

ELEMENT BOLLUK ANALİZİNDE KULLANILAN İKİ TEKNİK: TAYFSAL ÇİZGİ ÖLÇÜMLERİ ve TAYFSAL SENTEZ

Kutluay YÜCE¹

¹ Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100 Tandoğan, Ankara
(e-posta: kyuce@ankara.edu.tr)

Özet: Yıldız Spektroskopisi (tayf ölçümü/bilimi), yıldızların gözlemsel tayflarının ayrıntılı analizidir. Bu çok güçlü araç, mantıksal bir sırada yıldızların sınıflandırılmasını içeren pek çok fiziksel ve kimyasal özelliği anlamalarında tayfbilimcilere imkan sağlar. Son 10 yılda kaydedilen bilimsel gelişmeler ışığında, yıldızların optik bölge tayflarının analizlerini inceliyoruz. Özellikle B, A ve erken-F tayf türü yıldızların kimyasal bileşimlerini belirliyoruz. Tek tek yıldızların kimyasal bileşimlerinin çalışılmasına olan bu ilgi, anakol bandı ve komşuluğundaki yıldızların tayfsal özelliklerinin genellikle iyi anlaşılmamış olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, yıldız atmosferlerinin sayısal modellemesini kullanan element bolluk analizindeki mevcut iki tekniği incelemek ve bazı güncel sonuçları tartışmaktır: “Tayfsal Çizgi Ölçümü (fine analysis)” ve “Tayfsal Sentez (spectral synthesis)”. İlk teknik, gözlemsel tayfların sürekliliklerinin belirlenmesi, çizgi ölçümlerinin yapılması, çizgi tanımlarının gerçekleştirilmesi, atmosfer parametrelerinin (etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi, mikrotürbülans hızı) belirlenmesi ve mevcut atom ve/veya iyonlardan element bolluk miktarlarının hesaplanmasına ilişkin birbiri ardınca yapılan süreçleri kapsar (örneğin; Adelman et al. DAO serisi makaleleri). Tayfsal sentez analizi genellikle ATLAS9 ve ATLAS12 modelleri ile bazı diğer girdi verilerini kullanarak kuramsal yıldız tayflarını hesaplamaktadır. Bu teknik yüksek çözünürlüğe sahip tayfların kullanımı ile yıldız atmosferlerine ilişkin daha gerçekçi kimyasal bileşim belirlenmesini ve atomik verilerin geliştirilmesini sağlar (örneğin; Fe II için Castelli et al. 2009 ve Castelli & Kurucz 2010, Xe II için Yüce et al. 2011).

Abstract: Stellar Spectroscopy is the detailed study of the observed spectra of stars. This very powerful tool enables stellar spectroscopists to infer many physical and chemical properties of stars including classifying them into a logical sequence. In light of progress made in the last 10 years, we examine the analyses of spectra in the optical region. In particular we assess/investigate the elemental abundances of the B, A and early-F spectral type. The main interest in studying the chemical composition of individual stars comes from the generally poor understanding of spectral properties of main sequence band stars.

Aim of this work is that two techniques available using the quantitative modeling of stellar atmospheres are outlined and some recent results are discussed: “Fine Analysis” and “Spectral Synthesis”. Fine Analysis involves the normalization of spectra, line measurements, identification, determination of the atmosphere parameters (effective temperature, surface gravity, microturbulent velocity) and computation of elemental abundances from all atomic and ionized species by one after another process (e.g. Adelman et al. DAO series papers). A spectral synthesis analysis computes synthetic stellar spectra often using ATLAS9 ve 12 atmosphere models and certain other inputs. The second technique with the use of the high resolution spectra is the way to derive the more realistic composition of the stellar atmospheres and improve atomic data (e.g.; Castelli et al. 2009 and Castelli & Kurucz 2010 for Fe II , Yüce et al. 2011 for Xe II).

