

PUHU Uydu Sistemleri Online Hackathon Soruları
(17 Temmuz – 19 Temmuz 2026)

Temmuz 2026



NECMETTİN
ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ

1. Gömülü Sistemler ve Uçuş Yazılımı Ekibi

Bu ekip; yerleşik bilgisayar, mikrodenetleyici/mikroişlemci mimarisi, uçuş yazılımı, gerçek zamanlı görev yönetimi, sensör haberleşmesi, telemetri üretimi, komut işleme, veri kaydı, hata tespiti, güvenli mod ve yazılım güvenilirliğinden sorumludur.

1.1. Araştırma Sorusu

Uydu görevlerinde kullanılan gömülü sistemler ve uçuş yazılımları hakkında araştırma yapınız.

Cevabınızda aşağıdaki konuları açıklayınız:

- Yerleşik bilgisayarın temel görevleri
- Gerçek zamanlı işletim sistemi, zamanlayıcı tabanlı mimari veya bare-metal uçuş yazılımı yaklaşımları
- Görev zamanlayıcı yapısı
- Sensörlerden veri toplama
- Sensör haberleşme protokolleri
- Telemetri paketi oluşturma
- Yer istasyonu komutlarını işleme
- Faydalı yük kontrol mantığı
- Veri kayıt ve görev hafızası yönetimi
- Watchdog timer kullanımı
- Hata tespiti, hata izolasyonu ve hata giderme
- Güvenli mod yaklaşımı
- Hata kayıt sistemi ve olay loglama
- Yazılım güvenilirliği ve modüler yazılım mimarisi

Sonuç bölümünde PUHU için güvenilir ve modüler bir uçuş yazılımı mimarisinde hangi yazılım modüllerinin bulunması gerektiğini listeleyiniz.



Ayrıca bu modüllerin birbirleriyle nasıl veri alışverişi yapacağını basit bir blok diyagram ile gösteriniz.

1.2. Alan Becerisi Ölçen Soru

PUHU için temel bir uçuş yazılımı mimarisi tasarlayınız.

Yazılımın aşağıdaki görevleri yerine getirmesi beklenmektedir:

- Sensörlerden düzenli veri okuma
- Sensör verilerinin doğruluk ve aralık kontrolünü yapma
- Telemetry paketi oluşturma
- Yer istasyonundan gelen komutları yorumlama
- Faydalı yükün EPS/PCDU veya güç anahtarlama birimi üzerinden açma/kapatma komutlarını yönetme
- Batarya seviyesi düşükse güç tasarruf moduna geçme
- Kritik sıcaklık durumunda güvenli moda geçme
- Zaman, yörünge bilgisi veya yer istasyonu geçiş planına göre veri aktarım moduna geçme
- Verileri hafızaya kaydetme
- Hata durumlarını loglama
- Watchdog timer ile yazılım kilitlenmelerinin tespit edilmesi ve kontrollü yeniden başlatma/hata toparlama sürecinin tetiklenmesi

Cevabınızda aşağıdaki çıktılarından en az ikisini sununuz:

- Blok diyagram
- Akış diyagramı
- Pseudo-code
- Görev zamanlayıcı tablosu
- Durum makinesi tasarımı
- Telemetry paketi örneği



Özellikle aşağıdaki operasyon modlarını tanımlayınız:

- Başlatma modu
- Güvenli mod
- Normal görev modu
- Veri aktarım modu
- Düşük güç modu
- Hata modu

Ayrıca her operasyon modu için hangi alt sistemlerin aktif olacağını ve hangi koşullarda mod geçişi yapılacağını belirtiniz.

2. Uydu Güç Sistemleri Ekibi

Bu ekip; uydu üzerinde elektrik enerjisinin üretilmesi, depolanması, dönüştürülmesi, dağıtılması ve görev boyunca güvenli biçimde yönetilmesinden sorumludur. Güneş paneli mimarisi, batarya yönetimi, güç dönüştürücüler, güç dağıtım birimi, ana güç hatları, yük anahtarlama, akım-gerilim korumaları, güç sistemi telemetrisi, kritik yüklerin korunması ve görev modlarına göre enerji önceliklendirmesi bu ekibin temel çalışma alanlarıdır.

2.1. Araştırma Sorusu

PUHU Uydu Projesi için güç sisteminin ön tasarımında kullanılabilecek farklı mimari yaklaşımları araştırınız ve karşılaştırınız.

