



DAĞITILMIŞ HAVA JETİ KULLANILARAK HASSAS CİSİMLERİN MANİPÜLASYONUNUN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Alperen YILDIZELİ
Ahmet Yasin KARABAY
Umut Can COŞKUN
Sertaç ÇADIRCI
Emre VATANSEVER
Bilsay SÜMER
İlker Murat KOÇ

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, hassas cisimlerin minimum enerji maliyeti ile temassız şekilde taşınmasını incelemektir. Polimer adhezif silindirik kiriş dizisi sayesinde hassas yüzeylere nazikçe temas edilir ve değişken yüzey geometrilerine uyum sağlanır. Kontrollü taşıma yapabilmek ve hava yastığı oluşturmak için alt tabaka yüzeyinde jetler ve silindirik kirişler bulunur. Alt tabakadaki delikler tarafından beslenen hava yastığı, hedef objenin silindirik kiriş üzerinde temassız bir şekilde taşınmasını sağlar. Önerilen yaklaşım hassas cisimlerin nakil, konumlandırma ve tutup-taşıma operasyonlarını mümkün kılar. Bu çalışmada, adhezif silindirik kiriş içeren havalı taşıma sistemindeki hava akışı sayısal olarak incelenmektedir. Problemin sayısal olarak çözümü sonlu hacimler metoduyla çalışan bir yazılım olan Ansys Fluent kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, silindirik kirişlerin boyu, delik çapları ve ardışık jet ve silindirik kirişlerin merkezleri arasındaki mesafe parametrelerinin etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pnömatik, HAD, Adhezif, Temassız Taşıma, Jet Akışı

ABSTRACT

The main motivation of this study is to transport fine objects with minimum energy cost and without any physical contact. A meso-scale polymer adhesive pillar array manages to gently contact the fine surfaces and moreover adapt variable interface geometries. An air pillow is created between the fine objects and the backing layer to carry them in a non-destructive manner. There are fine pillars and orifices on the surface of the backing layer to create an air pillow to generate controlled levitation. Air flow, which is fed through the fine orifices located on the backing layer of the pillars, levitates the target object located on the top of the pillars and ensures its contactless guidance. Proposed approach is feasible to be used in conveying, positioning and pick/place operations of fragile objects. In this study, air flow in the "Adhesive Pillar Based Air Levitation" system is investigated numerically. The numerical analyzes are carried out by a finite-volume-based flow solver Ansys Fluent for various design parameters including aspect ratio of the pillars, orifice diameters, spacings of orifices and pillars.

Key Words: Pneumatic, CFD, Adhesive, Contactless Levitation, Jet Flow

1. GİRİŞ

Endüstride kullanılan taşıma sistemleri genellikle temaslı olup bazı hassas malzemelerin gerektiği gibi taşınmasına elverişli değildir. Bu durumlarda temassız taşıma sistemlerinin avantajları ortaya çıkar. Biyomedikal operasyonlarda kullanılan dokular, elektronik alanında kullanılan mikro ölçekteki malzemeler gibi hassas cisimlerin taşınmasında temassız taşıma yöntemleri tercih edilmektedir [1]. Temassız taşıma; pnömatik, manyetik ya da akustik yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir [2,3]. Pnömatik temassız taşıma sistemlerinden en çok kullanılanı Bernoulli Tutucu sistemidir. Bernoulli Tutucu sisteminde, yüksek akışkan hızları sebebi ile yumuşak malzemelere zarar verme olasılığı bulunmaktadır. Bu çalışmada incelenen Adhezif Silindirik Kiriş ve Jet İçeren Havalı Taşıma Sisteminde ise Bernoulli Tutucu'ya göre taşınan cismin yüzeyinde daha düşük ve düzgün gerilme dağılımları elde edilir.

Adhezif Silindirik Kiriş ve Jet İçeren Havalı Taşıma Sistemi'nde bir hazne içerisindeki basınçlandırılan havanın yüzey üzerine konumlandırılmış jetlerden aktarılmasıyla, bu jet yüzeyi ve taşınan cisim arasında silindirik kirişlerle kontrol edilmiş bir hava yastığı oluşturulmaktadır. Bu hava yastığı ile temassız olarak taşınan cismin havada sabit tutulması sağlanmaktadır. Ayrıca kirişlerin adhezif olması, taşıma işleminin durdurulup başlatıldığı anlarda taşınan cismin yüzeyinde yumuşak bir temas sağlayarak olası hasarlara karşı önlem almaktadır. [4].

