



tmmob makina mühendisleri odası
uctea chamber of mechanical engineer

www.mmo.org.tr/muhendismakina

Mühendis ve Makina

Engineer and Machinery

Cilt 58

Volume 58

Sayı 687

Number 687

Nisan-Haziran 2017

April-June 2017

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

Yerel Süreli Yayın, Üç Ayda Bir Yayımlanır
Local Periodical - Quarterly

Nisan-Haziran/April-June 2017
Cilt/Vol: 58 Sayı/No: 687

Yönetim Yeri - Head Office

Meşrutiyet Cad. No: 19/6 Kızılay - ANKARA
Tel : (+90 312) 425 21 41 Fax : (+90 312) 417 86 21
e-posta : yayin@mno.org.tr http://www.mno.org.tr

MMO Adına Sahibi

Publisher
Ali Ekber ÇAKAR

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Executive Editor
Yunus YENER

Yayın Sekreteri

Editorial Secretary
Aylin Sıla AYTEMİZ

Yayın Kurulu

Editorial Board

Prof. Dr. Metin AKKÖK - *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*
Prof. Dr. Müfit GÜLGEÇ - *Çankaya Üniversitesi*
Prof. Dr. L. Berrin ERBAY - *Osmangazi Üniversitesi*
Prof. Dr. Cemal MERAN - *Pamukkale Üniversitesi*
Prof. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK - *Pamukkale Üniversitesi*
Prof. Dr. Semiha ÖZTUNA - *Trakya Üniversitesi*
Yrd. Doç. Dr. Nilay ALÜFTEKİN - *Çankaya Üniversitesi*
Yrd. Doç. Dr. Tolga TANER - *Aksaray Üniversitesi*
Yrd. Doç. Dr. Gurbet ÖRÇEN - *Dicle Üniversitesi*

Yayın Danışma Kurulu

Editorial Advisory Board

Prof. Dr. C. Erdem İMRAK - *Istanbul Teknik Üniversitesi*
Prof. Dr. Erdiñ KALUÇ - *Kocaeli Üniversitesi*
Prof. Dr. İbrahim Deniz AKÇALI - *Akdeniz Üniversitesi*
Prof. Dr. Ali GÜNGÖR - *Ege Üniversitesi*
Prof. Dr. Mehmet KOPAÇ - *Bülent Ecevit Üniversitesi*
Prof. Dr. Hikmet RENDE - *Akdeniz Üniversitesi*
Prof. Dr. Ali PINARBAŞI - *Yıldız Teknik Üniversitesi*
Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA - *Harran Üniversitesi*
Prof. Dr. İlhan KONUKSEVEN - *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*
Doç. Dr. Erol KILIÇKAP - *Dicle Üniversitesi*
Dr. Varlık ÖZERCİYES - *TAF*

Redaksiyon

Redaction
Tarık ÖZBEK

Kapak ve Sayfa Tasarımı

Cover and Page Design
Muazzez POLAT

Teknik Sorumlu

Technical Manager
Mehmet AYDIN

Baskı

Printed by
Ankamat Matbaacılık Sanayi Ltd. Şti.
30. Cadde 538. Sokak No: 60 İvedik Organize Sanayi - Ankara
Tel: (0312) 394 54 94
Basım Tarihi : 4 Ağustos 2017
Baskı Sayısı (tiraj) : 3.000

Mühendis ve Makina

Engineer and Machinery

Cilt 58
Volume 58

Sayı 687
Number 687

Nisan-Haziran 2017
April-June 2017

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Pompa ve Pompaj Sistemlerinde Enerji Tasarrufu Uygulamaları** 1
Energy Saving Applications in Pump and Pumping Systems
Galip Kürşat ŞENOL, Cuma KARAKUŞ
- DP1000 Çelik Sacların Uzaktan Lazer (RLW) ve Direnç Nokta Kaynaklı (RSW) Birleştirmelerinin Çekme ve Yorulma Özelliklerinin İncelenmesi** 17
Investigation of Tensile and Fatigue Properties of DP1000 Steel Sheets Joints with Remote Laser (RLW) and Resistance Spot Welded (RSW)
Bülent AYDEMİR, Emel AYDEMİR, Erdinç KALUÇ
- Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı (Schlieren) Yöntemi ile Akış Yapılarının İncelenmesi ve Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü ile Doğrulanması** 29
Investigation of Flow Structures by Three Dimensional Background Oriented Schlieren Method and Validation with Particle Image Velocimetry
Özgün ÖZER, Dilek KUMLUTAŞ, Utku Alp YÜCEKAYA
- Panjur Kanatlı Isı Değiştiricilerinin Performansının Deneysel ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yaklaşımı ile İncelenmesi** 41
Investigation of Louvered Fin Heat Exchangers Performance via Experimental and Computational Fluid Dynamics Approach
Abdulkerim OKBAZ, Hüseyin ONBAŞIOĞLU, Ali Bahadır OLCAY, Ali PINARBAŞI
- KGİ İHS Kapsamında Anadolu Üniversitesi'nde Yapılan Çalışmalar** 57
ISR UAV Studies Performed in Anadolu University
Zafer ÖZNALBANT, Tansu FİLİK, Ömer Nezh GEREK

*TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayın Organı olan Mühendis ve Makina dergisi TMMOB Makina Mühendisleri Odası üyelerine ücretsiz olarak gönderilir. 1957 yılından beri yayımlanan dergimiz, **hakemli** bir dergidir. Dergimizle ilgili detaylı bilgi almak için <http://www.mmo.org.tr> web adresinden yararlanabilirsiniz. Telefon, faks ya da e-posta aracılığıyla da bize ulaşabilirsiniz.*

Dergimiz

EBSCO
P U B L I S H I N G

Veri tabanında yer almaktadır

SUNUŞ

Değerli Meslektaşlarımız Merhaba,

*Mühendis ve Makina dergimizde yer alan ilk makalemiz, **Galip Kürşat Şenol** ve **Cuma Karakuş**'un "Pompa ve Pompaj Sistemlerinde Enerji Tasarrufu Uygulamaları" başlıklı çalışmasıdır. Bu çalışmada, demir-çelik sektöründe faaliyette bulunan bir işletmeye ait su tesisi ünitesinde kullanılan pompalarda ve pompaj sistemlerindeki enerji tasarrufu potansiyeli incelenmiştir.*

*İkinci makalemiz, **Bülent Aydemir**, **Emel Aydemir** ve **Erdinç Kaluç**'un "DP1000 Çelik Sacların Uzaktan Lazer (RLW) ve Direnç Nokta Kaynaklı (RSW) Birleştirmelerinin Çekme ve Yorulma Özelliklerinin İncelenmesi" başlıklı çalışmasıdır. Bu çalışmada, otomotiv gövde sacı olarak kullanılan DP1000 malzemeden hazırlanmış numuneler kullanılmıştır. Numuneler endüstriyel koşullarda, direnç nokta kaynağı ve uzaktan lazer kaynağı yöntemleri ile birleştirilmiş bağlantılarının çekme mukavemeti ve sertlik değişimleri incelenmiştir.*

*Üçüncü makalemiz, **Özgün Özer**, **Dilek Kumlutaş** ve **Utku Alp Yücekaya**'nın "Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı (Schlieren) Yöntemi ile Akış Yapılarının İncelenmesi ve Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü ile Doğrulanması" başlıklı çalışmasıdır. Bu çalışmada, arka plan konumlandırılmış yoğunluk farkı yöntemi, üç boyutlu olarak geliştirilmiş ve yöntemin temel prensipleri sunulmuştur. Geliştirilen yöntemin uygulama esasları sıcak jet akış üzerinde gösterilmiştir. Ayrıca, "Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı" yönteminden elde edilen hacimsel akış yapısı, literatürde akış alanlarının bütünsel incelemesinde kabul gören parçacık görüntülemeli hız ölçümü (PGHÖ) yöntemiyle elde edilen üç bileşenli hacimsel ortalama akış yapısı karşılaştırılmıştır.*

*Dördüncü makalemiz, **Abdulkerim Okbaz**, **Hüseyin Onbaşıoğlu**, **Ali Bahadır Olcay** ve **Ali Pınarbaşı**'nin "Panjur Kanatlı Isı Değiştiricilerinin Performansının Deneysel ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yaklaşımı ile İncelenmesi" başlıklı çalışmasıdır. Bu çalışmada, faklı panjur açılarında ve Reynolds sayılarında panjurlu-kanatlı ısı değiştiricilerinin ısı transferi ve basınç düşüşü karakteristikleri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir.*

*Beşinci makalemiz ise **Zafer Öznalbant**, **Tansu Filik** ve **Ömer Nezh Gerek**'in "KGİ İHS Kapsamında Anadolu Üniversitesi'nde Yapılan Çalışmalar" başlıklı çalışmasıdır.*

Bu çalışmada, Anadolu Üniversitesi bünyesi altında Keşif, Gözetleme ve İstihbarat (KGI) İnsansız Hava Sistemleri (İHS) projeleri kapsamında yapılan çalışmalar anlatılmıştır.

Dergimize www.mmo.org.tr/muhendismakina adresinden ulaşabilir; makale, yazı, yeni ürün tanıtımları, reklam ve görüşleriniz ile destek olabilirsiniz.

Bir sonraki sayımızda buluşmak üzere esenlikler diliyoruz.

***TMMOB Makina Mühendisleri Odası
Yönetim Kurulu***

DÜZELTİ

686 sayılı (Mart 2017) dergimizin “Küresel Enerji Tüketimi Bağlamında Mikro Kojenerasyon Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Değerlendirilmesi” isimli makalenin başlığında sehven yapılan hatadan dolayı yazarlarımız ve okuyucularımızdan özür dileriz. Makalenin başlığı şu şekildedir: **Küresel Enerji Tüketimi Bağlamında Mikro Kojenerasyon Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Değerlendirilmesi**

PRESENTATION

Esteemed Colleagues,

*The first article published in our Engineer and Machinery journal is the article named “Energy Saving Applications in Pump and Pumping Systems” by **Galip Kürşat Şenol** and **Cuma Karakuş**. In this study, energy-saving potential in the pumps and pumping systems used in water treatment units operating in iron-steel industry is examined.*

*The second article published in our Engineer and Machinery journal is the article named “Investigation of Tensile and Fatigue Properties of DP1000 Steel Sheets Joints with Remote Laser (RLW) and Resistance Spot Welded (RSW)” by **Bülent Aydemir**, **Emel Aydemir** and **Erdoğan Kaluç**. In this study, DP1000 samples, which are used as automotive body sheet material, were used. Sample sheet couples were joined with resistance spot welding method and remote laser welding method in industrial conditions.*

*The third article published in our Engineer and Machinery journal is the article named “Investigation of Flow Structures by Three Dimensional Background Oriented Schlieren Method and Validation with Particle Image Velocimetry” by **Özgün Özer**, **Dilek Kumlutaş** and **Utku Alp Yücekaya**. In the this study, a three-dimensional version of the background-oriented schlieren method was developed and the basic principles of the method are presented. The application guidelines of the developed method are shown on the hot rectangular jet stream. Furthermore, the volumetric flow structure obtained from the “Three Dimensional Background-Oriented Schlieren” method is compared with the three component volumetric average flow structure obtained by the Particle Image Velocimetry (PIV) method which is accepted in the literature for investigating whole flow fields.*

*The fourth article published in our Engineer and Machinery journal is the article named “Investigation of Louvered Fin Heat Exchangers Performance via Experimental and Computational Fluid Dynamics Approach” by **Abdulkerim Okbaz**, **Hüseyin Onbaşıoğlu**, **Ali Bahadır Olcay** and **Ali Pınarbaşı**. In this study, heat transfer and pressure drop characteristics of louvered-fin heat exchangers for various louver angles and Reynolds numbers were investigated experimentally and numerically.*

*The fifth article published in our Engineer and Machinery journal is the article named “ISR UAV Studies Performed in Anadolu University” by **Zafer Öznalbant**, **Tansu Filik** and **Ömer Neziğ Gerek**. In this study, the studies conducted within the scope of Unmanned Aerial Systems (UAS) Projects of Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (ISR) at Anadolu University are presented.*

You can also view our journal on www.mmo.org.tr/muhendismakina and support us with your articles, papers, new product promotions, advertisements, and reviews.

Best regards, until our next issue...

UCTEA CHAMBER OF MECHANICAL ENGINEERS
Board of Directors

Pompa ve Pompaj Sistemlerinde Enerji Tasarrufu Uygulamaları

Galip Kürşat Şenol ^{*1}
Cuma Karakuş ²

ÖZ

Ülkelerin gelişmişlik seviyelerinin en büyük göstergelerinden biri verimli enerji kullanımınıdır. Dünyada enerji verimliliği ile birincil enerji kaynakları rezervinin hızla tükenmesinin kontrol altına alınması hedeflenmektedir. Ülkemizde sanayide kullanılan elektriğin yaklaşık beşte biri pompalar tarafından tüketilmektedir. Pompaların çalıştığı sistemlerde sıklıkla yapılan hata, yanlış pompa seçimi ve yanlış pompaj sistemi tasarımıdır. Bu tür sistemlerde yapılacak iyileştirmeler ile yüksek miktarda enerji tasarrufu elde edilmesi mümkündür. Bu çalışmada, demir-çelik sektöründe faaliyette bulunan bir işletmeye ait su tesisi ünitesinde kullanılan pompalarda ve pompaj sistemlerindeki enerji tasarrufu potansiyeli incelenmiştir. İnceleme neticesinde iyileştirme öncesi, santrifüj pompa debisi mevsimsel olarak operatör inisiyatifine bağlı olarak çift veya üç pompa çalışmakta iken; iyileştirme sonrası pompa kontrolü operatörden alınmış, yerine ise sisteme otomasyon programı adapte edilmiştir. Soğutma yapılan sisteme, set sıcaklık değeri belirlenip frekans konvertörü ile pompalar değişken devirli çalıştırılmak suretiyle set sıcaklığını sabit tutacak su debileri pompalanmıştır. Bunun neticesinde enerji sarfiyatı kış koşullarında ortalama 240 kWh'ten 109 kWh'e, yaz şartlarında ise yaklaşık 347 kWh'ten 125 kWh'e düşürülerek, toplamda yaklaşık 2.241.000 kWh/yıl'dan 920.000 kWh/yıl değerine düşürülmüştür. Sistem iyileştirme yatırım bedeli 266.685 TL ve elde edilen enerji tasarrufu neticesinde geri ödeme süresi ise yaklaşık 11 ay olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pompa, enerji verimliliği, pompaj sistemi, frekans konvertörü, yüksek verimli elektrik motoru

Energy Saving Applications in Pump and Pumping Systems

ABSTRACT

One of the biggest signs of the development level of countries is the efficient usage of energy. With energy efficiency, taking the rapidly consumed primary energy resources under control is aimed worldwide. In our country, approximately one fifth of the industrial electricity is consumed by the pumps. The most common mistake in the systems with the pumps are the wrong pump selections and wrong pumping system designs. It is possible to provide a high amount of energy saving potential with improvements in these types of systems. In this study, energy-saving potential in the pumps and pumping systems used in water treatment units operating in iron-steel industry is examined. As a result of the examinations made, centrifugal pump flow rate was seasonally bound to the operator initiative and was working with double and three pumps before the improvements, after the improvements, pumping system is taken out of the operator control and instead, an automation program is adapted to the system. Set temperature value is determined for the cooling system and by operating the pumps with variable speed with the help of the frequency converter; water flow rates which will keep the set temperature value fixed is pumped to the system. As a result, energy consumption is reduced from approximately 240 kWh to 109 kWh in winter conditions and approximately from 347 kWh to 125 kWh in summer conditions, in total, annual value of 2.241.000 kWh is reduced to 920.000 kWh annual values. The system improvement investment cost is 266.685 TL and the payback time which will be paid off by the energy-saving is calculated as 11 months.

Keywords: Pump, energy efficiency, pumping system, frequency converter, high efficiency electric motors

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 28.02.2017

Kabul/Accepted : 13.04.2017

¹ Yardımcı İşletmeler Şefi, Yazıcı Demir Çelik Fabrikası, İskenderun/Hatay - kursatsenol@dilerhld.com

² Yrd. Doç. Dr., İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İskenderun/Hatay - cuma.karakus@iste.edu.tr

1. GİRİŞ

Ülkemizde sanayi kuruluşları tarafından tüketilen elektriğin yaklaşık yüzde yetmişini elektrik motorları tüketmektedir. Bu motorlarda tüketilen elektriğin yaklaşık %20'lik dilimini ise pompalar tüketmektedir [1]. Pompa ve pompa sistemlerinde yapılacak iyileştirme çalışmaları neticesinde yaklaşık %30 civarında enerji tasarruf potansiyeline sahip olduğu bilinmektedir [2]. Enerji tasarruf potansiyeli miktarı, mevcut sistemde pompa ve pompa sisteminin ne kadar doğru tasarlandığının irdelenmesi ile anlaşılabilir. İşletmelerin en sık yaptığı yanlış, satın alma maliyetlerini düşünerek yatırım esnasında en ucuz pompayı satın almayı tercih etmesidir. Oysaki pompa satın alma maliyeti, ömür boyu maliyet kalemleri dağılımında %8'lik bir dilim işgal etmektedir. Enerji tüketimi ise ömür boyu maliyet dağılımında %85'lik bir dilim işgal etmektedir [3]. Doğru pompa seçimi, sistemde tasarruf sağlamak adına tek başına yeterli değildir. Bu yüzden, pompanın çalışacağı pompa sisteminin de enerji tasarrufu açısından irdelenmesinin önemi büyüktür. Tasarımı doğru yapılmış pompa sistemlerinde, dinamik kayıpların minimum düzeyde kalmasını sağlayarak enerji tasarrufu sağlamak mümkündür. Bu yüzden, pompanın sistem için doğru ve yüksek verimli seçilmesi tüketilen enerjinin azaltılmasına katkı sağlayacağı gibi pompa sisteminin de doğru tasarlanması tasarrufun yapılmasında çok önemli yer teşkil edecektir.

Özellikle, gelişmekte olan ve her yıl enerji tüketimi artan ülkemizde enerjinin verimli kullanılması ile enerji yoğunluğunun düşürülmesinin sağlanması mümkündür. Enerji yoğunluğunun düşmesi ise enerjinin daha verimli kullanıldığının bir göstergesidir. Birincil enerji kaynaklarını büyük oranda ithal eden ülkemizde, enerji yoğunluğunun düşürülmesi ile ithal kaynaklı üretilen elektriğin toplam üretimdeki payını düşürme imkânı sunmaktadır. Bunun yanı sıra, birincil enerji kaynaklarının verimli tüketimi ile de atmosferdeki sera gazı salınımının düşürülmesi neticesinde küresel ısınma sonucu oluşabilecek felaketlerin önlenmesi sağlanabilecektir. Bu ise ancak sistemlerdeki enerji verimliliğinin irdelenmesi ve yeni kurulacak sistemlerin doğru tasarlanması ile mümkün olmaktadır.

Moreno ve arkadaşları (2007), bir tesiste çalışan pompa sistemleri için gerçek çalışma koşullarında gerekli kapasiteye bağlı olarak enerji maliyetini en aza indirecek pompa çalışma dizisinin belirlenmesi için yeni bir enerji verim analiz modeli geliştirme imkanını irdelemiştir. Sonuç olarak, elektrik şebeke analizi, basınç, debi ölçümleri aldığı sistem üzerinde frekans konvertörü kullanarak optimum çalışma devir sayılarını belirleyip, pompaların en düşük enerji tüketim noktalarını hesaplayarak enerji tasarrufu sağlamıştır. Kaya ve arkadaşları (2008), büyük bir sanayi kuruluşundaki pompaların enerji tasarruf potansiyelini incelemişler; pompaların basınç, sıcaklık, debi gibi verilerini takip ederek farklı işletme koşullarında sağladıkları verimi



hesaplamışlardır. Düşük verimli pompaların yenisi ile değiştirilmesi, pompaların bakımı, düşük verimli motorların yüksek verimli motor ile değiştirilmesi gibi değişiklikler ile sağlanacak enerji tasarrufu potansiyelini, bu iyileştirmelerin maliyetini ve geri ödeme sürelerini hesaplamışlardır. Çuha (2008), santrifüj pompa sistemlerinde enerji tasarrufu için frekans konvertörü kullanımı, motor seçimi, motor yükü kontrolü, değişken debili pompa sistemlerinin seçilmesi gerektiğini belirtmiştir. Yumurtacı ve Sarıgül (2011), yüksek enerji verimli pompaj sistemleri elde etmek için pompa ile çalışacağı sistemin uyumunu ve değişken debiye uygunluğunu incelemişler; enerji tasarrufunun frekans konvertörü ile yapılabilirliğini uygulama örnekleri ile göstermişlerdir. Çuha (2011), santrifüj pompaların emme hatlarının yük kaybı fazla olan hat elemanlarından kaçınılması ve mümkün olduğunca kısa olması gerektiğini belirtmiştir. Şen (2011), pompa optimum çalışma noktası, sistem karakteristiği, yanlış pompa seçimi ve yarattığı sorunlar, pompa tesisatı tasarımını incelemiş ve uygulamalar ile göstermiştir. Foray (2014), enerji tasarrufu yapmak için sistem tasarımının doğru yapılması gerektiğini, bu sistemlerin akıllı yöntemler ile işletilmesi gerektiğini, uygun tesisat ekipmanları seçilmesi gerektiğini belirtmiş ve frekans konvertörünün kullanımını neticesinde enerji tasarrufu edilebileceğini uygulama örnekleri ile göstermiştir.

Bu çalışmada, bir demir-çelik tesisindeki mevcut su tesislerine ait pompa ve pompaj sistemleri incelenmiş, yapılan boru hattı revizyonları ile birlikte santrifüj pompanın frekans konvertörü ile değişken debili çalıştırılması ve yüksek verimli motor kullanımını ile elde edilen enerji tasarrufu potansiyeli irdelenmiş ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

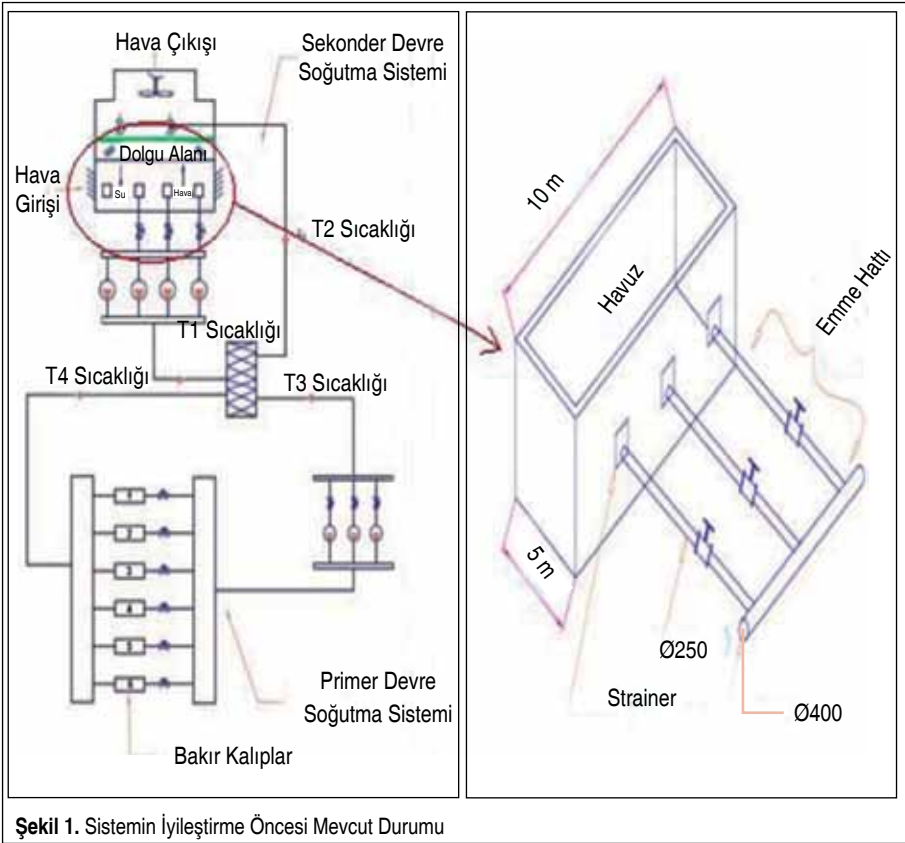
2. MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal

Ark ocaklı demir-çelik tesisindeki sürekli döküm merkezinde (SDM) sıvı çeliğini kütük formuna dönüştüren kalıplara ait soğutma sisteminin şematik görünümü Şekil 1'de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, primer devre olarak gösterilen sürekli döküm makinesindeki altı adet kalıba ait kapalı devre soğutma suyu sistemini, sekonder devre olarak verilen sistem ise primer devreyi soğutan açık devre su soğutma sistemini göstermektedir. Primer devrede sıvı çeliğin kütük formunu kazanması için kullanılan bakır kalıpların içerisinden geçerek ısınan su, plakalı eşanjör yardımıyla sekonder devredeki su tarafından soğutulmaktadır. Sekonder devredeki ısınan su ise soğutma kulesine dönerek fanlar tarafından soğutulmaktadır. Bu işlemler esnasında soğutmanın düzgün yapılamaması, bakır kalıptan geçen sıvı çeliği termal gerilimlere maruz bırakmakta olup kütük yapısının istenen kalitede oluşmamasına neden olmaktadır. Bu prosesin tamamında soğutma işlemi kritik öneme sahip olmakla birlikte,

SDM çalışma rejimindeki değişiklikler, soğutma için kullanılan suyun değişken debili kullanılabilmesine imkân sunmaktadır.

SDM kalıp soğutma sisteminde iyileştirme öncesi durumda, SDM operatörlerinin kalıp soğutma suyu dönüş sıcaklıklarını (T_3) takip ederek yeterli sayıda pompanın sabit devirde çalışması ile sistemin daha önceden belirlenen güvenli T_3 sıcaklıklarında çalışması sağlanmaktadır. Kalıp soğutma suyu dönüş sıcaklıkları güvenli sıcaklıkların üzerine çıktığında, su tesisleri ünitesi SDM operatörü tarafından bilgilendirilerek, ilave pompanın çalıştırılıp Şekil 1’de görülen sekonder devredeki suyun debisi artırılmak suretiyle kalıp soğutma suyu sıcaklığının düşürülmesi sağlanmaktadır. Özellikle, yaz aylarında Şekil 1’de görülen sekonder devre soğutma sistemine ait pompaların tamamı çalıştırıldığı halde, T_3 sıcaklığı için güvenli çalışma noktası kabul edilen, 45°C ’nin üzerine çıktığı görülmüştür. Şartlara bağlı olarak mevsim ortalamaları üzerinde sıcaklıkların görüldüğü yaz aylarında ise T_3 sıcaklığı 50°C ’ye ulaştığı görülmüştür. Bu ise altı adet yoldan oluşan SDM’de bazı yolların durdurularak üretimin yavaşlamasına neden olmaktadır.



