

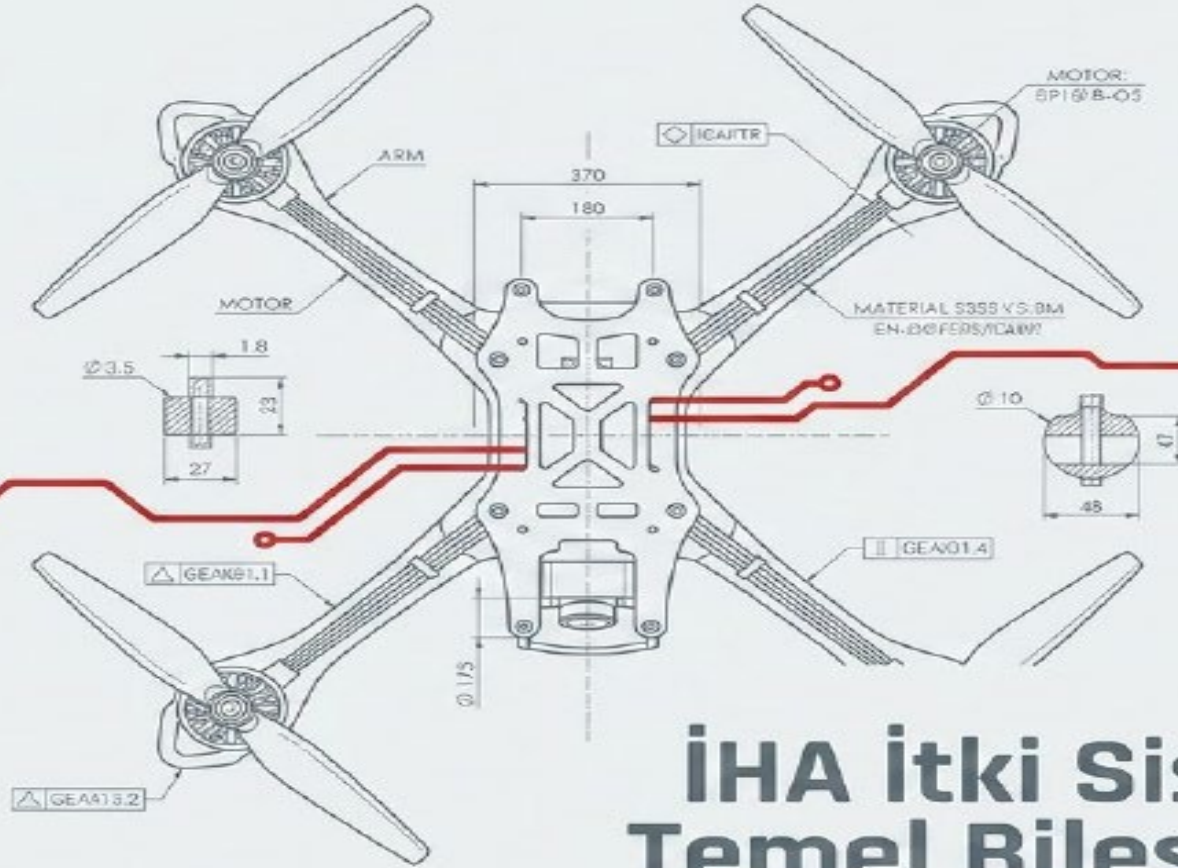


TAŞKÖPRÜ
MESLEK
YÜKSEKOKULU

ELEKTRONİK VE OTOMASYON BÖLÜMÜ İNSANSIZ ARAÇ TEKNİKLERİ

İAT102 İNSANSIZ ARAÇ SİSTEMLERİ TASARIMI

4. HAFTA İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI

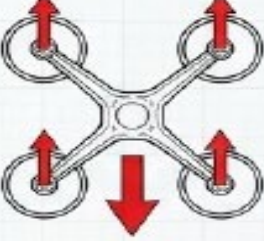
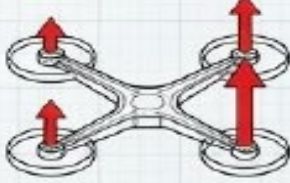
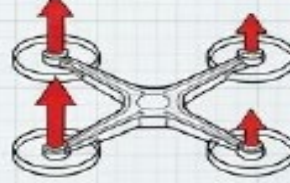
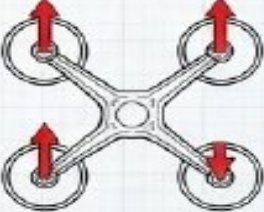
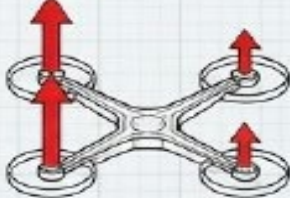
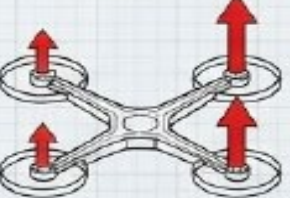


