VI. ULUSAL HAVACILIK VE UZAY KONFERANSI
28-30 Eylül 2016, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli

UHUK-2016-031

FARKLI KAVİTE GEOMETRİLERİNDE YÜZEY BASINÇ DAĞILIMLARININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Yücel ÖZMEN[1*] ve Erhan AKSU[2†]
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

ÖZET

Bu çalışmada, üçgen geometriden başlamak üzere kavitenin eğimli duvarının yatayla yaptığı açının değişimi ile önce düz yamuk, sonra dikdörtgen ve son olarak ters yamuk (inverted trapezoid) geometrideki kaviteler üzerindeki akış alanlarının deneysel incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, eğim açısının değiştirilmesiyle çeşitlendirilen kavite geometrilerinde orta eksen boyunca yüzey basınç dağılımlarındaki değişimler Re=100000 değeri için deneysel olarak elde edilmiş ve geometrik değişikliğin basınç dağılımları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Basınç dağılımlarının geometrik farklılıktan önemli ölçüde etkilendiği belirlenmiştir.

GİRİŞ

Kavite akışı genellikle katı yüzeyler üzerindeki boşluk veya oyuklar üzerinden geçen akış olarak tanımlanmakta ve akışkanlar mekaniğinin temel bir konusu olarak bilinmektedir. Günümüzde gerek askeri gerekse endüstriyel pek çok uygulamada kavitelere sıkça rastlanmaktadır. Uçakların iniş takımları, silah ve bomba yuvaları, araçların camları, otomobillerin açılır tavanları, liman girişleri ve yüksek binalar etrafındaki yapılar uygulamaya yönelik örnekler olarak verilebilir. Kaviteler, bir yapıda, ya kendilerine verilen özel bir görevi yerine getirmeleri için ya da tasarım ve imalat kısıtlamalarından dolayı bulunurlar. Ancak, bu yapılar farklı akış koşullarına maruz kaldıklarında bulundukları yapılar üzerinde değişik problemlerin kaynağı da olabilirler. Basit bir geometriye sahip olmalarına rağmen, kavite üzerindeki akışın, güçlü basınç, hız ve yoğunluk değişimleri nedeni ile oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğu bilinmektedir. Bu karmaşık akış yapısı ve güçlü değişimler daha yüksek sürtünme kuvvetlerine, aşırı gürültü ve titreşim problemlerine de sebep olabilmektedir. Kavite akışının bu olumsuz etkilerinin değerlendirilebilmesi ve kontrol altına alınması, bu akışın fiziğinin tam olarak anlaşılması ile mümkün olacaktır [Özsoy ve Aslan, 2011].

Kavite akışının doğası, Reynolds sayısına, yaklaşmakta olan akışın sınır tabaka özelliklerine (laminer / türbülans) ve kavitenin geometrik özelliklerine (uzunluk/derinlik oranı, uzunluk/ genişlik oranı gibi) güçlü bir şekilde bağlıdır [Rockwell ve Naudascher, 1978].

Literatürde kavite akışı ile ilgili pek çok deneysel ve sayısal çalışma mevcut olup, bu çalışmaların büyük bir kısmı süpersonik kavite akışı üzerinedir [Ashraful Alam ve diğ., 2016; Givogue ve diğ., 2011; Sridhar ve diğ., 2012]. Endüstriyel ve çevresel uygulamalarda ortaya çıkan kavite akışlarına yönelik çalışmalar az sayıdadır. Bu çalışmalardan bazıları şu şekildedir. [Lee ve Sung, 1994], türbülanslı eksenel simetrik kavite akışını Laser Doppler Velocimetry (LDV) yöntemiyle deneysel olarak incelemişlerdir. Reynolds sayısının 73000 değeri için yüzey basıncı, ortalama hız ve türbülans karakteristiklerini elde etmişlerdir. [D'yachenko ve diğ., 2008], düşük uzunluk/derinlik oranına ve eğimli ön ve arka duvarlara sahip yamuk geometrisindeki bir kavite üzerinden türbülanslı akışta girdap oluşumu, basınç dağılımları ve ısı transferi etkilerini deneysel incelemişlerdir.

