

SCHLIEREN FOTOĞRAFLARININ GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

Cem Furkan ONARAN¹
Samsun Üniversitesi, Samsun

Ahmet Selim DURNA²
Samsun Üniversitesi, Samsun

ÖZET

Bu çalışma, Schlieren akış görüntüleme yöntemleri ile çekilen dijital fotoğrafların görüntü işleme yöntemleri ile iyileştirilmesini amaçlamaktadır. Schlieren fotoğraflarında çevresel etkenler ve dijital fotoğraflamadan dolayı gürültüler oluşmaktadır. Bu gürültülerden arındırmak, istenilen detayları belirginleştirmek ve şok dalgalarının yerini belirlemek için görüntü işleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Matlab programında frekans uzayında bir kod geliştirilmiştir. Bu kodda Schlieren fotoğraflarını iyileştirmek için temel olarak arka plan çıkartma (background subtraction), eşik değeri (threshold) ve alan restorasyonu (area restoration) yöntemleri kullanılmıştır. Alınan sonuçlarda gürültüler temizlenmiş, arka plan görüntü ögesi (pixel) yoğunluğu sabit bir aralığa düşürülmüştür ve istenilen şok görüntüleri belirginleştirilmiştir. Geliştirilen kod için bir grafiksel kullanıcı arayüzü tasarlanarak kullanım kolaylığı sağlanmıştır. Çalışmanın devamında görüntü işleme yönteminin tüm modeller ve tünellerde kullanılabilecek genel bir kod geliştirilmesi ve arayüz tasarımının detaylandırılması hedeflenmektedir.

GİRİŞ

Schlieren ve gölgelendirme (shadowgraph) akış görüntüleme yöntemi 19. yüzyılın başlarından beri kullanılmaktadır. Schlieren sisteminin temeli, oluşan yoğunluk farklarını görünür hale getirmektir [Settles, G.S. ve Hargather, M.J., 2017]. Schlieren ve gölgelendirme tekniği ile çekilen fotoğraflarda Schlieren aynaları, kamera ayarları, sıcaklık, nem, kirli hava gibi çevresel etkenlerden kaynaklı gürültüler oluşmaktadır. Schlieren fotoğraflarının kalitesi aynaların kalitesi ile orantılıdır. Schlieren tekniğinde kullanılan aynalar küresel aynadır. Bu yüzden istenilen görüntüyü elde etmek için aynalar ışığın dalga boyu aralığında doğru ölçü ve açı ile konumlandırılmalıdır. Kamera ayarları da Schlieren fotoğrafının kalitesini doğrudan etkilemektedir. ISO, açıklık, anlık hız, kullanılan lensler gibi kamera ayarları ve kameranın özellikleri fotoğrafta gürültülere neden olmaktadır. Dijital fotoğraflarda sıkça rastlanan gürültülerden biri de tuz ve karabiber (salt-and-pepper noise) gürültüsüdür. Bu gürültü beyaz alanlarda siyah pikseller veya siyah alanda beyaz pikseller olarak görülmektedir. Yüksek ISO değeri ve uzun pozlama süresi de dijital fotoğraflarda gürültüye sebep olmaktadır. Ayrıca fotoğrafın çekildiği ortamın hava koşulları da fotoğrafın kalitesini etkilemektedir. Sıcak havada çekilen fotoğraflarda soğuk havada çekilen fotoğraflara göre daha fazla gürültü oluşmaktadır. Tozlu hava ve yüksek nem oranı da fotoğraflarda gürültüye neden olmaktadır. [Andrews, Butler ve Farace, 2006]

Son yıllarda Schlieren ve gölgelendirme yöntemleri ile alınan deney görüntüleri dijital görüntü işleme yöntemleri ile iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Fotoğraftaki gürültülerden kurtulmak ve detayları ortaya çıkartmak görüntü işlemenin temel amaçlarıdır. Li, Ağır, Kontis vd. geliştirdikleri kod ile Schlieren görüntülerini filtrelemiştir. Farklı filtreler kullanarak fotoğrafları iyileştirmeye