1. Giriş

Yıldız astrofiziğinde en önemli bilgi, yıldızların ayrıntılı tayf analizlerinden elde edilir. Yüksek kaliteli gözlemsel tayflar üzerinden gerçekleştirilen analizler, yıldızların kimyasal bileşimi yanında atmosfer parametrelerinin (etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi) de belirlenmesini sağlar. Buradan elde edilen sonuçlar, yıldızların evrimsel incelemelerinde önemli bir yer tutar. Yıldız astrofiziği gelişirken, yıldızların mevcut modellerine ilişkin ayrıntılar ve iyileştirmeler üzerinde yoğunlaşmış, böylece nicel olarak doğruluk gittikçe önem kazanmıştır. Gerçeğe yakın sonuçlara yaklaşıldıkça, yıldız atmosferlerindeki fiziksel süreçlerin anlaşılması ve modellenmesi daha anlamlı hale gelmektedir. Ayrıca, laboratuvar ortamında incelenen atomik verilerin astrofizik açıdan geliştirilmesine de katkı sağlamaktadır. Tayfsal analizlerin güvenilirliği, model atmosferlerin ne ölçüde fiziksel gerçekliği tanımlayabilme/açıklayabilme kapasitesine bağlıdır. Teorik ve gözlemsel olarak yıldız atmosferlerinin genel yapısı, Mihalas (1969) ve Gray (1992)'ın kitaplarında yer alır.

Yıldızların tayfsal gözlemleri, hesaplama imkanlarının sürekli gelişimi sayesinde daha hassas/doğru hale gelmekte olan model atmosferler ile yorumlanır. 40 yılı aşan bir süredir yıldız atmosferlerini modelleyen farklı bilgisayar kodları geliştirilmiştir. Yerel termodinamik denge varsayımı (kısaca YTD veya LTE) altında kullanılan en yaygın bilgisayar kodu ATLAS (Kurucz 1970, 1979, 1993) dır. Bu yazılım, Robert L. Kurucz ve astrofizikçiler tarafından çok farklı gridlerden oluşan model atmosferlerin hesaplanmasında, enerji dağılımlarının, kenar kararma eğrilerinin ve renk indislerinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Sentetik tayfın üretilmesinde “SYNTHE”, blend olmamış çizgilerin ölçümünden kimyasal bollukların hesaplanmasında “WIDTH” ve Balmer çizgi profillerinin modellenmesinde “BALMER” kodlarına yardımcı olur.

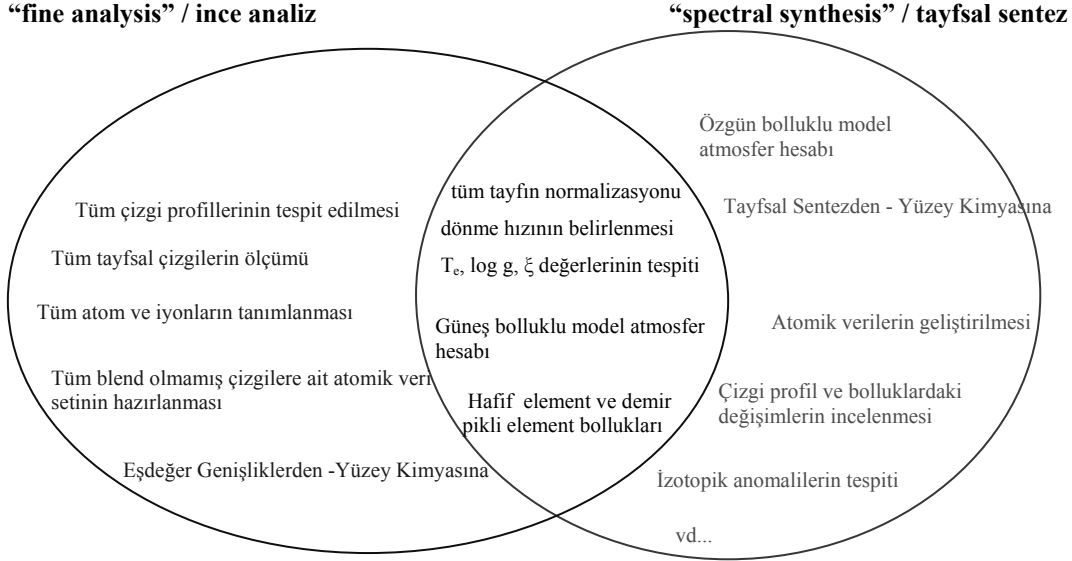
ATLAS programının, çizgi donukluğunu ele alma yöntemi bakımından iki etkin sürümü mevcuttur. ATLAS9 opasite dağılım fonksiyonları (ODF) formunda çizgi ve süreklilik donukluklarını hesaplama amacına yönelik yüzey kimyasına ve mikrotürbülans hızına sınırlama getirerek atmosfer modelleri üretir. Bu yaklaşım ile, model atmosferleri çok hızlı bir sürede üretilebilmektedir. ATLAS12, herhangi bir kimyasal bileşimde örnek atmosfer hesaplamaya izin verir ve donukluk örnekleme yöntemini (OS) kullanarak çizgi donukluklarını hesaplar. Bu türden bir model üretiminde daha uzun bir zamana ihtiyaç duyar. Bilimsel hesaplamalara dayanan bu kodların ayrıntılı tanımlamaları Kurucz (2005) tarafından referans olarak tanımlanmıştır.

