

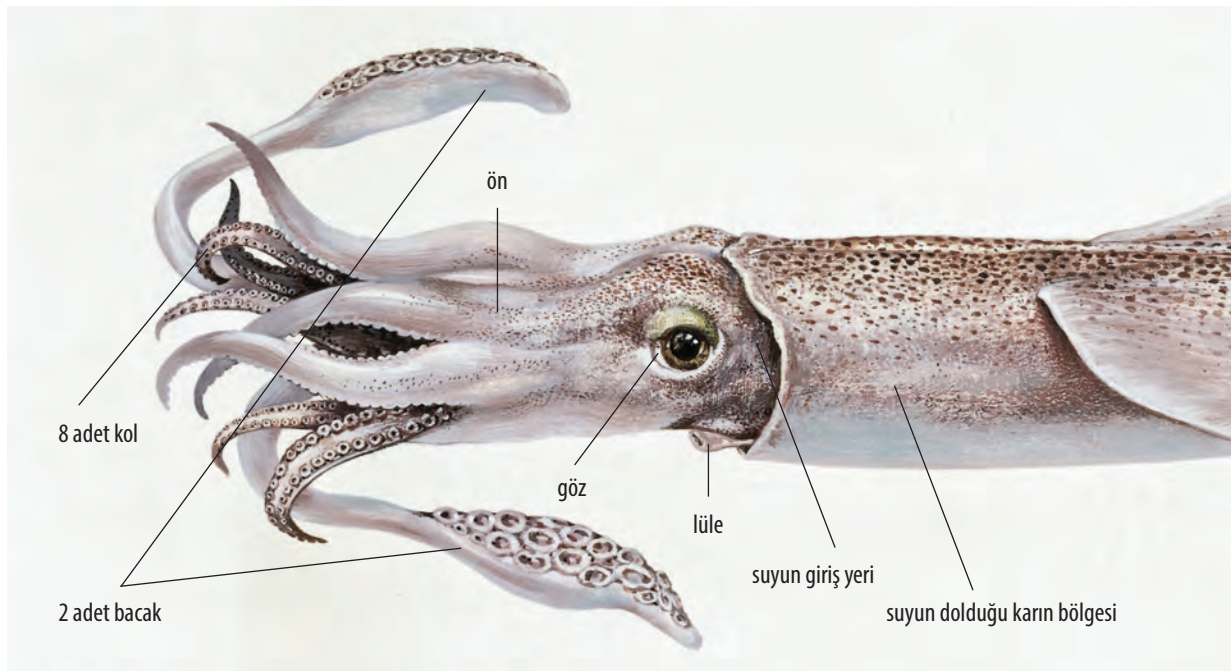
# Kalamardan Yüzme Öğrenen Mekanik Balıklar

Denizlerde gemilerin ve teknelerin kullanılması Eski Mısırlılar (MÖ 3000) zamanına kadar uzanırken ilk denizaltı günümüzden ancak dört yüzyıl öncesinde yapılabildi. Kullanılmaya başlanmalarının üzerinden o kadar zaman geçmiş olmasına rağmen denizaltılarda hareket mekanizması açısından herhangi bir köklü değişim olmamış. Sadece iyileştirme kapsamında, hareketi sağlayan pervaneleri besleyen motor tiplerinde veya pervanelerin kanat profillerinde yenilikler yapılmış, ancak bunlar yapısal bir değişikliğe sebep olmamış. Su altında arama, kurtarma, keşif ve deniz altında savunma görevleri gibi alanlarda kullanılabilen denizaltıların sessiz çalışması ve arkasında türbülanslı akış izi bırakmaması gerekebilir.

**B**inlerce yıldır deniz altında yaşayan kalamarlar ise performanslarıyla mühendislik açısından bakıldığında ön plana çıkıyor. Örneğin bir kalamar su altında bir saniyeden daha az bir sürede yaklaşık 35-40 km/saat hıza ulaşabilir ve gözlerinin hemen yanında bulunan lülesini istediği yönün tersine çevirip suyu püskürttüğünde gitmek istediği yöne doğru yüksek ivmeyle hızlanır. Bu özellikleri onları sualtının mükemmel yüzücülerini yapar. Kalamarın yüksek hızlara kısa sürede çıkabilmesi ve olabilecek en düşük dirence maruz kalması bu balıklara su altında düşmanlarından kaçmak ya da avlarını yakalamak için paha biçilmez bir fırsat verir.