¹ 4.Sınıf, Uçak ve Uzay Müh. Böl., E-posta: cemfurkanonaran@gmail.com

² Dr. Öğretim Üyesi, Uçak ve Uzay Müh. Böl., E-posta: ahmetselim.durna@samsun.edu.tr

çalışmışlardır. Bu filtreler Gaussian, medyan (median), ortalama (average) ve frekans uzayı filtreleridir. Ayrıca kenar algılama (edge detection) yöntemlerini kullanarak şok dalgasının yerini tespit etmeye çalışarak Sobel, Canny ve Roberts kenar algılama yöntemlerini karşılaştırmıştır. Ayrıca MATLAB GUI programını kullanarak bir arayüz geliştirmiştir [Li, Ağır, Kontis vd., 2018]. Estruch ve diğerleri şok dalgasının yerini bulmak için ilk olarak frekans uzayında test fotoğrafında arka plan fotoğrafını çıkartmıştır. Fark fotoğrafını zaman uzayına çevirip Canny kenar algılama metodunu kullanarak şokların yerini belirlemiştir [Estruch, Lawson, MacManus d., 2008]. Cui ve diğerleri şok dalgasının konumunu saptamak için farklı kenar algılama filtrelerini karşılaştırmış ve bir yazılım geliştirmiştir. Bu karşılaştırmayı yaparken Roberts, Prewitt, Sobel, Canny ve Laplacian filtrelerini kullanmıştır. Bu farklı filtreleri kullanarak şok dalgalarının kalınlığını ölçmüştür [Cui, Wang, Qian vd., 2013].

Bu çalışmanın amacı akış görüntüleme yöntemi olan Schlieren tekniği ile çekilen fotoğrafları görüntü işleme yöntemleri kullanarak iyileştirmektir. Bu çalışmada süpersonik rüzgar tüneli testleri esnasında çekilen Schlieren fotoğraflarındaki şok görüntülerini belirginleştirmek ve fotoğrafta oluşan gürültülerden kurtulmak için Matlab programında bir kod geliştirilmiştir.

UYGULAMALAR

Deney Düzenegi

Bu çalışmada kullanılan Schlieren görüntüleri Samsun Üniversitesi Aerodinamik Laboratuvarında yapılan süpersonik rüzgar tüneli deneylerinden alınmıştır. Rüzgar tüneli ve Schlieren akış görüntüleme sistemi elemanları Şekil 1’de verilmiştir. Rüzgar tünelinin deney odası 25x100 mm boyutlarında olup deneyler $M=1.8$ ’de yapılmıştır. Rüzgar tünelinin bulunduğu odanın sıcaklık ve nem değerleri klima ile kontrol edilmektedir. Tünel çalıştırılmadan önce oda koşulları 25°C ve %40-50 nemli olacak şekilde ayarlanmıştır.

Şekil 1’de rüzgar tüneli ve Schlieren sisteminin elemanları numaralar ile belirtilmiştir. (1) ve (2) numaralar iç bükey aynaları, (3) noktasal ışık kaynağını, (4) kırılan ışınları engellemek için keskin ucu, (5) renk filtresini, (6) kamerayı, (7) ekranı ve (8) ise test odasını göstermektedir.



Şekil 1: HM-172 Süpersonik Rüzgar Tüneli ve Schlieren Sistemi

Schlieren görüntülerini almak için deneylerde Nikon D7100 kamera kullanılmıştır. Kamera ayarları bütün testlerde aynı olması için otomatik ayardan çıkartılıp el ile ayarlanmıştır. Bu ayarlar açıklık F5.6, anlık hızı 1/60 ve ISO 4000 olacak şekilde ayarlanmıştır.

