

Seda Acar¹, Yasemin Aladağ², Aysun Akyüz², İnci A. Oralhan¹, Cenk Kayhan³, Serkan Öner², Nazım Aksaker⁴

¹Erciyes Üniversitesi., Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, TR-38039 Kayseri, Türkiye | ²Çukurova Üniversitesi, Fizik Bölümü, TR-01330 Adana, Türkiye | ³Kayseri Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, TR-38280 Kayseri, Türkiye | ⁴Çukurova, Adana OSB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, TR-01410 Adana, Türkiye

Özet

NGC 3627'deki ULXs'lerin çoklu dalga boyu özellikleri, HST ve JWST'den elde edilen arşiv verileri kullanılarak incelendi.

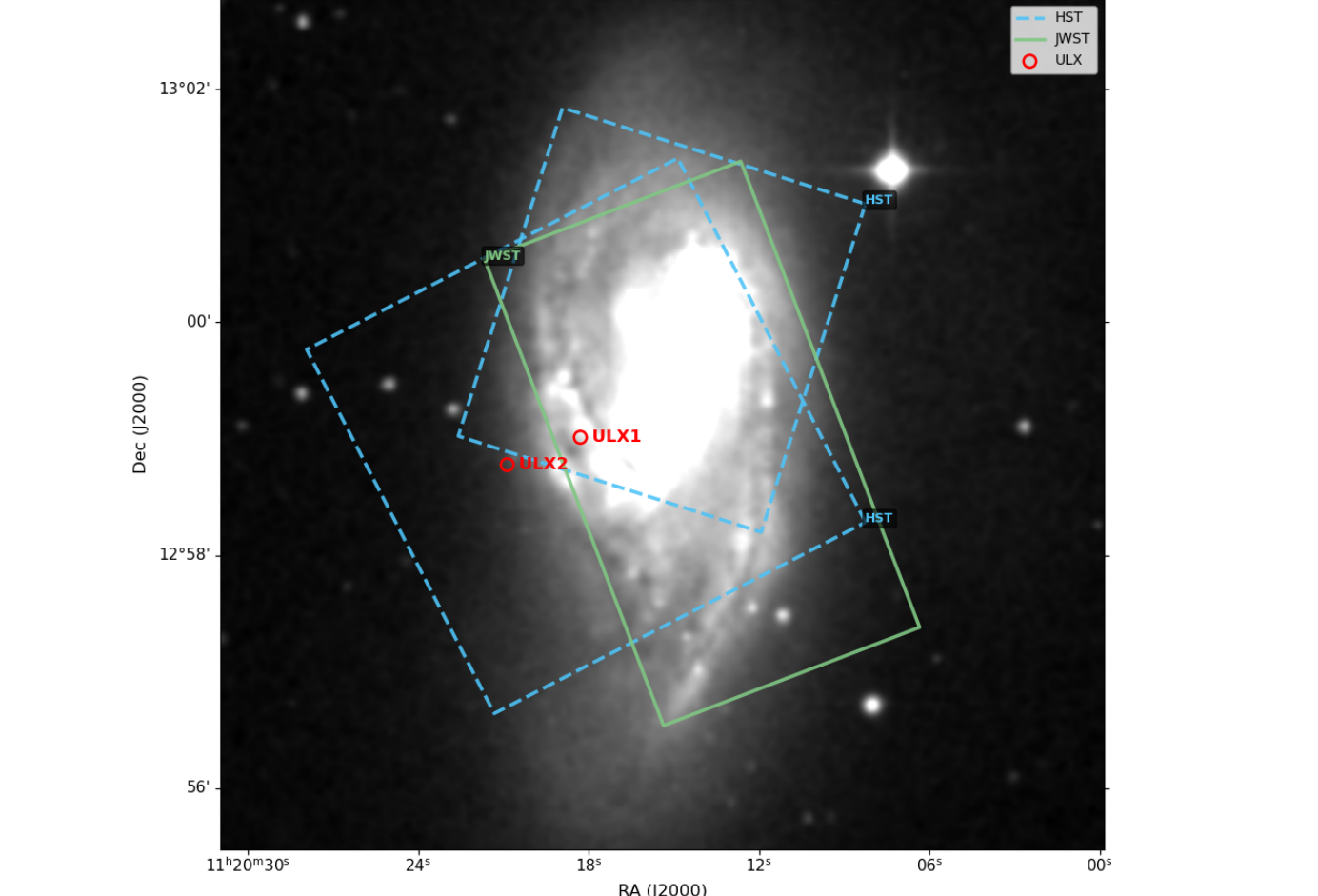
ULX-1 ve **ULX-2**'nin olası optik/kızılötesi donör yıldızları belirlendi; CMD ve SED analizleri MESA evrim modelleriyle karşılaştırılarak kaynakların farklı kütle ve yaş aralıklarına sahip yıldızlardan oluşan kara delik-donör çift sistemleriyle uyumlu olabileceğini göstermektedir.