İnce Analiz (Fine Analysis), yıldızların optik bölge tayflarındaki çizgi profillerinin ölçümünden başlayarak yüzey element bolluklarını tayin ve belirleme sürecidir. Çizgi eşdeğer genişlikleri, tipik sinyal gürültü oranı $S/G > 200$ civarında olan yüksek ayırma gücüne sahip tayflardan ölçülmesi genel kabul görür. Belirlenen eşdeğer genişlikler yıldız model atmosferleri ve atomik çizgi parametreleri de kullanılarak, element bolluklarının tespitine dönüştürülür.

Tayfsal Sentez (Spectral Synthesis), yıldızların yüzey element bolluklarının belirlenmesinde kullanılan modern bir hesaplama yöntemidir. Bu yöntemde temel olarak, gözlemsel yıldız akıları (enerji dağılımı) ve H_{β} ve/veya H_{γ} gibi hidrojen çizgi profilleri etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesine ait değerlerin belirlenmesinde kullanılır. Yöntem olarak kabul başlangıç prensipleri bir dizi bolluk değerleri ile ele alınarak değerlendirilip,

kuramsal tayfin üretimi gerçekleştirilir. Çizgi genişlikleri aletsel profil ile yıldızların dönme karakterleri dikkate alınarak ayarlanır. Bu betimlemeler kullanılarak, yeni bir sentetik tayf üretilir. Dikkate alınan elementin gözlemsel çizgilerinin karşılaştırılması değerlendirilerek, model üretimi ve bolluk değerleri geliştirilir. Gözlemsel ve kuramsal tayf arasında en iyi uyum tespit edilinceye kadar süreç devam ettirilir.

2. Gözlemsel Yıldız Tayflarının İncelenmesi



Yukarıda uzun yıllar süren bilimsel çalışmalarım neticesinde geliştirdiğim şematik çizimde "İnce Analiz" ve "Tayfsal Sentez" yöntemlerinin ortak benzerlik ve farklılıkları sistematik olarak gösterilmiştir.

İnce analiz ve tayfsal sentez yöntemlerinin en önemli başlangıç adımı, yıldız tayflarının yüksek doğrulukta sürekliliğinin belirlenmesi çalışmasıdır. Gözlemsel ve kuramsal profillerin karşılaştırılması, çizgi merkezine göre aynı uzaklıkta normalize işleminin gerçekleştirilmesi ile mümkündür. Çizgi analizinde yaygın olarak kabul edilen görüş, eşdeğer genişlik ile ifade edilen çizgi profilinin ölçülmesi ve modellenmesidir. Bu sayede, soğurma çizgilerinin merkezi dalgaboyu ve eşdeğer genişliği tespit edilmektedir. İnce analiz tekniği ile B, A ve F yıldızlarının element bolluklarının elde edilmesi tekniklerinde ciddi bir tecrübeye sahibiz. Bu amaçla, "Dominion Astrofizik Gözlemevi Tayfları ile Element Bolluk Analizleri; DAO" serisinde incelemekte olduğumuz yıldız tayfları, çok amaçlı bir paket program olan ve interaktif bilgisayar grafik arayüzüne sahip REDUCE ve VLINE (Hill et al. 1982) yardımıyla normalize edilmekte ve çizgi ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Elektromanyetik tayfin geniş bir dalgaboyu aralığını içeren ve yüksek kaliteli tayflara uygulanan tayfsal sentez tekniğinde ise çizgi ölçümü/analizi için IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) paketi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tayfsal analizlerin bir diğer adımı, model atmosferlerin hesaplanmasında ihtiyaç duyulan atmosfer parametrelerinin (etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi) başlangıç değerlerinin belirlenmesidir. Genel olarak, Strömngren fotometrisinden (Hauck &