Görüntü İşleme

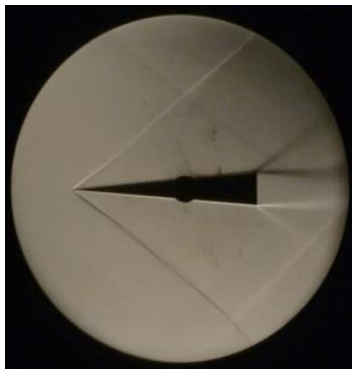
Günümüzde dijital görüntü işleme teknikleri çok farklı disiplinlerde kullanılmaktadır. Dijital fotoğraf makineleri ile çekilen fotoğraflarda kamera lensleri, kamera ayarları ve çevresel etkilerden kaynaklanan gürültüler oluşmaktadır. Schlieren ve gölgelendirme yöntemleri kullanılarak çekilen fotoğraflarda bu etkilerin yanında bir de Schlieren aynalarından kaynaklanan gürültüler

oluşmaktadır. Bu gürültülerden kurtulmak ve fotoğraftaki detayları görebilmek için Matlab programında kod geliştirilmiştir. Schlieren görüntülerini iyileştirmek için geliştirilen bu kodda frekans domaininde arka plan çıkarma, eşik değer ve alan restorasyonu yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmada takip edilen basamaklar Tablo 1'de gösterilmiştir. Kullanılan bu görüntü işleme teknikleri Tablo 1'deki sıralamaya uygun olarak aşağıda verilmiştir.

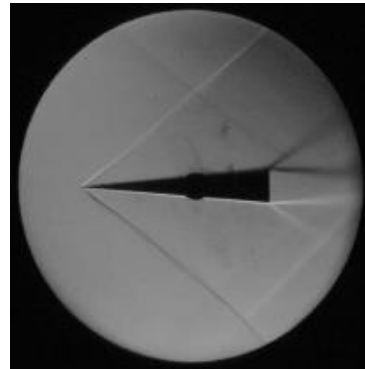
Tablo 1: Görüntü işleme basamakları



Ham görüntü: Ham görüntü olarak Samsun Üniversitesi Aerodinamik Laboratuvarında yapılan rüzgar tüneli testlerinde çekilen fotoğraflar kullanılmıştır [Onaran ve Durna, 2020]. Dijital fotoğraf makinesi ile çekilen fotoğraflar üç ana rengi temsil eden katmanlardan oluşur. Bu renkler kırmızı, yeşil ve mavidir. Üç ana renkten oluşan bu fotoğraflar gerçek renkli görüntü (true color image) ya da RGB görüntü (red, green, blue) olarak adlandırılır [Kumar ve Verma, 2010]. Her pikselin (pixel) üç farklı değere sahip olduğu bu ham fotoğrafı görüntü işlemeye uygun hale getirmek için tek katmanlı fotoğrafa dönüştürülür. Bu tek katmanlı fotoğraf gri tonlamalı (grayscale) görüntü olarak adlandırılır. 8-bit'lik tek katmanlı görüntü için 256 tane gri tonu bulunmaktadır. Gri tonlamalı fotoğrafta her piksel 0 ile 255 arasında bir değere sahiptir. 0 siyahı, 255 ise beyazı temsil etmektedir. Bu değer pikselin yoğunluğunu göstermektedir [Ahmad, Moon ve Shin, 2018]. Gerçek renkli fotoğrafı gri tonlamalı fotoğrafa dönüştürmek için farklı teknikler bulunmaktadır. Bu çalışmada bu dönüşümü yapmak için Matlab programında bulunan rgb2gray komutu kullanılmıştır. Deneyden alınan gerçek renkli ham fotoğraf Şekil 2-a'da, gri tonlamalı görüntüye dönüştürülmüş hali Şekil 2-b'de verilmiştir.



(a)



(b)

