

İKLİMLENDİRİLEN HACİMLERİN AKIŞ DAĞILIMININ İNCELENMESİNDE PARÇACIK GÖRÜNTÜLEMELİ HIZ ÖLÇÜMÜ VERİLERİNİN SAYISAL ODA MODELİNE UYGULANMASI

Ziya Haktan KARADENİZ
Dilek KUMLUTAŞ
Özgün ÖZER
Funda KURU

ÖZET

İklimlendirilen bir hacimdeki akış incelemelerinin yapılması, split klima cihazlarının çıkış ağız üfleme koşullarına bağlı olup, enerji verimliliği ve konfor açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, split klima iç ünitesi çıkışındaki üç boyutlu hız dağılımı Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü (PGHÖ) (Particle Image Velocimetry, PIV) yöntemi ile belirlenerek, elde edilen sonuçlar bilgisayar ortamında modellenen farklı oda koşulları için girdi olarak kullanılmıştır. Böylece üç boyutlu deneysel verilerle desteklenen sayısal çözümler sonucunda, oda konfor koşullarına etki eden parametrelerden olan oda boyutlarının ve cihaz konumunun, şartlandırılmış havanın oda içerisindeki dağılımına olan etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak; PGHÖ deney verisinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinde (HAD) girdi olarak kullanılmasının, oda içindeki akışların daha gerçekçi bir şekilde modellenebilmesini sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü (PGHÖ), Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), Split klima

ABSTRACT

The investigation of the flow in an air conditioned volume is dependent to the split air conditioner's out flow condition and it is very important for energy efficiency and comfort. In this study, three dimensional flow distribution at the out flow section of Split air conditioner's indoor unit is investigated by particle image velocimetry and the results is used as inputs for computer aided modeled different room conditions. Thus by the result of numerical analysis which is supported with three dimensional experimental data, the influence of the parameters that effects the comfort conditions (such as length of the room, position of the air conditioner on the wall), to the distribution of the conditioned air in the room is investigated. As a result; the use of the PIV experimental data as a input on CFD is provide the ability to model a more realistic flow in an air conditioned room.

Key Words: Partical Image Velocimetry (PIV), Computational Fluid Dynamics (CFD), Split air conditioner

1. GİRİŞ

Küçük ölçekli yaz ve kış iklimlendirmesi ihtiyaçlarının karşılanmasında split klima sistemleri önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Ülkemizde kullanımı oldukça yaygın olan bu cihazların akış koşulları ve sıcaklık dağılımı açısından incelenmesi, hem enerji verimliliği hem de konfor açısından oldukça önemlidir. Split klimaların her iki parçasının (iç ve dış ünite) incelenmesi enerji verimliliği açısından daha önemliken, ısı konfor açısından düşünüldüğünde şartlandırılan ortamda bulunan kısmı olan iç ünitenin çıkışındaki akışın incelenmesi gereklidir. Bunun yanında, yalnızca çıkış ağzındaki akışın incelenmesi cihazın oda içerisindeki davranışının belirlenmesi için yeterli değildir. Odanın şekli, cihazın yerleşimi, oda içerisindeki eşyalar ve çevresel şartlar (pencerelerin konumu ve büyüklüğü, dış ortam şartları vb.) cihazdan çıkan akışın oda içerisindeki hareketi üzerinde, dolayısıyla ısı konfor üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Ancak bu parametrelerin tamamının üretim sırasında öngörülmesi ve tasarımın bu doğrultuda yapılması mümkün değildir. Bu nedenle, genel kullanım koşulları için en uygun tasarımdan yola çıkılarak, farklı üfleme özelliklerine sahip esnek tasarımlar yapılmaya çalışılmaktadır. Tasarımların esneklik sınırlarının belirlenmesi için de genel kullanım koşullarının ve cihazın bu koşullar altındaki davranışının belirlenmesi gereklidir.

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ve diğer sayısal yöntemler, iklimlendirme sistemlerinin tasarlanmasında giderek yaygınlaşan araçlardır. Literatürde bu konuda birçok yayına rastlanmaktadır. Fletcher ve diğ. yaptıkları çalışmada, HAD'ı bir binanın havalandırmasında ve diğer ihtiyaçlarının değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir mühendislik aracı olarak tanımlamaktadır [1]. Posner ve diğ.. yaptıkları çalışmada ise, bir odanın hava ihtiyacı deneysel yöntemlerle belirlendikten sonra, sayısal yöntemler kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışma %20'nin altında bağıl hata ile sonuca ulaşmıştır [2].

İklimlendirme sistemi tasarımında hız ölçümü ihtiyaçları için genellikle Sıcak Tel Anemometresi vb. gibi noktasal ölçüm yöntemleri, kullanımı kolay olduğu için tercih edilmektedir. Ancak, geniş bir alandaki hız dağılımının eş zamanlı olarak belirlenmesi için Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü (PGHÖ) gibi alansal ölçüm yöntemleri de kullanılabilir.

Bu çalışmada; bir split klima iç ünitesinin oda içindeki yerleşimi sayısal olarak modellenmiştir. Sonlu hacimler yönteminin kullanıldığı sayısal modelde, girdi olarak cihazın üfleme ağzına konumlandırılmış PGHÖ deney düzeneğinden elde edilen hava hızı verileri kullanılmıştır. İdeal ve homojen bir hız dağılımının girdi olarak sayısal modellemede kullanılması yerine, split klimanın gerçek çalışma durumunu yansıtan deneysel verilerinin kullanılması, iklimlendirilen hacimlerin içerisinde oluşan akış dağılımlarının modellenmesinde gerçeğe en yakın sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır.

