

Kızıl Ötesi Kameralar ile Hava Sıcaklığının Belirlenmesinde Kullanılan Ölçüm Ekranlarının Deneysel Karşılaştırılması

Ziya Haktan KARADENİZ
Dilek KUMLUTAŞ
Özgün ÖZER

ÖZET

Kızıl ötesi görüntüleme dünya çapında birçok uygulaması olan, iklimlendirme uygulama ve araştırmalarında yaygın olarak kullanılan bir ölçüm yöntemidir. Ancak bu yöntemle sadece kızıl ötesi ışınlar açısından opak cisimlerin yüzey sıcaklıkları belirlenebilmekte, gazların sıcaklıkları ise doğrudan ölçülememektedir. Bu nedenle, dolaylı bir ölçüm yöntemi olan "ölçüm ekranı yöntemi" geliştirilmiştir. Bu yöntemdeki temel prensip; akışın incelenmek istenilen bölgesine yerleştirilen bir hedef üzerinden kızıl ötesi kamera ile ölçülen sıcaklık verilerinin akışkanın sıcaklığı ile ilişkilendirilmesidir. Yöntemin problu ölçüme göre temel avantajı, incelenmek istenilen kesitten, oluşturulan ölçüm ekranına göre, çok sayıda noktadan aynı anda sıcaklık ölçümü yapılabilmesidir. Böylece inceleme alanındaki sıcaklık dağılımı anlık olarak incelenebilmektedir. Bu çalışma kapsamında, literatürde bulunan farklı ölçüm ekranları (tanecikli ölçüm ağı, siyah karton, gözenekli ağ) deneysel olarak karşılaştırılarak avantajları ve dezavantajları ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ağ Yapılı Kızılötesi Sıcaklık Ölçümü, AYKSÖ

1. GİRİŞ

Kızılötesi sıcaklık ölçümü; yüzey sıcaklığının, yüzeyin yaydığı kızıl-ötesi dalga boyundaki ışınımın bir kızılötesi algılayıcı ile toplanması temeline dayanan bir yöntemdir. Öncelikle tek bir kızılötesi algılayıcı ile belirli bir alanın taranması şeklinde yapılan ölçümler, gelişen teknolojiyle birlikte üretilen yüksek çözünürlüklü kızıl ötesi algılayıcıların kullanılması ile geniş bir alandan eş zamanlı olarak ölçüm yapılmasına olanak sağlamışlardır. Bu algılayıcılar kullanılarak üretilen kızıl ötesi kameralar, sıcaklık belirlenmesi gerekli olan hemen her uygulamada hızlı ve pratik şekilde ölçüm yapılabilmesini sağlamaktadırlar. Ancak, hava ve benzeri gazlar kızılötesi dalga boyundaki ışınım için geçirgen olduklarından, kızılötesi kameralar hava sıcaklığının doğrudan belirlenmesi amacıyla kullanılamazlar. Bu nedenle hava içerisine aracı katı ortamlar eklenerek (ölçüm ekranı), aracı ortam sıcaklığının o bölgedeki hava sıcaklığına eşit olduğu kabulü ile ölçümler yapılması gerekmektedir.

Abstract:

Infrared thermography is a widely used measurement method for determining the temperature distribution on the substances which are opaque for the radiation at the infrared wavelength. However, the air like gaseous fluids are transparent for the radiation at the infrared wavelength, therefore it is impossible to measure the temperature at any point inside the air. Nevertheless, some indirect measurement techniques were developed for determining the convection characteristics of the flows by visualizing the surface temperature distribution of the solids using infrared thermography. Numerous measurement points could be placed into the flow easily, and the temperatures at that points can be obtained simultaneously by means of measurement meshes different than prop based methods. In this study, different measurement meshes are compared with each other experimentally and their advantages and disadvantages are introduced.