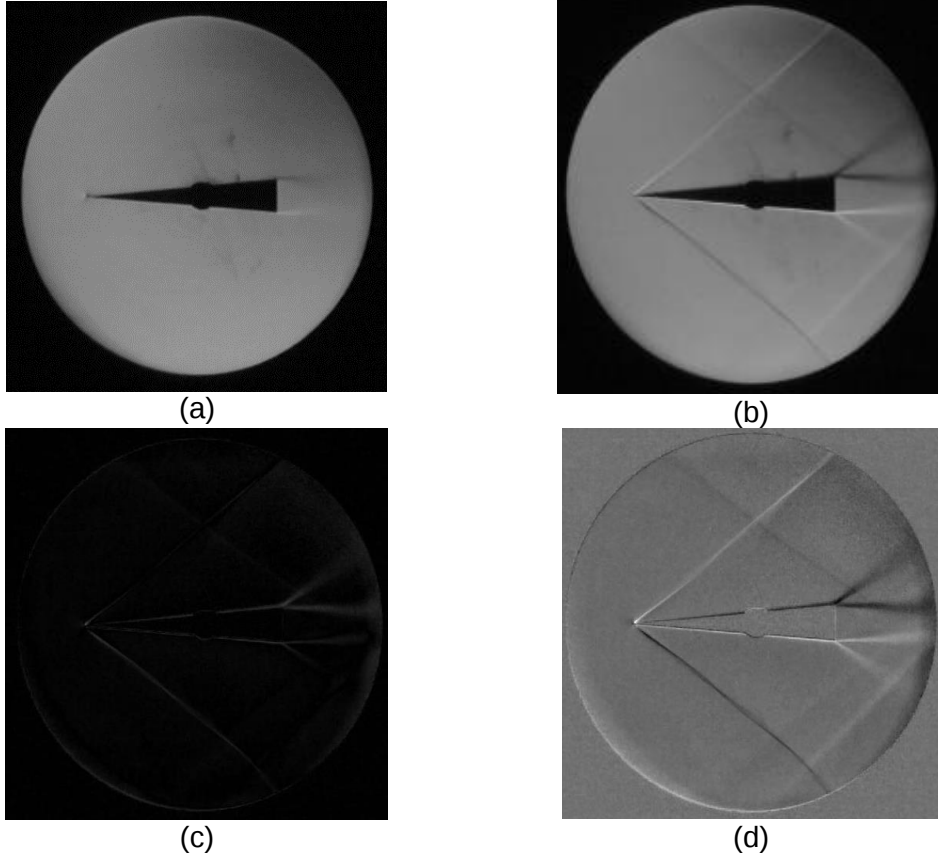
Şekil 2: (a) Gerçek renkli ham görüntü, (b) gri tonlamalı görüntü

Frekans uzayına dönüşüm: Zaman uzayında fotoğrafların doğrudan görüntü ögesi (pixel) değerlerinde değişiklik yapılırken frekans uzayında fotoğrafın görüntü ögeleri frekans değerleri olarak verilir. Bazı durumlarda frekans uzayında çalışmak daha basit ve kullanışlı olabilmektedir. Bir fotoğrafı veya sinyali zaman uzayından frekans uzayına geçirmek için farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada gri tonlamalı şok fotoğrafı Matlab programında bulunan FFT (Fast Fourier Transformation) komutu kullanılarak frekans uzayına geçiş yapılmıştır.

Görüntü İşleme: Görüntü işleme teknikleri olarak frekans uzayındaki gri tonlamalı fotoğraflara sırasıyla arka plan çıkartma (background subtraction), eşik değeri (threshold) ve alan restorasyonu (area restoration) işlemleri uygulanmıştır.

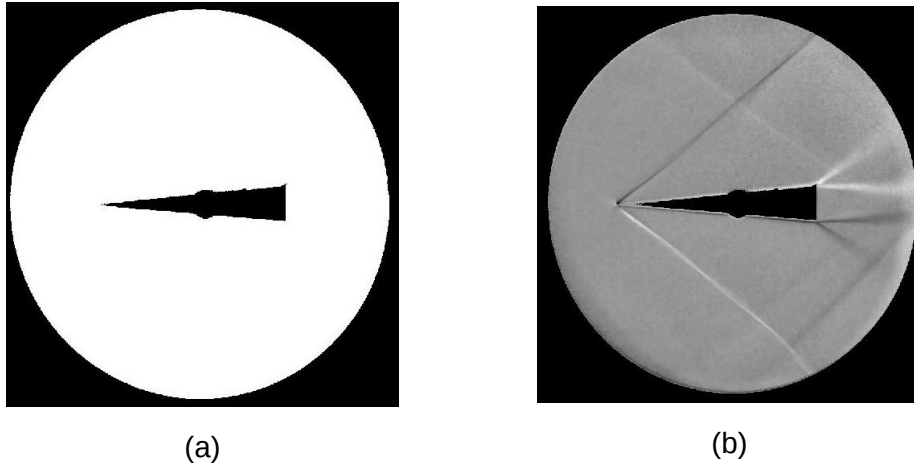
Süpersonik akışta oluşan şok dalgaları Schlieren tekniği ile çekilen fotoğraflarda etrafına göre daha parlak veya daha koyu olarak görülür. Etrafına göre daha belirgin olan bu şok yapılarını fotoğrafta bulunan gürültülerden kurtarmak için; deney başlamadan önce çekilen arka plan fotoğrafı (Şekil 3-a), deney esnasında çekilen şok fotoğrafından (Şekil 3-b) çıkartılır. Böylece sadece test sırasında oluşan şoklar fotoğrafta kalır. Şekil 3-c'de zaman uzayında yapılan arka plan çıkartma işlemi ve