Giriş

NGC 3627 (M66), yaklaşık 10.6 Mpc uzaklıkta yer alan, SAB(s)b tipi bir sarmal galaksidir (Lee & Jang 2013).

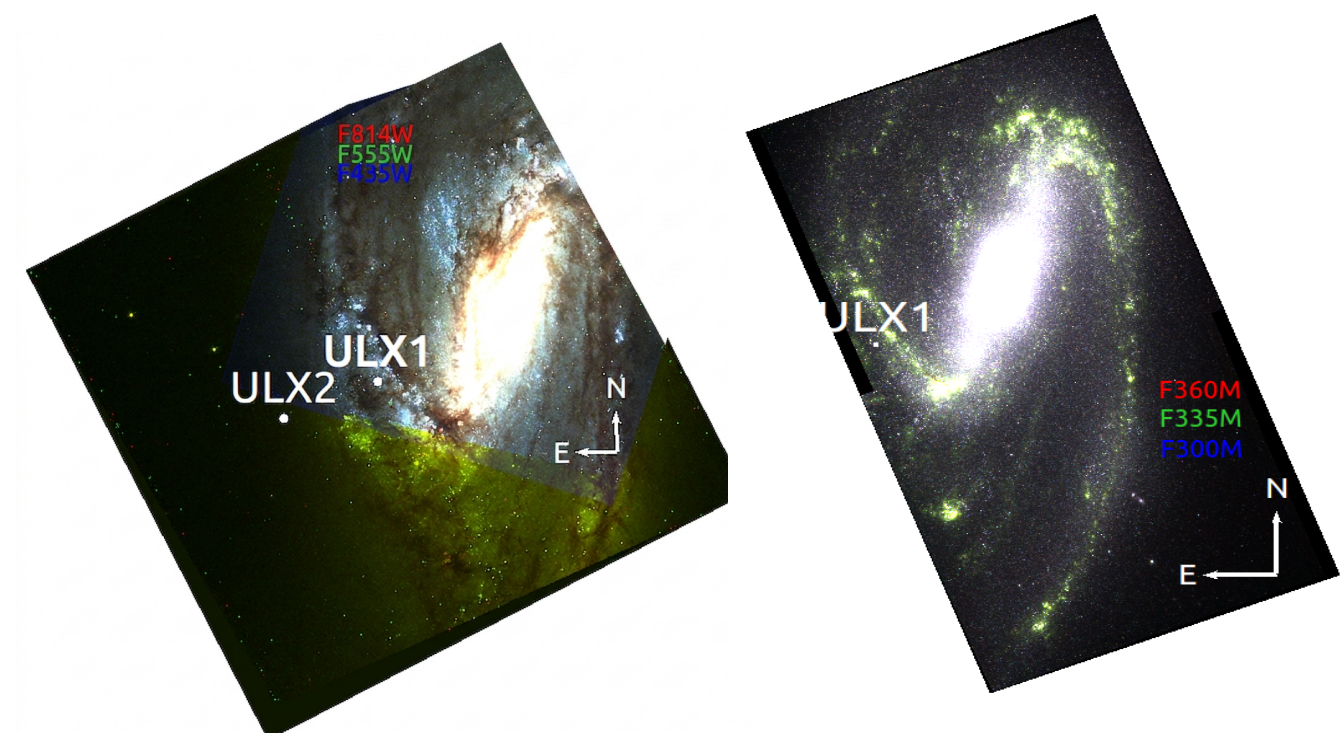
Galakside 2 ULX kataloglanmıştır (Kovlakas ve ark. 2020). ULX'ler, merkez dışı bölgelerde bulunan, X-ışın parlaklığı $L_X \gtrsim 10^{39} \text{ ergs}^{-1}$ 'i aşan noktasal kaynaklardır. Bu parlaklık, yıldız kütleli kara deliklerin Eddington limitini ($L_{\text{edd}} \sim 1.3 \times 10^{38} \text{ (M/M}_\odot \text{) ergs}^{-1}$) aşmaktadır (Kaaret ve ark. 2017; Fabrika ve ark. 2021; King ve ark. 2023).

