



Çarpan Hava Jetlerinde Farklı Parametrelerin Hız Sınır Tabakası Üzerindeki Etkisinin Simülasyonu

Burak Türkan

Bursa Uludağ Üniversitesi, Gemlik Asım Kocabıyık MYO, Makine Bölümü, Gemlik, 16600, Bursa/TÜRKİYE (ORCID No: 0000-0002-4019-7835)
burakt@uludag.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011837)

ATIF/REFERENCE: Turkan, B. (2021). Çarpan Hava Jetlerinde Farklı Parametrelerin Hız Sınır Tabakası Üzerindeki Etkisinin Simülasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 873-889.

Öz

Çarpan hava jetleri yüksek ısı transfer oranları, hız ve birçok ayarlanabilir parametreye sahip olmaları nedeni ile tercih edilirler. Bu özellikleri nedeni ile soğutma alanında da kullanılabilirler. Elektronik elemanların soğutulması, kağıt, tekstil ürünleri ve gıda kurutma gibi sektörler başta olmak üzere kullanımı oldukça yaygındır. Bu çalışmada çarpan hava jetlerinde parametrelerin hız sınır tabakası ve akım çizgi değişimi üzerindeki etkisi nümerik olarak incelenmiştir. Seçilen parametreler hız, H/D mesafesi, nozul sayısı ve nozullar arasındaki mesafedir. Ortalama Reynolds sayısında 50 mm nozzle mesafesi için H/D 8'e kadar kabul edilebilir bir görüntü oluşurken, sonrasında gittikçe artan bir "upwash" etkisi gözlemlenmiştir. Yüksek Reynolds sayılarında ise 50 mm nozzle mesafesi için istenilen efektiflik elde edilememiştir. 75 mm ve özellikle 100 mm nozzle mesafesinde H/D 4 için istenilen sınır tabaka elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isı ve kütle transferi, Çarpan hava jeti, Nümerik metod.

Simulation of The Effect of Different Parameters on The Velocity Boundary Layer in Impinging Air Jets

Abstract

Impinging air jets are preferred due to their high heat transfer rates, velocity and many adjustable parameters. Due to these features, they can also be used in the cooling field. It is widely used in sectors such as cooling of electronic elements, paper, textile products and food drying. In this study, the effect of the parameters on the velocity boundary layer and streamline change in impinging air jets was investigated numerically. The selected parameters are velocity, H/D distance, number of nozzles and distance between nozzles. While an acceptable image was formed up to H/D 8 for 50 mm nozzle distance in the average Reynolds number, an increasing upwash effect was observed afterwards. At high Reynolds numbers, the desired effectiveness could not be achieved for 50 mm nozzle distance. The desired boundary layer for H/D 4 was obtained at a nozzle distance of 75 mm and especially 100 mm.

Keywords: Heat and mass transfer, Impinging air jet, Numerical method.

*Sorumlu Yazar: burakt@uludag.edu.tr

1. Giriş

Yüksek hızlı çarpan hava jetleri çapma bölgesinde meydana gelen yüksek ısı transfer katsayısından ve bunu istenilen hızda ve odaklı bir şekilde yapabilmesinden dolayı ısıtma, soğutma ve kurutmada yaygın olarak kullanılır. Endüstriyel sistemlerde, gaz türbinlerinde, kağıt ve sebze kurutmada, cam üretiminde ve yüksek yoğunluklu elektronik sistemler gibi geniş bir alanda uygulaması vardır (Çalışır vd., 2017).

Bu alanda birçok çalışma yapılmıştır. Jet açısı, kanatçıklı ve kanatçiksız yüzeyler, kanatçık geometrisi, nozul-plaka mesafesi, jet-jet mesafesi, jet açısı plaka tipi gibi birçok etmen göz önüne alınarak çalışmalar yapılmıştır. Fregau vd., (2003) 3 boyutlu konkav bir yüzeye çarpan sıcak hava jetlerinin numerik olarak ısı transferi korelasyonlarını incelemiştir. Çelik ve Eren (2009) çarpan dairesel bir jette çarpma bölgesinin türbülans şiddetinin ısı transferine etkisini yapılan araştırmaların aksine jet çapını büyük tutarak incelemiştir. Garimella (2001) yerel ısı transferini çoklu jetler kullanarak ($5000 < Re < 20000$) ve jet plaka mesafesini ($0.5 < H/d < 4$) olarak incelemiştir. Jet –plaka aralığında bir azalmanın, çoklu jetlerde ısı transfer katsayısını arttırdığı ve bu etkinin daha yüksek Reynolds sayılarında daha güçlü olduğu bulunmuştur. Etemoğlu vd., (2009) kurutucularda kumaşın ısı ve kütle transferi analizi için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Modeli kullanarak, çarpan hava jetli kurutucularda hesaplanan geçici kumaş sıcaklıklarının deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Heterojen malzemelerin kurutulmasının birleşik ısı ve kütle transferi analizi için Etemoğlu (2003) tarafından geliştirilen matematiksel bir model, hem çarpan hava jetleri hem de havada kurutma yöntemleri için verilmiştir.

Elibol ve Türkoğlu (2017) gözenekli düz bir yüzeye çarpan jetin sayısal olarak incelemesini yapmışlardır. ANSYS Fluent yardımı ile yapılan çalışmalarda sıcak levha yüzeyinin gözenekli tabaka ile kaplandığı durumlarda, gözenekli malzemenin belirli gözeneklilik ve kalınlık değerleri aralığında olması halinde, ısı transferinin gözenekli tabaka kullanılmayan duruma göre daha etkin olduğunu göstermiştir. Weigand ve Spring (2009) çoklu hava jetlerinde, çarpan jetler ile komşu jetlerin havasının oluşturduğu akışın etkileşimini irdelemiştir. Bu etkileşimlerin küçük aralıklı diziler, küçük jet boşlukları ve büyük jet hızlarında ortaya çıktığını görmüşlerdir. Çarpan hava jetinde çapraz akışların gücü dizayndaki dizilimle belirlenebilir. Donovan (2005) çarpan hava jetlerinde akışkan akışını ve ısı transferini Re sayısı, jet-plaka mesafesi ve jetin açısını ele alarak incelemiştir. Baydar ve Ozmen (2006) yüksek Re sayılarında deneysel ve nümerik olarak çarpan hava jetlerinde incelemeler yapmıştır. Hardisty ve Can (1983) nozzle geometrisinin ısı transfer karakteristiğine etkisini deneysel olarak incelemiştir. Gau ve Chung (1991) yüzeydeki kavisin soğutma akışı ve ısı transfer prosesini irdelemiştir. Gölcü vd., (2012) oto camların temperlenmesinde çarpan hava jetleri ile soğutmanın deneysel incelemesini gerçekleştirmiştir. Geers vd., (2008) çarpan jetlerde altıgen ve sıralı diziler için ısı transferi korelasyonları yapmışlardır. Plaka ve nozzle çıkışı mesafesini 3D-10D ve nozzle aralıklarını 2D-6D almıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda çoklu jetlerde ısı transferinin jet etkileşimlerinden oldukça etkilendiğini görmüşlerdir. Çalışır vd., (2017) üçgen ve kare kanatçıklar üzerine çarpma sonucu akışı incelemiştir. Re sayısı, jet-plaka mesafesi (H/d) ve kanatçık geometrisinin akışa etkisini incelemiştir. Hız artışı ile kare kanatçıklar yüzeyinde ayrışmanın daha erken olduğu görülmüştür. H/d=2 olduğunda

duvar jetlerinin daha etkili olduğu, iki komşu duvar jetinin olduğu ve buna bağlı olarak üçgen kanatçıklı yüzeylerde duvar jeti hızlarının daha etkili olduğunu görmüştür.

Bu çalışmada tek ve çoklu çarpan hava jetlerinde oluşan hız sınır tabakası araştırılmıştır. Bunun için farklı hava hızları, Reynolds sayıları, jet plaka mesafesi (H/D), geometrik boyutu, nozzle sayısı ve nozzle arasındaki uzaklığın hız dağılımı üzerindeki etkileri nümerik olarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Çarpan Hava Jetleri

Kurutma, ısıtma ve soğutma gibi yüksek kütleli havaya ihtiyaç duyulan aynı zamanda yüksek ısı transferi de gerektiren alanlarda çarpan hava jetleri oldukça sık kullanılan bir gereçtir. Çarpan hava jetlerine, gıda, kağıt ve tekstil gibi kurutma gerektiren alanlarda, cam temperlenmesinde, elektronik elemanlar ve gaz türbinlerinin soğutulmasında sıkça başvurulmaktadır.

Çarpan hava jetlerinde temel amaç yüzeye oldukça kütleli bir hava gönderip yerel ısı transfer katsayısını yeteri kadar yükseltmektedir. Bunun sebebi akışkanın yüzeye çarpması ile çarpma bölgesinde termal dirence sebep olan sınır tabaka incelmeye ve oradaki ısı taşınım katsayısının artmasıdır. Bu da nozzleden çıkan havanın yüzeye en optimize edilmiş şekilde çarpması ile elde edilir. Örneğin bunlar da şu şekilde olabilir:

- Tekli dairesel nozzle ile
- Tekli slot nozzle ile
- Çoklu dairesel nozzle ile
- Çoklu slot nozzle ile

Tüm bunlara değişik dizilimler ve slot şekilleri eklenebilir. Ayrıca yüzeylere kanatçıklar eklenerek ısı transferini arttırmayı amaçlayan uygulamalar mevcuttur.