Cevabınızda yalnızca güç tüketim hesabı yapmayınız; doğrudan uydu güç sistemi mimarisi kurmaya yönelik teknik bir değerlendirme sununuz.

Aşağıdaki konuları açıklayınız:

- Uydu güç sisteminin temel bileşenleri
- Güneş paneli dizilimi ve panel bağlantı mimarisi
- Batarya hücre seçimi ve batarya paketleme yaklaşımı
- Batarya Yönetim Sistemi'nin temel görevleri
- MPPT kullanımının avantajları ve sınırlamaları
- Regüle edilmiş ve regüle edilmemiş güç hattı yaklaşımları
- 3.3 V, 5 V, 12 V gibi farklı gerilim hatlarının oluşturulması



- DC-DC dönüştürücü seçimi ve verim etkisi
- Kritik yükler için kesintisiz güç sağlama yaklaşımı
- Kapatılabilir yükler için anahtarlama stratejisi
- Aşırı akım, düşük gerilim, ters akım, kısa devre ve latch-up korumaları
- Güç sistemi telemetrisinde ölçülmesi gereken temel parametreler

Ayrıca aşağıdaki üç güç mimarisi yaklaşımını karşılaştırınız:

1. **Basit batarya-bus tabanlı güç mimarisi**
2. **MPPT destekli güneş paneli-batarya mimarisi**
3. **Çoklu regüle güç hattına sahip dağıtılmış güç mimarisi**

Karşılaştırmanızda şu kriterleri kullanınız:

- Verim
- Karmaşıklık
- Güvenilirlik
- Arıza toleransı
- Geliştirme zorluğu
- Test edilebilirlik
- Kütle ve hacim etkisi
- Öğrenci ekibi tarafından geliştirilebilirlik
- PUHU görevi için uygulanabilirlik

Sonuç bölümünde PUHU için ilk aşamada nasıl bir güç sistemi mimarisinin daha uygun olabileceğini teknik gerekçelerle tartışınız. Cevabınızda mutlaka bir **ön güç mimarisi blok diyagramı** bulunmalıdır.

2.2. Alan Becerisi Ölçen Soru



PUHU uydusunda farklı alt sistemlerin farklı gerilim hatlarından beslendiği varsayılmaktadır. Adaydan bir ön güç hattı analizi yapması beklenmektedir.

Aşağıdaki yükler ve besleme gereksinimleri verilmiştir:

Yük	Besleme Hattı Akım	
Yerleşik bilgisayar	5 V	0.60 A
Sensör arayüz kartı	3.3 V	0.40 A
Veri kayıt birimi	5 V	0.35 A
Kontrol sistemi sensörleri	5 V	0.80 A
Kontrol sistemi aktüatör sürücüleri	12 V	0.70 A
Faydalı yük elektroniği	12 V	0.90 A
Haberleşme alıcı birimi	5 V	0.45 A
Haberleşme verici birimi	5 V	2.20 A
Isıtıcı hattı	Batarya hattı	1.10 A

Batarya hattı gerilimi hesaplamalarda nominal **7.4 V** olarak kabul edilecektir. Gerçek görev koşullarında batarya geriliminin şarj durumu, sıcaklık ve yük akımına bağlı olarak değişebileceği dikkate alınmalıdır.

Isıtıcı hattının doğrudan nominal batarya hattından beslendiği varsayılacaktır.

DC-DC dönüştürücü verimleri aşağıdaki gibidir:

Dönüştürücü Verim

7.4 V $\rightarrow$ 3.3 V %85

7.4 V $\rightarrow$ 5 V %88

7.4 V $\rightarrow$ 12 V %82

Aşağıdaki işlemleri yapınız:

