

ÖZET

İstakoz Projesi, lobster-eye (istakoz gözü) optik prensibine dayanan asimetrik bir Mikro-Poroz Optik (MPO) plakasını, 6U CubeSat standardına uygun bir X-ışını görüntüleme payload'ı içinde barındıran bir mühendislik tasarımıdır. Sistem; optik plaka (OPA), optik tüp (OTY), taşıyıcı iskelet (YİS), orta destek bulkhead (DB), dedektör alt sistemi (DAS) ve elektronik bölümünden (EAB) oluşan 6 alt sistemin Fusion 360 üzerinde Python API ile parametrik olarak üretilmesi, Ansys ile yapısal ve termal doğrulanması ve Geant4 tabanlı bir optik simülasyon hattının kurulmasıyla geliştirilmiştir.

GİRİŞ

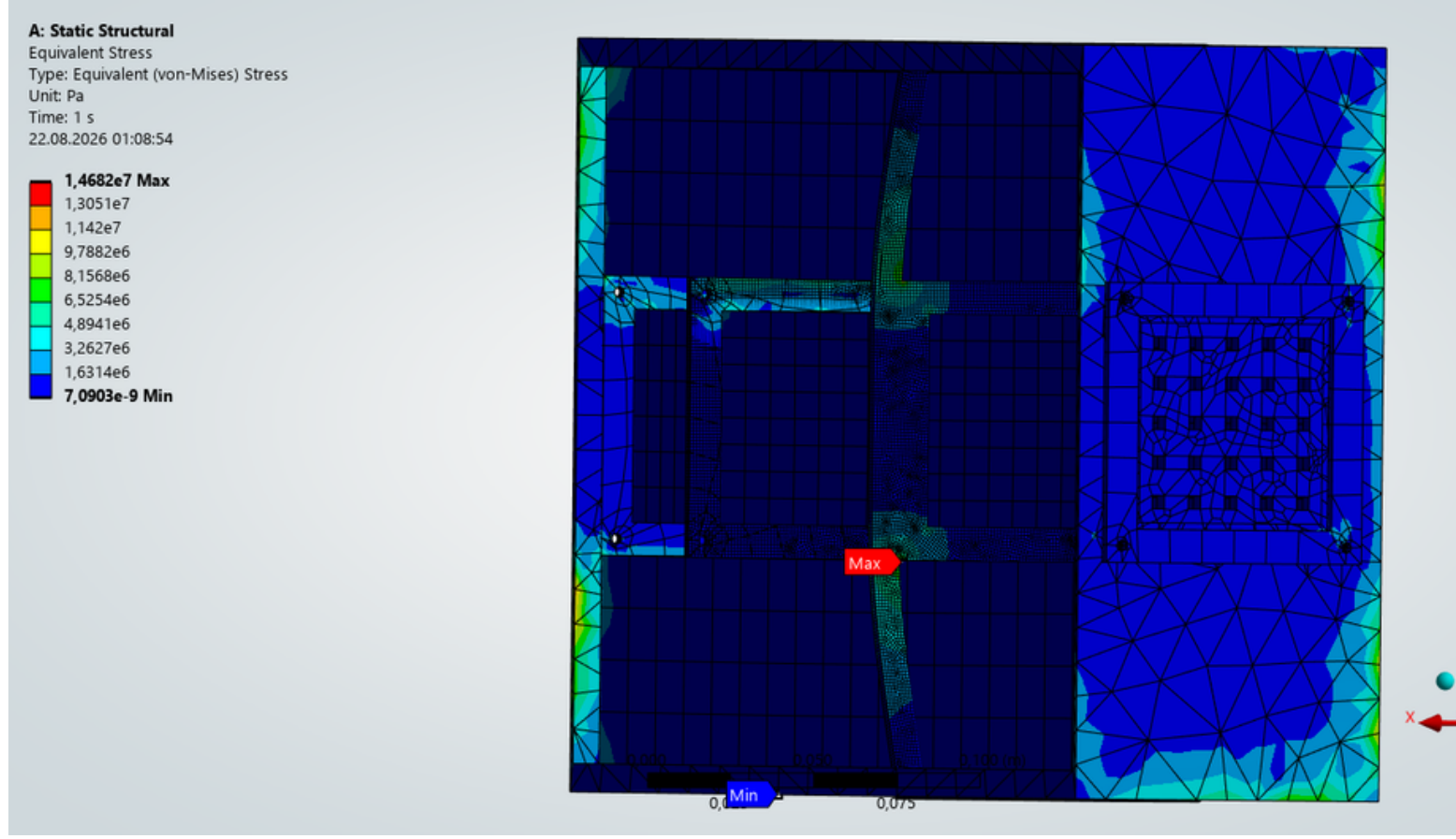
Geleneksel Wolter-tipi X-ışını optikleri yüksek çözünürlük sunar ancak ağırlık ve hacim kısıtları nedeniyle CubeSat platformlarına uyarlanması zordur. Lobster-eye MPO optikleri, çok sayıda küçük kare kesitli kanaldan oluşan hafif bir yapı ile geniş bir görüş alanında (FOV) grazing-incidence yansımayla X-ışını odaklama imkânı sunar , bu da onları küçük uydu platformları için elverişli kılar. Bu proje, R = 600 mm eğrilik yarıçapına sahip, 25 kanallı asimetrik bir MPO plakasının uçtan uca mekanik ve optik tasarımını hedeflemektedir.