Çarpan hava jetlerinin optimizasyonu yapılırken birçok etken parametre göz önüne alınır. Bunların ana başlıkları geometri, ekonomiklik ve verimlilik olarak göz önüne alınabilir. Bunların nedenleri şu şekildedir:

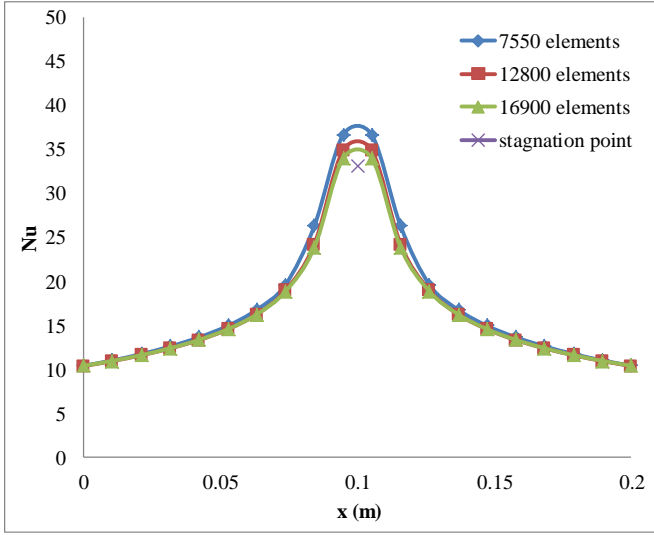
- Nozzle geometrisi: Çarpan hava jetinde geometri ve akış koşulları hedefin davranışına ve akış kaynağına bağlıdır. Basıncın düştüğü durumlarda akışın sağlanması ve boşaltmasının önemsiz olduğu durumlarda, tasarım amacı verilen hava kütlesi ile olabildiğince çok ısıtma veya soğutma yapmaktır.

- Hız: Akışkanın çıkış hızı hesaplama ve analizlerde önemli yer tutar. Etkilediği en önemli faktörlerden biri Reynolds sayısıdır. Uygulamanın nerede kullanılacağına bağlı olarak büyük önem arz eder. Örneğin bir elektronik sistem soğutulması ile sebze kurutma aynı şartlarda sağlanamaz.

- Sıcaklık: Ortama bağlı olarak kullanıcı değişkenli bir parametredir. Buna bağlı olarak ısıtma da hangi yakıtın kullanılacağına mütevellit bir maliyet ortaya çıkacaktır.

- Fan hızı: Fan hızı da yine hedefe bağlı bir seçimdir. Ancak maliyet hesabında önemli yer tutar. Fan gücü iyi bir analizle seçilerek gerekli seçimler yapılır.

- Jet sayısı: Jet sayısı akışkanın çarpacağı yüzey genişliği ile büyük ölçüde orantılıdır. İyi bir odaklanma sağlamak amacıyla

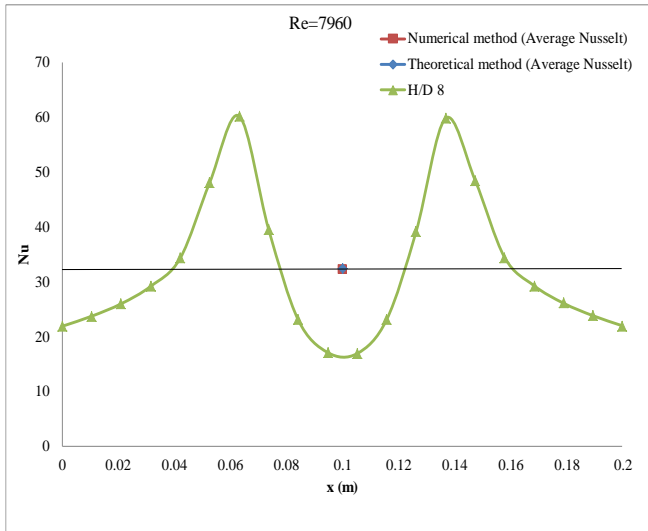


Şekil 3. Farklı ağ (mesh) sayılarına ait sonuçların karşılaştırılması

Şekil 3'de karşılaştırma $H/D=2$ ve 4153 Reynolds sayısında yapılmıştır. 7550 ile 12800 mesh sayılarında yapılan analizlerde ortalama Nusselt değerinde %2.8'lik yakınsama değeri ortaya çıkmıştır. Ortalama Nusselt sayısında %0.5 yakınsama değeri 12800 ile 16900 mesh sayılarında yapılan analizlerde elde edilmiştir. Ağdan bağımsızlık analizi sonucunda, analizlerin de çözüm süresi göz önüne alındığında en uygun mesh sayısı olarak 16900 seçilmiştir. Ayrıca doğrulama çalışması için teorik olarak hesaplanan stagnation noktasının değeri ($x=0.1$ $Nu=33.01$) ile analiz kullanılarak 16900 mesh değerinde hesaplanan değer ($x=0.1$ $Nu=33.95$) arasında %2.7'lik bir fark olduğu görülmüştür.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Doğrulama çalışması için $s=75$ mm, $H/D=8$ ve $u=23$ m/s alınarak analiz yapılmıştır. İki farklı hesaplama sonucunda Nusselt değerinde %0.44'lük bir fark ortaya çıkmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Nümerik ve teorik metodun karşılaştırılması

3.1. Tek ve Çift Nozzle İçin Elde Edilen Sonuçlar

Ağdan bağımsızlık çalışması yapıldıktan sonra H/D , Reynolds ve nozzle sayısının hız sınır tabakası üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Şekil 6'de düşük Reynolds sayısı için H/D oranının artması ile istenilen sınır tabaka (turuncu-kırmızı kontur ile gösterilen yüksek hızlı değerler) H/D 8'den sonra giderek kaybolmuştur. Ancak sınır tabaka kalınlığı azalmıştır.

Şekil 7'da ortalama Reynolds sayısında istenilen kırmızı-turuncu kontur daha geniş bir alana yayılmıştır. Burada da H/D 8'den sonra bu tabaka kaybolmaya başlamıştır. Ancak Reynolds sayısının artması ile tabaka kalınlığında bir artış meydana gelmiştir.

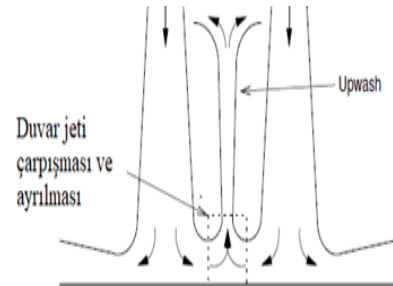
Şekil 8'de yüksek Reynolds sayılarında istenilen kırmızı-turuncu tabakaya H/D 10 mertebesine kadar ulaşılmıştır.

İkili nozzle için Reynolds sayısı 4153, 7960 ve 12114 (hız sırasıyla 12, 23, 35 m/s ve $d=5,5$ mm) $H/D = 4, 6, 8, 10, 12$ ve nozzle arası mesafe $s=50,75$ ve 100 mm alınarak analizler yapılmıştır.

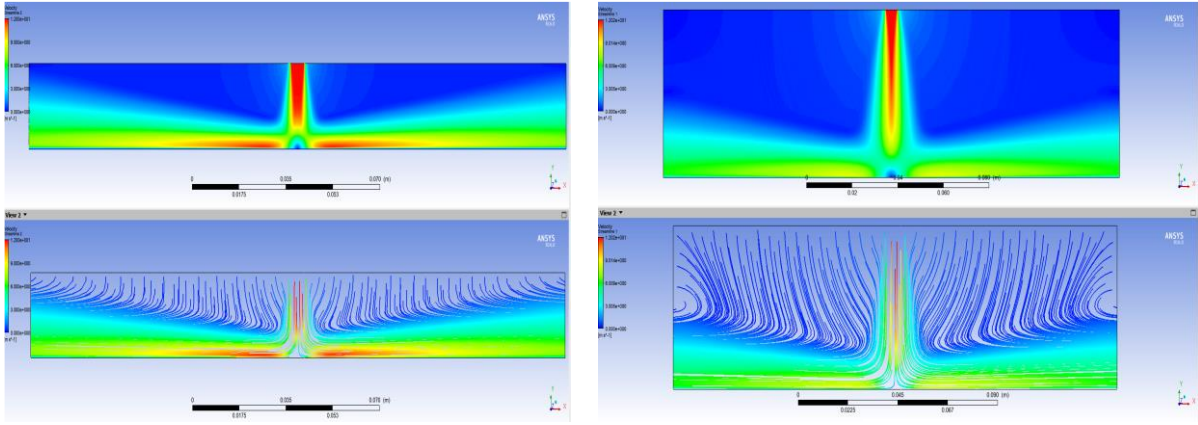
Şekil 9-17'ye göre 50 mm nozzle mesafesi ve 4153 Reynolds sayısında H/D 6'ya kadar istikrarlı bir görüntü çizilirken, H/D 8'den sonra upwash etkisi ile bir istikrarsızlık görülmektedir. Ancak H/D 12 için hız yeterli olmadığı için upwash etkisinde belirgin bir azalma görülmektedir. 75 mm mesafede ise H/D 4 ve 6 için istikrarlı durum geçerli iken H/D 8'de başlayan girdap oluşumu H/D 10 ve 12 için upwash etkisine dönüşmektedir. 100 mm mesafe için ise H/D '8 den sonra efektiflik azalmaktadır.

Ortalama Reynolds sayısında 50 mm nozzle mesafesi için H/D 8'e kadar kabul edilebilir bir görüntü çizerken sonrasında gittikçe artan bir upwash etkisi gözlemlenmiştir. 75 mm ve 100 mm mesafe için kabul edilebilir sonuçlar alınmıştır.

Persoons vd., (2013) akışın yüzeye tam paralel duruma geldiği bölge duvar jetidir. Çoklu jet durumunda duvar jetlerinin etkisi ortaya çıkar. Çünkü bu jetlerin birbiri ile etkileşime girmesi bu bölgede gerçekleşir. Bundan kaynaklı jetlerin orta noktalarında bir durgunluk noktası daha oluşacaktır. Duvar jetleri çarpışması ilginç bir akış özelliğine neden olur. Barata vd., (1993) iki bitişik jet arasında bir 'upwash flow' olduğunu tespit etti. Bu şekil 5'de verilmiştir. Bu akış duvar jetlerin in çarpışması sonucu ortaya çıkmıştır. Bu çarpan hava jetlerinin içeri girmesini engeller ve çıkış havasının boşalması için iki mekanizma sağlar. 'Upwash flow' daki çıkış havasının bir kısmı komşu jetler içine sürülürken diğer kısmı bu çarpışmayı önleyerek nozzle plakası boyunca boşaltılır.

