



**PROF. DR. BAHİRİ ŞAHİN**  
YILDIZ TEKNİK  
ÜNİVERSİTESİ REKTÖRÜ



**ÜMİT GÜNEŞ**  
ARAŞTIRMA GÖREVLİSİ

## HAYVANLAR VE ARAÇLARDA HIZ VE BOYUT İLİŞKİSİNİN ANALİZİ İÇİN BİR MÜHENDİSLİK YAKLAŞIMI

**HEM HAYVANLARDA HEM DE ARAÇLARDA HIZ BOYUT ARASINDAKİ İLİŞKİ FİZİK KURALLARI KULLANILARAK BİZLE BERABER DUKE ÜNİVERSİTESİ MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ VE MALZEME BİLİMLERİ BÖLÜMÜNDEN ÖĞRETİM ÜYESİ ADRIAN BEJAN VE DÜNYANIN EN BÜYÜK UZAY ROKETİ ÜRETİCİ FİRMASINDAN BİRİ OLAN BLUE ORIGIN'İN KIDEMLİ MÜHENDİSİ JORDAN CHARLES'İN OLUŞTURDUĞU EKİP İLE MATEMATİKSEL BİR MODEL GELİŞTİRİLEREK NATURE SCIENTIFIC REPORTS DERGİSİNDE 27 AĞUSTOS 2018 TARİHİNDE YAYINLANDI [1].**

**D**oğadaki hayvanların ve uçakların hız ve boyut ilişkisine bakıldığında en hızlı hayvanların (örneğin çita) ya da en hızlı uçakların (savaş uçakları) çok hızlı olmasına rağmen bunların boyut (ağırlık) olarak en büyük olmadığı görülmektedir. Daha önceki çalışmalarda<sup>[2]</sup> bu durumun farkına varılmış ama bunun arkasında yatan neden sorusunun cevabı fizik kuralları çerçevesinde bulunamamıştır. Aşağıdaki Tablo 1'de bazı aralıklarda hayvanların ağırlıkları ve hızları sunulmuştur. Daha kapsamlı bilgiler ise Şekil 1'de sunulmuştur.

Benzer durumu uçaklarda da görmek mümkündür. Aşağıdaki Tablo 2'de bazı aralıklarda savaş ve ticari uçakların ağırlıkları ve hızları sunulmuştur. Daha kapsamlı bilgiler ise Şekil 2'de sunulmuştur.

Hem hayvanların hem de uçaklar için verilen bilgilerde görüldüğü gibi ağırlık arttıkça hız bir yere kadar artmakta ve ondan sonra azalmaktadır. Grafiğini çizdiğimizde



bir çan görünümü edilmektedir.

En hızlı hayvan ve uçaklara baktığımızda bunların hareketlerini uzun süre sürdürmediğini ve diğerleri ile mukayese ettiğimizde ise yüksek hızla uzun süre seyahat edemediklerini görmekteyiz. Hızlı olduğu zamanlar vardır ama ömürlerinin büyük bir bölümünü dinlenerek geçirmektedir. Çita bu yüksek hızla günde belki yarım saat koşabilmektedir. Aynı durum savaş jetleri için de geçerlidir. Hızlı olmalarına rağmen ömürlerinin çoğunu bekleyerek geçirmektedir. Bir fil ya da yolcu uçağı düşünülduğünde ise nispeten daha yavaştır ama ömrünün çoğunu seyahat halinde geçirmektedir. Bu aslında bizim çok tanıdık tanıdık olduğumuz Aesop'un kaplumbağa ile tavşan fablını hatırlatmaktadır.

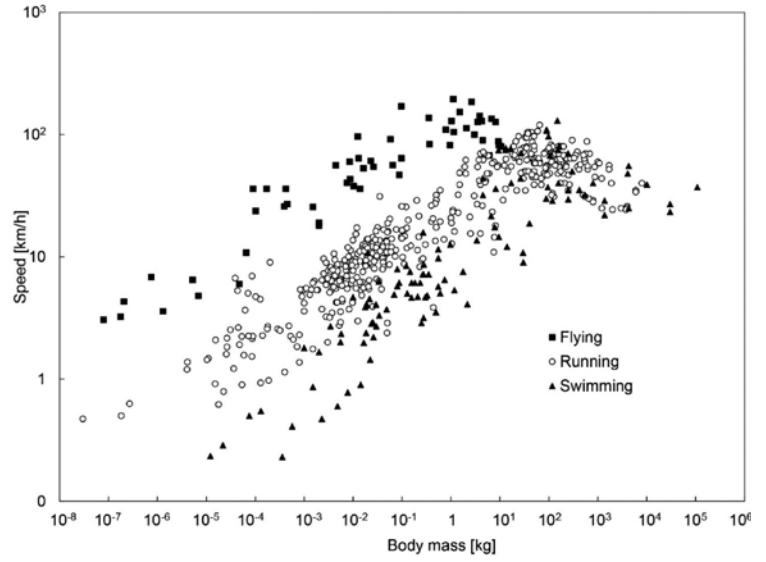
Hareketin iki farklı bileşeni matematiksel olarak modellenmiştir. Bunlarda birisi hızın sıfırdan seyahat hızına ulaştığı ivmelenme hareketi diğeri ise sabit hızla yapılan seyahat hareketidir.



