



Deniz KAŞKAYA<sup>1</sup>, Cenk KAYHAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü

<sup>2</sup>Kayseri Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü

## Giriş

Yıldızlar, yaşamları süresince iç yapılarında meydana gelen nükleer füzyon süreçleri sonucunda birçok farklı evrimsel durumdan (Anakol, Kırmızı Dev, Asimtotik dev...) geçer. Başta kütleleri (M) olmak üzere ağır metal bollukları (Z), dönme hızları ve kütle kayıp oranlarına bağlı olarak yaşam süreleri ve evrimsel durumları değişir. Çoklu yıldız sistemlerinde ise bileşenlerin birbirleri ile etkileşimleri de hesaba katılır. Yörüngesel gel-git etkileri ve küresel simetriden bozulma gibi etkileşimler de görölse de evrimleri açısından en önemli etkileşim kütle aktarımıdır (Eggleton et al. 2006). Bu süreçler dahilinde yıldız evrim modelleri ile gözlemsel parametreleri bilinen yıldız ve yıldız sistemlerinin evrimi incelenir. Kromosferik örtülme gösteren zeta Aur çift yıldız sistemi (Griffin et al. 2006), evrimleşmiş parlak ana bileşeni ve anakoldaki yoldaş bileşeni ile evrim çalışmaları için önemli bir kaynaktır (Harper et al. 2022). V617 Aur ise daha az çalışılmış ve deneysel alanlar için önemli bir adaydır.

## Yöntem

Evrim modellemesi için MESA Star (Paxton et al. 2011) modülü kullanıldı. Her iki çift yıldız sisteminin bileşenleri için literatürde bulunan, gözlemler veya modeller sonucunda elde edilen kütle, metal bolluğu ve yaş değerleri bulundu. Bu parametrelerin yanı sıra mikro fiziksel süreçler için hal denklemi, opasite ve nükleer füzyon reaksiyon tabloları; makro fiziksel süreçler için konveksiyon, konvektif atım, atmosfer, difüzyon, rotasyon ve kütle kayıpları için tablo ve formülasyonlar bulundu. Farklı kütle, etkin sıcaklık ve iç yapıda bulunan yıldızlar için farklı tablolar kullanıldı.

Yapılan modelleri denetlemek için etkin sıcaklık, yarıçap, log g, ısıtma ve yaş değerleri kullanıldı. Bu parametreler, kütle ve metal bolluğu değerlerinin bulunduğu makalelerde arandı. Metal bolluğu veya [Fe/H] gözleminin eksik olduğu yerlerde Güneş metal bolluğu (Z=0.0172, Grevesse et al. 1996) baz alınarak modelleme yapıldı. Modelleme sonucunda elde edilen değerler ile gözlemsel değerlerin tutarlı olduğu parametre setleri her iki çift yıldız sisteminin bileşenleri için nihai değerler olarak kabul edildi.

## Girdi Fiziki Parametreleri

**Çizelge 1:** Modellemelerde kullanılan girdi fiziki parametreleri sunulmuştur.

| Mikro Fizik Girdileri | Method/Model                                        | Kaynak                                         |
|-----------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Hal Denklemi          | OPAL EOS                                            | Rogers & Nayfonov (2002)                       |
| Saydamsızlık          | OPAL                                                | Iglesias & Rogers (1996)                       |
| Saydamsızlık          | Ferguson Opacities                                  | Ferguson et al. (2005)                         |
| Nükleer Reaksiyonlar  | NACRE rates                                         | Angulo et al. (1999), Caughlan & Fowler (1988) |
| Makro Fizik Girdileri | Method/Model                                        | Kaynak                                         |
| Karışım Uzunluğu      | $l = \alpha_{\text{MLT}} \text{HP}$                 | Böhm-Vitense (1958)                            |
| Konvektif Atım        | $\delta_{\text{ov}} = \alpha_{\text{ov}} \text{HP}$ | Kippenhahn et al. (2013)                       |
| Atmosfer              | Simple atmosphere                                   | MESA                                           |
| Difüzyon              | MESA default                                        | MESA                                           |