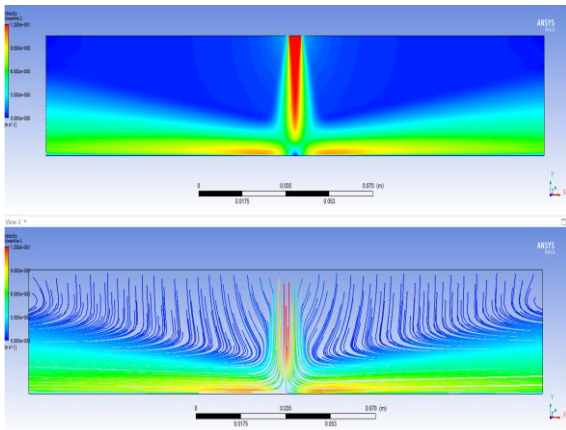


Şekil 5. İki duvar jetin çarpışması ve 'upwash flow' gösterimi

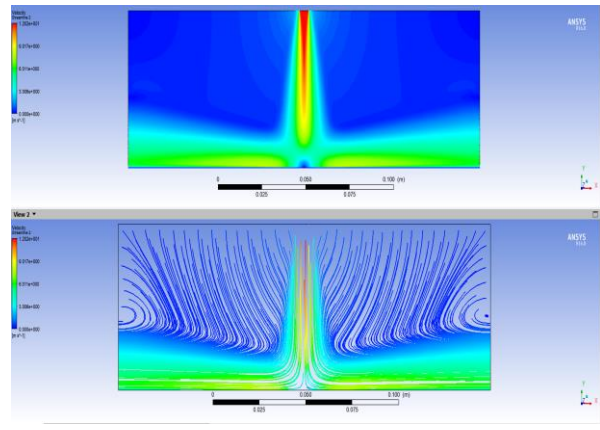


(a)

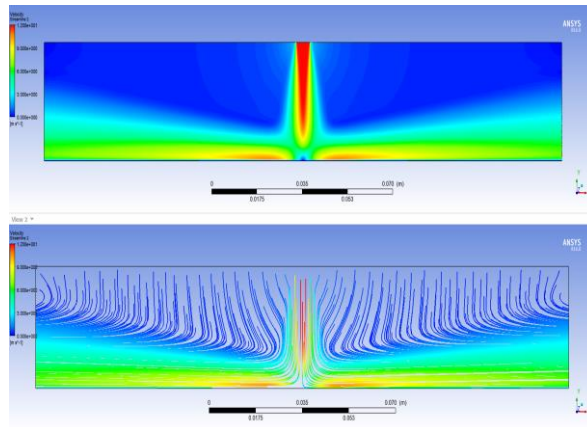
(c)



(b)

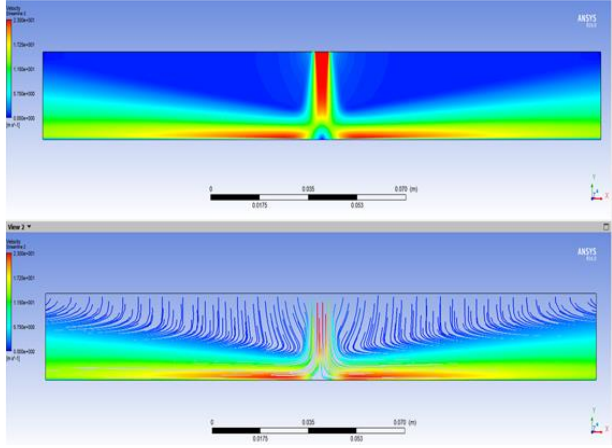


(d)

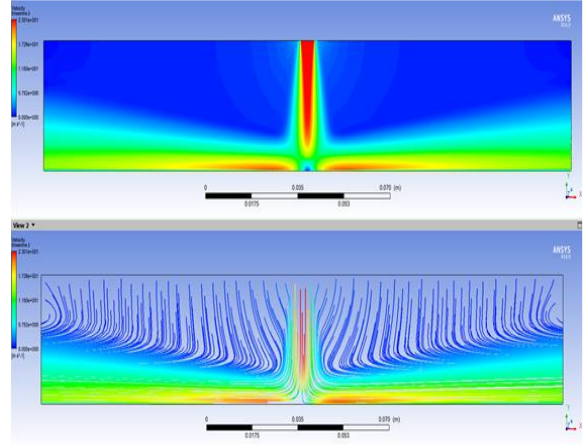


(e)

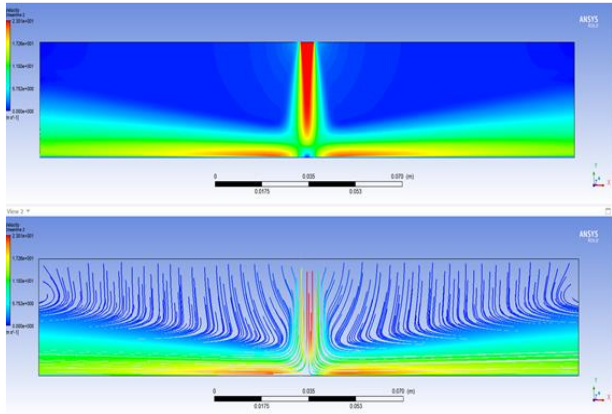
Şekil 6. 4153 Re sayısı için hız dağılımları (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



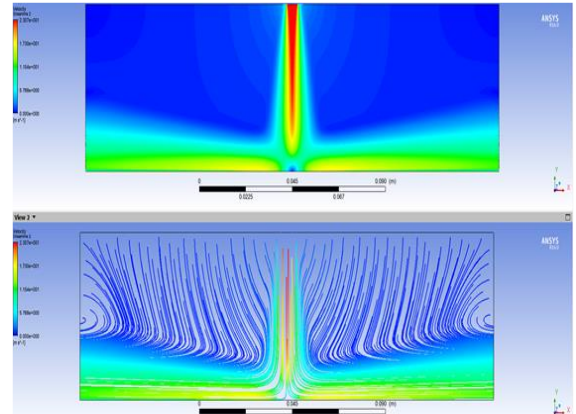
(a)



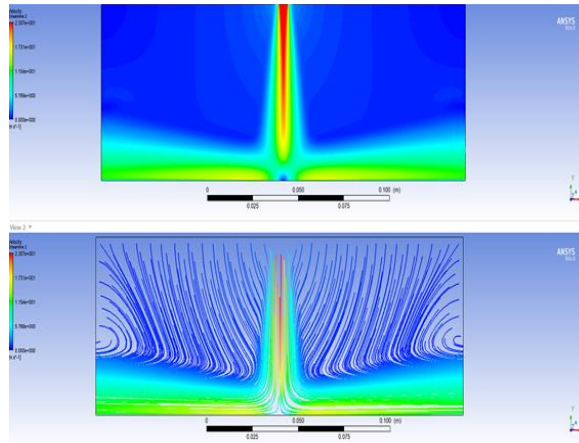
(c)



(b)

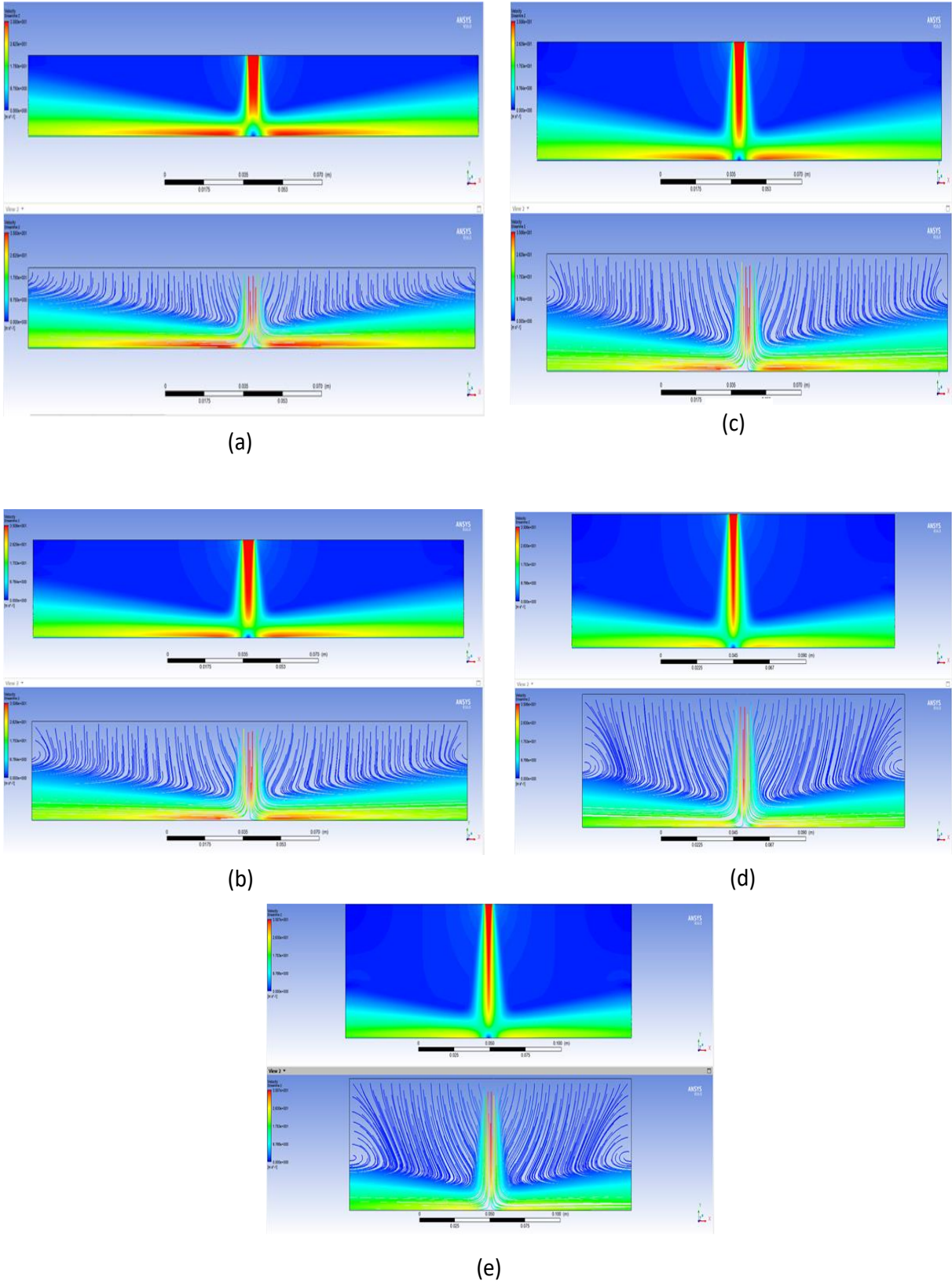


(d)