1. Her yük için güç tüketimini W cinsinden hesaplayınız.



2. 3.3 V hattının toplam çıkış gücünü hesaplayınız.
3. 5 V hattının toplam çıkış gücünü hesaplayınız.
4. 12 V hattının toplam çıkış gücünü hesaplayınız.
5. Dönüştürücü verimlerini dikkate alarak batarya hattından çekilecek toplam giriş gücünü hesaplayınız.
6. Batarya hattından çekilecek yaklaşık toplam akımı hesaplayınız.
7. Haberleşme verici biriminin devreye girdiği anda sistemde ani akım artışı oluşursa hangi güç hattı veya dönüştürücü daha kritik hâle gelir? Açıklayınız.
8. Isıtıcı hattı ile haberleşme verici birimi aynı anda çalışırsa batarya hattı açısından ne tür riskler oluşabilir?
9. Bu yükler için bir **kritik yük / görev yükü / kapatılabilir yük** sınıflandırması yapınız.
10. Güç dağıtım mimarisinde hangi yüklerin bağımsız anahtarlanması gerektiğini belirtiniz.
11. Her güç hattı için ölçülmesi gereken telemetri değerlerini yazınız.
12. Bu sistem için basit bir **güç hattı blok diyagramı** çiziniz.

Cevabınızda yalnızca toplam güç hesabı değil, güç hattı tasarım mantığı da bulunmalıdır. Özellikle dönüştürücü verimi, batarya hattı akımı, yük önceliklendirmesi ve anahtarlama stratejisi teknik olarak yorumlanmalıdır.

3. Yer İstasyonu ve Uydu Haberleşme Sistemleri Ekibi

Bu ekip; uydu ile yer istasyonu arasındaki telemetri (TM), telekomut (TC) ve görev verisi haberleşmesinin planlanması, haberleşme mimarisinin oluşturulması, yer istasyonu altyapısının tasarlanması, RF bağlantısının yönetilmesi, anten sistemleri, haberleşme protokolleri, veri aktarım planlaması, link bütçe analizi, Doppler kayması düzeltilmesi ve görev operasyonlarının planlanmasından sorumludur.

3.1. Araştırma Sorusu

PUHU Uydu Projesi için yer istasyonu ve haberleşme sisteminin ön tasarım yaklaşımını araştırınız.

Çalışmanızda aşağıdaki konuları teknik olarak açıklayınız:

- Yer istasyonunun temel görevleri
- Telemetri (TM)



- Telekomut (TC)
- Görev verisi (Payload Data)
- RF haberleşme zinciri
- Yer istasyonu anten sistemleri
- Anten takip mekanizmaları
- Frekans bandı seçiminin haberleşmeye etkisi
- Link budget kavramı
- Fade margin
- Doppler kaymasının haberleşmeye etkisi
- Veri hızı ile haberleşme güvenilirliği arasındaki ilişki
- Yer istasyonu yazılımları
- Haberleşme protokolleri
- CCSDS standartlarının amacı
- AX.25, CSP veya benzeri haberleşme protokollerinin kullanım alanları
- Haberleşme sistemi telemetrisi
- Yer istasyonu operasyon planlaması

Araştırmanızın sonunda aşağıdaki çıktıları hazırlayınız:

1. PUHU için önerdiğiniz yer istasyonu mimarisini blok diyagram hâlinde gösteriniz.
2. Haberleşme zincirini (uydu anteninden yer istasyonu bilgisayarına kadar) blok diyagram olarak çizin.
3. PUHU görevi için en uygun haberleşme yaklaşımını teknik gerekçeleriyle açıklayınız.

3.2. Alan Becerisi Ölçen Soru

PUHU görevi için aşağıdaki yer istasyonu operasyon bilgileri verilmiştir.

Bir gün içerisinde uydu aşağıdaki sürelerde yer istasyonu görüş alanında kalmaktadır.

Geçiş Süre

- | | |
|---|-----------|
| 1 | 8 dakika |
| 2 | 11 dakika |



3 6 dakika

4 9 dakika

Görev sonunda indirilmesi gereken toplam görev verisi **520 MB**'tır.

Haberleşme sistemi için aşağıdaki bilgiler verilmiştir.

- Nominal veri hızı : **1 Mbps**
- Paket başlığı ve protokol yükü : **%15**
- Hata düzeltme (FEC) yükü : **%8**
- Telemetry paketleri her geçişte toplam **2 dakika** haberleşme süresi kullanmaktadır.

Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. Paket yükü ve hata düzeltme kayıplarını dikkate alarak gerçek kullanılabilir veri hızını hesaplayınız.
2. Her geçişte görev verisi için kullanılacak net süreyi hesaplayınız.
3. Bir geçişte indirilebilecek maksimum görev verisi miktarını hesaplayınız.
4. Tüm görev verisinin indirilmesi için teorik olarak kaç geçiş gerektiğini hesaplayınız.
5. Haberleşme penceresi tüm veriyi indirmeye yetmezse nasıl bir veri önceliklendirme stratejisi uygulanmalıdır?
6. Telemetry paketleri ile görev verisi aynı haberleşme penceresinde nasıl planlanmalıdır?
7. Yer istasyonunda bulunması gereken temel yazılım bileşenlerini listeleyiniz.
8. Yer istasyonu operatörü için haberleşme öncesi hazırlanması gereken kontrol listesini oluşturunuz.
9. Haberleşme sırasında mutlaka izlenmesi gereken telemetry parametrelerini yazınız.
10. Haberleşme operasyon sürecini gösteren basit bir akış diyagramı hazırlayınız.

Varsayımlarınızı açıkça belirtiniz. Hesap adımlarını gösteriniz. Gerekli gördüğünüz durumlarda tablo veya blok diyagram kullanabilirsiniz.

4. Kontrol Sistemleri Ekibi

Bu ekip; yönelim belirleme, yönelim kontrolü, sensör füzyonu, kontrol algoritmaları, kararlılık analizi, tepki tekeri, manyetik torklayıcı, jiroskop, manyetometre, güneş sensörü ve görev yönelimi gibi konulardan sorumludur.



4.1. Araştırma Sorusu

PUHU Uydu Projesi için yönelim belirleme ve kontrol sisteminin ön tasarım yaklaşımını araştırınız.

Cevabınızda aşağıdaki bileşen ve kavramları açıklayınız:

- Yönelim belirleme sisteminin görevi
- Yönelim kontrol sisteminin görevi
- Jirooskop
- Manyetometre
- Güneş sensörü
- Yıldız izleyici
- Tepki tekeri
- Manyetik torklayıcı
- Sensör füzyonu
- Kontrol kararlılığı
- Güvenli mod yönelimi

Ayrıca, görüntüleme veya haberleşme görevi yapan bir uyduda yönelim hassasiyetinin görev başarısını nasıl etkilediğini açıklayınız.

Sonuç bölümünde PUHU için ilk aşamada hangi sensör ve aktüatör kombinasyonunun daha uygulanabilir olabileceğini teknik gereklerle tartışınız.

4.2. Alan Becerisi len Soru

PUHU uydusunun hedef bölgeye yönelerek veri toplaması gerektiğı varsayılmaktadır. Ancak yönelim kontrolünde $\pm 5^\circ$ hata oluştuğı düşünülmektedir.

Aşağıdaki soruları cevaplayınız:

1. $\pm 5^\circ$ yönelim hatası görüntüleme görevini nasıl etkileyebilir?
2. Aynı yönelim hatası haberleşme bağlantısını nasıl etkileyebilir?
3. Yönelim hatasının temel kaynakları neler olabilir?
4. Jirooskop, manyetometre ve güneş sensörü verileri birlikte kullanılarak yönelim tahmini nasıl iyileştirilebilir?
5. Bu sistem için basit bir kontrol döngüsü blok diyagramı ziniz.



Blok diyagramda en az şu bileşenler bulunmalıdır:

- Referans yönelim
- Sensörler
- Yönelim tahmini
- Kontrol algoritması
- Aktüatör
- Uydu dinamiği
- Geri besleme

5. Isıl - Yapısal Tasarım Ekibi

Bu ekip; uydu ana yapısı, mekanik yerleşim, fırlatma yükleri, rijitlik, doğal frekans, malzeme seçimi, sıcaklık kontrolü, radyatör, ısıtıcı, yalıtım, ısıl genleşme ve faydalı yük hizasının korunmasından sorumludur.

Yapısal ve ısıl tasarım birlikte ele alınmalıdır. Panel kalınlığı ve malzemesi bir yandan rijitlik ile kütleyi, diğer yandan ısı iletimini ve sıcaklık dağılımını etkiler. Isıl kontrol elemanlarının kütlesi de uydunun doğal frekansını ve mekanik yerleşimini değiştirebilir.

5.1. Araştırma Sorusu

PUHU Uydu Projesi için bütünlüklük ısıl-yapısal ön tasarım yaklaşımını araştırınız.