Mermilliod 1998) ve demirin ardışık iki iyonlaşma durumuna ait çizgilerinden elde edilen bollukların uyumuna ilişkin iyonizasyon dengesinden belirlenir. Aslında atmosferik parametreler, Strömgren ve başka fotometrik kalibrasyonlardan daha gelişmiş yöntemler kullanılarak da belirlenmelidir. DAO serisinin çoğu analizinde de yapıldığı gibi; gözlemsel Balmer çizgisi (H_γ ve/veya H_β) ve akı dağılımının (spektrofotometrik veri) model tahminleri ile karşılaştırılması, normal fotometrik çıkarıma göre daha iyi bir yöntem olarak kabul edilir. Buna ek olarak, ele alınan tayfsal verilerin morötesi ve kırmızıöte bölgeyi içermesi tercih edilmelidir. Bu tür bir çalışma, mutlak spektrofotometrik gözlemler üzerinde çalışan ACCESS Projesi (Kaiser et al., 2008) ve görelî olarak optik bölge akılarının daha iyi elde edileceği ASTRA Projesi (Adelman et al., 2007; Smalley et al., 2007) ile sağlanacaktır.

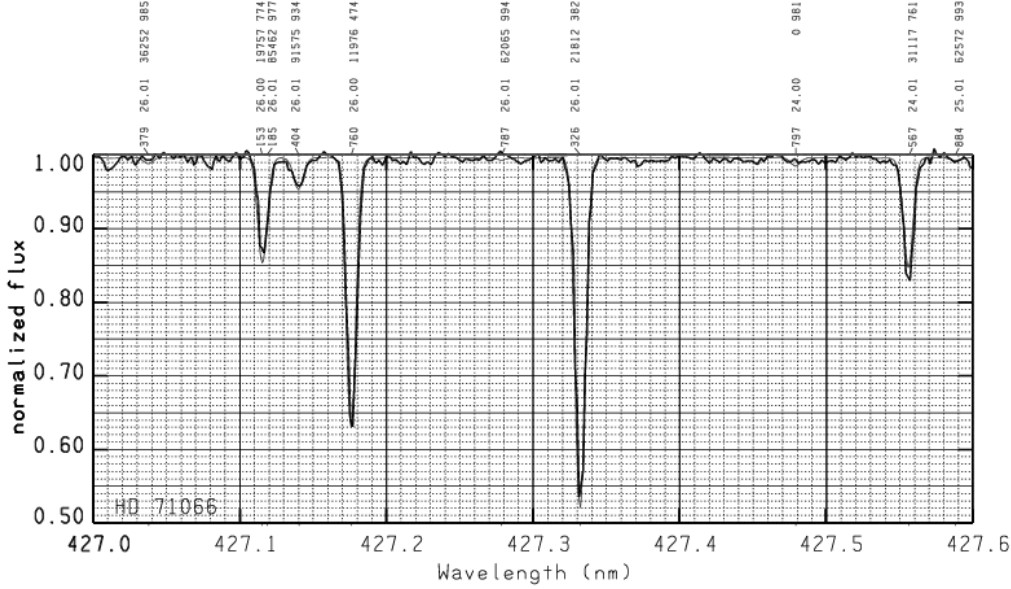
Her iki analiz yöntemi model atmosfer üretiminde, Güneş bolluklu (örneğin; Grevesse ve Sauval, 1998) ATLAS9 modellerinden yararlanılır. İnce analizler sırasında sabitlenen tahmini dönme hızı değeri, olası mikrotürbülans hızı ve bolluk sonuçları, ATLAS12 yardımıyla gerçekleştirilecek modelin üretiminde kullanılmaktadır.

İnce analiz tekniği, mikrotürbülans hızının belirlenmesine önemle yaklaşır. Tayfta en fazla çizgiye sahip atom ve/veya iyon(lar)dan elde edilen bollukların eşdeğer genişlikten bağımsız olduğu (ξ_1) ve ortalama civarında en az saçılmaya uğradığı (ξ_2) dağılımı veren olası bir değer aralığından elde edilir (Blackwell et al. 1982).