Analizler



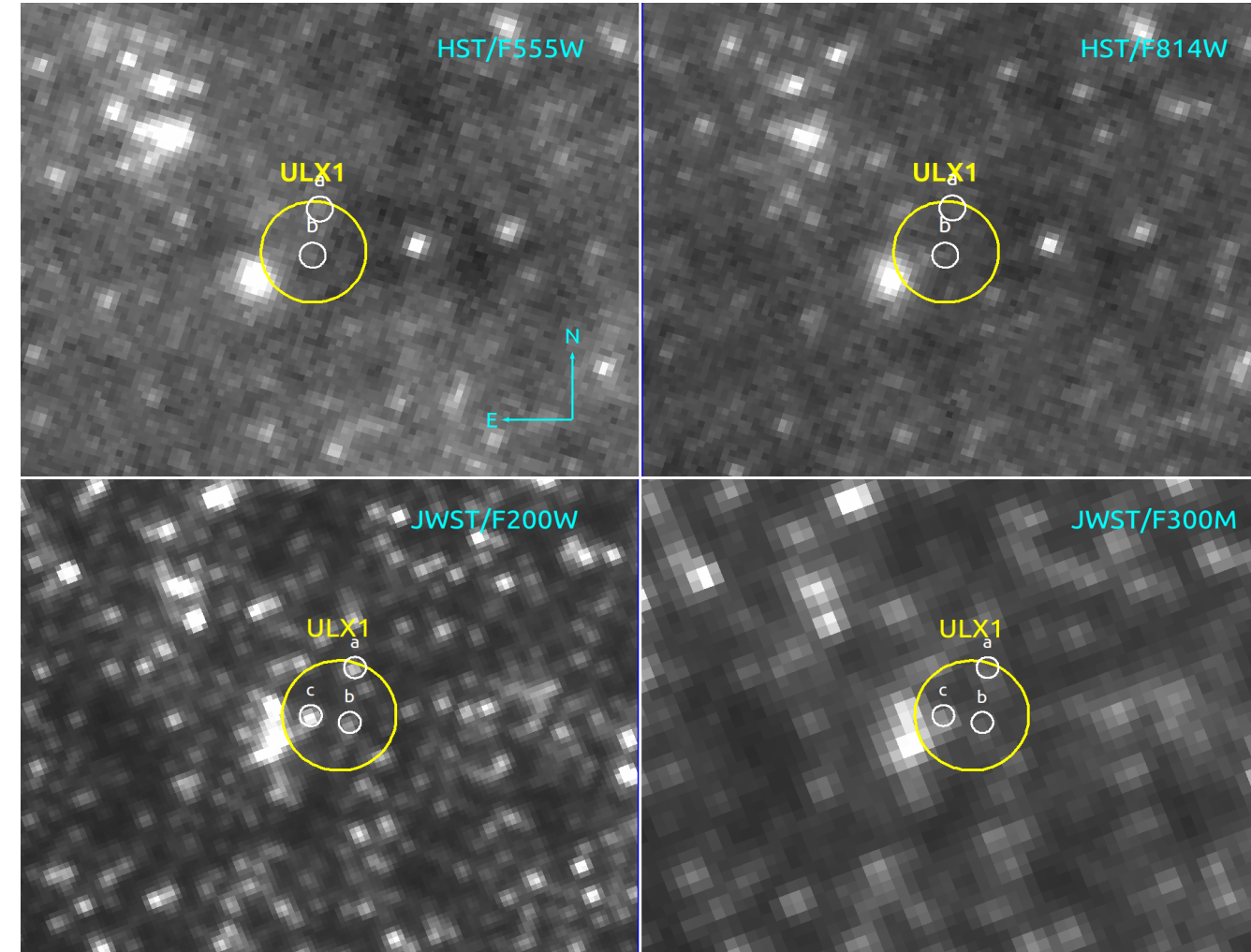
Şekil 1. NGC 3627'nin DSS2 Red görüntüsü; HST/ACS(kesikli mavi) ve JWST/NIRCam (düz yeşil) görüş alanlarını göstermektedir. Kırmızı daireler ULX'lerin konumlarını işaret etmektedir.

