

Araştırma Makalesi / Research Article

Üç Boyutlu Çok Eklemlili Biomimetik Carangiform Türü Bir Robot Balığın FSI Analizi**Seda Yetkin¹, Gonca Ozmen Koca², Mustafa Ay², Zuhtu Hakan Akpolat², Cafer Bal²**¹Bitlis Eren Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Bitlis.²Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ.

e-posta: gonca.ozmen@gmail.com

Geliş Tarihi: 20.07.2016 ; Kabul Tarihi: 10.05.2017

Özet

Bu çalışmada akışkan içerisinde hareket eden carangiform yüzüş moduna sahip üçboyutlu ve çok eklemlili bir robot balık modeline etki eden hız, basınç ve girdap değerlerinin bulunması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda HAD (Hesaplamalı akışkanlar dinamiği) yazılımlarından biri olan Ansys paket programı ile üç boyutlu robot balığın hidrodinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizde FSI (akışkan-yapı analizi) yöntemi kullanılmıştır. Analiz sırasında kullanılan üç boyutlu ve çok eklemlili robot balık modelinin SolidWorks paket programında tasarımı gerçekleştirilmiştir. Analizin ilk aşamasında robot balık sabit tutularak sınırları belirli bir havuz içerisinde akışkan olarak seçilen suya farklı hız değerleri uygulanmıştır ve bu değerler için balığa etki eden hız, basınç ve girdap değerleri incelenmiştir. Analizin ikinci aşamasında ise durgun akışkan ortamında robot balığın farklı iki yüzüş modeline ait (düz yüzüş ve dönüş) açılış değerleri eklemlere uygulanarak balığın hareketleri sağlanmıştır. Bu çalışma ile carangiform üç boyutlu ve çok eklemlili biomimetik bir robot balığın deneysel gerçekleştirilmesinden önce Ansys ortamına yansıtılmasıyla sınırları belirli bir havuz içerisinde hız, basınç ve girdap değerlerinin bulunması hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler

Robot balık;
Hidrodinamik analiz;
HAD (Hesaplamalı
Akışkanlar Dinamiği);
FSI (Akışkan-Yapı
Analizi)

FSI Analysis of Carangiform Three Dimensional Multi-Link Biomimetic Robotic Fish**Abstract**

In this study, it is proposed to obtain velocity, pressure and vorticity values affected to three dimensional and multi-link robotic fish model. The hydrodynamic analysis of three dimensional robotic fish with Ansys software, one of the CFD (computational fluid dynamics) softwares, is carried out. In this analysis, the FSI (fluid-structure analysis) method is used. Design of three dimensional and multi-link robotic fish model is realized in SolidWorks package program during the analysis. In the first stage of the analysis, the robot fish is kept constant in the pool with defined boundaries and different values are applied to water chosen as fluid. Velocity, pressure and vorticity values are investigated for different velocity of the fluid. In the second stage of the analysis, the movements of the robotic fish are provided by applying angles obtained from two different swimming models (forward and turning swim) of the robotic fish to joints in static fluid environment. With this study, velocity, pressure and vorticity values affected on carangiform three dimensional and the multi-link biomimetic robotic fish are proposed to obtain in the ANSYS environment before the experimental realization of the robotic fish.

Keywords

Robotic fish;
Hydrodynamic analysis;
CFD (Computational
Fluid Dynamics); FSI
(Fluid Structure
Interaction)

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Hidrodinamik analiz, sıvı içerisinde bulunan katı cisimlerin ya da katı cisim içerisindeki sıvıların hareketlerine bağlı olarak sıvıların katı cisimlere

uyguladığı dirençlerin hesaplanmasına yardımcı olmaktadır. Analizlerin çoğunda akışkan olarak su kullanılmaktadır. Bu nedenle geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. HAD analizi, genellikle pompa

ve türbinlerin üzerlerine düşen basınç değerlerini önceden belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Rajendran ve Purushothaman (2012), santrifüj bir pompanın pervanesinin dönmesi sonucu oluşan dinamik yük nedeniyle pervanenin ön kısmından arka kısımlarına doğru bir basınç artışı oluşturduğunu göstermişlerdir. Ayrıca pervane üzerine düşen ortalama basınç değerleri kontur eğrileri ile ifade edilmiştir. Bayer ve ark.(2013), su üzerinde yüzebilen bir rüzgâr türbinin dinamik analizlerini hesaplamak için HAD analizine dayanan yüksek mertebeden yeni bir yaklaşım ile hidrodinamik analiz sunmuşlardır. Denizaltı araçları ve gemiler gibi deniz araçlarında ise etrafındaki su hareketlerinin incelenmesi amacıyla dış akış analizleri yapılmaktadır. Praveen ve Krishmankutty (2013), 5 farklı boyuttaki sualtı araçlarının birbirleriyle olan hidrodinamik performanslarını karşılaştırmışlardır. Topcu ve Çiçek (2013), gemilerin modellenmesini basitleştirmek için ANSYS programının içerisindeki Fluent ve CFX modülünü kullanmışlardır.