Cevabınızda aşağıdaki konuları açıklayınız:

- Fırlatma sırasında uydu yapısına etki eden eksenel, yanal ve titreşim yükleri
- Mukavemet, rijitlik, yer değiştirme ve doğal frekans gereksinimleri
- Alüminyum, sandviç panel ve kompozit malzemelerin temel avantaj ve sınırlamaları
- Panel malzemesi ve kalınlığının kütle, rijitlik, ısı iletimi ve ısıl genleşme üzerindeki etkisi
- Yörüngedeki sıcak ve soğuk durumlar ile radyatör, ısıtıcı ve çok katmanlı yalıtım kullanımı
- Elektronik kart, batarya ve optik faydalı yük yerleşiminin hem titreşim hem de sıcaklık açısından değerlendirilmesi
- Isıl genleşmenin optik faydalı yük hizasına ve bağlantı elemanlarına etkisi
- Isıl vakum ve titreşim testlerinin temel amaçları

Araştırmanızın sonunda aşağıdaki çıktıları hazırlayınız:

- Yapısal ve ısıl tasarım arasındaki etkileşimi gösteren basit bir blok diyagram
- Katı alüminyum panel ile sandviç panel yaklaşımını kütle, rijitlik, ısı iletimi, üretim kolaylığı ve maliyet açısından karşılaştıran kısa bir tablo
- PUHU için önerdiğiniz yapısal-ısıl yaklaşım ve bu seçimin teknik gerekçesi



5.2. Alan Becerisi Ölçen Soru

PUHU uydusundaki optik faydalı yükün alüminyum bir taşıyıcı panel üzerine bağlandığı kabul edilmektedir. Bu panel hem fırlatma yüklerini taşımakta hem de faydalı yükte oluşan ısıyı radyatöre iletmektedir.

Panel kalınlığının artırılması rijitliği ve ısı iletimini artırırken panel kütlesini de artırmaktadır. Adaydan, verilen panel seçeneklerini yapısal ve ısıl gereksinimler bakımından karşılaştırması beklenmektedir.

Uydu ve tasarım bilgileri

Parametre	Değer
Başlangıç uydu kütlesi (faydalı yük dâhil)	45 kg
Faydalı yük kütlesi, m_p	12 kg
Panel açıklığı, L	0.46 m
Panel genişliği, b	0.46 m
Fırlatma ivmesi	$8 \times g$
Yapısal yük katsayısı	1.25
Maksimum panel yer değiştirmesi	1.0 mm
Minimum akma emniyet katsayısı	1.25
Minimum birinci yanal doğal frekans	35 Hz
Gövdenin eşdeğer yanal rijitliği, $k_{gövde}$	1.00×10^7 N/m
Isıl kontrol donanımı kütlesi	1,0 kg
Yerçekimi ivmesi, g	9.81 m/s ²

Not: Başlangıç uydu kütlesi olan 45 kg, 12 kg faydalı yükü içerir; faydalı yük taşıyıcı paneli ile 1,0 kg kabul edilen ısı kontrol donanımı bu kütleye dâhil değildir. Bu nedenle $m_{toplam} = 45 + m_{panel} + 1,0$ bağıntısında m_p ayrıca eklenmez.

Panel malzemesi: Alüminyum 6061-T6

Parametre	Değer
Elastisite modülü, E	69 GPa
Akma dayanımı, σ_y	276 MPa
Yoğunluk, ρ	2700 kg/m ³
Isıl iletkenlik, k	167 W/(m $\times$ K)
Isıl genleşme katsayısı, α_T	23.6×10^{-6} K ⁻¹

Aşağıdaki panel kalınlıkları değerlendirilecektir: t = 8 mm, 10 mm, 12 mm ve 14 mm.

Isıl tasarım bilgileri

Parametre	Değer
Faydalı yük ısı üretimi, Q	80 W
Radyatör sıcaklığı, T_r	20 °C
İzin verilen maksimum faydalı yük sıcaklığı, $T_{p,max}$	40 °C
İzin verilen maksimum bağıl ısıl uzama, ΔL_{izin}	0.15 mm