ÖZGÜNLÜK

- Literatürdeki simetrik MPO tasarımlarının aksine, 25 kanallı asimetrik (5×5) gözenek dizilimi , optik etkin alan ile mekanik dayanım arasında bilinçli bir denge gözetilerek kurgulandı.
- Tüm alt sistemler Fusion 360 Python API ile uçtan uca parametrik üretildi; tasarım tek noktadan güncellenebilir.
- CAD → Ansys (yapısal + termal) → Geant4 (optik) zincirini tek bir doğrulama hattında birleştiren bütünlük bir iş akışı kuruldu.
- Gözenek sayısının periyotlu değiştirilmesiyle optik kazanç / mekanik mukavemet tradeoffunu sistematik olarak inceleyen bir yöntem önerildi.

YAPISAL ANALİZ (ANSYS)

OPA plakası ve destek yapısı üzerinde Static Structural analizi, uçuş/fırlatma yükleri altında gerilme ve deformasyon davranışını doğrulamak için yürütüldü. Malzeme: Al 6061-T6 (akma dayanımı 276 MPa).

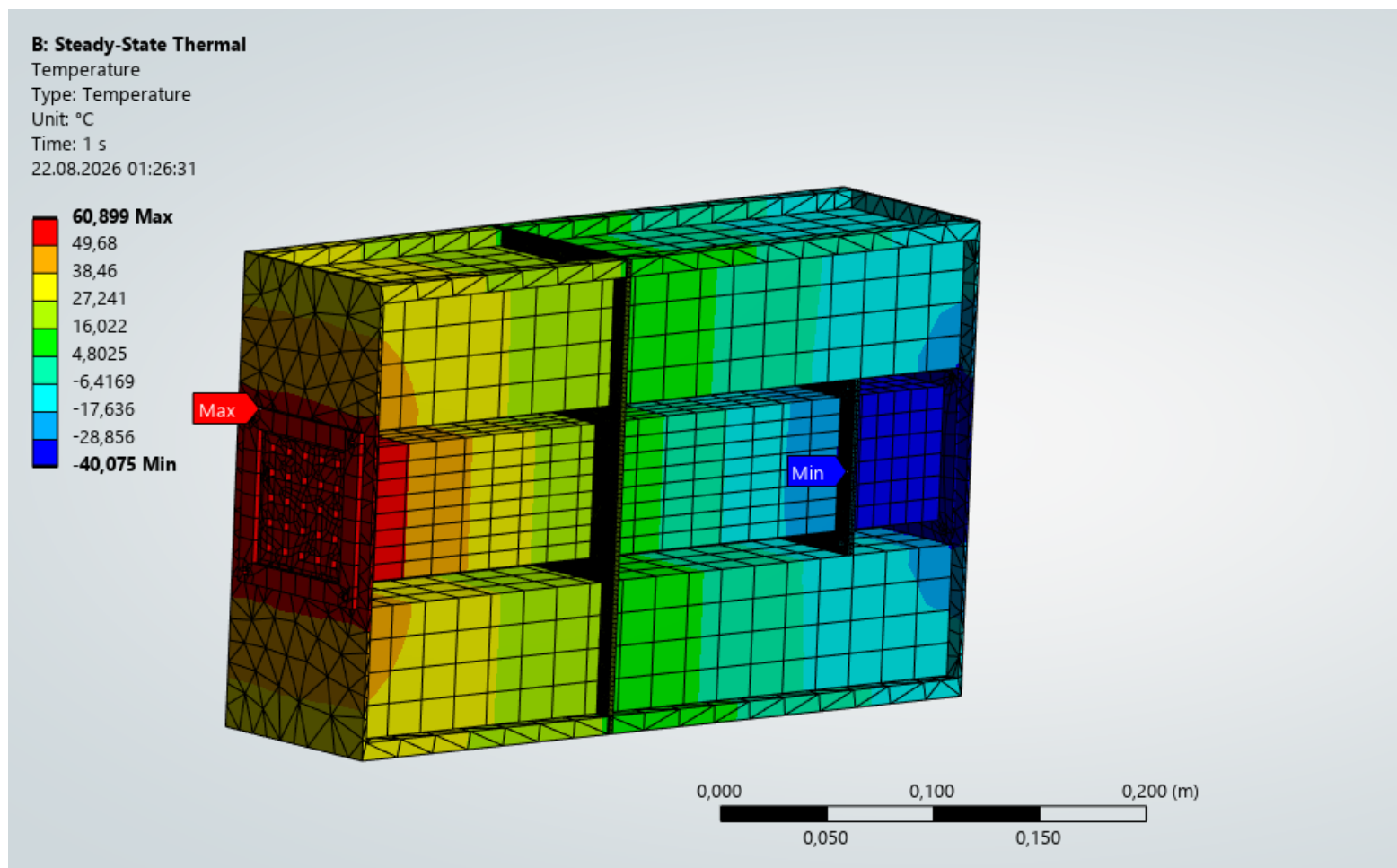


Şekil 3 Eşdeğer (von-Mises) gerilme dağılımı



TERMAL ANALİZ (ANSYS)

Yörünge termal ortamını temsilen +60 °C / -40 °C sınır koşulları altında Steady-State Thermal analizi yapıldı; yapı genelinde sıcaklık dağılımı ve gradyanlar incelendi.

