

BİR KALAMARIN 3-BOYUTLU SONLU ELEMANLAR MODELİNİN BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ YARDIMIYLA OLUŞTURULMASI

M. Gökhan GÖKÇEN*¹, Ali Bahadır OLCAY²

¹ Doğuş Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Yeditepe Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Sayısal Model
Kalamar
Stereolitografi

Özet

Bir kalamarın yüzmesinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi için bir sayısal model gereklidir. Anatomik yapıların modellenmesindeki zorlukları aşmak için bir metodoloji geliştirildi. Birkaç kalamar bilgisayarlı tomografi ile tarandı. Elde edilen bilgisayarlı tomografi imajları ile ilgili bölgeler tespit edildi, ve üç boyutlu geometri oluşturmak üzere kullanıldı. Akış analizi için sınırları belirlenmesi için kalamarın dış yüzeyi yeterlidir. Stereolitografik yüzey basitleştirme algoritmaları ile yumuşatıldı. Elde edilen yüzeyin etrafı kapatılarak çözüm bölgesi elde edildi ve sınır şartları uygulandı.

CONSTRUCTION OF THREE-DIMENSIONAL FINITE ELEMENT MODEL OF A SQUID BASED ON COMPUTED TOMOGRAPHY

Keywords

Numerical Modeling
Squids
Stereolitography

Abstract

In order to have a computational fluid dynamics analysis of a swimming squid a numerical model is required. To overcome the difficulty of modeling anatomic structures a methodology is developed. Several squids are scanned using computed tomography. The obtained computed tomography scans are used to identify the segments, which were rendered in 3D using modeling software to reconstruct the geometry afterwards. For the flow analysis, only the outer surface of the squid is needed to model the boundaries. Using simplification algorithms the Stereolitographic surface mode of the squid is smoothed. Around the final surface an envelope is created to model the boundary effects. Finally the surface is enclosed in an sufficiently large prismatic box.

* İlgili yazar : ggokcen@dogus.edu.tr

1. Giriş

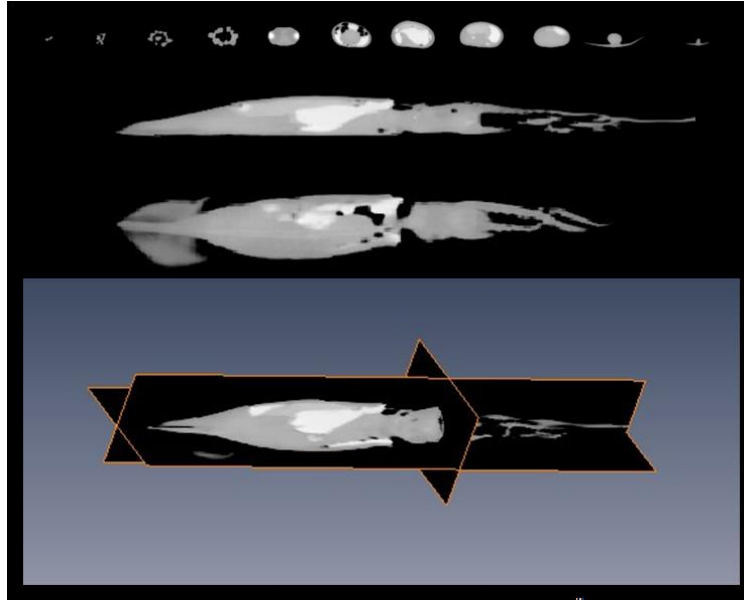
Tarihsel olarak deniz ulaşımı pervane teknolojisi ile sınırlıdır. Günümüzde ise kara ve hava ulaşımının yanı sıra deniz yolu ile ulaşım da son derece önemli hale gelmiştir. Bu çalışmada su altının mükemmel yüzücüleri olarak kabul edilen kalamar balıklarının hareketlerinden motivasyon olarak zamana bağlı püskürtme kullanan su altı aracı geliştirebilme yolundaki araştırmalara katkı sunmak amaçlanmıştır. Basitleştirilmiş bir model kullanmak yerine gerçek bir kalamar balığının geometrisi bilgisayarlı tomografi imajları kullanılarak oluşturulmuştur. Elde edilen sayısal yüzey modeli daha sonra direnç ve kaldırma analizleri için kullanılacaktır. Diğer bir çalışma ise kalamar balığının yüzme tekniğinde olduğu gibi içine aldığı suyu yüksek ivmeyle püskürtmek sağladığı itme kuvvetinin bulunmasıdır. Akışkanı itirdiği yönün tersinde hareket edecek olan robot-kalamarın elde edeceği itme kuvveti ittirilen akışkanın toplam momentumu ile doğrudan ilgilidir. Püskürtülen kütle son derece hassas sonuçlar elde edilebilen Lagrangian Coherent Structure (LCS) tekniği ile tespit edilecektir (Olcay, 2010) Akışkanın püskürtmesi sırasında robot-kalamarın katı yüzeyi ile akışkan arasında ilişkiyi sağlamak için sıvı-yapı etkileşimi (SYE) tanımlanacaktır.