İHA İtki Sistemleri: Temel Bileşenler ve Uçuş Dinamikleri



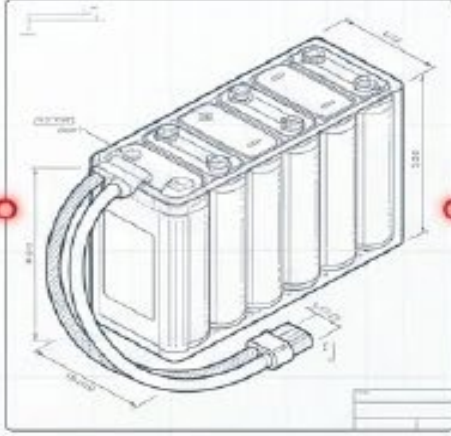
Döner Kanatlı Araçlarda Elektrikli İtki Zincirinin Mühendislik Temelleri

Uçuş Dinamikleri ve Kontrol

Vertical Axis	Hover Matrix	Maneuver Axis	
	Dengede Kalma (Hover): $F_{net} = W$ 	Yunuslama (Pitch)  İleri ($F_4 + F_3 > F_1 + F_2$) / Geri ($F_1 + F_2 > F_4 + F_3$)	Yuvarlanma (Roll)  Sağa ($F_1 + F_4 > F_2 + F_3$)
	Yükselme / Alçalma  $F_{net} > W$ (Yukarı Ok), $F_{net} < W$ (Aşağı Ok)	Yuvarlanma (Roll)  Sağa ($F_1 + F_3 > F_2 + F_4$) / Sola ($F_2 + F_4 > F_1 + F_3$)	Yalpa (Yaw) 

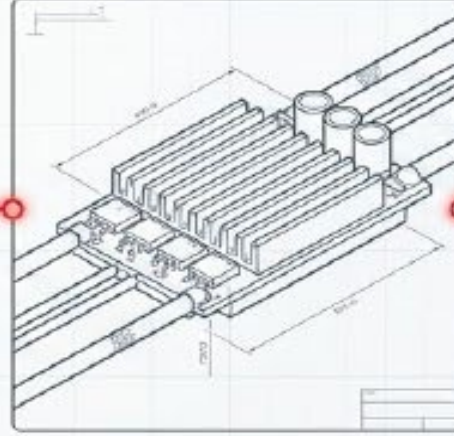
Her hareket, 4 motor arasındaki kusursuz itki asimetrisi ile sağlanır.

İtki Sisteminin Anatomisi



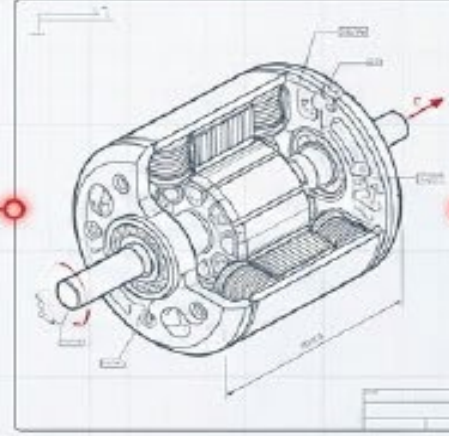
LiPo Batarya (Enerji)

Sistemin Kalbi. İhtiyaç duyulan elektrik enerjisini depolar.



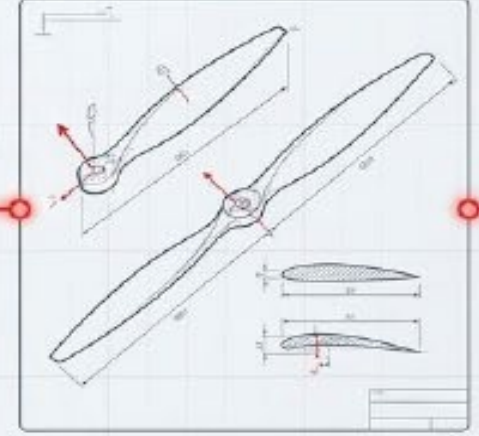
ESC (Kontrol)

Sistemin Beyni. Bataryadan gelen akımı yönlendirerek motor hızını belirler.