Hesaplamalarda aşağıdaki basitleştirilmiş bağıntıları kullanınız:



$$\begin{aligned}
P &= 1.25 \times m_p \times 8 \times g \\
I &= (b \times t^3) / 12 \\
M_{\max} &= (P \times L) / 4 \\
\sigma_{\max} &= [M_{\max} \times (t / 2)] / I \\
\delta_{\max} &= (P \times L^3) / (48 \times E \times I) \\
n_y &= \sigma_y / \sigma_{\max} \\
m_{\text{panel}} &= \rho \times b \times L \times t \\
k_{\text{panel}} &= (48 \times E \times I) / L^3 \\
m_{\text{toplam}} &= 45 + m_{\text{panel}} + 1.0 \\
1 / k_y &= 1 / k_{\text{gövde}} + 1 / k_{\text{panel}} \\
k_y &= (k_{\text{gövde}} \times k_{\text{panel}}) / (k_{\text{gövde}} + k_{\text{panel}}) \\
f_1 &= \frac{1}{2 \times \pi} \times \sqrt{\frac{k_y}{m_{\text{toplam}}}} \\
G &= (4 \times k \times b \times t) / L
\end{aligned}$$

Bağıntının fiziksel kabulü: Isının panel merkezinden iki karşı kenara, uzunluğu $L/2$ ve kesit alanı $b \times t$ olan iki simetrik ve paralel yoldan iletildiği kabul edilmiştir. Her yol için $G_{\text{yol}} = k \times b \times t / (L/2) = 2 \times k \times b \times t / L$ olur. İki yol paralel olduğundan toplam eşdeğer ısı iletkenlik $G = 4 \times k \times b \times t / L$ elde edilir.

$$\begin{aligned}
T_p &= T_r + Q / G \\
\Delta T_{\text{panel}} &= T_p - T_r \\
\Delta L &= \alpha_T \times (L / 2) \times \Delta T_{\text{panel}}
\end{aligned}$$

Isıl uzama modelleme notu: ΔT panel değeri, merkezden kenara olan $L/2$ uzunluğundaki iletim yolu için etkili ve konservatif sıcaklık farkı olarak kullanılmaktadır. Daha ayrıntılı bir modelde sıcaklık dağılımı boyunca ısıl uzama integrali alınmalıdır.

Aşağıdaki soruları cevaplayınız:

1. Faydalı yükün panele uyguladığı tasarım yükünü hesaplayınız.
2. Her panel kalınlığı için alan atalet momentini, maksimum eğilme gerilmesini, akma emniyet katsayısını, maksimum yer değiştirmeyi ve panel kütlesini hesaplayınız.
3. Hangi panel kalınlıklarının gerilme, emniyet katsayısı ve yer değiştirme gereksinimlerini sağladığını belirleyiniz.
4. Her panel kalınlığı için eşdeğer ısıl iletkenliği (G , W/K) ve faydalı yük sıcaklığını hesaplayınız. 40 °C sıcaklık sınırını kontrol ediniz.
5. Her panel seçeneği için toplam uydu kütlesini ve birinci yanal doğal frekansı hesaplayınız. 35 Hz sınırını kontrol ediniz.
6. Her panel seçeneği için 4. adımda hesapladığınız T_p değerini kullanarak $\Delta T_{\text{panel}} = T_p - T_r$ sıcaklık farkını belirleyiniz. Faydalı yükün panel merkezinde, radyatörün ise panel kenarında bulunduğu kabulüyle merkezden kenara olan serbest ısıl uzamayı $\Delta L = \alpha T$



$\times (L/2) \times \Delta T_{\text{panel}}$ bağıntısından hesaplayınız ve sonucu 0,15 mm optik hizalama sınırıyla karşılaştırınız.

7. Bütün sonuçları tek bir karşılaştırma tablosunda gösteriniz.
8. Yapısal ve ısı gereksinimleri birlikte değerlendirerek en uygun panel seçeneğini seçiniz. Hiçbir seçenek bütün gereksinimleri tek başına sağlamıyorsa izostatik/esnek bağlantı, düşük ısı genleşmeli ara parça veya termal kayış gibi bir iyileştirme öneriniz.
9. Panel kalınlığının rijitlik, kütle, doğal frekans, ısı iletimi, sıcaklık ve optik hizalama üzerindeki etkisini gösteren basit bir blok diyagram hazırlayınız.

Varsayımlarınızı açıkça belirtiniz ve hesap adımlarınızı gösteriniz. Nihai kararınızda yalnızca en düşük kütleyi değil; yapısal güvenliği, sıcaklık sınırını, doğal frekansı ve optik hizalamayı birlikte değerlendiriniz.