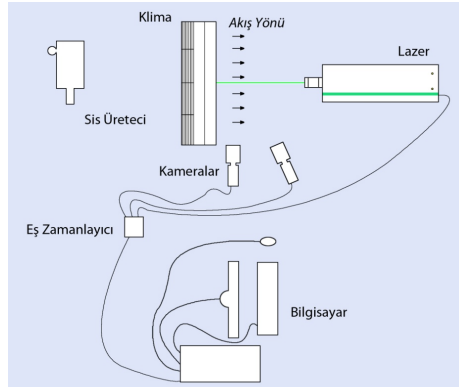
Konfor şartlarının sağlanmasında kullanılan split klimaların uygun yerleşiminin değerlendirilebilmesi için tüm odada meydana gelen akış dağılımlarının deneysel olarak çıkarılması, hem çok maliyetli hem de iş yükü olarak çok zordur. Deneysel modellemelere alternatif olarak kullanılan sonlu hacimler yönteminin en kritik noktası ise doğru sınır koşullarının ve girdilerin sayısal modele tanımlanabilmesidir. Bu anlamda bahsi geçen tüm kısıtlara çözüm olarak, hibrit bir sayısal modelleme yöntemi geliştirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA VE DENEY DÜZENEĞİ

PGHÖ yöntemi, akış içerisine salınan parçacıkların bir ışık düzleminden geçerken farklı yöntemlerle görüntülenmesi ve bu görüntülere uygulanan çeşitli matematiksel ya da istatistiksel yöntemler kullanılarak hız vektör alanının elde edilmesi ilkesine dayanır. PGHÖ yöntemi (Particle Image Velocimetry, PIV) bu isimle literatürde ilk kez 1984 yılında yer almıştır ve gelişimi devam etmektedir [3, 4, 5]. Öncelikle dış akış sorunları için kullanılmaya başlanan bu yöntem, teknolojiyle paralel şekilde gelişerek, günümüzde

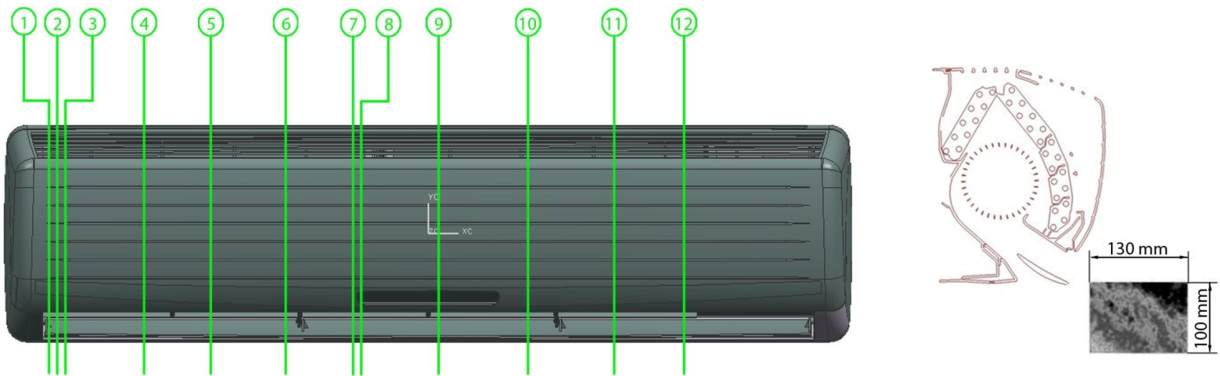
türbülans yoğunluğu yüksek dış ve iç akışlar, jet akışları gibi karmaşık akış sorunlarının çözülmesinde kullanılabilir hale gelmiştir [6, 7]. Daha önceki yıllarda alansal olarak sonuç veren bu yöntem, günümüzde hacimsel akış bölgelerinin incelenmesinde de kullanılabilir [8, 9].

Bu çalışmada da düzlemden üç boyutlu hız bilgisi elde edebilen çift kameralı parçacık görüntülemeli hız ölçümü yöntemi kullanılmıştır. Akışın görüntülenebilmesi için tanecik olarak sis seçilmiş ve sis üretici kullanılarak tüm deney odası havası taneciklendirilmiştir. Böylece ölçüm süresi boyunca yeterli parçacık yoğunluğunun sağlanması mümkün olmaktadır. Lazer split klima iç ünitesinin karşısına yerleştirilmiş ve kameraların birinin optik eksenini lazer düzlemine dik, ikinci kamera ise ilkinin 35 derece açı oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir. Kameraların ve lazerin eş zamanlı çalışması, eş zamanlayıcı kutusu tarafından sağlanmış ve tüm deney bir iş istasyonu bilgisayar tarafından yönetilmiş ve sonuçlar bu bilgisayar yardımıyla analiz edilmiştir (Şekil 1). Deney düzeneği ve yöntem ile ilgili daha ayrıntılı bilgi önceki çalışmalarda verilmiştir [10].



Şekil 1. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü deney düzeneği

Split klima iç ünitesinin çıkış ağzında, 13x10 cm ölçülerindeki bir bölgedeki hız dağılımları toplam 12 farklı düzlemden ölçülerek, hız dağılımları belirlenmiştir. Şekil 2'de cihaz üzerinden ölçüm yapılan düzlemler ve her bir düzlemde hız verisi alınan bölge verilmiştir.