Bu çalışmada, "Adhezif Silindirik Kiriş ve Jet İçeren Havalı Taşıma Sistemi" ndeki belirlenen parametrelerin taşıma kalitesine etkisi incelenmiştir. İncelenen parametreler sırasıyla jet çapı, kiriş uzunluğu ve jetler arası mesafe olup bu parametrelerin toplam 24 kombinasyonu için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) incelemeleri yapılmıştır.

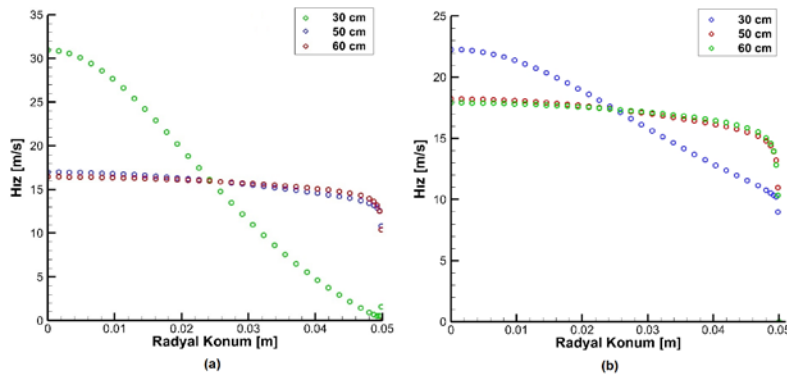
2. ÖN ÇALIŞMALAR

2.1. Hazne Geometrisinin Belirlenmesi

Sistemde kullanılacak silindirik haznenin geometrik özelliklerini (hazne çapı, hazne boyu, boru bağlantı redüksiyonu) belirlemek amacıyla ön sayısal çalışmalar yapılmıştır. Bu sayısal çalışmalarda hedeflenen akış özelliği hazne içerisinde düzgün bir hız profili elde etmektir. Üç farklı hazne çapı, redüksiyonlu ve redüksiyonsuz bağlantı tipleri için istenilen hız profilinin elde edildiği eksenel konumlar tespit edilmiştir.

2.1.1 Hazne Çapının Belirlenmesi

Sırasıyla 10 cm, 20 cm ve 40 cm olmak üzere üç farklı hazne çapı için yapılan ön çalışmalar sonucu 10 cm çaplı haznede hız profilinin daha hızlı geliştiği görülmüştür. Bunun nedeninin ani genişleme etkilerinin azalması olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 1. 10 cm hazne çapı için (b)redüksiyonlu ve (a)redüksiyonsuz durumda, farklı eksenel konumlardan alınan hız profilleri

Farklı hazne çaplarına ait analizler sonucunda, 10 cm çaplı haznede hız profilinin hazne girişine daha yakın gelişmesinden dolayı 10 cm çaplı hazne kullanımına karar verilmiştir.

2.1.2 Hazne Giriş Bağlantı Tipinin Belirlenmesi

Tasarım aşamasında ani genişleme etkilerinin önüne geçilmesi adına redüksiyon kullanımının etkileri incelenmiştir. 10 cm çaplı hazne için redüksiyonsuz bağlantı ile 10 cm uzunluğundaki redüksiyonlu bağlantı için hazne girişinden 30 cm uzaklıktaki hız profilleri karşılaştırılmıştır.

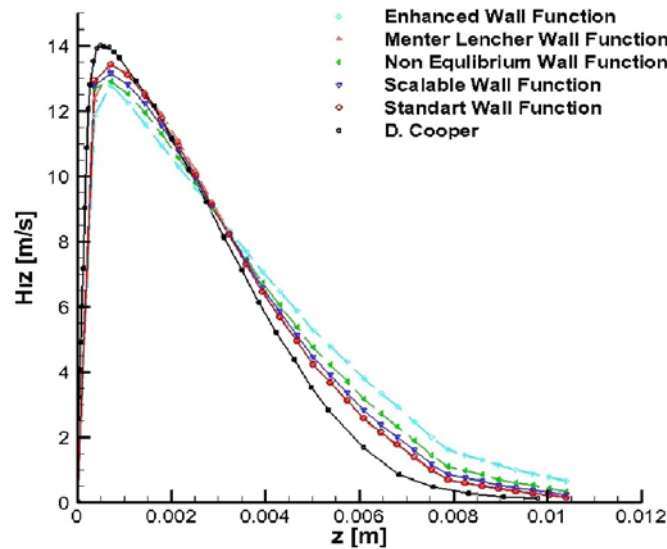
Redüksiyonlu ve redüksiyonsuz hazne geometrilerine ait analiz sonuçlarında görüldüğü üzere redüksiyon kullanımı ani genişleme etkilerini azaltarak hız profillerinin daha erken gelişmesine olanak sağlamıştır.

