarafından analiz edilmekte ve ölçek faktörü, CCD kamera perspektifi ile sağlanan noktalar arasındaki görünür mesafeyi ve gerçek uzaklık 20 mm’yi karşılaştırarak çıkarmaktadır.



Şekil-2 Kalibrasyon plakası ve işlemi

2.2. Görselleştirme ve Görüntü Algılama

Kurulum kalibrasyonu tamamlandıktan sonra artık akış görüntüleme için PIV ölçümlerine başlanabilir. Ölçümler için kameralar çift-çekim (double-frame) modunda çalışır ve lazer atımlarıyla eşzamanlı olarak çekim yapar. Her atım arasında geçen kısa zaman aralığı akışın şiddetine bağlı olarak ayarlanır (genellikle birkaç μ s). PIV yöntemi, parçacıklar tarafından saçılan lazer ışığına dayanır ve dolayısıyla uygun bir yansımış sinyal elde etmek için işaretleyici (marker) adı verilen parçacıklar akışa ekilmelidir (tohumlama–seeding). Tohum parçacıkları, hareketlerinin akışı temsil edebilmesi için akıştaki yörünge çizgilerini takip edebilmeli ve bunun için genellikle μ m boyutlarında çok küçük olmalarını gerektirir. Bu çalışmada tohumlama için Dantec'in sağladığı sis üretici ve sıvısı kullanılmıştır. Bu aşamada sis üretici açılarak akış ortamına parçacıklar bırakılır ve kamera parçacıkların saçtığı lazer ışığını algılar. Sis yoğunluğu ve lazer şiddeti gereğinden fazla olmamalıdır. Aksi halde kameraya gelen aşırı lazer ışınları kameraya zarar vermektedir. Elde edilen görüntüler bilgisayar sistemine kaydedilir ve veri-işleme (data-processing) için hazır olur. Veri-işlemede Dantec yazılımında yapılan ayarlar sonuçlarda verilmiştir.

2.3. Veri İşleme

Bu aşamada, ölçüm aşamasında yakalanan görüntüler analiz edilir. Öncelikle alınan her resim-içtine analizi etkilememesi bakımından lazer tabakası ile aydınlanmayan kısımlarına maskeleyme uygulanır. Bu şekilde elde edilen ham görüntüler (resim çiftleri) çapraz-korelasyon (cross-correlation) kullanılarak işlenir. Bunun için görüntüler önce küçük sorgulama alanlarına (Interrogation areas) ayrılır (örneğin 32x32 piksel). Her sorgulama alanı, istatistiksel

korelasyon teknikleri kullanılarak işlenir, böylece akış alanına bırakılan parçacıklarının yer değiştirmesi analiz edilir ve karşılaştırılır. Bu, akış alanının görselleştirilmesine olanak tanır, yani ortaya akış alanına ait hız vektör alanı çıkar. Analizler Intel Xeon Quad Core işlemcili bilgisayarda Dantec Dynamic Studio 3.31 yazılımı ile yapılmıştır. Elde edilen hız vektör alanı sonuçlarda verilmiştir.