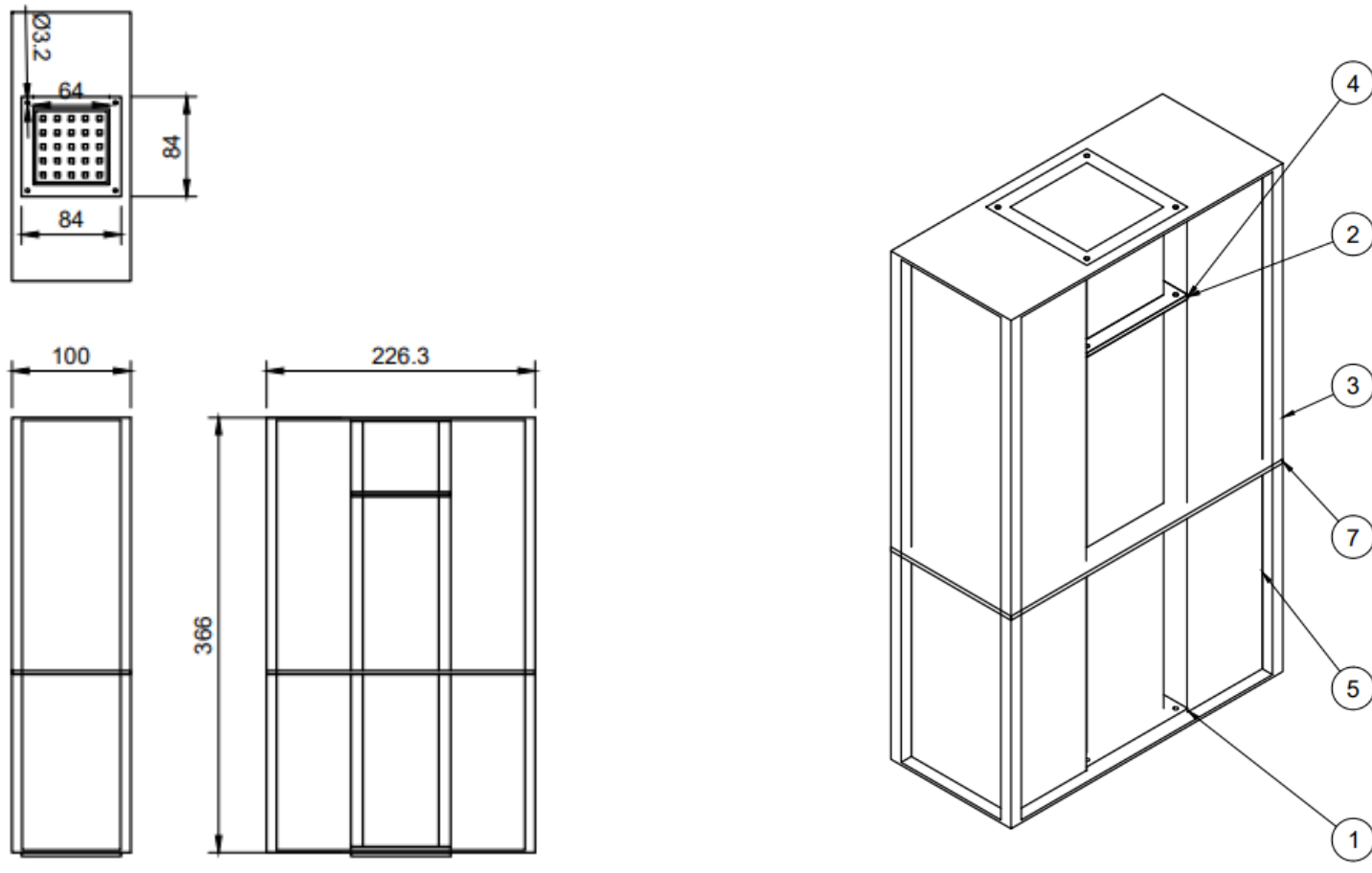


Şekil 4 Sıcaklık dağılımı (Steady-State Thermal)