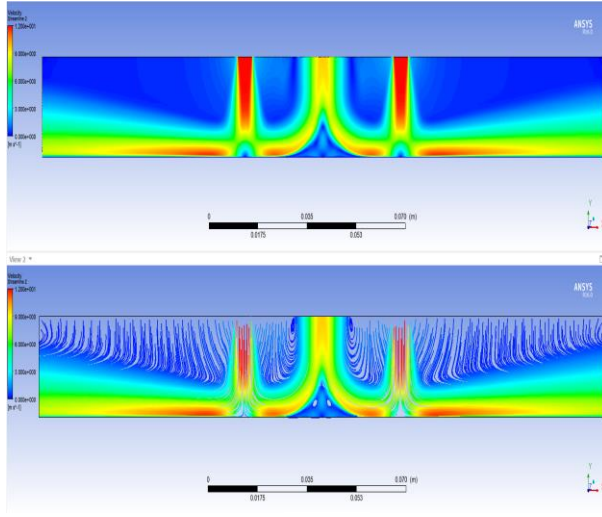


(e)

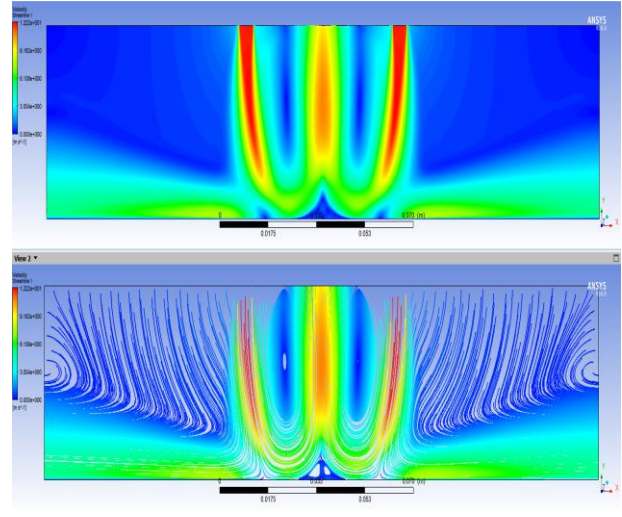
Şekil 7. 7960 Re sayısı için hız dağılımları (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



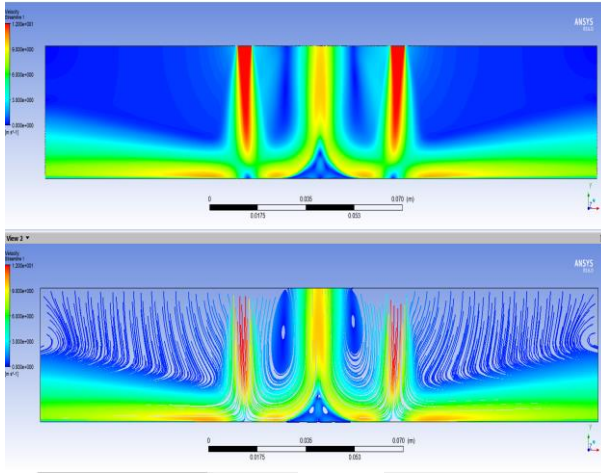
Şekil 8. 12114 Re sayısı için hız hız değişimi ve akım çizgileri (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



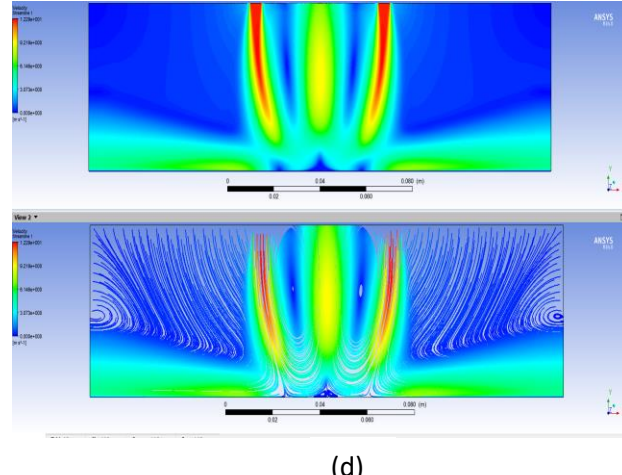
(a)



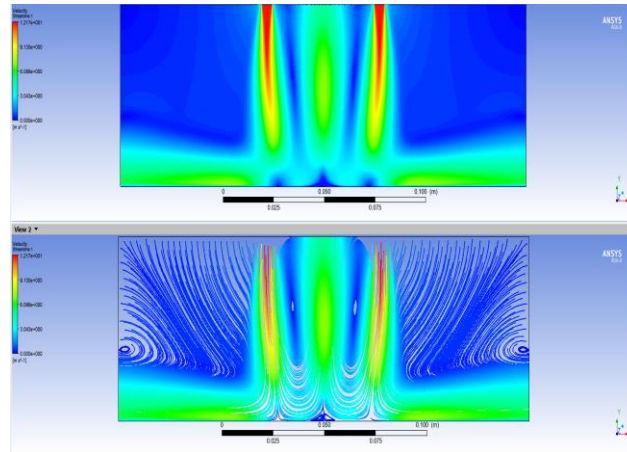
(c)



(b)

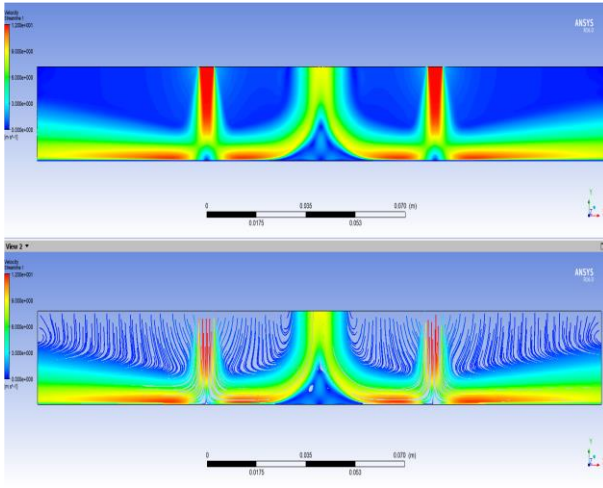


(d)

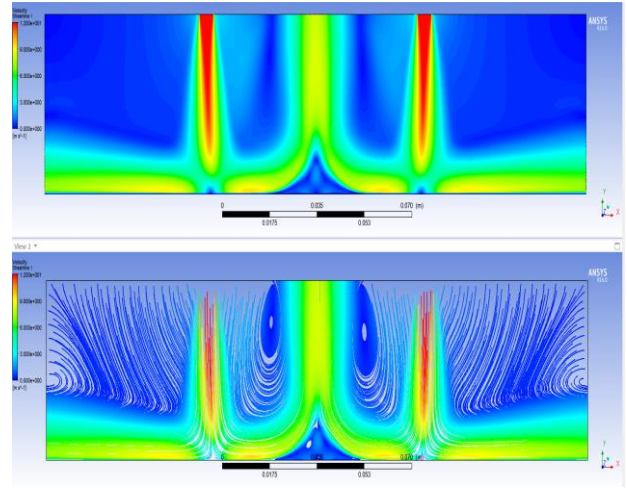


(e)

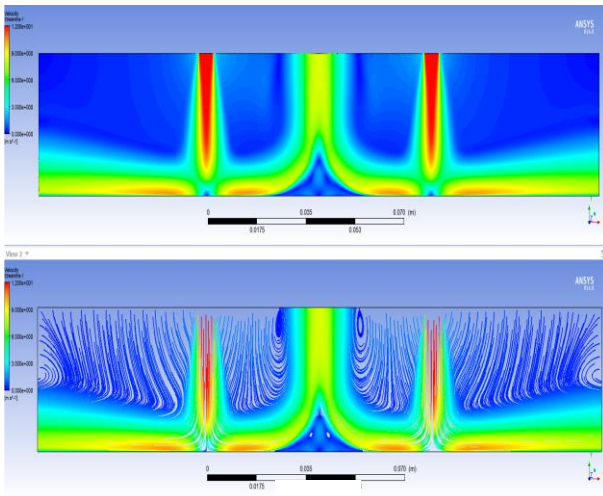
Şekil 9. $S = 50$ mm, $Re = 4153$ ve farklı H/D oranları için hız değişimi ve akım çizgileri (a- $H/D = 4$, b- $H/D = 6$, c- $H/D = 8$, d- $H/D = 10$, e- $H/D = 12$)



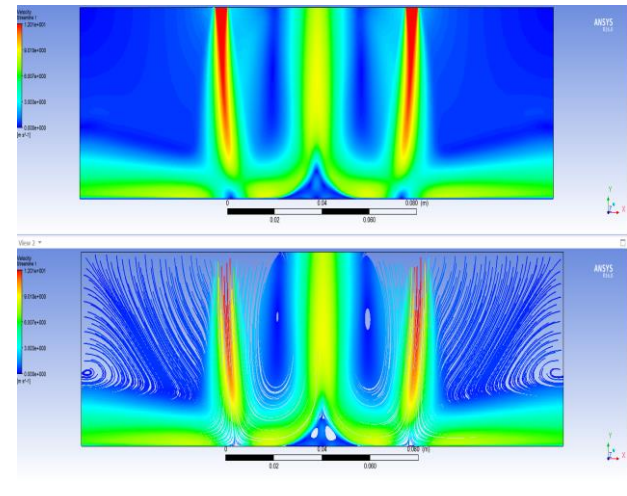
(a)