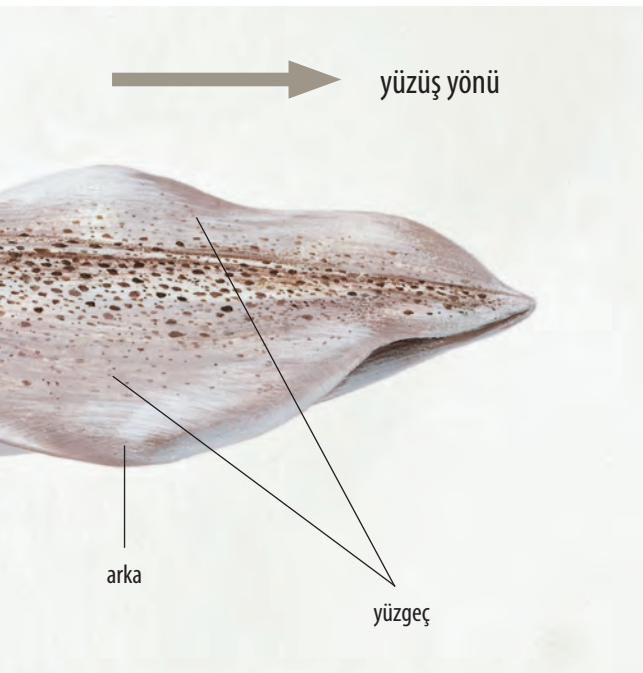
Peki, kalamarlar bu kadar yüksek hızlara nasıl ulaşabilir? Kalamar tipik olarak kafadan bacaklılar ailesindedir. Şekil 1'de gösterildiği gibi kafası vücudunun orta bölümündedir. Bacakları ve kolları ön tarafta, yüzgeçleri arka taraftadır. Kalamarlar karın boşluklarını biraz şişirerek karın içi basıncı vakuma çevirir ve çevrelerindeki suyu karın boşluklarına doldururlar. Sonrasında karın duvarlarını sıkarak karın boşluklarındaki suyun basıncını artırır ve gözlerinin yanındaki bir lüle yardımıyla basınçlı suyu gidecekleri yönün aksi yönde püskürtürler. Başlangıçta kalamarın karın bölgesinde durgun halde bulunan suyun püskürtülmesiyle suyun momentumu değişir ve kalamara ters yönde, eşit büyüklükte itme kuvveti sağlar.

**Şekil 1**  
Kalamarın dış yüzeyindeki organları



Kalamaların ani hareket ve manevra kabiliyeti hidrodinamik alanında çalışan araştırmacılara da ilham vermiş. Bu bağlamda Yeditepe Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü araştırmacıları tarafından yürütülen ve TÜBİTAK 3501 Kariyer Geliştirme Programı tarafından desteklenen bir projede, kalamaların hareket mekanizması modellenmiş ve bu modelin ileride geliştirilecek mekanik bir kalamara aktarılması hedeflenmiş. Deniz altında arama kurtarma, keşif ve savunma görevlerinde kullanılacak robot kalamara aktarılacak hareket mekanizması son derece önemli. Bu sayede, robot kalamar tıpkı bir kalamar gibi suyu içine alıp bu suyu gideceği yönün aksi yönde püskürterek hareket edebilecek ve yüksek ivmelere ulaşabilecek. Bahsedilen mekanizmada mekanik parçalar, örneğin pervane olmadığından robot kalamar sessizce ilerleyebilecek. Kamera, ışık ve robot kol gibi uzaktan kontrol edilen araçlara da sahip olabileceğinden sualtı keşif ve arama kurtarma görevlerinde başarıyla kullanılacak.

Robot kalamar geliştirilebilmesi için gerçek kalamaların hareket mekanizmasının tam olarak bilinmesi gerekiyor. Karınlarına ne kadar su aldıkları, suyu hangi hızda püskürttükleri, suyun püskürtülmesi ve kalamaların su içindeki hareketi sırasında vücutlarının aldığı şekil, ürettikleri itki kuvveti ve yüzme sırasında suyun uyguladığı direnç kuvvetinin büyüklüğü kalamaların yüzme mekanizmalarını anlamada temel oluşturan değişkenler. Bu parametrelerin birbirleriyle olan etkileşiminin tam olarak bilinmesi ile robot kalamar tasarımı için gereken akış fiziği anlaşılacaktır.



Bu noktada ilk olarak kalamaların geometrilerinin hassas bir şekilde belirlenebilmesi için bilgisayarlı tomografi ile Loliginidae ailesinden olan *Doryteuthis pealeii* türü kalamaların değişik pozisyonlarda görüntüleri alınmış. İçleri silikon ile doldurulup tomografi cihazına bir noktadan asılarak yerleştirilen yedi kalamaların görüntüleri Şekil 2'de görülüyor.