Analizin bundan sonraki aşaması, çapraz-korelasyon (cross-correlation) kullanılarak elde edilen hız vektör alanında ortaya çıkan hatalı vektörleri ortadan kaldırmak için çeşitli filtrelerin kullanılmasıdır. Ortaya çıkan bu hatalı vektörler genellikle akışa bırakılan parçacık yoğunluğunun çok fazla ya da çok az olması, çevreden gelen diğer ışık kaynakları ve ayrıca lazer ışınının çarptığı yüzeylerden tekrar ortama saçılarak yansımaları sebebiyle kameraya gelen istenmeyen sinyallerden (gürültü) kaynaklanan akış alanındaki aykırılıklardır (anomaliler). Bu nedenle, lazer kaynağının oluşturduğu lazer tabakasının çarptığı yüzeylerden olan yansımalar için tedbirler alınmalıdır. Bunun için yüzey 532 nm dalga boyundaki Nd:YAG lazer ışınlarını yutan Rhodamine içerikli boya ile kaplanmaktadır [12]. Bu çalışmada lazer ışınının çarptığı kanalın alt yüzeyi siyah mat boya ve üzeri de Rhodamine karakteristiği gösteren Dykem Steel Red boya ile kaplanmıştır [13]. Hız vektör alanında ortaya çıkan hatalı vektörleri ortadan kaldırmak için kullanılan filtreler: pik filtresi (peak filter), aralık filtresi (range filter), hareketli ortalama filtresi (moving average filter) ve ortalama filtresi (average filter)'dir. Pik filtresi, sinyalin pik yaptığı ve gürültünün pik yaptığı değerleri arasındaki oranı dikkate alarak hatalı bulunduğu vektörleri ortadan kaldırır. Bu oran belli bir değerin altına düşerse, vektör ortadan kalkar. Kullanılan oran sonuçlarda verilmiştir. Aralık filtresi, vektörlerin büyüklüğünün, doğru bulunan vektörlerin kalitatif (nitel) analizi ile belirlenen bir aralıkta kalmasını sağlar. Hareketli ortalama filtresi, bir vektör etrafında örnek vektör seti olarak ve ortalamayı hesaplayarak hatalı vektörleri süzer. Gerçek vektör ile çevresindeki vektörler dikkate alınarak hesaplanan ortalama arasındaki tutarsızlık, belirli bir orandan daha büyükse, merkezi vektör ya ortalamayla değiştirilir ya da tamamen ortadan kaldırılır. Bu üç filtrenin kullanılması akış alanından çok fazla gürültünün ortadan kaldırılmasına izin verir, ancak uygulamada bu mükemmel değildir ve belirli sayıda hatalı vektör devam eder. Gerekirse, bu vektörler manuel olarak çıkartılabilir, ancak bu zahmetli bir iştir. Son olarak ortalama filtre (average filter) bir hız vektörünün vektörel komşuları üzerinden bulunan ortalamayla vektör alanını filtrelemek için kullanılır. Tek tek vektörlerin bir maksimum değer olmadan kullanıcı tarafından verilen ortalama alanın boyutuna göre ortalama vektör tarafından düzeltildiği bir yöntemdir [14].

Bu çalışma için kurulan deney düzeneğinin birkaç yönden alınmış fotoğraf görüntüsü Şekil 3'de verilmiştir. Deney düzeneğinin başlıca elemanları sırasıyla, hız ölçümünün yapıldığı akış alışı ağız, sis odası, akışın geliştiği kanal ve devamında test odası, PIV sistemi, sönmüleme odası, kısma vanası, yüksek basınçlı fan ve hız sürücüsünden oluşmaktadır. Bu çalışmada kullanılan Dantec PIV sistemi saniyede 15 görüntü çifti alabilmekte (15 Hz) ve her görüntü çiftinde iki çekim arasında geçen süre en az 200 ns'dir. Lazer ışık kaynağı Nd:YAG ve 532 nm'de, atım (pulse) enerjisi 135 mJ'dur.