2.1.3 Hazne Uzunluğunun Belirlenmesi

10 cm çaplı ve 10 cm uzunluğundaki redüksiyonlu hazne boyunca hız profilinin geliştiği hidrodinamik giriş uzunluğunun belirlenmesi için farklı kesitlerden alınan hız profilleri Şekil 1.b de karşılaştırılmıştır. Şekil 1.b. ye göre 50 cm hazne uzunluğunun yeterli olduğuna karar verilmiştir.

2.2. Duvar Fonksiyonu ve Y^+ Değerinin Belirlenmesi

HAD analizi sırasında kullanılacak olan cidar fonksiyonunun ve ortalama Y^+ değerinin etkisinin incelenmesi ve en uygun ikili kombinasyonun “Adhezif Silindirik Kiriş ve Jet İçeren Havalı Taşıma Sistemi” için oluşturulacak modelin analizlerinde kullanılması için D.Cooper’ın çalışmaları [5] incelenmiştir. Bu çalışmanın incelenmesinin sebebi “Adhezif Silindirik Kiriş ve Jet İçeren Havalı Taşıma Sistemi” gibi yüzeye çarpan bir jet akışı içermesidir. Üç farklı Y^+ değeri (5,10 ve 30) için farklı cidar fonksiyonlarıyla yapılan analizler, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır [5].



Şekil 2. Y^+ değerlerinin 10 olduğu durum için farklı cidar fonksiyonlarının karşılaştırması

Şekil 2. ye göre Y^+ değerinin 10 civarında olduğu durumda deneysel sınır tabakanın ve hız profilinin [5] daha doğru hesaplandığı görülmüştür.

Benzer olarak Şekil 6. da duvar fonksiyonu olarak ölçeklendirilebilir cidar fonksiyonu kullanımının daha doğru sonuç verdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle “Adhezif Silindirik Kiriş ve Jet İçeren Havalı Taşıma Sistemi” için oluşturulacak modelde ortalama Y^+ değerinin 10 civarında tutulması ve ölçeklendirilebilir cidar fonksiyonu kullanılmasına karar verilmiştir.

3. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ ANALİZLERİ

HAD analizlerinde sayısal çözüm ağı oluşturucu ve sonlu hacimler yöntemi ile çalışan Ansys Fluent sayısal analiz programı kullanılmıştır.

3.1. Kabuller

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinde k-epsilon iki denklemlilik türbülans modeli kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan akışkan hava olup yoğunluğu 1.225 kg/m^3 ve kinematik viskozitesi $1.78910^{-5} \text{ kg/m}^2\text{s}$ olarak alınmıştır.

Yapılan analizlerde sistemin sürekli hal durumu incelenmiştir. Sabit taşıma yüksekliği durumu incelendiğinden, silindirik girişlerin ilk kaldırma anındaki adhezif kuvvet etkileri ihmal edilmiştir.