Galaksi, 2019 ve 2023 yıllarında sırasıyla HST ve JWST (Şekil 1-2) ile gözlenmiştir. Teleskopların görüş alanları, ULX'lerin konumlarıyla birlikte Şekil 1'deki DSS görüntüsü üzerinde gösterilmektedir.

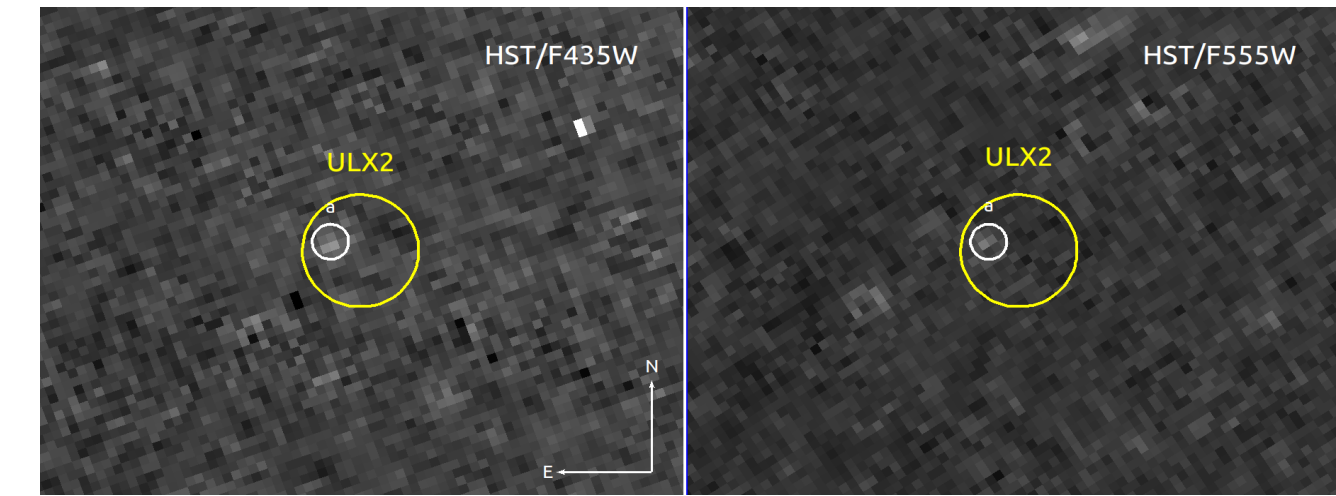


Şekil 2. NGC 3627'nin optik (HST, sol) ve kızılötesi (JWST, sağ) kompozit görüntüleri. ULX1 ve ULX2'nin konumları beyaz nokta ile gösterilmiştir.