Şekil 1. Sistemin iyileştirme Öncesi Mevcut Durumu

KGİ İHS Kapsamında Anadolu Üniversitesi'nde Yapılan Çalışmalar¹

Zafer Öznalbant^{2*}

Tansu Filik³

Ömer Nezh Gerek⁴

ÖZ

Bu çalışmada, Anadolu Üniversitesi bünyesi altında Keşif, Gözetleme ve İstihbarat (KGİ) İnsansız Hava Sistemleri (İHS) projeleri kapsamında yapılan çalışmalar anlatılmıştır. İlgili çalışmalar Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve Havacılık-Uzay Bilimleri Fakültesi ortaklığında yürütülmektedir. 2013 – 2014 öğretim döneminde başlayan ve halen devam eden çalışmalar kapsamında her iki fakülteden lisans öğrencileri ve akademik danışmanlarından kurulan ekipler ile otonom uçuş, havada görüntü olarak hedef bulma ve bu hedeflerin çeşitli özelliklerinin otomatik olarak belirlenmesi çalışmaları yapılmaktadır. Çalışmanın ilk kısmında, kullanılan hava araçları ve bunların otonom kontrolü için yapılan çalışmalar tanıtılmıştır. Sonraki kısımda, görüntü alma, hedef tespiti ve hedeflerin özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan görüntü işleme çalışmaları açıklanmıştır. Son kısımda da İHS ile Yer Kontrol İstasyonu arasında kurulan haberleşme bağlantıları sunulmuştur. Makalenin sonunda ise yukarıda belirtilen sistemlerin entegrasyonu ve ileriye yönelik planlar tanıtılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Sistemleri (İHS), İnsansız Hava Araçları (İHA), Otonom Uçuş, Görüntü İşleme.

ISR UAV Studies Performed in Anadolu University

ABSTRACT

In this study, the studies conducted within the scope of Unmanned Aerial Systems (UAS) Projects of Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (ISR) at Anadolu University are presented. The studies explained here are the results of the collaborations between Anadolu University "Faculty of Engineering" and "Faculty of Aeronautics and Astronautics". Within the scope of the studies that started in 2013 – 2014, autonomous flight, automated target detection via aerial image capturing, and automatic identification of target properties are performed by the teams which consist of B.S. students and academic supervisors from both faculties. In the first part, aerial vehicles and results regarding autonomous control studies are explained. Then, image capturing, target detection and studies regarding identification of target specifications are described. Finally, the communication links between the UAS and the Ground Control Station (GCS) are presented. The paper concludes by system integration issues and future plans.

Keywords: Unmanned Aerial Systems (UAS), Unmanned Aerial Vehicle (UAV), autonomous flight, image processing

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 13.05.2017

Kabul/Accepted : 25.07.2017

¹ 5-6 Mayıs 2017 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Ankara'da düzenlenen 9. Uçak Havacılık ve Uzay Mühendisliği Kurultayı'nda bildiri olarak sunulan bu metin, yazarlarının makale olarak yeniden düzenlenmiştir.

² Anadolu Üniv., Hav. ve Uzay Bil. Fak. Uçak Gövde-Motor Bakım Bölümü, Eskişehir - zoznalbant@anadolu.edu.tr

³ Yrd. Doç. Dr., Anadolu Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir - tansufilik@anadolu.edu.tr

⁴ Prof. Dr., Anadolu Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir - ongerek@anadolu.edu.tr



1. GİRİŞ

İnsansız Hava Sistemleri (İHS), üzerinde otonom uçuş sistemleri, seyrüsefer sistemleri, görüntü işleme ve haberleşme sistemlerini bulunduran İnsansız Uçak/İnsansız Hava Aracı (İHA) ve bu uçağın bağlı olduğu Yer Kontrol İstasyonu (YKİ) olarak tanımlanmaktadır. Bu sistemler genellikle keşif, gözetleme ve istihbarat (KGİ) (Intelligence/Surveillance and Reconnaissance, ISR) sistemleri olarak tanımlanmakta ve askeri/sivil amaçlı olarak önemi artmaktadır. Askeri ve sivil havacılık alanında İHS sistemleri farklı gereksinimler doğrultusunda kullanılmaktadır. Askeri İHS sistemleri, 1-2 m kanat açıklığında, sırt çantasında taşınabilir uçaklardan, 20-30 m kanat açıklığına sahip uydu haberleşmeli (SATCOM) sistemlere kadar çeşitlilik göstermektedir. KGİ amaçlı İHS'leri genellikle otonom uçuş, görüntü alma ve bu görüntüyü işleme, haberleşme kabiliyetlerine sahiptir. Sivil amaçlı İHS'leri, tarım arazisi inceleme, haritalama, havadan görüntü alarak boru ve elektrik hatlarının kontrolü, sportif ve film yapımı için görüntü alma, akademik çalışmalar alanlarında kullanılmaktadır [1]. Bu amaçla kullanılan İHS'lerin, radyo kontrollü model uçak sistemlerinden farklı olarak otonom uçuş, görüntü alma ve işleme, haberleşme kabiliyetlerine sahip olması gerekmektedir. Gerek askeri, gerek sivil İHS'lerin sahip olması gereken ortak kabiliyetler otonom uçuş, görüntü işleme ve haberleşme olarak ortaya çıkmaktadır. 2014 yılı içerisinde sivil İHA sistemlerinin dünya genelindeki piyasa payının 500 milyon ABD doları olduğu ve ilerleyen her yıl bu payın en az %17 oranında artacağı öngörülmektedir [2].

Anadolu Üniversitesi kapsamında KGİ İHS çalışmaları Mühendislik Fakültesi ve Havacılık-Uzay Bilimleri Fakültesi ortak girişiminde 2014 yılından itibaren yürütülmektedir. Yapılan çalışmalar kapsamında sabit veya döner kanatlı hazır veya özgün tasarıma sahip uçakların imalatları gerçekleştirilmektedir. Uçuşa hazır veya özgün olarak tasarlanmış uçaklar üzerine, icra edilecek göreve yönelik seyrüsefer sistemleri, görüntü alma ve haberleşme sistemleri entegre edilmektedir. Hava aracının performans özellikleri, görüntü alma ve haberleşme sistemleri, bu sistemlerin uçuş koşulları altındaki performansları, YKİ ile haberleşme çeşitliliği ve kalitesi değerlendirildiğinde, bu çalışma disiplinlerarası bir çalışma olarak gündeme gelmektedir. Yapılan çalışmaların başarılarının niteliksel olarak değerlendirilmesine yönelik olarak her sene AUVSI kuruluşunun düzenlediği havacılık alanındaki en prestijli üniversitelerarası yarışma olan AUVSI SUAS yarışmasına katılım sağlanmaktadır [3]. 55 ülkeden 6000'den fazla bireysel üyesi olan AUVSI Derneği'nin düzenlemiş olduğu öğrenci insansız hava sistemleri (SUAS) yarışması, KGİ kabiliyetine sahip bir İHS'nin tüm alt bileşenlerini gerektirecek uçuş problemlerini çözmeye yöneliktir.

KGİ İHS'lerin bünyesinde olması planlanan alt sistemler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:



1. İnsanız Hava Aracı (İHA) ve Otonom Uçuş

Bu başlık altında, gerekli otonom seyrüsefer sistemlerini, görüntü alma ve işleme sistemlerini ve haberleşme sistemlerini taşıyabilecek, kolay kurulumu olan bir hava aracının tasarlanması veya hazır olarak temin edilen bir aracın yeniden revize edilerek uçuşa hazır hale getirilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, ilgili hava aracının otonom kontrolünü gerçekleştirmek üzere açık kaynak kodlu oto-pilot sistemlerinin uçak ile bütünleştirilmesi (entegrasyonu) ve bu çalışmalardan elde edilen tecrübeler ile ilerleyen süreçlerde kullanılacak özgün oto-pilot sisteminin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

2. Görüntü İşleme ve Otonom Hedef Belirleme

İlgili çalışma kapsamındaki görevleri yerine getirmek amacıyla geliştirilen İHA üzerine, gerekli şartları (ağırlık, çözünürlük, kodlama, vb.) sağlayabilen bir kamera, bu kameranın tetiklenerek görüntü alınması, alınan görüntüyü işleyecek donanım ve yazılımının yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda öğrencilerin başta sistem mühendisliği olmak üzere, belirli kıstaslar doğrultusunda görüntü işleme üzerine çalışma yapılması amaçlanmıştır.

3. Yer Kontrol İstasyonu (YKİ) ile Haberleşme

Gerek İHA'nın otonom uçuşu için gerekli verinin yer istasyonuna aktarılması, gerek havada alınan görüntülerin ve/veya görüntü işleme sonuçlarının yer istasyonuna aktarılması için uçak üzerine uygun bir haberleşme sisteminin bulunması gerekmektedir. Uçağın irtifa, konum ve yön bilgilerinin her daim yer istasyonuna aktarılması ve alınan yüksek çözünürlüklü görüntü verilerinin YKİ'ye aktarılması KGİ İHS'ler için kritik öneme sahiptir. Haberleşme sistemi kurulumu sinyal işleme konusunda ayrıca çalışma yapmayı gerektirdiğinden, bu projeler kapsamında, haberleşme/sinyal işleme konularında detaylı çalışmalar yapılması hedeflenmiştir.

KGİ İHS kapsamında geliştirilecek olan sistemin aşağıdaki görevleri yerine getirebiliyor olması hedeflenmektedir. İlgili görevler;

- Belirlenen hedef noktalara otonom olarak uçuş,
- Belirli bir arama bölgesindeki hedeflerin algılanması, sınıflandırılması ve yerlerinin tespit edilmesi,
- Uçağın uçuş bilgilerinin ve alınan görüntülerin düzenli şekilde YKİ'ye bildirilmesidir.

Bu çalışmada, içerisinde Anadolu Üniversitesi bünyesinde yapılan KGİ İHS sistemleri çalışmaları hakkında bilgi verilecektir. İkinci kısımda, kullanılan hava araçları,



uçuş kontrol için kullanılan oto-pilot sistemleri tanımlanmıştır. Üçüncü kısımda, görüntü işleme ve hedef tespit kapsamında yapılan çalışmalar tanımlanmıştır. Dördüncü kısımda, gerekli haberleşme için yapılan çalışmalar belirtilmiştir. Son bölümde ise yapılan çalışmalar özetlenmiş ve ileriye yönelik yapılacak çalışmalar anlatılmıştır.

2. İNSANSIZ HAVA ARACI VE OTONOM UÇUŞ

2.1 İnsansız Hava Aracı

Üniversite bünyesinde KGİ İHS çalışmaları kapsamında kullanılacak İnsansız Hava Aracı tipinin belirlenmesi gerekmektedir. İHA tipinin belirlenmesinde öncelikli olarak görev gereksinim tanımlaması yapılır. Görev gereksinim tanımlaması uçağın taşıyacağı faydalı yük, uçuş hızı, uçuş irtifası ve havada kalış süresi kıstaslarına göre şekillendirilmektedir. Belirtilen bu kıstastalar, giriş bölümünde bahsedilen AUVSI kuruluşunun uluslararası SUAS yarışma dokümanı ve bu dokümanda belirtilen görevlerin icra şekline göre belirlenir. Gerekli faydalı yük, hedef bulma için gerekli olan kamera ve kameraya bağlı elektronik donanımı, ilgili görüntüleri YKİ'ye aktarmak için kullanılacak elektronik haberleşme sistemini ve otonom uçuş bilgilerini YKİ'ye aktaracak elektronik haberleşme donanımı olarak tanımlanmaktadır. Uçağın uçuş hızı, görüntü yakalama sistemine bağlı bir parametre olarak tanımlanır ve optimum görüntü yakalama hızı uçuş seyir hızı olarak belirlenir. Havada kalış süresi, ilgili yarışma kapsamında gidilecek hedef noktaların ve hedef arama bölgesinin alanı ve uçuş hızı parametrelerine göre belirlenir. Bu bilgiler kapsamında kullanılacak uçağın tipi (döner kanatlı, sabit kanatlı, uçan kanat...) belirlenir. Belirlenen uçak tipine göre uçağın özgün olarak tasarlanıp tasarlanmayacağına veya piyasada bulunan hazır ürünlerden temin edilip edilmeyeceğine karar verilir. Uçağın manuel ve otonom uçuşunu sağlayacak olan seyrüsefer sistemi faydalı yük içinde değerlendirilmemiştir.

2014 yılında, Anadolu Üniversitesi bünyesinde başlatılan KGİ İHS çalışmaları kapsamında, öncelikli olarak döner kanatlı multikopter tipi gövde seçimi yapılmıştır. Kullanılan multikopter 6 adet elektrikli motor, gövde bloğu, gövde bloğuna bağlı kamera yatağı ve gövde bloğu üzerine sabitlenmiş ArduPilot açık kodlu oto-pilot sisteminden oluşmuştur. Motorlar arasındaki mesafe 79 cm, yerden yüksekliği 21 cm olacak şekilde tasarlanmıştır. Kullanılan yapısal malzemeler alüminyum ve cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerdir. Kullanılan güç sistemi 14.8V 7000 mAh Lipo batarya kullanılmıştır.

Motorlar Tiger MT2814-10 770 Kv fırçasız elektrik motorudur. Bu motor, seyir uçuşu esnasında kg başına 132 Watt, anlık olarak kg başına 147 Watt güç verebilmesi nedeniyle seçilmiştir. 14.8 V batarya ile birlikte kullanılan motorlarda en iyi statik itki değerinin 13 x 4,7 karbon pervane ile sağlandığı yapılan statik itki testleri ile tespit edilmiştir. Uçağın tasarımı, gövde parçalarının imalat ve montajı Anadolu Üniversite-

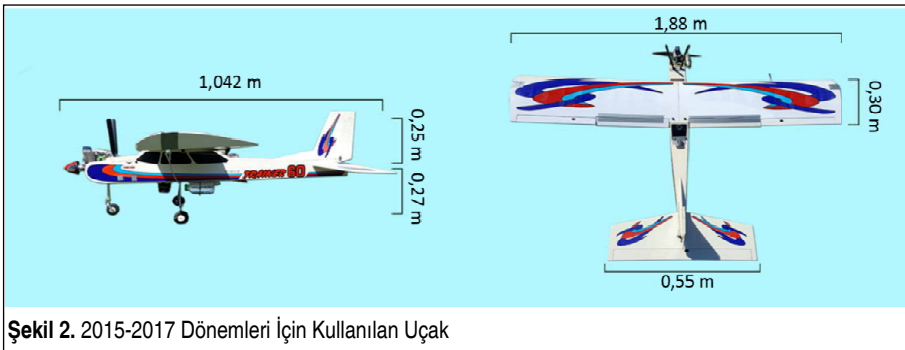


Şekil 1. KGİ İHS Çalışmalarında Kullanılan Multikopter

si SUAS ekibi tarafından gerçekleştirilmiştir. 2014 yılı KGİ İHS sistemi için kullanılan uçak görseli Şekil 1'de gösterilmiştir.

2014 yılında yapılan çalışmaların ardından, özellikle ~2kg faydalı yük ile yapılan uçuşlarda multikopter tipi uçakların havada kalış sürelerinin istenilen sürelerde olmadığı değerlendirilmiştir. Ayrıca, motorlardan birinin arızalanmasının sonucunda uçağın kaçınılmaz olarak düştüğü görülmüştür. Bu nedenle, 2015-2017 dönemleri için multikopter tipi uçak yerine sabit kanatlı uçak seçimi yapılmıştır. Ayrıca, havada kalış süresinin azami olarak arttırılabilmesi için içten yanmalı patlar motorlu itki sistemlerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

2015-2017 görev gereksinimlerine göre yapılan inceleme sonucunda, piyasada hazır bulunan, belirli yapısal takviyeler sonucunda 2 kg faydalı yük taşıma kapasiteli, 17-21 m/s seyir hızında uçuş yapabilen, kanatlarında taşıma arttırıcı ek yüzeyler (flap) bulunan Trainer 60 uçağı, KGİ İHS çalışmaları için belirlemiştir. Uçağın ölçüleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 2015-2017 Dönemleri İçin Kullanılan Uçak

2.2 Otonom Uçuş ve Uçuş Kontrol Sistemi

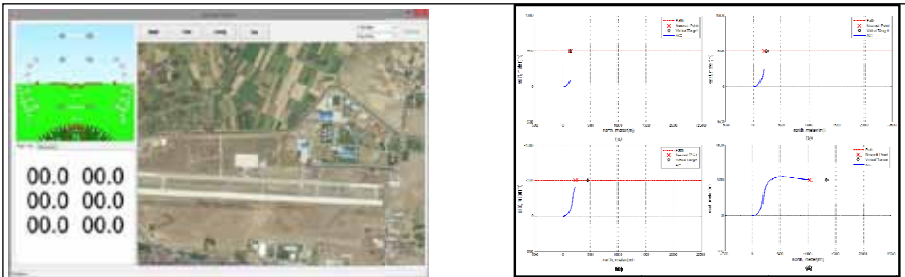
KGİ İHS çalışmaları kapsamında öncelikli olarak, piyasada hazır olarak bulunan açık kodlu oto-pilot sistemleri kullanılmıştır. Piyasada bulunan açık kodlu oto-pilot sistemlerinin bazıları Pixhawk, APM, CC3D, Erle-Brain vb. şeklinde sayılabilir. APM ve Pixhawk iyi belgelenmiş olması ve ekip öğrencilerinin bilgisi olması nedeniyle tercih edilmiştir. APM oto-pilot sistemi tedarik kolaylığı, fiyat ve performans özellikleri nedeniyle 2014 yılında multikopter oto-pilot sistemi için kullanılmıştır. Atmel 2560 işlemcisi bulunan bu uçuş kontrol paneli açık kaynak kodludur.

2017 döneminde APM oto-pilot sisteminden vazgeçilerek Pixhawk oto-pilot sistemi kullanılmıştır. Bunun nedeni APM oto-pilot sisteminin üreticisinin yayımlandığı sabit kanatlarda artık güncelleme yapılmayacağı duyurusudur. Ayrıca, APM oto-pilot sisteminin bazı duyguları desteklemediği görülmüştür. 2017 döneminde seçilen Pixhawk açık kaynak kodludur ve kaynak kodunda değişiklik yapmayı sağlayan arayüzü bulunmaktadır. Şekil 3'te, oto-pilot sistemine bağlı Yer Kontrol İstasyonundaki (GCS) arayüz gösterilmiştir.

Piyasadan temin edilen açık kodlu oto-pilotların yanı sıra, Anadolu Üniversitesi Havacılık Uzay Bilimleri Fakültesi ve Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümleri ile birlikte özgün oto-pilot yazılımı ve arayüzü çalışmaları yapılmaktadır. Oluşturulan hedef takip algoritması simülasyon ortamında başarıyla



Şekil 3. Oto-Pilot Sistemi Yer Kontrol İstasyonu Arayüzü



Şekil 4. Yer Kontrol İstasyonu Arayüzü ve Takip Algoritmasının MATLAB® Çıktısı



Şekil 5. Örnek Hedefler

çalıştırılmıştır. Şekil 4'te, Anadolu Üniversitesi'nde yapılan çalışmalar sonucu geliştirilen YKİ ve hedef takip algoritması görselleri verilmiştir.

3. GÖRÜNTÜ İŞLEME VE OTONOM HEDEF BELİRLEME

Görüntü İşleme ve Otonom Hedef Belirleme çalışmaları kapsamında, ilgili yarışmada belirtilen hedeflerin görüntü işleme yöntemleri dâhilinde tespit edilerek özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Hedeflerin renk, şekil, yönelim ve yön bilgilerinin yanı sıra, hedefin alfa-numerik karakter bilgisi bulunmaktadır. Bu hedefler arama bölgesi olarak adlandırılan bir bölgeye rastgele dağıtılmışlardır. KGİ İHS'nin bu arama bölgesi içinde tarama yaparak hedefleri tespit etmesi ve her hedef için ayrı ayrı tanımlanmış olan özelliklerin otomatik olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu hedef tiplerinin olabilecek en küçük ve en büyük boyutu yarışma organizasyonu tarafından kurallar içinde belirtilmiştir. Şekil 5'te, yarışma heyeti tarafından belirlenmiş örnek hedefler gösterilmiştir. Görüntü İşleme ve Otonom Hedef Belirleme kapsamındaki çalışmalar ana başlıklar halinde aşağıda açıklanmıştır.

3.1 Görüntü Yakalama Sistemi

Görüntü yakalama sistemi, herhangi bir insan yardımına ihtiyaç duymadan, otomatik olarak aktive edilecek şekilde C++ ile yazılmış özgün bir sistemden oluşmaktadır. İHS, coğrafi olarak arama alanına girdiğinde görüntü yakalama sistemi otomatik olarak başlar. Sistem dört ana bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler; kamera, bütünlük bilgisayar, duyargalar ve veri bağlantısıdır.

Kullanılan kamera 18-55 mm lensli Canon EOS 100D fotoğraf makinesidir. Kamera, 1 görüntü/saniyelik kare hızıyla çalıştırılmaktadır. Kameranın kontrol edilmesi, çekilen görüntülerin coğrafi konumunun etiketlenmesi ve görüntülerin YKİ'ye aktarılması için İHS üzerine Bütünlük Bilgisayar yerleştirilmiştir. Duyargalar, yakalanan görüntülerin GPS koordinatlarının ve yönünün belirlenmesi amacıyla kullanılmakta-



dır. Veri aktarımı için İHS ile YKİ arasında kablosuz bir iletişim sistemi kurulmaktadır. Özet olarak, bir görüntü yakalandığında, uçuş bilgileri ve GPS verisi, yerleşik bilgisayar kullanarak görüntüye etiketlenir. Daha sonra görüntü, tanımlanan bir veri yapısında YKİ'ye gönderilmek üzere sıraya konur. Daha sonra bu görüntü ve bağlı verileri güvenilir bir aktarım protokolü ile otomatik olarak YKİ'ye aktarılır.

3.2 Görüntü İşleme ve Otonom Hedef Belirleme

Görüntü işleme algoritması, görüntü işleme için güçlü ve iyi bilinen bir araç olan OpenCV kütüphanesini kullanmaktadır. İHS'den yer istasyonuna gönderilen görüntüler sıralı olarak işlenmektedir. Görüntü işleme ve hedef belirleme işlemleri sırasında öncelikle hedefin varlığının tespit edilmesi, ardından da varlığı tespit edilen hedefin ne olduğu, özellik ve özniteliklerinin neler olduğu ortaya çıkarılmalıdır.

• Hedef Tespitinin Yapılması

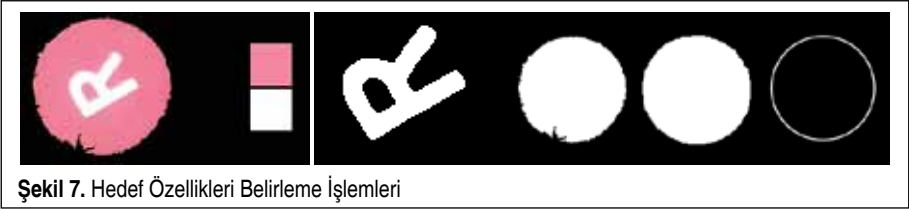
Öncelikli olarak yakalanan görüntü içerisinde hedef olup olmadığı incelenir. Bu işlem, kameradan orta boy bir görüntü elde ederek başlar. Kameranın tam çözünürlüğü, gerçek zamanlı operasyonlar ile ilgili hesaplama zorlukları nedeniyle tercih edilmez. Ayrıca, tam boyutlu bir görüntünün tekrar tekrar örneklenmesi fazladan hesaplamalara ihtiyaç duyar. Bu nedenle, yeniden boyutlandırma işlemi kamera içi işleme bırakılmıştır. Yeniden boyutlandırma işleminden sonra görüntü yumuşatılarak (gürültünün giderilmesi) ve HSV renk alanına dönüştürülür. Dönüştürmeden sonra olası adaylar temelde benzer pikselleri gruplayan MSER Blob algılama algoritması kullanılarak çıkarılır. Ardından, hedef olma ihtimali olan adaylar boyutları ve en-boy oranı dikkate alınarak belirlenir. Şekil 6'da hedef belirlenmesi gösterilmiştir. Bu tespit işleminden sonra şekil ve harf içeriğine göre daha ileri işlemler için görüntü bilgisayara gönderilir.

• Hedef Özelliklerinin ve Karakterinin Belirlenmesi

Yakalanan görüntü içerisinde belirlenen olası hedeflerin renk, şekil, yönelim ve yön bilgilerinin yanı sıra, hedefin alfa-numeric karakter bilgisinin tespit edilmesi gerekmektedir. Renk algılama işlemi, olası arka plan nesnelere (çimen, toprak, yol vs.) eleme süreci ile başlar. Arka plan elemesinden sonra kalan görüntüde, HSV değerleri kullanılarak renk tespiti yapılır. Algılama, bir alfa-numeric karakter



Şekil 6. Görüntü İçerisinde Olası Hedef Aranması



Şekil 7. Hedef Özellikleri Belirleme İşlemleri

ter için, diğeri de hedef şekli için olmak üzere iki görüntü oluşturur. Alfa-nümerik karakteri algılamak ve tanımak için, yaklaşık 30.000 karakter resim içeren bir veri tabanı oluşturulmuştur. Elde edilen hedefin histogram dağılımları Destekçi Vektör Makinesi (Support Vector Machine (SVM)) algoritması yardımıyla karakter incelemesi yapılır. Alfa-nümerik karakterin tespit edilmesinin ardından, İHS'nin yönelimi de kullanılarak karakterin yönü belirlenir. Karakterin üzerinde bulunduğu şekil de benzer şekilde bulunmaktadır. Fotoğraf makinesi tarafından yakalanan görüntüler, zaman damgası ve GPS değerleri ile birlikte yakalanır. Kameranın uçağa göre oturma açısı bilindiğinden İHS'nin koordinatlarını kullanarak hedefin konumu hesaplanır.

Hedef özelliklerinin belirlenmesi süresince yapılan işlemlerin çıktıları Şekil 7'de gösterilmiştir.