* Doç. Dr., Makina Mühendisliği Bölümü, E-posta: yozmen@ktu.edu.tr

† Arş. Gör., Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Bölümü, E-posta: eaksu@ktu.edu.tr

[Özalp ve diğ., 2010], dikdörtgen, üçgen ve yarı-dairesel geometrilerdeki kaviteler üzerinden akış alanlarını Particle Image Velocimetry (PIV) yöntemi ile deneysel olarak incelemişlerdir. Düşük Re sayıları için su tünelinde gerçekleştirdikleri çalışmada akış yapısı üzerinde kavite tipi etkisini değerlendirmişler ve türbülans şiddetinin kavite geometrisinden etkilendiğini belirtmişlerdir. [Mesalhy ve diğ., 2010], dikdörtgen kavite üzerindeki akışı deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Uzunluk/derinlik oranı etkisini değerlendirdikleri çalışmada, uzunluk/derinlik oranının artmasıyla kavite boşluğunda birbirine göre ters yönde dönen iki girdabın oluştuğunu belirlemişlerdir. [Lawson ve Barakos, 2011], yüksek hızlı, türbülanslı kavite akışlarının sayısal simülasyonu konusunda bir literatür çalışması sunmuşlardır. [Gupta ve Roy, 2015] çalışmalarında, Ma=0.1, 0.3 ve 0.5 değerleri için dikdörtgen bir kavite içerisindeki karışım tabakasından kaynaklanan akustik gürültüyü Large Eddy Simulation (LES) türbülans modeli ile sayısal olarak incelemişler yüksek doğrulukta sonuçlar elde etmişlerdir.

Literatürde mevcut çalışmalar dörtgen kavite geometrileri üzerine yoğunlaşmakta, alternatif kavite geometrilerine yönelik ve basınç dağılımlarının incelenmesi üzerine çalışmalar oldukça az sayıda kalmaktadır. Bu durum, kavite geometrilerinin sistematik olarak değiştirildiği ve geometrideki bu değişimlerin akış alanına ve özellikle basınç dağılımlarına olan etkisini incelemeyi hedefleyen çalışmalara olan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, üçgen geometriden başlamak üzere kavitenin eğimli duvarının yatayla yaptığı açının değişimi ile önce düz yamuk, sonra dörtgen ve son olarak ters yamuk (inverted trapezoid) geometrilerde ortaya çıkan kaviteler üzerindeki akış alanlarının deneysel incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, eğim açısının değiştirilmesiyle çeşitlendirilen kavite geometrilerinde, orta eksen boyunca yüzey basınç dağılımlarındaki değişimler deneysel olarak elde edilip, geometrik değişikliğin basınç dağılımları üzerindeki etkileri değerlendirilecektir.

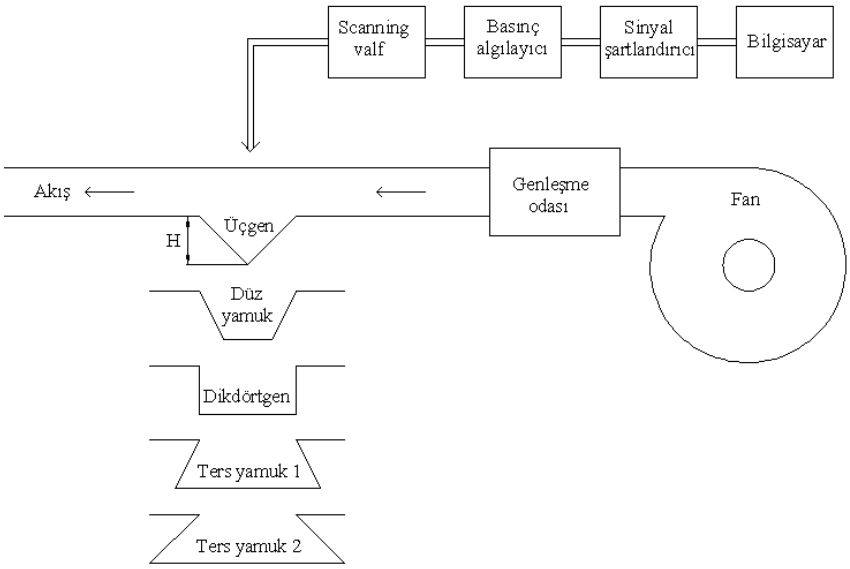
DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, farklı kavite geometrilerinin takılabildiği Şekil 1'de şematik olarak verilen deney düzeneği kullanılmıştır. Kavite düzeneğinde, fanın oluşturduğu basınçlı hava genleşme odasını geçtikten sonra düzgün hale gelerek dikdörtgen kesitli kapalı akış kanalına yönlenmektedir. Daha sonra üçgen, düz yamuk, dikdörtgen, ters yamuk-1 ve ters yamuk-2 şeklinde 5 farklı geometrideki kaviteler üzerinden geçen akış, kapalı kanal boyunca ilerledikten sonra ortama boşalmaktadır.