Key Words:

Meshed Infrared Thermography, MIT

Makale

Bu çalışmada, literatürde bulunan farklı ölçüm ekranı uygulamaları hem literatürdeki mevcut çalışmaların ayrıntılı incelenmesi hem de yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar kullanılarak karşılaştırılmıştır. Böylece farklı hava içerisindeki sıcaklık dağılımını belirlemedeki başarıları belirlenmiştir.

1.1. Ölçüm Ekranının Farklı Uygulamaları

Ölçüm ekranı yönteminin ilk örneği, Anderson ve diğ. tarafından [1] ortaya konulmuş ve daha sonra Burch ve diğ. [2] bir otomobil içerisindeki havalandırma akışlarında sıcaklık dağılımının belirlenmesi için kullanmıştır. Ölçüm ekranı olarak, 0,25 mm kalınlığında %70 boşluklu fiberglas malzemeden bir levha kullanılmıştır. Ölçüm ekranı yöntemi ile kalibre edilmiş ısılıft ölçümleri karşılaştırarak, ± 1.3 °C'lık bir hata ile sıcaklık dağılımının belirlenebildiğini göstermişlerdir. Ayrıca ölçüm ekranının zaman cevabı da 0,3 s olarak belirlenmiştir.

Cehlin ve diğ. [3], Anderson ve diğ. tarafından önerilen yöntemin bir benzerini oda içi havalandırma amaçlı kullanılan düşük hızlı yayıcının (difüzör) çıkışındaki geniş bir alandaki sıcaklık dağılımını belirlemek için kullanmışlardır. Önceki çalışmadan farklı olarak bu çalışmada ölçüm ekranı olarak boşluksuz bir yüzey (siyah kağıt) kullanılmıştır. Düşük hava hızları (0,1-0,4 m/s) sonucunda ölçüm ekranı üzerindeki taşınım katsayısı küçük olduğundan, üflenen hava ile ortam sıcaklığı arasındaki küçük sıcaklık farkları (2,5-7 °C) ve ayrıca çalışmada kullanılan siyah renkli kağıdın yüksek yayma oranı ($\epsilon=0,91$) nedeniyle, çevre ortamla ışınlama olan ısı aktarımının ölçümler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Bu etkiyi teorik hesaplamalar ile belirleyip, elde edilen düzeltilmiş sıcaklık değerlerini ısı çiftleriyle yapılan ölçümlerle karşılaştırarak yöntemin hata miktarını ve belirsizliğini belirlemiştir. Sonuç olarak, teorik olarak hesaplanan hava sıcaklığı ile ölçüm ekranından elde edilen sıcaklık değerleri (TS) arasındaki fark 0,15-1,15°C arasında değişirken, ısı çiftlerinden alınan ve ölçüm ekranı ile belirlenen sıcaklık değerleri arasındaki farkın 0,13-1,3 °C arasında olduğu gösterilmiştir.

Cehlin ve diğ.'nin önerdiği yöntemde [3], daha yük-

sek hızlar ve sıcaklık farkları söz konusu olduğunda çevre ortamla ışınlama etkileşiminin ölçüm hassasiyeti üzerindeki etkisi daha düşük olacaktır. Ancak, bu durumda da ölçüm ekranının içerisinde iletimle gerçekleşen ısı aktarımının etkileri ve ölçüm ekranının akışı iki bölüme ayırması sonucunda akış yapısının bozulması gibi istenmeyen durumlar oluşacaktır. Bu nedenle, ölçüm ekranı olarak boşluksuz bir yüzey kullanılması durumunda, yöntemin verimli şekilde kullanılabilmesi için; kontrol edilebilir ışınlama koşulları (ölçüm düzlemi için yüksek yayma katsayısı, bilinen çevre duvar koşulları ve çevre duvarlarla ölçüm düzlemi arasındaki görüş faktörleri vb.), ölçüm düzlemi için düşük ısı iletim katsayısı ve düşük akış hızları gerekmektedir.