TASARIM VE CAD YÖNTEMİ

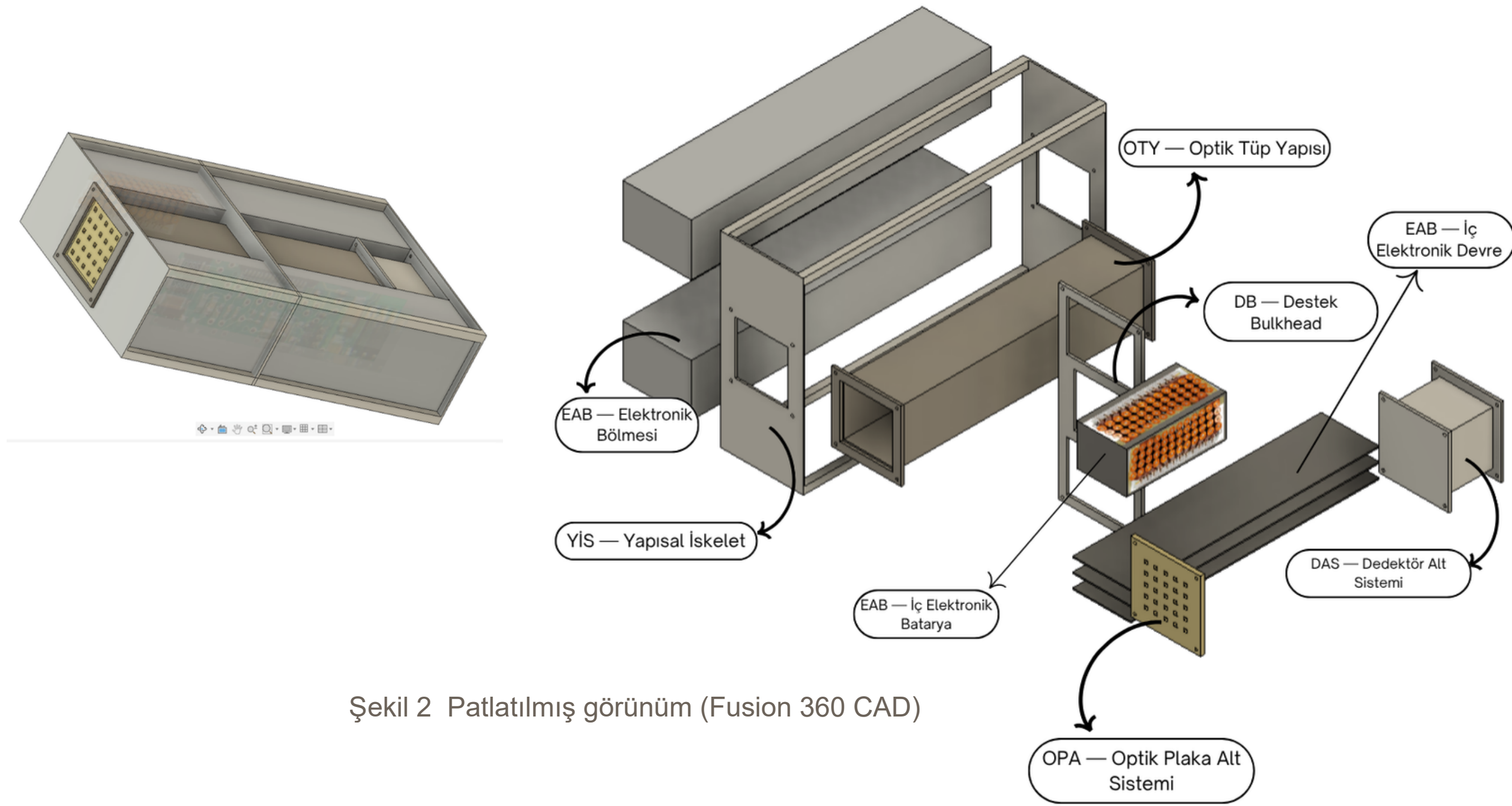
Tüm alt sistemler Fusion 360'ta Python API scriptleri ile parametrik olarak üretildi; böylece eğrilik yarıçapı, pore boyutu ve flanş ölçüleri gibi parametreler tek noktadan güncellenebilir hale getirildi. Alt sistemler arası hizalama, ortak bir civata deliği formülü ile sağlandı:

$$\text{bolt_center} = \text{flange_size} / 2 - \text{bolt_edge_offset} \rightarrow 84 / 2 - 5 = 37 \text{ mm}$$