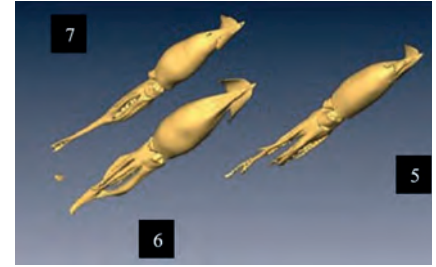
Elde edilen kalamar görüntülerinden hesaplamalı akışkanlar dinamiği modelleri oluşturularak kalamaların sudaki hareketi bilgisayar simülasyonları yardımıyla anlaşılmasına çalışılmış. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği modelleriyle robot kalamaların hız ve basınç değerleri elde edilip oluşacak sürtünme ve direnç kuvvetleri ile robot kalamaların ön ve arkasında basınç farkından doğacak basınç kuvvetleri hesaplanmıştır.

Çalışmada kalamalar üzerine daimi akış analizleri yapılarak kalamaların değişik hızlarda direnç katsayısı belirlenmiştir. Aynı kalamar modelleri belli hız programlarını izleyerek durgun halden ivmelendirilmiş ve farklı hız profillerinde (yani hızlanmalarında) maruz kaldıkları direnç, katma kütle, basset (sınır tabakası gelişiminden kaynaklanan kuvvet) ve eylemsizlik kuvvetleri hesaplanarak kalamar tarafından üretilmesi gereken toplam itme kuvvetleri ortaya çıkmıştır. Kalamaların gözünün yanında bulunan ve suyu püskürtmek için kullandığı lüle incelendiğinde yapısının hayli kaslı olduğu gözlemlenmiş ve kalamaların bu lüle çapını azaltıp artırdığında yüzme performansındaki değişim değerlendirilmiştir. Bütün kalamar modellerinde lüle çapı arttıkça daha yüksek itme verimi elde edildiği görülmüştür.

Sonuç olarak üzerinde çalışma yapılan cisimlerin hidrodinamik özellikleri, bu cisimlerin su altında iken değişik hızlarda üzerlerindeki akışı anlamamıza katkıda bulunuyor. Elde edilen sonuçlar sualtı araçlarının tasarımı için önemli bilgi ve deneyim sağlıyor.

#### Kaynaklar

- Tabatabaei, M. M. ve Olcay, A. B., "Investigation of a longfin inshore squid's swimming characteristics and an underwater locomotion", *Applied Ocean Research*, Cilt 55, s. 76-88, 2016.
- Tabatabaei, M. M., Okbaz, A., Olcay, A. B., "Numerical investigation of a longfin inshore squid's flow characteristics", *Ocean Engineering*, Cilt 108, s. 462-470, 2015.
- Olcay, A. B., Tabatabaei, M. M., Gokcen, M. G. ve Heperkan, H., "Drag force and jet propulsion investigation of a swimming squid", *Experimental Fluid Mechanics Conference, Cesky Krumlov, Çek Cumhuriyeti*, 2014.
- Tabatabaei, M. M., Olcay, A. B., Gokcen, M. G., Okbaz, A. ve Heperkan, H., "Investigation of hydrodynamic drag in a swimming squid", 7. Uluslararası Katılımlı Ulusal Biyomekanik Kongresi, Isparta, Süleyman Demirel Üniversitesi, 16-18 Ekim 2014.
- Olcay, A. B., Tabatabaei, M. M., Gokcen, M. G., Okbaz, A. ve Heperkan, H., "Understanding flow characteristics of swimming squid using 2D axisymmetric numerical model", 7. Uluslararası Katılımlı Ulusal Biyomekanik Kongresi, Isparta, Süleyman Demirel Üniversitesi, 16-18 Ekim 2014.
- Gokcen, M. G. ve Olcay, A. B., "Bir Kalamarın 3-Boyutlu Sonlu Elemanlar Modelinin Bilgisayarlı Tomografi Yardımıyla Oluşturulması", 7. Uluslararası Katılımlı Ulusal Biyomekanik Kongresi, Isparta, Süleyman Demirel Üniversitesi, 16-18 Ekim 2014.



**Şekil 2**  
Bilgisayarlı tomografiyle elde edilen kalamar görüntüleri

Şekil üzerindeki 1, 2, 3 ve 4 rakamları içlerine şeffaf silikon sıkılarak doldurulmuş değişik boylardaki kalamaları gösterirken 5, 6 ve 7 rakamları ise içlerine beyaz silikon sıkılarak doldurulmuş değişik boylardaki kalamaları göstermektedir.