Şekil-3 Bu çalışma için kurulan deney düzeneğinin farklı açılardan görünüşü

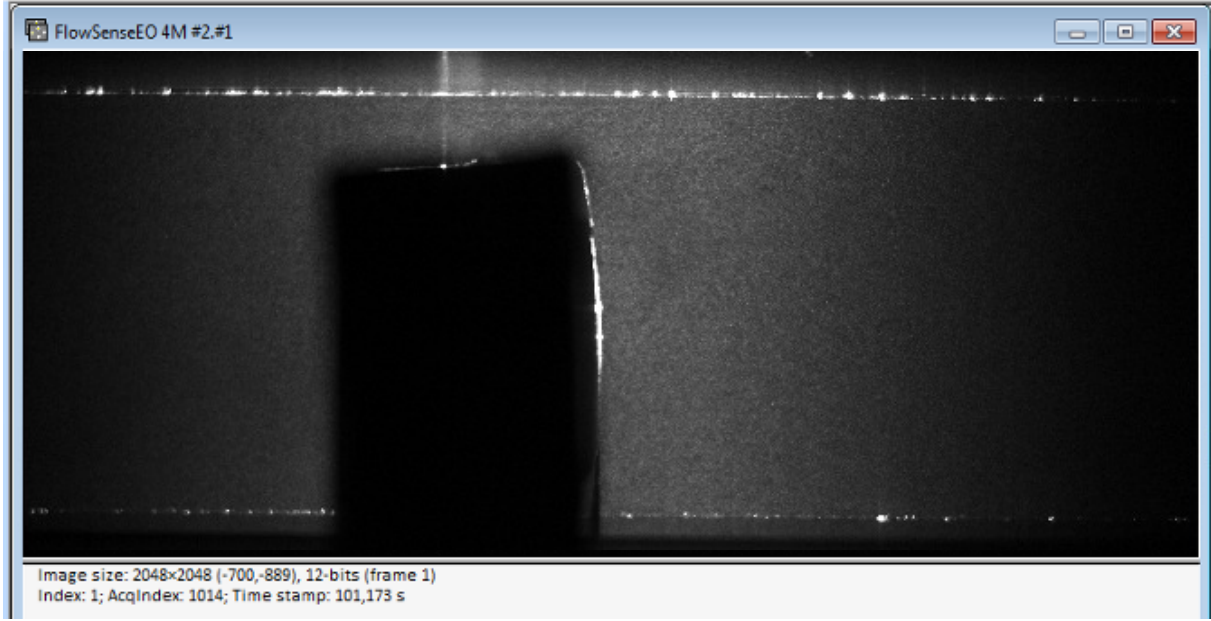
3. Sonuçlar

Bu çalışmada PIV sistemiyle alınan görüntüleri analiz etmek için Dantec'in yazılımında yapılan ayarlar Tablo 1'de verilmiştir. Pik filtreleme (peak filter)'de sinyal-gürültü-oranı (signal-to-noise ratio) 1.1, hareketli ortalama filtresi (moving average filter)'nde kabul faktörü (acceptance factor) 0.1 iyi sonuçlar vermiştir.

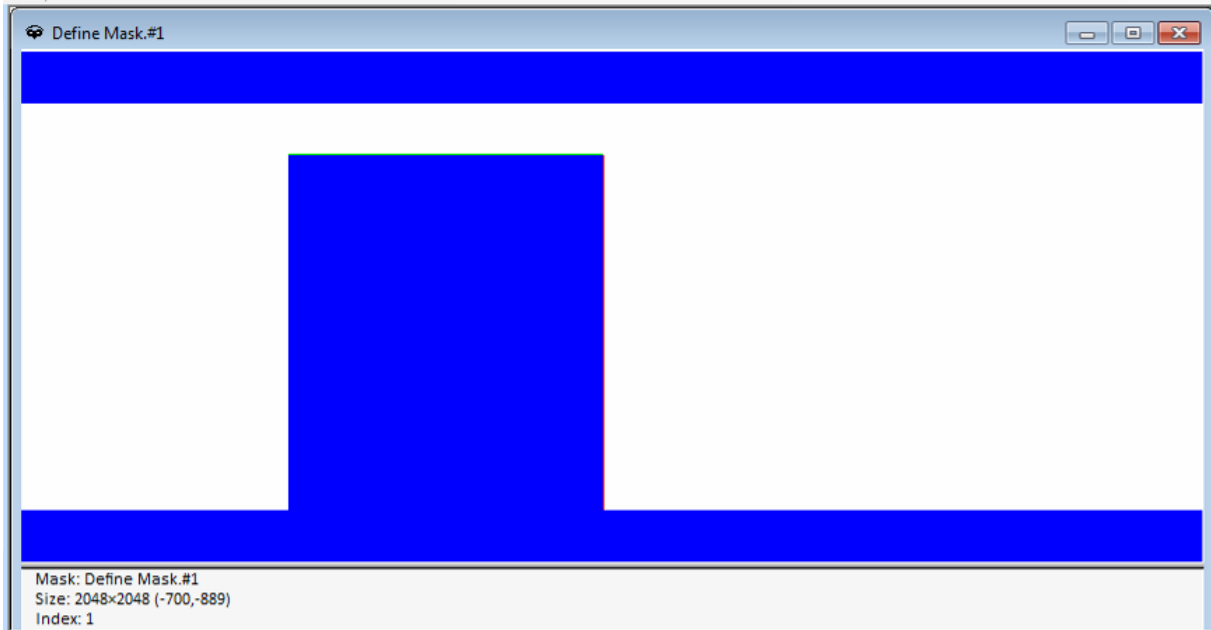
Tablo-1 Kullanılan analiz ve filtreleme için yapılan ayarlar