2. Materyal ve Yöntem

Bilgisayarlı tomografi tarama için 8 örnek kullanıldı. Daha önce yapılan deneme taramalardan edinilen

deneyim ile cansız kalamarların yatay bir yüzeyde yassılaştırılması engellemenin için önlemler alındı. Bu önlemlerden birisi kalamarların içinin sıvı silikon ile doldurulması şeklinde oldu. İlk grup kâğıt havlulardan oluşturulan yastık üzerinde tarandı. Diğer üç kalamar, içi silikon ile doldurularak yine kâğıt havlu yastık üzerinde tarandı. Bu örneklerde çok daha az yassılaştırma gözlemlendi. Son dört kalamar ise gövdedeki yuvarlaklığı koruyabilmek için bacakları aşağıda kalacak şekilde asılarak tarama yapıldı. Bu kalamarlardan bir tanesi yine içi doldurulmadan asıldı ve diğer üç tanesi içi sıvı silikon ile doldurularak asıldı. Elde edilen taramalardan içi sıvı silikon ile doldurulmuş ve asılı olan kalamarların daha iyi sonuç verdiği görüldü ve çalışmanın devamı için en uygun olan tarama bu üçü arasından seçildi.

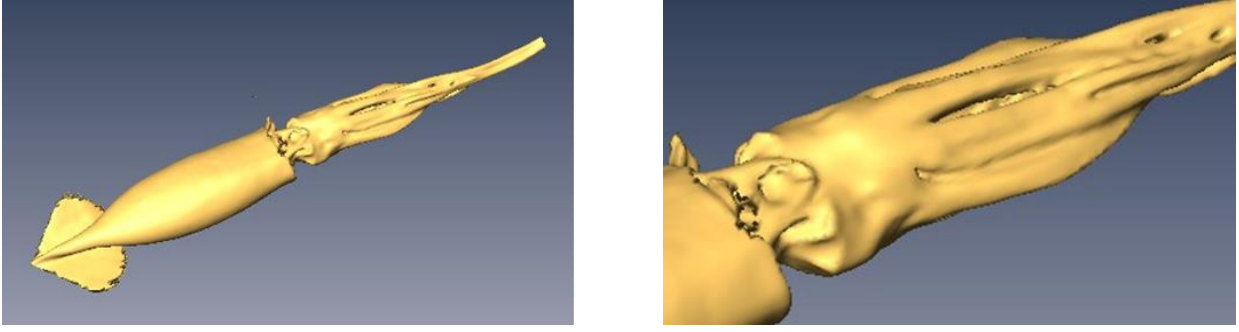
Tarama sonucunda dicom formatında imaj seti elde edildi (Şekil 1) Katman katman x-ışını ile oluşan imajlardan meydana gelen 360 dicom imaj serisi Amira v5.5 (Visualization Sciences Group, SAS., Oregon) (Visualization Sciences Group, 2013) yazılımı aracılığıyla işlenerek stl formatında bir yüzey oluşturuldu. İlk işlem olarak kalamar balığının dokusu yumuşak doku olduğu için x-ışını geçirmekte olduğu için imajlardaki kontrast artırıldı.