4. YER KONTROL İSTASYONU İLE HABERLEŞME

YKİ ve İHS arasındaki veri bağlantısı kritik öneme sahiptir. İHS üzerinde iletişim kurulan üç temel veri bağlantısı vardır. İlk bağlantı, İHS'deki oto-pilot sistemi ile YKİ'deki görev arayüzü arasındaki telemetri iletişimi içindir. İkinci veri bağlantısı, İHS'deki uçuş bilgisayarından YKİ'deki görüntü ara birimine görüntü verisi aktarımı içindir. Üçüncü veri bağlantısı ise güvenlik pilotunun İHS kontrolüne ayrılmıştır. Bu bağlantılar, özel iletişim elektronik kartlarının programlanmasıyla gerçekleştirilir ve aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

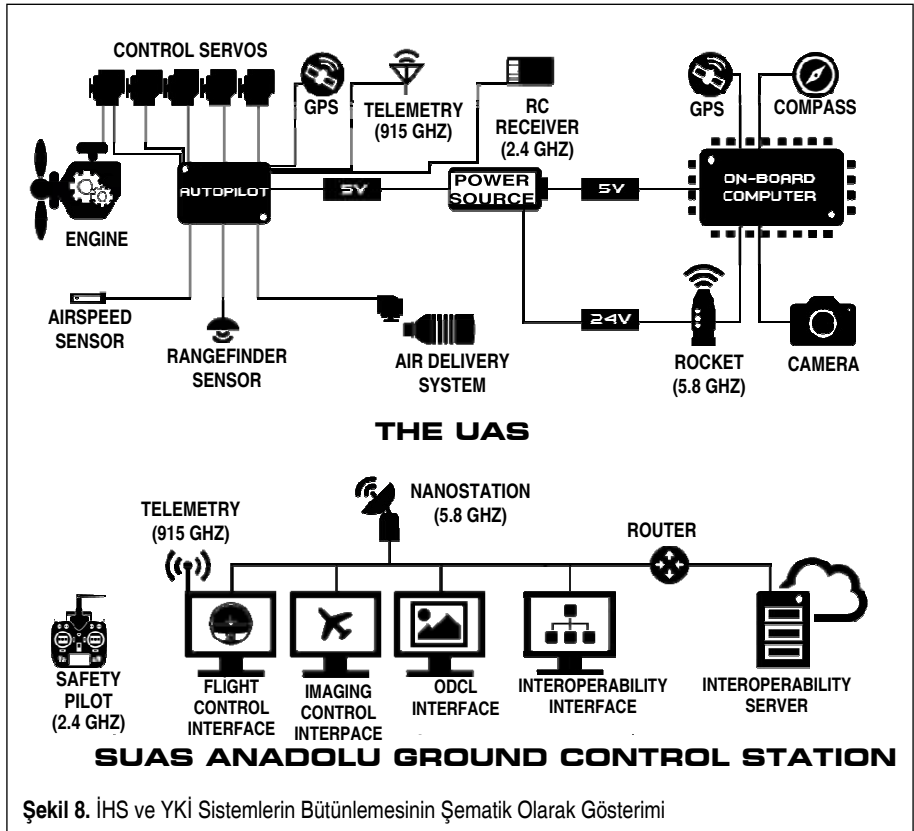
YKİ ve İHS oto-pilot sistemi arasında telemetri iletişim kurmak için xBee modülleri kullanılmaktadır. XBee modülleri, DIGI firması tarafından üretilen güvenilir ve emniyetli radyo frekansı iletişim modülleridir. 868MHz, 900MHz ve 2.4GHz gibi farklı frekanslarda çalışan çeşitli xBee modül türleri vardır. DIGI, bu modüllerde 3 tip iletişim protokolü kullanmanıza izin verir: ZigBee, DigiMesh ve 802.15.4. İki modül arasında iletişim kurmak için, her iki ünitenin de aynı protokole ayarlanması gerekir. XBee modüllerinin yazılım güncellemeleri ve yapılandırılmaları, üreticinin sağladığı "XCTU" yazılımında yapılmaktadır. Konfigürasyonlar ayarlandıktan sonra, modüller bilgiyi dâhili belleğine kaydeder ve hazır hale gelirler. Kullanılan XBee modüllerinin 3.2 km iletişim menzili ve 250 kbps standart ve 1Mbps maksimum veri aktarım hızı mevcuttur.

Görüntü aktarımı veri bağlantısı, yakalanan görüntüleri İHS'den YKİ'ye hızlı ve güvenilir bir şekilde aktarmayı amaçlamaktadır. Aynı bağlantı ayrıca dâhili bilgisayarı ve kamerayı kontrol etmek için de kullanılır. İHS'deki Ubiquiti Raket M5 ve YKİ'deki Ubiquiti Nanostation M5 platformları gerekli iletişimi sağlamak için kullanılmıştır.

Güvenlik pilotunun İHS kontrolü için radyo kontrol bağlantısı (RC) kurulmuştur. Bu bağlantı İHS'nin uçuş modunu kontrol etmeyi ve değiştirmeyi sağlamaktadır. Buna ek olarak, acil durumlarda güvenlik pilotu İHS'nin kontrolünü manuel olarak yapabilmektedir.

5. SİSTEM BÜTÜNLEME

Yukarıda belirtilen tüm sistemler belirli bir yapı altında birleştirilerek senkron şekilde çalıştırılmaktadır. Şekil 8'de, uçak üzerine yerleştirilen sistemler ve YKİ şematik gösterimi verilmiştir. Bu şema, hem döner kanatlı hem de sabit kanatlı sistemlerimize gerekli gövdesel optimizasyonlar sonrası yerleştirilebilmektedir.





6. SONUÇ

Bu çalışmada, Anadolu Üniversitesi kapsamında Keşif, Gözetleme, İstihbarat (KGI) amaçlı geliştirilen İnsansız Hava Sistemi (İHS) çalışmaları anlatılmıştır. Bu çalışmalar 2014 yılında başlatılmış ve nitel değerlendirme için düzenli olarak AUVSI derneğinin düzenlediği öğrenciler arası insansız hava sistemleri (SUAS) yarışmasına katılım sağlamayı hedeflemiştir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar sonucunda önemli bilgi birikimi sağlanmış, pek çok görevi otonom yerine getirebilen sistemler geliştirilmiştir [4-9]. Bu çalışmalar sayesinde özellikle otonom İHA sistemleri üzerine gelişme altyapısı sağlanmış durumdadır. İlerleyen aşamalarda özgün oto-pilot ve özgün hava aracı tasarımlarının geliştirilerek ilgili çalışmalarda bu özgün yapıların kullanılması hedeflenmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Anadolu Üniversitesi tarafından Bilimsel Araştırma Projeleri 1702F030 Numaralı 'Otonom Uçuş ve Seyrüsefer Yapabilen Görev Odaklı İnsansız Hava Sistemi Geliştirilmesi' Projesi kapsamında desteklenmektedir.

KAYNAKÇA

1. **Austin, R.** 2010. *Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design Development and Deployment* Wiley & Sons, England.
2. **Grand View Research.** 2017. "Commercial UAV Market Analysis by Product (Fixed Wing, Rotary Blade, Nano, Hybrid), by Application (Agriculture, Energy, Government, Media & Entertainment) and Segment Forecasts to 2022," <http://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/commercial-uav-market>, son erişim tarihi: 9.12.2016.
3. **Auvsu Suas.** 2017. "Association for Unmanned Vehicle Systems International Student Unmanned Aerial Systems Competition Hosted by the AUVSI Seafarer Chapter," <http://www.auvsu-suas.org/competitions/2017/>, son erişim tarihi: 9.12.2016.
4. **Bahat, M. F., Filik, T.** 2015. "GPS-Based Antenna Tracking and Signal Beamforming System for Small UAV Platform," IEEE, 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 16-19 May 2015, Malatya.
5. **Özalbant, Z., Filik, T., Kavsaoglu, M. Ş.** 2015. "Signal Analysis and Filtering for Low Cost IMU Measurements," 8th International Aerospace Conference, 10-12 September 2015, METU, Ankara.
6. **Savaş, T., Filik, T.** 2015. "Development of an Experimental UAV System for Student Unmanned Aerial System Challenge at Anadolu University," 8th International Aerospace Conference, 10-12 September 2015, METU, Ankara.
7. **Savaş, T., Filik, T.** 2015. "Anadolu Üniversitesi'nde Otonom Arama ve Kurtarma Amaç-



lı Deneysel İHA Sistemi Geliştirme Çalışmaları,” TMMOB Makina Mühendisleri Odası VIII. Ulusal Uçak, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Kurultayı - UHUM 2015, 22-23 Mayıs 2015, Eskişehir.

8. **Uysal, C., Filik, T.** 2015. “A sparse Approach for the Presence Detection of Long-Code DS-SS Signals,” IEEE, 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 16-19 May 2015, Malatya.
9. **Uysal, C., Filik, T.** 2015. “A Joint Detection and Localization Method for Non-Cooperative DS-SS Signals,” Military Communications Conference, MILCOM 2015 - 2015 IEEE, 26-28 October 2015, Tampa, ABD.



Sistemin iyileştirme öncesi, pompaların harcadığı mevsimsel güç ve maliyet analizi Tablo 1’de görülmektedir. Tablo incelendiğinde, kış koşullarında sisteme ait iki pompa sürekli çalışırken, pompalar sisteme saatte 525 m³ su pompalamakta olup 240 kW elektrik tüketmektedir. Yaz koşullarında ise mevsim şartlarına bağlı olarak soğutma kapasitesinin düşmesinden dolayı üç pompa çalıştırılmakta olup saatte 773 m³ su pompalayarak 347 kW elektrik tüketmektedir. Toplamda ise kış koşullarında pompaların yılda ortalama 5 000 saat, yaz koşullarında ise 3.000 saat çalıştığı kabulü ile yılda harcadığı toplam enerji miktarı yaklaşık 2.241.000 kWh olmaktadır. Yıllık toplam enerji maliyeti ise yaklaşık 515.361 TL olarak gerçekleşmektedir. Sistemde pompa salyangozu üzerine montajı yapılan ve akredite kuruluş tarafından kalibrasyonu bulunan analog manometre kullanılarak basınç ölçümleri yapılmıştır. Yine sistem üzerinde debi ölçümleri, Krohne UF 610 model ultrasonik debimetre ile yapılmıştır. Ölçümlerin güvenilirliği ultrasonik debimetre üreticisi tarafından kalibre edilmiştir. Pompa güç tüketimleri, kalibrasyonu yapılmış güç analizörü kullanılarak ölçülmüştür.

2.2 Metod

Bu çalışmada, bir demir çelik tesisinde bulunan SDM’ye ait altı adet yol üzerindeki bakır kalıpların soğutulmasını sağlayan kapalı çevrim soğutma sistemi ve bu sistemin soğutulmasını sağlayan açık çevrim sekonder devre soğutma sistemi incelenmiştir. Mevcut sistem üzerinde yapılan değerlendirmeler neticesinde;

- Şekil 1’de görülen sistemin ayrıntılı incelenmesi neticesinde pompanın etiket değeri verileri olan $Q = 500 \text{ m}^3/\text{saat}$ ve $H_m = 60 \text{ m}$ değerine uygun olarak çalışmadığı,

Tablo 1. İyileştirme Öncesi Pompaların Harcadığı Mevsimsel Güç ve Maliyet Analizi

Kış Koşullarında				Yaz Koşullarında			
Pompa Saatlik Güç Sarfiyat Ortalaması	Pompa 1	Pompa 2	Toplam	Pompa Saatlik Güç Sarfiyat Ortalaması	Pompa 1	Pompa 2	Toplam
	117 kWh	123kWh	240 kWh		111,6 kWh	118,5 kWh	346,9 kWh
Debi (m ³ /Saat)	525 m ³ /saat			Debi (m ³ /Saat)	773 m ³ /saat		
Basınç (Mutlak)	3,9 bar			Basınç (Mutlak)	4,5 bar		
Yıllık Çalışma Saati 5.000 Saat				Yıllık Çalışma Saati 3.000 Saat			
Birim Enerji Maliyeti (TL)	0,23 TL			Birim Enerji Maliyeti (TL)	0,23 TL		
Toplam Harcanan Güç	(5.000*240 kWh)+(3.000*346.9 kWh) = 2.241.000 kWh						
Toplam Enerji Maliyeti	(Kış Koşulları Enerji Tüketim Tutarı)+(Kış Koşulları Enerji Tüketim Tutarı)						
Toplam Enerji Maliyeti	(240*5.000*0.23)+(346,3*3.000*0.23) 515.361 TL						

- Tek pompanın sağlaması gereken debinin iki pompa çalıştırılarak sağlanabildiği,
- Bu durum pompaların verimsiz şekilde çalıştığının göstergesi olup yapılan bu tespitin ardından sistem üzerinde mevcut pompalar kullanılarak verimlilik iyileştirme çalışmaları,
- Mevcut durumda soğutma prosesinde kullanılan plakalı tip eşanjörün soğutma kapasitesinin artan üretim kapasitesi sonucu yetersiz kaldığı, sistem ihtiyacını karşılayacak daha büyük ısı kapasiteli bir plakalı eşanjör temini neticesinde, ihtiyaç duyulan pompa debi miktarının düşürülüp düşürülemeyeceği hususları,
- Aynı zamanda pompaj sistemi üzerindeki kayıp katsayıları yüksek ya da uygun olmayan boru çaplarının kontrolünün sağlanması,
- Uzun zamandır kullanılmakta olan ve defalarca kez tamir edilen elektrik motorlarının yerine yüksek verimli elektrik motoru kullanılması sonucu enerji tasarrufu sağlanabileceği durumu irdelenmiştir.

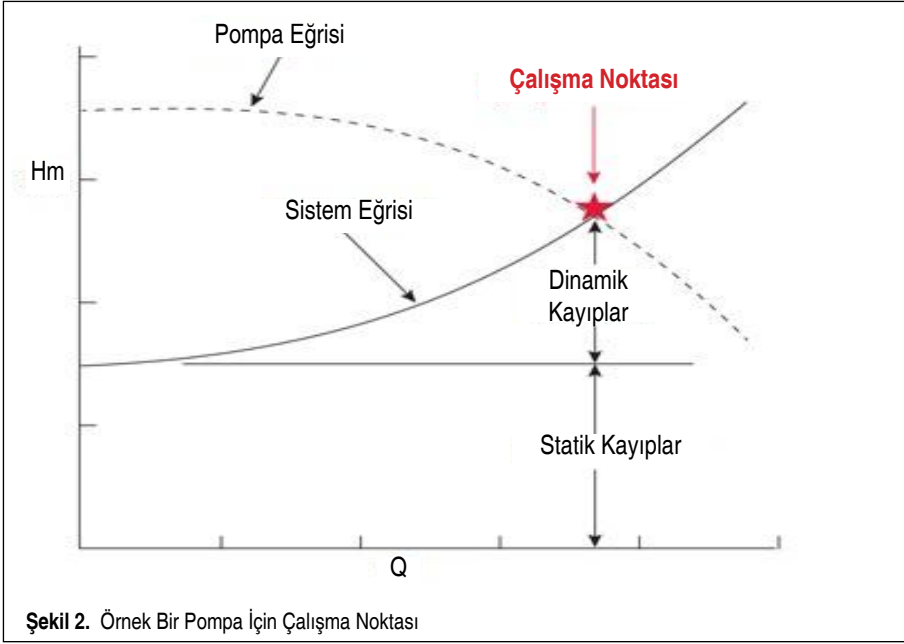
Genel olarak, bir pompa ve pompaj sisteminde karşılaşılan problemler aşağıda belirtilmiştir.

- 1) Pompa seçilirken, hesaplanan değerlerin üzerine emniyet payları da eklenerek, basınç ve debi değerlerinin artırılması sonucu pompa eğrisi üzerinde en verimli noktadan uzaklaşması,
- 2) Pompa boru tesisatı üzerine gereksiz ekipmanların koyulması neticesinde yerel kayıpların artması, sistemde tesisata yüksek kayıp katsayısı olan ekipmanlarının seçilmesi, boru çapının küçük seçilmesi neticesinde yüksek akışkan hızının oluşması ile dinamik kayıpların artması,
- 3) Pompa bakımları esnasında özellikle salyangoz, çark gibi ekipmanların aşınmalarının önemsizlenmemesi, üzerlerinde oluşan yüzey pürüzlülüklerinin giderilmemesi sonucu verim düşüşleri görülmektedir. Bu tip hasarlı ve aşınmış yüzeyler pompada %1-2 verim düşüşüne neden olabilmektedir [6].

Pompaj sistemi tasarımında ya da mevcut sistemde enerji tasarruf potansiyeli irdelenirken, yüksek verimli sistem oluşturulması için aşağıdaki temel hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

Pompa Karakteristiği ile Çalışacağı Sistemin Uyumu: Sistem eğrisi ile pompa eğrisinin kesişme noktası, pompa çalışma noktasını vermekte olup sistem için en uygun pompanın tespiti yapılmaktadır (Şekil 2).

Değişken Debili Çalışmaya Uygun Sistem Olup Olmaması: Statik kayıpların büyük, dinamik kayıpların ise küçük olduğu sistemler üzerinde, yüksek verime sahip pompa seçimi ile sabit debide çalışmak en uygun yaklaşım olmaktadır. Eğer sistem

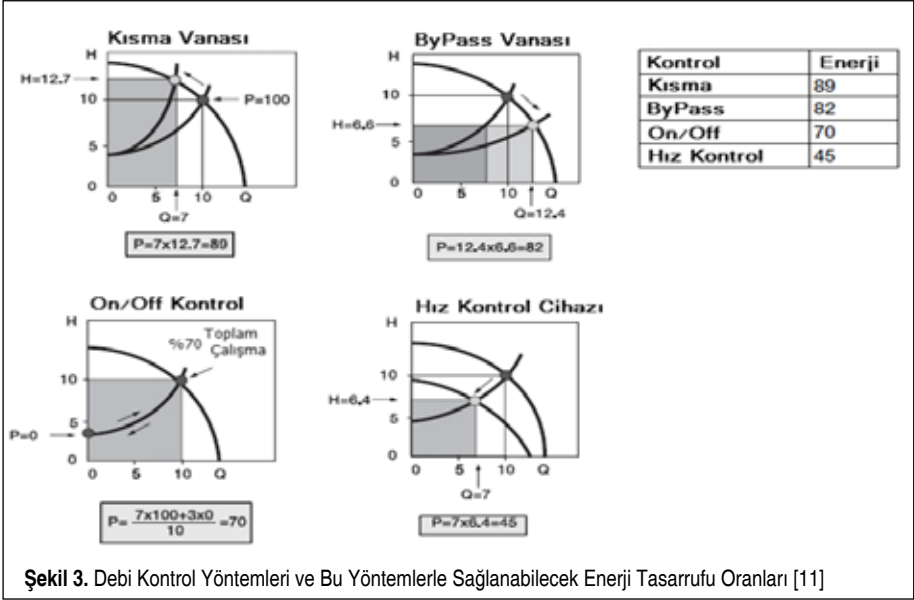


üzerinde dinamik kayıplar büyük ise sistem, değişken debili çalıştırılmaya uygun olup çeşitli yollar ile enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Değişken debiye uygun sistemler için uygulanabilecek çalışma yöntemleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- 1) Kısmi Vanası ile Kontrol
- 2) By-Pass Vanası ile Kontrol
- 3) On/Off ile Kontrol
- 4) Değişken Hızlı Sürücü ile Kontrol (Frekans Kontrol)

Debi kontrol yöntemleri ve bu yöntemlerle sağlanabilecek enerji tasarrufu oranları hesabı Şekil 3'te görülmektedir. Şekil incelendiğinde, sistem üzerinde 10 birimlik debinin 7 birime düşürülmesi için çeşitli debi kontrol yöntemleri denenmiştir. Kısmi vanası ile debi kontrol yönteminin, 89 birim ile en yüksek enerji harcadığı görülür iken değişken hızlı sürücü ile kontrolde bu oran 45 birim olarak gerçekleşmektedir. Debi kontrolünde en verimsiz yöntemin kısmi vanası olduğu görülür iken değişken hızlı sürücü ile debi kontrolünün en verimli yöntem olduğu görülmektedir. Frekans kontrollü sistem, genel manada pompanın devrini sıcaklık, basınç vb. gibi şarta bağlı olarak yükselterek ya da düşürerek pompanın değişken debili çalışmasını sağlayan cihazdır. Bu cihazlar kendileri de bir miktar elektrik tüketse dahi verimsiz sistemler üzerinde kullanıldığında büyük enerji tasarrufu sağlayabilmektedir.

Frekans konvertörü kullanımı ile devir sayısının düşürülmesi neticesinde güç mikta-



rının değişimi, benzeşim formülleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Eşitlik 1’de güç oranlarının, devir sayıları oranının küpü ile orantılı olarak değiştiği görülmektedir.

$$P_1/P_2 = (n_1/n_2)^3 \quad (1)$$

Burada P_1 ve P_2 gücü, n_1 ve n_2 ise devir sayısını göstermektedir.

Boru ve Tesisat Elemanları Uygunluğu: Boru ve tesisat elemanları seçimi pompanın harcayacağı enerjinin belirlenmesinde çok önemli parametrelerden bir tanesidir. Tesisat üzerine koyulacak tüm ekipmanların düşük kayıp yüküne sahip olanlardan seçilmesi gerekmektedir. Bunlara ek olarak bir pompa tesisatında boru çapları dinamik kayıplar açısından önem arz etmektedir. Akışkan hızı 1,5-3 m/s olacak şekilde boru çapları belirlenmelidir [8]. Zaman zaman, belirlenen boru çapının bir üstünü seçmek kayıpları büyük ölçüde azaltırken, tesisat da doğru kesit alana sahip boru seçilmesi büyük enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Pompa emme ve basma hatlarında bu durum özellikle irdelenerek tasarımlar yapılmalıdır. Ayrıca, pompa emme ve basma hattı mümkün olduğunca kısa ve düz olmalıdır. Tesisat üzerinde ani dönüşlerden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Bu durum aynı zamanda kavitasyon riskini de azaltacaktır. Emme boru çapı tayin edilirken, pompa emme ağzı çapından asla küçük çapta tercih edilmemelidir. En ideal hız ise 1,5-2 m/s olacak şekilde emme boru çapını tayin etmektir. Bu hızlara erişmek için seçilen boru çapı, büyük çoğunlukla pompa emme ağzı çapının bir veya iki çap üzerinde seçilmelidir [9]. Eğer akışkan kirli ise katı parçacıkların çökmesine neden olduğundan dolayı 1 m/s



altındaki hızlara düşülmemelidir. Eğer emme ağzında bir redüksiyon kullanılacaksa eksantrik redüksiyon kullanılması hava cebi oluşmasını önlemektedir. Filtre kullanılan emme hatlarında filtre kesit alanı, emme borusu kesit alanının üç katı kadar olması gerekmektedir [8]. Filtre, sistemde sıvı akışkan içerisindeki büyük parçacıkların çarka girmesini önlemek için kullanılmaktadır; özellikle negatif emişe sahip sistemlerde filtrenin tıkanması pompanın susuz çalışmasına neden olmaktadır.

Pompanın Standartlara Uygunluğu: Pompalar satın alınırken, minimum verim indeksi (MEI) değeri, pompa kabul testleri standardı (ISO 9906), debi ölçümü standartları, DIN 1944 gibi birçok standarda sahip olması gerekmektedir. Bu tip standartlara uygun olmayan pompalar üretici tarafından garanti edilen performans değerlerinin test edilmediği ve performansı konusunda emin olunamayan pompanın satın alındığı anlamını taşımaktadır. Ayrıca Avrupa Birliği teknik mevzuatı uyum çalışmaları neticesinde, ithal edilen ürünlerde CE işareti taşıma zorunluluğu getirilmiştir. CE işareti kalite anlamında ürünü doğrudan etkileyen bir veri olmamasına rağmen, satın alınan ürünün canlılar ve çevre açısından güvenli olduğunu ifade etmektedir.

Ömür Boyu Maliyet (ÖBM): Europump ve Hidrolik Enstitüsü tarafından ortaya atılmış bir kavramdır. Bu kavram ile pompaj sistemi tasarlanırken yalnızca satın alma maliyetinin değil ilk yatırım, montaj, enerji ve işletme maliyetleri gibi faktörlerin de göz önünde bulundurularak pompaj sistemi masraflarının en aza indirilip, sistem verimini maksimuma çıkarmak adına geliştirilmiş bir kavramdır. Bu kavram yeni tasarlanan sistemler için göz önünde tutulduğu gibi, mevcut sistemi iyileştirmek adına da kullanılabilir [3].

$$\begin{aligned} \text{ÖBM} = & M_{\text{İLK YATIRIM}} + M_{\text{MONTAJ}} + M_{\text{ENERJİ}} + M_{\text{İŞLETME}} + \\ & M_{\text{BAKIM}} + M_{\text{ÇALIŞMAMA}} + M_{\text{ÇEVRE}} + M_{\text{SÖKME}} \end{aligned} \quad (2)$$

Burada, pompa seçiminde yalnızca pompa satın alma maliyetinin yetersiz kalacağı, bunun yanında işletme-bakım, enerji-tüketim maliyeti kadar, arıza halinde üretim kaybı maliyeti gibi hususların dikkate alınması gerekliliğinin doğru pompa seçilmesi adına önemli kriterler olduğunu göstermektedir. Ortalama 20 yıllık ömrü boyunca, satın alma maliyetinin 17-20 katı kadar enerji harcamakta olup sadece satın alma maliyeti ile pompa satın almanın yanlış tercih olduğu görülmektedir [7].

Yüksek Verimli Motor Kullanımı: Elektrik motorlarının mümkün olduğu kadar yüksek verimli seçilmesi gerekmektedir. İlk yatırım maliyetleri kıyaslandığında, standart motor ile yüksek verimli motor arasında %15- 20 gibi bir maliyet farkı bulunmaktadır. Fakat standart verimli motor verimi %88 iken yüksek verimli motorlarda verim %93'lere ulaşmaktadır. Verimlilikleri arasındaki farklar göz önüne alındığında, %15-20 dolaylarında olan ilk yatırım maliyetinin göz ardı edilebileceği aşıkardır. Bir

diğer husus ise arızalanan elektrik motorların defalarca kez sarılarak kullanılması her seferinde %0,5 gibi bir verim düşümüne neden olmaktadır [12].

Bunlara ek olarak yapılacak iyileştirmelerin elektrik sarfiyatını azaltacağı ve işletmeye ekonomik katkılar sağlayacağı gerçeği yanında, karbon salınımının düşürülmesi ile küresel ısınmanın yaratacağı felaketlerin de azaltılmasını sağlamak mümkün olmaktadır. Bir işletmede elektrik tüketimine bağlı karbon salınım miktarı, o işletmedeki elektrik tüketimi ile emisyon faktörünün çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. Ülkelere özgü emisyon faktörü, ülke genelinde üretilen elektriğe bağlı emisyon değerinin o ülkede üretilen toplam elektrik miktarına oranı ile belirlenmektedir [13]. Ülkemiz için birim kilovat/saat elektrik tüketimine bağlı salınım miktarı “0,865664547” kg CO₂ olarak belirlenmiş olup salınım miktarı;

$$\text{Salınım Miktarı (kg CO}_2\text{)} = \text{Üretilen Elektrik (kWh)} \times 0,865664547 \quad (3)$$

eşitliği ile elde edilmektedir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Demir-çelik tesislerinde bulunan sürekli döküm merkezlerinde tandış içerisindeki sıvı çeliğin bakır kalıplardan geçirilip belirli formlara getirilerek çeşitli ölçülerde elde edilen kütüklerin, bakır kalıpta ani soğuması ile önce dış cidarın katılaşması sağlanır. Bu bakır kalıpların ise etkili şekilde soğutulması için iyi tasarlanmış bir soğutma sistemi oluşturulmalıdır. İşte bu soğutma sistemi üzerinde yapılabilecek iyileştirme çalışmaları potansiyelinin incelenmesi neticesinde büyük enerji tasarruflarının yapılabileceği görülmektedir.