Motor (Dönüşüm)

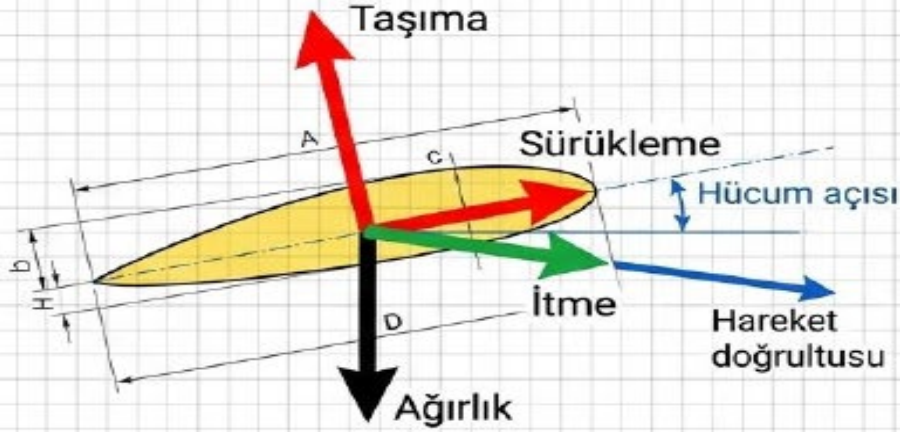
Sistemin Kası. Elektrik enerjisini mekanik dönüş hareketine çevirir.



Pervane (İtki)

Sistemin Kanatları. Mekanik dönüşü aerodinamik kaldırma kuvvetine dönüştürür.

Pervane: Havadaki Kanatlarımız



Pervane bir kanattır. Üst yüzeyde hızlanan hava, alt yüzeyde basınç oluşturarak kaldırma kuvveti sağlar.

$$T = c_T \rho r^4 \pi^2 \omega^2$$

c_T : Pervane itki sabiti
 ρ : Havanın yoğunluğu (Deniz seviyesinde 1,225 kg/m³)
 r : Pervane yarıçapı
 ω : Pervane açısal hızı (rad/s)

Fırçasız (BLDC) Motor Teknolojisi

Çalışma Prensibi

Sargılara uygulanan akım, sabit mıknatıslara zıt manyetik alan oluşturur. BLDC'lerde bu akım yön değişimi ESC ile sağlanır, sürtünme (fırça) yoktur.

BLDC Avantajları

- ✓ - Yüksek verim
- ✓ - Sürtünmesiz ve sessiz çalışma
- ✓ - Sabit tork ile hassas hız kontrolü
- ✓ - Kompakt boyut, yüksek moment
- ✓ - Uzun ömür ve sıfır karbon tozu

BLDC Dezavantajları

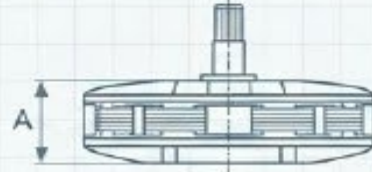
- ✗ - Yüksek maliyet
- ✗ - Karmaşık kontrol devresi gereksinimi
- ✗ - ESC zorunluluğu



Motor Seçim Kriterleri: KV ve Stator

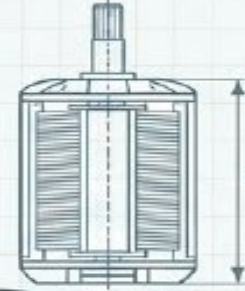
Stator Geometrisi

Geniş Stator
(Genişlik - A)



Düşük devirde **Yüksek Tork**

Uzun Stator
(Yükseklik - B)



Yüksek devirde **Yüksek Güç**

KV Değeri (Hız Sabiti)

$$\text{RPM} = \text{KV} \times \text{Volt}$$

Örnek Hesap

Sistem: 900KV Motor + 3S LiPo (12.6V Max)

Sonuç: $900 \times 12.6 = 11.340$ Devir/Dakika (RPM)