Ölçüm ekranının gözenekli yapıda olduğu bir diğer çalışma da Neely [4] tarafından yapılmıştır. Yüksek gözenekliliğe ve yayma katsayısına sahip ağ şeklinde ölçüm ekranları kullanılarak ekranın görünürlüğünün artırılması ve akış üzerindeki etkilerin azaltılması hedeflenmiştir. Ölçüm ekranını oluşturan tellerin ölçülecek gaz sıcaklığına ulaşabilecek kadar ince, ağın örgüsünün kameranın her pikselinde düzgün veri elde edilmesini sağlayacak kadar sıkı ve ağ malzemesinin çevreden gelen yansımayı en aza indirecek şekilde düşük yansıtma katsayısına sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle, Neely çalışmasında farklı parametrelerin (malzeme türü, akış özellikleri, ölçüm ekranının yerleşimi vb.) yöntemin başarımı üzerindeki etkilerini görmek için farklı sıcaklıklardaki akışlar içerisinde ölçümler yapmıştır. Sonuç olarak, akışa dik yönde yerleştirilen bir ölçüm ekranının akışın geliş tarafında küçük etkiler yaratmasına rağmen ekranın arkasındaki akışın ekranın varlığından büyük ölçüde etkilendiği art alan akış yapılarının olduğu ve türbülans seviyelerinin arttığı görülmüştür.

Gallo ve diğ. [5] sıcak gaz akışları içerisindeki sıcaklık dağılımını belirlemek için kızılötesi sıcaklık ölçümü temelli yeni bir ölçüm yöntemi önermişlerdir. Elektrik iletebilen ince tellerden oluşan yüksek gözenekliliğe sahip bir ağ üzerindeki sıcaklık dağılımını bir kızılötesi kamera ile görüntüleyerek yerel taşınım katsayısı ve akışkan sıcaklığını hesaplamışlardır.

Karadeniz ve diğ. [6] [7] ile Kumlutaş ve diğ. [8] hava içerisindeki sıcaklık dağılımını belirlemek için alternatif yöntem olarak Ağ Yapılı Kızılötesi Sıcaklık Ölçümü (AYKSÖ) yöntemini sunmuş ve doğruluğunu incelemişlerdir. Ölçüm ekranının yerini yüksek miktarda boşluklu bir ölçüm ağının aldığı bu yöntemde, akış içerisinde askıda duran ölçüm noktalarının sıcaklığı kızılötesi kamera ile belirlenerek akış içerisindeki sıcaklık dağılımı belirlenebilmektedir. Boşluk miktarının çok olması nedeniyle akış üzerindeki etkiler en aza indirilmiş ve önerilen küre şeklindeki ölçüm noktaları sayesinde de ölçüm noktası başına düşen piksel sayısı artırılarak ölçüm doğruluğu yükseltilmiştir. Isıl çiftlerle eş zamanlı olarak yapılan ölçümler sonucunda, AYKSÖ yönteminin hava içerisindeki sıcaklık dağılımının belirlenmesinde etkin bir araç olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

Görüldüğü gibi hava içerisindeki sıcaklık dağılımının belirlenmesi için kızılötesi sıcaklık ölçümü yönteminin kullanımı için yöntem geliştirme ve uygulama üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında ölçüm ekranı olarak kullanılan üç farklı malzemenin (gözenekli ağ, siyah karton ve tanecikli ölçüm ağı) aynı akış koşulları altında verdiği sonuçlar incelenmiştir.