Şekil 1. CT taramasından elde edilen dicom imajları. Üstte: (30.-60.-90.-120.-150.-180.-210.-240.-270.-300. ve 330. katmanlar) Üstün altı: yandan görünüş, Bir alt: üstten görünüş, Alt: kompozit görünüş

Kalamarın bacaklarının da modele dahil edilmesi için bacakların olduğu bölgenin detaylı bir şekilde segmentasyonunun yapılması gerekiyordu. Cansız kalamarın bacakları hem silikon kullanıldığı için hem

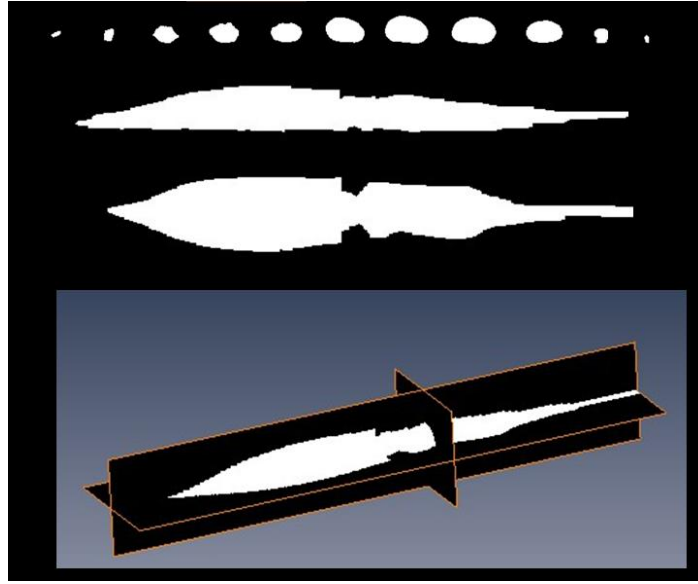
de asılı bir şekilde tarama yapıldığı için gerçek yüzme haline yakın olmakla beraber bacaklar arasında düzensiz boşluklar olduğu görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Tarama sonrası segmentasyon yapılmadan önce elde edilen yüzey

Bacakların aralarındaki bu boşlukların doldurularak daha yumuşak bir yüzey elde edilmesi için katman katman dicom imajlarında boşluklar tespit edilerek dolduruldu. Aynı zamanda kalamarın karın bölgesinin

içindeki boşluklar dolduruldu ve farklı yoğunluğa sahip dokuların oluşturduğu farklı gri değerleri eşlendi (Şekil 3).

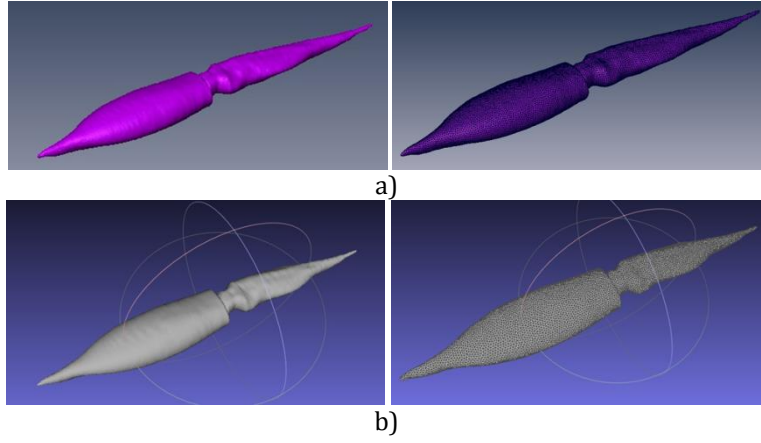


Şekil 3. Segmentasyon yapıldıktan sonra elde edilen imaj serisi. Üstte: (30.-60.-90.-120.-150.-180.-210.-240.-270.-300. ve 330. katmanlar) Üstün altı: yandan görünüş, Bir alt: üstten görünüş, Alt: kompozit görünüş