ESC: Sistemin Beyni

1 Pik Akım Tehlikesi

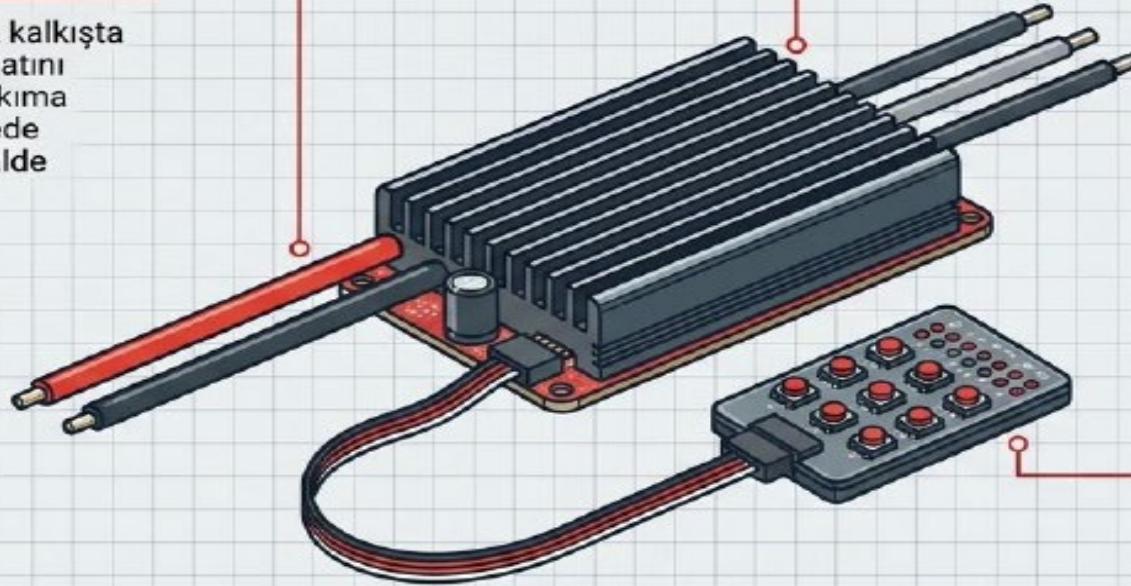
Fırçasız motorlar ilk kalkışta normal akımın 3-4 katını çeker. ESC, bu pik akıma dayanacak kapasitede seçilmelidir. Aksi halde transistörler yanar.

2 Termal Yönetim

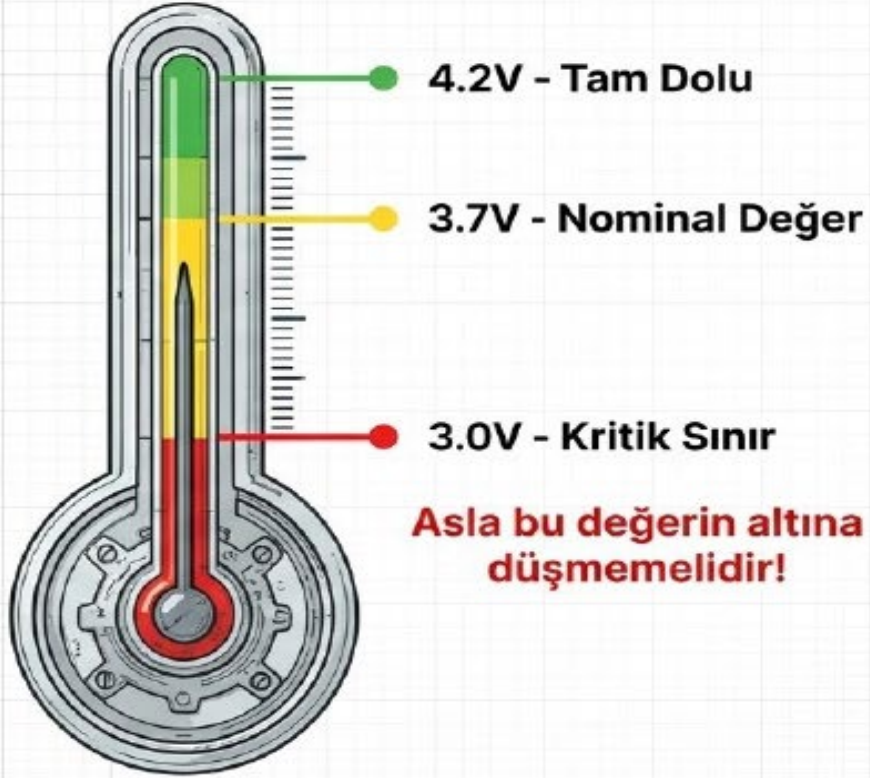
Yüksek akım aşırı ısı üretir. ESC, üzerindeki soğutucu kanatçıklar sayesinde İHA üzerinde hava akımının en yüksek olduğu yere konumlandırılmalıdır.