Sualtında yaşayan canlılar yeni teknolojilerin tasarlanmasında ilham kaynağı olmaktadır. Bunun en güzel örneği balıklardır. Balıklar insanı hayrete düşüren yüzme yetenekleri sayesinde sualtında oldukça rahat hareket edebilmektedirler. Bu özelliklerinden dolayı, balıkların yüzme hareketi Wang ve ark.(2009) gibi birçok bilim adamının bu alanda robotik çalışmalara yönelmesine neden olmuştur.Liu ve Hu (2010), Carangiform türü balıkların yüzme hareketlerine benzetilmesi amacıyla çok eklemlili bir robot balık üzerine çalışmışlardır. Robot balıklar sualtında hareket ettiklerinden dolayı suyun robota etki eden kuvvetlerini hesaplamak amacıyla birçok analiz gerçekleştirilmiştir. Guan ve ark.(2010) çalışmalarında, biomimetik bir robotun 3 boyutlu hidrodinamik analizini benzetim ortamında sunmuşlardır. Analiz sırasında HAD yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca robot balığın hareketini belirlemek için Fluent (6.3.26.), kullanıcı-tanımlı fonksiyonu (UDF) ve dinamik ağ modeli seçilmiştir.Guan (2012), diğer bir çalışmada ise hidrodinamik analizlerin yanı sıra dinamik analizleri gerçekleştirmiştir. Mohammadshahi ve ark.(2008),

robot balığa etki eden hidrodinamik kuvvetlerin sonuçlarını değerlendirmek için HAD yöntemine başvurmuşlardır. Analiz sırasında iki farklı durum göz önüne alınmıştır. İlk olarak robot balık sabitlenerek suya hareket verilmiştir, ikinci olarak ise durgun bir su içerisinde robot balığın yüzme hareketleri gerçekleştirilmiştir.

Robot balıkların kuyruğu suda türbülans akış oluşturmaktadır. Bu yüzden kuyruğun şekilleri ve malzemeleri önemlidir. Lee ve ark.(2013) araştırmalarında, 4 farklı kuyruk yüzgecine sahip robot balığın hidrodinamik analizlerini yapmışlardır. Analizler yapılırken robot balığın hareketi için HAD metodu tercih edilmiştir. Ayrıca robot balıkların kuyruğu katı cisimler için uygun değildir. Park ve ark.(2013) çalışmalarında, robot balık kuyruklarının esnek malzemedan yapılması gerekliliğini ortaya koyarak, robot balığın FSI analizini benzetim ortamında gerçekleştirmiş ve robot kuyruğunun esnek bir malzeme olduğunu kabul etmişlerdir. Ay ve ark.(2017), 3 farklı kuyruk yapısına sahip bir biomimetik robot balığın yüzey alanlarının akışkanda oluşturduğu hız, basınç, kinetik enerji ve girdap değerlerini nasıl etkilediğini incelemişlerdir.

Robot balıkların yüzme hareketlerini hassas bir şekilde yapabilmelerini sağlayacak uygun eklem ve uzuv parametrelerine sahip olması gerekir. Anton ve Listak (2011) tarafından, biomimetik bir robot balığın uygun eklem sayısı ve uzuv uzunluklarının optimum değerlerinin bulunması için bir algoritma ortaya koyulmuştur. Bu algoritma analitik ve HAD sonuçlarının birleşiminden elde edilmiştir.

Robot balıklar oluşturdukları itme kuvvetleri sayesinde yüzme hareketi yapabilmektedirler. Robot balıkların yüzmesi sırasında suda girdap oluşmaktadır. Taverna ve ark.(2010) araştırmalarında, 3 boyutlu bir robot balık modelini 3 farklı akış koşuluna maruz bırakıp girdap ve itme kuvvetleri arasındaki ilişki üzerinde durmuşlardır.

Bu çalışmada su içerisinde hareket eden robot balığı etkileyen basınç, hız ve girdap değerlerini bulmak amaçlanmıştır. Böylece balığa etki eden basınç, hız ve girdap değerleri doğrultusunda yapılan robot balığın tasarımı daha az maliyetle

elde edilebilecektir. Belirtilen amaçları desteklemek için FSI yöntemi kullanılmıştır. Suyu hareket verilerek sabit haldeki üç eklemli, üç boyutlu robot balığa etki eden basınç ve hız değerleri hesaplanmış buna ek olarak durgun suda gerçek balıktan alınan hareket açı değerleriyle robot balığın hareketi sağlanmıştır. Yapılan bu çalışmanın öne çıkan yanı ise gerçek balıklardan alınan eklem açı değerleri ile robot balığın düz yüzüş ve dönüş hareketlerinin sağlanması ve bu hareketler sonucunda robot balık etrafında oluşacak basınç ve hız değerlerinin FSI analizi kullanılarak değerlendirilmesidir. Elde edilen veriler ışığında, robot balığın deneysel gerçekleştirmesinden önce benzetim ortamına yansıtılmasıyla bu balığa etki edecek basınç, hız ve girdap değerleri elde edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Son zamanlarda güvenilirliği giderek artan HAD bilgisayar paket programları sayesinde robotlar ile ilgili kuvvetlerin ve hidrodinamik katsayıların elde edilmesi daha az zaman almaktadır. Bu sayede robot balık etrafında suda oluşan hız ve basınç değişimlerinin daha kısa zamanda hesaplanması sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, HAD yazılımlarından biri olan Ansys paket programı ile birlikte FSI yöntemi kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Robot balığın suyun üzerinde hareketinde, kuyruğun şeklinin çarpınma pozisyonu almasından dolayı robot balık üzerinde oluşan şekil değişikliği nedeniyle FSI yöntemi tercih edilmiştir. Ayrıca FSI analizinde akışkan(fluent) ve yapı(structure) modülleri bir arada kullanılarak çözümlenmektedir.