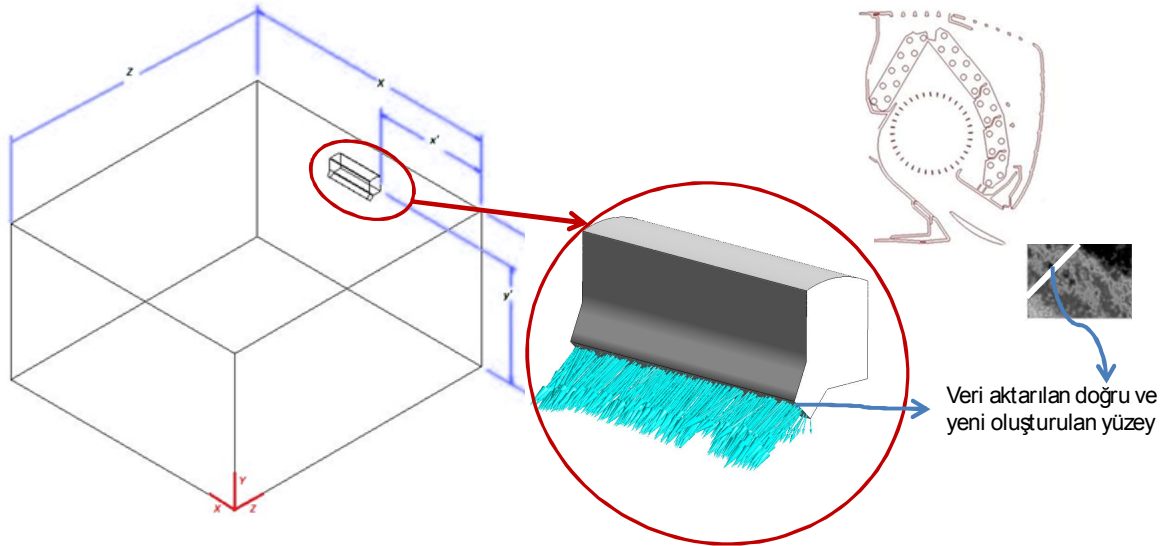
Şekil 2. Ölçüm yapılan düzlemler ve her bir düzlemde hız verisi alınan bölge

3. SAYISAL MODELLEME

Gerçek klima ve oda boyutlarının geometrik olarak modellenmesinin ardından, klima konumunun yatayda ve düşeyde değiştirilebildiği, farklı oda hacimlerinin elde edilebildiği parametrik bir sayısal model oluşturulmuştur. Başlangıç konumu olarak; 5x3x5.5 m boyutlarında modellenen odada klima yerden yüksekliği 2.25 m ve klimanın solundaki duvardan uzaklığı da yine 2.25 m olacak şekilde yerleştirilmiştir. Odanın x ve y eksenindeki boyutları sabit tutulup, z ekseninde 3 m ile 10 m arasında değiştirilerek 9 ayrı hacim elde edilirken; düşeyde tabandan 2 m, 2.150 m, 2.25 m, 2.375 m ve 2.5 m mesafelerde bulunduğu yerleşimlerin çoklu kombinasyonları incelenmiştir.

Hava hacminde ağ yapının oluşturulmasında tetrahedral elemanlar kullanılmıştır ve üfleme ağzı etrafında daha küçük sonlu hacimler oluşturularak jet akışının gerçeğe daha yakın modellenmesine çalışılmıştır. Sınır koşul olarak, PGHÖ yöntemi ile elde edilen ortalama hız verisinin kullanılması ve bu verinin zamana bağlı olmaması nedeni ile analizler kararlı durum kabulü yapılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen yan duvarlar, zemin ve tavan için duvar sınır koşul kabulü yapılmıştır. Herhangi bir pencere ya da açıklık tanımlanmamıştır.

Deneysel çalışma ile farklı düzlemlerden elde edilen hız vektör alanlarından, cihazın çıkış ağzındaki düzlemsel jet akışını temsil edecek şekilde bir doğru parçası belirlenerek (Şekil 3), bu doğru parçası üzerinden alınan hız vektörleri sayısal çalışmaya aktarılmıştır. Sayısal çalışmada, deneylerden elde edilen hız dağılımını girdi olarak kullanabilmek için split klima iç ünitesi modelinin çıkış ağzında değişiklik yapılarak deney verilerinin alındığı doğru parçalarıyla aynı yerde bulunan bir yüzey oluşturulmuştur. PGHÖ yöntemi ile split klima üfleme ağzından alınan hız verileri, sayısal modele girdi olabilecek formata çevirmek için özel olarak yazılan bir MATLAB kodu ile işlenmiştir. Şekil 3'de PGHÖ verisinin sayısal modelin üfleme ağzına tanımlanmış durumu görülmektedir.



Şekil 3. Oda boyutları, klima yerleşimi ve klimanın üfleme ağzı

4. SONUÇLAR

Parametrelerin akışa etkilerinin daha rahat incelenebilmesi için tümünün aynı anda değiştirilmesi yerine, tek bir parametre değiştirilerek incelemeler yapılmıştır.