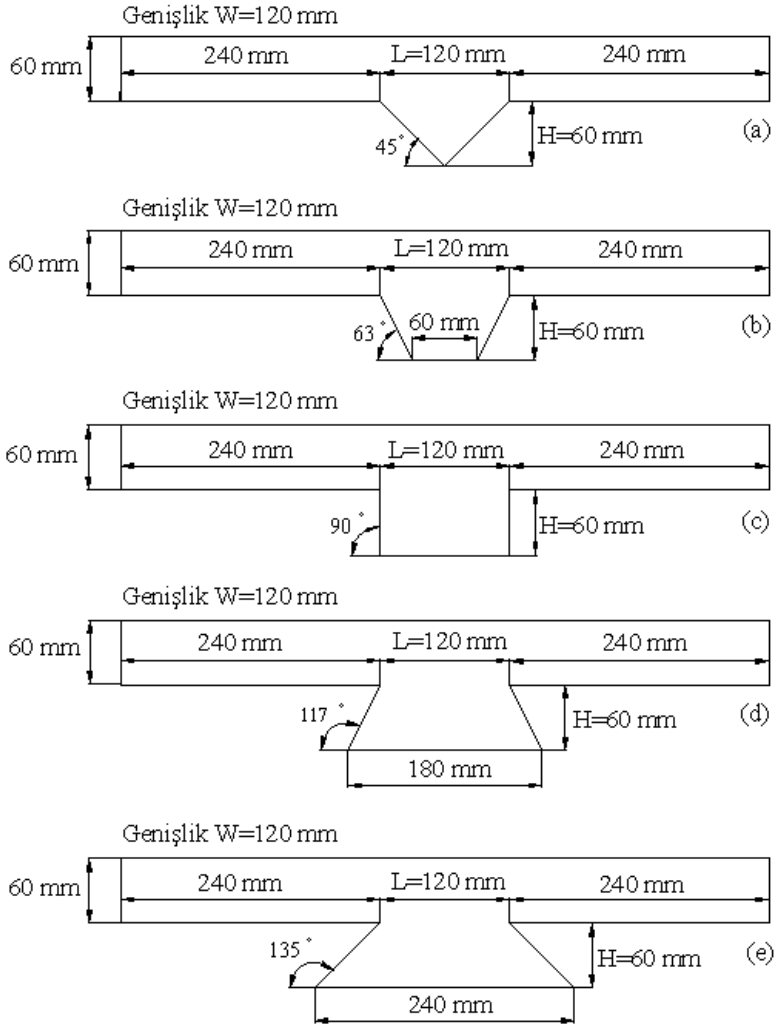
Farklı kavite geometrileri 5 mm et kalınlığına sahip pleksiglas malzeme ile oluşturulmuştur. Her bir kavite geometrisine akış doğrultusunda orta eksen boyunca 10 mm aralıklarla basınç prizleri yerleştirilmiştir. Basınç prizlerinin sayıları sırasıyla, üçgen kavite için 38, düz yamuk kavite için 41, dikdörtgen kavite için 44, ters yamuk-1 kavite için 53 ve ters yamuk kavite-2 için 59 şeklindedir.

Yüzey basıncı ölçümleri, Şekil 1'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 (Pressure Transducer) 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. Kavite yüzeyleri üzerinde açılmış çok sayıda basınç prizinin basınç algılayıcısına bağlantısı, scanning valf ile sağlanmıştır. Yüzey basınç ölçümlerindeki belirsizlik ±% 3.6 civarındadır. Deneysel sonuçlar bu belirsizlik aralığında tekrarlanabilirlik göstermiştir.

