

POST-AGB  
YILDIZLARINDA  
KİMYASAL BOLLUKLAR

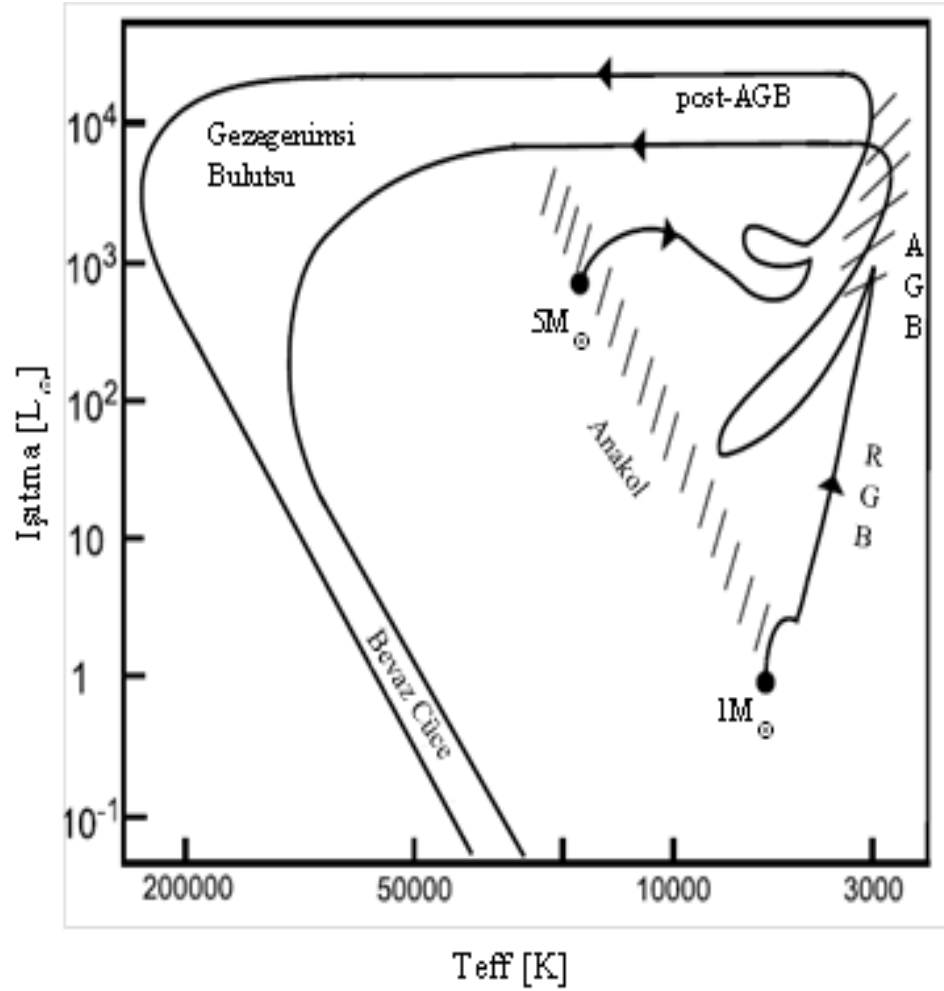
Gizem ŐEHİTOĐLU

Doç. Dr. Zeynep BOZKURT

# Post-AGB Terimi

- Post-AGB terimi, C-O çekirdeği çevreleyen kabuklarda tekrarlanan H ve He yanmalarının gerçekleştiği, düşük ve orta kütleli yıldızların ( $0.8M_{\odot} \sim 8M_{\odot}$ ) asimptotik dev kolunu (AGB) izleyen evrimsel basamaklarını ifade etmektedir.

# Post-AGB Evresi HR diyagramında nerede yer alır?



Şekil Engels (2004)'den alınmıştır.

# Post-AGB yıldızları neden önemlidir?

☆ Post-AGB yıldızlarının gözlemleri; **AGB** evrimi aşamasında yaşanan *nükleosentez*, *tırmıklama*, *ısısal atma*, *kütle atımı* gibi fiziksel süreçlere ışık tutmaktadır.

☆ Post-AGB yıldızlarının yüzey element bolluklarından yola çıkarak **AGB** evresindeki element üretimi ve bu elementlerin tırmıklama işlemleri ile yüzeye taşınması anlaşılmasına çalışılmaktadır.

☆ **AGB** evrim modellerinin testi için önemlidir.

☆ Post-AGB yıldızlarını çalışarak **yıldızlararası ortam** ve **gökada kimyasal karışımının** anlaşılmasına yardımcı olabilirsiniz.

# The Toruń catalogue of Galactic post-AGB and related objects

R. Szczerba<sup>1</sup>, N. Siódmiak<sup>1</sup>, G. Stasińska<sup>2</sup>, J. Borkowski<sup>1</sup>, P. García-Lario<sup>3</sup>, O. Suárez<sup>4,5</sup>, M. Hajduk<sup>1</sup>, D.A. García-Hernández<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Nicolaus Copernicus Astronomical Center, ul. Rabiniańska 8, 87-100 Toruń, Poland

<sup>2</sup> LUTH, Observatoire de Paris, CNRS, Université Paris Diderot; Place Jules Janssen 92190 Meudon, France

<sup>3</sup> Herschel Science Center, European Space Astronomy Centre, Villafranca del Castillo, 28080 Madrid, Spain

<sup>4</sup> UMR 6525 H.Fizeau, Univ. Nice Sophia Antipolis, CNRS, OCA, Parc Valrose, F-06108 Nice cedex 02, France

<sup>5</sup> Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental, INTA, Apartado 50727, 28080 Madrid, Spain

<sup>6</sup> Instituto de Astrofísica de Canarias, C./Vía Láctea, s/n, E-38200 La Laguna, Spain

Version: 13 Mar 2010

## Official references

- Version 23 Apr 2007 - [An evolutionary catalogue of Galactic post-AGB and related objects](#) Szczerba, R.; Siódmiak, N.; Stasińska, G.; Borkowski, J. 2007A&A...469..799S. An electronic version of the paper is available here: [\[PS format\]](#) [\[PDF format\]](#) or at astro-ph [\[astro-ph/0703717\]](#)
- Version 13 Mar 2010 - [The second release of the Toruń catalogue of Galactic post-AGB objects. Morphological and spectral classifications](#) R. Szczerba, N. Siódmiak, G. Stasińska, J. Borkowski, P. García-Lario, O. Suárez, M. Hajduk, D.A. García-Hernández

## Browse the catalogue

likely post-AGB objects

possible post-AGB objects

RV Tau objects

R CrB / eHe / LTP objects

unlikely post-AGB objects

## Quick search

Please enter the (partial) name of an object (*without the HD, SAO, etc prefix*) in any of the supported catalogues or a variable star name or object classification. Space character is important and matches single space character in the database. Dot (.) matches any single character (as in regex). Examples : *Sgr* - will display all objects in Sagittarius region; *123* - will display all objects for which at least one of their names (in any of the catalogues) contains substring '123'; *.* (*single dot*) - will display all objects from all catalogues; *empty field* - will display all objects classified as *very likely post-AGB*.

(Partial) object name

Query the database

## Catalogue update policy

We plan to follow the literature and take into account suggestions from other researches in order to update the catalogue. The [log file](#) contains full info about the changes.

Authors of papers on post-AGB and related objects are invited to send their papers directly to [postagb@ncac.torun.pl](mailto:postagb@ncac.torun.pl). However, it will be our responsibility to include new objects in the catalogue, following the precepts given in the official reference.