Ayar	Değer
Sorgulama bölgesi (Interrogation area)	32x32 piksel
Çakışma (Overlap)	Yatay: % 50, Dikey: % 50
Pik filtresi sinyal-gürültü-oranı (Peak filter signal-to-noise ratio)	1.1
Hareketli ortalama filtresi kabul faktörü (Moving average filter acceptance factor)	0.1
Hareketli ortalama filtresi ortalama alanı (Moving average filter averaging area)	3x3 piksel
Aralık filtresi hız aralığı (Range filter length interval)	Min: -5, Maks: 5 m/s
Ortalama Filtresi ortalama alanı	9x9 piksel

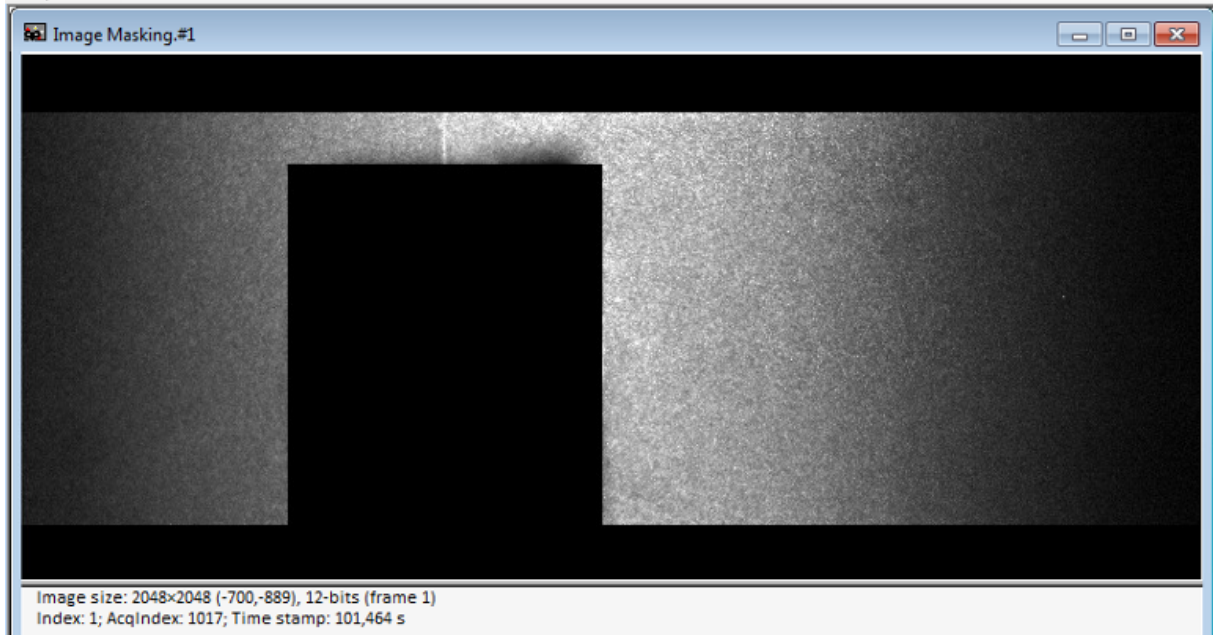
Bu gibi filtreleme parametrelerinin gereğinden yüksek seçilmesi durumunda hatalı vektörlerin yanında birçok doğru vektörlerin de kaldırılmasına sebep olmaktadır. Şekil 4'te CCD kameradan alınan ham görüntü görülmektedir. Hız vektör alanını elde etmek için uygulanacak analiz ve filtreleme işlemlerinin iyi sonuç vermesi için önce ham görüntü üzerinde lazer ile aydınlanmayan ve yansımaların olduğu bölgelerin maskelenmesi gerekmektedir. Bunun için Şekil 5'te verilen maske hazırlanmış ve ham görüntüden bu kısımlar çıkartılmıştır. Analiz ve filtre işlemleri için Şekil 6'da elde edilen görüntü kullanılmıştır.



