



EĞİK BİR YÜZEYE ÇARPAN İKİLİ SLOT HAVA JETLERİNDE BASINÇ DAĞILIMLARININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Yücel ÖZMEN*

*Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
61080 Trabzon, yozmen@ktu.edu.tr

(Geliş Tarihi: 01.01.2015, Kabul Tarihi: 01.10.2015)

Özet: Bu çalışmada sınırlanmamış ve sınırlanmış ikili slot jetlerin eğik bir yüzeye çarpması ile oluşan akış alanları deneysel olarak incelenmiştir. Reynolds sayısının 15000 değerinde, 1-18 lüle-levha arası açıklık (H/W) aralığında ve 0°-42° çarpma levhası eğim açısı (α) aralığında yapılan ölçümler sonucunda çarpma levhası ve sınırlayıcı levha yüzeylerinde basınç dağılımları elde edilmiştir. Jet sınırlanmasının, lüle-levha arası açıklığın ve çarpma levhası eğim açısının basınç dağılımları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sınırlanmamış jet durumunda çarpma levhası yüzeyinde her hangi bir ortam altı basınç bölgesi oluşmazken sınırlanmış jet durumunda, çarpma levhası ve sınırlayıcı levha üzerinde ortam altı basınç bölgelerinin meydana geldiği ve artan açıklıkla etki bölgeleri genişlerken şiddetlerinin azaldığı görülmüştür. Çarpma levhası üzerinde birincil durma noktalarında iki ayrı pik şeklinde oluşan maksimum basınçlar, eğim açısının artması ile birlikte tek bir pik şekline dönüşmektedir.

Anahtar Kelimeler: İkili slot jet, Eğik çarpma levhası, Sınırlanmamış, Sınırlanmış, Ortam altı basınç bölgesi, Basınç katsayısı

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PRESSURE DISTRIBUTION FOR TWIN SLOT JETS IMPINGING ON AN INCLINED SURFACE

Abstract: An experimental study is carried out to investigate flow field characteristics of unconfined and confined twin slot jets impinging on an inclined surface. Pressure distributions on the impingement and confinement surface were obtained for Reynolds number of 15000, nozzle-to-plate spacing (H/W) in the range of 1-18 and inclination angle of impingement plate (α) in the range of 0°-42°. The effects of nozzle-to-plate spacing, inclination angle and flow confinement on the pressure distributions were examined. In the case of confined jet, subatmospheric regions occur on both impingement and confinement surfaces and their strength decreases with increasing nozzle-to-plate spacing. There is no evidence of the subatmospheric region in unconfined jet. Distinct peaks occurred on primary stagnation points of impinging plates is turned to single peak with increasing angle of inclination.

Keywords: Twin slot jet, Inclined impingement plate, Unconfined, Confined, Subatmospheric pressure region, Pressure coefficient

SEMBOLLER

C_p	Basınç katsayısı [$\Delta P / (\rho U_o^2/2)$]
H	Lüle - levha açıklığı [m]
L	Lüleler arası mesafe [m]
ΔP	Atmosferik basınç ve yüzey basıncı arasındaki fark [N/m^2]
Re	Reynolds sayısı [$U_o W/\nu$]
U_o	Lüle çıkış hızı [m/s]
W	Slot lüle genişliği [m]
x	Slot genişliği boyunca uzaklık [m]
y	Jet eksenine boyunca uzaklık [m]
ν	Kinematik viskozite [m^2/s]
ρ	Havanın yoğunluğu [kg/m^3]
α	Çarpma levhası eğim açısı [$^\circ$]

GİRİŞ

Bir yüzeye çarpan tekli veya çoklu jet akışları ile cam ve metal parçaların temperlenmesi, tekstil ve kâğıt ürünlerinin kurutulması, gaz türbinleri ve elektronik elemanların soğutulması, uçakların çeşitli elemanlarında oluşabilecek buzlanmanın önlenmesi, dikine havalanan ve inen uçak, helikopter ve roket gibi araçların hareket sistemleri gibi uygulamalarda sıklıkla karşılaşılmaktadır. Bu tip akışlar ısı transferini artırmakta ve türbülans modellerinin geliştirilmesi amacıyla, bu alanda çalışanlar için de ilgi çekici olmaktadır. Jet uygulamalarında, uygun ve ekonomik bir tasarıma ulaşabilmek için ısı transferinin dış etkenler üzerindeki bağımlılığı hakkında bilgi gereklidir. Akışkan miktarı, akışın çıktığı lüle çapı veya slot (yarık) genişliği, lüle-levha arası mesafeler verilen bir ısı transferi probleminin çözümü için göz önünde bulundurulabilecek ana değişkenlerdir. Bu ana parametrelerin etkilerinin ayırt edilmesi ve anlaşılması son derece önemlidir. Jet çıkış çapı, hızı ve türbülans şiddeti, jet çıkışı ile çarpma levhası arasındaki açıklık, jet çıkış, çarpma

levhası ve ortam sıcaklıkları, jetin sınırlandırılıp sınırlandırılmaması, çarpma levhasının veya sınırlayıcı levhanın eğimli olması akış alanını ve dolayısıyla ısı transferini büyük ölçüde etkilemektedir.