2.1. Ansys paket programı

Ansys paket programı çözümlenirken sonlu elemanlar ve sonlu hacimler yöntemleri kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra kütle ve momentum korunumu denklemleri vasıtasıyla da problemlerin çözümü sağlanmaktadır.

Sonlu elemanlar yönteminde model küçük parçalara bölünerek her elemanın köşelerine düğüm (node) adı verilir ve bu düğüm noktaları üzerinde hesaplamalar yapılır. Sonlu elemanlar yöntemi denklem(1)'deki gibi matris formun da verilebilir.

$$[K].[D] = [R] \quad (1)$$

burada K, R ve D sırasıyla sistemin katı, sıvı ve gaz gibi özelliklerini, sınır şartlarını yani dışarıdan etki eden yükleri ve aranan düğümler üzerindeki hız, basınç, gerilme, kuvvet vb. özellikleri göstermektedir.

Sonlu hacimler yönteminde ise sonlu elemanlar yöntemine benzer olarak her bir eleman için çözüm yapılmakta ve daha sonra bu çözümler birleştirilerek genel bir çözüm oluşturulmaktadır.

FSI analizinde akışkan(fluent) ve yapı(structure) modülleri birlikte çözüm yapar. Fluent modülü sonlu hacimler yöntemi ile çözümü gerçekleştirirken, structure modülü sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirmektedir. Fluent ve structure modüllerinde sistemi çözüme ulaştırmak için altyapısında bulunan kütle ve momentumun korunumu denklemleri kullanılmıştır.

Kütle korunum denkleminde, Δt zaman aralığında sisteme giren kütle ile çıkan kütle arasındaki fark sistemin toplam kütle değişimine eşittir. Kütle korunumu denklem(2)'deki gibi verilebilir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \cdot \vec{v}) = S_m \quad (2)$$

burada ρ sistemin yoğunluğunu, v sistemin hızını ve S_m sistemin toplam kütle değişimini göstermektedir. Denklem (3)'de gradyan' ın kartezyen koordinat için formülasyonu verilmiştir.

$$\nabla = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \quad (3)$$

Momentum korunum denkleminde kontrol hacmine etki eden kuvvetler; kontrol hacminin tümüne etki eden yerçekiminin, elektrik, manyetik alan gibi kuvvetlerin ve kontrol yüzeyine etki eden basınç, viskoz gibi kuvvetlerin toplamına eşittir. Momentum korunumu denklem(4)'deki gibi verilebilir.

$$\frac{\partial(\rho \vec{v})}{dx} + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\overline{\overline{T}}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (4)$$

burada p statik basıncı, $\overline{\overline{T}}$ gerilme tensörünü, \vec{g} yerçekimi kuvvetini, F ise kullanıcı tarafından verilen kuvvet değerlerini göstermektedir. Bu çalışmada F değerleri olarak gerçek balıktan alınan eklem açı değerleri kullanılmıştır.

5 uzuvdan oluşan bir robot balık modeli SolidWorks paket programında oluşturulmuştur. Daha sonra ANSYS programına yüklenirken 4. uzuv ile 5. uzuv bir uzuv olarak kabul edilmiştir. Bu yüzden 3 eklemli 4 uzuvlu bir robot balığın analizi gerçekleştirilmiştir. Her bir eklem ise 2 uzuvun birleşim noktasını oluşturmaktadır ve bu uzuvlar arasındaki açı değişimi robot balığın düz yüzüşünü ve dönüş hareketini sağlamaktadır. Tablo 1'de 3 eklem için uzuvlar arasındaki açı değerleri verilmiştir. Başlangıç durumunda 2 uzuv arasındaki açı değeri 180° olarak kabul edilmektedir.

Tablo 1. Yüzüş modlarına göre eklem açıları

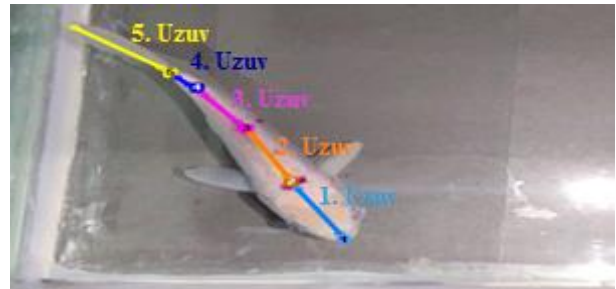
Yüzüş modları	Eklemlerin açı değerleri (°)		
	1. Eklem	2. Eklem	3. Eklem
Düz yüzüş modu	175.68564	153.30649	153.67152
	174.95168	153.49333	163.84497
	173.98510	152.90925	166.21692
	172.52833	151.13129	167.44068
	170.56239	148.82923	167.28872
	168.93319	145.75167	163.08328
	168.80910	142.64943	156.55611
	170.76507	142.27387	151.06948
	174.40464	145.32296	148.89291
	177.08888	150.93897	151.08100
	178.07923	156.57130	159.46245
	178.23168	158.73025	172.43935
	177.46924	159.37409	177.41055
	176.27447	158.42337	175.53120
	174.01023	154.98969	173.54637
	171.76073	151.68053	169.08834
	171.27536	148.86292	163.69604
174.11111	147.83459	157.54135	
181.36660	150.17592	153.38628	