Şekil 3-d'de frekans uzayında yapılan arka plan çıkartma işlemi verilmiştir. Frekans uzayında yapılan çıkartma işleminde şoklar daha belirgin ve ayrıntılı olarak görülmektedir. Frekans uzayında yapılan arka plan çıkartma işleminden sonra tekrar zaman uzayına dönüşüm yapılmıştır.



Şekil 3: (a) arka plan fotoğrafı, (b) deney sırasında alınan şok fotoğrafı, (c) zaman uzayında arka plan çıkartma, (d) frekans uzayında arka plan çıkartma

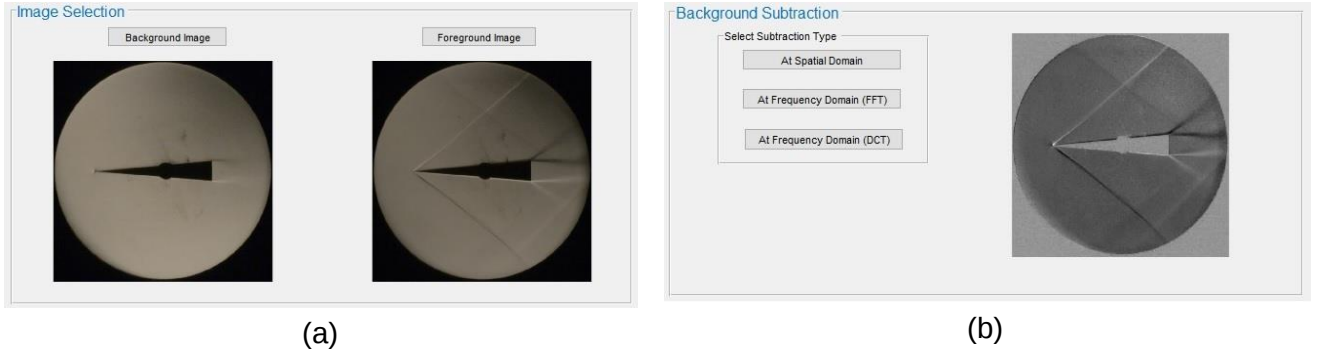
Arka plan çıkartma işlemi uygulandığında rüzgar tüneli testlerinde kullanılan model ve deney odasının sınırları da fotoğraftan kaybolur. Bu durumu düzeltmek ve modeli görünür kılmak için alan restorasyonu yapılmıştır. Alan restorasyonu yapmak için küresel eşik (global threshold) metodu kullanılmıştır. Küresel eşik değer metodu sonrasında model ve akış alanı çerçevesi arka plan fotoğrafından uygun eşik değeri ile ayrılmıştır. Şekil 4-a'da arka plan beyaz, model ve çerçeve siyah olarak gözükmemektedir. Arka plan çıkartma işlemi yapılmış fotoğraf ile küresel eşik değeri metodu uygulanmış fotoğraflar toplanarak alan restorasyonu yapılmış fotoğraf elde edilmiştir (Şekil 4-b).