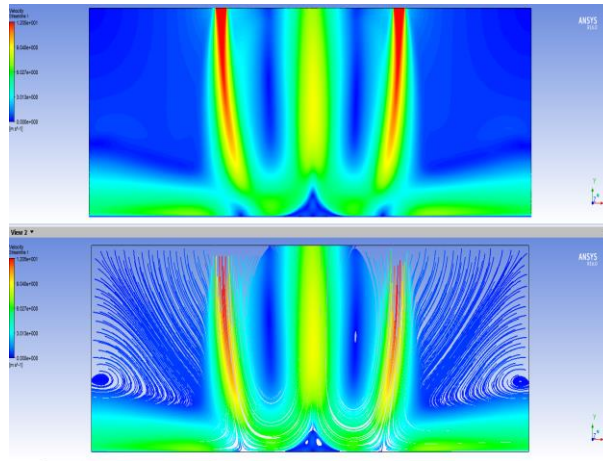
(c)



(b)

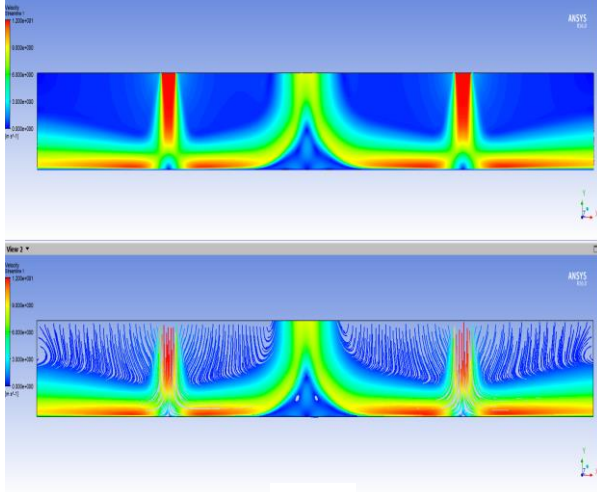


(d)

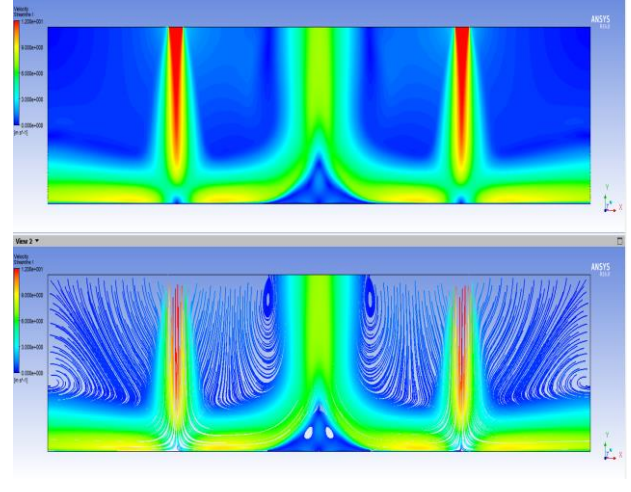


(e)

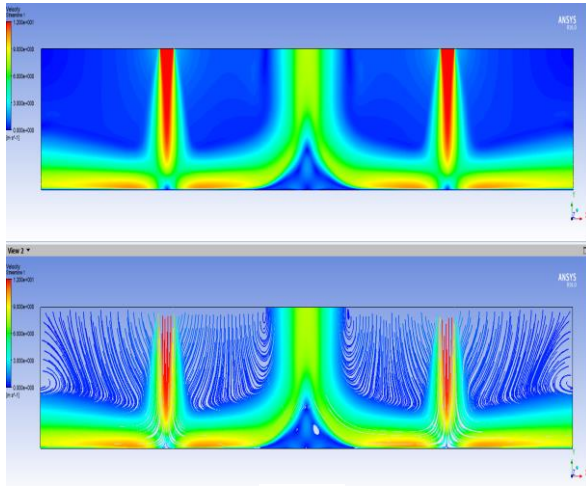
Şekil 10. $S= 75 \text{ mm}$, $Re= 4153$ ve farklı H/D oranları için hız değişimi ve akım çizgileri (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



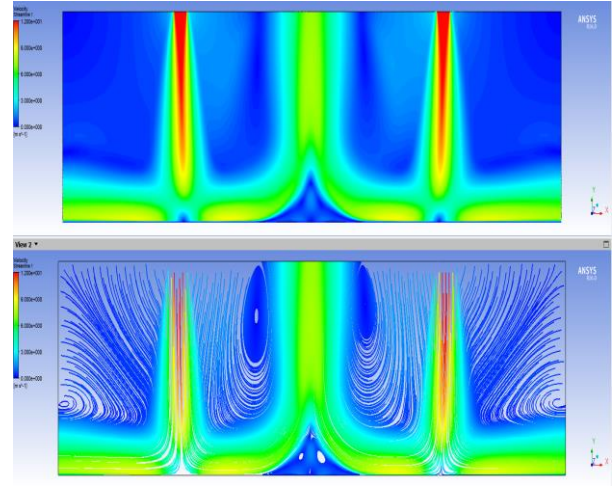
(a)



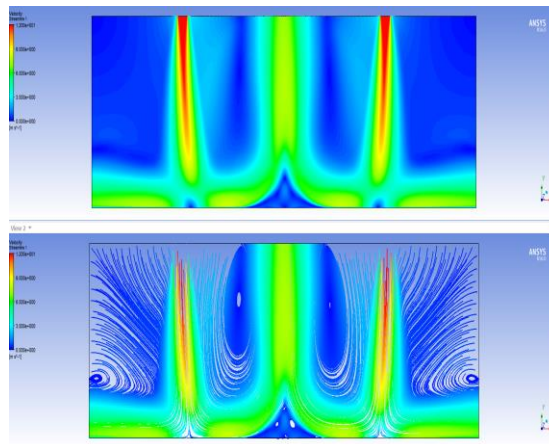
(c)



(b)

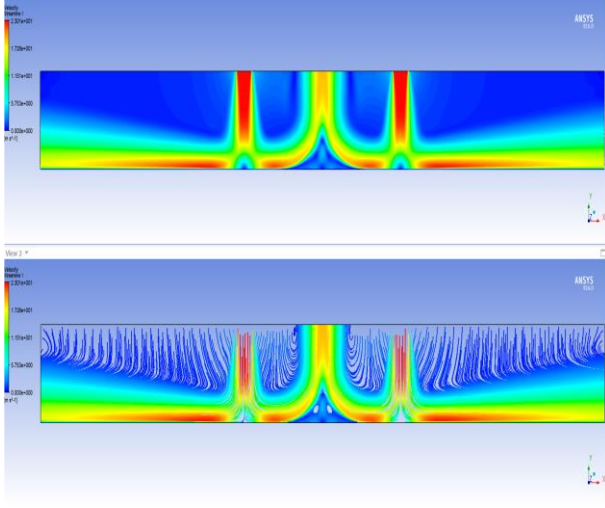


(d)

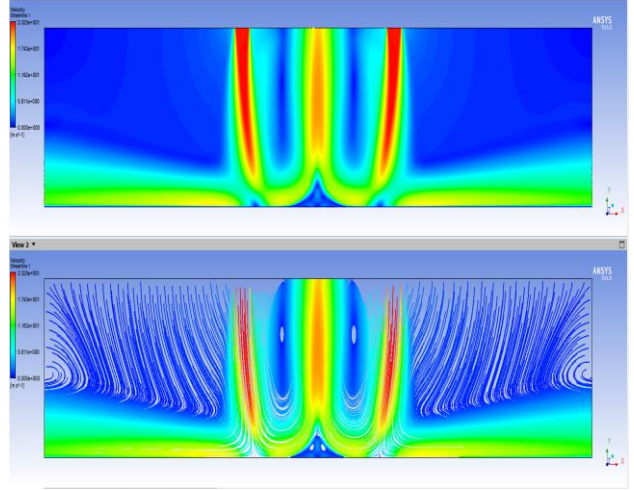


(e)

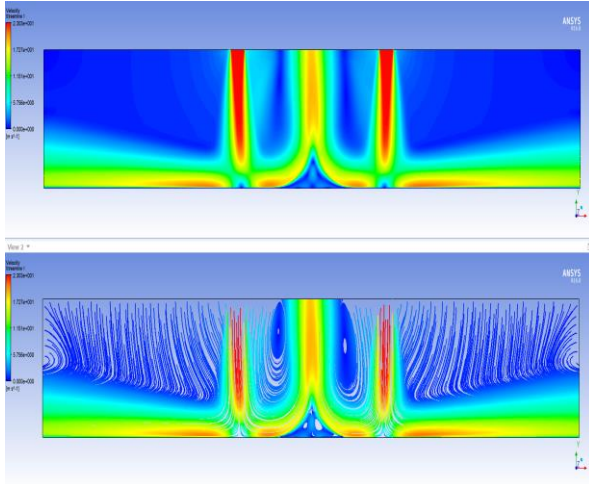
Şekil 11. $S=100$ mm, $Re=4153$ ve farklı H/D oranları için hız değişimi ve akım çizgileri (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



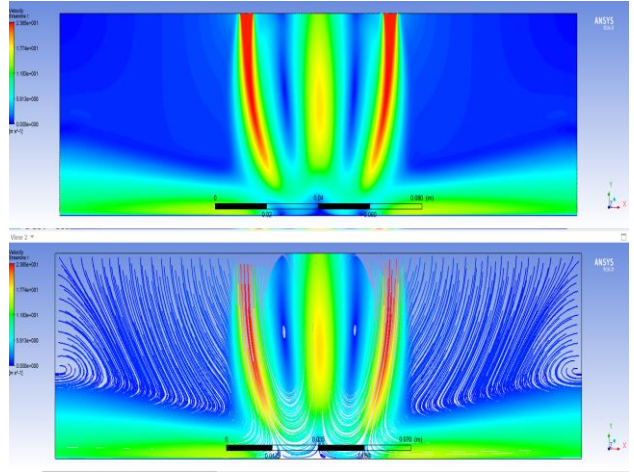
(a)