4.1 Farklı Oda Uzunluklarının Akışa Etkisi

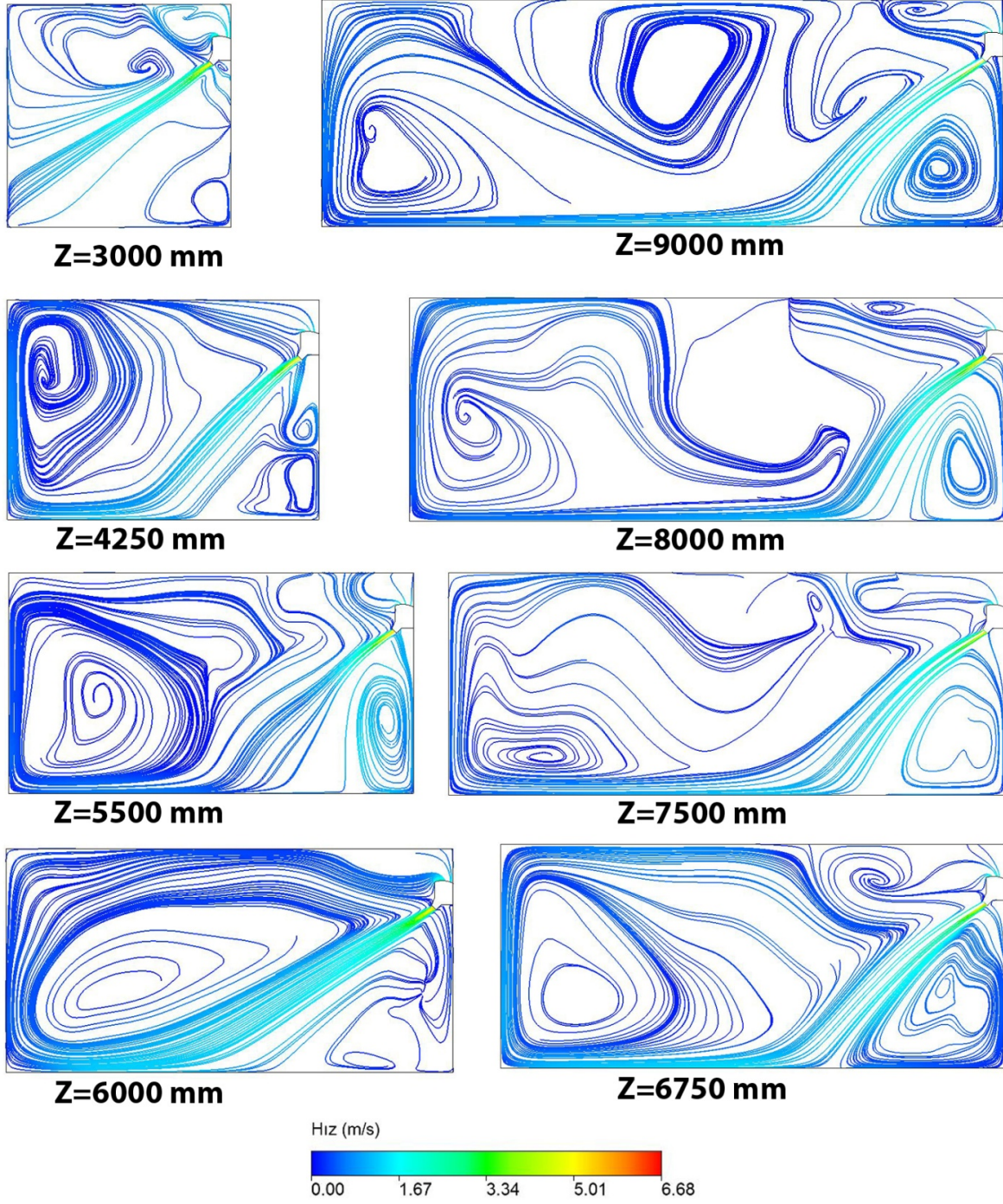
Beş metre genişliğinde ($X=5$ m) ve üç metre yüksekliğindeki ($Y=3$ m) bir duvar için; klimanın yatayda $x'=2250$ mm ve düşeyde $y'=2250$ mm konumunda sabit tutulup, oda uzunluğunun z ekseninde sırasıyla 3 m, 4.25 m, 5.5 m, 6 m, 6.75 m, 7.5 m, 8 m ve 9 m olduğu durumlar için oda içerisindeki akışın dağılımının incelenmesi yapılmıştır. Klimanın orta kesitine yerleştirilen bir düzlem üzerindeki akım çizgileri Şekil 4'te görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde klimanın üfleme ağzından çıkan jetin alt ve üst kısımlarında türbülans alanları olduğu görülmektedir. Jet, üfleme açısı doğrultusunda ilerlemekte, en sonunda odanın zeminine ya da duvarına ulaşmaktadır.

Oda yüksekliğinin, uzunluğuna eşit olduğu durumda ($Y=Z=3000$ mm) odanın uzunluğunun kısa olması nedeni ile akışın yere düşmeden duvara çarptığı gözlemlenmiştir. Bu durum üst girdabın daha zayıf olmasına sebep olurken emiş ağız bölgesinde daha kuvvetli bir girdap oluşmasına yol açmıştır. Odanın uzunluğu, oda yüksekliğine eşit ($Z=3000$ mm ve $Z=6000$ mm için) oluşan bu türbülans alanlarının dengeli olduğu, bu nedenle de akışın düşme noktasının karşı duvara yaklaştığı gözlemlenmiştir. Öte yandan, $Z=4250$ mm ve $Z=5500$ mm durumlarında üst kısımdaki girdabın daha baskın olması nedeni ile akış aşağı doğru basılmıştır ve $Z=6000$ mm'ye göre çok daha kısa düşüm noktaları bulunmaktadır.