3 Programlanabilirlik

Yumuşak başlatma, düşük voltaj kesicisi (Cut-off) ve dinamik frenleme gibi özellikler parametrik olarak ayarlanabilir.

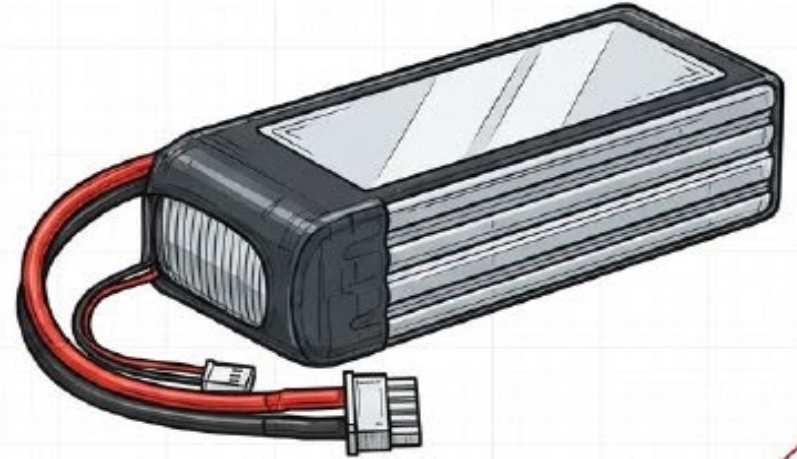


Enerji Kaynağı: LiPo Bataryalar



S Değeri Nedir?

- Hücrelerin seri bağlanmasını ifade eder.
- 3S: $3 \times 3.7V = 11.1V$
- 6S: $6 \times 3.7V = 22.2V$



Sistem Sentezi ve Verimlilik

Senaryo A (Düşük Voltaj)

Yüksek verim -> Daha uzun uçuş süresi. Ancak, düşük itki kuvveti üretilir.



Senaryo B (Yüksek Voltaj)

Yüksek itki kuvveti. Ancak, ağır batarya -> Toplam kalkış ağırlığı (W) artar -> Verim düşer.



Anahtar Çıkarım: İdeal itki sistemi yoktur; görev amacına göre (hız vs. havada kalma süresi) optimize edilmiş bir denge vardır.

Kritik Tasarım Uyarıları



Batarya Güvenliği

Kural: Hiçbir LiPo hücresinin voltajı 3.0V'un altına düşmemelidir.

Sonuç: Batarya kalıcı hasar görür veya tehlikeli şekilde şişer.



ESC Toleransı

Kural: ESC akım değeri, motorun sürekli akımına göre değil, ilk hareket anındaki 3-4 katlık pik akım değerine göre seçilmelidir.



Soğutma Mimarisi

Kural: ESC kapalı veya havasız bir kutuya saklanmamalıdır; gövdede hava akımının en yüksek olduğu yere konumlandırılmalıdır.

- Zhou, L., Pljonkin, A., & Singh, P. (2022). Modeling and PID control of quadrotor UAV based on machine learning. *Journal of Intelligent Systems*, 31(1), 1112–1122.
- Kazemi, M. H., & Tarighi, R. (2024). PID-based attitude control of quadrotor using robust pole assignment and LPV modeling. *International Journal of Dynamics and Control*.
- Affane, R., et al. (2023). Battery testing and discharge model validation for electric unmanned aerial vehicles (UAV). *Sensors*, 23(15), 6937.
- Khan, W., & Nahon, M. (2013). Toward an accurate physics-based UAV thruster model. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 18(4), 1269–1279.
- Zhu, X., et al. (2021). Aerodynamic performance of propellers for multirotor unmanned aerial vehicles: Measurement, analysis, and experiment. *Shock and Vibration*, 2021, 9538647.
- Yang, T., et al. (2023). Comparison studies on aerodynamic performances of a rotating propeller for small-size UAVs. *Chinese Journal of Aeronautics*.
- uavturkey.tubitak.gov.tr/egitim2019.html



TEŞEKKÜRLER