3.1 Sistemde Yapılan İyileştirmeler

Sistemin iyileştirme sonrası durumu Şekil 7’de görülmektedir. Yukarıda verilen unsurlar ışığında yapılan değerlendirmeler neticesinde:



Şekil 4. Eşanjörlere ait Görüntüler: a) Eski Eşanjör, b) Yeni Eşanjör



1. Sistem üzerinde soğutma sağlayan eşanjör daha büyük kapasiteli bir eşanjör ile değiştirilmiştir (Şekil 4).
2. Boru çapları kontrol edilerek, basma hattındaki boru çapının olması gereken akışkan hız değeri aralığı için uygun olduğu görülmüştür.
3. Sistem üzerinde emme hattına manometreler konulmuş ve pozitif deplasmana sahip bu sistemde, emme hattında vakum olduğu görülmüştür. Bu yüzden, havuz içerisinde bulunan filtrenin geçirgenlik alanı hesaplanmış olup istenilen aralıkta olmadığı için filtre geçirgenliği daha büyük olan filtreler ile değişimi yapılmıştır.
4. Pompa emme kolektörüne Ø250 mm uzunluğunda bir adet daha boru bağlantısı havuzdan yapılmış ve bu sayede emme kolektörüne daha fazla su girmesi sağlanmıştır. Ø400 mm'lik emme kolektörü, çapı Ø550 mm boru ile değiştirilmiştir.
5. Pompaları frekans konvertörü ile değişken debide çalıştırmak için bir mantık geliştirilmesine karar verilmiştir.
6. Yaklaşık yirmi yıldır çalışan pompalara ait salyangoz içerisi ve çark üzerinde aşınan kısımlar seramik kaplama yapılarak pompa performansının artırılması hedeflenmiştir (Şekil 5).

Pompaya ait elektrik motoru defalarca kez sarılıp veriminin düşmesinden dolayı yüksek verimli elektrik motoru ile değiştirilmiştir (Şekil 6).

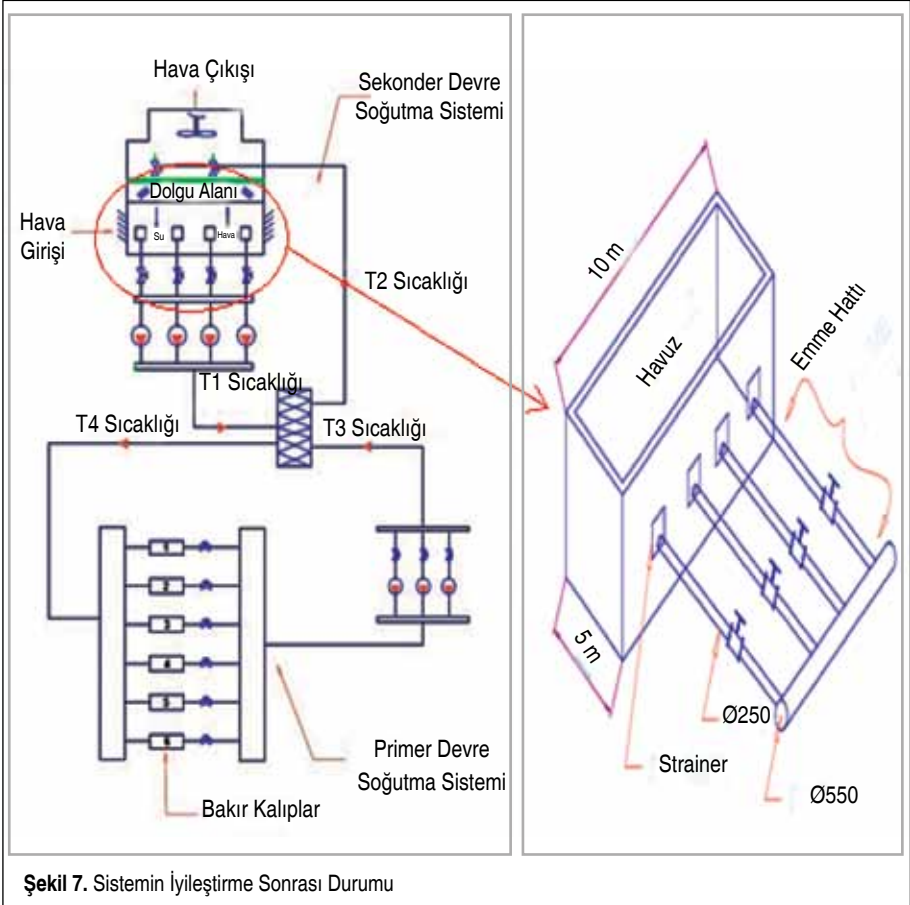
İyileştirme sonrası, sistemin kule su dönüş sıcaklığı (T_2) takip edilerek pompaların frekans konvertörü ile yönetilmesine karar verilmiştir. SDM operatörleri ile görüşülerek, kalıp soğutma suyu dönüş sıcaklığı (T_3), güvenli sıcaklık olarak belirlenen 45°C'nin üzerine çıkmasına müsaade etmeyecek kule dönüş sıcaklığı (T_2) belirlenmeye çalışılmıştır. Denemeler neticesinde T_2 set sıcaklığı 34°C olarak belirlenmiştir. Ardından, PLC kontrollü otomasyon sistemine T_2 set sıcaklığı 34°C,



Şekil 5. Çarklara ait Görüntüler: a) Eski Çark, b) Kaplanan Çark



Şekil 6. Elektrik Motorlarına ait Görüntüler: a) Eski Motor, b) Yeni Motor





pompa alt limiti 1300 devir/dakika ve pompa üst limiti 1450 devir/dakika verileri girilerek sistemin otomatik kontrollü olarak çalıştırılması sağlanmıştır. Bu mantığın geliştirilmesinin ardından, sistemde anlık gerçek T_2 sıcaklığı, T_2 set sıcaklığına ulaştığında otomasyon programı pompa devrini yükseltecek şekilde, T_2 set sıcaklığının altına düştüğünde ise pompa devrini düşürecek şekilde çalışması sağlanmıştır. Böylece, pompaların minimum 1300 devir/dakika, maksimum ise 1450 devir/dakika aralığında çalışıp soğutma suyu sıcaklığı (T_3) 45°C 'yi geçmeyecek şekilde değişken debili olarak soğutma yapılması sağlanmıştır.

Sistemin iyileştirme sonrası, mevsimlere bağlı olarak pompaların harcadığı güç ve maliyet analizi Tablo 2'de görülmektedir. Tablo incelendiğinde, iyileştirme sonrası enerji sarfiyatı kış koşullarında ortalama 240 kWh'ten 109 kWh'e, yaz şartlarında ise yaklaşık 347 kWh'ten 125 kWh'e düşmüştür. Toplamda yıllık enerji sarfiyatı ise 2.241.000 kWh'ten 920.000 kWh değerine kadar düşürülmüştür. Ekonomik olarak kıyaslanırsa yıllık yaklaşık 515.361 TL değerinden 211.600 TL değerine düşürülerek ortalama yıllık 303.761 TL tasarruf sağlanmıştır.

Sistemin iyileştirilmesi için yapılan yatırım maliyetleri Tablo 3'te görülmektedir. Tablo incelendiğinde, iyileştirme çalışmaları sonucunda satın alınan ya da bakımı yapılan ekipmanlar için yaklaşık olarak 266.685 TL harcanmıştır. Sistem üzerinde yapılan iyileştirme neticesinde sağlanan enerji tasarrufunun ekonomik karşılığı ise yıllık olarak yaklaşık 303.761 TL olarak hesaplanmıştır. Bu durumda yapılan yatırımın geri ödeme süresi ise yaklaşık 11 ay olarak bulunmuş olup, yatırımlar gerçekleştirilmiştir.

Yıllık çalışma saatine ve elektrik üretimine bağlı karbon salınım azalımı Tablo 4'te verilmektedir. Tablo incelendiğinde, sistem üzerinde yapılan iyileştirme neticesinde

Tablo 2. Sistemin İyileştirme Sonrası Mevsimlere Bağlı Olarak Pompaların Harcadığı Güç ve Maliyet Analizi

Kış Koşullarında			Yaz Koşullarında		
Pompa Saatlik Güç Sarfiyat Ortalaması	Pompa 1	Toplam	Pompa Saatlik Güç Sarfiyat Ortalaması	Pompa 1	Toplam
	109 kWh	109 kWh		125 kWh	125 kWh
Debi (m^3/Saat)	580 m^3/saat		Debi (m^3/saat)	655 m^3/saat	
Basınç (Mutlak)	2 bar		Basınç (Mutlak)	2,5 bar	
Yıllık Çalışma Saati 5000 Saat			Yıllık Çalışma Saati 3000 Saat		
Birim Enerji Maliyeti (TL)	0,23 TL		Birim Enerji Maliyeti (TL)	0,23 TL	
Toplam Harcanan Güç	$(5.000 \cdot 109 \text{ kWh}) + (3.000 \cdot 125 \text{ kWh}) = 920.000 \text{ kWh}$				
Toplam Enerji Maliyeti	(Kış Koşulları Enerji Tüketim Tutarı) + (Kış Koşulları Enerji Tüketim Tutarı)				
Toplam Enerji Maliyeti	$(109 \cdot 5.000 \cdot 0.23) + (125 \cdot 3.000 \cdot 0.23) = 211.600 \text{ TL}$				

Tablo 3. Sistemin İyileştirilmesi İçin Yapılan Yatırım Maliyetleri

Maliyet Kalem Adı	Fiyatı (€)	Fiyatı (TL)
Eşanjör	23.000	89543,6
Frekans Konvertörü	21.000	81757,2
Yeni Elektrik Motoru	13.500	52558,2
Pompa Emme Hattı Revizyonu	4.000	15572,8
Pompa Bakımı (Çark, Salyangoz vs.)	4.000	15572,8
İşçilik Maliyeti ve Diğer Maliyetler	3.000	11679,6
Toplam Harcanan Tutar	68.500	266.684,2
Toplam Harcanan Tutar TL Karşılığı (20 Mart 2017 Tarihli Merkez Bankası Kur Karşılığı)		

Tablo 4. Yıllık Çalışma Saatine ve Elektrik Üretimine Bağlı C Salınım Azalımı

Karşılaştırma Kriteri	Yıllık Çalışma Süresi (Saat)	Elektrik Tüketimi (kWh/Yıl)	C Salınımı Azalımı (Ton/Yıl)
İyileştirme Öncesi	8.000	2.241.000	1.940
İyileştirme Sonrası	8.000	920.000	796,5
Elektrik Tasarruf ve Karbon Salınımı Azalımı	8.000	1.321.000	1.142,50

yapılan enerji tasarrufu ile karbon emisyonunda yıllık ortalama 1.143,5 Ton karbon emisyon azalımı sağlanmaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, bir demir-çelik tesisinde bulunan sürekli döküm merkezlerinde yer alan soğutma sistemindeki pompa ve pompaj sistemlerinin enerji verimliliği araştırılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde emme hattı üzerinde filtre, emme hattına ilave emme borusu montajı, kollektör gibi ekipmanlarda iyileştirilme sağlanmıştır. Aynı zamanda yaklaşık yirmi yıldan bu yana kullanılan pompalar sökülerek içerisindeki aşınmalar seramik kaplanarak verim düşümüne neden olabilecek pürüzlülükler giderilmiştir. Arızalanma neticesinde birçok defa sarıma giden elektrik motorları yerine yeni elektrik motoru kullanılmıştır. Soğutma kapasitesi yetersiz olan plakalı eşanjör yenisi ile değiştirilip kapasite artışı sağlanmıştır. Böylece, sürekli döküm merkezinin çalışma rejimindeki değişikliklerden yararlanılarak pompaların set/referans T_2 sıcaklığına göre çalıştırılması sağlanmıştır.

Çalışma neticesinde yapılan iyileştirmeler ile enerji sarfiyatı kış koşullarında ortalama 240 kWh'ten 109 kWh'e, yaz şartlarında ise yaklaşık 347 kWh'ten 125 kWh'e düşürülmüştür. Yıllık elektrik sarfiyatı toplamda yıllık %59 oranında düşürülmüştür. Eko-

nomik olarak yıllık yaklaşık %59 tasarruf sağlanmıştır. Yapılan yatırımın geri ödeme süresi ise yaklaşık 11 ay olarak bulunmuş olup, yatırımlar gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında, sistemde yapılan enerji tasarrufu ile de karbon emisyonunda yıllık ortalama 1143,5 ton karbon emisyon azalımı sağlanmıştır.

KISALTMALAR

T	Sıcaklık (°C)
Hm	Manometrik Yükseklik (m)
Q	Debi (m ³ /Saat)
P	Efektif Güç (kWh)
n	Devir Sayısı (Devir/Dakika)

KAYNAKÇA

1. **Esen, K.** 2015. “Türkiye ve Dünyada Elektrik Motorları Enerji Tüketimi ve İlgili Teknik Mevzuat,” Elektrik Mühendisleri Odası, 6. Enerji Verimliliği, Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi, 4-6 Haziran 2015, Sakarya.
2. European Commission. 2001. Study on Improving The Energy Efficiency of Pumps, http://www.waterygymex.org/Waterygymex%20Toolkit/resources/53_Improving%20Energy%20Efficiency%20of%20Pumps.pdf, son erişim tarihi: 18.01.2017.
3. Europump, Hydraulic Institute. 2001. A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems, ISBN: 9781880952580, Office of Industrial Technologies Energy Efficiency and Renewable Energy, USA.
4. **Kaya, D., Yağmur, E. A., Yiğit, K. S., Kılıç, F. C., Eren, A. S., Çelik, C.** 2008. “Energy Efficiency in Pumps,” Energy Convers Management, vol. 49, no. 6, p. 1662-73.
5. **Moreno, M., Carrion, P. A., Planells, P., Ortega, J. F., Tarjuelo, J. M.** 2007. “Measurement and Improvement of the Energy Efficiency at Pumping Stations,” Options Mediterraneennes: Seri B, Etudes et Recherches, vol. I, no. 56, p. 353-366.
6. **Çuha, D.** 2008. “Pompa Santrifüj Pompa Sistemlerinde Enerji Tasarrufu,” http://www.normenerji.com.tr/menus/Pompa-Sistemlerinde-Enerji-Tasarrufu_250220120226071021274173.pdf, son erişim tarihi: 28.03.2017.
7. **Yumurtacı, Z., Sarıgül, A.** 2011. “Santrifüj Pompalarda Enerji Verimliliği ve Uygulamaları,” TMMOB MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi, sayı 122, s. 49-58.
8. **Çuha, D.** 2011. “Santrifüj Pompanın Emme Hattı Nasıl Olmalı,” Gazete Grundfos, vol. March 2011.
9. **Şen, M.** 2011. Santrifüj Pompalar ve Pompa Tesisatı, MAS-DAF Makine Sanayi A.Ş., İstanbul.

10. **Foray, J.** 2014. “Energy Efficiency Considerations in Pumps and Pump Stations,” WSU Extension Energy Program, 14 March 2014, Washington State University, USA, <http://www.energy.wsu.edu/LinkClick.aspx?fileticket=t3ubiA8D8A4%3D&tabid=692&mid=1345>, son erişim tarihi: 11.01.2017.
11. ABB. “Pompalarda Hız Kontrol Cihazı Uygulamaları,” <http://slideplayer.biz.tr/slide/2395688/>, son erişim tarihi: 24.02.2017.
12. T. C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Verimlilik Genel Müdürlüğü. 2015. Elektrik Motorlarında Enerji Verimliliği, T. C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ankara.
13. **Brander, M.** 2011. “Electricity-Specific Emission Factors for Grid Electricity,” <https://ecometrica.com/assets/Electricity-specific-emission-factors-for-grid-electricity.pdf>, son erişim tarihi: 28.02.2017.

DP1000 Çelik Sacların Uzaktan Lazer (RLW) ve Direnç Nokta Kaynaklı (RSW) Birleştirmelerinin Çekme ve Yorulma Özelliklerinin İncelenmesi

Bülent Aydemir^{*1}

Emel Aydemir²

Erdoğan Kaluç³

ÖZ

Otomotiv endüstrisinde çift fazlı (Dual Phase - DP) çelik alaşımlarının kullanımı sürekli artmaktadır. DP çelik sacların farklı türleri (örneğin DP600, DP760, DP1000) otomobil gövde parçalarının üretiminde tercih edilmektedir. Bu şekilde, otomobilde ağırlık azaltılabilmekte ve araç yakıt ekonomisi elde edilmektedir.

Bu çalışmada, otomotiv gövde sacı olarak kullanılan DP1000 malzemeden hazırlanmış numuneler kullanılmıştır. Numuneler endüstriyel koşullarda, direnç nokta kaynağı (RSW) ve uzaktan lazer kaynağı (RLW) yöntemleri ile birleştirilmiş bağlantılarının çekme mukavemeti ve sertlik değişimleri incelenmiştir. Çekme mukavemeti değişimlerinde kaynaklı parçaya göre kaynaklı parçalarda yaklaşık %30'luk bir mukavemet kaybı bulunmuştur. Ayrıca her iki kaynak yöntemi ile birleştirilerek oluşturulan bağlantıların eksenel kuvvet altında Wöhler eğrileri oluşturulmuş ve değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, direnç nokta kaynaklı ve uzaktan lazer kaynaklı bağlantıların yaklaşık aynı yorulma davranışı gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: DP1000, direnç nokta kaynağı (RSW), uzaktan lazer kaynağı (RLW), yorulma

Investigation of Tensile and Fatigue Properties of DP1000 Steel Sheets Joints with Remote Laser (RLW) and Resistance Spot Welded (RSW)

ABSTRACT

The use of Dual Phase (DP) steel alloys in the automotive industry is consistently increasing. Various DP type steel sheets (DP600, DP760, DP1000 i.e.) are preferred in the production of parts such as automobile body material. In this way, automobile body weight can be reduced and vehicle fuel economy can be obtained.

In this study, DP1000 samples, which are used as automotive body sheet material, were used. Sample sheet couples were joined with resistance spot welding (RSW) method and remote laser welding (RLW) method in industrial conditions. Tensile strength and hardness change of them were investigated. In the tensile strength changes, a loss of strength of about 30% was found in the welded parts compared to the non-welded part. Also, Wohler curve, under the axial forces for samples joints of both welding method, were generated and evaluated. As a result, it was observed that resistance spot and remote laser welded DP1000 steel sheets were approximately observed similarly in fatigue strength properties.

Keywords: DP1000, resistance spot welding (RSW), remote laser welding (RLW), fatigue

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 09.02.2016

Kabul/Accepted : 13.04.2017

¹ Tübitak UME, Tübitak Gebze Yerleşkesi, Kocaeli - bulent.aydemir@tubitak.gov.tr

² Ford Otosan Ürün Geliştirme, Kocaeli - eaydemir@ford.com.tr

³ Prof. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Kocaeli - ekaluc@kocaeli.edu.tr



1. GİRİŞ

Günümüz otomotiv endüstrisinde rekabet koşulları, üretim ve kullanımda enerji tasarrufu gibi kriterler için yeni tasarımları, yeni üretim tekniklerini ortaya koyma ve uygulama arayışlarına ivme kazandırmaktadır.

Otomobil üretiminde preslenmiş, kesilmiş ve talaş kaldırılarak işlenmiş parçalar, farklı bağlantılar (örneğin cıvata, perçin, kıvrırma, lehimleme, yapıştırma) ve en yaygın olarak da kaynak yardımıyla birbirlerine birleştirilmektedir. Toplam kaynaklar; yaklaşık 3000 ile 5000 adet elektrik direnç nokta kaynağından, 30 metre kadar ark kaynağından, 1 metre elektron ışın kaynağından ve 15 adet de sürtünme kaynağından oluşmaktadır. Dolayısıyla, araç gövde üretiminde kullanılan çelik sacların birleştirilmesinde, otomasyona uyumlu olmaları nedeniyle, sırasıyla, en çok elektrik ark, direnç nokta, gazaltı (MIG/MAG) kaynak yöntemleri tercih edilir ve kullanılır [1, 2]. Son yıllarda lazer kaynak yöntemi de karoseri üretiminde kullanılan birleştirme yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır [3, 4].

Lazer teknolojisinin otomotiv sektöründe uygulanmasıyla kısmen de olsa günümüzde görülmeye başlamıştır. İmalat endüstrisinde malzemelerin işlenmesinde lazerlerin kullanım payı 1994 yılında yaklaşık 1 milyar Euro iken, 2000 yılında 5 kat artarak yaklaşık 5 milyar dolara ulaşmıştır. 2005 yılında 15 milyar Euro'ya ulaşan bu rakam, 2015 yılında ise 40 milyar Euro'ya ulaşacağı beklenilmektedir. Örneğin Almanya'da tanınmış otomobil firmaları iç ve dış piyasa da rekabet şansını artırmak ve korumak için daha hafif, dayanıklı güvenilir enerji tasarruflu hibrit motorlu otomobil tasarımlarını AR-GE merkezlerinde geliştirilmektedir. Firmalar bünyelerinde kurdukları lazer araştırma merkezlerinde AR-GE çalışmalarını yoğun bir şekilde sürdürürken yeni teknikleri de geliştirmektedir. 2008 yılının sonlarında yaşanan dünya ekonomik krizinden etkilenen, hatta iflas eşiğine gelen dünyaca ünlü bazı otomobil firmaları, otomotiv sektöründe yeni teknolojileri geliştirerek, uygulayarak, daha hafif, (ultra light) yüksek dayanımlı, yakıt tasarruflu yeni modellerle ve yeni tasarımlarla krizi atlama arayışına girmiştir.

Otomobillerde kullanılan sac parçalardaki kalınlık azaltılmasının araç ağırlığına olan etkisinin yaklaşık %24 lük bir kazanım sağladığı literatürde verilmektedir [1]. Bu parçaların yeni nesil çelikler ile üretilmesi son zamanlarda büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda özellikle DP (Dual Phase) çift fazlı çelikler yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu çelikler birim ağırlık için daha yüksek mukavemet değerlerine sahip olmaları sebebiyle otomotiv endüstrisindeki kullanımlarında çok hızlı bir artış olmuştur. Başlangıçta DP350, DP500, DP600 çelikleri kullanılırken, günümüzde DP760 ve DP1000 çeliklerinin kullanımı daha yaygınlaşmıştır. DP kısaltmasından sonra gelen rakam, MPa biriminde malzemenin çekme mukavemetini ifade ettiğinden, çekme mukavemeti giderek yüksek ve daha ince kesitli parçaların tercih edildiği görülmektedir. Yeni nesil



çeliklerin kullanımının artırılması için en uygun şekillendirme yönteminin belirlenmesi gerekmektedir. Bu alanda sanayisi gelişmiş ülkelerde, optik ve lazer teknolojisi hızlı bir şekilde ilerler ve lazer teknolojisi ile ilgili yeni iş alanları açılırken, Türkiye’de lazer imalat yöntemleri ile ilgili kullanım oranı oldukça düşük kalmıştır. Ancak, gelişen teknoloji ve hedeflenen stratejiler doğrultusunda lazer teknolojisinin her alanda kullanımının artacağı öngörülmektedir.

Bu çalışmada, son yıllarda otomotiv endüstrisinde taşıt ağırlığını hafifletmek amacıyla yaygın olarak kullanılması teşvik edilen yüksek mukavemetli DP1000 çeliği-1.2 mm kalınlığında sacların uzaktan lazer (RLW) ve direnç nokta kaynak (RSW) yöntemleri ile birleştirilmiş bağlantılarının çekme mukavemeti ve sertlik değişimleri incelenmiştir. Ayrıca her iki kaynak yöntemi ile birleştirilerek oluşturulan bindirme tipi bağlantıların eksenel kuvvet altında Wöhler eğrileri oluşturulmuş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde kullanımı giderek artan DP1000 çelik-1.2 mm kalınlığındaki sac malzeme kullanılmıştır. Otomotiv endüstrisinde birleştirme yöntemi olarak kullanılan yaygın direnç nokta (RSW) ve son yıllarda önemi artan uzaktan lazer kaynak (RLW) yöntemleri kullanılarak deney numuneleri elde edilmiştir.

Farklı deney numunelerine çekme deneyi, sertlik ölçümleri ve eksenel kuvvet altında

Tablo 1. DP1000 Numunelerin Kimyasal Analiz Sonuçları

C	0.158
Si	0.200
Mn	1.890
P	0.022
S	0.001
Al	0.030
Nb	0.003
Cr	0.206
Mo	0.024
Ni	0.022
Cu	0.020
Ti	0.018
W	0.037
Pb	0.014

yorulma deneyi uygulanmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan DP1000 malzemenin öncelikle kimyasal analizleri incelenmiştir. Spektrometre kimyasal analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kaynak işlemi uygulanmadan önce ve sonrasında çekme deneyi gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyleri, TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) laboratuvarında bulunan Zwick/Roell marka Z250 model malzeme deney makinasında gerçekleştirilmiştir. Makina EN ISO 7500-1 standardına göre kalibre edilmiş olup, sınıfı 0.5 olan bir cihazdır (Şekil 1).

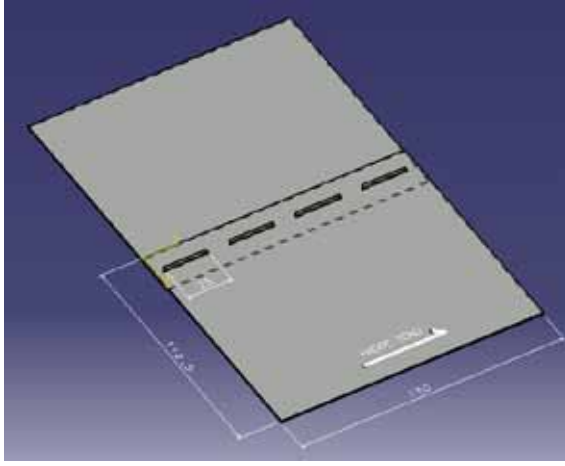


Şekil 1. Çekme Deneylerinin Gerçekleştirildiği Çekme Makinası

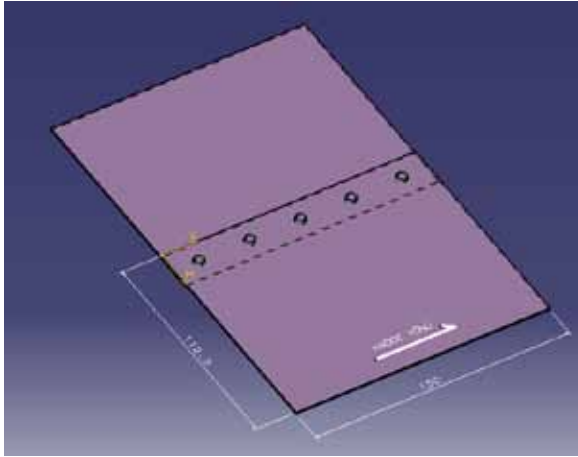
Tüm deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Tüm sonuçlar çekme cihazını kontrol eden bilgisayardan okunmuştur. Üçer adet kaynak çifti çekme deneyine tabi tutulmuştur. Üç numunenin çekme deneyi sonucunun ortalama değerleri birleştirmenin çekme deney sonucu olarak verilmiştir.

Öncelikle, 112.5 mm x 150 mm boyutunda hazırlanmış levhaların, standarda uygun olacak şekilde bindirme mesafeleri ve kaynak noktaları işaretlenmiştir. Deney numuneleri birbirleri üzerine bindirilerek Şekil 2a ve Şekil 2b'de gösterildiği gibi, kaynak işlemi gerçekleştirmiştir. Numunelerin Ford Otosan fabrikasında bulunan Uzaktan Lazer Kaynak cihazı ve araçların üretim hattında kullanılan nokta kaynak cihazı kullanılarak kaynaklı birleştirmeleri gerçekleştirilmiştir. Kaynak parametrelerinin üretimde kullanılan parametreler ile aynı olmasına dikkat edilmiştir. Birleştirilmiş parçalar standartta belirtilen şekilde kesilerek standart deney numuneleri hazırlanmıştır. Deney malzemelerinden çekme ve yorulma deneyinde kullanılmak amacıyla ISO 14273 standardına uygun olarak 45 mm x 105 mm ebatlarında parçalar kesilerek çıkartılmıştır [6]. Kaynak işleminden önce çapakları alınmıştır.