Astrometrik düzeltmeler sonrası hata yarıçapı r içinde (HST için $0''.32$, JWST için $0''.34$) belirlenen aday karşılıklar: HST'de **ULX1** için iki ve **ULX2** için bir, JWST'de : **ULX1** için üç olup, ULX2 görüş alanı dışındadır (bkz Şekil 3-4 ve Tablo 1).



Şekil 3. ULX1'in farklı filtrelerdeki konumları. Üst: HST (F555W, F814W); Alt: JWST (F200W, F300M). Sarı daire: ULX1'in hata yarıçapı; beyaz daireler: optik karşılıklar.



Şekil 4. ULX2'nin HST filtrelerindeki (F435W, F555W) konumu. Renkler Şekil 2 ile aynıdır.

Tablo 1. HST ve JWST gözlemlerinden elde edilen ULX1 ve ULX2'nin optik karşılıklarının fotometrik vega mag değerleri.

Enstrüman	Filtre	ULX1.a	ULX1.b	ULX1.c	ULX2.a	Tamlık(%50)*
HST/UVIS/WFC3	F275W	25.29 ± 0.27	25.37 ± 0.29	—	—	24.41
	F336W	25.47 ± 0.25	25.75 ± 0.46	—	—	24.58
	F438W	25.62 ± 0.18	26.17 ± 0.36	—	—	25.95
	F555W	25.41 ± 0.23	—	—	—	26.09
	F814W	24.88 ± 0.32	24.02 ± 0.08	—	—	25.01
HST/ACS/WFC	F435W	—	—	—	26.59 ± 0.17	26.58
	F555W	—	—	—	26.00 ± 0.20	26.29
	F814W	—	—	—	24.60 ± 0.08	25.79
JWST/NIRCam	F200W	21.44 ± 0.04	21.71 ± 0.05	20.83 ± 0.02	—	24.00
	F300M	22.41 ± 0.42	21.78 ± 0.22	20.65 ± 0.08	—	22.55
	F335M	21.40 ± 0.18	21.31 ± 0.16	20.36 ± 0.07	—	22.33
	F360M	21.41 ± 0.22	21.36 ± 0.21	20.44 ± 0.09	—	22.09

*Tamlık (completeness) limiti, bir gözlemlen kaynakların belirli bir güvenilirlik oranıyla tespit edilebildiği en düşük parlaklık sınırıdır.