## Exporting data

Data can be exported by clicking on the "Export" button in the top level menu (on the following pages). One then needs to select the desired format for the exported table. Currently supported are :

- **BIFF/Excel** - binary file directly readable by MS Excel, Openoffice, Gnumeric
- **ASCII** - simple text file readable by any text editor. Non-empty data cells are enclosed in doublequotes, all cells are TAB separated. The format is also described in the file itself. *Note: the generated ASCII text file has UNIX style line breaks. Users downloading it to the MSWindows machines may want to convert them to the MSDOS style.*

★ Bu katalogda;

- 209 çok olası post-AGB,
- 87 olası post-AGB,
- 112 Rv Tau,
- 72 R CrB / eHe / LTP

★ Kimyasal bolluk analizi mevcut olan cisimler;

- ✓ 70 çok olası post-AGB,
- ✓ 14 olası post-AGB,
- ✓ 53 Rv Tau,
- ✓ 37 R CrB / eHe / LTP

## AMAC:

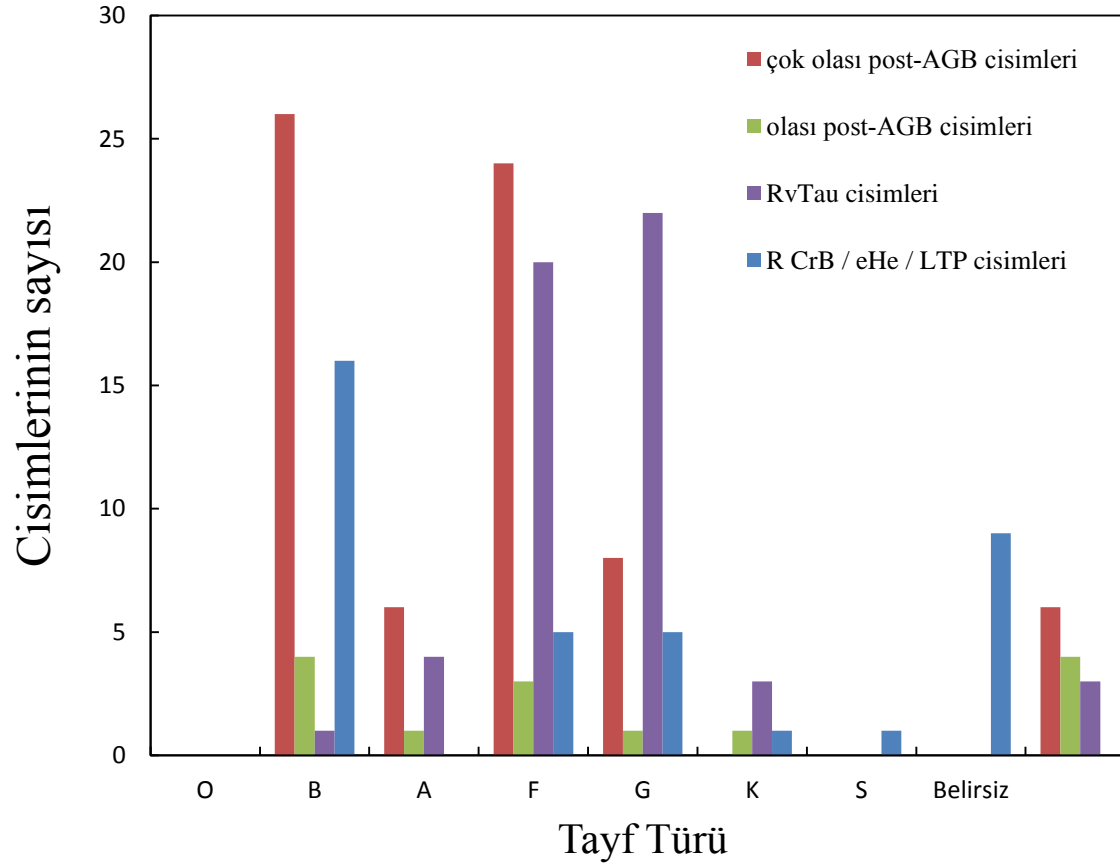
☆ Post-AGB yıldızlarına ilişkin ayırt edici özellikleri belirlemeye çalışmak

☆ Post-AGB yıldızlarının yüzey bolluklarından yola çıkarak AGB evresindeki;

- element üretimi
- tırmıklama ve ısısız atma gibi işlemlere ilişkin ipucu aramak

# YAPILAN İNCELEMELER ve SONUÇLAR

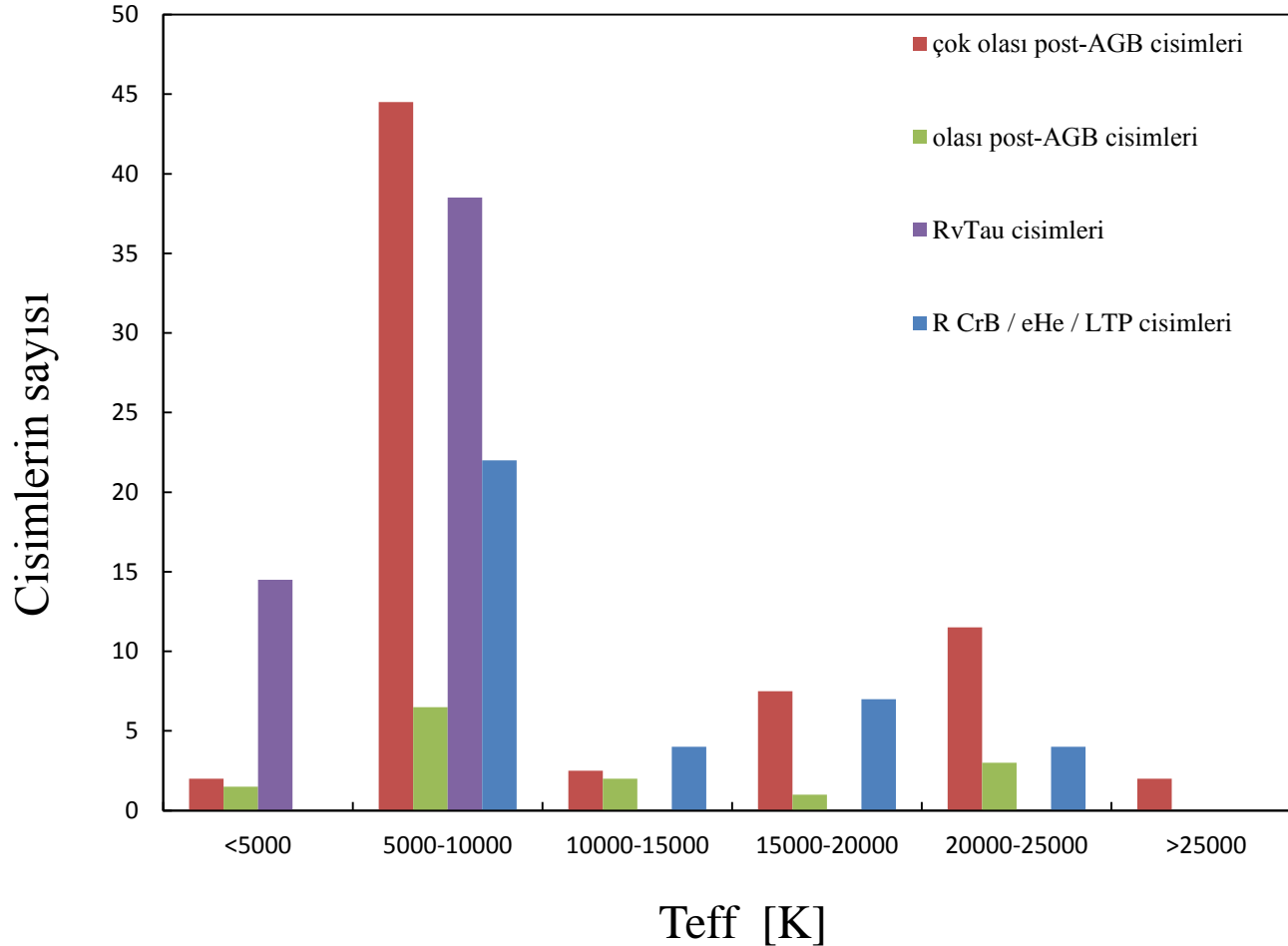
## 1. Tayf Türü Dağılımı



Genel dağılıma bakılacak olursa post-AGB ve ilişkili cisimlerin **B**, **F** ve **G** tayf türünde yoğunlaştıkları görülmektedir.



## 2. Sıcaklık Dağılımı



Post-AGB ve ilişkili cisimlerin **5000-10000 K** sıcaklık aralığında yoğunlaştığı görülmektedir.