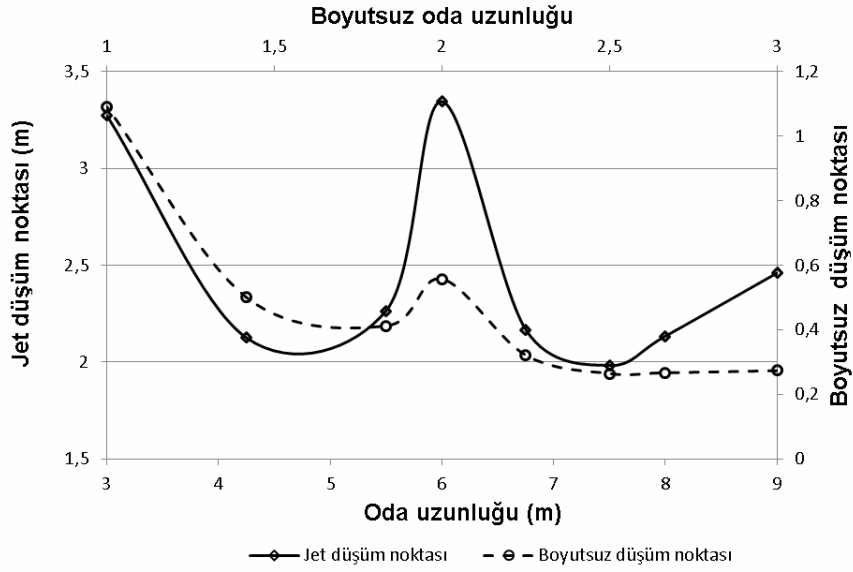
$Z=6000$ mm'den daha fazla uzunluğa sahip oda modellerinde akışın enerjisinin karşı duvara etkisi azalmaktadır. Bu nedenle, benzer düşüm noktaları gözlemlenmektedir. Öte yandan, akışın düşüm noktasından sonra zeminde ilerleyişi ve ardından duvara çarparak yükselişi odanın uzak ucunda bir girdap yaratırken, üfleme ağzından çıkan hızlı jet akışı karşı yönlü bir girdap yaratmaktadır. Bu nedenle $Z=6000$ mm'den daha uzun odalarda akış kesiti incelendiğinde bir birine zıt yönlü dönen iki girdap yapısı görülmektedir. Ancak bu ikili girdap jetin alt kısmında oluşan girdapla karşılaştırıldığında hızlarının ve enerjilerinin daha düşük olduğu saptanmaktadır. Bunun nedeni iki girdabın zıt yönlü dönüşlerinin birbirlerinin enerjisini soğurması olabileceği gibi, jetin alt kısmındaki girdabın daha dar bir alana sıkışması nedeni ile jetten daha iyi beslenmesi de olabilir.

Ana jet akışının oda zeminiyle temas ettiği nokta, düşüm noktası olarak isimlendirilmiştir ve bu noktanın cihazın asılı olduğu duvara olan uzaklığı (L_j) ile odanın uzunluğu (Z) arasındaki ilişki Şekil 5'de verilmiştir. Boyutsuz düşüm noktası, jet akışının oda zeminiyle temas ettiği noktanın cihazın asılı olduğu duvara olan uzaklığı ile odanın uzunluğunun oranı (L_j/K), boyutsuz oda uzunluğu ise oda uzunluğunun oda yüksekliğine oranı olarak tanımlanmıştır. Oda uzunluğunun 3 m olduğu durumda jet akışı oda zeminiyle temas etmediği için, akışın zemine temas etmesi beklenen sanal noktanın yeri hesaplanarak veri olarak kullanılmıştır. Görüldüğü gibi boyutsuz oda uzunluğunun tam sayı olduğu durumlarda, jet düşüm noktası cihazın asılı olduğu duvardan uzaklaşmaktadır ve jet $Z=3$ m ve $Z=6$ m durumları için yaklaşık aynı noktaya düşmektedir ($L_j=3,3$ m) ve bu nokta incelenen aralıkta elde edilen en uzak noktadır. $Z=9$ m olduğu durumda ise jet düşüm noktası, boyutsuz oda uzunluğunun 2 – 3 arası değerleri için elde edilen jet düşüm noktalarından uzun olmakla birlikte, boyutsuz oda uzunluğunun tam sayı olduğu diğer durumlardan daha kısadır.

Aynı veriler boyutsuz düşüm noktası açısından değerlendirildiğinde ise oda uzunluğunun artması ile jet akışının oda içerisindeki etkisinin azalması arasındaki ilişki daha net olarak görülmektedir. Odanın en kısa olduğu durum için boyutsuz düşüm noktası değeri en yüksek değerine sahipken, oda uzadıkça bu değer hızla azalmakta, ancak boyutsuz oda uzunluğunun 2 olduğu durum için bir miktar yükselmektedir. Boyutsuz oda uzunluğunun 2'den büyük değerleri için boyutsuz jet düşüm noktası değeri 0,3'ün altında yatay duruma gelmiştir.