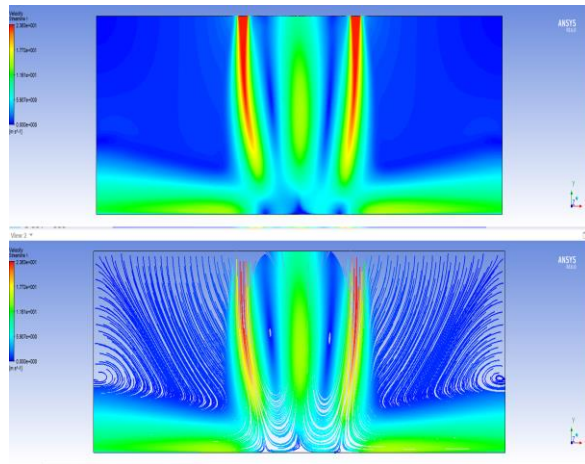
(c)



(b)

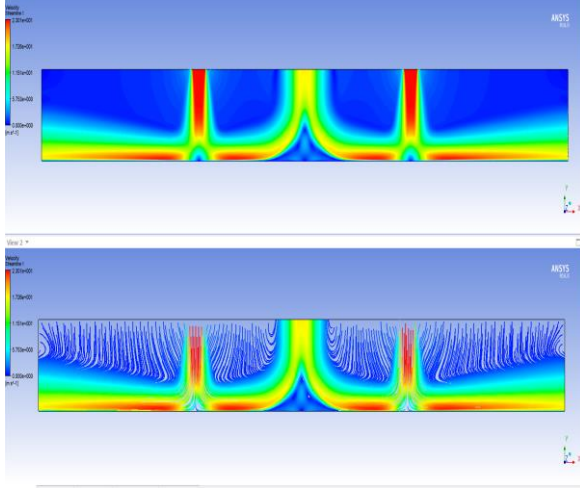


(d)

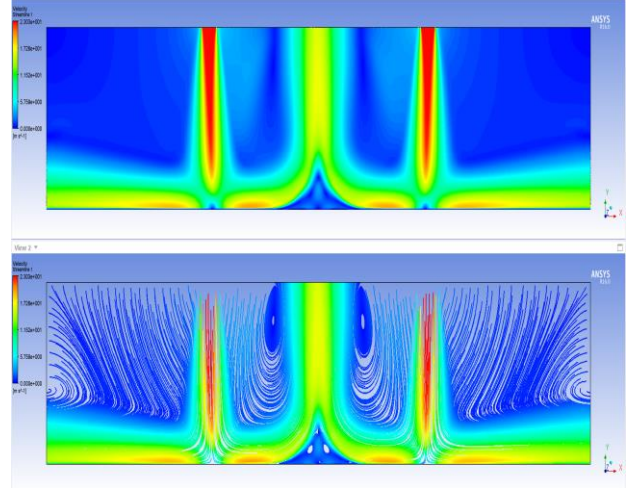


(e)

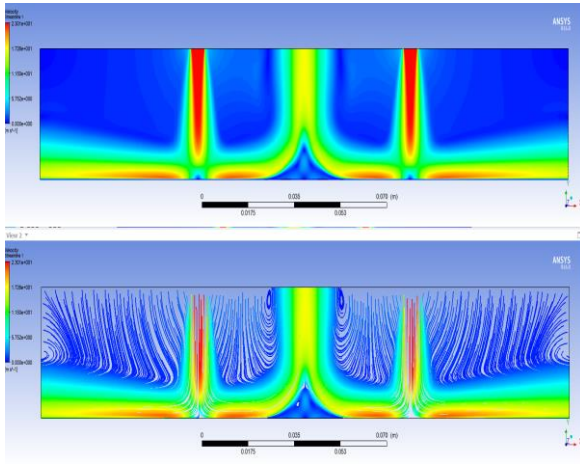
Şekil 12. $S = 50 \text{ mm}$, $Re = 7930$ ve farklı H/D oranları için hız değişimi ve akım çizgileri (a- $H/D = 4$, b- $H/D = 6$, c- $H/D = 8$, d- $H/D = 10$, e- $H/D = 12$)



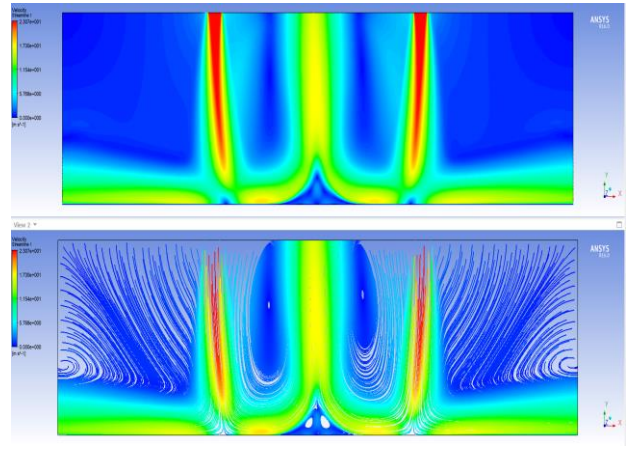
(a)



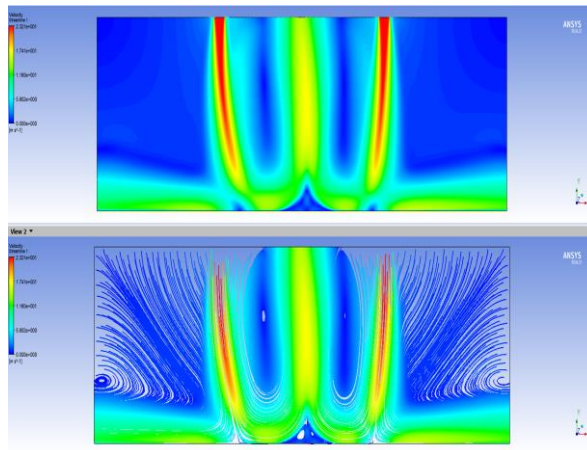
(c)



(b)

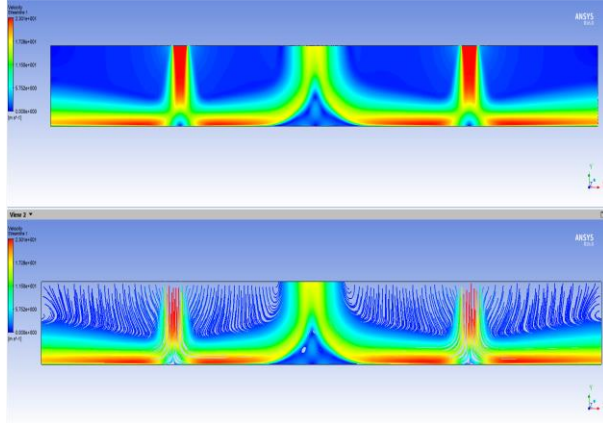


(d)

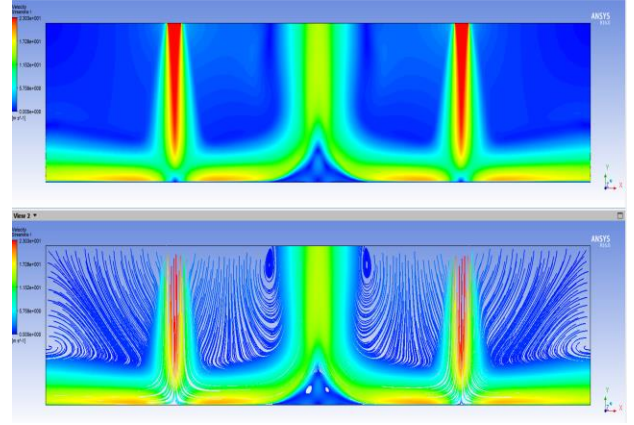


(e)

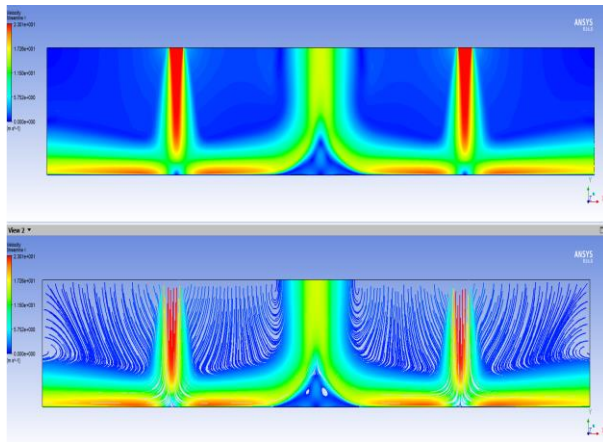
Şekil 13. $S = 75 \text{ mm}$, $Re = 7930$ ve farklı H/D oranları için hız değişimi ve akım çizgileri (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



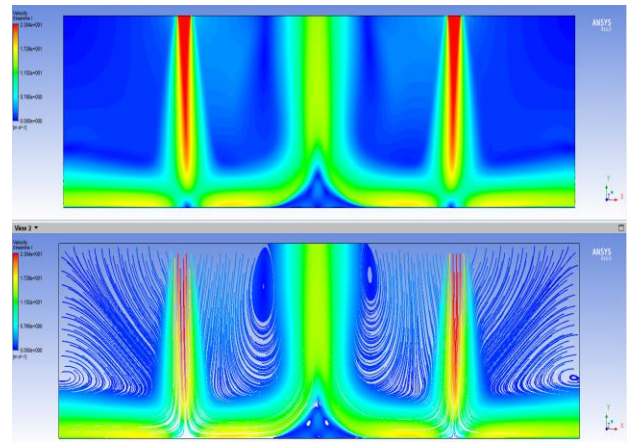
(a)



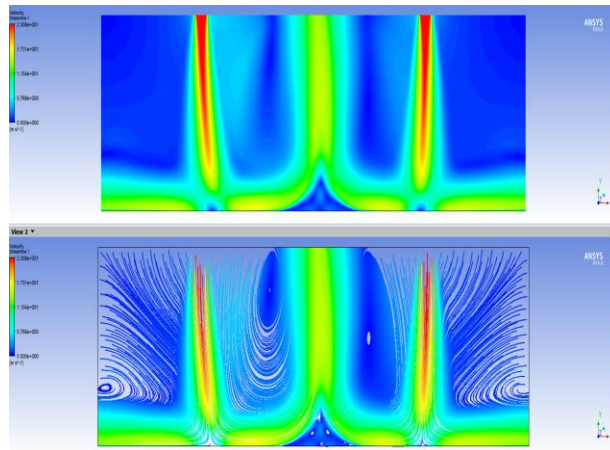
(c)