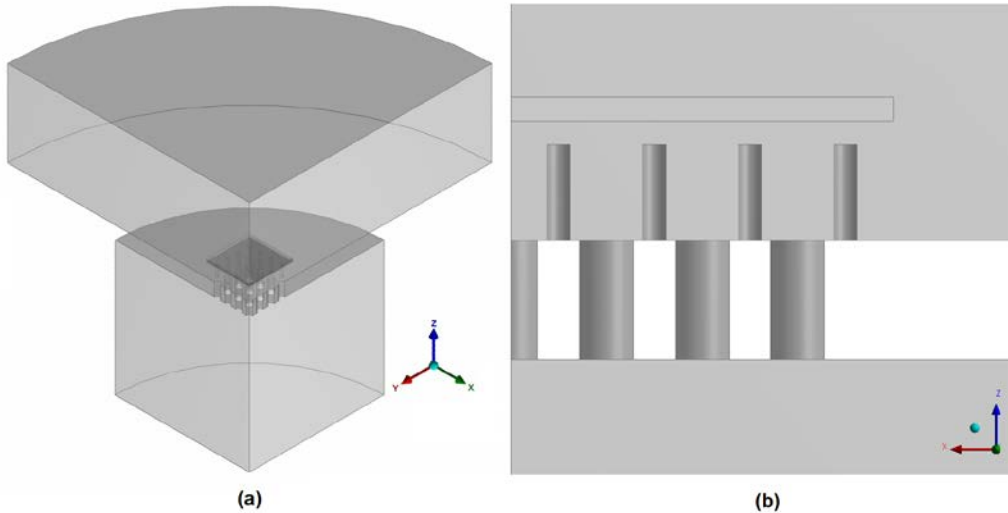
Silindirik girişin elastik olduğu durum daha sonraki çalışmalarda incelenecek olup bu çalışma kapsamında silindirik girişlerin rijit olduğu kabul edilmiştir. İncelenen sistemde 49 adet jet ve 64 adet silindirik giriş bulunmaktadır.

3.2. Sınır Şartları

Giriş sınır şartı olarak 3000 Pa sabit basınç girişi tanımlanmıştır. Bu sınır şartı ile jet hızları 86 m/s civarına ulaşırken, akış sıkıştırılmaz bölgede tutulmuştur. Jetlerin atmosfere açıldığı bilindiğinden çıkış sınır şartı olarak kontrol hacminin atmosfere açık yüzeyleri 0 Pa etkin basınç olarak tanımlanmıştır.

3.3. Geometri

Sisteme 7x7'lik kare matris düzeninde hazne eksenine merkezlenmiş 49 jet deliği ve 8x8'lik kare matris düzenindeki 64 silindirik giriş, her ardışık giriş ve delik arasındaki mesafenin eşit olacağı şekilde yerleştirilmiştir. Hazne uzunluğu 50 cm olup plaka jet yüzeyinden 5 mm yüksektedir. Jet derinliği 5 mm, hazne çapı 10 cm'dir. Taşınan cismin geometrisi dikdörtgenler prizması olup boyutları 32x32x1mm şeklindedir.

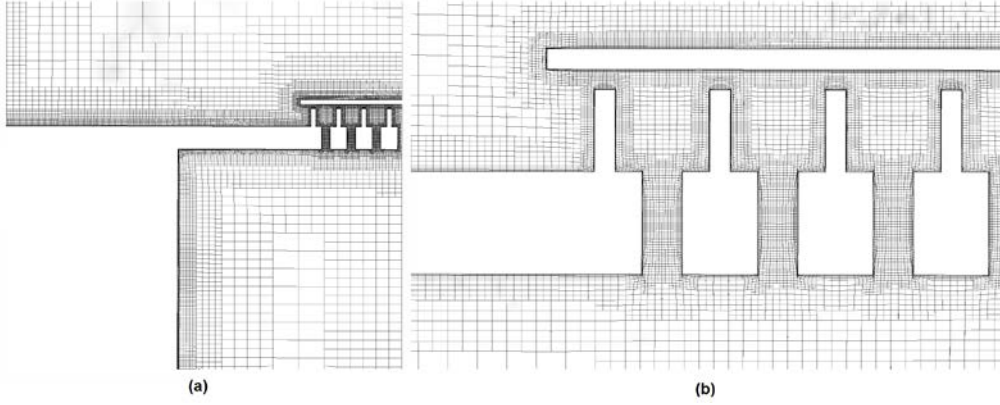


Şekil 3. Oluşturulan geometri, (a) genel görünüm, (b) jet civarı detay görünüm

Sistemin x ve y eksenine göre ayrı ayrı simetrik olmasından ötürü tüm kontrol hacminin çeyreği alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Hazne uzunluk analizlerinde hız profilinin düzgün olduğu tespit edilen aksenal konumdan itibaren analizlerin sabit bit basınç giriş sınır şartı ile gerçekleştirilmesinin, basınç düşümünün ihmal edilebilir seviyelerde olmasından ötürü kabul edilebilir ölçülerde bir hataya sebebiyet verdiği görülmüştür. Buna dayanarak oluşturulan geometrinin ilk 50 cm'si analizlere dahil edilmemiştir. Böylece hesaplama maliyetinde büyük oranda iyileştirme yapılmıştır.