Şekil 4: (a)Eşik değeri işlemi, (b) alan restorasyonu yapılmış fotoğraf

Arayüz Tasarımı

Schlieren ve gölgelendirme teknikleri ile çekilen fotoğraflarda gürültüleri gidermek ve istenilen detayları ön plana çıkartmak için Matlab programında geliştirilen kod için bir grafiksel kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Matlab GUI (Graphical User Interfaces) programında hazırlanmıştır. Temel olarak bu çalışmada kullanılan görüntü işleme tekniklerini içeren arayüz aynı zamanda birçok işlem için kullanıcıya farklı seçenekler de sunmaktadır. Arayüzde ilk olarak kullanıcıdan arka plan fotoğrafını ve şok yapıları oluştuğunda çekilen ön plan fotoğrafını seçmesi beklenir (Şekil 5-a). Ardından arka plan çıkartma işlemi için sunulan farklı seçeneklerden birini seçmesi istenir. Seçilen arka plan çıkartma yöntemine göre sonuç, Şekil 5-b'de görüldüğü gibi yan taraftaki ekranda gözükmemektedir.



Şekil 5: (a) Fotoğraf seçme penceresi, (b) Ara plan çıkartma penceresi



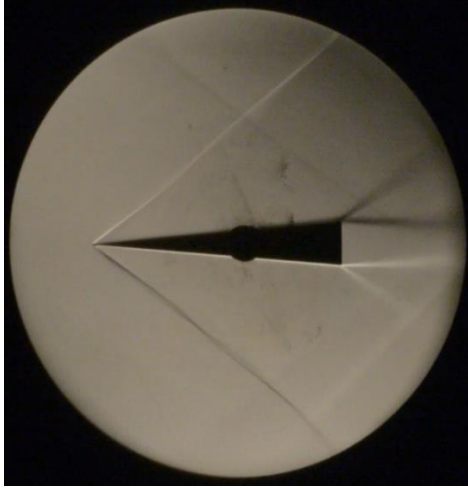
Şekil 6: (a) Eşik değer penceresi, (b) Alan restorasyonu ve işlenmiş görüntü penceresi

Arka plan çıkartma işleminin ardından Şekil 6-a'da gözükten Threshold (eşik değer) penceresinde bulunan farklı eşik değer komutlarından birini seçmesi istenmektedir. Matlab programında global eşik değer metodu Otsu'nun yöntemine göre çalışmaktadır. Global eşik değer komutu için kullanıcı tarafından bir eşik değer sınır sayısının girilmesi beklenir. Otsu'nun yöntemine göre bu eşik değer 0 ile 1 arasında olmalıdır. İmleç gerekli butonun üzerine getirilip bekletildiğinde küçük uyarı metinleri ile kullanıcı bilgilendirilmektedir (Şekil 6-a). Arka plan çıkartma işlemi ile kaybolan model ve deney odasının çerçevesi alan restorasyonu için istenilen eşik değer metodu ile tekrar elde edilmiştir. Son Görüntü penceresinden restore et komutu ile işlenmiş görüntü elde edilir. Ayrıca ek olarak arayüzde bulunan Sonuç penceresinden ham görüntü ile işlenmiş görüntü Karşılaştır komutu ile aynı anda görüntülenebilir ve bu iki görüntü üzerindeki aynı noktalardan alınan yerel görüntü ögesi yoğunlukları grafik olarak karşılaştırılabilir. Sonuç penceresinden elde edilen fotoğraflar ve grafikler Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir.

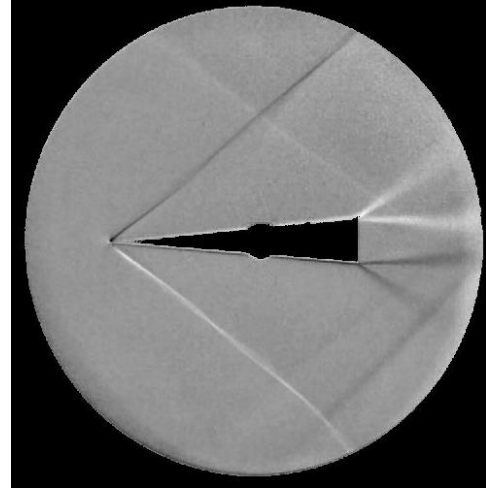
SONUÇ

Süpersonik rüzgar tüneline 5° sapma açısına sahip kama modeli üzerinde oluşan şok yapılarını incelemek için yapılan deneylerden alınan Schlieren fotoğrafları görüntü işleme teknikleri ile iyileştirilmiştir. Şekil 7-a'da verilen ham Schlieren fotoğrafında kamera ayarları, çevresel etkilerden ve Schlieren aynalarından kaynaklanan birçok gürültü görülmektedir. Ayrıca akış alanındaki yoğunluk farklılıkları modelin arka ve ön tarafında belirgin şekilde gözükmemektedir. Bu gürültüler giderilmiş, arka plan ışık yoğunluğu düzenlenmiş ve şok yapıları belirginleştirilerek Şekil 7-b'de