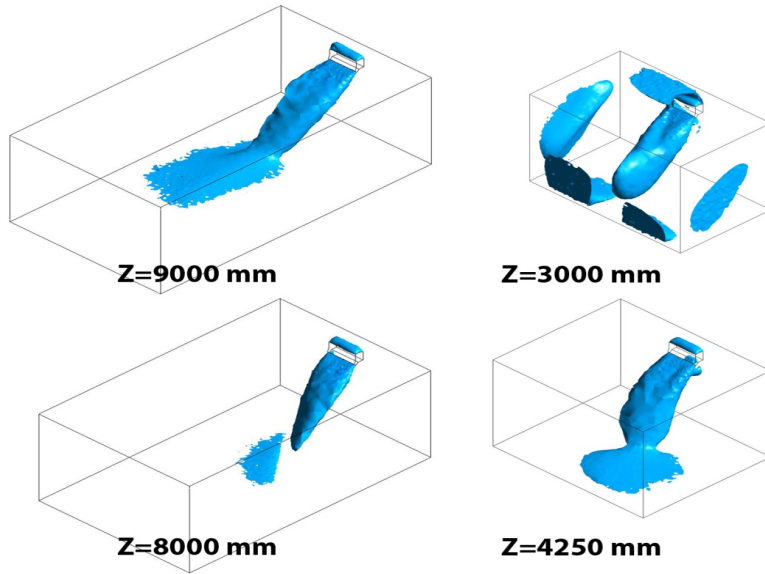


Şekil 4. Oda boyunun akışa olan etkisini incelemek için yapılan analiz sonuçları

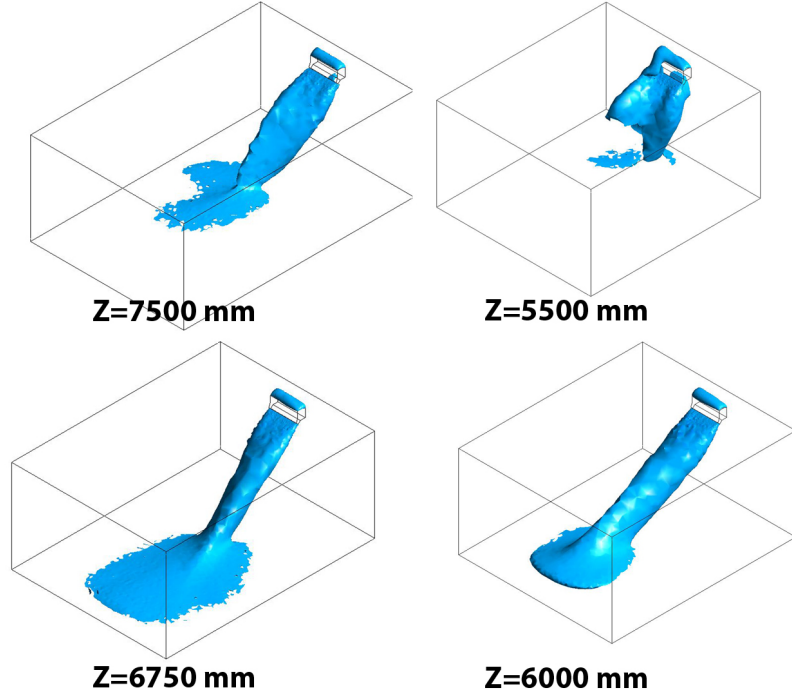


Şekil 5. Jet düşüm noktasının oda uzunluğu ile değişimi

Şekil 6'da üfleme ağzından çıkan havanın 1 m/s hızındaki eş yüzey gösterimi verilmiştir. Bu gösterimde, 1 m/s değerindeki hızlar bir yüzeyle birleştirilmiş durumdadır. Bu yüzeyin içinde kalan bölge daha yüksek hıza sahip olduğundan, bu gösterimin genel hatları ile klima üfleme ağzından çıkan jetin dış hatlarını gösterdiği söylenebilir.



Şekil 6. Üfleme ağzında 1 m/s hızla çıkan havanın eş yüzey gösterimi



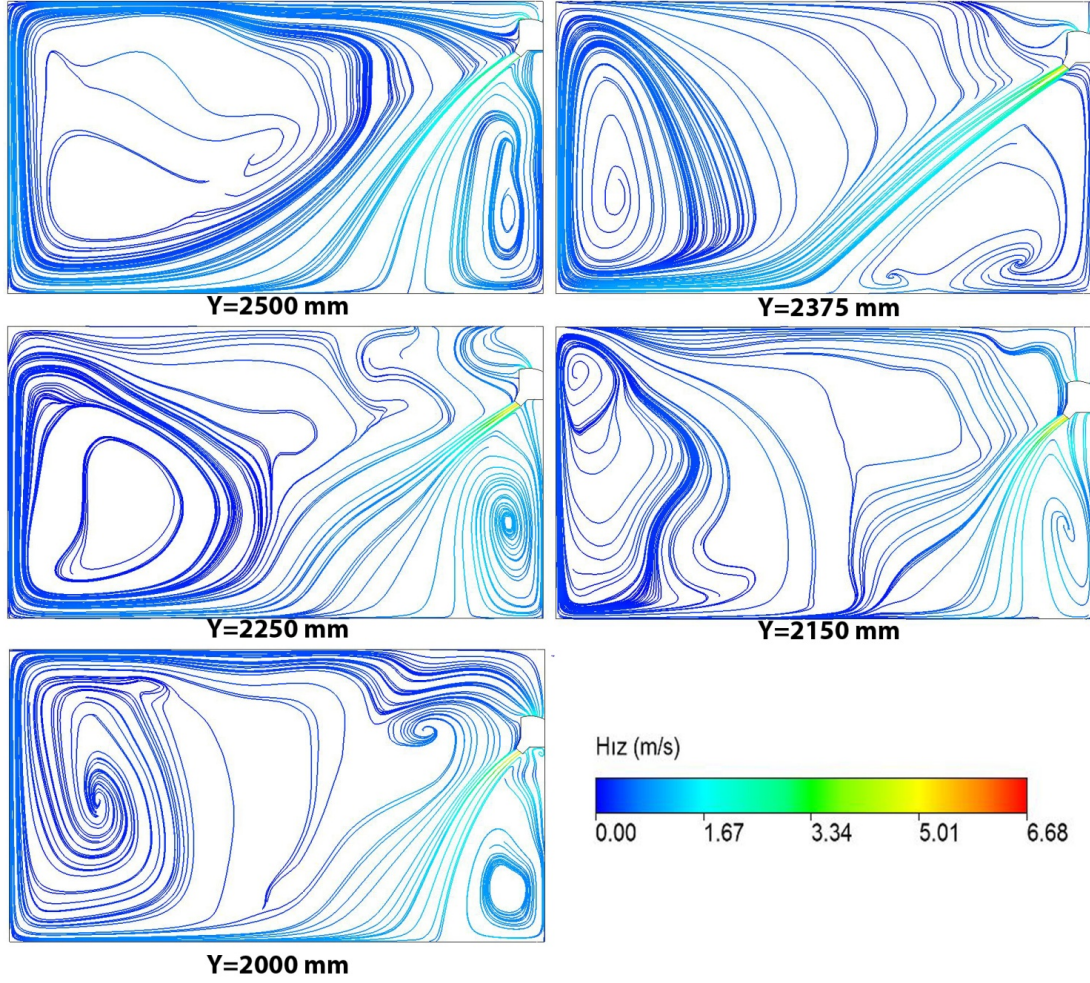
Şekil 6. (Devamı) Üfleme ağzında 1 m/s hızla çıkan havanın eş yüzey gösterimi