İnce analizler sırasında He/H değeri, SYNSPEC programı (Hubeny et al. 1994) yardımıyla üretilen kuramsal He I çizgilerinin gözlemsel profilleri ile uyumundan belirlenir. Diğer element bollukları, “klasik çizgi tanısı” yöntemiyle belirlenen tüm elementlerin blend olmamış çizgilerinden belirlenmeye çalışılır. Bu aşamada bolluk hesaplamaları, yarı-klasik yaklaşımlardan ve Kurucz & Bell (1995)’den alınan metal sönümlenme sabitleri kullanılarak WIDTH9 (Kurucz 1993) programı ile gerçekleştirilir. Tayfsal sentezin başlangıç sentetik tayf üretiminde ise, hafif element ve demir pikli elementlerin (Si, P, Cr, Mn, Fe) bazı çizgilerine ait ölçüm değerlerinden elde edilen bolluklara ihtiyaç duyulur. Bunun için Güneş bolluklu modeller yardımı ile yapılacak değerlendirmeler, ilk sonuçlara ulaşılmasını sağlar. Bir kaç yüz Ångström bölgeler halinde üretilen sentetik tayflar, nispeten daha küçük bölgeler için gözlemsel tayflar ile karşılaştırılır (Şekil 1). Her elemente ait çizgilere ayrı ayrı odaklanarak, her element için en iyi uyum sağlanıncaya kadar yapılan uyarlamalardan bolluk sonuçlarına gidilmesi gerekir. Yıldızın nihai model atmosferleri, gözlemsel tayf bölgesini içeren sentetik tayfin üretilmesinde kullanılır. (örneğin; Castelli & Hubrig 2004, Castelli & Hubrig 2007, Castelli et al. 2009, Ganzolez et al. 2010, Yüce et al. 2011).

İnce analizlere ait çalışmalarımızda temel olarak, Kurucz’un atomik çizgi listelerini kullanılmaktayız. Bu listeleri, ince analizler çizgi kartlarının oluşturulmasında, tayfsal sentez ise girdi dosyası olarak kullanılır. Dalgaboyu, osilatör şiddeti ve çizgi genişleme parametrelerinin sıkça güncellendiği en uygun veri seti olarak düşünebiliriz. Ancak $Z > 30$ atom numarasına sahip elementler, atomik veri listelerinde çok iyi bir şekilde temsil edilememiş olduklarından, bu listelerde yer alamayan eksik çizgilerin listelere dahil edilebilmesi için ziyadesiyle çaba sarf edilmesi gerekmektedir. Özellikle; Dr. Fiorella Castelli ve arkadaşları C I, C II, N I, O I, Si II, Ti II, Cr II, Hg I, Hg II’e ait osilatör şiddetlerini literatürde yer alan güncel tespitleri ile değiştirmektedir. Ayrıca Ga II, Br II, Xe II, Ce III, Pr III, Nd III, Yb III, Pt II ve Au II’nin eksik çizgileri, Si II’nin Stark

genişleme parametreleri ve Mn II, Ga II, Ba II, Pt II, Hg I ve Hg II'nin aşırı ince yapı ve izotopik bileşenleri de eklenmiştir.



Şekil 1. HD 71066 yıldızının gözlemsel ve sentetik tayf karşılaştırmasına ait bir kesit ($T_e = 12000$ K, $\log g = 4.1$, $\xi = 0.0$ km sn⁻¹, $v_{\text{sin}i} = 1.0$ km sn⁻¹).

Bu kongrede yıldızların TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nden elde edilen eşel tayflarının ince analizlerde kullanımı Sıla Eryılmaz ve Kutluay Yüce tarafından sunulan “TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi - Coude Eşel Tayf İndirgemesi ve Element Bolluk Analizi: 29 And ve 89 Cet” başlıklı bildiriye ele alınmıştır. Benzer şekilde bolluk analizlerinde hatırı sayılır bir şekilde öneme sahip atomik veriler üzerine ayrıntılı bilgiye Senem Erden Çabuk ve Kutluay Yüce tarafından “Atomik Verilerin Spektroskopideki Rolü” başlıklı posterde ve atmosfer parametrelerinin tespitinde kullanılan spektrofotometri konusuna Lütfiye Erkuş ve Kutluay Yüce tarafından “Yıldızların Spektrofotometrisi” başlıklı posterde yer verilmiştir.