Literatürde, tekli ve çoklu çarpan jet akışları ile ilgili olarak akış alanı ve ısı transfer karakteristiklerinin belirlenmesine yönelik, jet parametrelerinin etkilerini inceleyen çok sayıda deneysel ve sayısal çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda lüle tipleri, akış alanı geometrileri ve akış özellikleri farklılıklar göstermektedir. Kullanılan lüleler; dairesel kesitli, eliptik ve slot şeklinde olup, birden fazla lüle uygulaması da yapılmaktadır. Akış alanı geometrileri; sınırlandırılmış (confined) ve sınırlandırılmamış (unconfined) olarak göz önüne alınmaktadır. Mevcut çalışmaların çoğunluğu, düz yüzeylere çarpan jetlerle ilgilidir (Baydar, 1999; Colucci ve Viskanta, 1996; Lytle ve Webb, 1994). Baydar (1999) ve Baydar ve Özmen (2005) tarafından sınırlandırılmış çarpan jet akışlarında 500-50000 aralığındaki Reynolds sayıları için yapılan çalışmalarda, $Re > 2700$ ve $H/D < 2$ lüle-levha arası açıklıklar için levha yüzeyinde ortam altı basınç bölgelerinin oluştuğu gözlenmiştir. Sınırlandırılmış çarpan slot jetin akış karakteristiklerinin belirlenmesine yönelik deneysel bir çalışma Ashfort-Frost *vd.* (1997) tarafından gerçekleştirilmiştir. Behnia *vd.* (1999), sınırlayıcı levhanın sadece küçük lüle-levha açıklıkları için önemli olduğunu belirtmişlerdir. Özmen (2011), düz bir yüzeye çarpan sınırlandırılmış ikili hava jeti için akış karakteristiklerini 30000-50000 Reynolds sayısı, 0.5-4 lüle-levha açıklığı ve 0.5-2 lüleler arası mesafe aralıklarında deneysel olarak incelemiştir. Hem çarpma yüzeyi hem de sınırlayıcı yüzey üzerinde ortam altı basınç bölgelerinin oluştuğunu ve yüzeylerdeki basınç dağılımlarının lüle-levha açıklığı ve lüleler arası mesafeden etkilendiğini belirlemiştir. Abdel-Fattah (2007), düz bir yüzeye çarpan dairesel ikili jet akışında çarpma yüzeyi üzerinde ortam altı basınç bölgeleri oluştuğunu ve artan lüle-levha açıklığı ile bu bölgelerin şiddetlerinin azaldığını ifade etmiştir. Eğik bir yüzeye çarpan slot jetin oluşturduğu akış alanında akış ve ısı transferi karakteristiklerinin belirlenmesine yönelik deneysel bir çalışma Akansu *vd.* (2008) tarafından gerçekleştirilmiştir. Roy ve Patek (2003), eğik bir yüzeye çarpan dikdörtgen kesitli ikili jet akışında akış ve ısı transferi karakteristiklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çarpma yüzeyi eğim açısı, lüle-levha açıklığı ve Reynolds sayısı parametrelerinin incelendiği çalışmada, çarpma yüzeyi eğim açısının Nusselt dağılımlarını etkilediğini ve incelenen parametreler arasında bir korelasyon olduğunu belirtmişlerdir. Eğik bir yüzeye çarpan slot hava jetinde çarpma yüzeyi eğiminin ısı transfer karakteristikleri üzerindeki etkisi Cho *vd.* (2012) tarafından deneysel olarak incelenmiştir. Sabit debi durumunda, lüle-levha açıklığının ısı transferi özelliklerini önemi ölçüde değiştirdiğini, sabit pompa gücü durumunda ise Nusselt dağılımlarının çarpma yüzeyi eğim açısından bağımsız olduğu belirlenmiştir. Al Mubarek *vd.* (2013), eğimli bir yüzeye çarpan tekli jet dizisinin oluşturduğu akışta çarpma yüzeyi boyunca ısı transferi karakteristiklerini deneysel olarak incelemişler ve ortalama yerel Nusselt sayısının artan Reynolds sayısı ile birlikte arttığını ifade etmişlerdir.

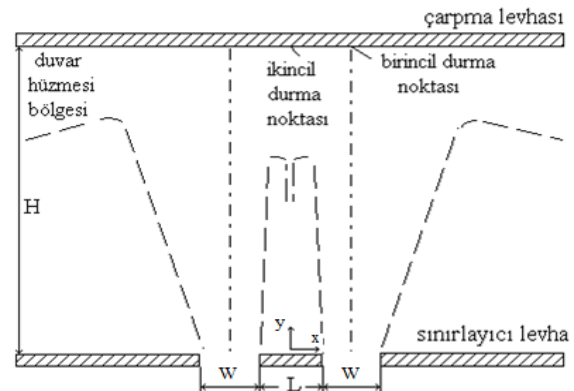
Yang ve Shyu (1998), sınırlayıcı yüzeyin eğimli olduğu çarpan çoklu slot jet akışında akış ve ısı transferi

karakteristiklerini sayısal olarak incelemişlerdir. Çarpma yüzeyinde oluşan maksimum yerel Nusselt sayısının ve maksimum basınç değerinin sınırlayıcı yüzeyin eğiminden etkilendiğini ve eğim açısının akış alanında oluşan ters akış bölgelerini de etkilediğini belirtmişlerdir. Eğik bir yüzeye çarpan slot jet akışında ısı transferi etkilerinin sayısal olarak incelendiği bir diğer çalışma Ramezanpour *vd.* (2007) tarafından gerçekleştirilmiştir. Sharif (2013), düz bir yüzeye çarpan sınırlandırılmış ikili eğik slot jet akışında ısı transferi karakteristiklerini sayısal olarak incelemiştir. Laminer akış rejiminde gerçekleştirdiği çalışmada jet eğim açısının ısı transferi dağılımları üzerinde etkili olduğunu ifade etmiştir.

Bir yüzeye gelen çeşitli düzenlerde yerleştirilmiş çoklu jet akışları ile uygulamada sıklıkla karşılaşmaktadır. Özellikle büyük yüzeyler üzerinde ısıtma, soğutma ve global ısı transferi iyileştirme çalışmalarında çoklu jet uygulamaları büyük önem taşımaktadır. Çoklu jet akışları ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar ağırlıklı olarak ısı transferi üzerine yoğunlaşmıştır. Akış karakteristiklerinin ve özellikle çarpma levhası ve sınırlayıcı levha üzerindeki basınç dağılımlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar oldukça az sayıdadır. Jet akışlarında çarpma levhası üzerindeki basınç dağılımları yerel ısı transferi üzerinde büyük etkiye sahiptir. Bu etkinin derecesi, basınç dağılımlarının incelenmesine yönelik çalışmaların önemini ortaya olmaktadır. Bu çalışmada, eğik bir yüzeye çarpan ikili slot jetlerde çarpma levhası ve sınırlayıcı levha üzerindeki basınç dağılımlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, sınırlandırılmamış ve sınırlandırılmış ikili çarpan slot jet akış sistemlerinde çarpma levhası ve sınırlayıcı levha üzerinde deneysel olarak elde edilecek basınç dağılımlarının lüle-levha açıklığı ve çarpma levhası eğim açısına göre değişimleri incelenecektir.

DENEYSEL ÇALIŞMA

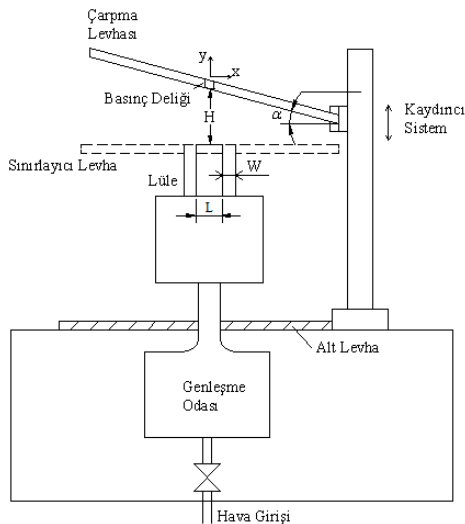
Jetler tek bir lüle ile oluşturulabileceği gibi, Şekil 1'de gösterilen ikili jet şeklinde de uygulanabilmektedir. Çarpan ikili jetler durumunda, jetlerin birbirini etkilemesi sonucunda akış alanı farklılaşmaktadır. Tekli jet durumundan farklı olarak, iki jetin birlikteliği çarpma yüzeyi üzerinde ikincil bir durma noktası oluşturmaktadır. Bu ikincil durma noktasının özellikleri, lüleler arası mesafe ile değişiklik göstermektedir. Akış alanında W , slot genişliğini; H , lüle-levha açıklığını; L ise, iki lüle kenarı arasındaki uzaklığı göstermektedir.