2. YÖNTEM

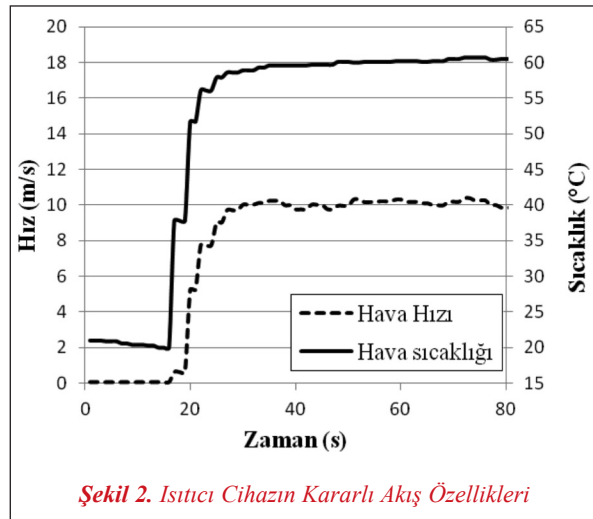
Ayrıntıları önceki çalışmalarda [6][7][8] verilen ve AYKSÖ yönteminin doğrulanması için kullanılan deney sistemi ile farklı ölçüm ekranlarından elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Deney sisteminin genel görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir. Kullanılan ısıtıcı cihazın çıkış ağzındaki kararlı akış şartlarını ve bu şartlara ulaşılması için geçen süreyi belirlemek için cihaz boşta çalıştırılarak bir sıcak tel anemometresi ile çıkış ağzından ölçüm alınmıştır. Bu ön çalışma ile ısıtıcı cihazın kararlı akış koşullarında 60 °C sıcaklık ve 10 m/s hıza ulaştığı ve bu şartlara ulaşması için geçen sürenin yaklaşık 45 s olduğu görülmüştür. Yapılan ölçümün sonucu Şekil 2'de gösterilmiştir.

Farklı ölçüm ekranlarının karşılaştırılması için yapılan çalışmada kararlı akış koşullarının karşılaştırıla-

bilmesi için beş dakikalık ölçümler yapılmıştır. Bu dört dakikanın ilk dakikasının hem ısıtıcı cihaz için hem de özellikle en yüksek ısı kütleye sahip yöntem olan AYKSÖ'de kullanılan ekranın kararlı duruma gelmesi için yeterli olduğu önceki çalışmalardan bilinmektedir. Sonraki üç dakika da kararlı akış koşullarını karşılaştırabilmek için kızılötesi kamera ile ekranların görüntüsü alınmış ve dördüncü dakikadan sonra ısıtıcı cihaz kapatılarak farklı ekranların soğuma davranışları gözlemlenmiştir.



Şekil 1. Deney Sisteminin Genel Görüntüsü



Şekil 2. Isıtıcı Cihazın Kararlı Akış Özellikleri

Kızılötesi kamera ile sıcaklığın ölçülmesinde en önemli adım, malzemelerin yayma katsayısının doğru olarak belirlenmesidir. AYKSÖ yöntemi için önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlardan yararlanılmış ve mat siyah boyalı küreler için yayma katsayısı 0,98 alınmıştır. Siyah karton için Cehlin ve diğ. [3] tarafından verilmiş olan 0,91 değeri, polyester

Makale

malzemeden yapılmış olan gözenekli ağ içinse 0,8 değeri [9] kullanılmıştır.

