

Seçilmiş RV Tauri türü Post-AGB Değişenler için Birinci İyonizasyon Potansiyeli Etkisinin Araştırılması Üzerine Bir Uygulama

Gizay Yolalan¹, Timur Şahin¹

¹Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Antalya, Türkiye.

Özet: Bu çalışma kapsamında RV Tauri post-AGB yıldızları R Sct ve AU Peg'nin spektroskopik analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen kimyasal bolluklar söz konusu bu evrimleşmiş yıldızlarda birinci iyonizasyon potansiyeli etkisinin (First Ionization Potential - FIP) araştırılması amacıyla değerlendirilmiştir. Bolluk analizi için kullanılan yüksek çözünürlüklü echelle tayflar ($R \approx 55000$) Texas Üniversitesi McDonald gözlemevi 2.1m lik Otto Struve ve Sandiford tayfçekeri ile alınmıştır. Tayflarında zonklama nedeniyle çizgi profil değişimleri gösterdikleri bilinen program yıldızlarının spektroskopik analizlerin gerçekleştirilmesi aşamasında Akdeniz Üniversitesi Yüksek Çözünürlüklü Yıldız Spektroskopisi (HRSS) grubunda geliştirilen kod ve yazılımlardan faydalanıldı. Bolluk analiz sonuçları R Sct yıldızında FIP etkisinin var olduğuna ve sergilediği bu etkinin Güneş'te görülen FIP etkisiyle uyum içersinde olduğunu işaret etmekte. AU Peg yıldızı için FIP etkisi ihmal edilebilir.

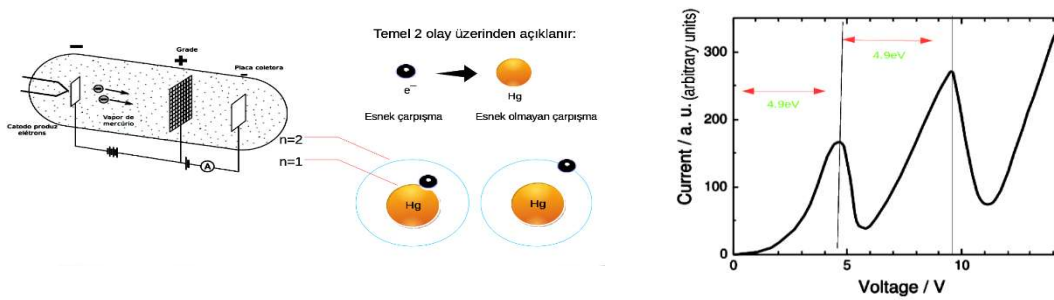
Anahtar Kelimeler: RV Tauri yıldızları, kimyasal kompozisyon, bolluk analizi, Post-AGB yıldızları

Abstract: In this study, we performed high resolution spectroscopic analyses of RV Tau type post-AGB stars R Sct and AU Peg. The yields were used to evaluate presence of first ionization potential effect. The high resolution echelle spectra ($R \approx 55000$) were obtained via 2.1m Otto Struve Telescope and Sandiford echelle spectrograph at the McDonald Observatory. The spectral range was 4800-5600Å. We used in-house developed codes by HRSS group to analyze the spectra for the program stars that are known to show line profile variations due to stellar pulsation. The analysis results indicate presence of FIP effect for R Sct. The effect of the FIP can be neglected for AU Peg.

Key Words: RV Tauri stars, chemical composition, abundances analysis, Post-AGB stars