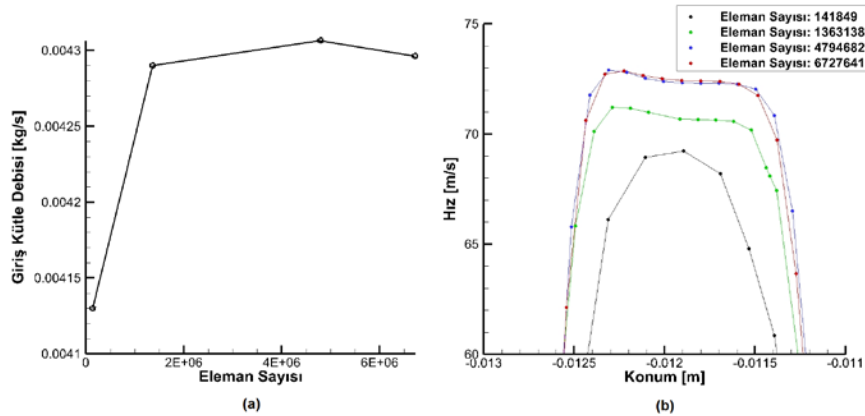
3.4. Sayısal Çözüm Ağı

Sayısal çözüm ağı oluşturulurken “Cutcell” metodu kullanılmıştır. “Cutcell” metodunda elemanlar küp şeklinde olduğundan, “Tetrahedral” hücreli çözüm ağına göre daha az sayıda eleman ile aynı yoğunlukta çözüm ağı elde edilebilmektedir. Bu nedenle çözüm ağı oluşturulurken “Cutcell” metodu tercih edilmiştir.



Şekil 4. Sayısal çözüm ağı yapısının görünümü, (a) genel görünüm, (b) jet civarı detay görünüm

Optimum çözüm ağı eleman sayısının belirlenmesi için aynı yöntemle oluşturulan dört farklı yoğunlukta çözüm ağı ile gerçekleştirilen analizlerin sonucunda uygun eleman sayısı tespit edilmiştir.



Şekil 5. (a) Kütle debisinin ve (b) Jet içerisindeki hız profilinin çözüm ağı eleman sayısına göre değişimi

Şekil 5.a. da kütle debisi cinsinden yakınsamanın 4.8 milyon eleman sayılı çözüm ağı ile elde edildiği görülmüştür. Benzer olarak Şekil 5.b. de jet yüzeyindeki hız profilleri cinsinden yakınsamanın aynı yoğunlukta çözüm ağı ile sağlandığı görülmüştür. Bu nedenle parametrik çalışmalarda 4.8 milyon eleman sayılı çözüm ağının kullanılmasına karar verilmiştir.

3.5. Parametreler

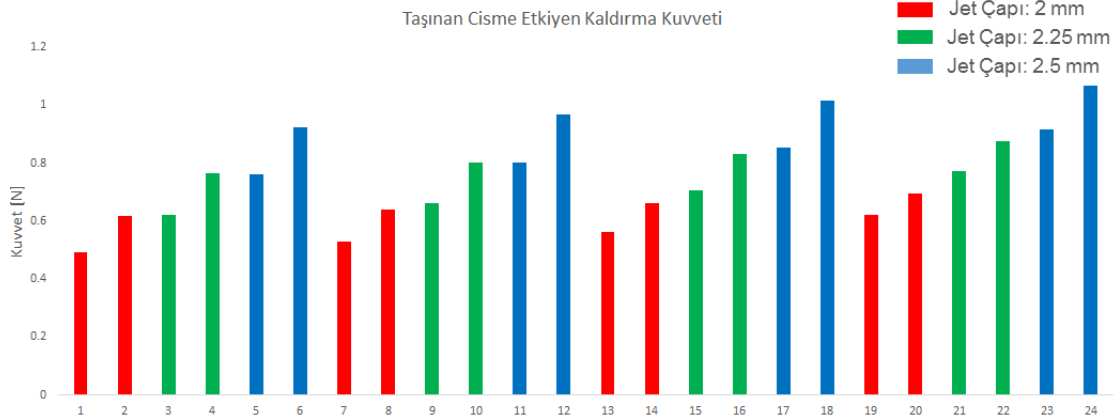
Bu çalışma kapsamında üç farklı jet çapı, dört farklı giriş yüksekliği ve ardışık jet ve girişler arası mesafe için ise iki farklı değer olmak üzere toplamda yirmi dört farklı kombinasyon için analizler yapılmıştır. Analiz parametreleri Tablo 1. de gösterilmektedir.