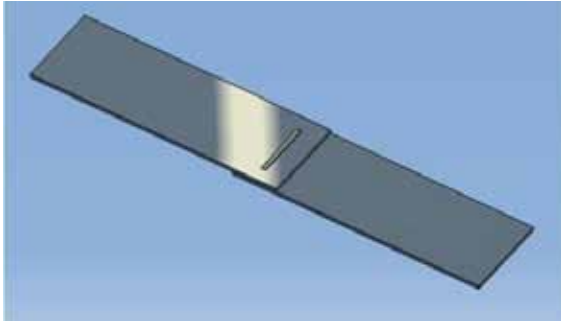
Elektrik direnç nokta kaynağının numunelere uygulanmasında, 1.2 mm sac kalınlığına uygun olarak temas yüzeyi çapı 5 mm olan konik uçlu silindirik Cu-Cr alaşımli elektrod kullanılmıştır. Elektrik direnç nokta kaynağı uygulamalarında hazırlanan



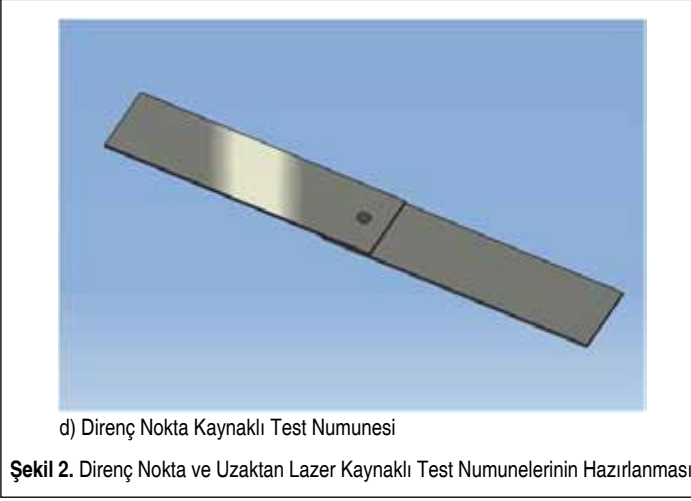
a) Uzaktan Lazer Kaynaklı Levhalar



b) Direnç Nokta Kaynaklı Levhalar

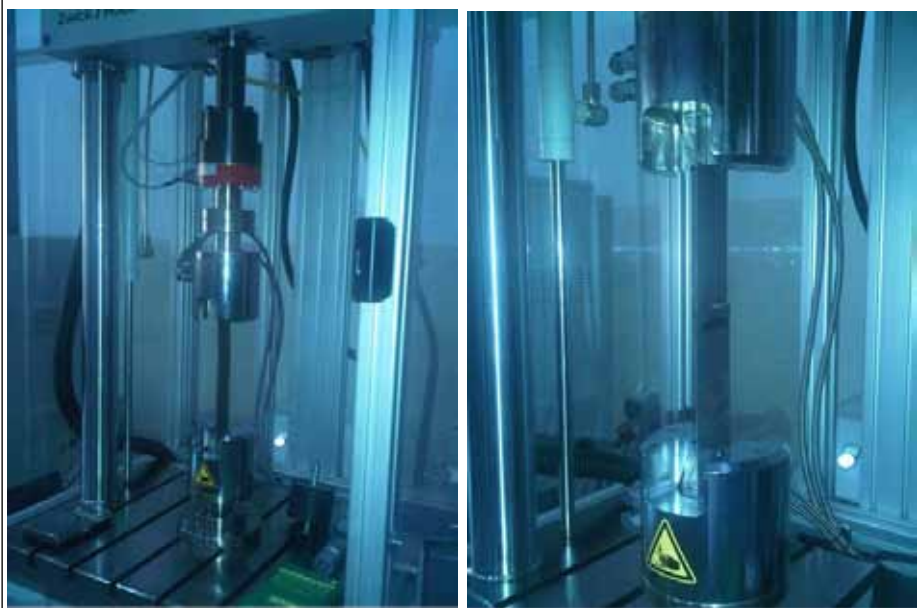


c) Uzaktan Lazer Kaynaklı Test Numunesi



numunelere 3 kN elektrod kuvveti, kaynak akımı makine maksimum akımının %18'i değerinde 9 kA, 5 periyotluk kaynak süresi, 10 periyotluk ön sıkma, 25 periyotluk sıkıştırma ve 7 periyotluk tutma süreleri uygulanarak kaynak gerçekleştirilmiştir.

Lazer kaynağı uygulamalarında da uzaktan kaynak yapabilen YAG lazeri kullanılmıştır.



Şekil 3. Numunelerin Yorulma Deney Makinesine Bağlanma Şekilleri



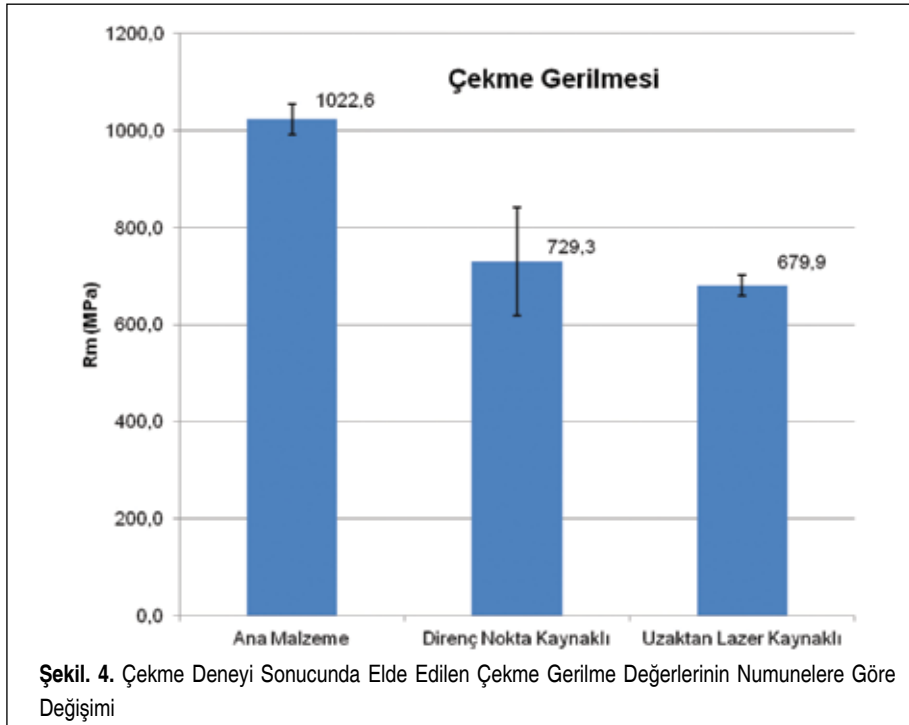
Kullanılan lazerin gücü 4 kW olup, kaynak hızı olarak da 2 m/s olarak uygulanmıştır. Ayrıca odak mesafesi 1 m ila 1.2 m olup, 106 W/cm² enerji seviyesinde kaynaklar gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin yorulma deneyleri Zwick Avrasya firması laboratuvarında bulunan ZP 100 model eksenel yorulma makinasında gerçekleştirilmiştir. Bu cihazda EN ISO 7500-1 standardına göre kalibre edilmiş ve doğruluğu bilinen bir makinedir [5]. Numunelerin makinaya bağlanma şekilleri Şekil 3'te verilmiştir.

3. DENEYİN SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

3.1 Çekme Deneyi Sonuçları ve İrdelenmesi

Deneyel çalışmada kullanılan DP1000 numunelere, kaynak işlemi uygulanmadan önce (kaynaksız) ve kaynak uygulandıktan sonra (kaynaklı) çekme deneyi yapılmıştır. Kaynaksız DP1000 çeliği numuneleri (5 adet) ile Bölüm 2'de belirtilen kaynak parametrelerine göre hazırlanmış direnç nokta ve uzaktan lazer kaynaklı numunelerin (3'er adet) çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme gerilmeleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Çekme deney sonuçlarında numuneler arasındaki saçılmalar standart sapma değeri olarak hesaplanmış ve grafikte hata çubuğu olarak gösterilmiştir.

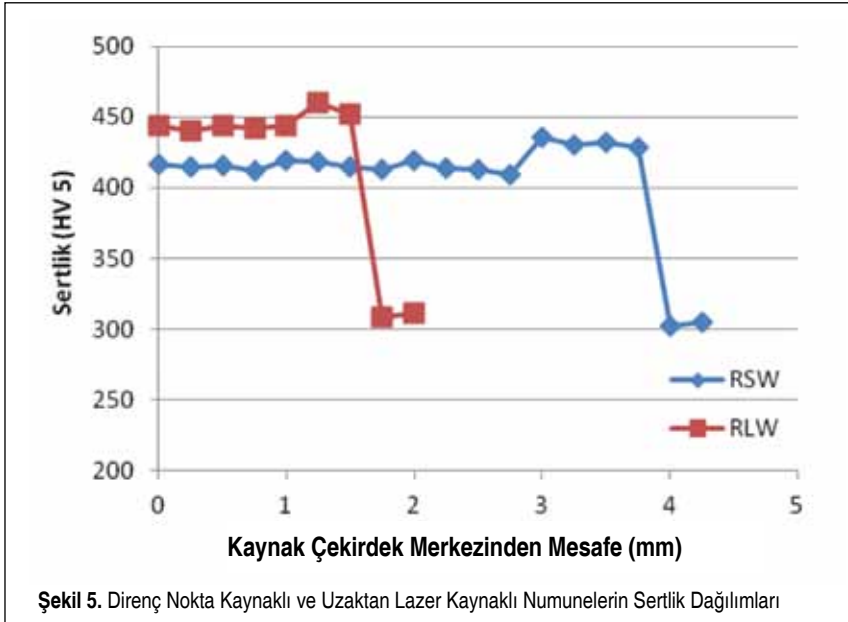


Kaynaklı numunelerin çekme deneyinde gösterdikleri en yüksek dayanım değeri olan çekme makaslama gerilmesi değerleri, kaynaklı numunelerin çekme deneyinde gösterdikleri en yüksek dayanım değerleri, yani çekme gerilmesi değerleri ile karşılaştırılmışlardır. Kaynaklı, direnç nokta ve uzaktan lazer kaynaklı çelik sacların çekme deney sonuçları toplu halde incelendiğinde, kaynaklı malzemenin mukavemeti kaynak uygulanması ile düşmektedir. Çekme gerilmesindeki değişimler incelendiğinde, kaynaklı malzemeye göre direnç nokta kaynaklı numunelerde % 29; lazer kaynaklılarda %33'lük bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu sonuç, direnç nokta kaynağı konusunda daha önce yapılmış çalışmalar ile uyumlu bir sonuçtur [3].

3.2 Sertlik Deneyinin Sonuçları ve İrdelenmesi

DP1000 çeliği parçalardan, Bölüm 2'de verilen kaynak parametreleri ile hazırlanan direnç nokta ve uzaktan lazer kaynaklı numunelerin kaynak kesitleri üzerinden sertlik taraması yapılmıştır. Vickers sertlik yöntemi tercih edilmiş ve 5 kg deney yükünde HV 5 yöntemi ile esas metal, IEB ve kaynak metali bölgelerinde sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Direnç nokta ve uzaktan lazer kaynak bağlantılarının sertlik dağılımları Şekil 5'te verilmiştir. Ayrıca, kaynak bölgesindeki mikroyapı fotoğrafları da Şekil 6a ve 6b'de görülmektedir.

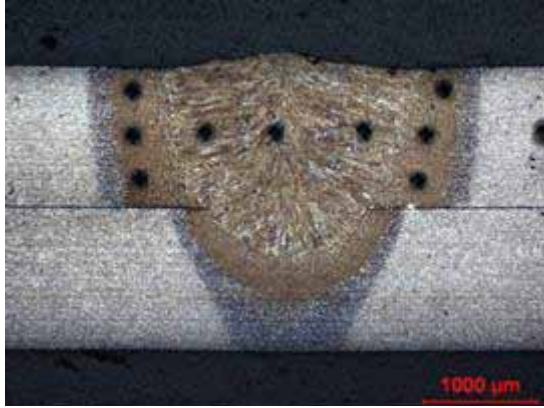
Xu ve diğerleri (2008), Torkamany ve diğerleri (2012), Daneshpour ve diğerleri (2007) ve Xia ve diğerlerinin (2007) yaptığı çalışmalara benzer şekilde elde edilen



Şekil 5. Direnç Nokta Kaynaklı ve Uzaktan Lazer Kaynaklı Numunelerin Sertlik Dağılımları



Şekil 6a) Direnç Nokta Kaynaklı Numunenin Mikroyapısı



Şekil 6b) Uzaktan Lazer Kaynaklı Numunenin Mikroyapısı

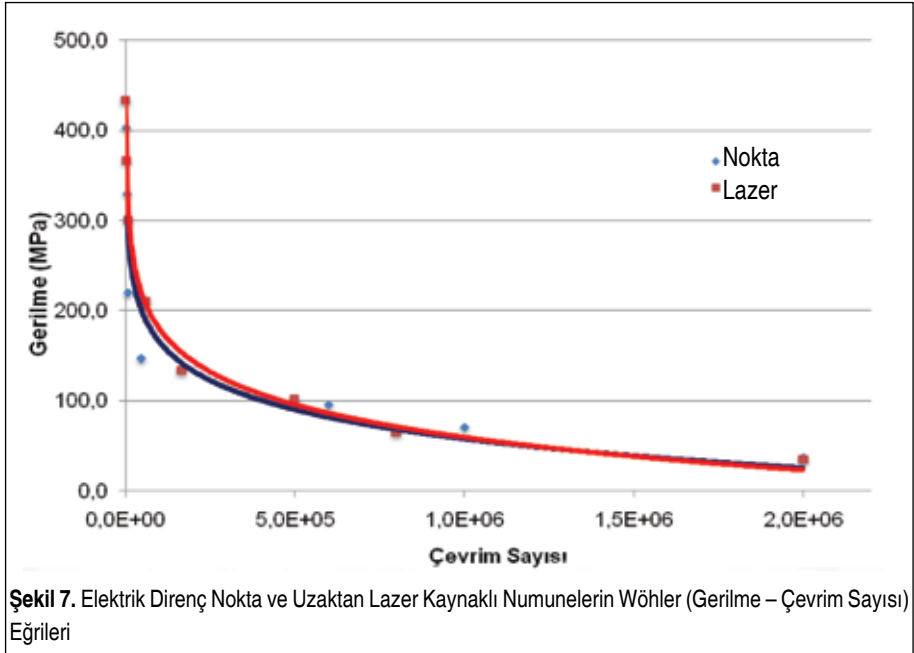
sertlik değerleri ana malzemede düşük iken, kaynak metalinde oluşan martenzitik yapıdan dolayı daha yüksek olarak elde edilmiştir [3, 7-10]. DP1000 çeliği üzerinde çalışma yapan Xia ve diğerleri (2008) ile Xu ve diğerlerinin (2013) çalışmasındaki sertlik değerlerine benzer sertlik değerleri ölçülmüştür [10,12]. Mikroyapı resimlerinden ve sertlik dağılım grafiğinden kaynak bölgesinin genişliği incelendiğinde, kaynak çekirdeğinden esas metale kadar olan mesafe uzaktan lazer kaynaklı numunede 1,5 mm'dir. Aynı mesafe direnç nokta kaynaklı numunede ise yaklaşık 4 mm'dir. Bu mesafenin az olması kaynaktan etkilenen bölgenin küçük olduğunu göstermektedir.

3.3 Yorulma Deneyinin Sonuçları ve İrdelenmesi

Yukarıda verilmiş olan kaynak parametrelerinde, direnç nokta ve uzaktan lazer kay-

nak yöntemi uygulanarak oluşturulmuş DP1000 çeliğinden numunelere aksel kuvvet altında yorulma deneyi uygulanmıştır. Deney sonucunda, numunelerin uygulanan gerilmeye karşılık kopmanın gerçekleştiği çevrim sayısı elde edilmiş ve Wöhler eğrileri oluşturulmuştur. Direnç nokta ve uzaktan lazer kaynaklı numunelerin yorulma deney sonuçları Şekil 7’de verilmiştir. Maksimum çevrim sayısı olarak $2E+6$ çevrim alınmıştır. Bu çevrim sayısı literatürde kaynaklı numuneler için belirtilen yaygın bir değerdir [11].

Yorulma deney sonuçlarına göre, elektrik direnç nokta ve uzaktan lazer kaynaklı numunelerin yorulma eğrileri birbirine oldukça yakın elde edilmiştir. Bununla birlikte, lazer kaynaklı numune eğrisinin çok az üstte olduğu da belirtilebilir.



4. SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- Direnç nokta ve uzaktan lazer kaynaklı çelik sacların çekme deney sonuçlarında çekme gerilmelerinin değişimleri incelendiğinde, esas metal mukavemetine göre direnç nokta kaynaklı numunelerde %29, uzaktan lazer kaynaklı numunelerde %33 mukavemet kaybı olduğu tespit edilmiştir.
- Sertlik deney sonuçları incelendiğinde, esas malzemede sertlik değeri düşük iken,



kaynak metalinde ve IEB hızlı soğumalar sonucu oluşan yapılardan dolayı esas metalden daha yüksek ancak tehlike göstermeyen sertlik değerleri elde edilmiştir.

- Yorulma deney sonuçlarına göre, direnç nokta ve uzaktan lazer kaynaklı numunelerin yorulma eğrilerinin birbirine oldukça yakın olduğu ve benzer yorulma davranışı gösterdiği saptanmıştır. Zira direnç nokta ve lazer kaynaklı bağlantılarda mukavemete esas dikiş kesit alanları birbirine yakın kesit alanına sahiptirler.

Bu sonuçlara göre kaynaklı parçaların mukavemet değerlerindeki düşme yaklaşık %30 seviyesinde olduğu ve yorulma ömürlerinin yaklaşık eşit olduğu görülmektedir. Otomotiv sektöründe tasarım aşamasında bu bağlantıların hangisinin tercih edilebilirliği açısından bu sonuçlar dikkate alınabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, direnç nokta kaynağı ve uzaktan lazer kaynağı çalışmalarının yapılmasına izin veren ve katkı sağlayan Ford Otosan Sanayi A.Ş. yetkililerine; mekanik deneylerin yapılmasında Tübitak-UME yetkili ve çalışanlarına, yorulma deneylerinin yapılmasında yardım ve katkı sağlayan Zwick-Avrasya Malzeme Test Sistemleri San. ve Tic. Ltd. Şirketi yetkililerine ve çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

1. **Öztürk, F., Toros, S., Esener, E., Uysal, E.** 2009. "Otomotiv Endüstrisinde Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Kullanımının İncelenmesi," TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 50, sayı 596, s. 44-49.
2. World Steel Association. 2008. www.worldsteel.org/?action=storypages&id=275, son erişim tarihi: 05.01.2013
3. **Aydemir, E.** 2012. "Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan DP 1000 Çelik Sacların Direnç Nokta Kaynağı (RLW) ve Uzaktan Lazer Kaynağı (RLW) Yöntemleri ile Oluşturulmuş Bağlantıların Yorulma Davranışlarının İncelenmesi," Bitirme Projesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi.
4. **Vasilash, G. S.** 2002. "Remote Laser Welding: A Few Things to Know - Produce - Effects on Retooling," Automotive Design & Production, October 1.
5. EN ISO 7500-1, 2004: Metallic Materials -- Verification of Static Uniaxial Testing Machines -- Part 1: Tension/Compression Testing Machines -- Verification and Calibration of the Force-Measuring System.
6. ISO 14273, 2000: Specimen Dimensions and Procedure for Shear Testing Resistance Spot, Seam and Embossed Projection Welds.
7. **Xu, J., Zhang, Y. S., Xinmin, L., Chen, G. L.** 2008. "Experimental Investigation of



Fatigue Performance of Spot Welded Dual Phase Sheet Steels,” Science and Technology of Welding and Joining, vol. 13, no. 8, p. 726-731.

8. **Torkamany, M. J., Sabbaghzadeh, J., Hamed, M. J.** 2012. “Effect of Laser Welding Mode on the Microstructure and Mechanical Performance of Dissimilar Laser Spot Welds Between Low Carbon and Austenitic Stainless Steels,” Materials and Design, vol. 34, p. 666–672.
9. **Daneshpour, S., Riekehr, S., Koçak, M., Ventzke, V., Koruk, A. I.** 2007. “Failure Behaviour of Laser Spot Welds of TRIP800 Steel Sheets under Coach–Peel Loading,” Science and Technology of Welding and Joining, vol. 12, no. 6, p. 508-515.
10. **Xia, M. S., Kuntz, M. L., Tian, Z. L., Zhou, Y.** 2008. “Failure Study on Laser Welds of Dual Phase Steel in Formability Testing,” Science and Technology of Welding and Joining, vol. 13, no. 4, p. 378-387.
11. **Aydemir, B.** 1996. “Ön Kaplı Çelik Sacların Yorulma Davranışının İncelenmesi,” Yüksek lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi.
12. **Xu, W., Westerbaan, D., Nayak, S. S., Chen, D. L., Goodwin, F., Zhou, Y.** 2013 “Tensile and Fatigue Properties of Fiber Laser Welded High Strength Low Alloy and DP980 Dual-Phase Steel Joints,” Materials and Design, vol. 43, p. 373–383.

Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı (Schlieren) Yöntemi ile Akış Yapılarının İncelenmesi ve Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü ile Doğrulanması¹

Özgün Özer^{2*}

Dilek Kumlutaş³

Utku Alp Yücekaya⁴

ÖZ

Arka plan konumlandırılmış yoğunluk farkı yöntemi, akışkanın içerdiği yoğunluk farklarının kırılma indisine etkisinden faydalanarak akışın görüntülenmesini sağlayan ve güncel olarak gelişmekte olan bir akış inceleme yöntemidir. Bu yöntemin zayıf noktası, sadece iki boyutlu akış yapılarının görüntülenmesi ve üç boyutlu akış yapılarının incelenememesidir.

Bu çalışmada, arka plan konumlandırılmış yoğunluk farkı yöntemi, üç boyutlu olarak geliştirilmiş ve yöntemin temel prensipleri sunulmuştur. Geliştirilen yöntemin uygulama esasları sıcak jet akış üzerinde gösterilmiştir. Ayrıca, “Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı” yönteminden elde edilen hacimsel akış yapısı, literatürde akış alanlarının bütünsel incelemesinde kabul gören parçacık görüntülemeli hız ölçümü (PGHÖ) yöntemiyle elde edilen üç bileşenli hacimsel ortalama akış yapısı karşılaştırılmıştır. Sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmanın sonucunda, “Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı” yöntemi, yoğunluk farkı içeren akışların incelenmesinde kullanılabilecek etkili ve ekonomik bir yöntem olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Schlieren yöntemi, arka plan konumlandırılmış yoğunluk farkı yöntemi, parçacık görüntülemeli hız ölçümü

Investigation of Flow Structures by Three Dimensional Background Oriented Schlieren Method and Validation with Particle Image Velocimetry

ABSTRACT

The background-oriented schlieren method is a current developing method of flow analysis that allows the flow to be viewed using the refractive index effect of the density differences contained in the fluid. The weak point of the BOS method is that only two-dimensional flow structures can be viewed and three-dimensional flow structures can not be investigated.

In the this study, a three-dimensional version of the background-oriented schlieren method was developed and the basic principles of the method are presented. The application guidelines of the developed method are shown on the hot rectangular jet stream. Furthermore, the volumetric flow structure obtained from the “Three Dimensional Background-Oriented Schlieren” method is compared with the three component volumetric average flow structure obtained by the Particle Image Velocimetry (PIV) method which is accepted in the literature for investigating whole flow fields. The results were found to be coherent.

As a result of the study, the “Three Dimensional Background-Oriented Schlieren” method is presented as an efficient and economical method that can be used to study density difference flow.

Keywords: Schlieren method, background-oriented schlieren method, particle image velocimetry

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 24.04.2017

Kabul/Accepted : 28.06.2017

¹ 19-22 Nisan 2017 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından İzmir’de düzenlenen 13. Ulusal Tesilat Mühendisliği Kongresi ve Fuarı’nda bildiri olarak sunulan bu metin, yazarlarınca makale olarak yeniden düzenlenmiştir.

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir - ozgunozer@gmail.com

³ Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir - dilek.kumlutas@deu.edu.tr

⁴ Dokuz Eylül Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir - utku.yucekaya@deu.edu.tr



1. GİRİŞ

Görüntülemeli akış inceleme metotları, akış alanını etkilememesi ve görüntülenen akış alanının tümünden eşzamanlı veri elde etmesi bakımından konvansiyonel ölçüm yöntemlerinden üstündür. Bu görüntüleme yöntemlerinden biri de yoğunluk farkı (Schlieren) yöntemidir.

Klasik Schlieren ve Interferometry (Interferometer) yöntemleri, akışkan içindeki yoğunluk dağılımının görüntülenmesinde kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemler genel olarak, akışkan yoğunluğu ve ışığın kırılma indeksi arasındaki ilişkiyle oluşan optik gradyanların görüntülenmesine dayanmaktadır. Bu ilişki Gladstone-Dale eşitliği ile açıklanmaktadır [1]. Ancak, bu metotların uygulanması için karmaşık optik düzenekler gerekmektedir.

Bu zorlukların aşılması için arka plan konumlandırılmış yoğunluk farkı yöntemi 2000'li yılların başlarında geliştirilmiştir [2, 3, 4]. Yeni geliştirilen yöntemde karmaşık optik elemanların yerine, belirli bir dokuya sahip arka plan kullanılmakta ve elde edilen görüntüler üzerinde çapraz korelasyon tekniği uygulanarak akışkanın yoğunluk dağılımları elde edilmektedir. Böylece, diğer yöntemlere göre daha sade, uygulanabilir ve ekonomik bir yöntem geliştirilmiştir. Arka plan konumlandırılmış yoğunluk farkı yönteminin ülkemizdeki ilk uygulamaları mevcut çalışma ekibi tarafından yapılmıştır [5].

Bahsi geçen tüm yöntemlerin zayıf noktası ise sadece iki boyutlu akış yapılarının görüntülenebilmesidir. Literatürde, üç boyutlu akış yapılarının arka plan konumlandırılmış yoğunluk farkı yöntemi ile incelenebilmesi için teknik geliştirmekte olan iki çalışma ekibi mevcuttur. Bunlardan biri Fransız Uzay Araştırmaları (ONERA) ekibidir. Bu ekip 2015 yılında yaptıkları çalışmada, arka plan konumlandırılmış yoğunluk farkı verilerinin üç boyutlu yeniden yapılandırılması ile ilgili bir çalışma sunmuşlardır [6]. Çalışmada, saniyede 10 görüntü kaydı yapabilen, 5 Mpx çözünürlüklü 12 hızlı kamera kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizi ile karşılaştırılmıştır.