1. Birinci İyonizasyon Potansiyeli Etkisi: Güneş, Güneş Benzeri ve Evrimleşmiş Yıldızlar

Bohr atom modelinin deneysel kanıtı olarak göze çarpan Frank-Hertz deneyi esnek ve esnek olmayan çarpışmaların doğasının anlaşılmasında önemli bir rol oynar. Deney kapsamında Hg atomları ile dolu tüp içindeki elektrotlara uygulanan (hızlandırıcı) gerilim sayesinde Hg atomlarıyla etkileşime geçen elektronlar kazandıkları kinetik enerji ile hem esnek hem de esnek olmayan bir çarpışma gerçekleştirirler. Şekil-1 de içerilen akım-gerilim grafiği bu süreci özetler niteliktedir: Grafikteki yükselttiler esnek olmayan çarpışmaları, gözlenen düşüşler ise esnek çarpışmaları temsil etmektedir. Ardışık tepeler arası 4.9 eV luk fark Hg'nin uyarılma potansiyelini temsil eder. Uygulanan gerilim atomun son yörüngesinde bulunan elektronu kopararak serbest hale geçmesi (iyonizasyon) tayfta çizgi oluşumuna sebep olur. Söz konusu bu süreç için gerekli minimum enerji iyonizasyon potansiyeli olarak tanımlanır.

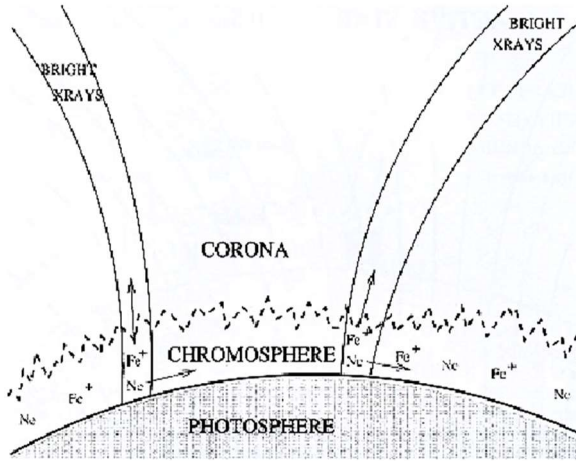


Şekil 1: Soldaki şekil Frank-Hertz deney düzenine betimler. Sağdaki grafik ise deneyin sonucunu gösterir.

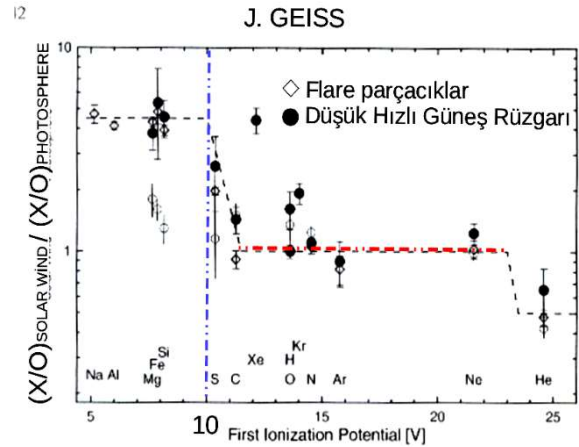
Yıldız spektroskopisinde tayfta gözlenen elementlerin iyonizasyon potansiyelleri temelinde incelenen etki (FIP) ise tanımladığımız FIP etkisi ilk olarak Güneş'te, ışık küre (fotosfer) ve taç küre (korona) kompozisyonunda yer alan farklı elementlere ait fotosferik ve koronal bolluk değerleri arasında gözlenen bolluk farklarının açıklanması amacıyla kullanılmıştır.

*Sorumlu Yazar E-Posta: timursahin@akdeniz.edu.tr

(Pottash, 1963; Meyer, 1985a,b; Geiss, 1982). Söz konusu bolluk anomalisi FIP değeri 10 eV dan küçük olan elementlerin fotosferik bolluklarında azalma şeklinde kendini gösterir (i.e. FIP etkisi). Gözlenen bolluk anomalisini manyetik aktivite ile ilişkilendirmek mümkündür. Bu betimlemede (bkz. Şekil-2) teori, fotosferden koronaya uzanan manyetik akı tüplerinin, FIP değeri 10 eV dan küçük (Mg, Si, Fe gibi) fotosferik elementlerin tuzaklanarak taç küreye taşınımını öngörür.