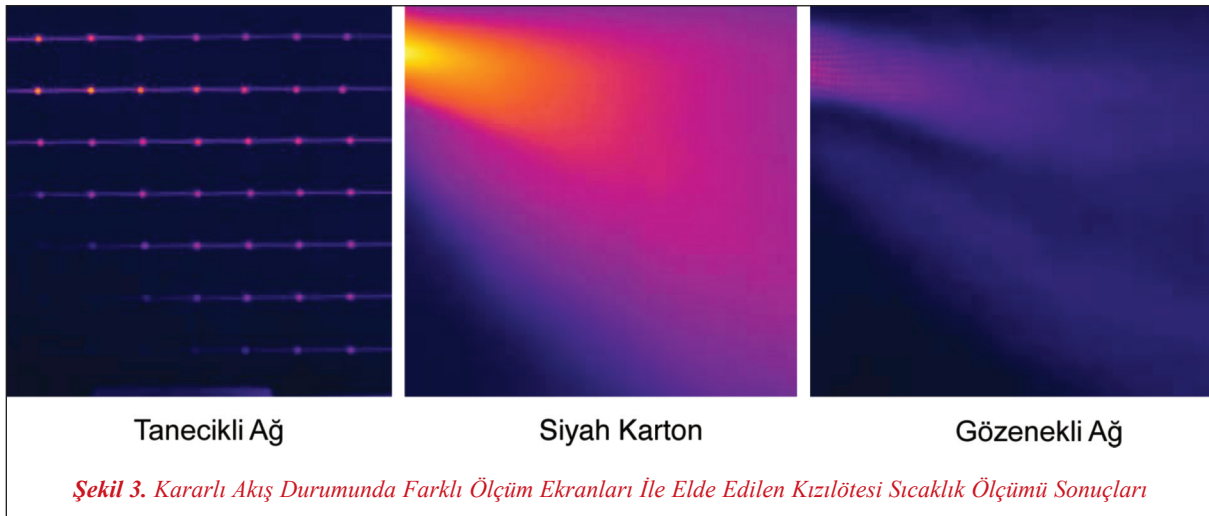
3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında farklı ekran tipleri için kararlı durum karşılaştırması yapılmıştır ve kararlı akış süresi içerisinde çekilmiş kızılötesi görüntülerden elde edilmiş anlık sıcaklık dağılımlar Şekil 3'te verilmiştir. Siyah karton ve gözenekli ağ kullanılarak elde edilen sonuçlar aslında daha geniş bir alanı kapsamaktadır. Ancak, sağlıklı bir karşılaştırma yapabilmek için bu yöntemlerin sonuçları da AYKSÖ yöntemi (tanecikli ağ) ile incelenebilen alana indirgenerek sunulmuştur.

Görüldüğü gibi, AYKSÖ yöntemi ile ayrık bir sıcaklık dağılımı elde edilirken, siyah karton ve gözenekli ağ için sıcaklık dağılımı sürekli olarak elde edilebilmektedir. Bunun dışında AYKSÖ ve siyah kartonun kullanıldığı durumlarda ölçümler yüksek sıcaklıklar verirken, gözenekli ağ ile yapılan ölçümden elde edilen sıcaklık değerlerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, gözenekli ağ için yayma katsayısının düşük olması, yansıtma etkileri nedeniyle çevre yüzeylerin düşük sıcaklığından etkilenmesi ve en önemlisi incelenen alanda bir piksel başına düşen bölgenin boyutlarının gözenekli ağı oluşturan tellerin çapından büyük olması nedeniyle arka alandan gelen kızılötesi ışınımın ölçümü etkilemesidir. Özellikle sonucu nedenin ayrıntıları, yöntemi öneren Neely [4] tarafından incelenmiştir.

Bunun yanında, sıcak akış bölgesinin genişliği de yöntemler arasındaki farklılıklardan birisidir. AYKSÖ yönteminde sol alt bölgede kalan ölçüm noktalarının sıcaklığı arka alan sıcaklığıyla aynı görünmektedir. Ağ yapılı ölçüm ekranı içerisinde iletim olmaması ve önceki çalışmalarda da benzer bir akış yapısının olduğunun görülmesi nedeniyle bu bölgenin jet akışı dışında kaldığı söylenebilir. Ayrık bir yapıya sahip olan gözenekli ağ ile yapılan ölçümden de akışın sınırı AYKSÖ yöntemi ile belirlenen sınırlara benzerdir. Ancak, siyah kartonun kullanıldığı durumda akışın daha geniş bir alan kapladığı gözlemlenmiştir. Bu durumun kağıt içerisindeki ısı iletimi etkisi nedeniyle oluştuğu düşünülmektedir. Gözenekli ağ içinse, sadece akışın merkezinin yerinin doğru belirlenebildiği görülmektedir.