Şekil-4 Ham görüntü

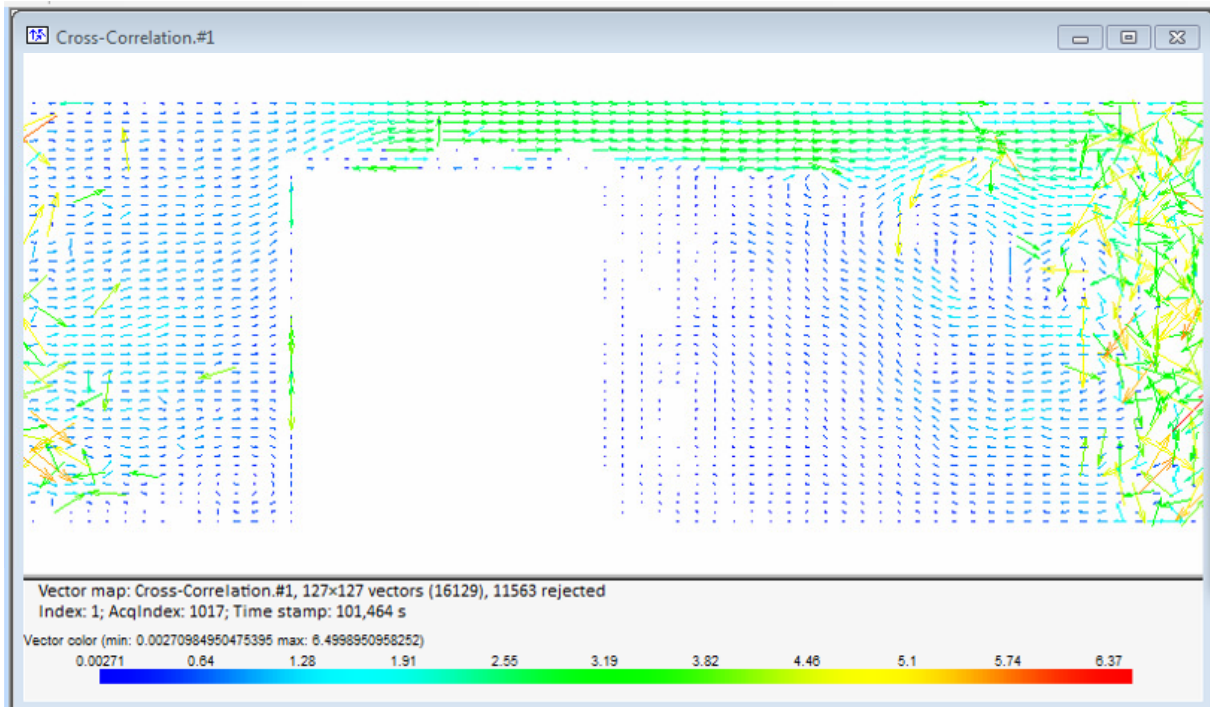


Şekil-5 Ham görüntüye uygulanan maske

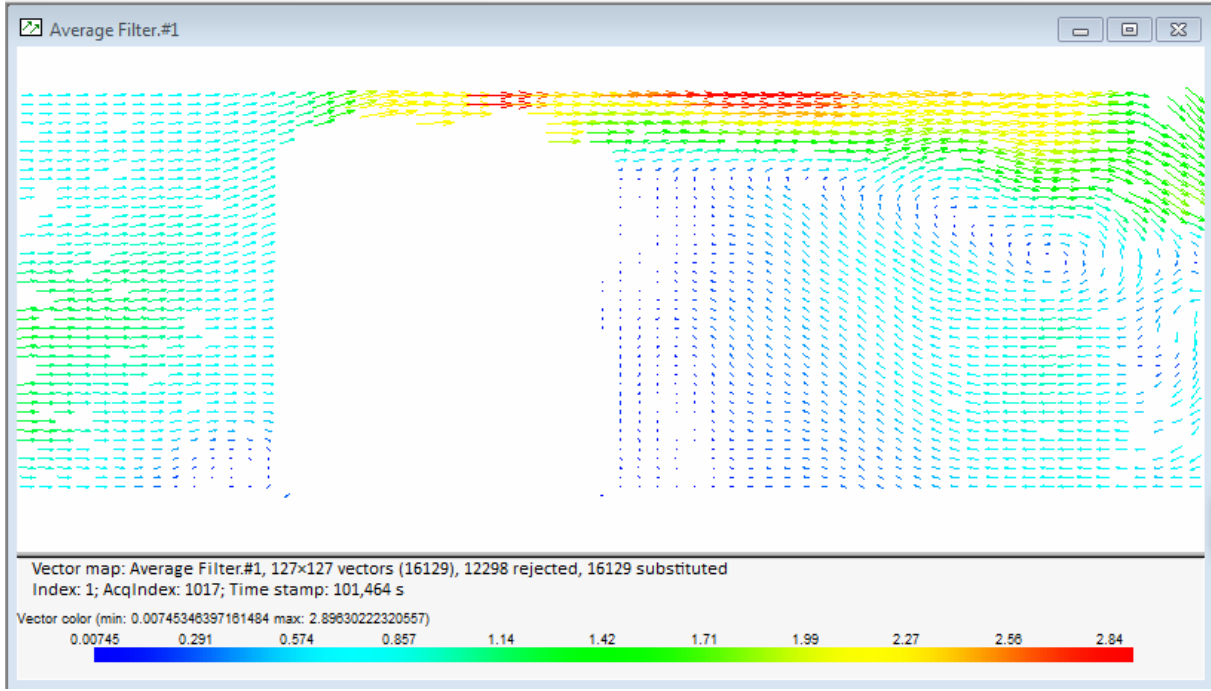


Şekil-6 Maske uygulanmış ham görüntü

Çapraz-korelasyon (Cross-correlation) analiz sonucu Şekil 7’de ve yukarıda bahsedilen filtrelerin uygulanmasından sonra elde edilen hız vektör alanı Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil-7 Çapraz-korelasyon (Cross-correlation) analiz sonucu hız vektör alanı



Şekil-7 Filtreler uygulandıktan sonra elde edilen hız vektör alanı

4. İrdeleme

Kameradan alınacak görüntüde gürültüyü azaltmak ve görüntü kalitesini artırmak için lazer ışın tabakasının çarptığı yüzeylerden olan yansımaları engellemek için tedbirler alınmalıdır. Kameraya yansıma ile gelecek lazer ışığı kameraya zarar vermektedir.

Kaliteyi artırmak için uygun sis yoğunluğu ve lazer şiddeti kullanılmalıdır. Gereğinden fazla sis yoğunluğu ya da lazer şiddeti kameraya akış düzlemi dışından gelen sinyaller olarak gürültüyü de artırdığı için alınan görüntü-çiftlerin kalitesi düşük, analiz sonuçlarında hatalı vektör sayısı çok daha fazla hatta hız vektör alanı oldukça hatalı olacaktır.