### 3. Metallik İncelemesi

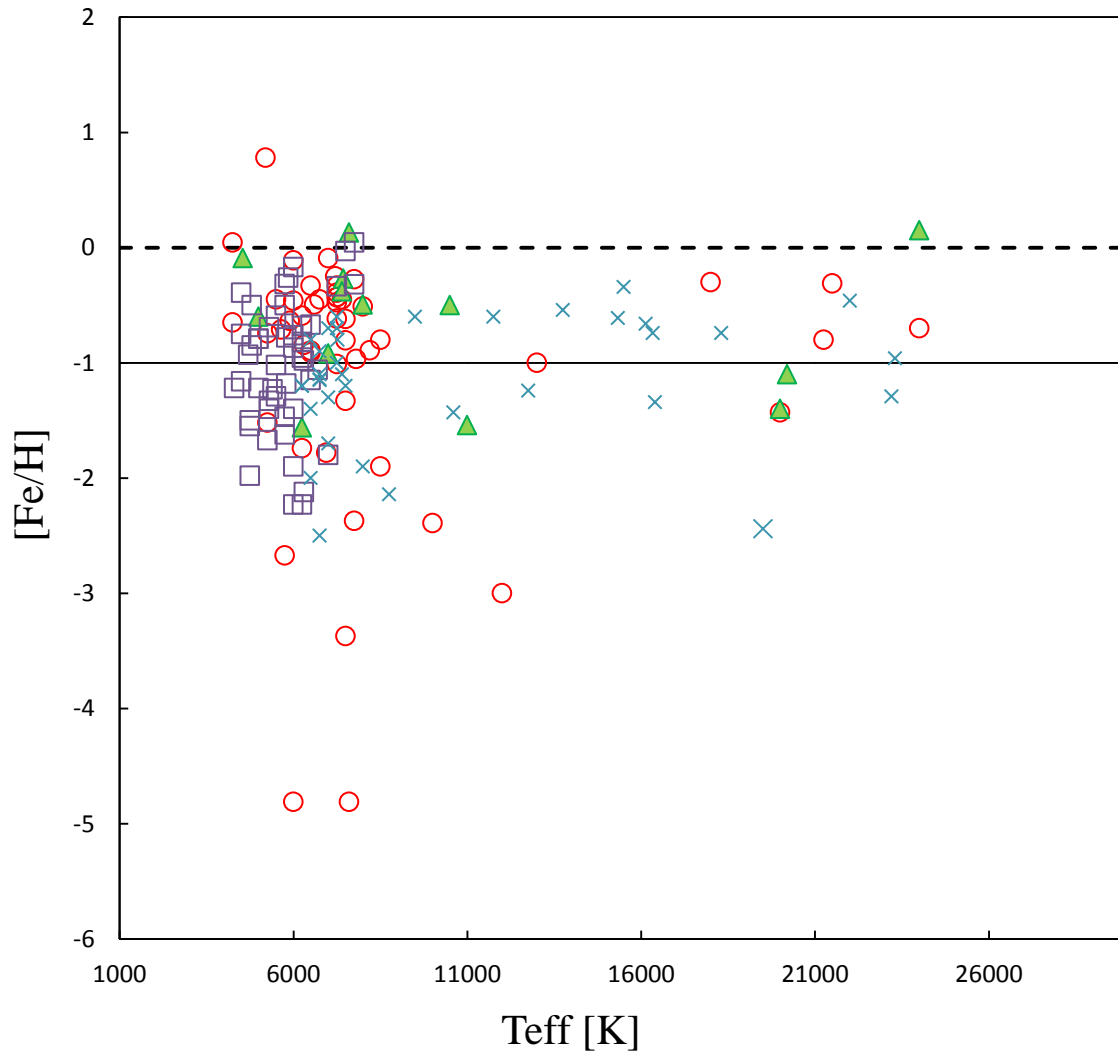
Yıldızlarda her elementin karışımını ölçmek mümkün değildir, Fe/H oranı ölçüm kolaylığı nedeniyle yıldızın ortalama metal bolluğunu temsil etmek kullanılmaktadır.

$$[\text{Fe}/\text{H}] = \log_{10}(\text{Fe}/\text{H})_{\text{yıldız}} - \log_{10}(\text{Fe}/\text{H})_{\odot}$$

↪ Güneş için  $[\text{Fe}/\text{H}] = 0$

↪  $[\text{Fe}/\text{H}] < -1$  metalce fakir yıldız

↪  $[\text{Fe}/\text{H}] > -1$  metalce zengin yıldız



**Kırmızı** daire: **çok olası**  
**Yeşil** üçgen: **olası**  
**Mor** kare: **Rv Tau**  
**Mavi** çarpı: **R Crb**

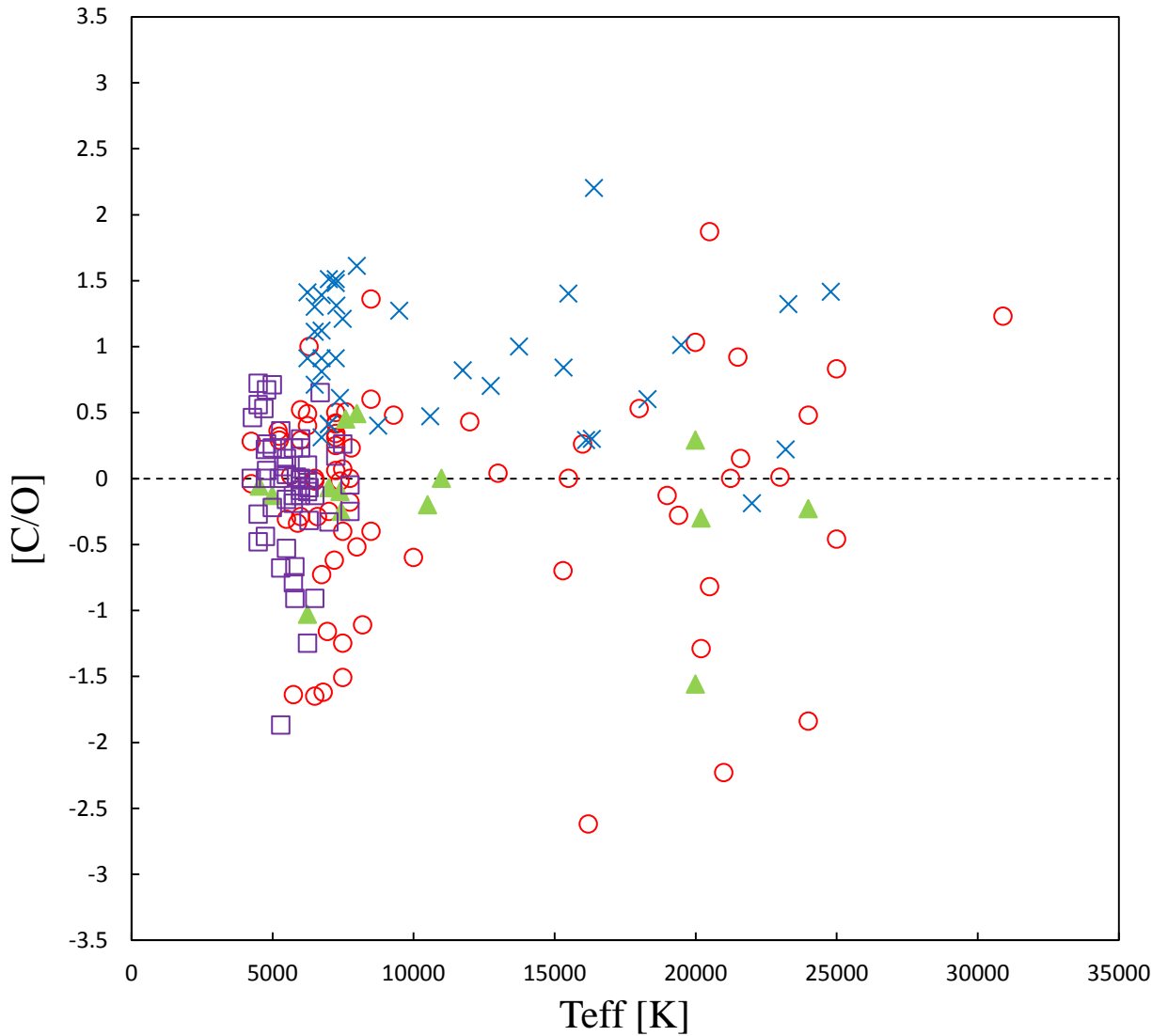
**Olası post-AGB**, **Rv Tau**, **R Crb** / **eHe** / **LTP** cisimlerinin genel olarak metalce zengin ve metalce fakir yıldızları aynı oranda içerdikleri, **çok olası post-AGB** yıldızlarının ise ağırlıklı olarak metalce zengin yıldızları içerdiği gözlenmiştir. Ayrıca **11000 K**'den daha büyük sıcaklıktaki cisimlerin genel olarak **metalce zengin** olduğu dikkati çekmiştir.

## 4. C, O, N Bolluklarının İncelenmesi

★ Nükleer evrime ilişkin bilgi sunduğu için; Post-AGB yıldızlar ile ilgili çalışmalarda cisimleri karbon zengini ya da oksijen zengini olarak tanımlamak gelenek olmuştur.