## Zeta Aur Girdi Parametreleri

**Çizelge 2:**  $\delta_{\text{ov}} = 0.12$  ve  $\alpha_{\text{MLT}} = 2.175$  olarak varsayıldı. 5. model özelinde Z\* model sırasına göre Z<sub>⊙</sub> (a), 0.020(b), 0.025(c), 0.032(d), 0.015(e), 0.010(f) ve 0.008(g) değerleri alındı.

| No | M <sub>1</sub><br>(M <sub>⊙</sub> ) | M <sub>2</sub><br>(M <sub>⊙</sub> ) | Z              | Yaş<br>(Myr) |
|----|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|--------------|
| 1  | 6.6                                 | 5.2                                 | Z <sub>⊙</sub> | 62.00        |
| 2  | 6.6                                 | 5.2                                 | 0.030          | 52.00        |
| 3  | 7.1                                 | 5.4                                 | 0.030          | 52.00        |
| 4  | 5.7                                 | 4.8                                 | Z <sub>⊙</sub> | 85.76        |
| 5  | 5.8                                 | 4.8                                 | Z*             | 80.00        |

## V617 Aur Girdi Parametreleri

**Çizelge 3:** V617 Aur A için kullanılan girdi parametreleri solda, V617 Aur B için kullanılan girdi parametreleri ise sağda sunulmuştur. Z<sup>1</sup> ve Z<sup>2</sup>, model sırasına göre Z<sub>⊙</sub>(a), 0.0034(b), 0.0037(c), 0.0029(d), 0.0032(e) ve 0.029(f), 0.032(g) ve 0.034(h) değerleri sonraki modeller için kullanıldı.

| No | M<br>(M <sub>⊙</sub> ) | Z              | $\delta_{\text{ov}}$ | $\alpha_{\text{MLT}}$ | No | M<br>(M <sub>⊙</sub> ) | Z      | $\alpha_{\text{MLT}}$ | Yaş<br>(Myr) |
|----|------------------------|----------------|----------------------|-----------------------|----|------------------------|--------|-----------------------|--------------|
| 1  | 1.206                  | Z <sub>⊙</sub> | 0.012                | 1.875                 | 1  | 0.788                  | 0.0032 | 1.875                 | 175          |
| 2  | 1.77                   | Z <sub>⊙</sub> | 0.012                | 1.875                 | 2  | 0.994                  | 0.0032 | 1.875                 | 175          |
| 3  | 3.43                   | Z <sup>1</sup> | 0.012                | 1.875                 | 3  | 0.788                  | 0.0340 | 1.875                 | 417          |
| 4  | 3.43                   | Z <sup>2</sup> | 0.12                 | 1.875                 | 4  | 0.994                  | 0.0340 | 1.875                 | 417          |

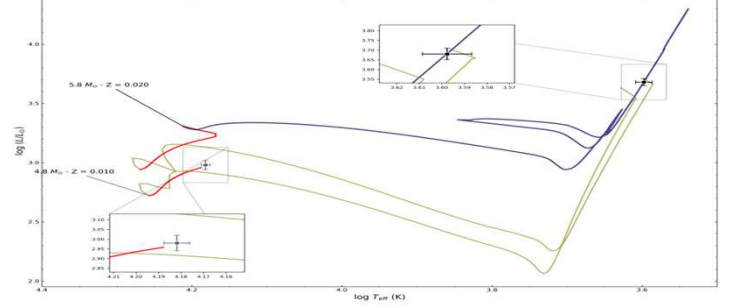
## Sonuçlar

- Yapılan modeller sonucunda zeta Aur A Güneş ağır metal bolluğu ile daha bol olan Z = 0.020 değerleri arasında en uyumlu sonuçları verdi. Çekirdeği Helyum yakımasını tamamlamış ve dejenere bir hale gelmiştir. Yoldaş bileşen Z = 0.008 ile Z = 0.010 değerleri ile daha düşük ağır metal bolluğundaki değerlerde tutarlı sonuçlar verdi.
- V617 Aur A gözlemsel değerlerinden hareketle elde edilen kütle değerlerinde  $\delta_{\text{ov}} = 0.012$  olduğu modelde Z = 0.0032 değerinde,  $\delta_{\text{ov}} = 0.12$  alındığında ise Z = 0.034 değerinde en tutarlı modeller elde edildi. Yoldaş bileşen için iki farklı Z değerinde de benzer sonuçlar elde edildi.