Dönüş modu	174.45705	174.45313	161.07831
	169.14448	162.90525	153.26697
	170.76137	151.82570	148.54855
	173.20135	146.85920	143.61507
	175.55451	146.77978	149.61157
	180.27977	148.06335	160.75836
	181.29416	151.93340	165.23536
	180.45527	155.61439	165.78321
	181.32755	157.95357	168.92051
	181.39487	160.81020	173.60468
	181.39166	162.63434	173.40948
	181.34132	161.72519	171.91593
	180.40437	158.76953	169.50533
	178.04591	156.62630	164.83589
	176.54862	156.27088	160.04802
	177.16266	154.89607	154.60536
	179.68057	155.16605	155.17636
181.39544	160.45071	164.60910	
180.71982	165.50872	176.91879	

2.2. Üç boyutlu robot balık modelinin oluşturulması

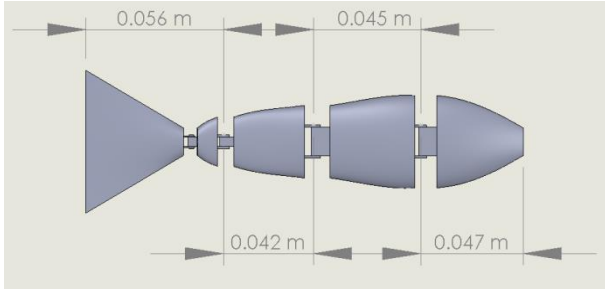
Robot balığın uzuv boyutları, optimize edilmiş değerler ışığında carangiform türündeki gerçek bir balığın yüzüş modellerinin Kineovea (8.20) programı yardımıyla analizi sonucunda sırasıyla 0.047, 0.045, 0.042, 0.010+0.046 m olarak elde edilmiştir.

Uzuv boyutlarının gerçek balık üzerine yerleştirilmiş görüntüsü Şekil 1' de sunulmuştur.

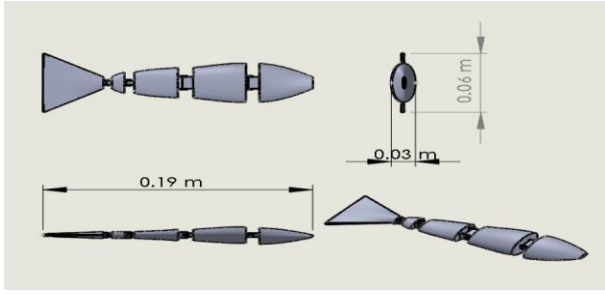


Şekil 1. Gerçek balığın uzuv boyutları

Şekil 2'de SolidWorks paket programında 3 boyutlu 4 eklemli robot balık modeli oluşturulmuştur. Analizler sırasında 5. uzvun hızlı ve serbest hareketi ile Kineova (8.20) programında işaretlenememesi ve ona ait açı değerlerinin elde edilememesinden ötürü 4. ve 5. uzuvlar tek uzuv olarak kabul edilmiştir.



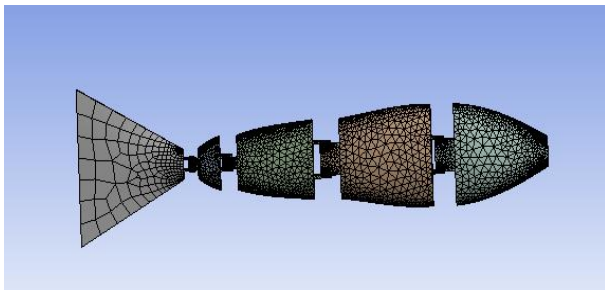
Şekil 2. Robot balık modelinin uzuv boyutları
Şekil 3’ de robot balığın fiziksel boyutlarını gösteren Solidworks çizimleri verilmiştir. Buna göre robot balığın uzunluğu 0.19 m , maksimum yüksekliği 0.06 m ve maksimum genişliği 0.03 m ’dir.



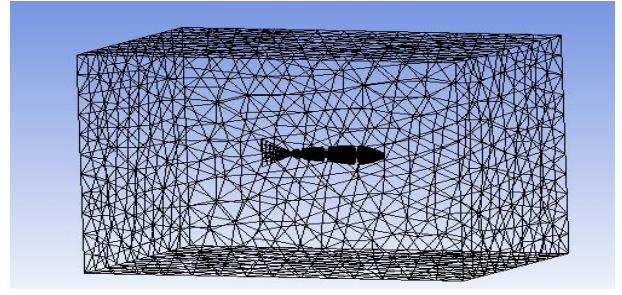
Şekil 3. Robot balık modeli
Havuzun boyutları $0.4 \times 0.4 \times 0.4\text{ (m)}$ olarak alınmıştır. Robot balık havuzun merkezine yerleştirilmiştir.