Şekil 1. İkili jet akışında akış bölgeleri

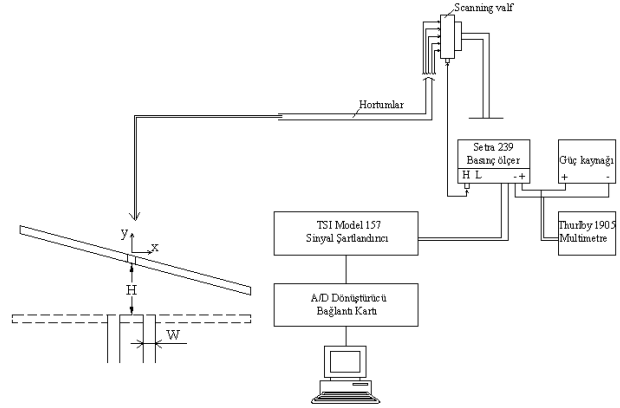
Çalışmada, Plint ve Partners Ltd. firmasının TE.88/3961 seri numaralı hava hüzmesi cihazı, çarpan ikili slot jet akış alanını oluşturmak üzere yeniden düzenlenerek kullanılmıştır. Şekil 2’de görüldüğü gibi hüzme cihazına fan yardımıyla çekilen hava, genişleme odasından geçerek, düşey olarak yerleştirilmiş iki slot lüleyle iletilmektedir. Jet akışı düzeneğinde $W=10$ mm slot genişliğine ve $L=20$ mm lüleler arası mesafeye sahip iki adet lüle kullanılmıştır. Lüle çıkış düzlemine yerleştirilmiş bir levha ile ikili jet akışı düzeneği sınırlandırılmış hüzme tipinde de kullanılabilir. Lülelerden çıkan hava jetleri, lüle çıkışından H uzaklıkta lüle eksenine açılı olarak yerleştirilmiş eğik bir levhanın yüzeyine çarpmaktadır. Lüle çıkış hızı 22.5 m/s olarak gerçekleştirilmiştir. Çarpma levhası ve sınırlayıcı levha 300 mm uzunluğunda, 220 mm genişliğinde ve 10 mm kalınlığında pleksiglas malzemeden yapılmıştır. Sınırlanmamış jet çalışmaları için çıkarılabilen sınırlayıcı levha, lüle çıkış düzleminde lüle eksenine dik olarak yerleştirilmiştir. Lüleye göre değişik H açıklıklarında jet eksenine açılı olarak yerleştirilebilen çarpma levhası yüzeyindeki basınç dağılımının ölçülmesi amacıyla, levha yüzeyine orta eksen boyunca aralarında 5 mm bulunan 39 adet basınç deliği açılmıştır. Sınırlayıcı levha yüzeyindeki basınç ölçümleri için ise levha yüzeyinin orta eksen boyuna aralarında 5 mm aralık bulunan 29 adet basınç deliği açılmıştır.

Hem çarpma levhası hem de sınırlayıcı levha üzerindeki yerel basınçların ölçümü için iç çapı 1 mm olan basınç prizleri kullanılmıştır. Çarpma ve sınırlayıcı levhaların yüzey basıncı ölçümleri Şekil 3’de görülen sistemle gerçekleştirilmiştir. Ölçme sisteminde, TSI IFA-100 System Intelligent Flow Analyzer cihazının Sinyal Şartlandırıcı modülü, basınç algılayıcı (Pressure Transducer), A/D dönüştürücü, veri analizi yapan bir paket program ve bilgisayar bulunmaktadır. Basınç sinyalleri, %0.14 hassasiyetli SETRA 239 Model Basınç Ölçer ile alınmış ve IFA 100 ThermalPro paket programı ile kaydedilmiştir. Tüm sinyaller 300 Hz de filtrelenerek, örnekleme oranı 1000 Hz ve ölçüm süresi 8 s olarak seçilmiştir. Çarpma ve sınırlayıcı levhalar üzerinde açılmış çok sayıda basınç prizinin basınç algılayıcısına bağlantısı, scanning valf ile sağlanmıştır.



Şekil 2. Eğik yüzeye çarpan ikili slot jet deney düzeneği

Çarpma levhası ve sınırlayıcı levha yüzeylerinde basınç ölçümlerindeki belirsizlik $\pm\% 3.6$ civarındadır. Deneysel sonuçlar yukarıdaki belirsizlik aralığında tekrarlanabilirlik göstermiştir.



Şekil 3. Basınç ölçme sistemi

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, eğik bir yüzeye çarpan sınırlanmamış ve sınırlanmış ikili slot jet akışlarında, çarpma levhası ve sınırlayıcı levha yüzeyleri üzerinde orta eksen boyunca, Reynolds sayısının 15000 değeri için $1 \leq H/W \leq 18$ lüle-levha açıklığı ve $0^\circ \leq \alpha \leq 42^\circ$ çarpma levhası eğim açısı aralıklarında yerel basınç ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Lüle-levha açıklığı ve çarpma levhası eğim açısı aralıkları endüstriyel uygulamalarda sıklıkla karşılaşılan değerler dikkate alınarak belirlenmiştir. Jet sınırlanmasının, lüle-levha açıklığının ve çarpma levhası eğim açısının basınç dağılımları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çarpan jet akışları ile ilgili mevcut çalışmalardan, çarpma ve sınırlayıcı yüzeylerde ölçülmüş basınç dağılımlarının Reynolds sayısından bağımsız olduğu bilinmektedir (Özmen, 2011). Bu nedenle bu çalışma kapsamındaki basınç ölçümleri tek bir Reynolds sayısı ile sınırlı tutulmuştur.