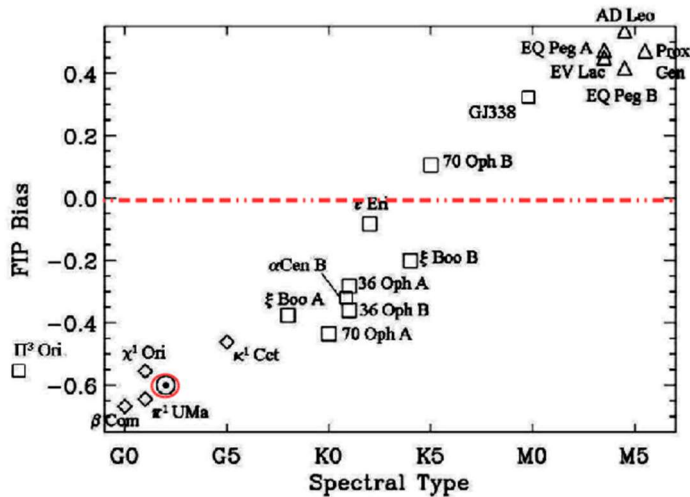


Şekil-2: FIP etkisinin işleyiş mekanizmasını özetlemektedir. Öyle ki manyetik alan ilmekleri tarafından tuzaklanan iyonize elementler ışık küreden taç küreye taşınır.



Şekil 3: Geiss (1982) tarafından gerçekleştirilen Güneş analizi ve taçküre bolluklarının Greveese (1989) tarafından belirlenen fotosferik bolluklara oranı. FIP değeri 10 eV'un altındaki elementler taç kürede daha fazla miktarda bulunmaktadır. Kırmızı çizgi, koronal ve fotosferik bollukların eşitliğini temsil etmektedir.

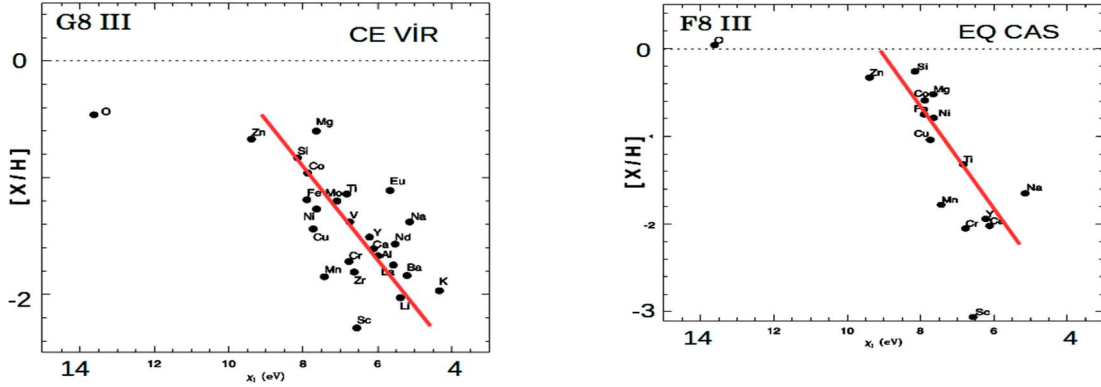
Fotosferik bolluk düşüşü ile ilişkilendirilen bu taşınım ile ilgili olarak Geiss (1982) tarafından gerçekleştirilen bağımsız bir çalışma (bkz. Şekil-3) Güneş fotosferik sıcaklığı gözönüne alındığında FIP değeri 10 eV un altındaki elementlerin fotosferik bolluklarındaki düşüşü anlaşılır kılar niteliktedir. Farklı tayf türünden anakol yıldızları için ise fotosferik ve koronal bolluk farkının (i.e. FIP bias) ilginç bir davranış sergilediği görülmektedir. (Laming 2015; bkz. Şekil-4) . Burada FIP bias < 0 olan yıldızlar Güneş benzeri bir davranış sergilerken, FIP bias > 0 yıldızların ise ters FIP etkisini gösterdikleri görülmektedir.