Nicel bir değerlendirme için; her üç durumdaki akış, AYKSÖ yönteminde ki yaklaşımla ve aynı bilgisayar programı kullanılarak eş sıcaklık eğrileri şeklinde görselleştirilmiştir. Ekranda görülen en yüksek sıcaklık değeri açısından karşılaştırıldığında siyah kartonun 50 °C ile en sıcak değeri verdiği, AYKSÖ yönteminde en yüksek sıcaklığın 41 °C olduğu ve gözenekli ağda ise 32 °C'lik sıcaklık değeri ile en düşük sıcaklığı verdiği belirlenmiştir. Gözenekli ağ için bunun nedeni önceden tartışılmıştır. Siyah karton ve AYKSÖ yöntemleri arasında ki 9 °C'lik farkın siyah kartonun yayma katsayısındaki farklılıktan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. AYKSÖ yönteminde kullanılan tanecikli ağ önceki çalışmalarda



[6] ısırl çiftlerle karşılaştırılmış ve 0,64 °C standart sapma ile sıcaklığın belirlenebildiği görülmüştür. Ancak, siyah karton için literatürdeki başka bir çalışmada [3] kullanılan yayma katsayısı değeri kullanılmış ve doğrulama çalışması yapılmamıştır.

Gözenekli ağ ile elde edilen sonuçlarda silindirik jetin sürekliliğinin bozulduğu ve sol alt tarafta sıcak bir kolun bulunduğu görülmektedir. Bu ayrık durum, siyah kartonda da jetin çekirdeğinin hemen altında ki çok ince soğuk bir bölge ve sonrasında jet çekirdeğinden uzaklaştıkça görülen daha sıcak bir bölge olarak kızılötesi görüntülerde de (Şekil 3) belirlenmiştir. Ancak karton içerisindeki iletim nedeniyle bu etki gözenekli ağdaki kadar net değildir. Eş sıcaklık eğrilerinde ise, siyah karton için sıcak kol görselleştirilememiştir ancak gözenekli ağ ile elde edilen sonuçlarda net olarak görülmektedir. Tanecikli ağın kullanıldığı durumda ise bu durum belirlenmemektedir. Daha fazla tanecik kullanılarak ölçüm ekranının çözünürlüğünün artırılması gereklidir. Ayrıca Şekil 4’de siyah karton için jet ekseninin (jetin merkezinden geçen hayali çizgi) yatay ile yaptığı açının diğer yöntemlerde belirlenenlere göre daha fazla olduğu söylenebilir. Bu durumun siyah kartonun akışı ikiye bölmesi nedeniyle olduğu düşünülmektedir.