Tablo 1. İncelenen yirmi dört analizin özellikleri

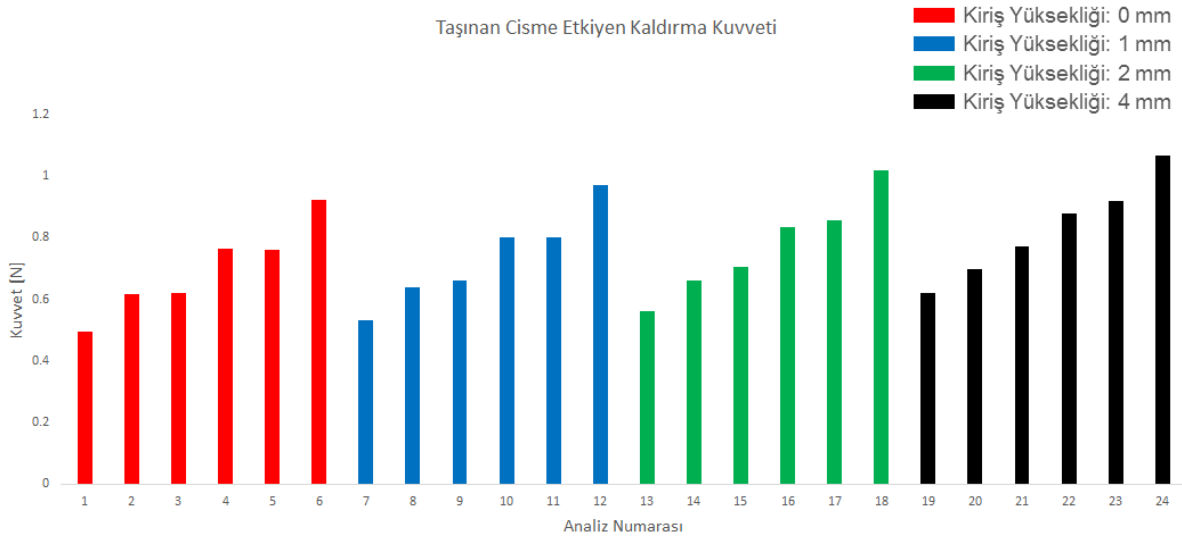
Analiz Numarası	Jet Çapı	Silindirik Kiriş Yüksekliği	Jet ve Kiriş Merkezleri Arasındaki Mesafe	Analiz Numarası	Jet Çapı	Silindirik Kiriş Yüksekliği	Jet ve Kiriş Merkezleri Arasındaki Mesafe
1	2 mm	0 mm	3 mm	13	2 mm	2 mm	3 mm
2	2 mm	0 mm	4 mm	14	2 mm	2 mm	4 mm
3	2.25 mm	0 mm	3 mm	15	2.25 mm	2 mm	3 mm
4	2.25 mm	0 mm	4 mm	16	2.25 mm	2 mm	4 mm
5	2.5 mm	0 mm	3 mm	17	2.5 mm	2 mm	3 mm
6	2.5 mm	0 mm	4 mm	18	2.5 mm	2 mm	4 mm
7	2 mm	1 mm	3 mm	19	2 mm	4 mm	3 mm
8	2 mm	1 mm	4 mm	20	2 mm	4 mm	4 mm
9	2.25 mm	1 mm	3 mm	21	2.25 mm	4 mm	3 mm
10	2.25 mm	1 mm	4 mm	22	2.25 mm	4 mm	4 mm
11	2.5 mm	1 mm	3 mm	23	2.5 mm	4 mm	3 mm
12	2.5 mm	1 mm	4 mm	24	2.5 mm	4 mm	4 mm

SONUÇ

Belirlenen parametreler için oluşturulan analizlerin sonucunda taşınan cisme etkiyen kaldırma kuvveti ve sistemden geçen hava debisinin parametrelere göre değişimi Şekil 6. Şekil 7. ve Şekil 8. de gösterilmiştir.