**TABLO 1: BAZI HAYVANLARIN BOYUT VE HIZ BÜYÜKLÜKLERİ**

HAYVAN	AĞIRLIĞI	HIZI
FARE	200 gr	12 km/h
TAVŞAN	2 kg	70 km/h
ÇİTA	50 kg	110 km/h
DEVE	500 kg	5 km/h
FİL	6 ton	2 km/h

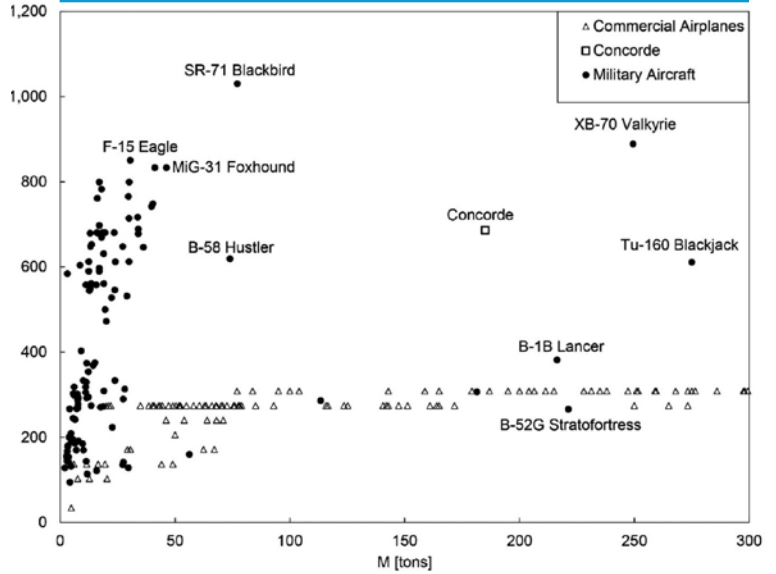
**ŞEKİL 1: SUDA, KARADA VE HAVADA YAŞAYAN HAYVANLARIN BOYUT VE HIZ DEĞERLERİ<sup>1</sup>**



**TABLO 2: BAZI UÇAK TÜRLERİNİN BOYUT VE HIZ BÜYÜKLÜKLERİ**

UÇAK	AĞIRLIĞI	HIZI
HONDA JET	5 ton	682 km/h
F-16	12 Ton	2100/h
F-15	27 ton	3300 km/h
F-35	30 ton	1900 km/h
BOEİNG 787	250 ton	903 km/h
ANTONOV 124	392 ton	800 km/h

**ŞEKİL 2: SAVAŞ VE TİCARİ UÇAKLARIN BOYUT VE HIZ BÜYÜKLÜKLERİ<sup>1</sup>**



KARTAL 3 KM YUKARILARI ÇIKABİLİRKEN BOEING 787 İSE 13.000 KM'LERE KADAR ÇIKABİLMEKTEDİR. YÜKSEKLİK FAKTÖRÜNÜ ÇIKARARAK İŞLEM YAPILINCA ASLINDA KUŞLARLA UÇAKLARIN BOYUT HIZ İLİŞKİNİNİN AYNİ TRENDE OLDUĞU GÖRÜLMÜŞTÜR.

Herhangi bir hareket için harcanacak güç denklem 1'deki gibi, harcanan ısı ise denklem 2'deki gibi gösterilmektedir.

$$W=\eta Q$$

$$Q=mH$$

Burada  $\eta$ =yakıt sarfiyatı,  $H$ =yakıtın ısıl değeridir.

Verim ifadesi daha önceki çalışmalarla denklem 3'deki gibi ifade etmek mümkündür<sup>[3]</sup>.

$$\eta = C_1 M^\alpha$$

Burada  $C_1$  araçtan araca değişen bir katsayı,  $M$  aracın ağırlığı,  $\alpha$  ise helikopterler için 0,25 ve uçaklar için 0.14 olan bir katsayıdır.