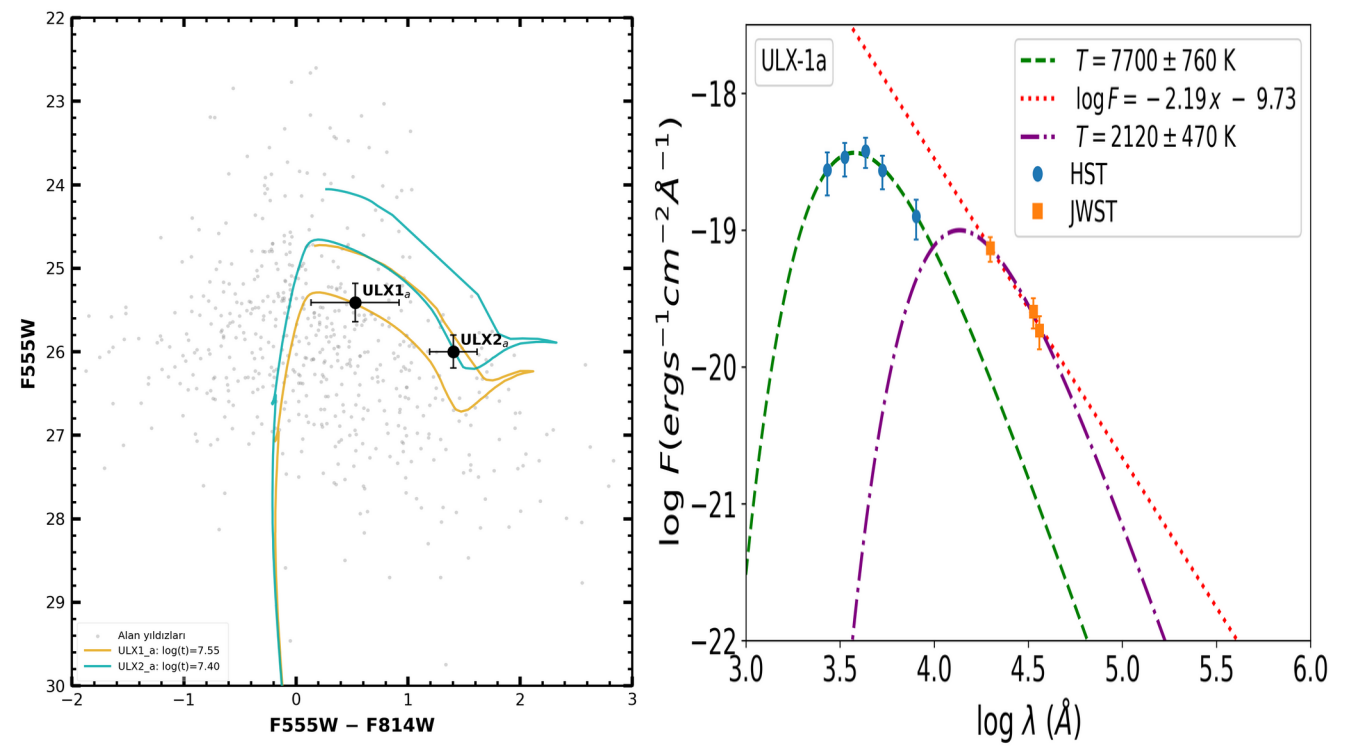
CMD ve SED Analizleri

Renk-parlaklık diyagramları (CMD, Şekil 5, 6), HST fotometrik sistemi için MIST (MESA Isochrones & Stellar Tracks) ve PARSEC (Padova) sentetik modelleri ve: $Z=Z_\odot$, $A_V=0.2$ mag ve $DM=30.22$ mag degerleri kullanıldı.

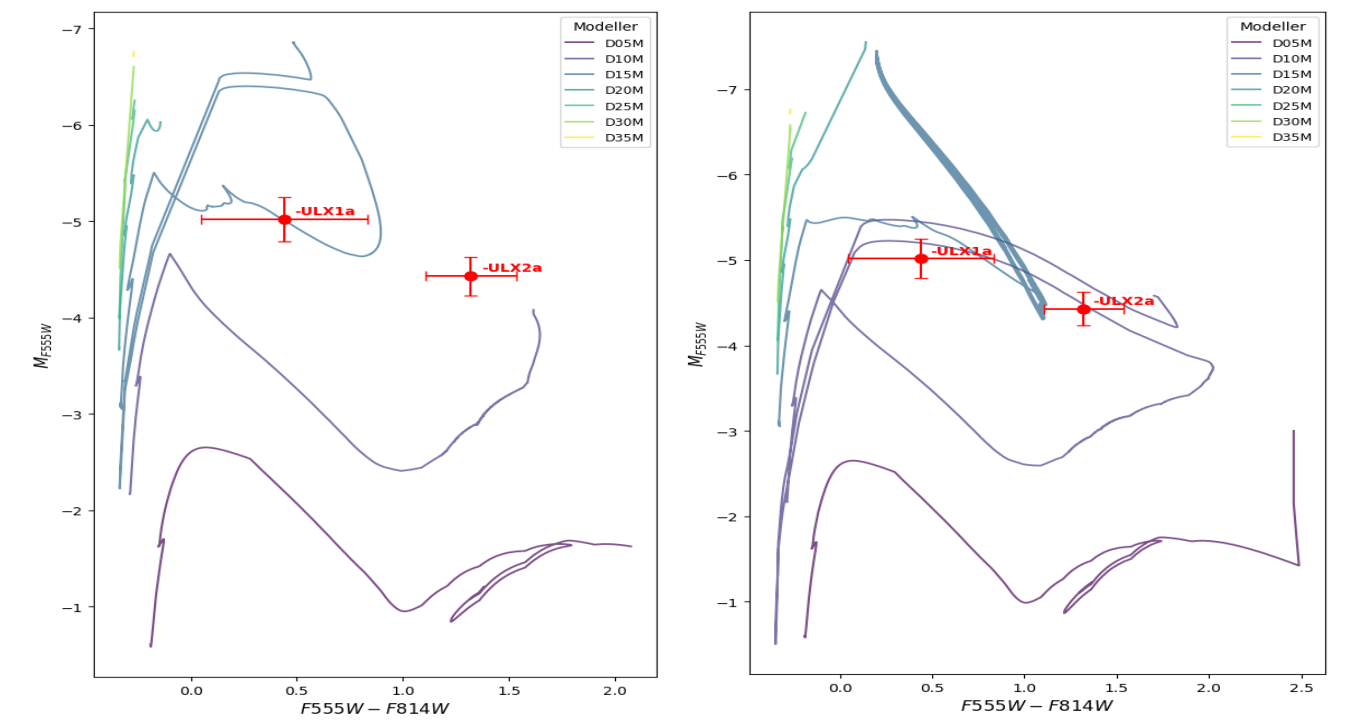
ULX'lerin optik karşılıklarının SED (AB mag) sisteminde oluşturuldu ve donör yıldızların fiziksel özelliklerini sınırlandırmak için modellere fit edildi (Şekil 5).