Şekil 2'de sırasıyla, üçgen, düz yamuk, dikdörtgen, ters yamuk-1 ve ters yamuk-2 şeklinde 5 farklı kavite geometrisine ait boyut bilgileri görülmektedir. Kapalı akış kanalı, 600 mm uzunluğa, 60 mm yüksekliğe ve 120 mm genişliğe sahiptir. Kanalın alt kısmına aynı uzunluğa (L=120 mm) ve derinliğe (H=60 mm) sahip 5 farklı kavite haznesi eklenmiştir. Kavite haznesindeki geometrik değişiklik, hazne yan duvarının yatayla yaptığı açının artmasıyla ortaya çıkmaktadır. Çalışma kapsamındaki tüm kavite hazne geometrilerinde uzunluk/derinlik (L/H) oranı 2 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 1: Deney düzeneği ve basınç ölçme sistemi



Şekil 2: Farklı kavite geometrilerine ait boyutlar
a) Üçgen b) Düz yamuk c) Dikdörtgen d) Ters yamuk-1 e) Ters yamuk-2

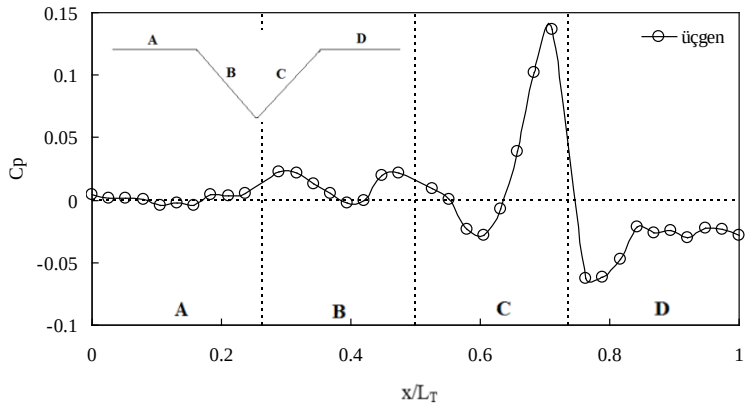
BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneysel çalışma farklı kavite geometrileri üzerinde yüzey basınçlarının ölçülmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. H kavite derinliğine göre tanımlanmış Reynolds sayısının 100000 değeri için, üçgen, düz yamuk, dikdörtgen, ters yamuk-1 ve ters yamuk-2 geometrileri üzerinde akış doğrultusunda orta eksen boyunca yüzey basıncı ölçümleri yapılmıştır. ΔP, yüzey basıncı ve ortam basıncı arasındaki fark olmak üzere ölçüm sonuçları

$$C_p = \frac{\Delta P}{\rho U_0^2 / 2} \tag{1}$$

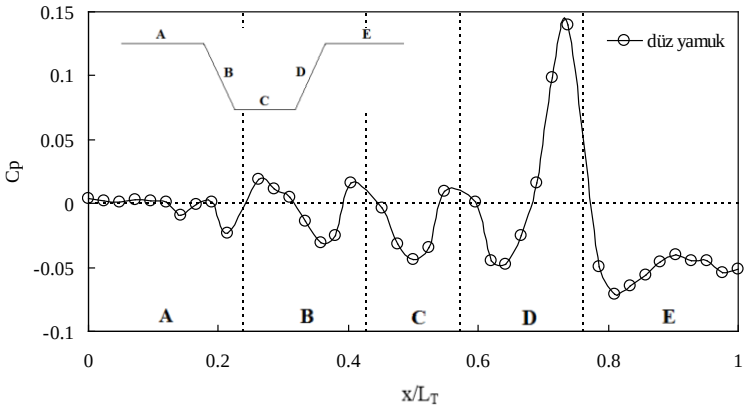
şeklinde tanımlanan basınç katsayısı cinsinden verilmiştir. Burada U_0, kapalı kanal girişindeki serbest akış hızını, ρ ise akışkan yoğunluğunu göstermektedir. Yüzey boyunca uzaklık (x) akış doğrultusunda toplam duvar uzunluğu (L_T) ile boyutsuz yapılmıştır.

Şekil 3'de, üçgen kavite geometrisine ait basınç dağılımı verilmektedir. A yüzeyinde basınç katsayılarının sıfır civarında olduğu, B yüzeyinde ise küçük ölçekli pozitif piklerin bulunduğu sinüsoidal bir yapının oluştuğu görülmektedir. C yüzeyinin orta kısmında negatif pik oluşmakta, C yüzeyinin üst ucunda ise basınç artışı nedeniyle pozitif pik oluşmaktadır. D yüzeyinin ön kısmında ise kritik negatif pik basınç oluşmaktadır.