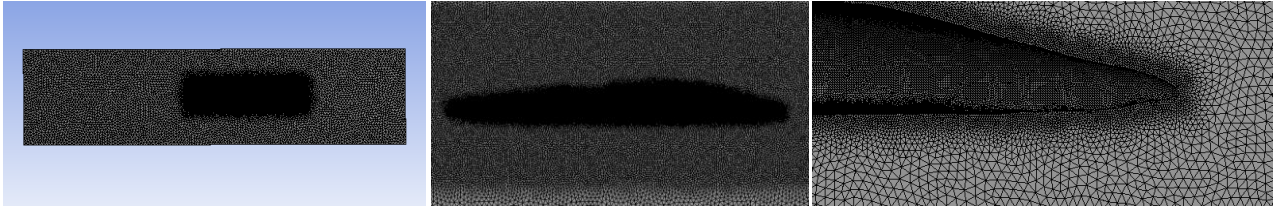
Amira yazılımı ile segmentasyon ile farklı katmanlarda seçilen bölgeler enterpolasyon ile birleştirilerek üç boyutlu geometri elde edildi (Şekil 4a). Geometriyi kaplayan yüzeyi üçgenler ile ifade eden yüzey modeli stl formatında Meshlab (v1.3.1 Visual Computing Lab) (Cignoni vd., 2008) yazılımına aktarıldı. Tarama ve yüzey oluşturma esnasında oluşan çift düğüm noktası, yüzeyler arası küçük boşluklar ve yüzeylerin üst üste gelmesi gibi küçük hataların otomatik olarak temizlenmesi sağlandı. Yazılımdaki quadratic edge collapse decimation algoritması ile yüzey iyileştirilmesi yapıldı ve aynı geometri kalitede kaybı

olmadan daha az üçgen ile ifade edildi. Daha sonra daha yüzey yumuşatıldı (Şekil 4b).

Temizlenen ve yeterli olacak şekilde yüzey sayısı azaltıldıktan sonra, son olarak Rhinoceros v4.0 (Robert McNeal & Associates, 2008) yazılımı yüzey modelin, ANSYS Workbench v15 (Ansys Inc., 2010) sonlu elemanlar analiz yazılımının ihtiyaç duyduğu katı modele (stp) dönüşümü gerçekleştirildi ve ANSYS Workbench yazılımı ile sonlu elemanlar gözeneklendirmesi yapıldı (Şekil 5).



Şekil 4. a.(üst) Segmentasyon sonrası elde edilen yüzey modeli, b. (alt) Hata temizliği ve yumuşatılma sonrası yüzey modeli



Şekil 5. Gözeneklendirilmiş sonlu elemanlar modeli

3. Tartışma ve Sonuç

Biyolojik geometrilerin mühendislik analizlerinde kullanılacak şekilde sayısal modellerinin oluşturulması biyomimetik yapı ve sistemlerin tasarlanması açısından büyük bir katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada kalamar balığının gerçek geometrisi bilgisayar tomografisi taraması yardımı ile oluşturulmuş ve aşamaları raporlanmıştır. Elde edilen sayısal model başarılı bir şekilde analiz ortamına aktarılmış ve analiz çalışmaları başlamıştır.

Teşekkür

Bu çalışma TUBİTAK 3501 Kariyer Geliştirme Programı tarafından desteklenen 111M598 nolu "Kalamardan yüzme öğrenen mekanik balıklar" başlıklı proje kapsamında yapılmıştır.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

ANSYS Inc, 2010. ANSYS Release 13.0 ANSYS Workbench Users Guide, SAS IP, 158s, Pensilvanya

Cignoni, P., Callieri, M., Corsini, M., Dellepiane, M., Ganovelli, F., Ranzuglia, G., 2008. MeshLab: an Open-Source Mesh Processing Tool, Eurographics Italian Chapter Conference , V. Scarano, R. De Chiara, and U.

Erra (Editors), 2-4 Temmuz 2008, Salerno, İtalya, 129-136.

Olcay, A. B., 2010. Pottebaum, T. S. and Krueger, P. S., Sensitivity of LCS identification to flow field resolution and random errors by Chaos, vol. 20, 017506, (DOI 10.1063/1.3276062),

Robert McNeal & Associates, 2008. Rhinoceros NURBS modeling for Windows Versin 4.0 Users Guide, 113 s, A.B.D.

Visualization Sciences Group, 2013. Amira User's Guide, Visualization Sciences Group, 445s, Oregon.