2.3. Ağ modelinin oluşturulması

SolidWorks programından tasarlanan çizim Ansys programına aktarılmıştır. Analiz sırasında structure ve fluent modülleri için iki ayrı ağ yapısı oluşturulmuştur. Structure modülünde Şekil 4’de gösterildiği gibi sadece robot balık modelinin ağ yapısı gerçekleştirilmiştir. Robot balık için tetrahedrons ağ modeli seçilmiştir. Ayrıca düğüm sayısı 8039 , eleman sayısı 4198 olarak alınmıştır.



Şekil 4. Robot balığın ağ yapısı
Fluent modülünde ise Şekil 5’de gösterildiği gibi sadece havuz modelinin ağ yapısı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Havuz modelinin ağ yapısı
Havuz modelinin ağ yapısı tetrahedrons olarak seçilmiştir. Ayrıca düğüm sayısı 79098 , eleman sayısı 446855 olarak belirlenmiştir. Tablo 2’de structure ve fluent modüllerinin düğüm ve eleman sayısı verilmiştir.

Tablo 2. Düğüm ve eleman sayıları

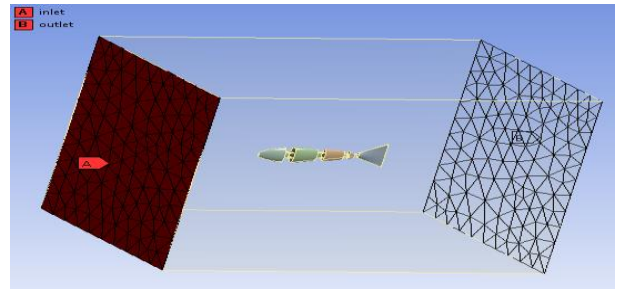
	Structure modülü	Fluent modülü
Düğüm sayısı	8039	79098
Eleman sayısı	4198	446855

3. Bulgular

Robot balığa etki eden hız ve basınç değerlerini belirlemek için 2 durum göz önüne alınmıştır. Bu durumlar aşağıdakı kapsamlı bir şekilde anlatılmıştır.

3.1. Akışkana hız verilmesi durumu:

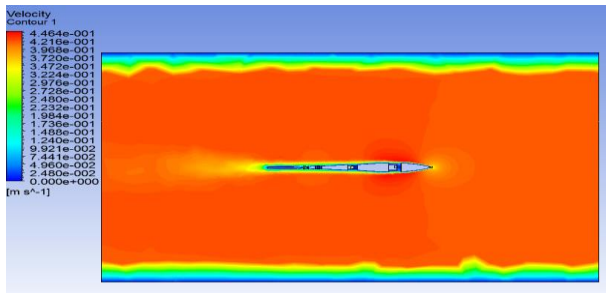
Carangiform türü bir balık olan sazan balığının yüzmesis sırasında hızının $0-3.38\text{ m/sn}$ aralığında değişiklik gösterdiği belirtilmiştir[1]. Kineova (8.20) programı ile videolar analiz edildiğinde balığın düz yüzüş modundaki ortalama hızının 0.42 m/sn , dönüş modundaki ortalama hızının 0.24 m/sn olduğu belirlenmiştir. Bu hız değerleri Şekil 6’da gösterilen A bölgesi belirlenerek akışkanaverilmiştir.



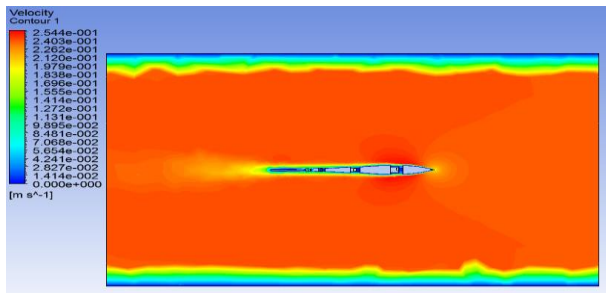
Şekil 6. Akışkanın giriş ve çıkış bölgeleri
Analiz sırasında akışkan olarak kullanılan suyun yoğunluğu 998.2 kg/m^3 , özgül ısı 998.2 J/kg.K , ısı

iletim katsayısı 0.6 W/m.K ve viskozitesi 0.001003 kg/m.s olarak belirlenmiştir.

Analiz zamana bağlı olarak $3 \text{ sn}'$ lik bir zaman dilimi için gerçekleştirilmiştir. Model olarak türbülans modeli (k-epsilon) ve ağ yapısı olarak smooting metodu (system couplig) seçilmiştir. Analiz sonucunda robot balığın su içerisinde XY düzlemindeki hız ve basınç kontur eğrileri sırasıyla Şekil 7 ve 8' de verilmiştir. Şekil 7' de akışkana sırasıyla 0.42 ve $0.24 \text{ m/sn}'$ lik sabit hızlar verilerek robot balığın XY düzleminde oluşan hız kontur eğrileri ve değerleri gösterilmiştir.