Üç boyutlu akış yapılarının Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı yöntemi ile incelenebilmesi için teknik geliştirmekte olan diğer ekip ise mevcut çalışma ekibidir.

Bu çalışmada, geliştirilmekte olan “Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı” yönteminin temel prensipleri ve uygulaması sunulmuştur. Uygulamada, literatürden farklı olarak 3 adet son kullanıcı ürünü aynasız kamera kullanılmıştır. Kullanılan bu kameraların çözünürlüklerinin hızlı kameralara göre çok yüksek olması daha detaylı veri alınmasına imkan vermektedir (24 Mpx).

Ayrıca mevcut çalışmada, sıcak jet akışın, “Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı” yöntemi ile incelenmesi ve sonuçlarının parçacık görüntülemeli hız ölçümü (PGHÖ) yöntemi ile karşılaştırılarak doğrulanması verilmiştir.



Yapılan çalışmanın sonucunda, “Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı” yöntemi, yoğunluk farkı içeren akışların incelenmesinde kullanılabilir etki- li ve ekonomik bir yöntem olarak sunulmuştur.

2. METOT

2.1 Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı Yönteminin Temel Prensibi

Arka plan konumlandırılmış yoğunluk farkı yöntemi, ışığın farklı yoğunluktaki ortamlarda farklı kırılma indeksine sahip olmasına dayanmaktadır. Bacadan ya da arabanın egzozundan çıkan sıcak egzoz gazının arka plandaki görüntüyü dalgalandırması buna örnek olarak verilebilir. Gladstone-Dale eşitliği, Kırılma indeksi (n) ve yoğunluk (ρ) arasındaki ilişkiyi vermektedir [1].

$$\frac{n-1}{\rho} = G(\lambda) \quad (1)$$

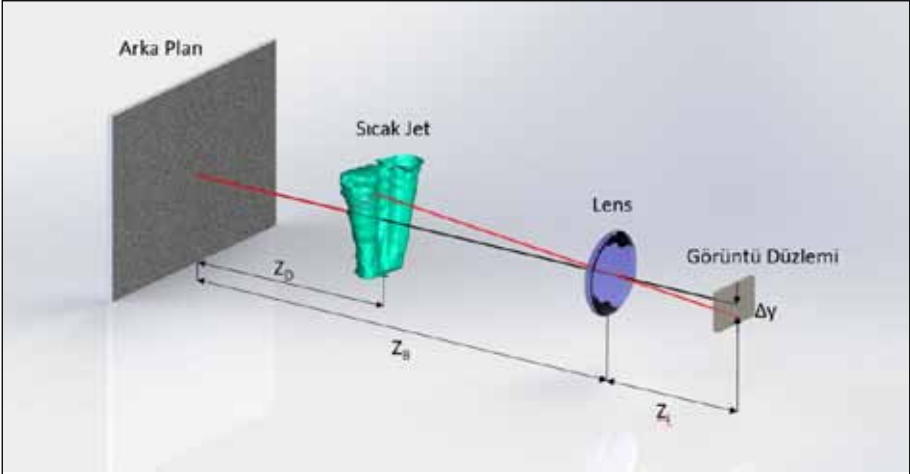
Yöntemin uygulanmasında, incelenecek akış alanının arka planı dokulu bir yüzey olmalıdır. Bu dokulu yüzeyler doğal veya yapay olabilir. Deneyin başarısını garanti-lemek için arka plan dokusunun tekrarlamayan ve rastgele olması önerilir. Yöntemin güncel uygulamalarında arka plan bilgisayar ile oluşturulmaktadır. Oluşturulan dokulu arka plan, deneyin başarısını sağlamak için yüksek uzamsal ayrıntı ve kontrasta sahip olmalıdır.

Söz konusu akış alanını görüntülemek için kamera arka plana dik olacak şekilde yerleştirilmelidir. Ayrıca ek perspektif bozulmalarını önlemek için, kamera objektifinin geniş açı lens olmaması önerilir. Kullanılan lens belirtilen özelliklere sahip değilse, elde edilen görüntülerdeki problemler dijital görüntü işleme yöntemleri ile giderilebilir.

Deneyden önce (yoğunluk farkı oluşmadan önce) bir referans görüntü kaydedilir. Daha sonra, deney başlatılarak akıştan kaynaklı yoğunluk farkının kamera ile arka plan arasında oluşması sağlanır. Bu aşamada yoğunluk farkı, ışığın ϵ_y açısal sapmasıyla kırılmasını sağlayarak elde edilen görüntünün referans görüntüden farklı olmasına neden olur. Bu durum Şekil 1’de gösterilmiştir.

Şekil 1’deki siyahla gösterilen ışın, yoğunluk farkına maruz kalmadan giden ışığın izlediği yolu, kırmızı ile gösterilen ışın ise yoğunluk farkından kırılarak giden ışığın izlediği yolu temsil etmektedir. Δy ile gösterilen mesafe aynı noktanın referans görün- tüsü ile deney sırasında alınan görüntü arasındaki farkı göstermektedir.

Δy ile gösterilen mesafenin hesaplanmasında kullanılan ve kırılma indeksi (n) ile açı- sal sapma (ϵ_y) arasındaki ilişkiyi temsil eden denklem, eşitlik (2)’de verilmiştir [1].

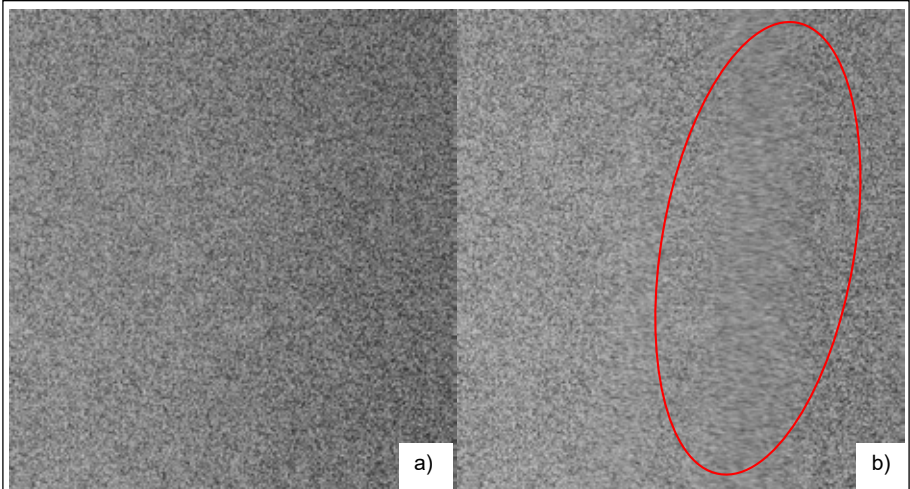


Şekil 1. Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı Yönteminin Şematik Gösterimi

$$\tan(\epsilon_y) = \int_0^{Z_B} \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial y} dz \quad (2)$$

$\tan(\epsilon_y)$ yeteri kadar küçükse, ϵ_y 'ye eşit kabul edilebilir. Bu nedenle ışığın yoğunluk farkında kırılmasının sebep olduğu deplasman (Δy), eşitlik (3) ile ifade edilir;

$$\Delta y = Z_D M \epsilon_y \quad (3)$$



Şekil 2. a) Deneyin Başlamasından Önce Çekilen Referans Fotoğrafı
b) Deney Sırasında Çekilen Akış Görüntüleme Fotoğrafı



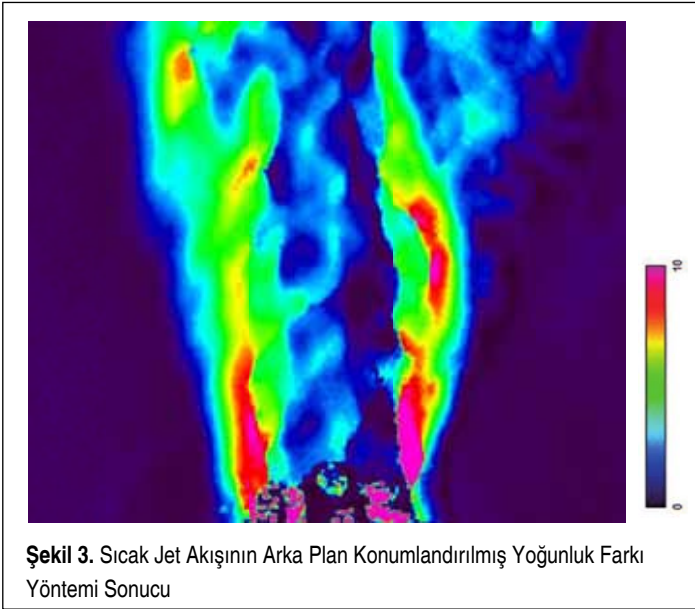
(3) eşitliğinde M , büyütme faktörü olarak adlandırılır ve $M=Z_i/Z_B$ olarak ifade edilir. Şekil 1’de Z_d , arka plan ile yoğunluk farkı arasındaki mesafeyi; Z_r , odak uzaklığını ve Z_B ise arka plan ile kamera lensi arasındaki uzaklığı temsil eder.

Bu deplasman, yoğunluk farkından kaynaklı olarak farklı açısız sapmalar ile kırılan tüm noktalar için elde edilecektir. Şekil 2a’da deneyden önceki referans görüntü ve Şekil 2b’de deney sırasında elde edilen görüntü gösterilmiştir. Şekil 2b’de kırmızı ile gösterilen alanda bahsi geçen yoğunluk farkından kaynaklı deplasman belirtilmiştir.

Şekil 2’de gösterilen deney ve referans görüntüleri alındıktan sonra art işlem (post-processing) bölümüne geçilir. Bu aşamada referans görüntüsü ile deney görüntüsü arasında çapraz korelasyon işlemi yapılır. Bu işlem, referans görüntüsü ile tüm deney görüntüleri arasında uygulanır.

Çapraz korelasyon işleminin ilk adımında, referans görüntü inceleme alanlarına ayrılır. Daha sonra, deney sırasında elde edilen görüntü ile referans görüntü konum bilgisi bakımından karşılaştırılır. Deney sırasında elde edilen görüntüdeki konum ile referans görüntüdeki konum aynı ise ($\Delta y=0$) bu bilgi gelen ışınların herhangi bir kırılmaya maruz kalmadığı, yani ışının yolu üzerinde herhangi bir yoğunluk farkının bulunmadığı anlamına gelmektedir. İki konum arasındaki fark olan alanlar ise kırılmaların olduğunu göstermektedir. Bu alanlar işaretlenerek akış yapısı belirlenebilmektedir. Şekil 3’te, mevcut çalışma kapsamında elde edilen deney sonucu örnek olarak gösterilmiştir.

Şekil 3’te, bir jetin kesiti gösterilmektedir. Görsel üzerindeki renk kodları, piksel ba-



Şekil 3. Sıcak Jet Akışının Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı Yöntemi Sonucu



zında iki resim arasındaki yer değiştirmeyi göstermektedir. Koyu mavi renk, piksel bazında yer değiştirme olmadığını, mor renge doğru giden diğer renkler ise yer değiştirme miktarını temsil etmektedir.

Şekil 3'ten elde edilen sonucun nitel bir sonuç olduğu unutulmamalıdır. Görselleştirilen piksel bazındaki yer değiştirme, akışın yapısı hakkında bilgi verirken herhangi bir hız ya da sıcaklık verisi içermemektedir.

Piksel bazında yer değiştirme, görüntünün alındığı çözünürlükle de ilişkilidir. Çalışma kapsamında 24 Mpx'lik, 23.5 mm X 15.6 mm sensöre sahip aynasız fotoğraf makinaları kullanılmıştır. Çalışmanın farklı çözünürlükte ekipmanla yapılması piksel bazlı yer değiştirmenin boyutunu değiştirecektir. Örneğin aynı çalışmanın yarı çözünürlükte bir ekipmanla yapıldığı varsayıldığında, 10 piksellik yer değiştirmeler 5 piksele düşecektir. Daha düşük deplasmana sahip 2-3 piksellik yer değiştirmeler yarı çözünürlükte sifıra yakınsayacak ve tespit edilemeyecektir. Bu nedenle çözünürlüğün yeterliliği, deneyin özellikle detayları açısından başarısı için önemli bir unsurdur.

İlk görüntünün ayrıştırıldığı inceleme alanı, görüntünün alındığı çözünürlükten etkilenmektedir. Bu alanlar 16x16, 32x32 veya 64x64 piksel olabilir. İnceleme alanlarının büyümesi deformasyona uğramış görselde inceleme alanlarının daha kesin ve kolay şekilde tespit edilmesini sağlarken, detayların kaybedilmesine neden olabilmektedir. Kademeli algoritma kullanılarak bu sorun çözülebilir. Algoritmada öncelikle 64x64 ya da 128x128 gibi geniş alanlardan konum tespiti gerçekleştirilir. Geniş inceleme alanının doğru konum tespit edebilme yeteneğiyle, dar inceleme alanının detay verebilme yeteneğini beraber kullanabilmek için geniş alanlardan elde edilen konum bilgisini, 32x32 ya da 16x16 inceleme alanlarında kullanarak ikinci bir çapraz korelasyon uygulanır. Böylelikle geniş inceleme alanının doğru konum tespiti yeteneği, dar inceleme alanının ise detay verebilme yeteneği beraber kullanılır.

2.2 Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı Yöntemi

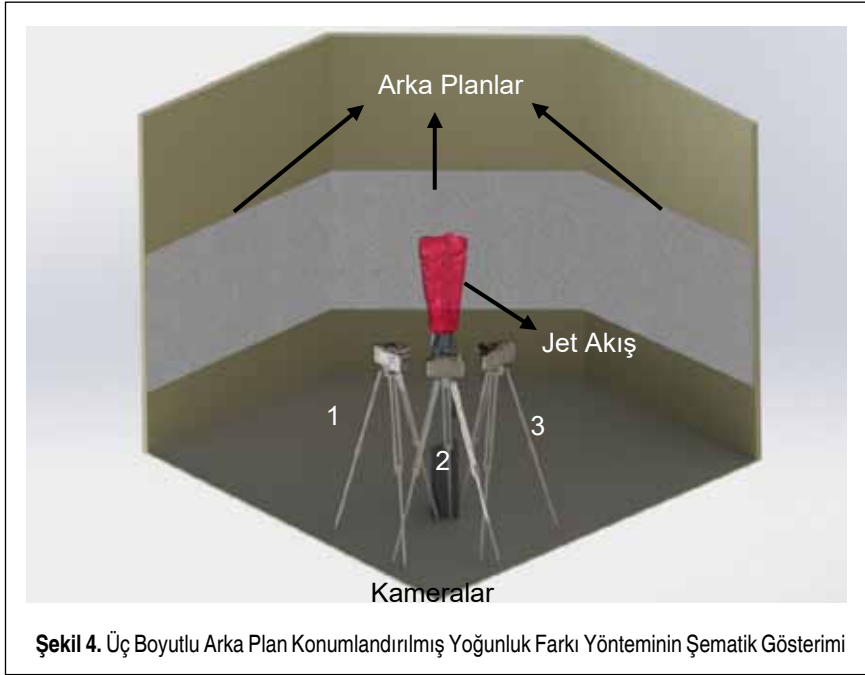
Arka plan konumlandırılmış yoğunluk farkı yönteminin uygulanmasında kullanılan tek kamera yatay ve düşey olarak iki bileşen konumu hakkında bilgi vermektedir. Bu da sadece hacimsel akış yapısının yoğunluk dağılımının düzlemsel izdüşümünün görüntülenmesine izin vermektedir. Dolayısıyla arka plan konumlandırılmış yoğunluk farkı yöntemi, iki boyutlu kabul edilebilecek ya da radyal simetrik sistemlerin incelenmesinde kullanışlı olsa da üçüncü boyut bileşenlerinin önemli olduğu hacimsel akış yapılarının incelenmesinde yetersiz kalmaktadır.

Bahsedilen hacimsel akış yapılarının da incelenebilmesi için mevcut çalışmanın konusu olan “Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı” yöntemi geliştirilmiştir.



Hacimsel ölçümün elde edilebilmesi için en az üç bileşene ihtiyaç duyulmaktadır. Bir kameranın sadece iki bileşen hakkında bilgi verdiği düşünüldüğünde, üç boyutlu akış yapısının görüntülenmesi için en az iki kamera gerekmektedir. Mevcut çalışmada ise elde edilen hacimsel verinin detayının artırılması için üç adet kamera kullanılmıştır. Kameralardan ilki, seçilen x-y düzlemine, ikincisi de y-z düzlemine diktir. Üçüncü kamera ise diğer iki kamera ile 45'er derecelik açı yapacak şekilde aralarına yerleştirilmiştir. Yöntemin ana bileşenlerinden olan arka planlar ise kameraların dik bakacağı şekilde incelenecek olan akışın diğer tarafına konumlandırılmıştır. Bahsi geçen deney düzeneği Şekil 4'te gösterilmiştir.

Yöntemin üç boyutlu versiyonunun uygulanmasında da başlangıç aşamasında (yoğunluk farkı oluşmadan önce) referans görüntüler alınmaktadır. Ancak bu aşamada yöntemin iki boyutlu uygulamasından farklı olarak kameraların görüş alanlarını örtüştürecek kalibrasyon görüntüsünün de alınması gerekmektedir. Bu görüntünün alınmasında incelenecek akış alanına yerleştirilen bir kalibrasyon hedefi kullanılmaktadır. Deneyin tamamlanmasının ardından elde edilen düzlemsel sonuçlar bu kalibrasyon görüntülerinden alınan konum bilgileri ile hacimsel hale getirilir. Mevcut çalışmada hacimsel veri Tecplot yazılımı kullanılarak elde edilmiştir.



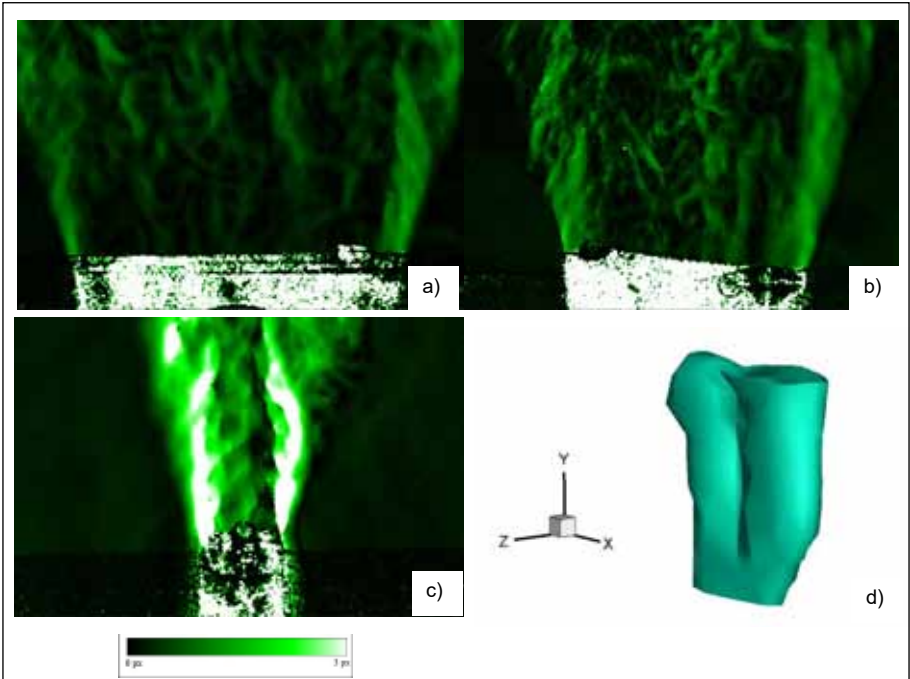
Şekil 4. Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı Yönteminin Şematik Gösterimi



3. SONUÇLAR VE DOĞRULAMA

Geliştirilen “Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı” yöntemi, Sıcak jet akışına uygulanmıştır. İncelenen jetin çıkış ağzı ölçüleri 120 mm x 28 mm’dir. Jet akışının ağızdan ortalama çıkış sıcaklığı 42 °C’dir. Bahsi geçen jet akışın incelenmesi için, metot bölümünde aktarıldığı gibi, üç kameradan oluşan bir düzenek kurulmuştur (Şekil 4). Deneyde son kullanıcı ürünü aynasız (mirrorless) fotoğraf makineleri kullanılmıştır. Kameraların jet merkezine olan uzaklığı 40 cm’dir. Yerleştirilen arka planlar ile jet merkezi arasındaki mesafe ise 127’şer cm’dir. Deneyde elde edilen düzlemsel sonuçlar Şekil 5’te sunulmuştur.

Şekil 5’teki görseller değerlendirildiğinde, jetin sınır bölgelerinin belirgin bir şekilde tespit edildiği görülmektedir. Farklı kameralardan elde edilen görüntüler değerlendirildiğinde, akışın daha dar kesitinden alınan görüntüde yoğunluk farklarının daha belirgin şekilde görülebildiği tespit edilmiştir. Bunun nedeni merkez alandaki yoğunluk farkı bulunan bölgelerin yüzeylerinin kameraya paralel olarak konumlanmasıdır.



Şekil 5. Jetin Sınır Bölgeleri

- 1 Numaralı Kameralardan Elde Edilen Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı Deney Sonucu
- 2 Numaralı Kameralardan Elde Edilen Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı Deney Sonucu
- 3 Numaralı Kameralardan Elde Edilen Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı Deney Sonucu
- Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı Sonucu



Dolayısıyla, bu bölgelerden gelen ışınlar daha az kırılarak ya da hiç kırılmadan kamera-ya ulaşmaktadır.

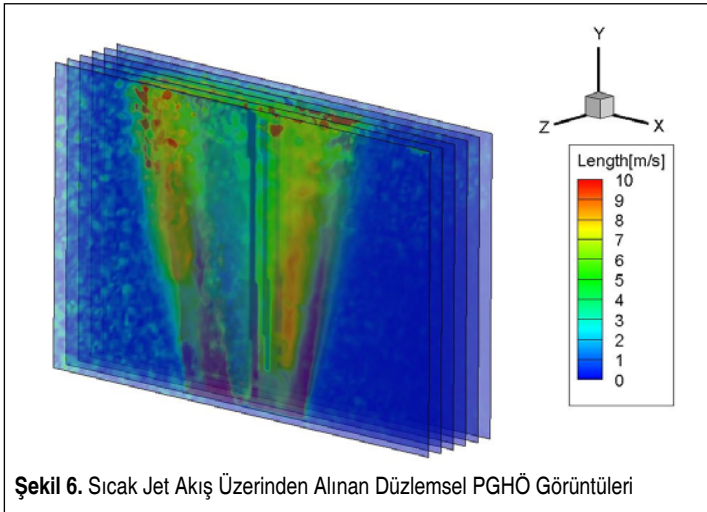
Yoğunluk farkı yöntemlerinin hiçbiri doğrudan nicel veri vermemektedir [3]. Bu açıdan yaklaşıldığında, doğrulama için görüntü üzerinden jetin açılma açısı ve çıkış ölçüleri alınmıştır. Daha sonra aynı jet, PGHÖ ile incelenmiş ve bu ölçüler üzerinden kıyaslama yapılmıştır.

Ayrıca, üç kameradan elde edilen arka plan konumlandırılmış yoğunluk farkı verileri Tecplot programı ortamında kalibrasyon verisine göre yerleştirilmiş ve interpolasyon ile hacimsel veriye dönüştürülmüştür. Elde edilen hacimsel veri Şekil 5d’de gösterilmiştir.

3.1 PGHÖ ile Doğrulama Çalışması

Temel olarak PGHÖ’nün avantajı, aynı anda tüm akış kesitinin incelenmesidir. Bu mevcut avantajın daha iyi değerlendirilebilmesi için, “Hacimsel üç boyutlu ortalama hız vektörlerinin” oluşturulması konusunda mevcut çalışma ekibi tarafından daha önceki çalışmalarda bir yöntem geliştirilmiştir [7].

“Hacimsel üç boyutlu ortalama hız dağılımının” elde edilebilmesi için sistemin belirli aralıklar ile incelenmesi gerekmektedir. Cihazın, bu aralıklarda sağlıklı olarak ötelebilmesi için cihaz bir traverse sistemine yerleştirilmiştir. Kameralardan biri cihazın oluşturduğu akışı karşıdan, diğeri ise açılı olarak görecektir şekilde konumlandırılmıştır. Lazer ise kameraların ihtiyacı olduğu aydınlatmayı sağlayacak şekilde jet akışını karşıdan görecektir şekilde yerleştirilmiştir. İncelenmek istenen Sıcak jet akış 12 düzlemlerle taranmıştır. İncelenen her düzlemde iki kamera ile 200’er görüntü çifti alınmıştır. Elde

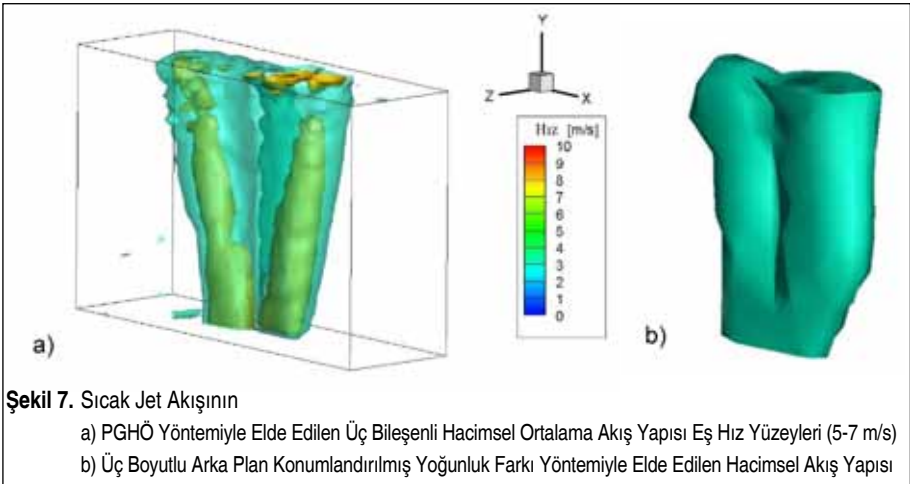




edilen bu görüntü çiftlerinin işlenmesi ile ortalama düzlemsel üç bileşenli hız dağılım haritaları oluşturulmuştur. Şekil 6’da oluşturulan ortalama düzlemsel üç bileşenli hız dağılım haritalarından 6’sı sunulmuştur.

Daha sonra, 12 düzlemden alınan ortalama düzlemsel üç bileşenli hız dağılımı sonuçlarının interpolasyonu ile hacimsel üç boyutlu hız dağılımına dönüştürülmüştür. Akış yapısının daha iyi anlaşılabilmesi için elde edilen sonuç, eş hız yüzeyleri olarak Şekil 7’de verilmiştir. Sunulan eş hız yüzeylerinin dış tarafındaki 5 m/s’yi ve jet çekirdeğini temsil eden iç taraftaki ise 7 m/s’yi göstermektedir.

Şekil 7 değerlendirildiğinde, incelenen jet akışının çekirdeğinin ağızdan itibaren ikiye ayrıldığı gözlemlenmiştir. Bu akış ayrılması “Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı” sonuçlarında da benzer şekilde gözlemlenmiştir (Şekil 7). Ancak yeni geliştirilen yöntemin başarısının nicel olarak değerlendirilebilmesi için PGHÖ verisinden, jetin açılma açısı ve çıkış ölçüleri elde edilmiştir. Bu ölçüler Tablo 1’de arka plan konumlandırılmış yoğunluk farkı yönteminden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.