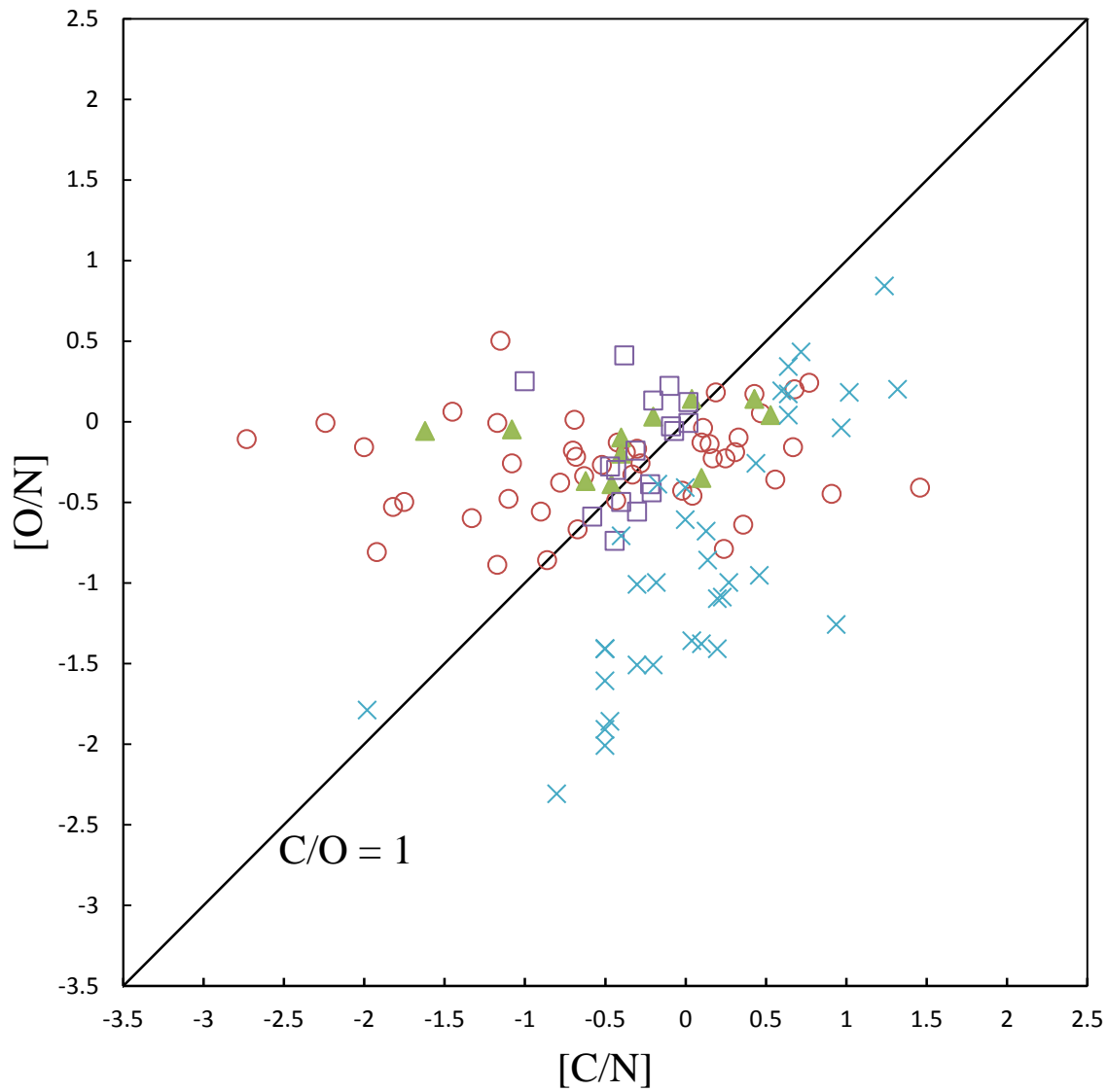
★  $[C/O]-T_{\text{eff}}$  ve  $[O/N]-[C/N]$  ilişkileri incelenmiştir.

✓ Böylece AGB evrimi sırasında CNO çevriminin ve karıştırma işlemlerinin etkinliğine ilişkin ipucu yakalanmaya çalışılmıştır.



**Kırmızı** daire: **çok olası**  
**Yeşil** üçgen: **olası**  
**Mor** kare: **Rv Tau**  
**Mavi** çarpı: **R Crb**

Çok olası ve olası post-AGB yıldızları ile Rv Tau yıldızlarınının 0 çizgisi etrafında dengeli bir dağılım gösterdiği görülür. **R CrB / eHe/ LTP cisimleri** ise çoğunlukla 0 çizgisi üzerinde kalmaktadır. Bu da o cisimlerin karbonca daha zengin olduklarını göstermektedir.



**Kırmızı** daire: **çok olası**

**Yeşil** üçgen: **olası**

**Mor** kare: **Rv Tau**

**Mavi** çarpı: **R Crb**

☆ Karbonun baskın olması durumu;

↳ Üçlü  $\alpha$  tepkimesi ile üretilen ve 3.tırmıklama tarafından yıldız yüzeyine taşınan C senaryosu ile uyumludur.

★ Güçlü karbon azalması ve azot artışı görülen cisimler için önerilen senaryolar

★ birinci tırmıklama

★ ikinci tırmıklama

★ HBB

★ üçüncü tırmıklamaya maruz kalmadan AGB'nin sonlanması

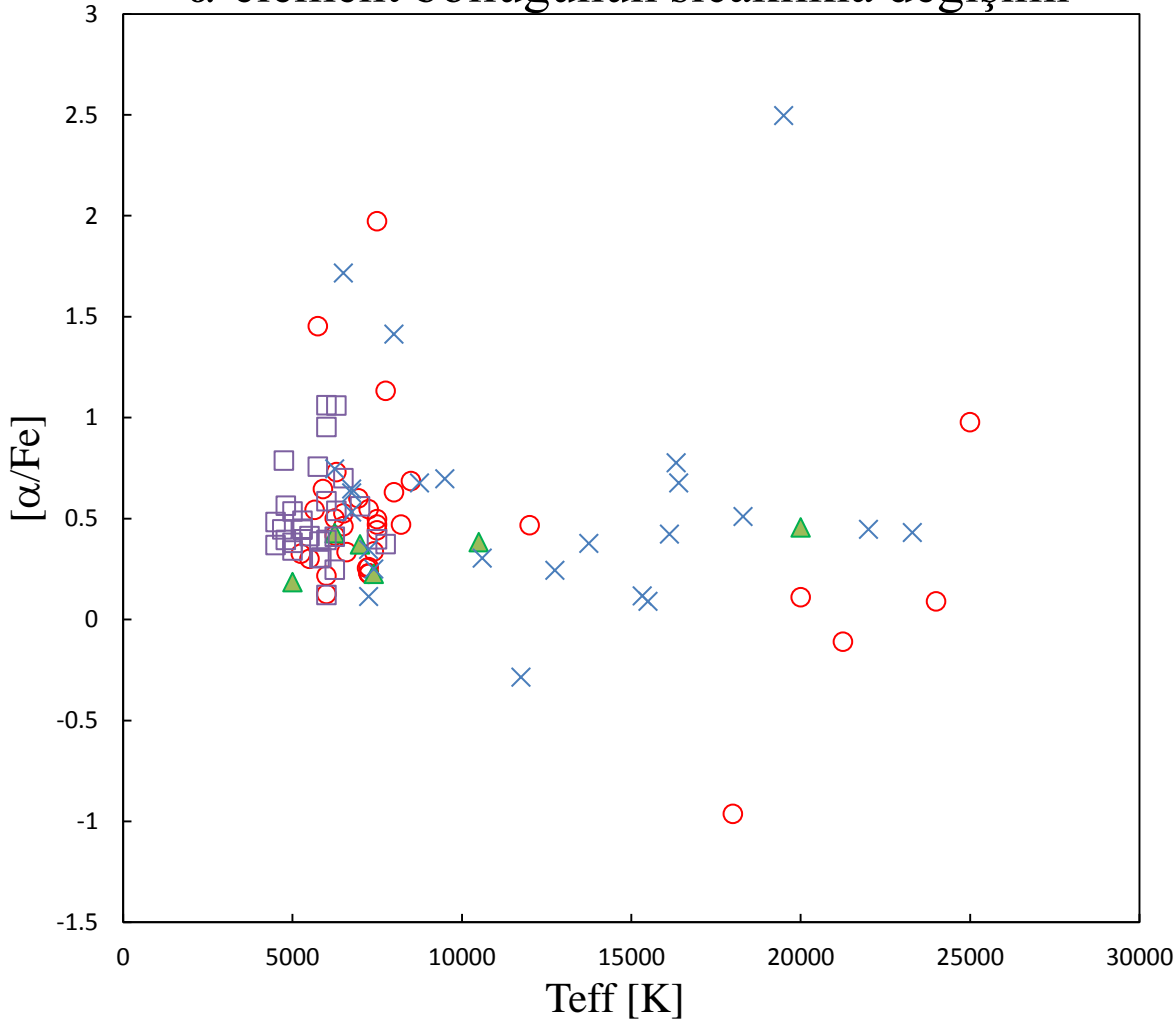
## 5. $\alpha$ Element Bolluklarının İncelenmesi

★ Popülasyon türleri ve gökadamdaki konumları belirteci

★ Mg, Si, S bollukları mevcut olanlar dikkate alınarak  $\alpha$ -element bolluğu incelemesi yapılmıştır.