(a)

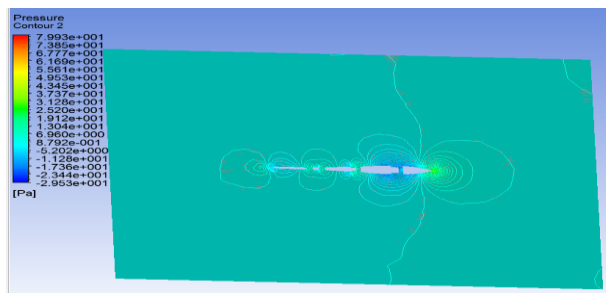


(b)

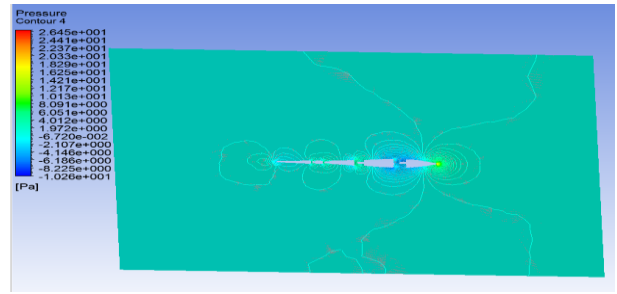
Şekil 7. Robot balığın akışkanına (a) 0.42 ,

(b) $0.24 \text{ m/sn}'$ lik hız verilmesi durumundaki hız kontürleri

Şekil 8' de akışkana sırasıyla 0.42 ve $0.24 \text{ m/sn}'$ lik sabit hızlar verilerek robot balığın XY düzleminde oluşan basınç kontur eğrileri ve değerleri gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 8. Robot balığın akışkanına (a) 0.42 , (b) $0.24 \text{ m/sn}'$ lik hız verilmesi durumundaki basınç kontürleri

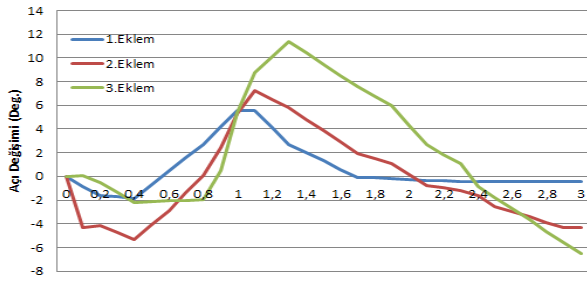
Analizler sonucunda hız değerlerine bakıldığında hız değerinin akışkanın hızıyla orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Akışkanın 0.42 m/sn olduğu durumda robot balığın etrafındaki hız değerinin akışkanın 0.24 m/sn olduğundan daha yüksek olduğu görülmektedir. Basınç değerlerine bakıldığında ise en yüksek basınç değerinin 1. Eklemin etrafında olduğu görülmektedir. Bu da robot balığın 1. Ekleminin oluşan basınç değerini karşılaması sonucunda su içerisinde kolay bir şekilde hareket etmesini sağlayacaktır. Ayrıca akışkanın robot balığa ilk temas ettiği robot balığın burun kısmında yüksek bir basınç değeri oluşmaktadır. Buda robot balığın burun kısmının ovalimsi bir yapıya sahip olması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

3.2. Robot balığa hareket verilmesi durumu:

Bu çalışmada robot balığın akışkan içerisindeki hareketi, düz ve dönüş modları olmak üzere farklı iki hareket modeli ile sağlanmıştır. Bu hareket modellerine ait gerçek balık videoları Kineova (8.20) programı ile incelenerek bu hareketlere ait eklem açı değerleri elde edilmiştir. Gerçek balık videolarında düz ve dönüş modları için belirlediğimiz açı değerleri structure modülünde eklemlere verilerek balığın durgun suda hareketi sağlanmıştır.

3.2.1. Robot balığın düz yüzüş modu:

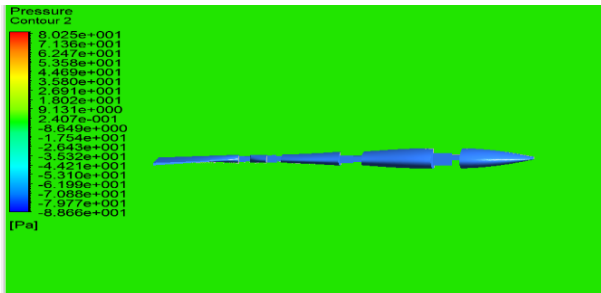
Gerçek balık videolarından elde edilen robot balığın düz yüzüş modu için 3 eklemin açı değerlerinin zamanla değişimi Şekil 9' da gösterilmektedir.



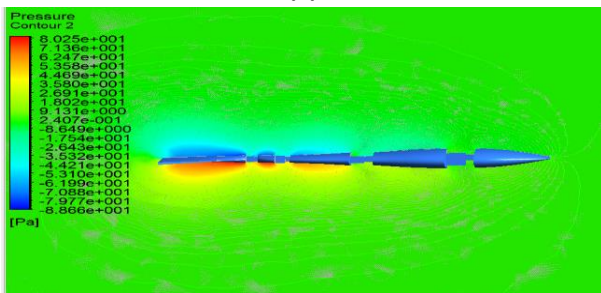
Şekil 9. Robot balığın düz yüzüş modunda zamanla eklem açılarının değişimleri

3 sn' lik bu hareketler sağlanırken robot balık üzerine etki eden hız ve basınç değerlerinin 0.1 sn' lik zaman aralıklarındaki değişimleri incelenmiştir. Ayrıca robot balığın bir periyotluk kuyruk çırpınma hareketini yaklaşık olarak 1.7 sn'de tamamladığı Şekil 9' da görülmektedir.