Tablo 1. PGHÖ ile Elde Edilen Hacimsel Üç Bileşenli Ortalama Hız Dağılımı Sonuçları ve “Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı” Sonuçlarının Karşılaştırılması

Değerlendirme Parametresi	PGHÖ	Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı	Fark
y=30 mm jetin x uzunluğu	160.63 mm	159.41 mm	1.22 mm
y=30 mm jetin z uzunluğu	39.55 mm	40.42 mm	0.87 mm
Jetin X-Y düzlemindeki açılma açısı	34.10 °	33.30 °	0.80 °
Jetin Z-Y düzlemindeki açılma açısı	10.9 °	11.7 °	0.80 °



4. DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışmanın sonucunda, bir sıcak jet üzerinden “Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı” yöntemi ile elde edilen akış alanının, PGHÖ yöntemi ile elde edilen akış alanıyla örtüştüğü görülmektedir (Şekil 7).

PGHÖ yöntemiyle elde edilen hacimsel üç bileşenli ortalama hız dağılımı sonuçları, “Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı” sonuçları ile Tablo 1’de karşılaştırılmıştır. Jetin çıkış ağzından 30 mm ilerisinde alınan ölçümlerde PGHÖ ile “Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı” yöntemleri arasında x ekseninde 1.22 mm (%0.76 hata oranı), z ekseninde ise 0.87 mm (% 2.2 hata oranı) fark gözlemlenmiştir. Bu anlamda sonuçların birbiriyle tutarlı olduğu ve geliştirilen “Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı” yönteminin doğrulandığı söylenebilir. Böylelikle bir jet akışının hacimsel yapısı “Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı” yöntemi ile elde edilmiştir (Şekil 5-d).

Her ne kadar mevcut çalışmada PGHÖ yöntemi, “Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı” yöntemini doğrulamak için kullanılsa da iki yöntemin birbirlerini destekleyen ek özelliklerinin olduğu unutulmamalıdır. PGHÖ yöntemi bir akış görüntüleme yöntemi olmakla beraber aynı zamanda bir hız ölçümü yöntemidir. Yöntemin uygulanmasıyla incelenen tüm akış alanının hız vektörü haritası ve buna bağlı diğer akış özellikleri (çalkantılılık/vorticity, türbülans kinetik enerji... vb.) elde edilebilir. Öte yandan, daha önce belirtildiği gibi, “Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı” yöntemi ise nicel veri üretememektedir. Ancak bu yöntem, sıcak ve soğuk akışların karıştığı durumlarda PGHÖ’nün ayırtıramayacağı akışların birbirinden ayırtılması için kullanılabilir.

Çalışmanın önemli noktalarından biri de geliştirilen “Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı” deneysel yönteminin son kullanıcı ürünü kameralarla başarılı olmasıdır. Kullanılan bu kameraların fiyatları akış görüntüleme amaçlı üretilen kameralarla karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Geliştirilen yöntemde kullanılması önerilen kameraların maliyeti, mevcut çalışmayı doğrulamak için kullanılan PGHÖ yöntemindeki kameralar ile karşılaştırıldığında (çalışmanın gerçekleştirildiği tarih itibarıyla) 26 kat daha ucuzdur.

Ayrıca, “Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı” yöntemi tek başına olarak da doğal taşınım akışlarının ve yoğunluk farkı içeren diğer akışların incelenmesinde kullanılabilir. Etkili ve ekonomik bir yöntem olarak sunulabilir.



KAYNAKÇA

1. **Venkatakrishnan, L., Meier, G. E. A.** 2004. “Density Measurements Using the Background Oriented Schlieren Technique,” *Experiments in Fluids*, vol. 37 (2), p. 237–247.
2. **Meier, G. E. A.** 1999. Hintergrund Schlierenmeßverfahren, Deutsche Patentanmeldung, DE 199 42 856, German.
3. **Richard, H., Raffel, M., Rein, M., Kompenhans, J., Meier, G. E. A.** 2000. “Demonstration of the Applicability of a Background Oriented Schlieren (BOS) Method,” *Proc. 10th Int. Symp. on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics*, 10-13.07.2000, Lisbon.
4. **Dalziel, S. B., Hughes, G. O., Sutherland, B. R.** 2000. “Whole-Field Density Measurements by Synthetic Schlieren,” *Experiments in Fluids*, vol. 28 (4), p. 322–335.
5. **Özer, Ö., Kumlutaş, D.** 2014. “Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı (Schlieren) Yöntemi ile Doğal Taşınım Akışlarının İncelenmesi,” 2. Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu ve Sergisi, IKSES-14, 23-25 Ekim 2014, Bildiriler Kitabı, Balıkesir, s. 574-581.
6. **Nicolas, F., Todoroff, V., Plyer, A., Le Besnerais, G., Donjat, D., Micheli, F., Le Sant, Y.** 2016. “A Direct Approach for Instantaneous 3D Density Field Reconstruction from Background Oriented Schlieren (BOS) Measurements,” *Experiments in Fluids*, vol. 57 (1), p. 1–21.
7. **Karadeniz, Z. H., Kumlutaş, D., Özer, Ö.** 2013. “Experimental Visualization of The Flow Characteristics of The Outflow of a Split Air Conditioner Indoor Unit by Meshed Infrared Thermography and Stereo Particle Image Velocimetry,” *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 44, p. 334–344.

Panjur Kanatlı Isı Değişiricilerinin Performansının Deneysel ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yaklaşımı ile İncelenmesi¹

Abdulkerim Okbaz*²

Hüseyin Onbaşıoğlu³

Ali Bahadır Olcay⁴

Ali Pınarbaşı⁵

ÖZ

Bu çalışmada, farklı panjur açılarında ve Reynolds sayılarında panjurlu-kanatlı ısı değiştiricilerinin ısı transferi ve basınç düşüşü karakteristikleri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Deneylerde akış yapısını incelemek için kapalı döngü bir su tüneline boya ile akış görselleştirme yöntemi kullanılmıştır. Panjurlu kanatlı ısı değiştiricilerinin ısı ve hidrolik karakteristiklerini farklı panjur açılarında ve çalışma şartlarında incelemek için ANSYS Fluent yazılımı ile sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, sıcaklık eş düzey eğrileri, akım çizgileri, sürtünme faktörü f , Colburn J faktörü ve bunların oranı olan JF faktörü olarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, en yüksek ısı-hidrolik performansa, panjur açısının 20° olduğu durumda ulaşıldığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınç düşüşü, ısı değiştiricisi, ısı transferi, panjur kanat, taşınım ısı transferi

Investigation of Louvered Fin Heat Exchangers Performance via Experimental and Computational Fluid Dynamics Approach

ABSTRACT

In this study, heat transfer and pressure drop characteristics of louvered-fin heat exchangers for various louver angles and Reynolds numbers were investigated experimentally and numerically. In the experiments, a flow visualization method via dye injection in a closed-loop horizontal water tunnel was used to examine the flow structure. Numerical studies were carried out with ANSYS Fluent software to investigate the thermal and hydraulic characteristics of louvered fin heat exchangers for different louver angles and operating conditions. The results are presented as temperature contours, streamlines, friction factor f , Colburn J factor and goodness factor JF . According to the obtained results, when the louver angle is 20° , the thermal-hydraulic performance is the highest.

Keywords: Pressure drop, heat exchanger, heat transfer, louver fin, convection heat transfer

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 24.04.2017

Kabul/Accepted : 14.07.2017

¹ 19-22 Nisan 2017 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından İzmir'de düzenlenen 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Fuarı'nda bildiri olarak sunulan bu metin, yazarlarınca makale olarak yeniden düzenlenmiştir.

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü - aokbaz@yildiz.edu.tr

³ Dr., Friterm AŞ. - huseyinonbasioglu@friterm.com

⁴ Yrd. Doç. Dr., Yeditepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü - bahadir.olcay@yeditepe.edu.tr

⁵ Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü - alipnrbs@yildiz.edu.tr



1. GİRİŞ

Isı değiştiricilerinde ısl direncin (%85 veya daha fazla) en çok olduğu kısım ısının hava akışkanı ile değiştirildiği yerdedir [1]. Isı değiştiricilerinde yüksek kompaktlık özelliği istendiğinde karmaşık kesintili kanat yapıları kullanılmaktadır. Zira bu tür kanatlar kalın sınır tabaka oluşumunu engellemekte ve akışta kararsızlıklar oluşurmaktadır. Panjurlu kanatlar sıklıkla hava koşullandırma cihazlarında, ısı pompalarında, araç radyatörlerinde ve soğutma sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu kanat tipi, gelen akışa açılı olarak yerleştirilmiş bir dizi düz plakalardan (panjurlardan) oluşmaktadır. Düşük Reynolds sayılarında kalın sınır tabaka panjurlar arasındaki akışkan geçişini engellemekte ve akışı düz doğrultuda akmaya zorlamaktadır. Reynolds sayısı arttıkça sınır tabakası incelemekte ve böylece akış, panjurların doğrultusuna yönelerek akış yolunu genişletmektedir. Meydana gelen bu akış olaylarının ısı transferinde artış sağladığı bilinmektedir. Ancak, akış yolu genişledikçe sürtünmeden kaynaklı basınç düşüşü de artış göstermektedir. Basınç düşüşü ısı değiştiricilerinde gerekli fan gücünü arttırdığı için istenmeyen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Kanatlar üzerindeki panjurların performansı akış yapısı açısından değerlendirildiğinde, akışın panjurları takip edebilme yeteneği “akış kalitesi” olarak adlandırılır [1]. Tek bir panjur boyunca gerçekleşen ısı transferi temelde iki etmene bağlıdır. Bu etmenlerden birincisi, panjurun etrafındaki akış alanıdır. Akış alanı panjur yüzeyi boyunca sınır tabakanın gelişimini belirler. İkinci etmen ise panjur yüzeyi ile akışkan arasındaki ısı transfer potansiyelini belirleyen ısl alandır. Reynolds sayısından sonra ise akış kalitesi büyük miktarda panjur geometrisine bağlıdır. Kesintili yüzeyler ısl sınır tabakayı yeniden başlatır. Ortalama sınır tabaka kalınlığı kısa levhalar için uzun levhalara göre daha ince olduğundan, ortalama ısı transferi katsayısı kesintili yüzeylerde sürekli yüzeylere göre daha yüksek olmaktadır. Ayrıca bazı kritik Reynolds sayılarının üzerindeki akışlarda, kesintili yüzeyler ısı transferini artırabilecek girdap kopmaları oluşurmaktadır. Literatürdeki panjurlu kanatlı ısı değiştiricileri ile ilgili yapılmış çalışmalara ilişkin bazı örnekler aşağıda sunulmuştur.

Wang ve arkadaşları [2], yuvarlak borulu ve panjur tipi kanatlı ısı değiştiricilerinde genel ısı transferi ve sürtünme direnci ile ilgili korelasyonlar elde etmişlerdir. Korelasyonları türetmek için panjur adımı, panjur yüksekliği, uzunlamasına boru uzunluğu, yanlamasına boru adımı, boru çapı, kanat adımı gibi farklı geometrik parametreleri içeren 49 farklı panjurlu kanatlı-borulu ısı değiştiricisi örneği kullanmışlardır. Zhang ve Tafti [3], çoklu panjurlu-kanatlı ısı değiştiricilerinde gerçekleşen iki farklı ısl art izi girişimi olayını sınıflandırmışlardır. Buna göre kanat arası (Inter-fin) girişimi, panjurların komşu satırları arasında meydana gelmekte; yüksek akış verimlerinde ve akış panjur doğrultusunda baskın olmaktadır. Kanat içi (Intra-fin) girişimi ise aynı kanat ya da satırın bir sonraki panjurunda veya kanadında ortaya çıkmakta; dü-



şük akış verimlerinde veya akış, kanal doğrultusunda olduğunda gerçekleşmektedir. Isı transfer kapasitesindeki artış düşük adım oranlarında daha yüksektir. Isı transfer katsayısının belirlenmesinde kullanılan deneysel yöntemlerin yüksek akış verimlerinde büyük hatalara neden olmadığını; ancak düşük akış verimlerinde %100'e varan hatalara neden olabildiğini belirtmişlerdir. Kim ve Bullard [4], çoklu panjurlu-kanatlı ve düz plaka kanatlı-borulu ısı değiştircilerinin hava tarafı ısı transferi ve basınç düşüşü karakteristikleriyle ilgili deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Deneyselerde 45 farklı ısı değiştircisi kullanılmış, panjur açısı 15-29° arasında, hava tarafı Reynolds sayısı 100-600 arasında değiştirilmiş, kanat adımı 1.0, 1.2 ve 1.4 mm, akış derinliği 16, 20 ve 24 mm olarak alınmış ve boru içi su debisi 0.32 m³/s olarak sabit tutulmuştur. Hava tarafı ısı performansını, karşıt akış ve akışkanların karışmadığı kabulü ile NTU etkinlik yöntemini kullanarak analiz etmişlerdir. Farklı geometrik yapıdaki ısı değiştircilerindeki ısı transfer katsayısı ve basınç düşüşü performansları Colburn j-faktörü ve sürtünme faktörü f olarak panjur adımına göre tanımlı farklı Reynolds sayıları için rapor edilmiştir. Panjur açısının ısı transferine etkisi akış derinliğine, kanat yerleşimine ve Reynolds sayısına göre farklılıklar göstermiştir; ancak kanat yerleşiminin etkisi diğer parametrelere kıyasla küçük olmuştur. Basınç düşüşü panjur açısı ve akış derinliği ile artmakta, kanat adımının artması ile azalmaktadır. Kanat yerleşiminin basınç düşüşüne etkisi kanat açısının artması ile düşmüştür. De-Jong ve Jacobi [5], panjurdan panjura gerçekleşen kütle transferi verilerini (ısı ve kütle transferi benzeşimi kullanarak) Reynolds sayısının 130'dan 1400'e kadar olan değerleri için elde etmişlerdir. Kütle transferi için naftalin süblimleşme tekniğini kullanmışlardır. Basınç düşüşü verileri düşük hızlı rüzgâr tüneline elde edilmiş, ısı değiştircisi içerisindeki yerel akış yapıları da su kanalında boya ile görselleştirme yöntemi kullanılarak görselleştirilmiştir. Girdap kopma olayının ısı transferi iyileştirmesine olan etkisi üzerine ayrıntılı araştırma yapmışlardır. Girdap kopmasının panjurlu kanat dizileri üzerinde daha az etkili olduğu bulunmuştur. Dejong ve Jacobi [6], sınır duvarlarının akış üzerine ve panjur kanat dizilerindeki ısı transferine etkisini naftalin süblimleşme tekniği ve akış görselleştirme ile deneysel olarak araştırmışlardır. Kütle transferi ve ısı transferi benzeşimiyle, naftalin kaplanmış yüzeydeki süblimleşen naftalin miktarı ısı transferi hesabında kullanılmıştır. Cidar yakınındaki akış karakteristiklerinin ısı transferi üzerinde olumsuz etkileri olmuştur. Büyük ayrılma bölgeleri düşük Reynolds sayılarında ısı transferinde düşüşe neden olurken (sınır cidarlarından uzaktaki panjurlarla karşılaştırıldığıda), yüksek Reynolds sayılarında akış kararsızlıkları ısı transferinde artışa neden olmuştur. Lyman ve arkadaşları [1], panjurlu kanatların kompakt ısı değiştircilerinin basınç düşüşünde önemli bir artışa neden olmadan ısı transferi performansını artırmak için etkili bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Deneyselerini birçok sayıda büyük ölçekli panjur modellerinde, farklı panjur adımları ve panjur açıları için bir dizi farklı Reynolds sayısı değerlerinde gerçekleştir-



mişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada, akış sıcaklığı ve adyabatik cidar sıcaklığı gibi farklı referans sıcaklıklarını kullanarak panjurdaki ısı transfer katsayısını belirlemek için bir yöntem sunmuşlardır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, belirli bir panjuru çevreleyen ısıl alan, panjurdan gerçekleşen ısı transferi üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Perrotin ve Clodic [7], tek sıra borulu araç yoğunlaştırıcısı için elde ettikleri Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) sonuçlarını literatürdeki farklı kanat tasarımı ve akış şartlarını kapsayan korelasyonlarla ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Üniform ve sabit kanat sıcaklığı şartlarında yapılan iki boyutlu analizler sonucunda çok abartılı ısı transfer katsayısı sonuçları (%80 daha fazla) elde edilmiştir. Borunun etkilerini, taşınım ve kanatlardaki iletimle gerçekleşen bileşik ısı transferini de dikkate alarak yaptıkları üç boyutlu hesaplamaların sonuçları ise deneysel verilerle daha uyumlu (%13 daha fazla) değerler vermiştir. Ancak, HAD sonuçları ile deneysel sonuçlar arasında bazı farklılıklar olsa da HAD sonuçlarının eğilimi, akış alanındaki yerel bölgelerin akış fiziği hakkında daha iyi bilgi edinme açısından kompakt ısı değiştiricileri için deneysel sonuçlarla karşılaştırılabilecek yapıdadır. Ayrıca, daha gerçekçi kanat verimleri ve daha düşük eleman boyutları ile yapılan hesaplamalarla daha az farka sahip sonuçların elde edilebileceği belirtilmiş, bunun ise daha fazla hesaplama süresine yol açacağı vurgulanmıştır. Hsieh ve Jang [8], art arda artırılan ya da azaltılan panjur açılarının ısı transferine ve akış yapısına etkilerini üç boyutlu sayısal analiz yaparak araştırmışlardır. Mevcut sonuçlar göstermiştir ki ısı değiştiricilerine uygulanan art arda değişken açılı panjur yerleşimi ısı transfer performansını artırmaktadır. Huisseune ve arkadaşları [9], akış görselleştirme çalışmalarını altı kat büyütülmüş, panjur kanatlı ve dairesel boru ısı değiştiricisi modelinde bir su kanalında gerçekleştirmişlerdir. Düşük Reynolds sayılarında akım yolları boru yüzeyini takip ederken, yüksek Reynolds sayılarında boruların ön kısmında at nalı girdaplar oluşmuştur. Bunun sonucunda oluşan iki adet akım yönündeki girdap uzantıları aşağı akım panjurları tarafından bozulmuştur. Bu bozulma özellikle yüksek Reynolds sayılarında ve görece küçük kanat adımları ve panjur açılarında daha çok olmuştur. Reynolds sayısının yanında, kanat aralığı da at nalı girdabın gelişimini etkilemektedir; kanat aralığı arttıkça daha büyük ve daha güçlü at nalı girdapları oluşmuştur. Bu göstermiştir ki kanat aralığı azaldıkça mekanik blokajdan ve sürtünmeden kaynaklı girdapsal hareket yok oluşu artmıştır. Ayrıca, ikinci boru dizisindeki girdap şiddeti ve dönüm sayısı birinci boru dizisinden daha fazladır. Vaisi ve arkadaşları [10], kompakt ısı değiştiricilerinde panjurlu kanatların üzerindeki akışın hava tarafı ısı transferi ve basınç düşüşü karakteristiklerini deneysel olarak araştırmışlardır. Panjurlu kanatların simetrik yerleşimi asimetrik yerleşime göre kıyaslandığında, ısı transferi performansında %9.3 artış ve basınç düşüşünde ise %18.2 azalış olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, sabit bir ısı transferi ve basınç düşüşü için kanat yüksekliğinde kanatların simetrik yerleştirildiği durumda %17.6 düşüş olurken, ısı değiştiricisinin toplam boyutunda ve



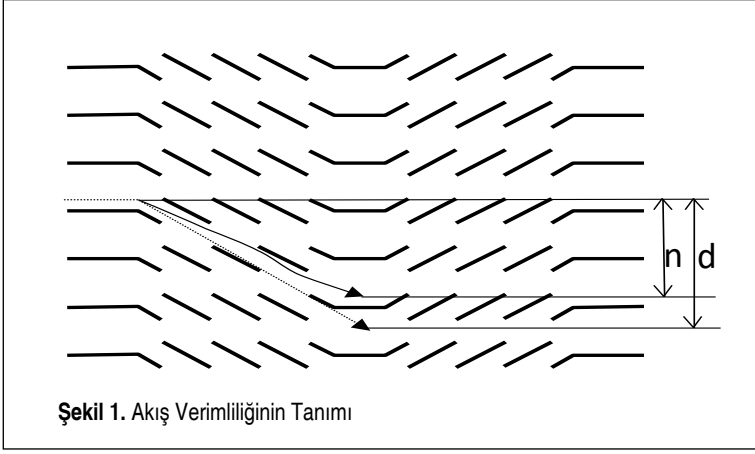
maliyetinde kayda değer bir düşüş gerçekleşmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki panjurun ısı transferi ve basınç düşüşüne etkisinde en önemli parametre panjurların yerleşimidir. Başka bir ifadeyle, panjur kanatların panjur açısı, panjur yüksekliği ve panjur adımı gibi ana yapısında hiçbir değişiklik yapmadan ısı transferi ve basınç düşüşü karakteristikleri boru sıraları üzerindeki panjurların yerleşimi değiştirilerek iyileştirilebilmektedir. Okbaz ve arkadaşları [11], panjur kanatlı ısı değiştiricilerinin deneysel modelleri tasarlanırken, gerçek ölçekli ısı değiştiricilerinde meydana gelen akış yapısını simule edebilmek için gerekli olan panjur kanat sıra sayısının belirlenmesi amacıyla sayısal bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Panjur kanat sıra sayısının 10'dan az olması durumunda akışın periyodik özellik göstermediğini, yerel olarak kanal doğrultulu akış yapılarının oluştuğunu ve kenar etkilerinin fazla olduğunu belirtmişlerdir. Okbaz ve arkadaşları [12], panjur kanatlı-borulu ısı değiştiricilerinde ısı transferi ve basınç düşüşü karakteristiklerini farklı panjur uzunlukları ve panjur açıları için sayısal olarak araştırmışlardır. Okbaz ve arkadaşları [13], kanat adımının farklı panjur açılarında ve Reynolds sayılarında ısı transferi ve basınç düşüşü üzerine etkilerini Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yaklaşımı ile araştırmışlardır.

Yapılan literatür taramasında, panjur kanatlı ısı değiştiricilerinin ısı transferi ve basınç düşüşü ile ilgili karakteristik özelliklerini inceleyen çalışmalar ortaya konmuştur. Farklı çalışma koşullarında ve geometrik tapılarda farklı panjur açıları daha iyi performans göstermiştir. Özellikle kanat adımları panjur açısının ısı transferi üzerine etkisini büyük miktarda etkilemektedir. Bu çalışmada ise farklı panjur açılarının ısı ve hidrolik performansı Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yaklaşımı ile incelenmiş, elde edilen performansın, en yüksek tasarım için bir su tüneline akış görselleştirme çalışması yapılmış ve akış verimleri hesaplanmıştır.

2. DENEYSEL VE SAYISAL YÖNTEM

2.1 Deneysel Yöntem

Deneyler akrilik malzemeden imal edilmiş kapalı sistem su tüneline boya akıtma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Su akışı frekans kontrollü bir pompa vasıtasıyla sağlanmıştır. Tünelin test bölümü modelin yerleştirilebilmesi için üst bölümü açılır-kapanır şekilde 15.24 cm x 5.24 cm boyutlarında imal edilmiştir. Deneysel çalışmada gerçek ısı değiştiricisinin 10 kat ölçekli büyütülmüş modeli kullanılmıştır. Akış görselleştirme deneylerinde kullanılan model, saydam bir polimerden stereolitografi yöntemi ile imal edilmiştir. Deneylerde gerçek boyutlardaki panjur kanatlı ısı değiştiricisinde olan akış olaylarını simule etmek için 10 adet panjur sıralı model kullanılmıştır. Akış, görselleştirmede kullanılan boya, kanalın merkezinden ilk panjurun 1.5 cm yukarı akım yönünden akıtılmıştır.



Tablo 1. Akış Görselleştirme Deneyinde Kullanılan Modelin Ölçüleri

Kanat Adımı H (mm)	Panjur Adımı L_p (mm)	L_p/H	Kanat Kalınlığı δ (mm)	Panjur Açısı θ (°)
20	16	1.25	1.5	20

Belirli Reynolds sayılarıyla çekilen fotoğraflar, akış verimliliği değerlerini elde etmek için Adobe PhotoShop fotoğraf editörü yazılımı kullanılarak işlenmiştir. Akış verimliliği, panjurun akışı ne kadar yönlendirildiğinin bir ölçüsüdür ve Sahnoun ve Webb [14] tarafından Denklem 1 ile belirtilmiştir;

$$\eta = \frac{n}{d} \quad (1)$$

2.2 Sayısal Yöntem

Bu çalışmada, 3 boyutlu akış hacmini ve ısı transferini çözmek için FLUENT 16 paket yazılımı kullanılmıştır. Ağ oluşturma sırasında ağ yapılarının kalitesi dikkate alınmıştır. Bütün durumlar için sonuçların ağ sayısından bağımsızlığı kontrol edilmiştir. Sonuçların ağ yapısından bağımsızlığını kontrol etmek için Colburn faktörü j ve boyutsuz sürtünme faktörü f sonuçları dikkate alınmış, farklı ağ sayılarındaki sonuçlar arasında %1'lik fark elde edilinceye kadar ağ sayıları değiştirilmiştir. Sayısal çözümleme yapılırken akış, sürekli kabul edilmiş; bazı panjur açıları ve akış hızlarında laminer çözüm yapılırken, bazılarında ise türbülanslı çözüm yapılmıştır. Panjur açısı ve akış hızı arttıkça akış, türbülanslı yapıya geçmiş, laminer çözümlerinde yakınsama elde edilememiştir. Türbülanslı akışı çözmek için ise sınır tabaka akışlarında ve



düşük Reynolds sayılarında başarılı sonuçlar veren Realizable $k-\varepsilon$ türbülans modeli kullanılmış ve kanat üzerindeki laminer bölgeyi hassas bir şekilde dikkate alabilmek için “Enhanced Wall Treatment” (Geliştirilmiş Duvar Fonksiyonu) yöntemi kullanılmıştır. Girişte, türbülans yoğunluğu %5 olarak kabul edilmiştir. Panjur kanat üzerinde ağ tabakasındaki birinci katmanda $y^+ < 1$ olarak elde edilmiştir.

Süreklilik, momentum ve enerji denklemleri aşağıda verilmiştir.