3. Kimyasal Analizlerden - Yıldızların Görünümüne

Tayfsal sınıflama yapan araştırmacıların tayfsal görünümüne göre “normal yıldız” olarak tanımladığı, ancak yüksek çözünürlüklü tayflar kullanılarak yapılan element bolluk analizlerinde öyle olmadığı anlaşılan yıldızlar, Charles Cowley tarafından “görünürde normal yıldızlar (superficially normal stars)” olarak tanımlanır. Adelman (2004)'e göre bir çok *HgMn* (civa-mangan) yıldızı ve marjinal *Am* (metalik çizgili) yıldızı bu sınıfa girmektedir. Sınıflandırma standartlarına göre normal yıldız olan diğer tuhaf A yıldızları, tayflarından ziyade fotometrisine göre sınıflandırılmaktadır.

Bundan yaklaşık bir yüzyıl önce Harvard Gözlemevi tayfsal sınıflandırıcıları, geç B – orta F türü yıldızları fotoğrafik emülsiyonlar kullanarak, 100 Å/mm özellikli tayflardan tanımlamışlardır. Kimyasal tuhaf yıldızlar, tayfları daha yaygın normal yıldızlardan farklı yıldızlardır. En tuhaf (peküliyer) B, A ve F yıldızları (örneğin; *Ap* ve *Fp* ve *Am* yıldızları), normal benzerlerinden daha güçlü metal çizgilere sahip olmaları nedeniyle, Henry Draper

Katalogu'nun tayfsal sınıflandırıcıları tarafından tespit edilmiştir. Yüksek manyetik özellikli B ve sıcak *Am* gibi diğer tuhaf yıldızlar, daha yüksek ayırma gücüne sahip tayflar kullanılarak keşfedilmiştir. Tayfsal sınıflama Pop I tek yıldızlar için tasarlanmıştır. Metal bakımından fakir, evrimleşmiş A türü Pop II yıldızları aynı zamanda tuhaf yıldızlardır. Güneş komşuluğunun geniş bir bölgesindeki yıldızların çoğu, yatay-kol yıldızlarıdır; örneğin, FHB B ve A yıldızları, RR Lyrae yıldızları.

Anakol bandını içeren pek çok çalışma Ia, Ib, II ışınım sınıfından süperdevler ve beyaz cüceleri *normal yıldızlardan* ayrı tutar. Kuşkusuz onların ataları, bugünün Pop I anakol A yıldızlarından farklı ZAMS (Zero-Age Main Sequence = Sıfır-Yaş Anakol) kütlelerine sahipti.

Diğer tuhaf Pop I A yıldızları aşağıda belirtilen gruplarda toplanmaktadır;

- A. metal fakiri – örneğin; λ Boo, Vega, α Dra
- B. çevresel madde veya yıldızlararası madde bulunduranlar – örneğin; β Pic, shell ve Ae yıldızları
- C. algılanabilir manyetik alanları veya tayfları aşağıdakilere benzer olanlar;
 1. manyetik özellikli CP (mCP) yıldızları – Preston'un CP2 yıldızları
 2. roAp yıldızları – mCP yıldız kolunun soğuk bölgesi
- D. *Am* ya da metal çizgili yıldızlar – Preston'un CP1 yıldızları
- E. HgMn ya da civa-mangan yıldızları – Preston'un CP3 yıldızları
- F. Bileşeninden önemli miktarda kütle alan çift yıldızlar, örneğin Sirius

Güneş'in yüzey kimyasına benzer ve düşük genlikli fotometrik değişen yıldızlar, *normal A* yıldızları olarak kabul edilebilir. Çünkü bu tür değişimler muhtemelen sadece daha dış katmanları bozmaktadır (Adelman 2004).

Adelman (2004) *normal A* yıldızlarının fiziksel özelliklerini tanımladı. *Normal A* ve *Am* yıldızlarının önemli ölçüde birbirlerini kapsadığını tespit ile kaydetti. İnce analiz tekniği ile ulaşılan bu sonucu, tayfsal sentez tekniğini de kullanarak geliştirmek istiyoruz.