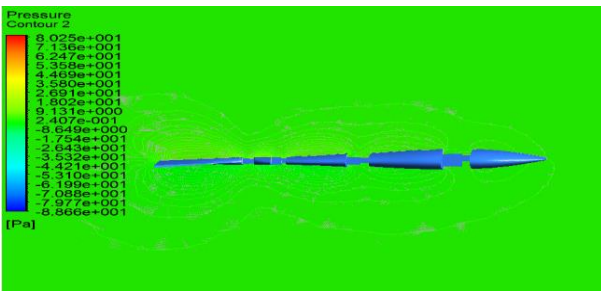
1. Eklem' in hareketi balığın hareketini büyük ölçüde belirlediği için 1. Eklem' in açı değişiminin maksimum ve minimum olduğu değerlerdeki zamanlara (0, 1.1, 1.7 sn) karşılık gelen basınç değerleri Şekil 10' da sunulmuştur.



(a)



(b)



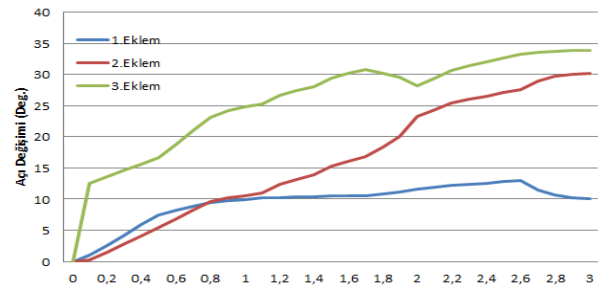
(c)

Şekil 10. Robot balığın düz yüzüş modundaki sırasıyla

(a) 0, (b) 1.1, (c) 1.7 sn'lik basınç ve girdap kontürleri 1.1. sn' de robot balığın 1. Eklemindeki açı değişimi maksimum olduğundan dolayı akışkan, robot balığa maksimum değerde bir kuvvet oluşturmaktadır. Bu da robot balığın çevresinde maksimum basıncı oluşturmaktadır. 1. Eklem'in açı değişimi tekrar 0 olduğunda robot balığın çevresindeki basınç değeri 0' a yaklaşmaktadır.

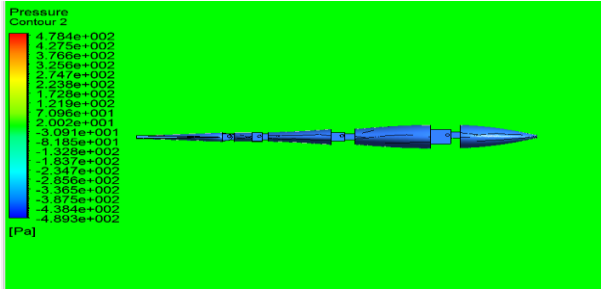
3.2.2. Robot balığın dönüş modu:

Robot balık, dönüş modunu gerçekleştirirken zamanla değişen eklemler arasındaki açı farkı Şekil 11' de gösterilmektedir.

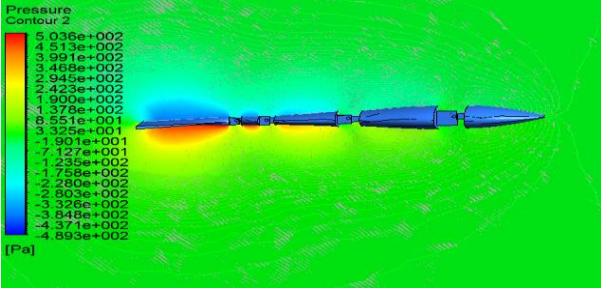


Şekil 11. Robot balığın dönüş modunda zamanla eklem açılarının değişimleri

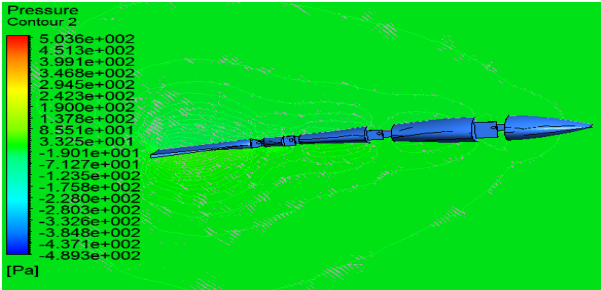
Bu açı farkları incelendiğinde robot balığın 3. Eklemle bağlı kuyruk yapısının daha esnek bir malzemeden olduğu kabul edildiği için 3. Eklemde daha çok açı değişiminin olduğu görülmektedir. Robot balığın dönüş modundaki sırasıyla 0, 0.1, 2. sn' lik basınç ve girdap kontürleri Şekil 12' de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 12. Robot balığın dönüş modundaki sırasıyla (a) 0, (b) 0.1, (c) 2. sn'lik basınç ve girdap kontürleri