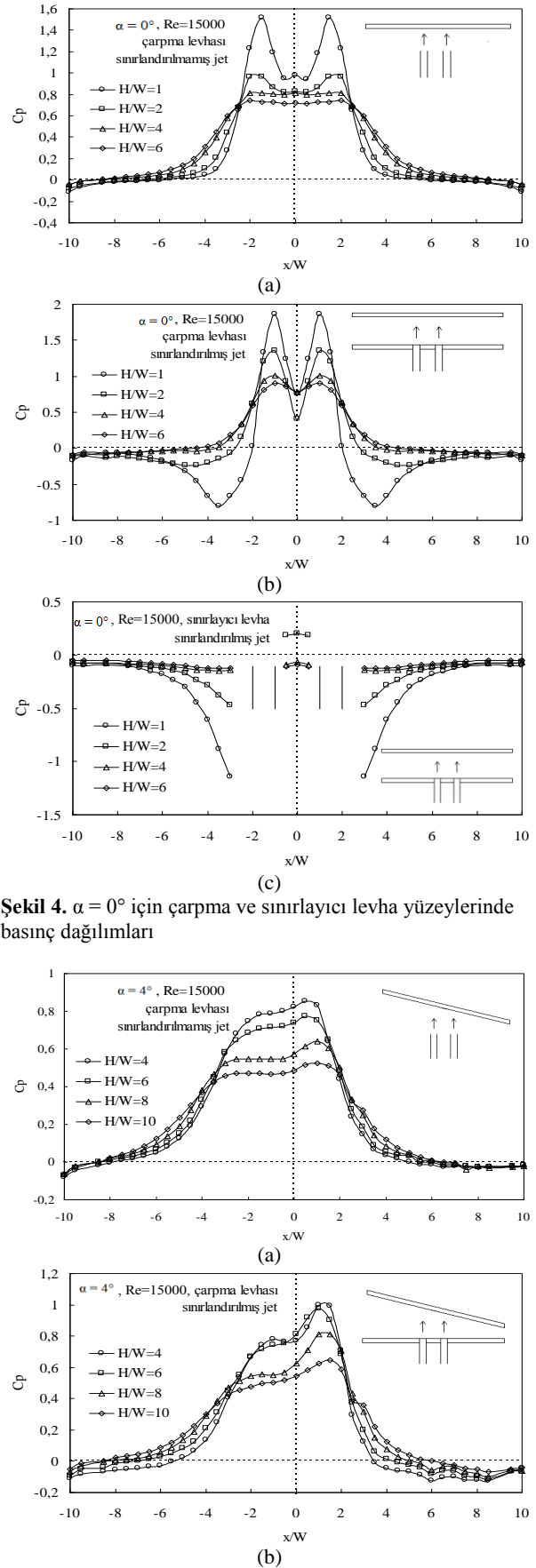
ΔP , yüzey basıncı ve ortam basıncı arasındaki fark olmak üzere ölçüm sonuçları $C_p = \Delta P / (\rho U_0^2 / 2)$ şeklinde tanımlanan basınç katsayısı cinsinden verilmiştir. Levha uzunluğu boyunca uzaklık (x) slot genişliği (W) ile boyutsuz yapılmıştır.

Sınırlanmamış jet durumunda çarpma levhası üzerinde, sınırlanmış jet durumunda ise hem çarpma levhası hem de sınırlayıcı levha üzerinde levha orta eksenleri boyunca ölçülmüş basınç değerlerinin lüle-levha açıklığına göre değişimleri, Reynolds sayısının 15000 değeri ve çarpma levhası eğim açısının 0° , 4° , 18° , 32° ve 42° değerleri için sırasıyla Şekil 4-8’de verilmiştir. Çarpma levhası üzerinde, her bir lülenin orta eksenine doğrultusunda oluşan durma noktası birincil durma noktası; iki jet akışkanının birbiri ile etkileştiği ve yaklaşık iki lüle arasındaki orta eksen doğrultusunda oluşan durma noktası da ikincil durma noktası olarak adlandırılmıştır.

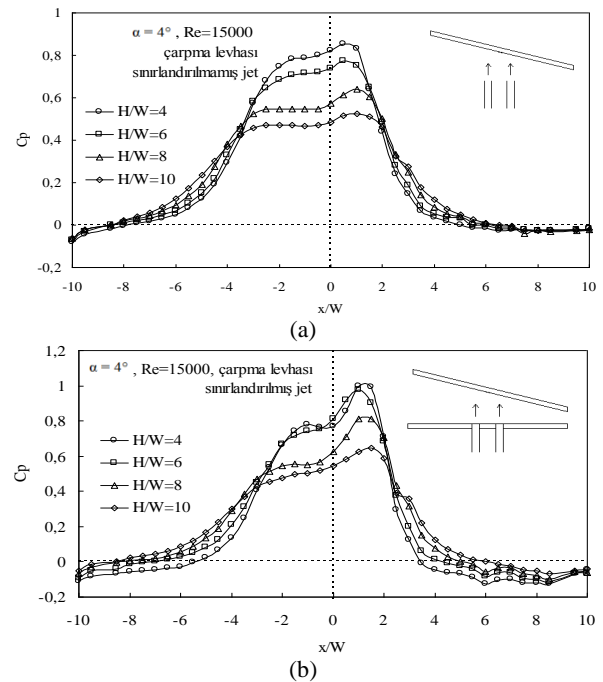
Çarpma levhası eğim açısının 0° değeri için sınırlanmamış jet durumunda çarpma levhası üzerinde, sınırlanmış jet durumunda ise hem çarpma hem de sınırlayıcı levha üzerindeki basınç dağılımları sırasıyla Şekil 4a-c’de görülmektedir. Hem sınırlanmamış hem de sınırlanmış jet durumlarında çarpma levhası

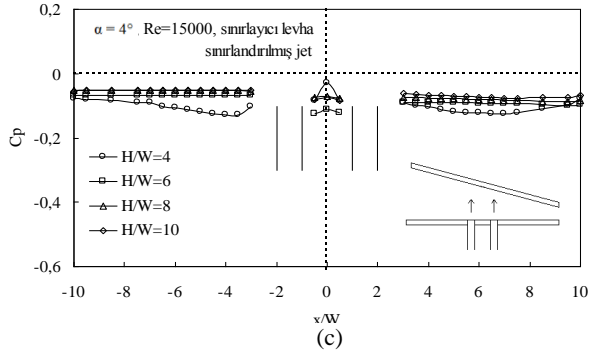
üzerinde birincil durma noktalarında, yerel basınç maksimum değerler almaktadır. Lüle-levha açıklığının artmasıyla durma noktaları basınç değerleri azalırken, çarpma bölgeleri genişlemektedir. Düşük lüle levha açıklıklarında, durma noktalarındaki basınçlar daha yüksektir. Bu durum, lülelerin çıkışı ile çarpma yüzeyi arasındaki mesafenin oldukça küçük olmasından kaynaklanan akışın ani yön değiştirmesi ile ilgilidir. Lüle levha açıklığının artmasıyla birincil ve ikincil durma noktalarında oluşan basınç değerleri arasındaki fark azalmaktadır. Sınırlanmamış jet durumunda çarpma levhası yüzeyinde her hangi bir ortam altı basınç bölgesi oluşmazken sınırlanmış durumda, lülelerin dış kenar doğrultularına karşılık gelen çarpma levhası konumlarından itibaren ($x/W \sim \pm 2$ 'den itibaren) levha uçlarına doğru ortam altı basınç bölgeleri meydana gelmekte ve artan açıklıkla etki bölgeleri genişlerken şiddetleri azalmaktadır. Sınırlanmış jet durumunda, sınırlayıcı levha üzerinde de lülelerin dış kenarları boyunca ortam altı basınç bölgeleri meydana gelmektedir. Çarpma levhası yüzeyindeki benzer şekilde, ortam altı basınç bölgelerinin şiddeti artan açıklıkla azalmaktadır. Sınırlanmış jet durumunda, çarpma levhası ve sınırlayıcı levha üzerinde oluşan ortam altı basınç bölgeleri akış alanında oluşan ters akış bölgelerinin varlığını desteklemektedir. Çarpma levhası eğim açısının 4° değeri için sınırlanmamış jet durumunda çarpma levhası üzerinde, sınırlanmış jet durumunda ise hem çarpma hem de sınırlayıcı levha üzerindeki basınç dağılımları sırasıyla Şekil 5a-c'de verilmiştir. Çarpma levhasının lüle çıkış düzlemine göre eğimli olması durumunda lüle eksenleri boyunca açıklık değerlerinin farklı olması ve simetrisinin bozulması nedeniyle her iki birincil durma noktasındaki basınç katsayıları aynı değerlerde olmamaktadır. Birincil durma noktalarında ortaya çıkan ikili pik yapısı artan lüle-levha açıklığı ile birlikte etkisini kaybetmektedir. Çarpma levhası ve sınırlayıcı levhanın paralel olması durumunda sonuçlara benzer şekilde (çarpma levhası eğim açısının 0° olduğu durum), sınırlanmamış jet durumunda çarpma levhası yüzeyinde her hangi bir ortam altı basınç bölgesi oluşmazken sınırlanmış durumda, çarpma levhası üzerinde ortam altı basınç bölgeleri oluşmaktadır. Sınırlayıcı levha üzerindeki basınç dağılımlarının tamamen ortam altı değerlerden oluştuğu görülmektedir. Çarpma levhası eğim açısının 18° değeri için basınç dağılımlarının verildiği Şekil 6'da, çarpma yüzeyinde oluşan ikili pik yapının tek bir pike dönüşmekte olduğu ve bu pikin yaklaşık ikincil durma noktasında konumlandığı görülmektedir. Çarpma levhası üzerindeki basınç dağılımları, maksimum pik basınçların oluştuğu çarpma bölgesi (ikincil durma noktası) dışında lüle-levha açıklığından etkilenmemektedir. Sınırlanmış jet durumunda çarpma levhası üzerinde oluşan ortam altı basınç bölgeleri, artan lüle-levha arası açıklıkla etkilerini kaybetmektedir. Çarpma levhasının eğimli olması, sınırlayıcı levha üzerinde ölçülen basınç dağılımlarındaki simetrisinin bozulmasına yol açmaktadır. Şekil 7'de çarpma levhası eğim açısının 32° değeri için basınç dağılımları görülmektedir. Farklı lüle-levha arası açıklıklar için elde edilmiş basınç dağılımları, pik basınçların oluştuğu bölge dışında hemen hemen aynı olmaktadır. Pik basınçların konumu artan eğim açısıyla birlikte çarpma levhasının sol tarafına kaymaktadır. Benzer durum çarpma levhası eğim açısının 42° değeri için