Şekil 1 Teknik çizim ve malzeme listesi

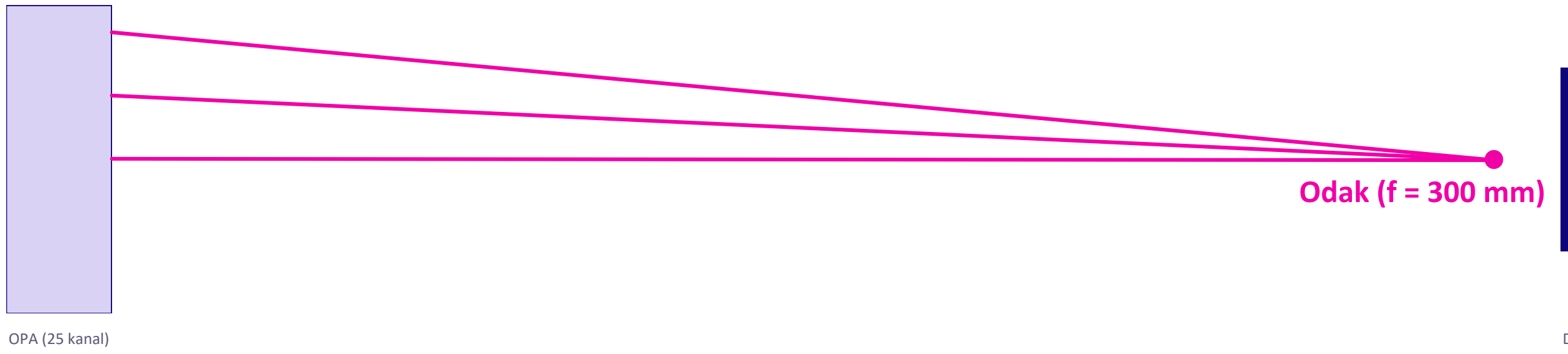
Parça Listesi			
Öge	Miktar	Parça Numarası	Malzeme
1	1	2026-07-26-16-49-34-984	Cam
2	1	2026-07-26-21-42-02-025	Titanyum
3	1	2026-07-27-10-23-05-522	Alüminyum 6061
4	1	2026-07-27-10-08-01-903	Silikon/Alüminyum6
5	1	2026-07-30-19-04-31-020	GFRP
6	1	2026-08-01-22-28-43-688	Çelik
7	1	2026-08-01-22-41-55-291	Alüminyum 6061



Şekil 2 Patlatılmış görünüm (Fusion 360 CAD)

OPTİK SİMÜLASYON (GEANT4)

Devam Eden Çalışma, MPO plakasının X-ışını odaklama performansını (PSF, etkin alan, vinyetleme eğrisi) değerlendirmek için bir Geant4 simülasyon hattı kurulmuştur. Fotonlar G4OpticalPhoton olarak tanımlanıp pore duvarlarında UNIFIED sınır modeliyle grazing-incidence yansıması modellenenecektir.



GELECEK ÇALIŞMALAR

- 6 alt sistemden oluşan tam parametrik CAD hattı Fusion 360 Python API ile başarıyla kuruldu; girişimsiz, hızlı bir montaj elde edildi.
- Yapısal analiz, seçilen Al 6061 gövde malzemesinin uçuş yükleri altında geniş bir güvenlik payıyla (SF ≈ 18.8) çalıştığını gösterdi.
- Termal analiz, ±60/-40 °C sınır koşullarında yapının davranışını karakterize etti; bir sonraki adım termal genleşmenin yapısal gerilmeye etkisinin (thermal-structural coupling) birlikte değerlendirilmesidir.
- Geant4 tabanlı optik simülasyon altyapısı kuruldu; 25 kanallı asimetrik geometri kod içinde tanımlanıp görselleştirilerek doğrulandı. PSF, etkin alan ve vinyetleme eğrisi üretimi ile gerçek malzeme yansıtıcılık verilerinin entegrasyonu devam etmektedir.
- Sonraki adımlar: Geant4 sonuçlarının analitik Fresnel hesabıyla çapraz doğrulanması ve tam ölçekli prototipin üretilebilirlik değerlendirmesi.

KAYNAKÇA

- Angel, J. R. P. (1979). "Lobster eyes as X-ray telescopes," The Astrophysical Journal, 233, 364-373.
- Agostinelli, S. et al. (2003). "Geant4 a simulation toolkit," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, 506(3), 250-303.
- Hudec, R. et al. (2020). "Lobster Eye X-ray optics for small satellites," Proceeding of SPIE, 11444, Space Telescopes and Instrumentation.
- Autodesk, Inc. (2026). Fusion 360 Python API Reference Manual.
- ANSYS, Inc. (2026). ANSYS Mechanical User's Guide (Release 2026 R1)