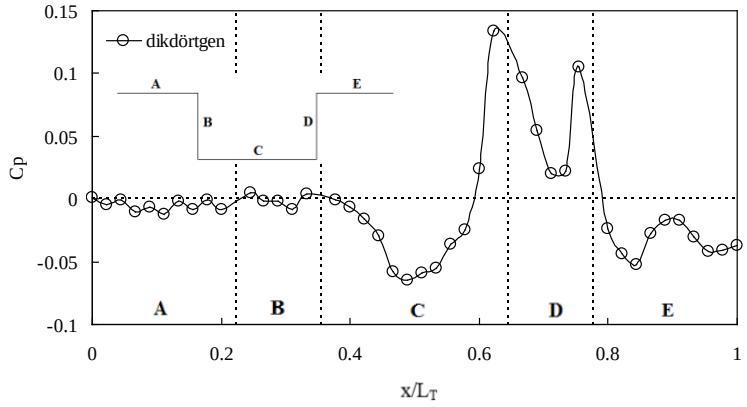
Şekil 3: Üçgen kavite için basınç dağılımı

Şekil 4'de düz yamuk kavite geometrisine ait basınç dağılımı basınç katsayısı şeklinde verilmektedir. A yüzeyinde basınç katsayısı hemen hemen sıfır olmaktadır. B, C ve D yüzeylerinde sinüsoidal bir basınç dağılımı ortaya çıkmaktadır. Küçük ölçekli pozitif ve negatif pik basınçlardan oluşan bu dağılım, D yüzeyinin üst ucuna doğru basınç artışı ile pozitif bir pik oluşturmaktadır. E yüzeyinde diğer yüzeylere göre daha kritik negatif basınçlar oluşmaktadır. Düz yamuk kavite yüzeylerindeki basınç dağılımı üçgen kavite için elde edilen basınç dağılımına benzerlik göstermektedir.



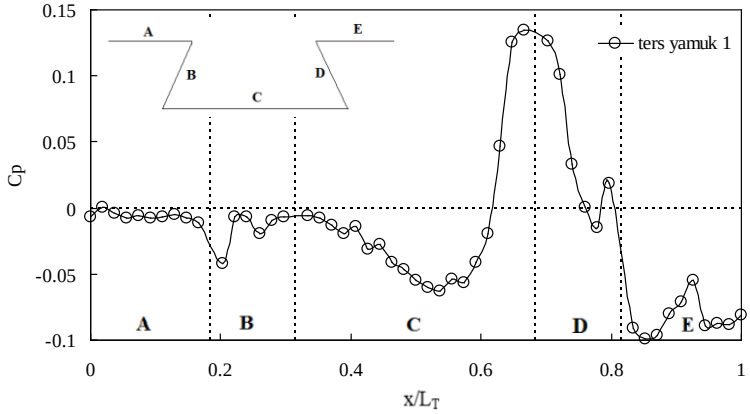
Şekil 4: Düz yamuk kavite için basınç dağılımı

Şekil 5'de dikdörtgen kavite düzeneğine ait basınç dağılımı basınç katsayısı şeklinde verilmektedir. A ve B yüzeylerinde basınç katsayılarının hemen hemen sıfır olduğu, C ve E yüzeylerinde negatif pik basınçların oluştuğu, D yüzeyinde ise itme etkisi nedeniyle pozitif pik basınçların oluştuğu görülmektedir. C yüzeyinin orta bölgesinde oluşan negatif pik basınç kavite içinde oluşan ters akış bölgesinden etkilenmektedir.



Şekil 5: Dikdörtgen kavite için basınç dağılımı

Şekil 6'da, ters yamuk-1 kavite düzeneğine ait basınç dağılımı verilmektedir. A ve B yüzeylerinde iki yüzeyin birleşim noktası hariç basınç katsayılarının hemen hemen sıfır civarında olduğu görülmektedir. C yüzeyinin orta bölümünde negatif pik değerler alan basınç katsayıları, C ve D yüzeylerinin birleşim noktasında pozitif pik değerler oluşturmaktadır. D yüzeyinde azalan basınç katsayıları, E yüzeyinde C yüzeyine göre daha kritik negatif pik basınçlara dönüşmektedir.