basınç dağılımlarının verildiği Şekil 8'de de görülmekte, çarpma bölgesi dışındaki basınç katsayıları eğim açısından etkilenmemektedir.

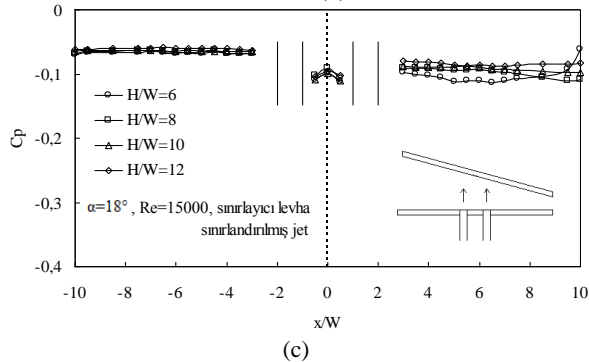
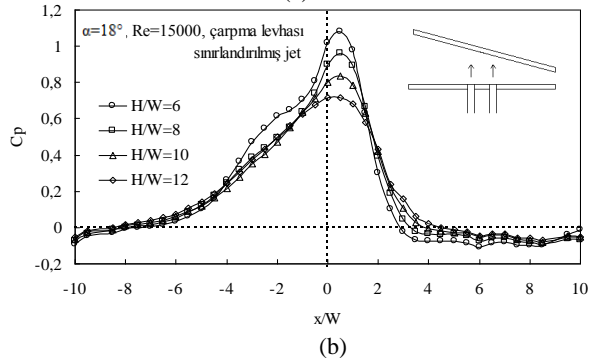
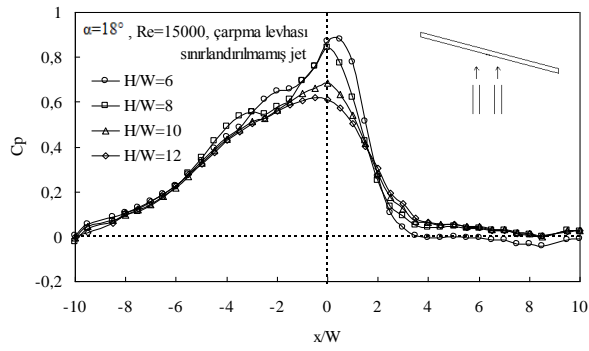


Şekil 4. $\alpha = 0^\circ$ için çarpma ve sınırlayıcı levha yüzeylerinde basınç dağılımları



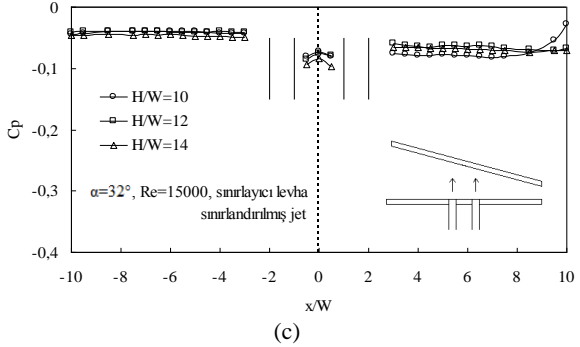
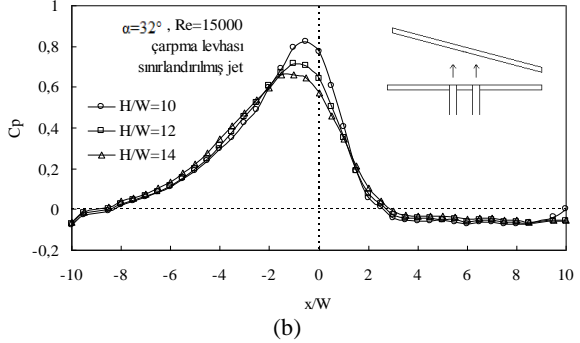
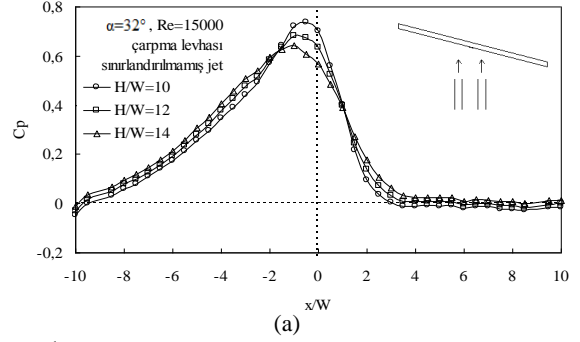


Şekil 5. $\alpha = 4^\circ$ için çarpma ve sınırlayıcı levha yüzeylerinde basınç dağılımları