Denklem 1, 2 ve 3'ü beraber yazdığımızda ise denklem 4 elde edilir.

$$W=C_1 H M^\alpha m$$

Hareketin birinci bölümü olan ivmelenme için harcanılan güç aynı zamanda aracı

$$C_1 H M^\alpha m = M \frac{dV}{dt} V$$

Bu denklemden hızlanma süresi olan  $t_a$  (Denklem 6) hesaplanır.

$$t_a = \frac{M^{1-\alpha} V_c^2}{2C_1 H m_a}$$

Burada  $V_c$  seyahat hızı ve  $\bar{m}_a$  ortalama yakıt tüketimidir.

Hareketin ikincisi bölümü ise hızın sabit olduğu bölüm olan seyahat kısmıdır.

Teorik olarak daha önceki çalışmalarda<sup>[4]</sup> seyahat hızının denklem 7'deki gibi olduğu ifade edilmiştir.

$$V_c = C_2 M^{1/6}$$

Birim zamandaki yer değiştirme hız olduğu için  $t_c$  (seyahat süresi),  $L_c$  (seyahat mesafesi) ve  $V_c$  (seyahat hızına) bağlı olarak denklem 8'deki gibi gösterilir.

$$t_c = \frac{L_c}{V_c}$$

Denklem 8, Denklem 7'in içine yazıldığında  $t_c$  ifadesi bulunur (Denklem 9).

$$t_c = \frac{L_c}{C_2 M^{1/6}}$$



Tüm bu ifadelerden sonra artık belli bir mesafeyi ( $L$ ) en kısa sürede ( $t_a + t_b$ ) fiziksel olarak denklem 10'daki gibi ifade etmemiz mümkün olmuştur.

$$\frac{t_a + t_c}{L}$$

Artık ivmelenme hareketindeki mesafe ile seyahat hareketindeki mesafesinin tamamını en hızlı nasıl gidileceği matematiksel olarak bulunmaktadır.

Hareketin iki bileşeni kullanılarak geliştirilen bu matematiksel modelin sonucu ile hayvan ve uçakların hız ile ağırlık arasındaki ilişkinin açıklanmasına katkı sağlamıştır. Böylelikle hız ve boyut arasındaki ilişki için gözlemlere dayalı olan yaklaşım teorik olarak da desteklenmiş oldu.

Ayrıca, çalışmanın bu sonucunun yanı sıra geliştirilen bu teorik model 2 önemli sonucu daha göstermektedir. Birincisi uçakların boyuta bağlı hız trendinin kuşların hız trendinden neden daha yüksek olduğunun bulunması olmuştur. Çünkü yükseklere çıkıldıkça havanın yoğunluğu düşmekte ve buna bağlı olarak sürtünme direncinin azalmakta ve teorik hız daha yüksek olmaktadır. Kartal 3 km yukarıları çıkabilirken Boeing 787 ise 13.000 km'lere

kadar çıkabilmektedir. Yükseklik faktörünü çıkararak işlem yapılıncası aslında kuşlarla uçakların boyut hız ilişkisinin aynı trende olduğu görülmüştür. İkinci sonuç en yüksek hızla olan yüzen hayvanlar ile uçan hayvanlar arasındaki boyut oranının teorik olarak gösterilmesi olmuştur. Matematiksel modelde hızın ortamın yoğunluğu ile direkt orantılı olduğu görülmüştür. Suyun yoğunluğu havanın yoğunluğunun yaklaşık 1000 katıdır. Dolayısıyla teorik sonuçlar en hızlı uçan hayvanların boyutunun en hızlı yüzen hayvanların boyutundan yaklaşık 1000 kat daha düşük olduğunu da göstermektedir.

#### KAYNKLAR:

<sup>[1]</sup> A. Bejan, U. Gunes, J. D. Charles, and B. Sahin, "The fastest animals and vehicles are neither the biggest nor the fastest over lifetime," *Sci. Rep.*, vol. 8, no. 1, p. 12925, Aug. 2018.

<sup>[2]</sup> M. R. Hirt, W. Jetz, B. C. Rall, and U. Brose, "A general scaling law reveals why the largest animals are not the fastest," *Nat. Ecol. Evol.*, vol. 1, no. 8, pp. 1116–1122, Aug. 2017.

<sup>[3]</sup> R. Chen, C. Y. Wen, S. Lorente, and A. Bejan, "The evolution of helicopters," *J. Appl. Phys.*, vol. 120, no. 1, p. 014901, Jul. 2016.

<sup>[4]</sup> A. Bejan and J. H. Marden, "Unifying constructal theory for scale effects in running, swimming and flying," *J. Exp. Biol.*, vol. 209, no. 2, pp. 238–248, Jan. 2006.