Pik filtreleme (peak filter) anormal korelasyon vektörlerinin kaldırılmasını sağlamakta ve aralık filtresi (range filter) ile hareketli ortalama filtresi (moving average filter) ise bu işlevi farklı yöntemler kullanarak yapmaktadır. Bu üç çeşit filtreleme kullanarak çok sayıda yanlış sonucun filtrelenmesi sağlanmaktadır. Ancak bu filtrelemeler tam olarak yeterli olmayabilir ve ilave filtrelemelerin kullanımı hatta elle hatalı vektörlerin ayıklanması gerekli olabilir.

Pik filtreleme (peak filter)'de sinyal-gürültü-oranı (signal-to-noise ratio)'nın yüksek seçilmesi durumunda hatalı vektörlerin yanında birçok doğru vektörlerin de ortadan kaldırılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, görüntüleri işleme tabi tutmak için bu gibi filtreleri kullanırken, bu gibi parametrelerin ayarlanmasında akıllıca seçimlerin yapılması önemlidir.

Referanslar

1. M. Raffel, C.Willert, S. Wereley and J. Kompenhans. 2007. Particle Image Velocimetry: A Practical Guide. 2nd ed. New York: Springer. 2007.
2. D.G. Osborne, F.P. Incropera, Experimental study of mixed convection heat transfer for transitional and turbulent flow between horizontal, parallel plates. Int. J. Heat Mass Transfer 28, (1985a), 1337-1344.

3. D.G. Osborne, F.P. Incropera, Laminar, mixed convection heat transfer for flow between horizontal parallel plates with asymmetric heating. *Int. J. Heat Mass Transfer* 28, (1985b), 207–217.
4. Y. Sakamoto, T. Kunugi, K. Ichimiya, Experimental and Numerical flow visualization of mixed convection with flow reversal in a horizontal isothermal channel. *J. Flow Visual. Image Process.* 6, (1999), 41–50.
5. K. Toriyama, K. Ichimiya, Effect of reverse flow on three-dimensional mixed convection in a horizontal square duct the case of three heated or cooled walls of the duct. *J. Flow Visual. Image Process.* 17, (2010), 69–84.
6. L.W. Wang, K.H. Hou, I.G. Lu, C.F. Hsu, Flow patterns of mixed convection in a horizontal square channel flow. *Exp. Heat Transfer* 9, (1996), 257–265.
7. H. Koizumi, I. Hosokawa, Unsteady behaviour and mass transfer performance of the combined convection flow in a horizontal rectangular duct heated from below. *Int. J. Heat Mass Transfer* 36, (1993), 3937–3947.
8. W.L. Lin, T.F. Lin, T.F., Experimental study of unstable mixed convection of air in a bottom heated horizontal rectangular duct. *Int. J. Heat Mass Transfer* 39, (1996), 1649–1663.
9. Y. Sakamoto T. Kunugi, K. Ichimiya, Experimental and Numerical flow visualization of mixed convection with flow reversal in a horizontal isothermal channel. *J. Flow Visual. Image Process.* 6, (1999), 41–50.
10. Dong Yu, Chaohong Guo, Ningning Xie, Tao Wang, Xuegong Hu, Dawei Tang, Experimental investigation on flow characteristic in open rectangular microgrooves using micro-PIV. *Applied Thermal Engineering*, 106, (2016), 906-915.
11. Yuling Zhai, Guodong Xia, Zhuo Chen, Zhouhang Li, Micro-PIV study of flow and formation of vortex in micro heat sinks with cavities and ribs, 2016. *Applied Thermal Engineering*, 98, (2016), 380-389.
12. E. Paterna, P. Moonen, V. Dorer, and J. Carmeliet, Mitigation of surface reflection in PIV, *Measurement Science And Technology* 39, 057003 (5pp), (2013), doi:10.1088/0957-0233/24/5/057003
13. J. Pierce Adam, K. Lu Frank, New Seeding and Surface Treatment Methods for Particle Image Velocimetry. 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, AIAA, 2011-1164.
14. Dantec Dynamics, *DynamicStudio User's Guide* (2013) Version 3.31, Build no.: 4.00.0037. Publication no.: 9040U1857, Skovlunde, Denmark.