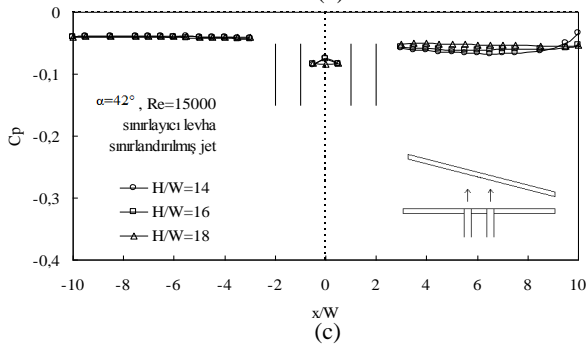
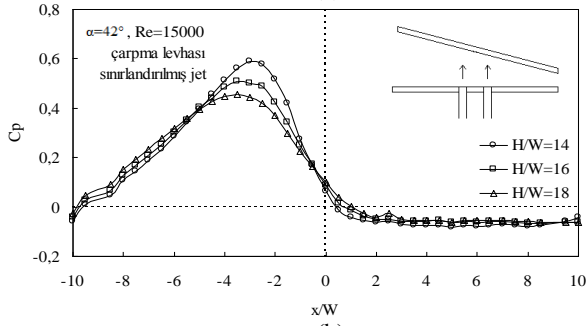
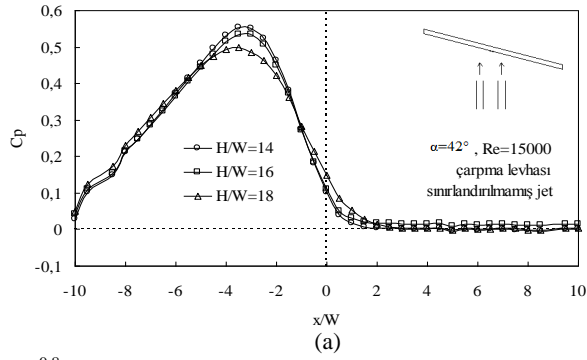
Şekil 6. $\alpha = 18^\circ$ için çarpma ve sınırlayıcı levha yüzeylerinde basınç dağılımları

Artan eğim açısı ile birlikte çarpma levhası üzerinde birincil durma noktalarında iki ayrı pik şeklinde oluşan maksimum basınçlar tek bir pik şekline dönüşmektedir. Düşük eğim açılarında çarpma levhasının sağ bölümüne yönelen pik basınçlar, yüksek eğim açılarında çarpma levhasının sol bölümüne doğru kaymaktadır. Sınırlandırılmış jet durumunda ortam artı basınç bölgeleri, eğim açısının artmasıyla çarpma ve sınırlayıcı levhaların sol bölümlerinde kaybolmakta, sağ bölümlerinde ise artan açıklıkla şiddetleri azalmakla birlikte etkilerini sürdürmektedirler.

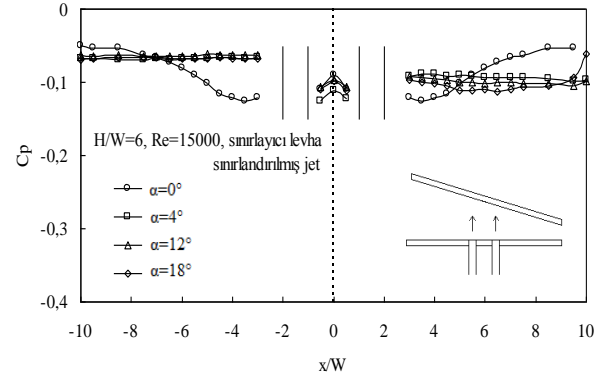
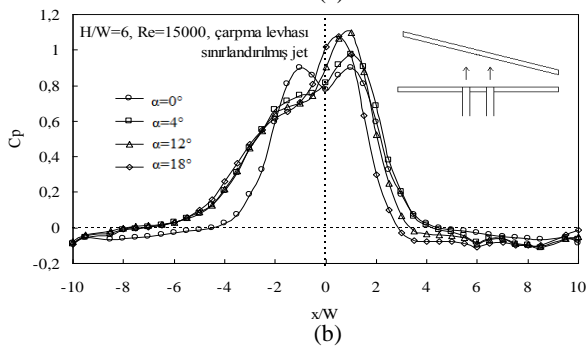
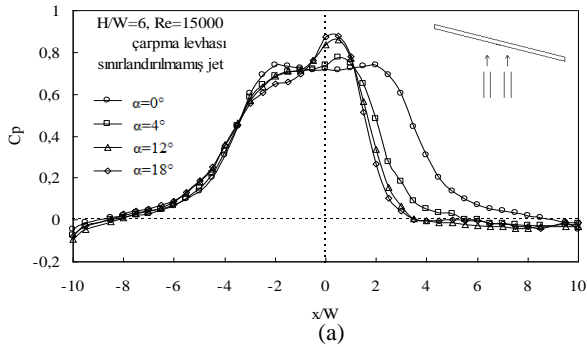


Şekil 7. $\alpha = 32^\circ$ için çarpma ve sınırlayıcı levha yüzeylerinde basınç dağılımları