Şekil 4: Laming, 2015'den alınan şekilde G0 tayf türünden M5 tayf türünden olan Güneş gibi anakol yıldızlarının FIP bias $([X/H]_{\text{ışık küre}} - [X/H]_{\text{taç küre}})$ değerleri grafike edilmiştir. Güneş bu grafikte kendi sembolüyle belirtilmiş olup kırmızı çemberle belirtilmiştir. Buna göre Güneş'te görülen ışık küre ve taç küre arasındaki bolluk farkının değeri -0.6 dır.

Literatürde dev ve süperdev yıldızlar üzerine gerçekleştirilen ve FIP etkisini mercek altına alan çalışmaların ise son derece az sayıda oldukları göze çarpmaktadır. CE Vir yıldızı için Rao ve Reddy (2005) ve EQ Cas için Giridhar ve ark. (2004) tarafından gerçekleştirilen çalışmalara ait analiz sonuçları Şekil-5'te sunulmaktadır. Her iki yıldızda da FIP etkisinin varlığı net bir şekilde görülmektedir. Benzeri çalışmalar, FIP etkisi çerçevesinde evrimleşmiş yıldızlarında Güneş benzeri bir davranış sergilediklerine işaret etmektedir. Galaksimizde rapor edilen 300'ün üzerinde post-AGB yıldızı mevcuttur. GCVS

katalogunda RV Tau türü alt guruba ait 154 adet kaynak listelenmektedir. Söz konusu bu yıldız evrim sürecindeki yıldızların tayfsal analizleri, yoğun kütle kaybı ve zonklama temelli değişimlerin etkisi nedeni ile tayfsal analizleri problemlili olan AGB evrim aşamasındaki yıldızlar için çekirdek sentez teorisinin (e.g. s- ve r- process) sınaması ve doğasının anlaşılması aşamasında da önemli bilgiler sağlar. Aynı zamanda Galaksilerin kimyasal yapılarının ortaya konması (i.e. Galaktik Evrim



Şekil 5: Soldaki grafik Rao ve Reddy, 2005 çalışmasında RV Tau yıldızlarından Ce Vir için FIP etkisini göstermektedir. Sağdaki grafik Gridhar ve ark. tarafından RV tau yıldızı olan EQ Cas için FIP etkisinin varlığını göstermektedir.

Modelleri - GCE) ve değerlendirilmesi aşamasında da önemli bir rol oynarlar. Karakteristik olarak iki tepeli bir enerji dağılımı ile temsil edilen post-AGB yıldızlarının bir alt gurubu oldukları düşünülen RV Tauri yıldızları, yarı düzenli bir fotometrik değişim sergileyen (Type-2 türü) Cepheid yıldızlarıdır. Spektroskopik olarak RVA, RVB, RVC olarak üç sınıfta incelenirler (Preston ve ark.,1963) ve F, G, ve K tayf türlerine sahiptirler. GCVS (General Catalogue of Variable Stars) kataloguna göre galaksimizde 154 adet RV Tau yıldızı bulunmaktadır.

2. Tayfsal Gözlemler ve Analiz

Çalışma kapsamında FIP etkisini incelediğimiz RV Tau türü değişenler AU Peg ve R Sct için echelle tayflar McDonald Gözlemevi'ndeki 2.1m lik Otto Struve teleskopuna bağlı Sandiford tayfçekeri ile 2008- 2011 yılları arasında elde edilmiştir. Tayflar için tipik sinyal gürültü oranları 300-530 arasında değişmektedir. Söz konusu tayflar 4800 - 5600 Å dalgaboyu aralığında elde edilmiştir. Tayfların ön indirgeme işlemleri (sıfır seviye, kara akım, düz alan ve yüksek enerjili parçacık etkileri) ve dalgaboyu kalibrasyonu IRAF'ta, süreklilik normalizasyonu, merging (orderların birleştirme işlemi), dikine hız düzeltmesi ve fits dosyalarının 2D (dalgaboyu-akı) ascii formatına dönüşümleri HRSS gurubu tayfsal analizleri için geliştirilmiş RADVELAS kodu yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