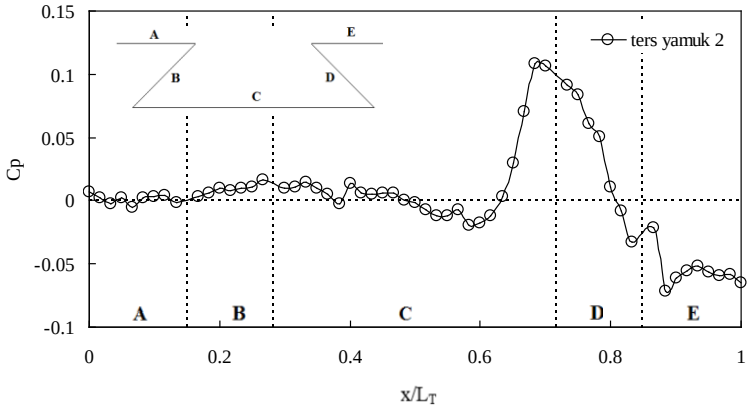


Şekil 6: Ters yamuk-1 kavite için basınç dağılımı

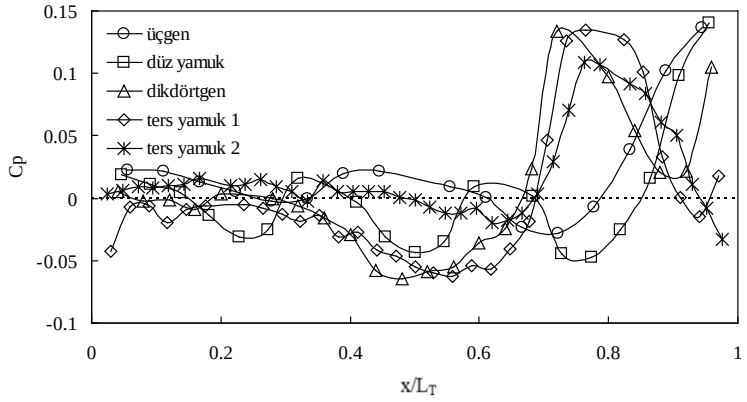
Şekil 7'de ters yamuk-2 kavite düzeneğine ait basınç dağılımı verilmektedir. A ve B yüzeylerinin tamamında ve C yüzeyinin büyük bölümünde basınç katsayıları sıfır civarında olmaktadır. C yüzeyinin bir bölümünde oluşan küçük ölçekli negatif basınç, C ve D yüzeylerinin birleşme noktasında pozitif pik basınca dönüşmektedir. D yüzeyi boyunca pozitif basınç katsayısındaki dramatik azalma, E yüzeyinde negatif basınç katsayısı değerleriyle etkisini sürdürmektedir.

5 farklı geometriye ait basınç dağılımları değerlendirildiğinde, akış doğrultusunda kavitelerden sonraki yüzeylerde oluşan negatif basınçların, kavite boşluğunda oluşan negatif basınçlara göre daha kritik olduğu görülmektedir.

Şekil 8'de kavite geometrisinin basınç dağılımı üzerindeki etkisi görülmektedir. Basınç dağılımları kavite geometrisinden ciddi derecede etkilenmektedir. Üçgen ve düz yamuk geometrilerdeki kavitelere ait basınç dağılımları ile ters yamuk-1 ve ters yamuk-2 geometrilerdeki kavitelere ait basınç dağılımları kendi aralarında benzerlik göstermektedir. Basınç dağılımlarındaki belirgin farklılık kavite boşluklarının tabanlarında ortaya çıkmaktadır. Kavite yüzeylerinde oluşan negatif pik basınçlar, kavite boşluklarında oluşan ters akış bölgelerinden etkilenmektedir.

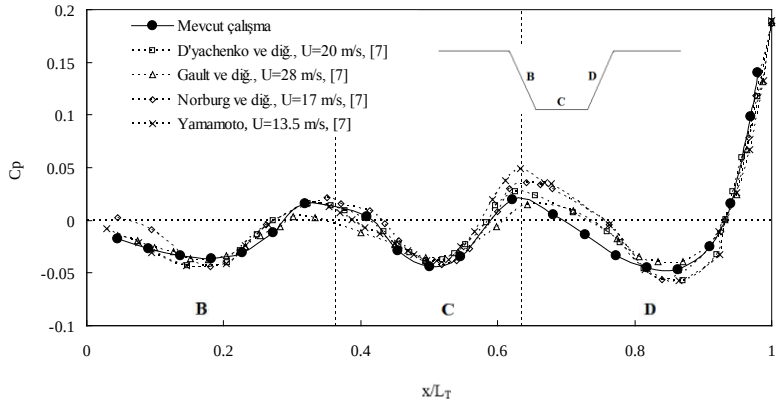


Şekil 7: Ters yamuk-2 kavite için basınç dağılımı



Şekil 8: Farklı kavite geometrilerinde basınç dağılımları

Şekil 9'da, bu çalışma kapsamında ölçümleri gerçekleştirilmiş düz yamuk kaviteye ait basınç dağılımı ile aynı geometriye ait literatür sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde mevcut sonuçların literatürle uyum içinde olduğu görülmektedir.