**Teşekkür:** Bu araştırma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 1919B012466986 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

## Modeller

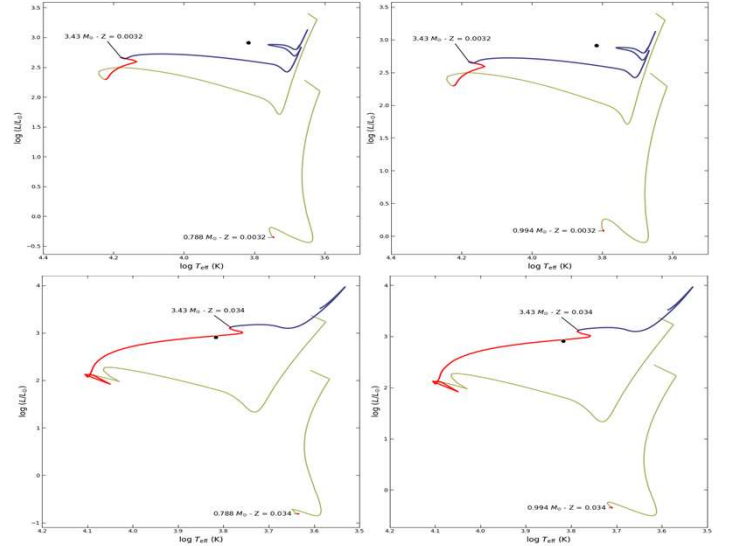
**Şekil 1:** zeta Aur çift yıldız sistemi için en tutarlı sonuçların alındığı kütle ve ağır metal bolluğu değerlerindeki evrim yolları çizdirilmiştir. Sarı çizgi anakol öncesi, kırmızı çizgi anakol ve mavi çizgi anakol sonrası belirtmektedir. Gözlem değerleri hataları ile gösterilmiştir.



**Çizelge 4:** zeta Aur çift yıldız sisteminin bileşenleri için elde edilen en tutarlı sonuçlar sunulmuştur.

| Bileşen    | T <sub>eff</sub><br>(K) | R<br>(R <sub>⊙</sub> ) | logg  | logL<br>(L <sub>⊙</sub> ) | Yaş<br>(Myr) | χ <sup>2</sup> |
|------------|-------------------------|------------------------|-------|---------------------------|--------------|----------------|
| Zeta Aur A | 3954                    | 148.7                  | 0.856 | 3.69                      | 79           | 0.017          |
| Zeta Aur B | 15413                   | 4.2                    | 3.867 | 2.96                      | 80           | 2.962          |

**Şekil 2:** V617 Aur çift yıldız sistemi için **Şekil 1**'de yapılan adımların aynaları uygulanmıştır. Yoldaş bileşen için gözlem değerleri bulunmadığından ötürü sadece ana bileşen siyah nokta ile gösterilmiştir.



**Çizelge 5:** V617 Aur çift yıldız sisteminin bileşenleri için elde edilen en tutarlı sonuçlar sunulmuştur. Yoldaş bileşenler için elde edilen sonuçlarda sol taraf 0.788 M<sub>⊙</sub> sağ taraf ise 0.994 M<sub>⊙</sub> kütledeki sonuçları belirtmektedir. Turuncu ile yazılı değerler Güneş ısıtma değerindedir.

| Bileşen    | T <sub>eff</sub><br>(K) | R<br>(R <sub>⊙</sub> ) | logg        | logL<br>(L <sub>⊙</sub> ) | Yaş<br>(Myr) | χ <sup>2</sup> |
|------------|-------------------------|------------------------|-------------|---------------------------|--------------|----------------|
| V617 Aur A | 5027                    | 22.2                   | 2.280       | 2.45                      | 173          | 470.023        |
| V617 Aur B | 5561/6258               | 0.7/0.9                | 4.624/4.484 | 0.45/1.23                 | 180          | -              |
| V617 Aur A | 6546                    | 22.9                   | 2.253       | 2.94                      | 417          | 0.080          |
| V617 Aur B | 4306/5154               | 7.1/0.9                | 4.636/4.572 | 0.15/0.46                 | 417          | -              |