3. Çizgi Seçimi, Model Atmosferler ve Bolluk Analizi

Çizgi teşhisleri ve eşdeğer genişlik ölçümleri de yine IDL ortamında gerçekleştirilmiştir. Ölçülen eşdeğer genişliklerin bolluklara dönüştürülmesi aşamasında 1D LTE koşulu altında, ATLAS9 programı yardımıyla oluşturulan model atmosferler ve MOOG (Snedden, 1973) tayfsal analiz kodu kullanılmıştır. Analiz için güncel atomik veriler derlenmiş ve söz konusu verilerin güvenilirliği Güneş tayfı kullanılarak test edilmiştir. Çalışma kapsamında FIP etkisinin irdelenmesi aşamasında Çizelge 1 ve 2'de içerilen [Element/H] değerlerinin hesaplanmasında hesaplanan Güneş bollukları kullanılmıştır.

4. Bulgular

R Sct için elde edilen model atmosfer parametreleri (etkin sıcaklık, çekim ivmesi, metaliste ve mikrotürbulans hızı) sırasıyla; 4625 K, 0.77 (cgs), -0.73 dex ve 4.25 km/s. Bu model parametreleri çerçevesinde elde edilen bolluklar Çizelge 1'de sunulmuştur. Söz konusu yıldız için çalışma kapsamında belirlenen bolluklar yardımıyla tespit edilen FIP etkisi Şekil 6'da betimlenmektedir.

AU Peg için elde edilen model atmosfer parametreleri sırasıyla; 6400 K, 2.30 (cgs), 0.12 dex, 5 km/s. Bu model parametreleri çerçevesinde elde edilen element bollukları ve FIP etkisinin irdelenmesine ilişkin temsili çizim sırasıyla Çizelge 2 ve Şekil 7'de sunulmaktadır.

FIP etkisinin incelenmesine yönelik ön sonuçların sunulmuş olduğu bu çalışma yüksek lisans tez çalışmasının da bir parçasını oluşturmaktadır. Analizler hali hazırda devam etmektedir. Güncel atomik veri ve analiz yöntemleri ile gerçekleştirilen ve çok sayıda RV Tau türü değişeni içermesi planlanan bu çalışmanın genel geçer FIP etkisinin fiziki doğasının anlaşılması

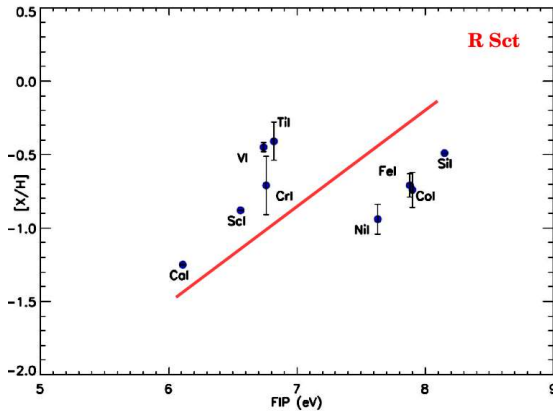
aşamasında literatüre katkı sağlaması planlanmaktadır.

Hali hazırda toplamda sayıları 45'i bulan RV Tau türü post-AGB değişen yıldız için tayfsal analiz devam etmektedir.