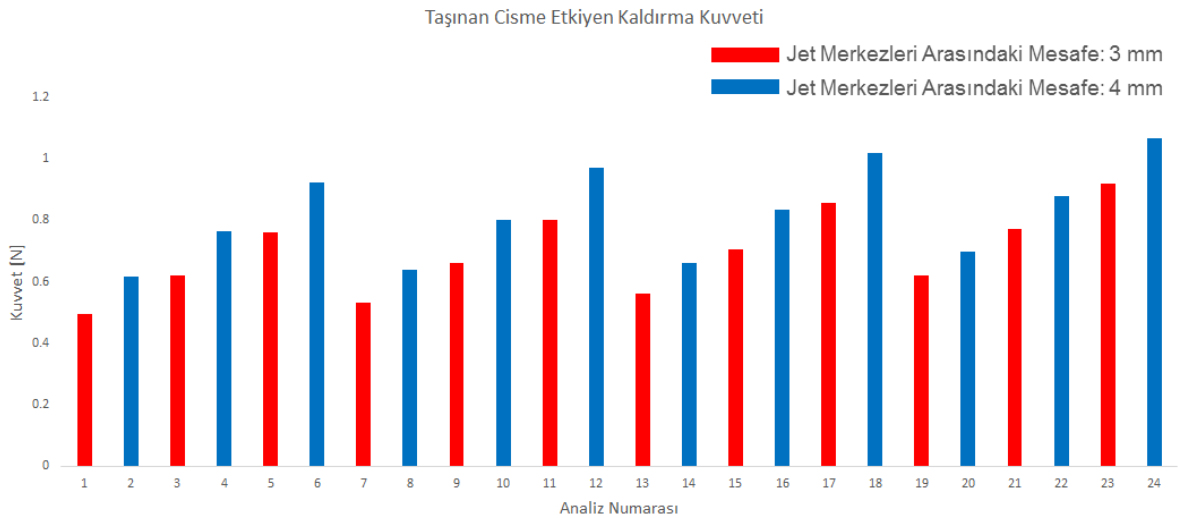
**Şekil 6.** Jet çapına göre kaldırma kuvvetinin değişimi

Şekil 6. da görüldüğü üzere jet çapının büyümesi, giriş yüksekliğinden bağımsız olarak taşınan cisme aktarılan kaldırma kuvvetini arttırmaktadır.



Şekil 7. Kiriş yüksekliğine göre kaldırma kuvvetinin değişimi

Şekil 7. de silindirik kiriş yüksekliğindeki artış sonucu taşınan cisme aktarılan kaldırma kuvvetinde artış görülürken sistemden geçen hava debisinin azaldığı saptanmıştır. Dolayısıyla kiriş uzunluğunun artması, sistemde daha düşük akışkan debileriyle daha yüksek kaldırma kuvveti elde edilmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 8. Jet ve kiriş merkezleri arasındaki mesafesine göre kaldırma kuvvetinin değişimi

Şekil 8. de görüldüğü üzere ardışık jet ve deliklerin merkezleri arası mesafenin büyümesi taşınan cisme etkiyen kaldırma kuvvetini ve sistemden geçen hava debisini arttırmaktadır.

İncelenen üç parametrenin kaldırma kuvvetine etkisi karşılaştırıldığında en baskın parametrenin delik çapı olduğu, ikinci parametrenin ise jet ve deliklerin merkezleri arası mesafe olduğu görülmüştür.

Yapılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği çalışmalarının yanı sıra ilerleyen çalışmalarda deneysel validasyon ile sayısal çalışmalar desteklenecek olup, sisteme etkiyen diğer parametrelere yönelik analizler de gerçekleştirilecektir. Ayrıca ilerleyen çalışmalarda silindirik kirişlerin elastik olduğu durum ve zamana bağlı analizlerde adhezif etkiler de incelenecektir.