Literatürde bir seri olarak yayınlanan yıldızların ayrıntılı tayfsal analizleri, farklı tekniklerin uygulanması ve farklı girdi verilerinin kullanılması ile gerçekleştirilen analizler arasındaki farklılıkları ortadan kaldırır. DAO serisindeki yıldızların çoğu, anakol bandı normal ve peküliyer B, A ve F yıldızlarıdır. Dominion Astrofizik Gözlemevi'ndeki 1.22 metrelik teleskoba bağlı coude tayfçekerinin uzun kamerasında CCD dedektörler ile elde edilen yüksek ayırma gücüne sahip, yüksek S/G (≥ 200) tayflar kullanılarak, ince analiz tekniği ile gerçekleştirilen analizlerden elde edilen taysal verileri (etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi, mikrotürbülans, element bolluğu) sağlar.

Tayfsal sentezde, ince analiz işlemleri başlangıç olarak dikkatlice ele alınmalıdır. Yüksek çözünürlüğe, yüksek sinyal-gürültü oranına sahip ve geniş dalgaboyu aralığını içeren UVES tayflarının kullanılması sentez yönteminin uygulanmasında avantaj sağlar. Multiplerin tüm bileşenlerinin dahil edilerek sentetik profillerin sentezlenmesi, analizlerde ideal bir durumdur. Tayfsal sentez tekniğinin uygulandığı güncel çalışmalar, özellikle HD 175640 (Castelli & Hubrig, 2004), HR 6000 (Castelli et al., 2009) ve AO Vel (Ganzolez et al. 2010) yıldızları için yapılmıştır ve Erspamer & North (2003) ve Hill (1995) tarafından otomatik olarak yapılan sentez analizlerine oranla iyileştirmeler kapsar.

Castelli & Hubrig (2007) ve Castelli & Kurucz (2010) bir CP yıldızı olan HR 6000 yıldızının tayfsal sentez analizleri sırasında, laboratuvar çalışmalarında belirlenmemiş iyonizasyon limitine yakın üst uyarılma (eksitasyon) seviyelerini içeren yeni Fe II multiplerlerini keşfettiler (örn.; Castelli et al. 2007).

Hubrig et al. (2010) tipik bir HgMn yıldızı olan AR Aur'ın bazı element bolluklarında düzenli değişimler belirledi. Özellikle, 2005 ve 2009 yıllarına ait gözlemsel verilerden yitrium bolluğunda +3.9 dex'e varan bir fark kaydedilmiştir. Fe ve Y için elde edilen sonuçlar, yıldız yüzeyinde dikkate değer element dağılımının evrimini gösterir. Kimyasal olarak farklı türden peküliyer yıldızların evrimsel durumlarına ilişkin incelemelerden çelişkili sonuçların çıkması, bu tür yıldızlarda peküleritenin gelişim sürecinin hala net olarak anlaşılmadığını gösterir (Gonzalez et al. 2010).

Civa mangan yıldızlarının bazı Mn II, Cr II, Ti II, Fe II, C I çizgilerinde salma çizgi yapıları keşfedildi (örneğin; HR 6000 için Wahlgren & Hubrig 2000, Sigut 2001, Castelli & Hubrig 2007 ve HD 175640 için Castelli & Hubrig 2004). Anakol B yıldızlarında zayıf salma çizgilerinin varlığı, yerel termodinamik dengeden ayrılmalardan kaynaklanan NLTE etkileri (Sigut 2001) ve olası "fluorescence" mekanizması (Wahlgren & Hubrig 2000) ile açıklanmaktadır.

Yüce et al. (2011) kimyasal tuhaf B türü yıldızların bir çoğunun tayfında gözlenebilen 100 adet Xe II çizgisinin dalgaboyu ve log gf değerlerini belirledi. Bu çizgilerin yalnızca 22 tanesinin log gf değeri NIST Atomik Fizik veritabanında (versiyon-4) mevcuttur. Xe II çizgileri bir elementin laboratuvar çalışmalarını genişletmekte yararlı olabilecek astrofizik sonuçların elde edilmesinde, kaliteli tayflar kullanılarak yapılan çalışmaların en iyi örneklerinden biridir. Civa mangan yıldızlarının kimyasal tuhaflık/peküliyer özellikleri, atomik tayfların geliştirilmesinde önemli bir faktördür. Optik bölgenin geniş dalgaboyu aralığına ait gözlemsel tayflar ($\lambda\lambda 3050-10000\text{\AA}$) ve geliştirilmiş atomik verilerin kullanımı ile gerçekleştirilen atmosfer analizleri, yıldız atmosferlerinin doğasını açığa kavuşturmada kaydedilen önemli çalışmalardır.