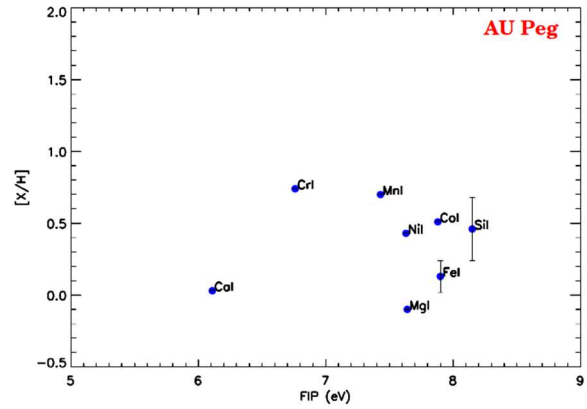
- R Sct

Species	$\log \epsilon_{\star}$	[X/H]	[X/Fe]	$\log \epsilon_{\odot}$	$\log \epsilon_{\odot}$ Asplund(2009)	FIP(eV)	lines
FeI	6.92	-0.74	-0.00	7.66 ± 0.04	7.50 ± 0.04	7.90	29
CrI	4.90	-0.71	-0.03	5.61 ± 0.05	5.64 ± 0.04	6.76	2
TiII	4.61	-0.41	+0.33	5.02 ± 0.02	4.95 ± 0.05	6.82	11
CoI	4.23	-0.71	+0.03	4.94 ± 0.01	4.99 ± 0.07	7.88	4
ScI	2.25	-0.88	-0.14	3.13 ± 0.00	3.15 ± 0.04	6.56	1
VI	3.59	-0.45	+0.29	4.04 ± 0.01	3.93 ± 0.08	6.74	3
SiI	7.05	-0.49	+0.25	7.54 ± 0.00	7.51 ± 0.03	8.15	1
CaI	5.19	-1.25	-0.51	6.44 ± 0.00	6.34 ± 0.04	6.11	1
NiI	5.28	-0.94	-0.20	6.22 ± 0.20	6.22 ± 0.04	7.63	9

Çizelge 1 : Otto Struve teleskopundan yüksek çözünürlüklü, 4850-5680 dalgaboyu aralığında alınan R Sct tayfının kimyasal bolluk analizinin sonuçları tablolanmışır.



Şekil 6: Çizelge 1'de rapor edilen bolluklar çerçevesinde FIP etkisinin varlığı R Sct yıldızında gösterilmiştir.



Şekil 7: Çizelge 2'de rapor edilen bolluklar çerçevesinde FIP etkisinin varlığı AU Peg yıldızında gösterilmiştir.

AU Peg

Species	$\log \epsilon_{\star}$	[X/H]	[X/Fe]	$\log \epsilon_{\odot}$ Asplund(2009)	FIP(eV)	lines
FeI	7.63	+0.13	-0.00	7.50 ± 0.04	7.90	11
CrI	6.38	+0.74	+0.61	5.64 ± 0.04	6.76	1
CoI	5.50	+0.51	+0.42	4.99 ± 0.07	7.88	1
SiI	7.97	+0.46	+0.33	7.51 ± 0.03	8.15	2
CaI	6.37	+0.03	-0.10	6.34 ± 0.04	6.11	1
NiI	6.65	+0.43	+0.30	6.22 ± 0.04	7.63	1
MnI	6.09	+0.70	+0.57	5.39 ± 0.05	7.43	1
NaI	7.80	+1.56	+1.43	6.24 ± 0.04	7.80	1
MgI	7.50	-0.10	-0.23	7.60 ± 0.04	7.64	1

Çizelge 2: Otto Struve teleskopundan yüksek çözünürlüklü, 4850-5680 dalgaboyu aralığında alınan AU Peg tayfının kimyasal bolluk analizinin sonuçları tablolanmışır.



5. Kaynaklar

- Anders, E., & Grevesse, N. 1989, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53, 197
Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A. J. and Scott, P., 2009, , *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 47, 481–522.
Giridhar S. ,Lambert D. L. & Gonzalez G., 2000, *ApJ*, 531 : 521-536
Kukarkin B. V., 1958, in Roman N. G., ed., *Comparison of the Large Scale Structure of the Galactic System with that of Other Stellar Systems Vol. 5 of IAU Symposium, Variable stars and problems of general structure of galaxies.* p. 49
Laming J. M. 2015, *Living Rev. Solar Phys.*,12, 2
Meyer, J.-P., 1985a, “, *Astrophys. J. Supp.*,57, 151–172.
Meyer, J.-P., 1985b, *Astrophys. J. Supp.*,57, 173–204.
Preston, G. W., Krzeminiski, W., Smak, J. & Williams, J. A. 1963, *ApJ*, 137,401
Rao, N. K., & Reddy, B. E. 2005, *MNRAS*, 357, 235
Szczerba R., Siódmiak N., Stasińska G. & Borkowski J.,2007, *A&A* ,469, 799