Şekil incelendiğinde Z=3000 mm'de odanın küçük olması nedeni ile üflenene havanın duvar kenarlarında sıkıştığı ve tekrar hızlandığı görülmektedir. Z=8000 ve Z=5500'de akış yapısında bazı bozulmalar saptanmıştır. Bu bozulmalar daha ayrıntılı incelenmelidir. Ayrıca Z=6000 mm'deki akışın oldukça düzgün bir şekilde düşme noktasına yöneldiği Şekil 6'da da görülmektedir. Bütün bu geliştirilebilir durumların dışında, Şekil 5 incelendiğinde, üfleme ağzına gerçek verinin tanımlanmasının daha gerçekçi akış yapılarının modellenmesinde etkili olduğu görülmüştür. Deney verisi yerine sabit hız sınır koşul tanımlandığında analiz sonucunda simetrik bir akış gözlenmesi beklenirken gerçek deney verileri ışığında klimanın kesitindeki akış değişkenlikleri nedeni ile akışın simetrik olarak gerçekleşmediği gözlemlenmiştir.

4.2 Klimanın Farklı Yüksekliklerde Asılmasının Akışa Etkisi

Çalışmanın bu kısmında ise oda boyutları (X=5 m, Y= 3 m ve Z=5.5 m) ve klimanın solundaki duvardan olan yataydaki uzaklığı (x') 2.25 m konumunda sabit tutulup, düşeydeki tabana olan mesafesinin (y') sırasıyla 2 m, 2.15 m, 2.25 m, 2.375 m ve 2.5 m olduğu durumlar için oda içerisindeki akışın dağılımının incelenmesi yapılmıştır. Klimanın orta kesitine yerleştirilen bir düzlem üzerindeki akım çizgileri Şekil 7'de görülmektedir.

Klimanın asılma yüksekliğinin oda içindeki akışa olan etkisi incelendiğinde; Y=2250 mm'den daha düşük asılma yüksekliklerinde, düşme noktasının klimanın asılı olduğu duvara olan mesafesinin kısaldığı görülebilmektedir. Ancak, Y=2250 mm yüksekliğinden daha yükseğe asılma durumunda, akış yaklaşık aynı düşme noktasında zemine temas etmektedir. Bu durum aynı zamanda jetin alt kısmında kalan girdabın boyutlarını küçültmekte ancak hızını arttırmaktadır. Bu açıdan bakıldığında düşük yüksekliğe asılan bir klimanın altında oturan kişi, hem daha yüksek hızlara hem de daha yüksek türbülansa maruz kalarak daha fazla rahatsızlık hissedecektir.



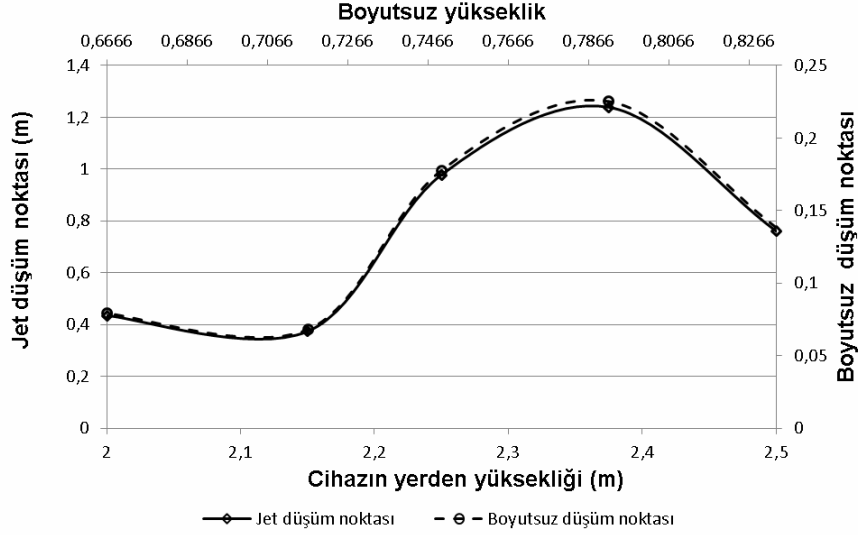
Şekil 7. Klimanın farklı yüksekliklere asılması oda içindeki akışa olan etkisini incelemek için yapılan analizlerin sonuçları

Y=2500 mm yüksekliğe asıldığında, klimanın emiş yapması için kalan mesafenin 500mm'ye kadar daralması, emiş ağzındaki hızları bir miktar arttırmıştır. Bu durumda, klimanın üst kısmına çekilen havanın bir kısmı klima gövdesine çarparak jet akışına üst kısımdan katılan havayı arttırmıştır. Bu durum incelendiğinde; Y=2500 mm'deki düşme noktasının, Y=2375 mm'ye göre klimanın bulunduğu duvara bir miktar daha yakın olduğu görülmektedir.

Tam tersi durumda, Y=2000 mm'de yukarıda kalan geniş alanda çalkantısı göreceli daha az bir akış oluşmaktadır ve hemen bu akışın alt kısmında, jet akışının yarattığı üst girdap bu akıştan ayrı olarak gözlenmektedir. Bu açıdan bakıldığında, tavan ile emiş ağzı ve jet arasında daha geniş bir mesafe bulunmasının üst girdap ile emiş havasını ayırdığı söylenebilir.

Jet düşüm noktasının cihazın yerden yüksekliği ile değişimi Şekil 8'de verilmiştir. Görüldüğü gibi, cihaz yerden yükseldikçe, jet düşüm noktası artmakta, ancak boyutsuz yüksekliğin (cihazın yüksekliğinin oda yüksekliğine oranı) 0,8 değerinden sonra azalmaya başlamaktadır. Cihaz yerden yükseldikçe, yatayla sabit açı yapan jet akışının yere düştüğü noktanın cihazdan uzaklaşması, beklenen bir durumdur. Ancak,

cihaz tavana yaklaştışça, hem karşı duvardan yansıyan akışın etkisi hem de emiş ağzı ile tavan arasındaki boşluğun azalarak emişi zorlaştırması nedeniyle, jetin oda içerisindeki dağılımları değişmektedir.