(b)

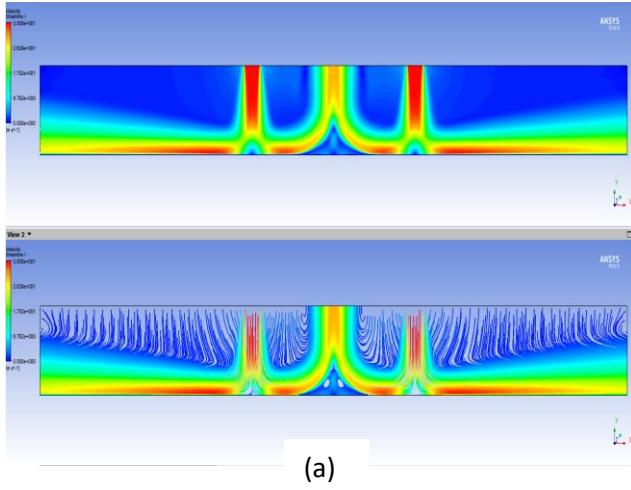


(d)

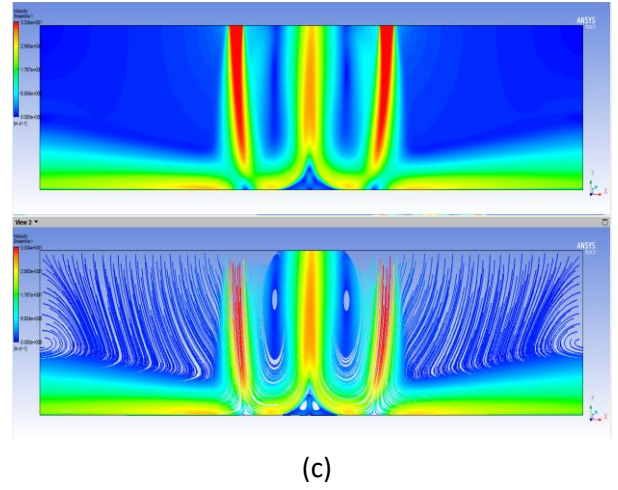


(e)

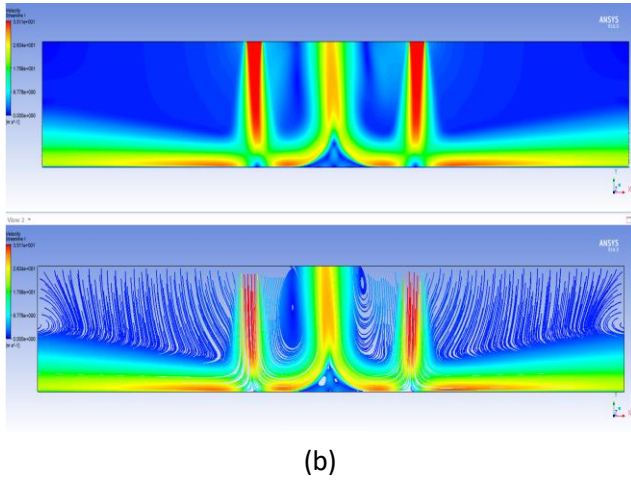
Şekil 14. $S = 100 \text{ mm}$, $Re = 7930$ ve farklı H/D oranları için hız değişimi ve akım çizgileri (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



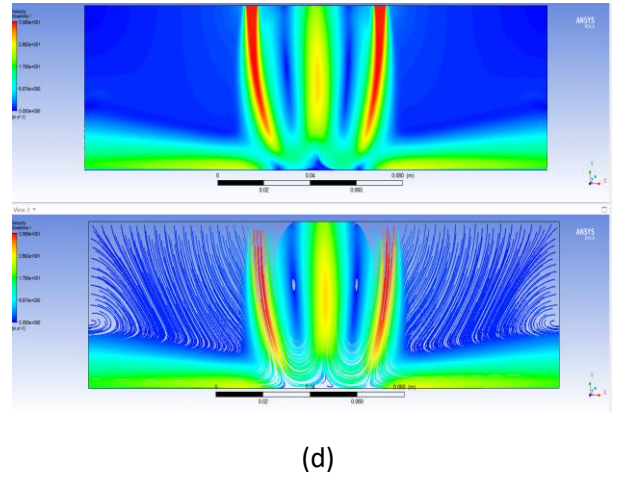
(a)



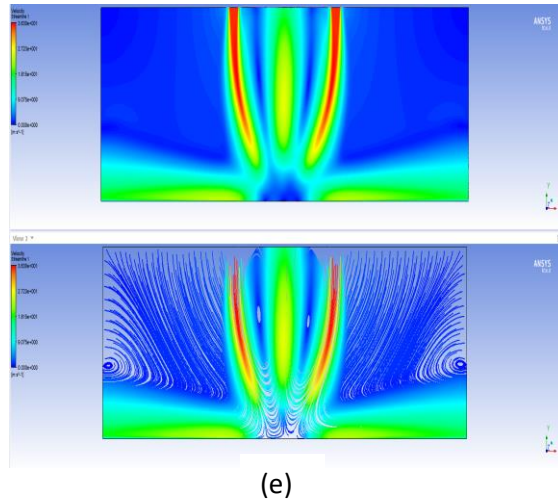
(c)



(b)

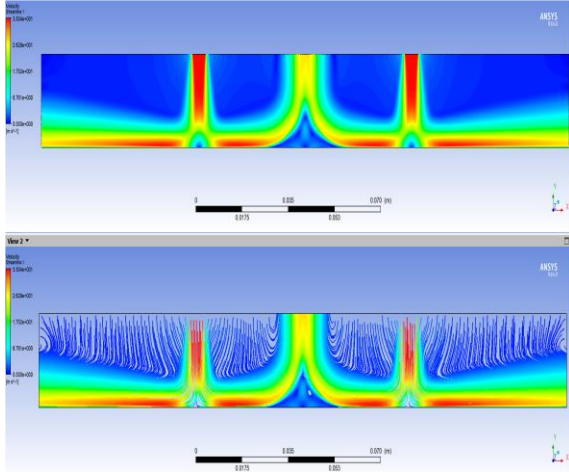


(d)

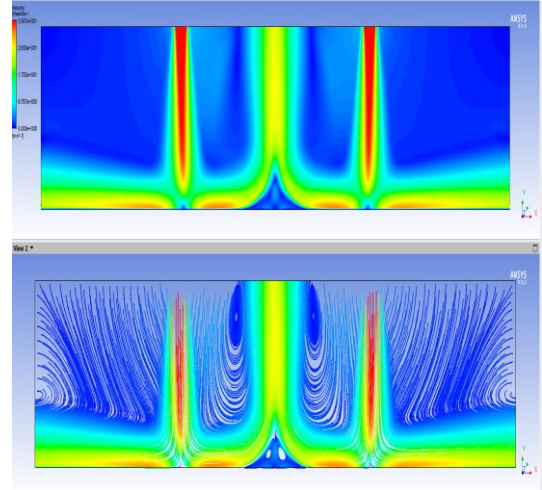


(e)

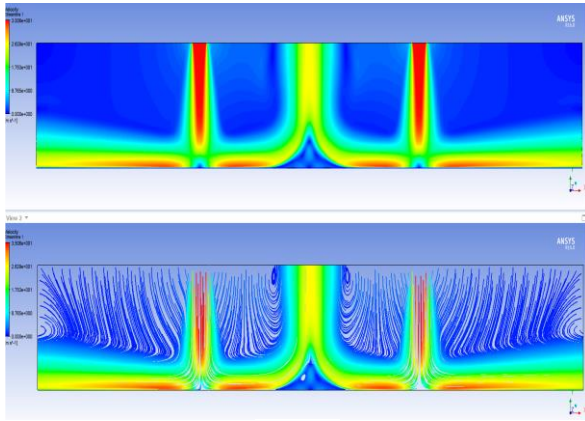
Şekil 15. $S = 50$ mm, $Re = 12100$ ve farklı H/D oranları için hız değişimi ve akım çizgileri (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



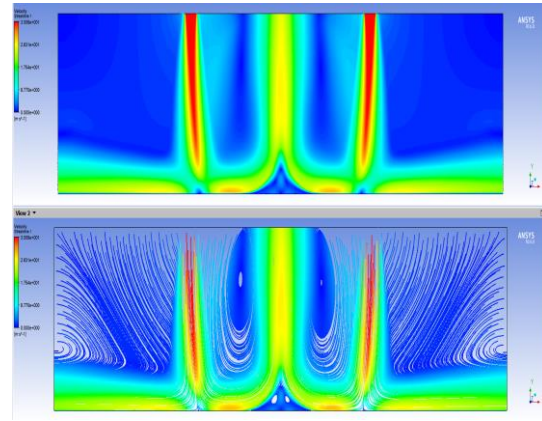
(a)



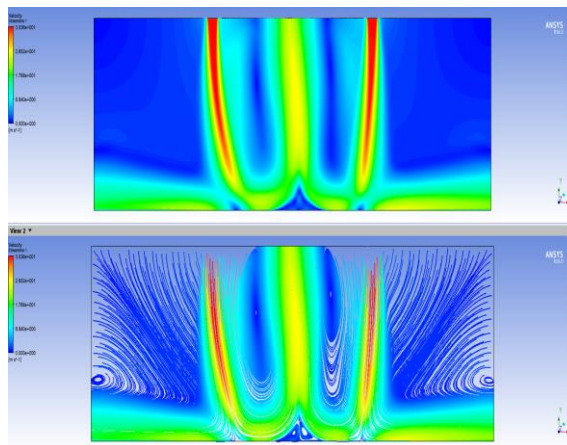
(c)



(b)