Şekil 11' de 3.Eklemlinin zamanla açı değişimi incelendiğinde en fazla açı değişiminin 0-0.1sn aralığında yaklaşık 12.5° olduğundan dolayı en yüksek basınç değerinin bu aralıkta gerçekleştiği Şekil 12' de görülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada carangiform yüzüş moduna sahip gerçek bir balığın boyutları ve yüzme hareketleri incelenerek 3 boyutlu ve 3 eklemlili biomimetik bir robot balık tasarlanmıştır. Tasarlanan robot balık için akışkana hız verilme durumu ve robot balığa hareket verilmesi şeklinde 2 durum göz önüne alınmıştır. Bunlardan akışkana hız verilmesi durumunda yapılan analizlerde akışkanın hızının artırılması sonucunda robot balığın üzerine düşen basınç değerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca 1. Ekleminin etrafında yaklaşık olarak basınç değerleri akışkan hızına 0.42 m/sn, 0.24 m/sn verilmesi durumunda sırasıyla 17.37 Pa, 6,186 Pa olduğu

belirlenmiştir. Robot balık bu basınç değerlerinin karşılaşması sonucunda uygulanan akışkan içerisinde kolayca hareket edebilecektir. 2. durum olan robot balığa hareket verilme durumunda ise düz yüzüş modu ve dönüş modu olma durumu olarak 2 durum incelenmiştir. Robot balığın düz ve dönüş modlarının basınç değeri en fazla açı değişimine sahip olan 3. Eklemin etrafında oluşmaktadır. Bu tasarlanan robot balık için 2 durum göz önüne alınarak akışkan içerisindeki hız, basınç ve girdap değerleri benzetim ortamında belirlenmiştir. Bu çalışma, robot balığın üretimi gerçekleştirilirken benzetim ortamında bulunan basınç değerlerine dayanabilen uygun bir malzemenin seçilmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca bulunan bu değerler doğrultusunda robot balığın üretiminde yanılma payları ortadan kaldırılarak daha uygun malzemeler ile robot balığın imalatı sağlanmış olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma 114E652 nolu Tubitak1001 projesi desteği ile yapılmıştır.

Kaynaklar

- Anton, M. ve Listak, M., 2011. Hydrodynamic optimization of a relative link lengths for a biomimetic robotic fish, *15th International Conference on Advanced Robotics*, Tallinn, 530-535.
- Ay, M., Koca, G.O., Yetkin, S., Bal, C. ve Akpolat, H. Z., 2017. Farklı Kuyruk Modellerine Sahip Bir Robot Balığın Fısı Analizi, *DergiPark*, Tallinn, 1(12), 78-89.
- Bayer, F., Arnold M. ve Cheng P.W., 2013. Analysis of Floating Offshore Wind Turbine Hydrodynamics Using coupled CFD and Multibody Methods, *Proceedings of the Twenty-third (2013) International Offshore and Polar Engineering*, Alaska, 261-267.
- Guan, Z., 2012. 3D Locomotion Biomimetic Robot Fish with Haptic Feedback, Doktora Tezi, Deakin University, Avustralya, 181.
- Guan, Z., Gao, W., Gu, N. ve Nahavandi, S., 2010. 3D hydrodynamic analysis of a biomimetic robot fish, *11th International Conference*, Singapore, 793 -798.

- Lee, J.E, Park, H.C., Choi H. S., Kyung, J., Yun, D., Jeong, S., ve Ryu, Y., 2013. Numerical Simulation for Biomimetic Robot Fish, *13th International Conference* ,Gwangju, 890-893. [1-http://www.balikavi.net/forum/archive/index.php/t-39956.html](http://www.balikavi.net/forum/archive/index.php/t-39956.html) (11.07.2016)
- Liu, H. ve Hu, H. 2010. Biological Inspiration: From Carangiform Fish to Multi-Joint Robotic Fish, *Journal of Bionic Engineering*, March, **35** -48, 7.
- Mohammadshahi, D., Yousefi, K, A., Bahmanyar, S. ve Maleki, H., 2008. Design, fabrication and hydrodynamic analysis of a biomimetic robot fish, *International Journal Of Mechanics*, **2**(6), 59-66.
- Mohammadshahi, D., Yousefi, K, A., Bahmanyar, S. ve Maleki, H., 2008. Design, fabrication and hydrodynamic analysis of a biomimetic robot fish, *10th WSEAS Int. Conf. on Automatic Control*, Istanbul, 249-254.
- Park, H. C., Lee, J. H., Choi, H. S., Kyung, J., Yun, D., Jeong, S., ve Ryu, Y., 2013. Application of FSI (Fluid Structure Interaction) to biomimetic robot fish, *Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence* , Jeju, 439-441.
- Praveen, P.C. ve Krishmankutty P., 2013. Study on the effect of body length on the hydrodynamic performance of an axi-symmetric underwater vehicle, *Indian Journal of Geo-Marine Sciences* ,**42**(8), 1013-1022.
- Rajendran, S. ve Purushothaman, Dr.K., 2012. Analysis of a centrifugal pump impeller using ANSYS-CFX, *International Journal of Engineering Research & Technology*, **1**(3), 2278-0181.
- Taverna, L., Chellali, R., ve Rossi, L., 2010. 3D simulation of robotic fish interactions with physic-based underwater environment, *OCEANS 2010 IEEE*, Sydney, 1 – 4,
- Topcu, S. ve Çiçek, İ., 2013. Gemi itme sistemi çalışmalarında hesaplamalı direnç analizleri, *5. Ulusal Denizcilik Kongresi*, İstanbul.
- Wang, M., Yu, J ve Tan, M. 2009. Modeling neural control of robotic fish with pectoral fins using a CPG-based network, *48th IEEE Conference on Decision and Control*, Shanghai, 6502-6507.