## $\alpha$ -element bolluğunun sıcaklıkla değişimi

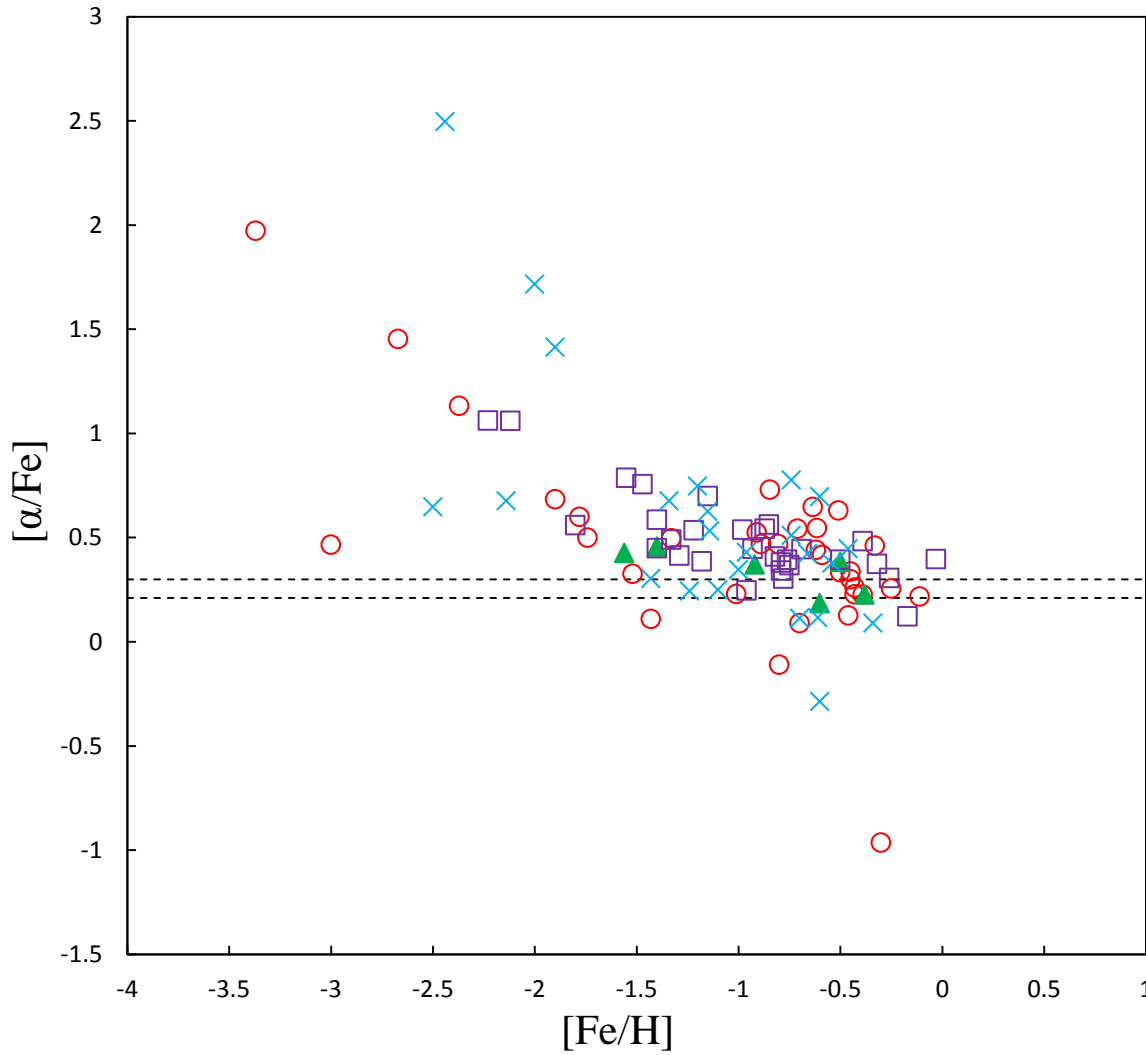


**Kırmızı** daire: **çok olası**  
**Yeşil** üçgen: **olası**  
**Mor** kare: **Rv Tau**  
**Mavi** çarpı: **R Crb**

Cisimlerin  **$\alpha$ -element zenginleşmesi** gösterdiği ve bu zenginleşmenin **5000 K - 10000 K** arasında yoğunlaştığı görülmektedir. **R Crb / eHe / LTP** cisimleri diğer türlere göre daha farklı bir dağılım sergilemektedir. Bu cisimler  $\alpha$ -element zenginleşmesi incelenen **tüm sıcaklık aralıklarında** görülebilmektedir.  **$\alpha$ -elementlerince fakir** olan çok az sayıda cismin ise **10000 K üzerindeki** sıcaklıklarda yer aldığı görülmektedir.

★ Cisimlerin galaktik konumlarının incelenebilmesi için ise,  $\alpha$ -element bolluklarının demir oranları ile genel metallilik ölçütü olarak kullanılan  $[\text{Fe}/\text{H}]$  arasında bir grafik oluşturulmuştur.

- ✓  $[\text{Fe}/\text{H}] < -1$  halo yıldızları
- ✓  $-0.5 < [\text{Fe}/\text{H}] < -1$  kalın disk yıldızları
- ✓  $[\text{Fe}/\text{H}] > -0.5$  ince disk yıldızları



**Kırmızı daire: çok olası**  
**Yeşil üçgen: olası**  
**Mor kare: Rv Tau**  
**Mavi çarpı: R Crb**

**[Ca/Fe]=0.21 Rao  
 et al.(2012) kalın  
 disk ince disk  
 ayrımı**

★ En büyük  $\alpha$ -element zenginleşmesine sahip cisimler **haloda** yer alma eğilimindedir.

★  $-1 < [Fe/H] < -0.5$  olan **kalın disk** yıldızlarının çoğunda  $[\alpha/Fe]$  oranının **0.3'ün üstünde** kaldığı, **ince diske** doğru gidildikçe oranın **0.3'ün altına** inme eğiliminde olduğu görülmektedir.

## 6. $\gamma$ -İşlem Element Bolluklarının İncelenmesi

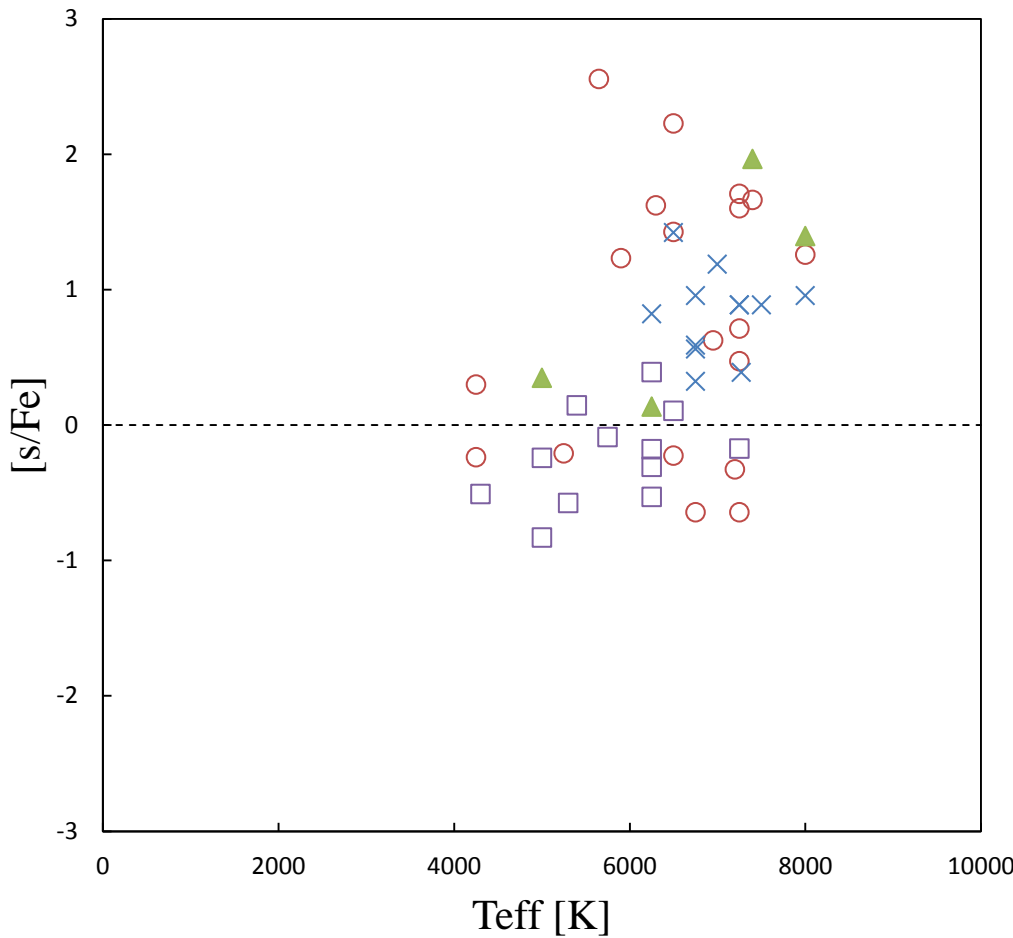
☆ Post-AGB yıldızlarının tayflarında genel olarak  $\gamma$ -işlem elementlerince zenginleşme görülmektedir.