Şekil 8. Jet dűřüm noktasının cihazın yerden yűkseklėđi ile deđiřimi

TARTIşMA

Bu çalışmada; bir split klima iç űnitesi çıkış ağzından, PGHÖ yűntemi ile elde edilen gerçek hız dağılımları verisi kullanılarak bir oda içerisindeki akış incelenmiştir. Klima ıkış ağzındaki akışın gerçek deney sonuçları kullanılarak tanımlanması, ideal durumda oluşması beklenen simetrik akış yapılarını değiştirmektedir ve jetin oda içerisindeki dağılımları, gerçek duruma daha yakın olarak incelenebilmesini sağlamaktadır. Bunun yanında, űnerilen hibrit modelleme tekniği; odanın uzunluğunun ve cihazın asılı olduğu duvardaki yűkseklėđinin değişiminin oda içerisindeki akış koşulları űzerindeki etkisi incelenmesinde kullanılmıştır.

Klimanın oda akışına etkisinin incelenmesinde, sıcaklık farkları nedeniyle oluşabilecek doğal taşınım etkilerinin ve oda içerisindeki eşyaların yerleşiminin de bu incelemeye eklenmesi műmkündür. Bűylece, hem gerçek akış verilerinin girdi olarak kullanılması hem de gerçek kullanım koşullarına daha yakın modellerle çalışılması sayesinde, cihazın tasarımı gerçek çalışma koşulları altındaki performansına etkisi doğru olarak incelenebilir. űnerilen modelleme yűntemi, farklı tipteki iklimlendirme sistemlerine de uygulanarak tasarımların iyileştirilmesi sağlanabilir.

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

KAYNAKLAR

- [1] FLETCHER C.A.J., MAYER I.F., EGHIMI A., Wee K.H.A., CFD As A Building Services Engineering Tool, International Journal on Architectural Science, 2, 67-82, 2001.
- [2] POSNER J.D., Buchanan C.R., Dunn-Rankin D., Measurement and Prediction of Indoor Air Flow in a Room Model, Energy and Building, 35, 515-526, 2003.
- [3] ADRIAN, R.J., Twenty years of particle image velocimetry, Experiments in Fluids, 39, 159-169, 2005.
- [4] RAFFEL M., WILLERT, C.E., WERELEY, S.T., KOMPENHANS, J., "Particle Image Velocimetry, A Practical Guide, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1998-2007.
- [5] SCHROEDER, A., WILLERT, C.E., Particle Image Velocimetry New Developments And Recent Applications, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008.
- [6] KRAUSE, N., ZHRINGER, K., PAP, E., Time-resolved particle imaging velocimetry for the investigation of rotating stall in a radial pump, Experiments in Fluids, 39, 192-201, 2005.
- [7] BRICAUD, C., RICHTER, B., DULLENKOPF, K., BAUER, H.J., Stereo PIV measurements in an enclosed rotor stator system with pre-swirled cooling air, Experiments in Fluids, 39, 202-212, 2001.
- [8] ELSINGA G. E., SCARANO F., WIENEKE B., VAN OUDHEUSDEN B. W., Tomographic Particle Image Velocimetry, Experiments in Fluids 41, 933-947, 2006.
- [9] GEISLER R., SCHRÖDER A., STAACK K., KOMPENHANS J., ELSINGA G. E., SCARANO F., POELMA C., WESTERWEEL J., WIENEKE B., MICHAELIS D., Tomographic PIV for Investigation of Unsteady Flows with High Spatial and Temporal Resolution, Imaging Measurement Methods, Notes on Numerical Fluid Mechanics, 106, 73-82, 2009.
- [10] KARADENİZ Z.H., KUMLUTAŞ D., ÖZER Ö., Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü Yöntemi: Split Klima İç Ünitesi Örneği, 10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Cilt-2, 1251-1262, 2011.

ÖZGEÇMİŞ

Ziya Haktan KARADENİZ

1980 yılında İzmir'de doğan Ziya Haktan KARADENİZ; 2002 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden, 2005 yılında ise aynı Üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Yüksek Lisans Programı'ndan mezun olmuştur. Halen, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Doktora Programında eğitimine devam etmektedir. 2002 yılından beri Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

Dilek KUMLUTAŞ

İzmir doğumludur. 1990 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı Üniversite'nin Enerji Anabilim dalında 1994 yılında Yüksek Lisans, 1999 yılında Doktora Eğitimini tamamlamıştır. 1990-1999 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 1999-2007 yıllarında Yardımcı Doçent olarak görev yapmıştır. 2007 yılından beri Makina Bölümü'nde Doçent olarak çalışmaktadır.

Özgün ÖZER

1984'te İzmir'de doğmuştur. 2008 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Halen, aynı Üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Programında Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir. Ayrıca, 2005'ten bu yana İzmir Fotoğrafçılar Odası ve Halk Eğitim İşbirliğinde düzenlenen fotoğraf kurslarında "uzman eğitmen" olarak görev yapmakta olup, Anadolu Üniversitesi Fotoğrafçılık ve Kameramanlık bölümünden 2011'de mezun olmuştur.

Funda KURU

1985, Eskişehir doğumlu olan Funda Kuru 2003 yılında TED Aliğa Kolejinden mezun olmuştur. 2003-2007 yıllarında DEÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nde lisans, 2007-2010 yılları arasında ise aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Yüksek Lisans Programı'nı tamamlamıştır. 2011 yılı itibariyle Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Doktora Programında eğitimine devam etmekte olup Vestel Beyaz Eşya Fabrikası'nda Ar-Ge Mühendisi olarak çalışmaktadır.