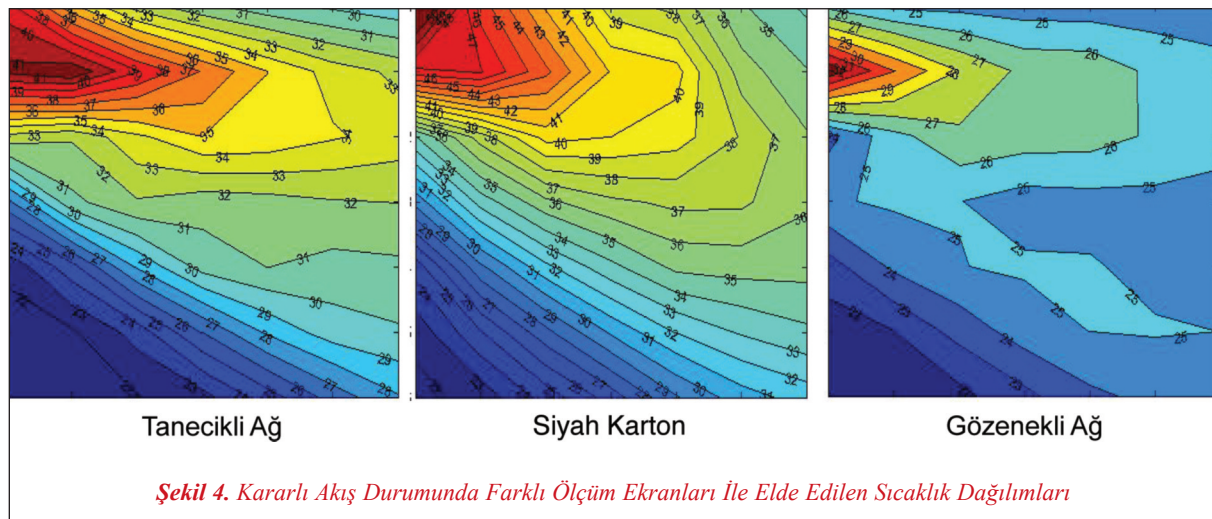
SONUÇ

Hava içerisindeki sıcaklık dağılımının kızılötesi sıcaklık ölçümü yöntemi ile belirlenmesinde kullanılan farklı ölçüm ekranları deneysel olarak karşılaştırılmıştır.

Farklı ölçüm ekranlarının güçlü ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Genel olarak sıcaklık ölçümü çözünürlüğü ile akış üzerindeki etkiler arasında ters orantı olduğu söylenebilir. Ancak sıcaklık ölçümü doğruluğu açısından bakıldığında, çözünürlüğün yüksek olmasının doğruluğun da yüksek olduğu anlamına gelmediği görülmektedir. Gözenekli ağın çözünürlüğünün tanecikli ağa göre daha yüksek olmasına rağmen elde edilen sıcaklık dağılımı gerçeği yansıtmamaktadır. Ancak bu çözünürlük artışı, sıcaklık dağılımının ve dolayısıyla akışın genel yapısı hakkında daha çok bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] ANDERSON, R., HASSANI, V., KIRKPATRICK, A, “Visualizing The Air Flow From Cold Air Ceiling Jets”, ASHRAE Journal, 33, 30-35, 1991.
- [2] BURCH, S. D., HASSANI, V., PENNEY, T. R, “Use Of Infrared Thermography For Automotive Climate Control Analysis”, National Renewable Energy Laboratory, 1992, 921136.
- [3] CEHLIN, M., MOSHFEGH, B. VE SANDBERG, M. “Measurements Of Air Temperatures Close To A Low-Velocity Diffuser In Displacement Ventilation Using An Infrared Camera”, Energy and Building, 34, 687-698, 2002.
- [4] NEELY, A. J., “Mapping Temperature Distributions In Flows Using Radiating High-



Makale

- Porosity Meshes”, Experiments in Fluids, 45, 423-433, 2008.
- [5] GALLO, M., KUNSCH, J. P., RÖSGEN, T. “A Novel Infrared Thermography (IRT) Based Experimental Technique For Distributed Temperature Measurements In Hot Gas Flows”, 10th International Conference on Quantitative Infrared Thermography, 2010.
- [6] KARADENİZ, Z. H., KUMLUTAŞ, D., ÖZER, Ö., “Experimental Visualization Of The Flow Characteristics Of The Out flow Of A Split Air Conditioner Indoor Unit By Meshed Infrared Thermography And Stereo Particle Image Velocimetry” Experimental Thermal and Fluid Science, 44, 334-344, 2013.
- [7] KARADENİZ, Z. H., KUMLUTAŞ, D., ÖZER, Ö., “Hava İçerisindeki Sıcaklık Dağılımının Belirlenmesi İçin Alternatif Bir Yöntem: Ağ Yapılı Kızılötesi Sıcaklık Ölçümü”, 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 201.
- [8] KUMLUTAŞ, D., ÖZER, Ö., KARADENİZ, Z. H., “Kızıl Ötesi Kameralar İle Hava Sıcaklığının Belirlenmesi”, 1. Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu, 2013.
- [9] <http://www.q3i.com/emissivitytable.php>, 20.01.2013.