☆  $\gamma$ -işlem elementleri olarak adlandırılan elementler sembolleri ile birlikte şu şekilde verilmektedir:  
*İtriyum (Y), Zirkonyum (Zr), Baryum (Ba), Lantan (La), Stronsiyum (Sr), Seryum (Ce), Neodimyum (Nd), Samaryum (Sm), Evropiyum (Eu), Disprozyum (Dy), Praseodim (Pr).*

☆ Bu elementlerden atom numarası  $Z < 50$  olanlar hafif,  $Z > 50$  olanlar ise ağır  $y$ -işlem elementleri olarak tanımlanmaktadır.

☆  $y$ -işlem element dağılımını görebilmek için belirlenen post-AGB ve ilişkili cisimlerin Ba, La, Y element bolluklarından üçüne de sahip olanlar seçilmiştir.

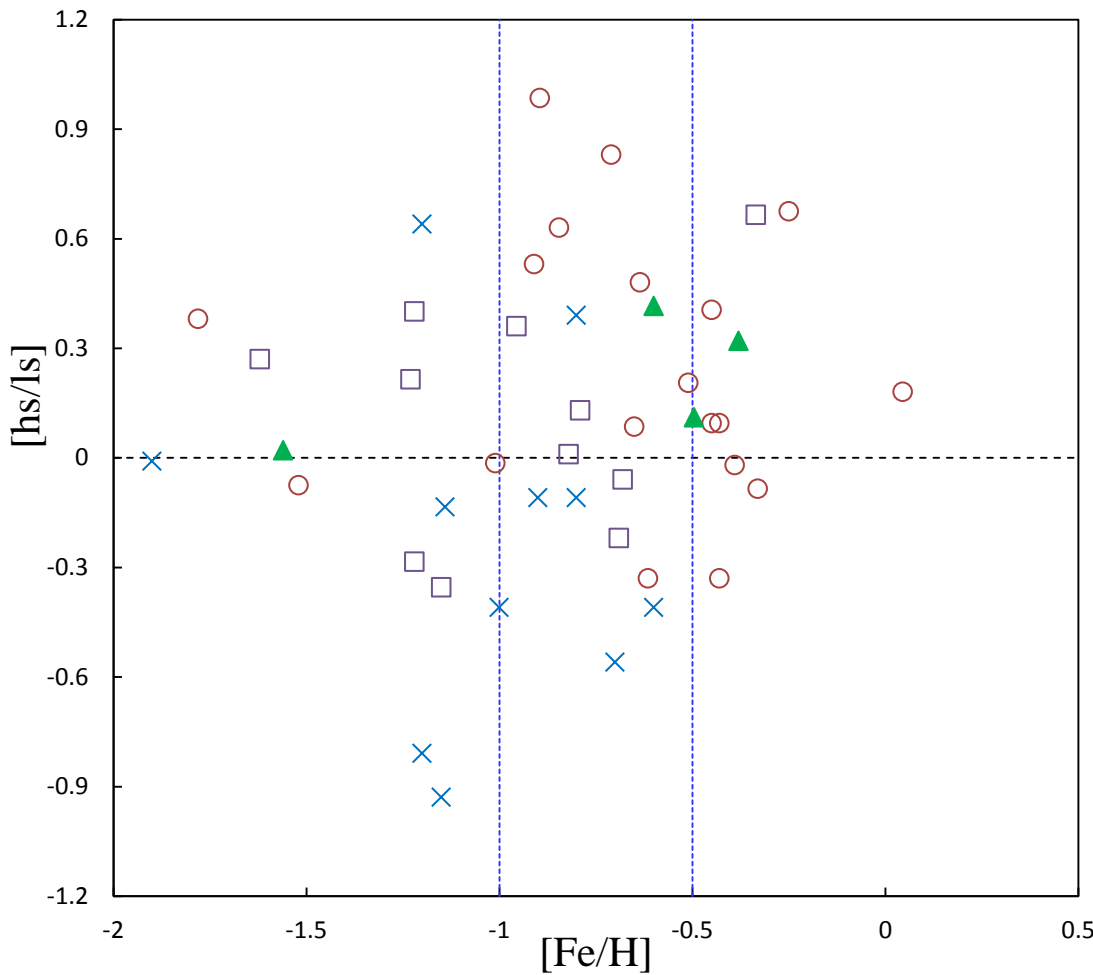
↪ Ba, La ağır elementleri, Y ise hafif elementleri temsil etmektedir.



Seçilen  $\gamma$ -işlem element bolluklarının ortalamasının Fe'e oranı sıcaklığa karşı

**Kırmızı** daire: **çok olası**  
**Yeşil** üçgen: **olası**  
**Mor** kare: **Rv Tau**  
**Mavi** çarpı: **R Crb**

**6000 K**'den daha yüksek sıcaklığa sahip post-AGB cisimlerinin  $\gamma$ -işlem elementlerince zenginleşmesi dikkat çekicidir. **Post-AGB olma olasılığı çok yüksek** olan cisimlerle **olası post-AGB cisimlerinde** zenginleşme diğer türden cisimlere göre daha fazladır. **R Crb / eHe / LTP** cisimleri de  $\gamma$ -işlem elementlerince zenginleşme gösterebilir de bu zenginleşme post-AGB olasılığı yüksek olanlara göre daha düşük kalmaktadır. Şekilde diğer dikkat çekici bir durum **Rv Tau** türü cisimlerin genel olarak diğer türlere göre  $\gamma$ -işlem elementlerince daha fakir görülmesidir.



Ağır y-ışlem elementlerinin hafif y-ışlem elementlerine oranının [Fe/H] oranı ile değişimi

**Kırmızı** daire: **çok olası**  
**Yeşil** üçgen: **olası**  
**Mor** kare: **Rv Tau**  
**Mavi** çarpı: **R Crb**

**Çok olası post-AGB** ve **olası post-AGB** yıldızlarının genel olarak kalın (-1 < KD < -0.5) ve ince disk (İD > -0.5) de konumlandığı dikkat çekmektedir. Kalın diskte yer alan **post-AGB olma olasılığı çok yüksek** cisimlerin ağır y-ışlem elementlerince daha zengin olduğu, ince diske doğru gidildikçe ağır ve hafif y-ışlem elementlerinin bolluklarının birbirine yaklaştığı görülmektedir. Diğer dikkat çekici bir durum **Rv Tau** türü kalın disk cisimlerinin ağır ve hafif y-ışlem element bolluklarının birbirine yakın, **R Crb / eHe / LTP** türü cisimlerin ise hafif y-ışlem elementlerince daha zengin olduğudur.

## 7. Isıya Dayanıklı (Refractory) Elementlerin Tükenme Durumunun İncelenmesi

☆“Refractory” element kavramı ısıya karşı aşırı bir dayanıklılık gösteren elementler için kullanılmaktadır. Bu elementler için kaynama ve yoğuşma sıcaklığı çok yüksektir.

☆Toz-gaz ayrışmasının gerçekleştiği bazı astrofiziksel ortamlarda (yıldızı çevreleyen disk yapılar gibi) ısıya dayanıklı bu elementlerin tükenmeye (depletion) maruz kaldığı gözlenmektedir.

☆Post-AGB cisimleri ile ilgili birçok çalışmada da ısıya dayanıklı bazı elementlerdeki tükenme durumuna dikkat çekilmiştir.