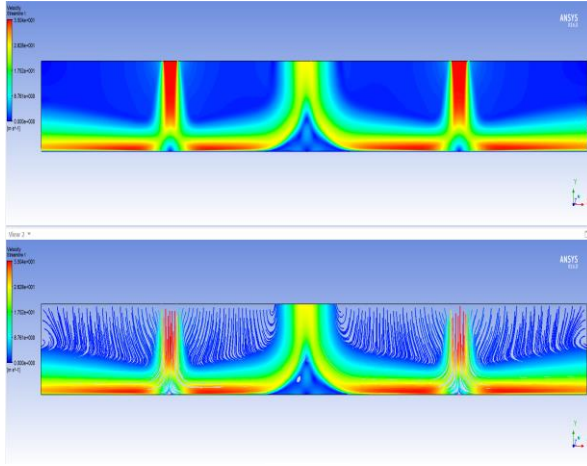


(d)

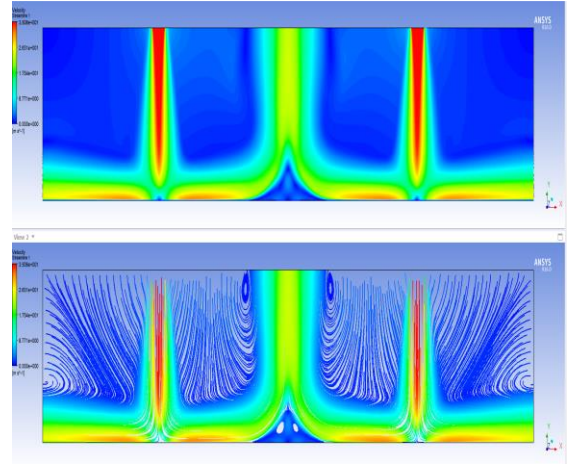


(e)

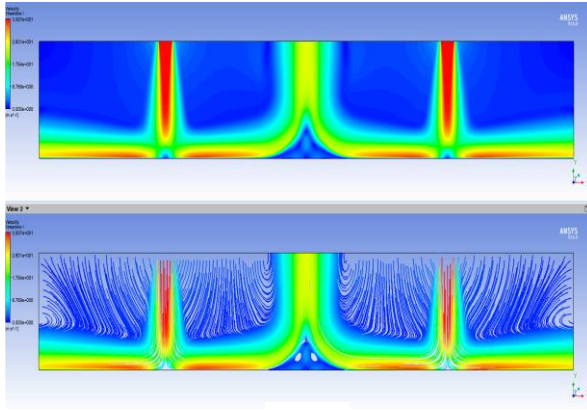
Şekil 16. $S = 75 \text{ mm}$, $Re = 12100$ ve farklı H/D oranları için hız değişimi ve akım çizgileri (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



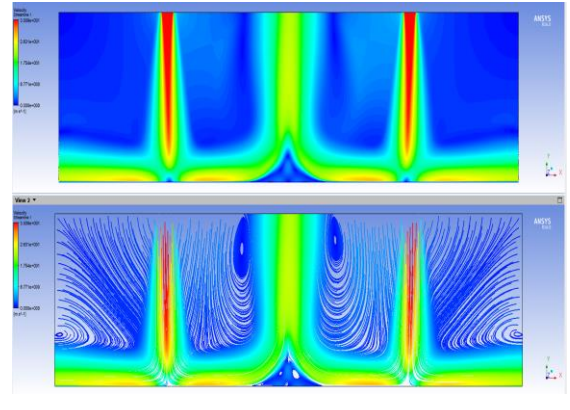
(a)



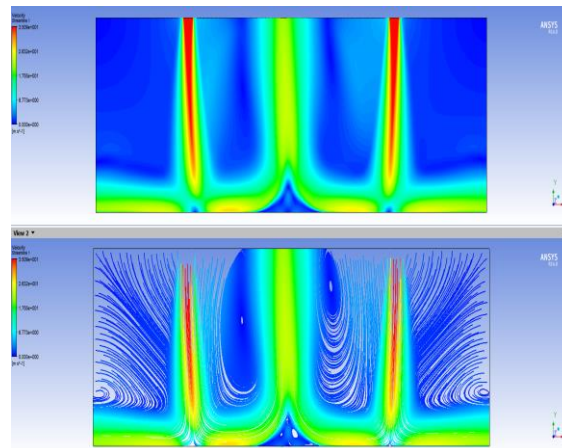
(c)



(b)



(d)



(e)

Şekil 17. $S = 100 \text{ mm}$, $Re = 12100$ ve farklı H/D oranları için hız değişimi ve akım çizgileri (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)

4. Sonuç

Bu çalışmada çarpan hava jetlerinde hız dağılımı nümerik olarak incelenmiştir. Hız, geometri boyutları (H/D mesafesi), nozzle sayısı ve nozzle arası mesafe incelenen parametrelerdir. Beklenildiği gibi en yüksek etkiler Reynolds sayısına bağlı değişimlerde görülmüştür. Çarpan hava jetinde etkili olabilecek parametreler H/D mesafesi, hız, nozzle sayısı ve genişliği ve çoklu jetlerde nozzle arası mesafe olarak sayılabilir. Düşük Reynolds sayısı için H/D oranının artması ile istenilen hız sınır tabaka H/D 8'den sonra giderek azalmıştır. Ancak Reynolds sayısının artması ile hız sınır tabaka kalınlığında bir artış meydana gelmiştir. Yüksek Reynolds sayılarında 50 mm nozzle mesafesi için istenilen efektiflik elde edilememiştir. 75 mm ve 100 mm nozzle mesafesinde özellikle H/D 4 için istenilen hız sınır tabakası elde edilmiştir.

Etkili ısıtma istenen durumda sistemin çalışma prensibine göre tek veya çift nozzle, hız gibi parametreler ile değişim yapılabilir. Ancak sistemde yapılacak her değişimin artı bir maliyet getirebileceği unutulmamalıdır.

Isı transferini arttırmanın bir yolu, ısı transferinin artması istenen yüzeyde türbülansı arttırmaktır. Bunun için literatürde yapılmış çalışmalar mevcuttur. Yüzeye kanatçık yerleştirerek burada türbülans nedeni ile oluşabilecek ısı transferini arttırmak, yapılacak ekstra maliyetler yerine daha uygun bir seçim olabilir.

Bu çalışmada göz önünde bulundurulması gereken durumlar, araştırmaların nümerik olmasından dolayı bilgisayara bağlı gerçekleştirilecek bir sorunun sonucu etkileyebileceği veya referans değerlerine bağlı olarak sonuçlarda yanlışlıklar görülebileceği unutulmamalıdır. Ayrıca analizin en önemli kısımlarından biri sonucun ağdan (mesh) bağımsızlık kısmıdır.

Kaynakça

- Barata, J.M.M., Durão, D.F.G., Heitor, M.V., McGuirk, J.J. (1993). On the analysis of an impinging jet on ground effects, Experiments in Fluids, 15, 117–129. doi: 10.1007/BF00190951.
- Baydar, E., Ozmen, Y.(2006). An Experimental Investigation on Flow Structures of Confined and Unconfined Impinging Air Jets, Heat Mass Transfer, 42, 338. doi: 10.1007/s00231-005-0021-6.
- Çalışır, T., Başkaya, Ş., Çalışkan, S., ve Kılıç, M. (2017). Çarpan akışkan jetleri kullanarak kanatçıklı yüzeyler üzerindeki akış alanının sayısal olarak incelenmesi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32:1, 119-130. doi: 10.17341/gazimmfd.300601.
- Çelik, N., Eren, H. (2009). Çarpan Dairesel Bir Jette Çarpma Bölgesi Türbülans Şiddetinin Isı Transferine Etkisi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 30(1), 91-98.
- Ememoglu, A.B., Ulcay, Y., Can, M., Avci, A. (2009). Mathematical modelling of combined diffusion of heat and mass transfer through fabrics, Fibers and Polymers, 10(2), 252-259. doi: 10.1007/s12221-009-0252-0.
- Ememoglu, A.B. (2003). Mathematical modelling of simultaneous heat and mass transfer in heterogeneous materials, Ph.D. Thesis, University of Uludag, Turkey.
- Elibol, E.A., Türkoğlu, H. (2017). Gözenekli Düz Bir Yüzeye Çarpan Jetin Sayısal Olarak İncelenmesi, Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 7(1), 9-28.
- Fregeau, M., Saeed, F., Paraschivou, I. (2003). Numerical Heat Transfer Correlation For Array of Hot-Air Jets Impinging On

- 3-Dimensional Concave Surface, 21st AIAA Applied Aerodynamics Conference, AIAA 2003-3403, June.
- Garimella, V.P. (2001). Local Heat Transfer Distributions in Confined Multiple Air Jet Impingement, CTIC Research Publications, 299. doi: 10.1115/1.1371923.
- Gau, C., Chung, C.M. (1991). Surface Curvature Effect on Slot-Air-Jet Impingement Cooling Flow and Heat Transfer Process, Journal of Heat Transfer, 113:4(4). doi: 10.1115/1.2911214.
- Geers, L.F.G., Tummers, M.J., Bueninck, T.J., Hanjalić, K. (2008). Heat transfer correlation for hexagonal and in-line arrays of impinging jets, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 51, Issues 21–22. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2008.01.035.
- Gölcü, M., Yazıcı, H., Akçay, M., Köseoğlu, M. F., Sekmen, Y. (2012). Oto Camların Temperlenmesinde Çarpan Hava Jetleri İle Soğutmanın Deneysel İncelenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 27, 775-783.
- Hardisty, H., Can, M. (1983). An experimental investigation into the effect of changes in the geometry of a slot nozzle on the heat transfer characteristics of an impinging air jet, Proc. Inst. Mech. Engs., 197C, 7-15. doi: 10.1243/PIME_PROC_1983_197_071_02.
- O'Donovan, T.S. (2005). Fluid Flow And Heat Transfer Of An Impinging Air Jet, Ph.D. Thesis, Department of Mechanical & Manufacturing Engineering, Trinity College, Dublin.
- Persoons, T., Balgazin, K., Brown, K., Murray, D.B. (2013). Scaling of Convective Heat Transfer Enhancement Due to Flow Pulsation in an Axisymmetric Impinging Jet, ASME. J. Heat Transfer, 135(11) November.
- Weigand, B., Spring, S. (2009). Multiple Jet Impingement – A Review, Int. Symp. on Heat Transfer in Gas Turbine Systems, Antalya, Turkey.