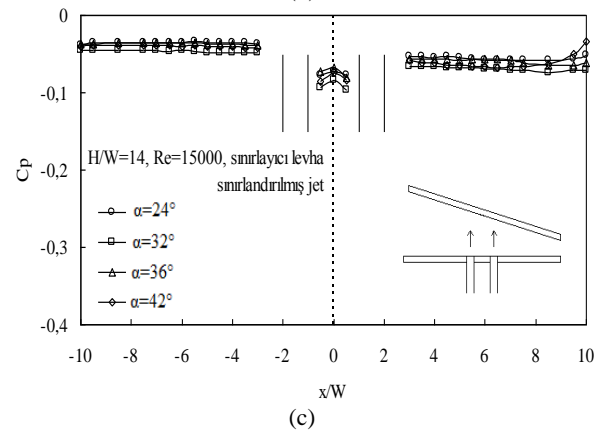
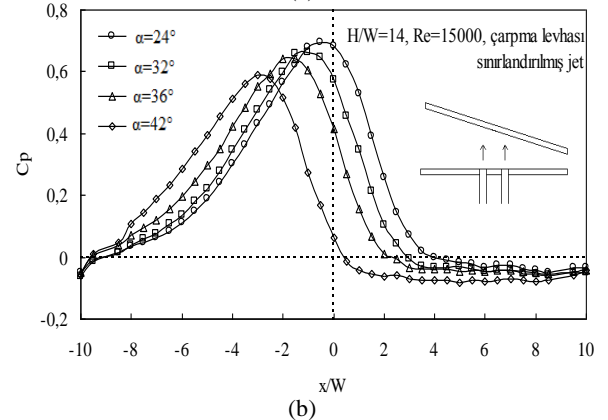
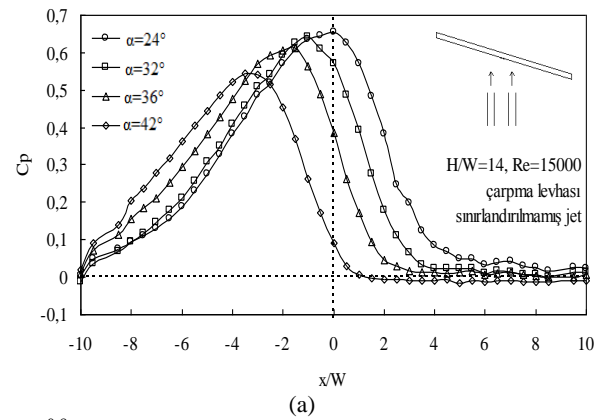
Sınırlandırılmamış jet durumunda çarpma levhası üzerinde, sınırlandırılmış jet durumunda ise hem çarpma levhası hem de sınırlayıcı levha üzerinde levha orta eksenleri boyunca ölçülmüş basınç değerlerinin çarpma levhası eğim açısına göre değişimleri, Reynolds sayısının 15000 değeri ve lülelevha arası açıklığın $H/W=6$ ve $H/W=14$ değerleri için sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Düşük eğim açıları ($0^\circ \leq \alpha \leq 18^\circ$) için basınç dağılımı değişimlerinin verildiği Şekil 9'da, artan eğim açısıyla birlikte birincil durma noktasında oluşan maksimum basınçların farklı değerler aldığı görülmektedir. Çarpma bölgesinin sağ bölümündeki pik basınç katsayıları sol bölümdeki pik basınç katsayılarına göre daha yüksek olmaktadır. Eğim açısının basınç dağılımları üzerindeki etkisi, sınırlandırılmamış ve sınırlandırılmış jet durumları için aynı olmaktadır. Yüksek eğim açıları ($24^\circ \leq \alpha \leq 42^\circ$) için basınç dağılımlarının verildiği Şekil 10'da, çarpma bölgesinde oluşan maksimum pik basınçların değerlerinin artan eğim açısıyla azaldığı, konularının ise ikincil durma noktasının yerinden itibaren sol tarafa doğru kaydığı görülmektedir. $\alpha < 24$ için çarpma bölgesinin sağ tarafında oluşan basınç pikleri $\alpha > 24$ durumunda çarpma bölgesinin sol tarafına kaymaktadır. Yüksek eğim açıları ($\alpha > 24$) çarpma levhası üzerindeki basınç değerlerinin tamamını etkilemektedir. Sınırlayıcı levha üzerindeki basınç dağılımları ise eğim açısından etkilenmemektedir.



Şekil 8. $\alpha = 42^\circ$ için çarpma ve sınırlayıcı levha yüzeylerinde basınç dağılımları

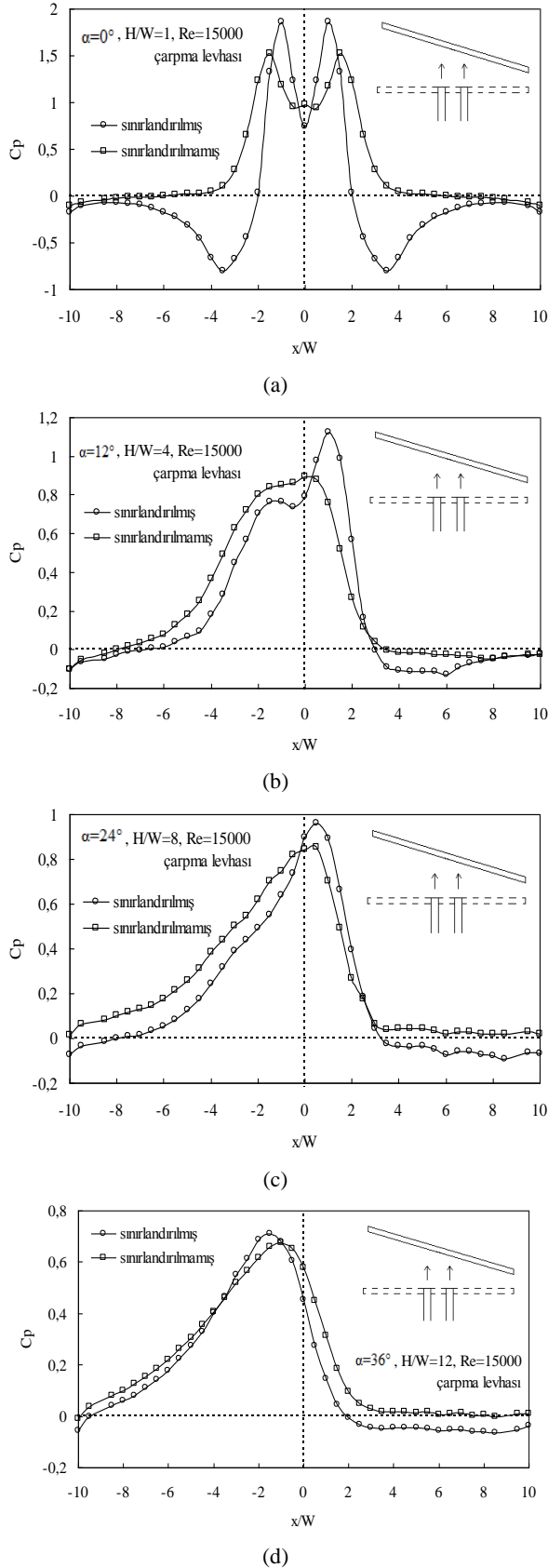


Şekil 9. $H/W=6$ için çarpma ve sınırlayıcı levha yüzeylerinde basınç dağılımları



Şekil 10. $H/W=14$ için çarpma ve sınırlayıcı levha yüzeylerinde basınç dağılımları

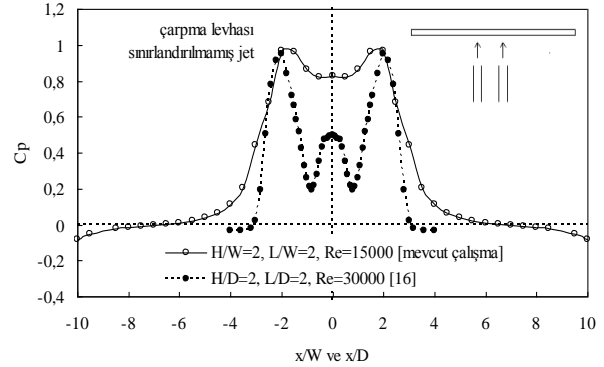
Jet sınırlamasının çarpma levhası yüzeyinde ölçülmüş yerel basınç dağılımları üzerindeki etkisi lüle-levha arası açıklığın 1, 4, 8 ve 12 değerleri ve çarpma levhası eğim açısının 0° , 12° , 24° ve 36° değerleri için Şekil 11'de verilmiştir. Sınırlandırılmamış jet durumunda



Şekil 11. Çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları

ortam altı basınç bölgeleri oluşmazken, lüle çıkışlarının sınırlandırılması durumunda çarpma levhası yüzeyinde ortam altı basınç bölgeleri oluşmaktadır. Sınırlandırılmış jet durumunda birincil durma noktasında oluşan maksimum basınçlar, sınırlandırılmamış duruma göre daha büyük değerler almaktadır. Artan eğim açısı ve açıklıkla birlikte sınırlandırıcı levhanın akış alanında ve çarpma levhası yüzeyinde oluşturduğu farklılık azalmaktadır.