4. Kaynaklar

- Adelman, S. J., 2004, in: J. Zverko, J. Ziznovsky, S.J. Adelman, W.W. Weiss (eds.), *The A-Star Puzzle*, IAU Symp. 224, p. 1.
- Adelman, S. J., Gulliver, A. F., Smalley, B., Pazder, J. S., Younger, P. F., Boyd, L. J., Epan, D., Younger, T., 2007, *The Future of Photometric, Spectrophotometric and Polarimetric Standardization*, ASP Conference Series, Vol. 364, Proceedings of a conference held 8-11 May, 2006 in Blankenberge, Belgium. Edited by C. Sterken. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2007., p.255.
- Blackwell, D.E., Shallis, M. J., Simmons, G. J., 1982, MNRAS 199, 33.
- Castelli, F., Hubrig, S., 2004, A&A, 425, 263.
- Castelli, F., Hubrig, S., 2007, A&A, 475, 1041.
- Castelli, F., Kurucz, R., Hubrig, S., 2009, A&A, 508, 401.
- Castelli, F., Kurucz, R. L., 2010, A&A, 520, 57.
- Erspamer, D., North, P., 2003, A&A, 398, 1121.
- González, J. F., Hubrig, S., Castelli, F., 2010, MNRAS, 402, 2539.
- Gray, D.F., 1992, *Observations and Analysis of Stellar Photospheres*, 2nd. edition (Cambridge University Press, Cambridge)

- Grevesse, N., Sauval, A. J., 1998, Space Sci. Rev., 85, 161.
Hauck, B., Mermilliod, M., 1998, A&AS, 129, 431.
Hill, G., Fisher, W.A., Poeckert, R., 1982, Publ. Dom. Astrophys. Obs. Victoria 16, 27.
Hill, G.M., 1995, A&A, 294, 536.
Hubeny, I., Lanz, T., Jeffrey, C.S., 1994, Daresbury Lab. New. Anal. Astron. Spectra, No. 20, p. 30.
Hubrig, S., Savanov, I., Ilyin, I., et al., 2010, MNRAS, 408, L61.
Kaiser, M.E., Kruk, J.W., McCandliss, S.R., et al., 2008. ACCESS: Enabling an improved flux scale for astrophysics. In: McLean, I.S., Casali, M.M., (Eds.), Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II, Proceedings of the SPIE, vol. 7015, pp. 70145Y–70145Y-14.
Kurucz, R.L., 1970, Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rept., No. 309, Cambridge, MA.
Kurucz, R.L., 1979, ApJS, 40, 1.
Kurucz, R.L., 1993, Kurucz CD-ROM No. 13, Smithsonian Astrophysical Observatory, Cambridge, MA.
Kurucz, B., 2005, Mem.S.A.It.Supp., 8, 44.
Kurucz, R.L., Bell, B., 1995, *Atomic Data for Opacity Calculations*, Kurucz CD-Rom No. 23, Smithsonian Astrophysical Observatory, Cambridge, MA
Mihalas, D., 1969, Stellar Atmospheres, (W. H. Freeman & Co., San Francisco, CA).
Sigut, T. A. A., 2001, ApJ 546, 115.
Smalley, B., Gulliver, A. F., Adelman, S. J., The Future of Photometric, Spectrophotometric and Polarimetric Standardization, ASP Conference Series, Vol. 364, Proceedings of a conference held 8-11 May, 2006 in Blankenberge, Belgium. Edited by C. Sterken. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2007., p.265
Wahlgren, G. M., Hubrig, S., 2000, A&A, 362, 13.
Yüce, K., Castelli, F., Hubrig, S., 2011, A&A, 528, A32.

Teşekkür: Bu çalışmada SIMBAD veritabanı (Strasbourg, Fransa) kullanılmıştır.