Süreklilik Denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (2)$$

Momentum Denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j - \tau_{ij}) = \frac{\partial p}{\partial x_j} + S_i \quad (3)$$

$$\tau_{ij} = 2\mu S_{ij} - \frac{2}{3}\mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \quad (4)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (5)$$

Enerji Denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\rho u_i h - \lambda \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) = u_i \frac{\partial p}{\partial x_i} + \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (6)$$

Akışın türbülanslı olduğu koşullar için türbülans etkileri Realizable $k-\varepsilon$ türbülans modeli kullanılarak hesaba katılmıştır. Realizable $k-\varepsilon$ türbülans modelinde k ve ε için modellenmiş transport denklemleri [15]:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + S_\varepsilon \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + S_\varepsilon \quad (9)$$

$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \eta = S \frac{k}{\varepsilon}, S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (10)$$

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (11)$$

$$C_\mu = \frac{1}{A_0 + A_s \frac{kU^*}{\varepsilon}} \quad (12)$$

$$U^* \equiv \sqrt{S_{ij}S_{ij} + \tilde{\Omega}_{ij}\tilde{\Omega}_{ij}} \quad (13)$$

$$\tilde{\Omega}_{ij} = -3\varepsilon_{ijk}\omega_k \quad (14)$$

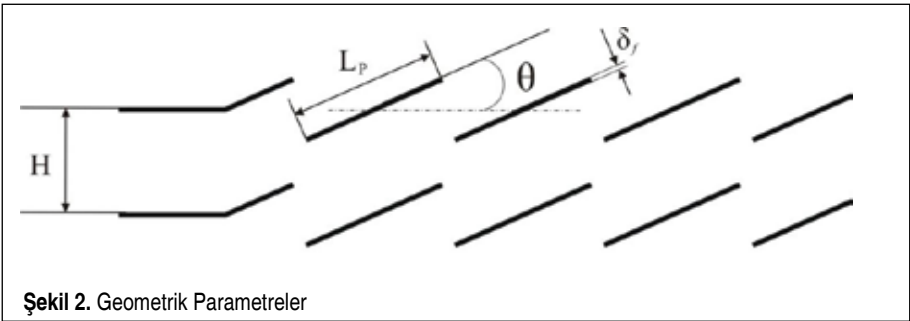
Burada G_k , ortalama hız gradyanlarından ötürü türbülans kinetik enerjinin üretimini temsil eder. Y_m , sıkıştırılabilir türbülanstaki dalgalı genişlemenin toplam dağılıma oranına katkısını temsil eder. $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ ve $C_{3\varepsilon}$ sabitlerdir. S_k ve S_c ise kullanıcı tarafından tanımlanan kaynak terimleridir.

Model sabitleri $A_0=4.04$ ve $A_s = \sqrt{6} \cos \phi$

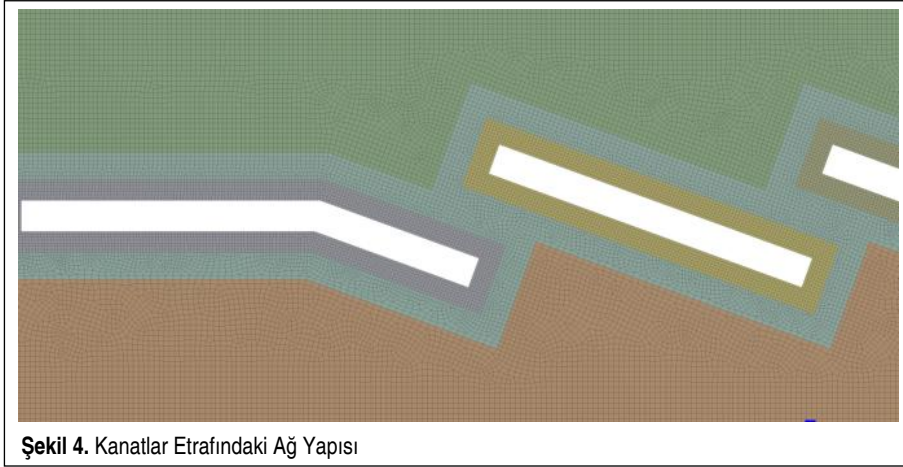
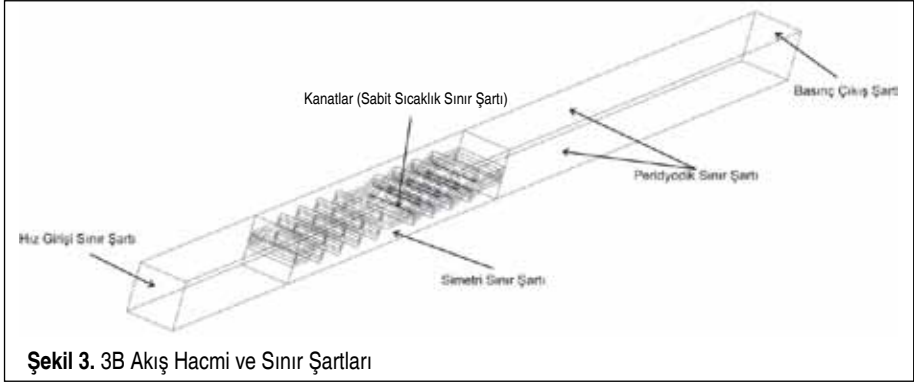
Burada:

$$\phi = \frac{1}{3} \cos^{-1}(\sqrt{6}W), W = \frac{S_{ij}S_{jk}S_{ki}}{\tilde{S}^3}, \tilde{S} = \sqrt{S_{ij}S_{ij}}, S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (15)$$

Momentum denklemlerindeki basınç gradyanı ikinci dereceden ayrıklaştırma yöntemi ile çözülmüştür. Süreklilik denklemlerinde yakınsama kriteri değeri 10^{-6} olarak alınmıştır. Havanın termo-fiziksel özellikleri ortalama sıcaklık değerlerine göre sabit olarak kabul edilmiştir: $C_p= 1.007$ (kJ/kg K), $\mu= 0.00001895$ (kg/ms), $\lambda= 0.02625$ (W/mK). Hava yoğunluğu ise sıkıştırılmaz ideal gaz denkleminde göre belirlenmiştir. Girişte hız sınır şartı uygulanmış, çıkışta ise gösterge basıncı 0 Pa olarak ayarlanmıştır.



Şekil 2. Geometrik Parametreler



Tablo 2. Sayısal Çalışmalarda Kullanılan Geometrik Parametreler ve Çalışma Şartları

Panjur Adımı (L_p)	1.6 mm
Kanat Adımı (H)	2 mm
Panjur Açısı (θ)	15°- 40°
Kanat Kalınlığı (δ)	0.15 mm
Akış Uzunluğu (L)	17.2 mm
Giriş Sıcaklığı (T_g)	303.15 K
Hava Hızı (U)	1-6 m/s
Panjur Sıcaklığı (T_w)	313.15 K



Akış hacminin üst ve alt kısımlarına periyodik sınır şartı tanımlanmış, yan yüzeye ise simetri sınır şartı uygulanmıştır.

2.2.1 Sayısal Yöntem Verilerinin İşlenmesi

Reynolds Sayısı:

$$Re = \frac{\rho U L_p}{\mu} \quad (16)$$

Burada U , hava giriş hızı; ρ , havanın yoğunluğu; L_p , panjur uzunluğu ve μ ise viskozitedir.

Isı Taşınım Katsayısı:

$$h = \frac{q''}{T_w - T_b} \quad (17)$$

$$T_b = \frac{T_g + T_\xi}{2} \quad (18)$$

Burada q'' , T_b ve T_w sırasıyla ısı akısı, giren ve çıkan akışkanların ortalama sıcaklığı ve panjurlu kanat cidar sıcaklığıdır.

Colburn faktörü j , sürtünme faktörü f ve ısıl hidrolik performansı veren JF faktörü:

$$j = \frac{Nu}{Re.Pr^{1/3}} = \frac{h}{\rho.U.C_p}.Pr^{2/3} \quad (19)$$

$$f = \frac{\Delta P}{\frac{L}{2} \cdot \rho.U^2} \cdot \frac{H}{4.L} \quad (20)$$

$$JF = j / f \quad (21)$$

Burada L , panjurlu bölgenin giriş ve çıkışı arasındaki uzunluktur.

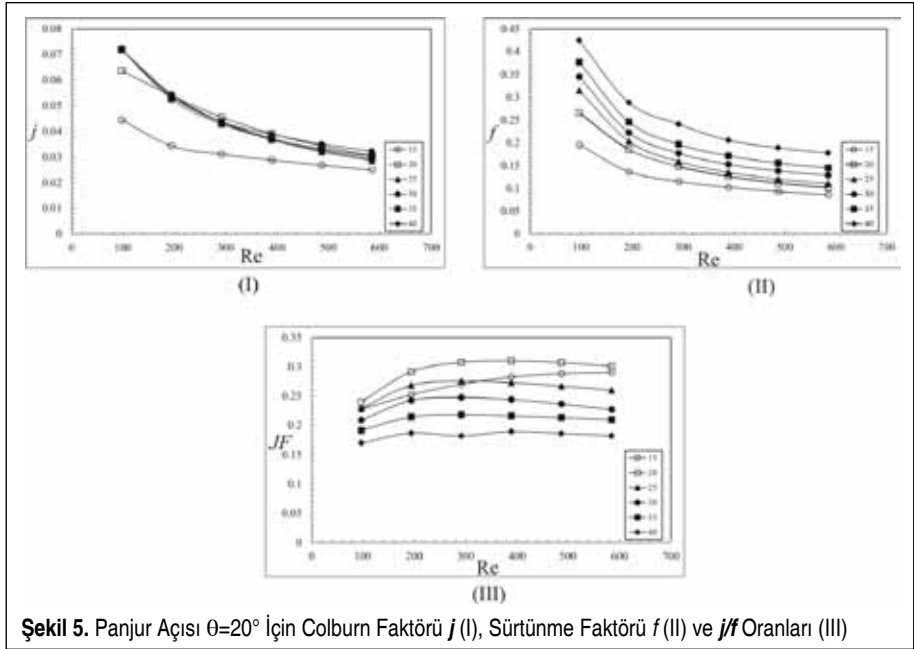
3. SONUÇ

Panjur kanatlı ısı değiştiricilerinde ısıl–hidrolik performansın iyileştirilmesi ve değerlendirilmesi için akış görselleştirme yöntemi iyi bir olanak sağlamaktadır. Akış yapısının bütün çözüm hacmi için anlaşılması daha ayrıntılı bir bakış açısına sahip olmayı olanaklı kılmaktadır. Bu nedenle akım çizgileri, hız vektörleri ve sıcaklık eş düzey eğrileri, Colburn j faktörü ve sürtünme faktörü f ile birlikte sunulmuştur.



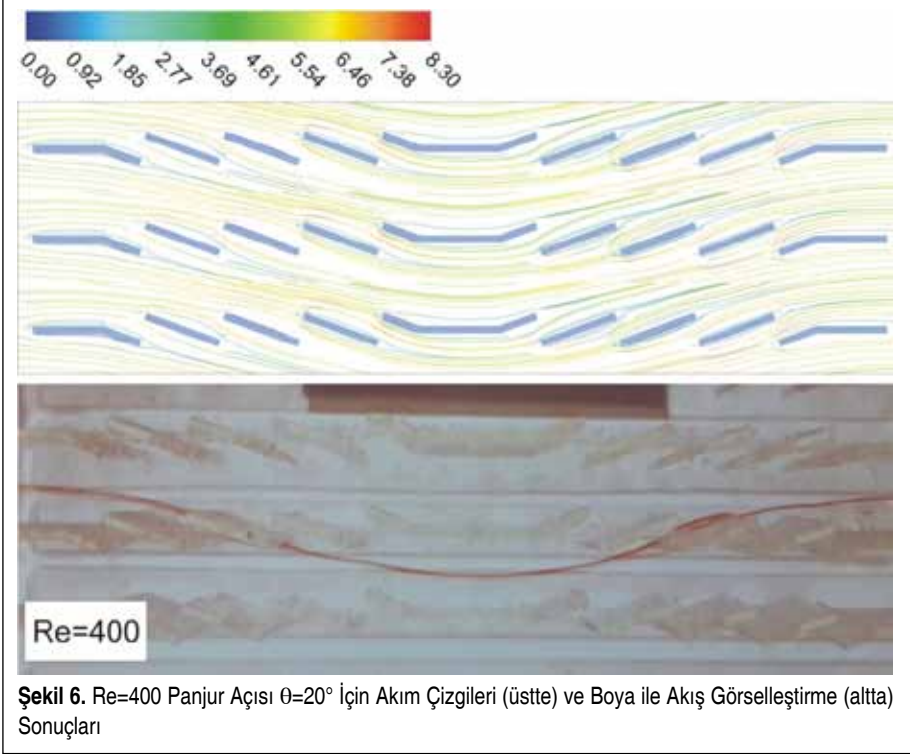
Şekil 5'te, farklı panjur açılarında ve farklı Re sayılarında Colburn faktörü j (I), sürtünme faktörü f (II) ve JF faktörü (III) sunulmuştur. Isı transferi karakteristiği olan Colburn faktörü j sonuçları incelendiğinde, bütün Re sayılarında en yüksek j değerleri panjur açısının $\theta=20^\circ$ olduğu durumda elde edilmiştir. Isı transferi performansının en zayıf olduğu durum ise panjur açısının $\theta=15^\circ$ olduğu durumdur. Diğer açılar arasında j değerlerinde kayda değer bir fark ortaya çıkmamıştır. Panjur açısı $\theta=15^\circ$ 'den $\theta=40^\circ$ 'ye doğru artırıldığında ısı performans 20° 'de ani bir artış göstermiş ve daha sonra ise tekrar düşmeye başlamıştır. Basınç düşüşleri ise panjur açısının artması ile artmaya devam etmiştir. En yüksek basınç düşüşü panjur açısının $\theta=40^\circ$ olduğu durumda oluşurken, en az düşüşün de panjur açısının $\theta=15^\circ$ olduğu durumda elde edilmiştir. Basınç düşüşü ve ısı transferi performanslarının birlikte değerlendirildiği JF faktörü panjur açısının toplam performans üzerine etkisi hakkında daha gerçekçi bilgiler sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki en yüksek JF faktörü değerlerine panjur açısının 20° olduğu durumda ulaşılırken, en düşük değerlere panjur açısının 40° olduğu durumda ulaşılmıştır. Panjur açılarının $\theta=20^\circ$, 25° , 30° ve 35° olduğu durumlarda Re sayısının 300 değerinden sonra ısı-hidrolik verimin düşmeye başladığı görülmüştür. Panjur açısının 15° olduğu durumda ise JF faktörü Re sayısı ile artmaya devam etmiştir.

Şekil 6'da, Reynolds sayısı $Re=400$ ve en yüksek ısı-hidrolik performansın elde edildiği panjur açısı $\theta=20^\circ$ için akım çizgileri ve boya ile akış görselleştirme sonuçları su-

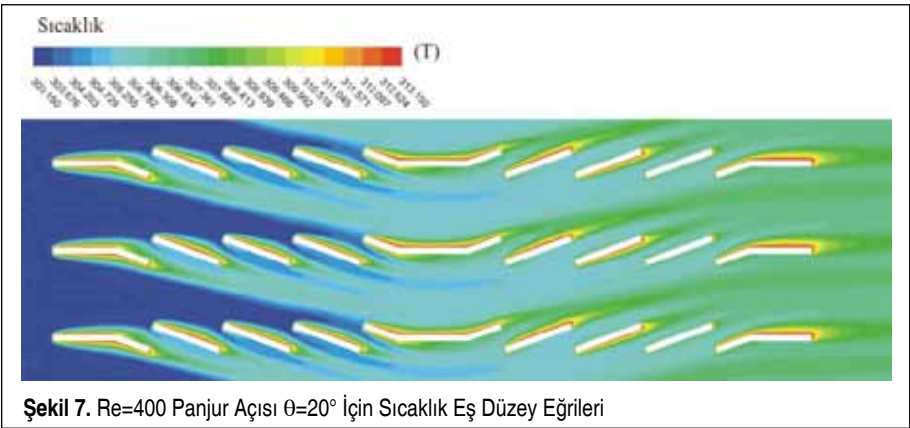


Şekil 5. Panjur Açısı $\theta=20^\circ$ için Colburn Faktörü j (I), Sürtünme Faktörü f (II) ve JF Oranları (III)

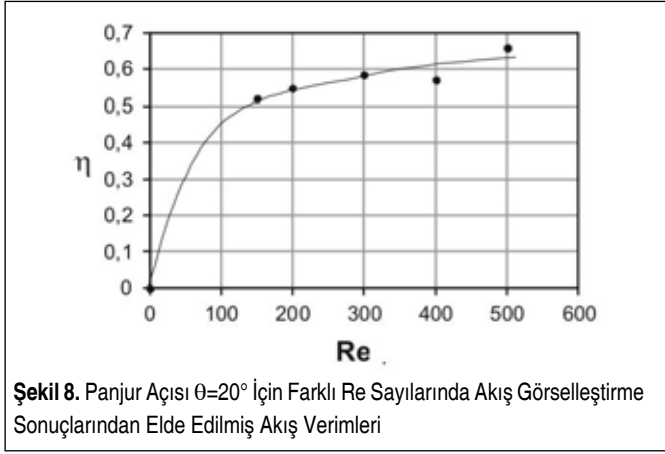
nulmuştur. Akım çizgileri ve boya akış görselleştirme sonuçları akış yapısının deneysel ve sayısal sonuçlar için örtüştüğünü göstermektedir. Şekil 7’de, $Re=400$ ve panjur açısı $\theta=20^\circ$ için sıcaklık eş düzey eğrileri gösterilmiştir. Panjurlar kanatlar arasında akışın hareket edebilmesini ve sıcak akışkanla soğuk akışkanın daha iyi karışmasını



Şekil 6. $Re=400$ Panjur Açısı $\theta=20^\circ$ için Akım Çizgileri (üstte) ve Boya ile Akış Görselleştirme (altta) Sonuçları



Şekil 7. $Re=400$ Panjur Açısı $\theta=20^\circ$ için Sıcaklık Eş Düzey Eğrileri



sağlamaktadır. Kesintili yüzey oluşturan panjur yapıları ısı sınır tabakasının sürekli olarak büyümesini engelleyerek incelmelerini sağlamakta, dolayısıyla taşınımın olan ısı transferini artırmaktadır. Şekil 8’de, panjur açısı $\theta=20^\circ$ için farklı Re sayılarında akış görselleştirme sonuçlarından elde edilmiş akış verimleri sunulmuştur. Akış verimleri akışın panjurlar tarafından ne kadar yönlendirilebildiğini gösteren nicel bir ifadedir. 20° panjur açısında Re sayısı arttıkça akış veriminin arttığı görülmüştür.

SEMBOLLER

A	Alan (m^2)
C_p	Özgül ısı ($J/kg \text{ } ^\circ C$)
f	Fanning sürtünme faktörü
h	Isı taşınım katsayısı ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
j	Colburn faktörü
L	Akış uzunluğu (m)
L_p	Panjur adımı (m)
N_u	Nusselt sayısı
q''	Isı akısı (W/m^2)
R_e	Reynolds sayısı
T	Sıcaklık (K)
T_b	Ortalama sıcaklık (K)
T_c	Akışkan çıkış sıcaklığı (K)
T_g	Akışkan giriş sıcaklığı (K)



T_w	Cidar sıcaklığı (K)
U	Hava giriş hızı (m/s)
Δp	Basınç düşüşü (Pa)

Yunanca Semboller

μ	Dinamik viskozite (kg/m s)
δ_f	Panjur kanat kalınlığı (m)
η	Akış verimi
θ	Panjur açısı ($^\circ$)
λ	Isı iletim katsayısı (W/m K)
ρ	Akışkan yoğunluğu (kg/m ³)
Re	Reynolds sayısı

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi ve FRİTERM A.Ş ortaklığı ile gerçekleştirilen, T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından desteklenen 0649.STZ.2014 numaralı SANTEZ projesinden üretilmiştir. Desteklerini esirgemeyen kurum ve kuruluşlara teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

1. **Lyman, A. C., Stephan, R. A., Thole, K. A., Zhang, L. W., Memory, S. B.** 2002. "Scaling of Heat Transfer Coefficients along Louvered Fins," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 26, no. 5, p. 547–563.
2. **Wang, C.-C., Lee, C.-J., Chang, C.-T., Lin, S.-P.** 1999. "Heat Transfer and Friction Correlation for Compact Louvered Fin-and-Tube Heat Exchangers," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 42, no. 11, p. 1945–1956.
3. **Zhang, X., Tafti, D. K.** 2001. "Classification and Effects of Thermal Wakes on Heat Transfer in Multilouvered Fins," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 44, no. 13, p. 2461–2473.
4. **Kim, M. H., Bullard, C. W.** 2002. "Air-Side Thermal Hydraulic Performance of Multi-Louvered Fin Aluminum Heat Exchangers," *Int. J. Refrig.*, vol. 25, no. 3, p. 390–400.
5. **DeJong, N. C., Jacobi, A. M.** 2003. "Flow, Heat Transfer, and Pressure Drop in the Near-Wall Region of Louvered-Fin Arrays," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 27, no. 3, p. 237–250.
6. **DeJong, N. C., Jacobi, A. M.** 2003. "Localized Flow and Heat Transfer Interactions in Louvered-Fin Arrays," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 46, no. 3, p. 443–455.
7. **Perrotin, T., Clodic, D.** 2004. "Thermal-Hydraulic CFD Study in Louvered Fin-and-Flat-Tube Heat Exchangers," *Int. J. Refrig.*, vol. 27, no. 4, p. 422–432.
8. **Hsieh, C. T., Jang, J. Y.** 2006. "3-D Thermal-Hydraulic Analysis for Louver Fin Heat



Exchangers with Variable Louver Angle,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 26, no. 14–15, p. 1629–1639.

9. **Huisseune, H., T’Joen, C., De Jaeger, P., Willockx, A., De Paepe, M.** 2010. “Study of Junction Flows in Louvered Fin round Tube Heat Exchangers Using the Dye Injection Technique,” *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 34, no. 8, p. 1253–1264.
10. **Vaisi, A., Esmailpour, M., Taherian, H.** 2011. “Experimental Investigation of Geometry Effects on the Performance of a Compact Louvered Heat Exchanger,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 31, no. 16, p. 3337–3346.
11. **Okbaz, A., Olcay, A. B., Pınarbaşı, A.** 2014. “Numerical Investigation of Fin Rows Number Effects on Thermal and Hydraulic Characteristics of Louvered Fin Heat Exchangers for Experimental Designs,” *Experimental Fluid Mechanics*, 18-21 November 2014, Czech Republic, p. 393–399.
12. **Okbaz, A., Pınarbaşı, A., Olcay, A. B.** 2016. “3D Computational Analysis of Thermal and Hydraulic Performance of Louvered Fin Heat Exchanger with Variable Louver Angle and Louver Pitch,” *Proceedings of the ASME 2016 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, 11-17 November 2016, Phoenix, Arizona, USA.
13. **Okbaz, A., Olcay, A. B., Cellek, M. S., Pınarbaşı, A.** 2017. “Computational Investigation of Heat Transfer and Pressure Drop in a Typical Louver Fin-and-Tube Heat Exchanger for Various Louver Angles and Fin Pitches,” *EPJ Web Conf.*, vol. 143.
14. **Sahnoun, A., Webb, R. L.** 1992. “Prediction of Heat Transfer and Friction for the Louver Fin Geometry,” *ASME*, vol. 114 (4), p. 893–900.
15. *ANSYS Fluent Theory Guide*, vol. 15317, no. November, p 724–746.

MÜHENDİS VE MAKİNA DERGİSİ ONLINE MAKALE YÖNETİM SİSTEMİ

Mühendis ve Makina dergimiz akademik alanda, sektörde önemli bir yeri olan, bilim insanları ve uzmanların, öğrencilerin, mühendislik konularına ilgi duyanların yararlandığı bir başvuru kaynağıdır. 60 yıldır bilimsel çalışmalara verdiği katkıyla yayın hayatını sürdüren dergimiz, AR-GE merkezlerinde, kurum ve kuruluşlarda çalışanların, bilim insanlarının, öğrencilerin, uzmanların teorik ve uygulamaya yönelik çalışmalarına yer vermektedir.

Aylık periyotlarla yayımlanan dergimiz makina, endüstri, işletme, sanayi, uçak-havacılık, uzay, sistem, enerji sistemleri, imalat, üretim, mekatronik ve otomotiv mühendisi üyelerimize, abonelerimize, üniversitelerin ilgili bölümlerine, sektöre ve kamu kurumlarına ücretsiz gönderilmektedir. Ayrıca, www.mmo.org.tr/muhendismakina adresinden de ihtiyacı olan herkesin erişimine sunulmaktadır.

Mühendis ve Makina dergimiz online kütüphane hizmeti sunan, dünyanın en çok kullanılan veri tabanlarından biri olan EBSCO'da taranmaktadır. Ayrıca, dergimize online üzerinden erişebilirliği artırmak için ulusal ve uluslararası birçok kurum/kuruluşa başvuruda bulunulmuştur.

Online Makale Yönetim Sistemine Giriş (OMYS)

Makale alımları, Online Makale Yönetim Sistemi (OMYS) üzerinden, <http://omys.mmo.org.tr/muhendismakina> adresinden gerçekleştirilmektedir. Dergimize ilk defa makale gönderecekseniz, www.mmo.org.tr/muhendismakina adresinden yeni kullanıcı olarak kayıt olmalısınız (Şekil 1). Kaydınızı yapıp şifrenizi aldıktan sonra makalelerinizi sisteme yükleyebilirsiniz (Şekil 2). Göndermiş olduğunuz makaleler editör tarafından ön değerlendirmeleri yapıldıktan sonra hakemlere

<http://omys.mmo.org.tr/muhendismakina/>

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

Mühendis ve Makina Dergisi

Online Makale Yönetimi

[ANA SAYFA (GİRİŞ SAYFASI)]

YAZAR HAKEM EDITÖR

HOŞGELDİNİZ

YAZAR GİRİŞİ

e-Posta :

Şifre :

Yeni Kullanıcı | Şifremi Unuttum

MÜHENDİS VE MAKİNA DERGİSİ'ne makale gönderebilmek için sisteme kayıt olmanız gerekmektedir. Kayıt olabilmek için sol kısımda yer alan [Yeni Kullanıcı] bağlantısına tıklayınız. Daha önce kayıt olduysanız, e-posta adresiniz ve şifrenizi girmeniz yeterlidir. Şifrenizi hatırlıyorsanız, şifrenizin e-posta adresinize gönderilebilmesi için [Şifremi Unuttum] bağlantısına tıklayınız. Sistemle ilgili sorularınızı yayin@mmo.org.tr e-posta adresine gönderebilirsiniz.

Makalelerinizi Online Sistem Üzerinden Ulaştırabilirsiniz

Şekil 1. OMYs Giriş Sayfası

gönderilir. Hakem değerlendirmesinin ardından makalelerinizin kabul edilip edilmediğine, eksikliklerin olup olmadığına dair bilgilendirme mesajı/maili makalelerin iletişim yazarlarına gönderilir. Kabul edilen makaleler en kısa sürede dergimizde yayımlanırken, eksiklikleri bulunan makaleler için “kör hakemlik” süreci devam ettirilir. Bu makalelerin yazarı veya iletişim yazarları eksikliklerini tamamladıkları metinlerini yine aynı adres üzerinden sisteme yükleyebilirler. OMYS bütün bu işlemlerin yapıldığı bir sistemdir. Kısacası bu sistem, makale yazarlarına gönderdikleri makalelerin ilk ve son durumlarını görebilme, yani makalelerinin hangi aşamada (editör veya hakem sürecinde) olduğunu öğrenebilme, mevcut bilgilerini güncelleyebilme, makaleleri hakkında editörle diyalog kurabilme imkânı sunmaktadır.



Şekil 2. OMYS Yazar Ana Sayfası ve Makale Gönderim Sayfası