KAYNAKLAR

- [1] Dini, G., Fantoni, G. and Failli, F. (1995) Grasping Leather Plies by Bernoulli Grippers. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 58, 21-24.FEURICH, H., "Saniteartechnik", Krammer Verlag, 1995.
- [2] Anders Petterson, Thomas Ohlsson, Darwin G. Caldwell, Steven Davis, John O. Gray, Tony J. Dodd, (2010) "A Bernoulli principle gripper for handling of planar and 3D (food) products", Industrial Robot: An International Journal, Vol. 37 Issue: 6, pp.518-526,
- [3] Davis, ST, Gray, JO and Caldwell, DG 2008, 'An end effector based on the Bernoulli principle for handling sliced fruit and vegetables' , Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 24 (2) , pp. 249-257.DIN 4109, "Schallschutz im Hochbau; Anforderung und Nachweise", 1989.
- [4] Mengüç, Y., Yang, S. Y., Kim, S., Rogers, J. A. and Sitti, M. (2012), Gecko-Inspired Controllable Adhesive Structures Applied to Micromanipulation. Adv. Funct. Mater., 22: 1246–1254.
- [5] COOPER, D., JACKSON, D.C., LAUNDER, B.E., LIAO, G.X. (1993). Impinging jet studies for turbulence model assessment. Part I: Flow-field experiments. Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 36.

ÖZGEÇMİŞ

Alperen YILDIZELİ

1994 yılında İstanbul'un Üsküdar ilçesinde doğdu. Lise eğitimini Üsküdar Lisesi'nde tamamladıktan sonra yüksek öğrenimine Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde başladı. Üniversitedeki birinci yılının sonunda İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüne yatay geçişle kayıt yaptırarak yüksek öğrenimini bu kurumda tamamladı. Yüksek Lisans eğitimine İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında Isı-Akışkan bölümünde devam etmektedir.

Ahmet Yasin KARABAY

1992 yılı Trabzon doğumludur. Kocaeli Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra, 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesinde yüksek lisans eğitimine Isı Akışkan yüksek lisans programı ile Fen Bilimleri Enstitüsünde devam etmektedir.

Umut Can COŞKUN

1988 İstanbul doğumlu olup Kocaeli Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümünden 2010 yılında mezun olmuştur. 2014 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Isı-Akışkan Yüksek Lisans programını tamamlayarak doktora programına başlamıştır. 2011 yılından beri İTÜ Makine Fakültesi'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Çalışma alanı genel olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği uygulamaları olup, özellikle akışkan-yapı etkileşimi, çok fazlı akışlar, aktif ve pasif akış kontrolü konularında çalışmıştır.

Sertaç ÇADIRCI

Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden 2001 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisans ve doktora eğitimlerini İstanbul Teknik Üniversitesinde 2004 ve 2010 yıllarında tamamlamıştır. İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesinde Yardımcı Doçent Doktor ünvanı ile öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Çalışma alanları arasında akış problemlerinin sayısal ve deneysel incelenmesi yer almakla beraber özellikle laminer sınır tabakada akış kontrolü üzerine çalışmalarını devam ettirmektedir.

**Emre VATANSEVER**

1992 yılında İstanbul'da doğdu. Eyüp Anadolu Lisesi'nden sonra İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü bitirdi. İstanbul Teknik Üniversitesi Mekatronik yandal ile İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında Sistem Dinamiği ve Kontrol bölümünde yüksek lisans eğitimlerine devam etmektedir.

Bilsay SÜMER

1979 yılında Samsun'da doğdu. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden 2003 yılında mezun oldu. Yüksek lisans ve doktora derecelerini sırası ile 2006 ve 2009 yıllarında Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Carnegie Mellon Üniversitesi'nde tamamladı. 2011 tarihinden itibaren Hacettepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği'nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır ve 2014 tarihinden beri Mekanik Ana Bilim Dalı Başkanlığı'nı yürütmektedir.

İlker Murat KOÇ

1974 yılında İstanbul'da doğdu. Lise eğitimini 1991'de Üsküdar Fen Lisesi'nde tamamlayıp, İTÜ Makina Fakültesi'nden 1996'da mezun olmuştur. Doktora çalışmasını 2006 yılında Carnegie Mellon Üniversitesi'nde tamamladıktan sonra, doktora sonrası araştırmacı olarak Imperial College London, INSA-Lyon Üniversitesi'nde araştırmalarda bulunmuştur. Dr. Koç, Michigan State Üniversitesi, Roma La Sapienza ve Münih Teknik Üniversitelerinde davetli araştırmacı olarak araştırmalarda bulunmuştur. 2013 yılından bu yana İTÜ Makina Fakültesi'nde Doç.Dr. olarak çalışmaktadır. Çalışma alanları, sistem dinamiği ve kontrol, yapısal titreşim ve akustik konularında yer almaktadır.