verilen işlenmiş fotoğraf elde edilmiştir. Modelin çevresinde görülen gürültüler giderilmiştir. Modelin arkasında oluşan genişleme dalgaları ve kayma tabakası daha belirgin hale getirilmiştir.



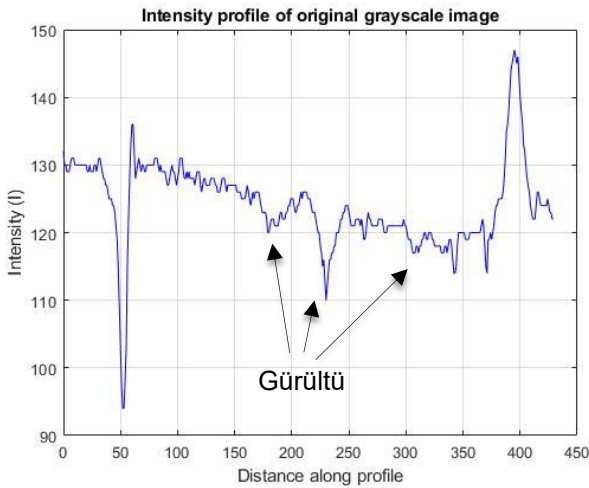
(a)



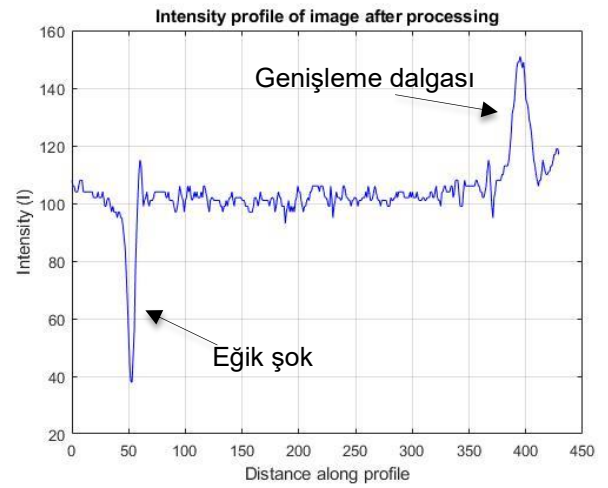
(b)

Şekil 7: (a) Ham Schlieren, (b) İşlenmiş Schlieren fotoğrafı

İşlenmiş fotoğrafta arka plan görüntü ögesi yoğunlukları daha dar bir aralığa indirilmiş böylece sabit bir arka plan yoğunluğu elde edilmiştir. Arka plan görüntü ögesi yoğunlukları dar bir aralıkta sabitlenince incelenmek istenilen şok yapıları da belirginleşmiştir. Gri tonlamalı işlenmemiş Schlieren fotoğrafı ve işlenmiş fotoğraftan alınan yerel görüntü ögesi yoğunlukları Şekil 8'deki grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 8-a'da verilen grafikte model üzerindeki gürültüler ve düzensiz arka plan görüntü ögesi yoğunluğu görülmektedir. Görüntü işleme teknikleri uygulandıktan sonra bu gürültüler giderilmiştir. Şekil 8-b'deki grafikte de görüldüğü üzere arka plan yoğunluk öğeleri dar bir aralıkta değişmektedir. Bu sayede incelenen eğik şok ve genişleme dalgası gibi şok yapıları belirgin olarak görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 8: (a) Gri tonlamalı ham fotoğrafın yoğunluk profili, (b) İşlenmiş fotoğrafın yoğunluk profile