Şekil 12'de, 0° çarpma levhası eğim açısında, lüle-levha arası açıklığın $H/W=2$ ve lüleler arası mesafenin $L/W=2$ değerleri için sınırlandırılmamış ikili slot jet durumunda mevcut çalışmaya ait basınç dağılımı, aynı açıklık ve mesafede ($H/D=2$ ve $L/D=2$) dairesel ikili hava jeti için Özmen ve Baydar (2008) tarafından elde edilmiş basınç dağılımı ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Basınç dağılımlarının slot ve dairesel geometrilerdeki lülelerden (farklı lüle tipi) çıkan jetlerden elde edilmesi nedeniyle basınç dağılımları arasında fark oluşmaktadır. Ancak durma noktalarındaki basınç değerlerinin birbirine yakın olması, mevcut çalışmadan elde edilen basınç değerlerinin doğruluğunu göstermektedir.



Şekil 12. Slot ve dairesel jetlere ait basınç dağılımları

SONUÇLAR

Bu çalışmada, eğik bir yüzeye çarpan sınırlandırılmamış ve sınırlandırılmış ikili slot jet akışlarında çarpma levhası ve sınırlayıcı levha yüzeylerindeki basınç dağılımları deneysel olarak incelenmiştir. Lüle-levha arası açıklığın, eğim açısının ve jet sınırlamasının, basınç dağılımları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çarpma levhası üzerindeki birincil durma noktalarında yerel basınç maksimum değerler almaktadır. Lüle-levha arası açıklığın artmasıyla durma noktalarındaki basınç değerleri azalırken, çarpma bölgeleri genişlemektedir. Birincil ve ikincil durma noktalarında oluşan basınç değerleri arasındaki fark artan lüle-levha arası açıklıkla azalmaktadır. Sınırlandırılmamış jet durumunda çarpma levhası yüzeyinde her hangi bir ortam altı basınç bölgesi oluşmazken sınırlandırılmış durumda, lülelerin dış kenarlarına karşılık gelen çarpma levhası konumlarından itibaren ($x/W \sim \pm 2$ 'den itibaren) levha uçlarına doğru ortam altı basınç bölgeleri meydana gelmekte ve artan açıklıkla etki bölgeleri genişlerken

şiddetleri azalmaktadır. Sınırlayıcı levha üzerinde lülelerin dış kenarları boyunca ortam altı basınç bölgeleri meydana gelmektedir. Çarpma levhasının lüle çıkış düzlemine göre eğimli olması durumunda lüle eksenleri boyunca açıklık değerlerinin farklı olması ve simetrisinin bozulması nedeniyle birincil durma noktasındaki basınç katsayıları aynı değerleri almamaktadır. Artan eğim açısı ile birlikte çarpma levhası üzerinde birincil durma noktalarında iki ayrı pik şeklinde oluşan maksimum basınçlar tek bir pik şekline dönüşmektedir. Düşük eğim açıları ($\alpha < 24$) çarpma levhasının sağ bölümüne yönelen pik basınçlar, yüksek eğim açıları ($\alpha > 24$) çarpma levhasının sol bölümüne doğru kaymaktadır. Sınırlandırılmış jet durumunda birincil durma noktasında oluşan maksimum basınçlar, sınırlanmamış duruma göre daha büyük değerler almaktadır. Artan eğim açısı ve açıklıkla birlikte sınırlayıcı levhanın akış alanında ve çarpma levhası yüzeyinde oluşturduğu farklılık azalmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abdel-Fattah A., 2007, Numerical and Experimental Study of Turbulent Impinging Twin Jet Flow, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 31, 1060-1072.
- Akansu Y.E., Sarioglu M., Kuvvet K. ve Yavuz T., 2008, Flow Field and Heat Transfer Characteristics in an Oblique Slot Jet Impinging on a Flat Plate, *Int. Com. in Heat and Mass Transfer*, 35, 873-880.
- Al Mubarek A.A., Shaahid S.M. ve Al Hadhrami L.M., 2013, Heat Transfer in a Channel with Inclined Target Surface Cooled by Single Array of Centered Impinging Jets, *Thermal Science*, 17, 4, 1195-1206.
- Ashfort-Frost S., Jambunathan K. ve Whithney C.F., 1997, Velocity and Turbulence Characteristics of a Semiconfined Orthogonally Impinging Slot Jet, *Exp. Thermal Fluid Sci.*, 14, 60-67.
- Baydar E., 1999, Confined Impinging Air Jet at Low Reynolds Numbers, *Exp. Thermal Fluid Sci.*, 19, 27-33.
- Baydar E. ve Ozmen Y., 2005, An Experimental and Numerical Investigation on a Confined Impinging Air Jet at High Reynolds Numbers, *Applied Thermal Eng.*, 25, 409-421.
- Behnia M., Parneix S., Shabany Y. ve Durbin P.A., 1999, Numerical Study of Turbulent Heat Transfer in Confined and Unconfined Impinging Jets, *Int. Heat Fluid Flow*, 20, 1-9.
- Choo K., Kang T.Y. ve Kim S.J., 2012, The Effect of Inclination on Impinging Jets at Small Nozzle-to-Plate Spacing, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55, 3327-3334.
- Colucci D.W. ve Viskanta R., 1996, Effect of Nozzle Geometry on Local Convective Heat Transfer to a Confined Impinging Air Jet, *Exp. Thermal Fluid Sci.*, 13, 71-80.
- Lytle D. ve Webb B.W., 1994, Air Jet Impingement Heat Transfer at Low Nozzle-Plate Spacings, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 37, 1687-1697.
- Özmen Y. ve Baydar E., 2008, Düz bir Yüzeğe Çarpan İkili Hava Jetinin Deneysel İncelenmesi, *UHUK 2008: II. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı*, 15-17 Ekim 2008, İTÜ, İstanbul.
- Özmen Y., 2011, Confined Impinging Twin Air Jets at High Reynolds Numbers, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35, 355-363.
- Ramezani A., Mirzaee I., Firth D. ve Shirvani H., 2007, A Numerical Heat Transfer Study of Slot Jet Impinging on an Inclined Plate, *Int. J. of Num. Meth. for Heat and Fluid Flow*, 17, 661-676.
- Roy S. ve Patel P., 2003, Study of Heat Transfer for a Pair of Rectangular Jets Impinging on an Inclined Surface, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46, 411-425.
- Sharif M.A.R., 2013, Heat Transfer from an Isothermally Heated Flat Surface due to Twin Oblique Slot Jet Impingement, *Procedia Engineering*, 56, 544-550.
- Yang Y.T. ve Shyu C.H., 1998, Numerical Study of Multiple Impinging Slot Jets with an Inclined Confinement Surface, *Numerical Heat Transfer, Part A*, 33, 1, 23-37.