Şekil 9: Düz yamuk kavite akışında basınç dağılımları

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Farklı kavite geometrileri için yüzey basıncı dağılımları birlikte değerlendirildiğinde, basınç katsayılarının geometrik değişimlerden etkilendiği görülmektedir. Üçgen ve düz yamuk geometrilerdeki kavitelere ait basınç dağılımları ile ters yamuk-1 ve ters yamuk-2 geometrilerdeki kavitelere ait basınç dağılımları kendi aralarında benzerlik göstermektedir. Akış doğrultusunda kavitelerden sonraki yüzeylerde oluşan negatif basınçlar, kavite boşluğunda oluşan negatif basınçlara göre daha kritik olmaktadırlar. Basınç dağılımlarındaki belirgin farklılık kavite boşluklarının tabanlarında ortaya çıkmaktadır. Kavite yüzeylerinde oluşan negatif pik basınçlar, kavite boşluklarında oluşan ters akış bölgelerinden etkilenmektedir. Düz yamuk kaviteye ait basınç dağılımı ile aynı geometriye ait literatür sonuçları arasında iyi bir uyumun oluştuğu görülmektedir.

Farklı kavite geometrileri için elde edilen basınç dağılımlarının incelenmesinin, basınç dağılmı açısından en uygun kavite geometrisinin belirlenmesine katkı sağlayacağı ve böylece uygulamaya yönelik bir fayda oluşturacağı değerlendirilmektedir.

Kaynaklar

Ashraful, M.M., Takao, M., Setoguchi, T. ve Kim, H.D., 2016. *Passive enhancement of Pressure oscillation in cavity-induced supersonic mixing*, International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, Hawaii, Honolulu, April 10-15.

D'yachenko, A.Y., Terekhov, V.I. ve Yarygina, N.I., 2008. *Vortex formation and heat transfer in turbulent flow past a transverse cavity with inclined frontal and rear walls*, International Journal of Heat and Mass Transfer, 51, 3275-3286.

Givogue, G,, Fowler, W. ve Vakili, A., 2011. *An experimental investigation of 2-D cylinders Affecting supersonic cavity flow*, In: 29th AIAA applied aerodynamics conference, AIAA paper, 3962.

Gupta, A. ve Roy, S., 2015. *Noise control of cavity flows for subsonic flows*, 53rd AIAA Aerospace Sciences Meeting, AIAA SciTech, 1525.

Lawson, S.J. ve Barakos, G.N., 2011. *Review of numerical simulations for high-speed, turbulent cavity flows*, Progress in Aerospace Sciences, 47, 186-216.

Lee, D.H. ve Sung, H.J., 1994. *Experimental study of turbulent axisymmetric cavity flow*, Experiments in Fluids, 17, 272-281.

Mesalhy, O.M., Abdel Aziz, S.S. ve El-Sayed, M.M., 2010. *Flow and heat transfer over shallow cavities*, International Journal of Thermal Science, 49, 514-521.

Özalp, C., Pınarbaşı, A. ve Şahin, B., 2010. *Experimental measurement of flow past cavities of different shapes*, Experimental Thermal and Fluid Science, 34, 505-515.

Özsoy, E., ve Aslan, A.R., *Üç boyutlu bir kavite üzerindeki sıkıştırılamaz akışın sayısal bir yöntemle analizi*, itüdergisi/d, 10 (3), 149-159, 2011.

Rockwell, D. ve Naudascher, E., 1978. *Review-selfsustaining oscillations of flow past cavities*, Journal of Fluid Mechanics*,* 100, 152-165.

Sridhar, V., Gai, S.L. ve Kleine, H., 2012. *A numerical investigation of supersonic cavity flow at Mach 2*, 18th Australasian Fluid Mechanics Conference, Launceston, Australia, 3-7 December.