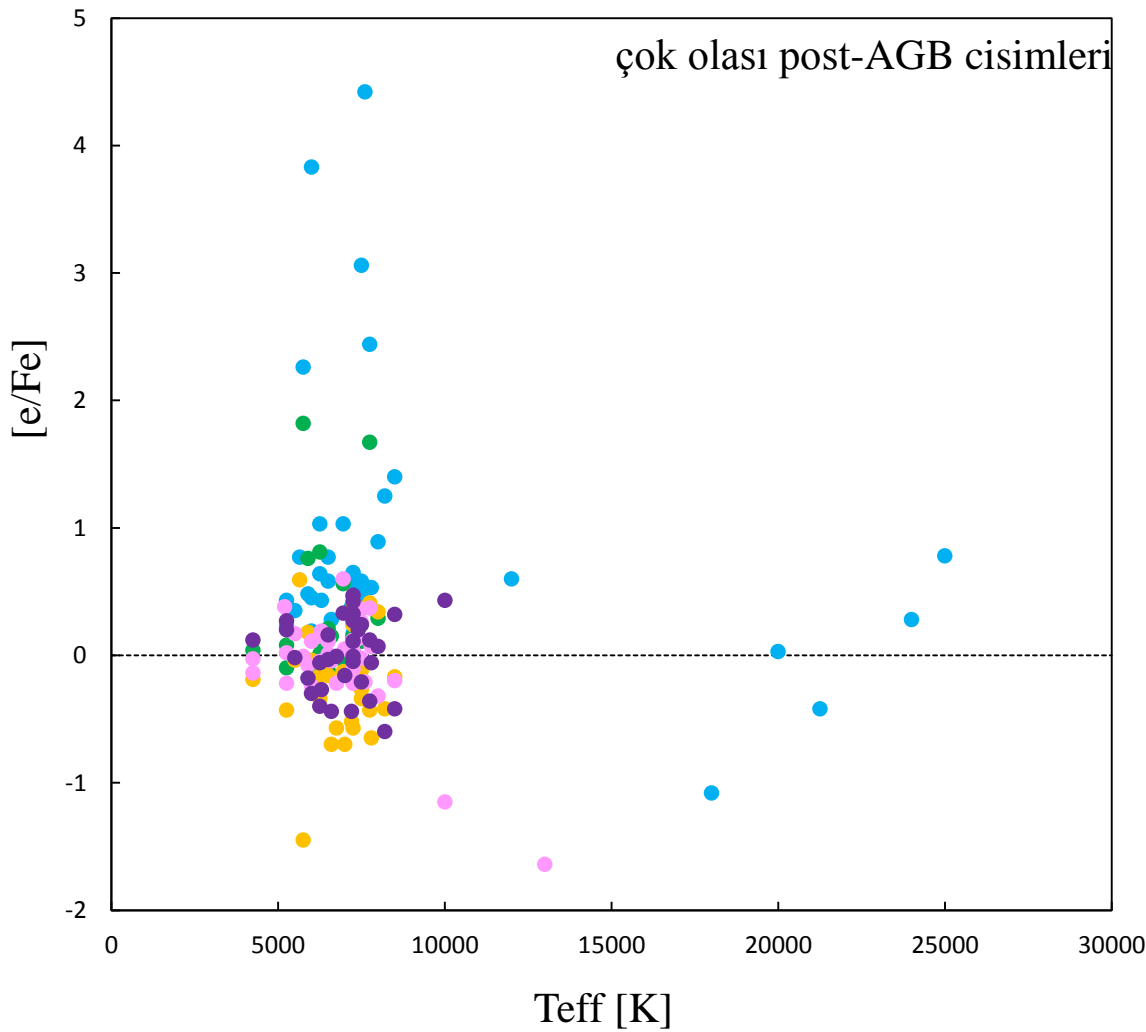
Çalışmamızda seçilen post-AGB cisimlerindeki toz-gaz ayrışması kaynaklı element tükenmesini incelemek amacı ile bolluk çalışmalarında en çok karşılaşılan ısıya dayanıklı elementlerden **S, Zn, Sc, Ca ve Ti** bolluklarının Fe'e oranı hesaplanarak **sıcaklığa karşı** noktalanmıştır.

→ Toz-gaz ayrışması incelemesi için Rao et al. (2012) tarafından verilen

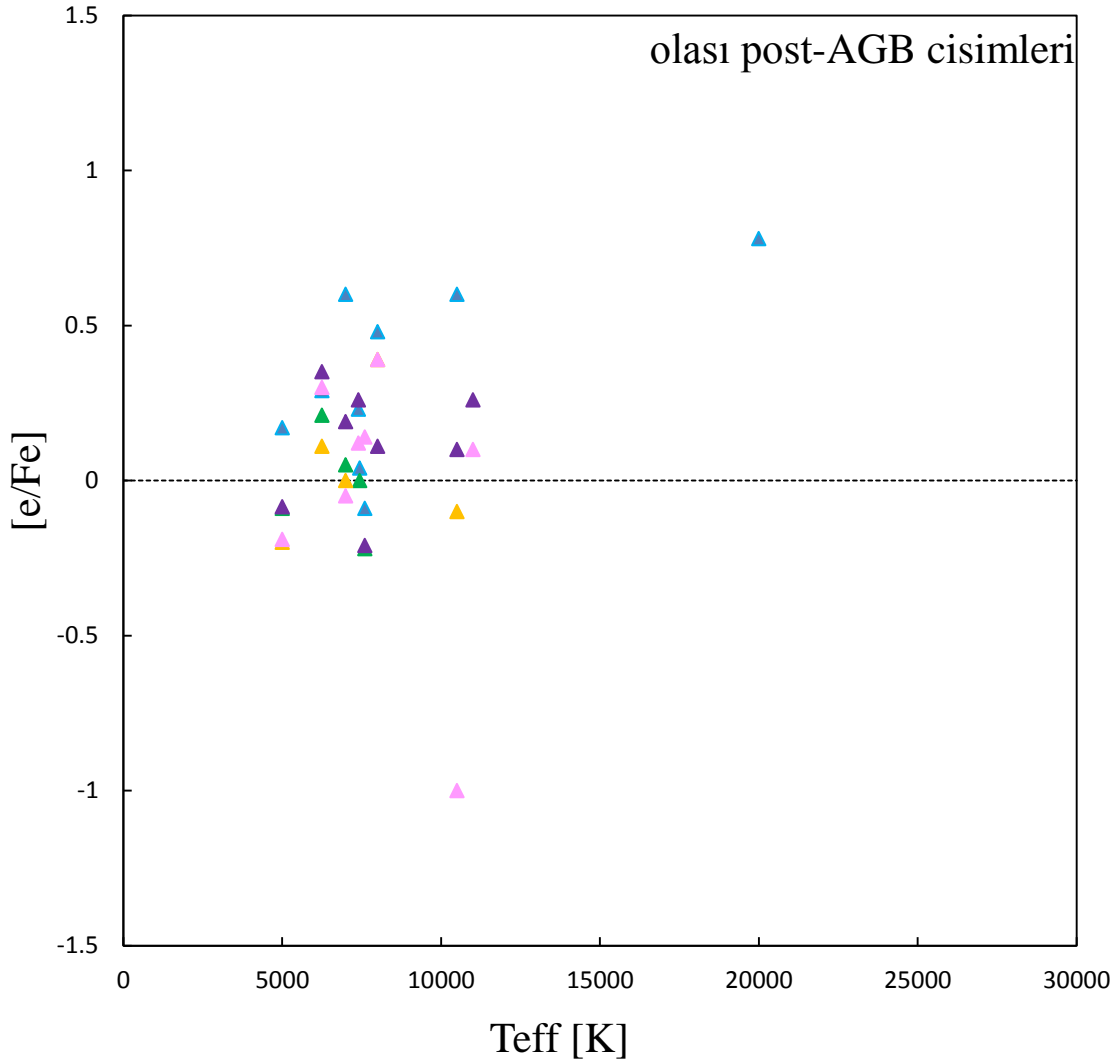
$$[S/Fe], [Zn/Fe] > 0,$$

$$[Ca/Fe], [Sc/Fe], [Ti/Fe] < 0$$

kriterleri kullanılmıştır.