CMD üzerindeki PARSEC izokronları donörlerin yaşlarını ~25–35 Myl aralığında sınırlarken, SED analizleri **ULX1_a**'nın JWST kızılöte bantlarında belirgin çevrele-

yen ortam/toz bileşeni barındırıyor olabileceğini ($T \approx 2120\text{K}$) göstermektedir.



Şekil 5. NGC 3627'deki ULX adaylarının CMD PARSEC tek yıldız (sol) ve SED (sağ) modelleri. Siyah ve gri noktalar sırasıyla, ULX'lerin optik karşılıklarını ve alan yıldızlarını temsil eder.



Şekil 6. NGC 3627'deki ULX adaylarının MESA çift yıldız evrim modelleriyle karşılaştırılması. Kırmızı noktalar, ULX'lerin optik karşılıklarını gösterir.

Sonuçlar

- $r = 0''.32$ (HST), $0''.34$ (JWST) yarıçaplı alan içerisinde **ULX1** ve **ULX2** için optik/kızılötesi donör yıldız adayları belirlenmiştir.
- PARSEC modelleri donör yıldızların yaşlarını sınırlandırırken, MESA modelleri **ULX1_a** için $20M_\odot$ 'lik **ULX2_a** için $80M_\odot$ 'lik bir sıkı cisim (kara delik) içeren sistemlerin olası çözümler arasında olabileceğine işaret etmektedir
- **ULX1_a**, $20M_\odot$ bir kara delik ile Roche-lob taşmasına sahip evrimleşmiş $15M_\odot$ bir donör yıldız içeren genç (~11 Myl) Büyük Kütleli X-Işını Çifti (HMXB) ile uyumludur.
- **ULX1_a**'nın SED analizinde tespit edilen iki karacisim bileşeni, donör yıldızın optik emisyonu ($T \approx 7700$ K) ek olarak JWST bantlarında ($T \approx 2120$ K) sıkı cisim çevreleyen toz veya rüzgar yapısından kaynaklanan güçlü bir termal yayına işaret etmektedir.
- **ULX2_a**, $80M_\odot$ kütleli bir kara deliğe yoğun kütle aktarımı sonucu başlangıç kütlesi $10M_\odot$ 'den $2M_\odot$ 'ye gerilemiş soğuk bir kırmızı dev donör içeren ~20 Myr popülasyon yaşıyla evrimleşmiş bir HMXB sistemi olabilir.

Teşekkür :Bu araştırma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 124F004 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.