Bu çalışmada süpersonik rüzgar tüneline kullanılan Schlieren akış görüntüleme yöntemi ile alınan fotoğrafları iyileştirmek için bir kod geliştirilmiştir. Ayrıca grafiksel kullanıcı arayüzü de tasarlanmıştır. Basit görüntü işleme yöntemleri ile geliştirilen kod, gerçekleştirilen deneyden alınan fotoğraflardaki gürültüleri gidermiş ve ayrıntıları daha belirgin hale getirmiştir. Grafiksel kullanıcı arayüzü ile geliştirilen kodun farklı kullanıcılar tarafından rahatlıkla kullanılması amaçlanmıştır. Bu çalışmanın devamında farklı modellerde ve farklı süpersonik rüzgar tünellerinde kullanılabilen genel bir kod geliştirmek hedeflenmektedir.

DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada sesüstü rüzgar tünellerinde şok yapılarını görüntülemek için kullanılan Schlieren akış görüntüleme yöntemi ile çekilen fotoğraflar görüntü işleme yöntemleri ile iyileştirilmiştir. Ayrıca iyileştirme işlemi için yazılan kod anlaşılır olması için bir grafiksel kullanıcı arayüzü geliştirilmiştir. İyileştirme işlemi sonucunda deneyde kullanılan model etrafındaki dijital fotoğraflardan ve çevresel etkenlerden kaynaklanan gürültüler giderilmiştir. Ayrıca oluşan şok yapıları belirginleştirilmiştir. Gürültülerin giderilmesi ve şok yapılarının detaylandırılması ile Schlieren fotoğrafları iyileştirilmiş çalışmanın hedeflerine ulaşılmıştır. Bu çalışma, farklı rüzgar tünellerinde ve farklı modellerde de kullanılabilecek genel bir yazılım ve arayüz geliştirilmesi için başlangıç olarak görülmekte ve çalışmalar bu yönde devam etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde yardımcı olan ve değerli bilgileriyle yol gösteren Doç. Dr. Hakan Öktem'e teşekkür ederiz. Ayrıca akış görüntüleme deneylerinde kullanılan modellerin üretimini gerçekleştiren Samsun Yurt Savunma Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye teşekkürü borç biliriz.

Kaynaklar

- Ahmad, I., Moon I., ve Shin, S. J. "Color-to-grayscale algorithms effect on edge detection — A comparative study," 2018 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC), Honolulu, HI, 2018, pp. 1-4
- Andrews, P., Butler, Y. J., Farace, J., Raw Workflow from Capture to Archives: A Complete Digital Photographer's Guide to Raw Imaging, Elsevier Inc, 2006.
- Cui, S., Wang, Y., Qian, X., Deng, Z., Image Processing Techniques in Shockwave Detection and Modeling. Journal of Signal and Information Processing, 2013. 04(03): p. 109-113.
- Estruch, D., Lawson, N. J., MacManus, D. G., Garry, K. P., and Stollery, J. L., Measurement of shock wave unsteadiness using a high-speed schlieren system and digital image processing. Rev Sci Instrum, 2008. 79(12): p. 126108.
- Kumar, T., ve Verma, K., A Theory Based on Conversion of RGB Image to Gray Image. International Journal of Computer Applications, 2010. 07(02)
- Li, G., Agir, M. B., Kontis, K., Ukai, T., Regarajan, S., Image Processing Techniques for Shock Wave Detection and Tracking in High Speed Schlieren and Shadowgraph Systems. J. Phys.: Conf. Ser. 1215 012021
- Onaran, C. F. ve Durna A. S., Sesüstü Akışlarda 4 Farklı Geometri Üzerindeki Akışın Deneysel ve Sayısal Yöntemlerle İncelenmesi, 8. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, Eylül 2020, Ankara, Türkiye (Kabul edildi).
- Settles, G.S. and Hargather, M. J., A review of recent developments in schlieren and shadowgraph techniques. Measurement Science and Technology, 2017. 28(4).
- Töpler, A., "Beobachtung nach einer Neue Optischen Methode", Bonn: M. Cohen Son, 1864