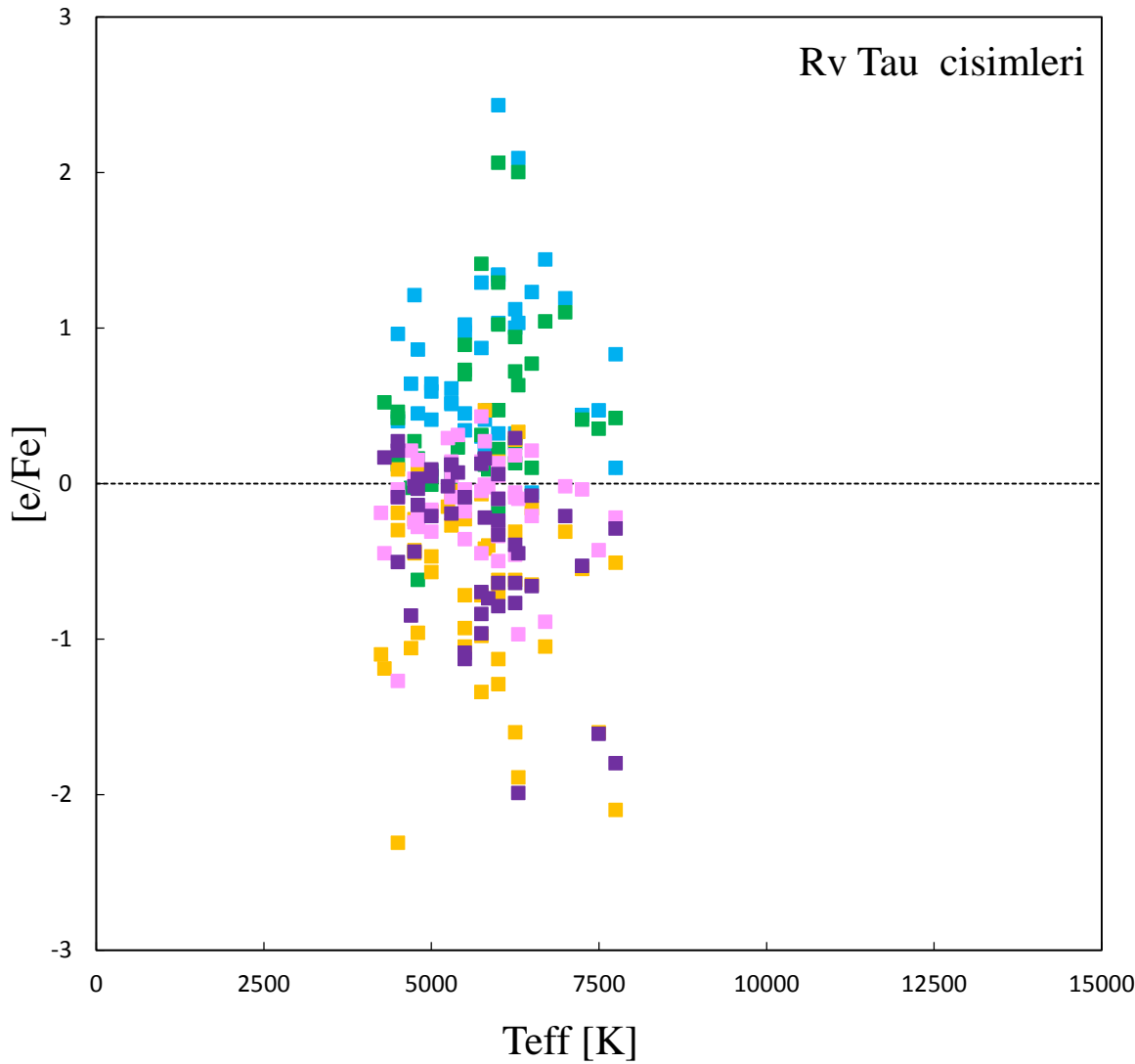


5000-10000 K sıcaklık aralığında S ve Zn'in tükenmediği görülmektedir. Diğer üç element için ise yıldızların çoğunda [e/Fe] oranının 0 civarında ya da 0'ın altında kaldığı ve bu nedenle de bu elementlerin bu sıcaklıkta tükenme eğiliminde oldukları sonucu çıkarılabilmektedir. Sıcaklığın 15000 K'i aştığı cisimlerde S elementinin tükenmeye başladığı ve [e/Fe] oranının 0 civarında ya da 0'ın altında kaldığı dikkat çekmektedir.



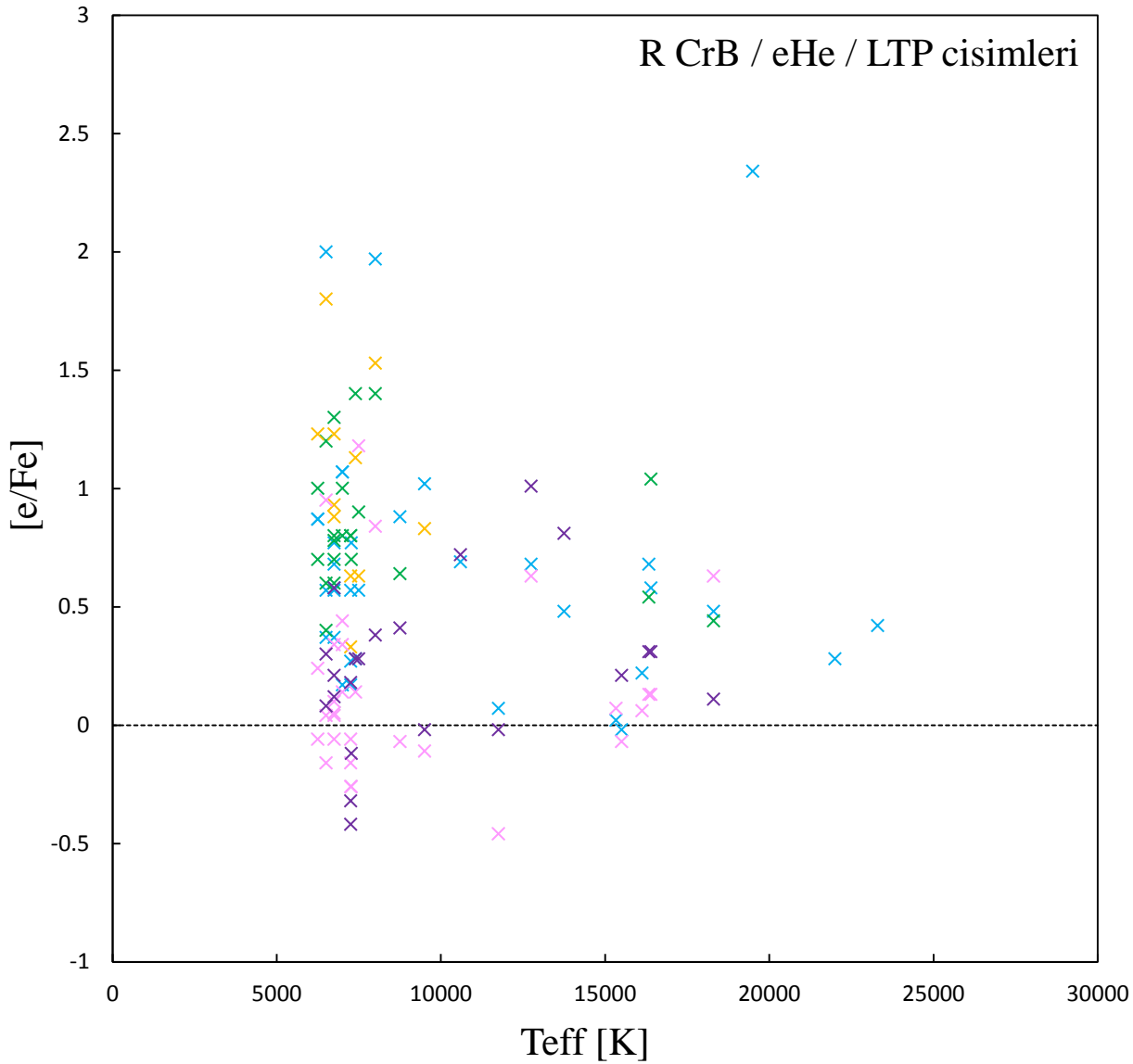
Kükürt (S) - **mavi**  
Çinko (Zn) - **yeşil**  
Skandiyum(Sc)-**turuncu**  
Kalsiyum(Ca)-**pembe**  
Titanyum (Ti) - **mor**

Örnek sayısının azlığı nedeni ile çok net bir sonuç çıkarılamasa da çok olası post-AGB'ler ile benzerdir.



Kükürt (S) - **mavi**  
Çinko (Zn) - **yeşil**  
Skandiyum(Sc)-**turuncu**  
Kalsiyum(Ca)-**pembe**  
Titanyum (Ti) - **mor**

4000 ile 8000 K sıcaklık aralığında bulunan bu cisimlerde S ve Zn tükenmeden kalırken Ca, Sc ve Ti elementleri cisimlerin çoğunda tükenmiştir. Bu durum bu yıldızların genellikle çift olmaları ve bu nedenle toz-gaz ayrışmasının gerçekleştiği sistemler oldukları şeklinde yorumlanabilmektedir.



İncelenen 5 elementin Fe'e oranının cisimlerin çoğunda 0'ın üzerinde olduğu ve bu nedenle elementlerin tükenmeden kaldıkları görülüyor.

TEŞEKKÜRLER