

# Optik Bölge Tayf Analizlerinden Manyetik Özellik Göstermeyen geç $B$ -- erken $F$ Türü Yıldızların Kimyasal Element Bollukları

Kutluay Yüce<sup>1\*</sup>,

<sup>1</sup>Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100, Anadolu, ANKARA

## Özet

Yıldızların ayrıntılı tayf analizleri yapılarak 'normal', 'civa--mangan (HgMn)' ve 'metal ( $Am$ )' çizgi tayfları veren yıldız tiplerinin ayırt edici tayf çizgilerinden yola çıkılarak, bu yıldızların kimyası irdelendi. Ayrıca He, C, N, O elementleri yanında metallerin ve ağır metallerin yıldız atmosferlerindeki göreceli bollukları, gözlemsel olarak türettiğimiz HR diyagramı üzerindeki dağılımları incelendi. Metal çizgili özel yıldızlarda tespit edilen element bolluk dağılımlarındaki değişimin, civa--mangan tipi yıldızlardakine nazaran daha az olduğu belirlendi. Civa--mangan tipinden soğuk yıldızların, metalik türden sıcak yıldızlar ile aynı evrim yolları üzerinde olduğu kanısına ulaşıldı.

**Anahtar Kelimeler:** stars: abundances, Yıldız Tayfı

## 1 Giriş

Astronominin en faal kollarından biri olan "yıldız spektroskopisi / tayfbilim" üzerinde yapılan çalışmalar, astrofizikçilere yıldız atmosferlerinin fiziksel özelliklerini tespit etmeleri yanında, kimyasal bileşimlerini anlama ve yıldızları mantıksal bir sıraya göre sınıflandırma olanağı sağlar. 19. yüzyıl sonlarında; yıldızların ayırt edici "tayf profil hatlarından" hareketle standart sınıflama tanımlamaları yapılarak, yıldızlar türlerine göre ayrıldı. Yıldız gözlemciliğinde büyük çaplı teleskopların kullanımı ile, gözlenen yıldız ışığının o yıldızla özgü olma kalitesi artarken; yıldızların tek tek incelenmesi sıradan çalışmalar haline geldi. Yıldız astrofiziği gelişirken, yıldızların mevcut modellerine ilişkin ayrıntılar ve gelişmeler üzerinde yoğunlaşıldı; nicel anlamda doğruluk gittikçe önem kazandı. Bu doğruluk yıldız atmosferlerini araştırmak için yeterli iken, temelinde yatan fiziksel süreçlerin anlaşılması ve modellenmesi, halâ zor bir alan olarak durmaktadır.

Nitel ve nicel atmosfer analizleri neticesinde yıldızlar, kimyasal özelliklerine göre ayrıca sınıflandırıldı. Optik bölge tayflarında, daha yaygın bilinen 'normal' yıldızlarınkinden farklı olarak, sahip oldukları fiziksel parametrelerinden beklenenin dışında kimyasal yapı içeriği sebebi ile; "kimyasal-tuhaf (peküliyer/özel) yıldızlar" olarak isimlendirilen yıldız tiplerinin varlığı, yıldız astrofiziğinin ilgi alanı içerisinde yer aldı. Geç  $B$  - erken  $F$  tayf türü aralığındaki yıldızların bir kısmını teşkil eden "kimyasal peküliyer/tuhaf yıldızlar" bu türden normal yıldızlara nazaran bazı sıra dışı özellikler arz etmektedir. Bu yıldızların özelliklerinin ve gelişim safhalarının açıklanması bağlamında mevcut teoriler bizi tatmin edici sonuçlara götürmemektedir. Çünkü bu gruba dahil yıldızların, ortak nitelikleri bulunduğu gibi, ayrıca her birinin kendisine has özellikleri de vardır. Bu sebeple bu tipten mümkün mertebe çok sayıda yıldızın incelenmesi, ortak özelliklerinin tespiti ve evrimlerinin tahmini bakımından zorunlu görülmektedir.

Birlikte çalıştığımız araştırma ekibi, yıldızların detaylı tayfsal analizleri üzerinde uzmanlaşmıştır. Çalışmalarımızda, özellikle üst anakol yıldızlarından manyetik özellik göstermeyen "civa--mangan (HgMn)" ve "metal çizgili ( $Am$ )" olarak bilinen kimyasal "sıra dışı yıldız" tiplerinin "normal" yıldızlar ile birlikte

fiziksel parametrelerine bağlı olarak kimya yönü ile ilgileniyoruz (örn.; Adelman et al. 2001, Yüce et al. 2011c). Yapılan çalışmalarda öncelikli hedeflerimiz, yıldızları tek tek ele alıp, gözlemsel optik bölge tayflarına "yüksek çözünürlüklü/ince analiz (fine analysis)" tekniğini uygulayarak kimyasal bileşimlerini belirlemektir (örn.; Adelman and Yüce 2010). Ardışık analizler sürecinde; gözlemsel tayflar üzerinde bulunan çizgi profillerinin tamamı tespit edilerek atom / iyon tanımlanmaları yapılmıştır. Ancak; dalga boyları birbirine oldukça yakın olan, birkaç elemente ait çizgi hatları tayf üzerinde üst üste binerek oluşan karma / binişik / örtüşük (blend) çizgileri yapılan analizlerde kullanılmaya özen gösteriyoruz. Bugüne kadar geldiğimiz noktada yıldızların atmosfer parametreleri (yüzey sıcaklığı, çekim ivmesi ve mikrotürbülans hızı) ve elementlerin göreceli bollukları bu çalışmalar neticesinde elde edilen önemli argümanları teşkil etmektedir. Bu durumda yıldızların "Güneş ve güneş ile ilintili kimyasal-bileşimli" normal yıldızlardan olan sapmaları belirlenebilmektedir.

Bir diğer hedefimiz ise, yukarıda özetlenen 'özel nitelikli' tayfsal çalışmalarımızın sonuçlarını 'genele uygulamak' üzerine odaklanmak olmuştur. Bu anlamda kullandığımız en önemli kaynak  $B$ ,  $A$  ve  $F$  tayf türü olan Anakol Bandı 'normal' ve manyetik özellikli olmayan 'kimyasal tuhaf' yıldızlara ait çalışmaların ağırlıklı olarak yer aldığı "Dominion Astrofizik Gözlemevi Tayfları ile Element Bolluk Analizleri" serisidir. Bu türden seri yaklaşımlar, değişik tekniklerin uygulanması ve farklı girdi verilerinin kullanılmasıyla oluşacak farklılıkları ortadan kaldırmaktadır. Dolayısıyla tüm tayfsal diziler aynı/yakın kalitede olduğundan ölçümlerin duyarlılığı ve buradan elde edilen sonuçların güvenilirliği artmaktadır. Yüce et al. (2011a) DAO serisinde incelenen yüksek çözünürlüklü analiz tekniğini, otomatik element bolluk analizleri ile karşılaştırmaktadır.

Yıldız atmosferlerinin ayrıntılı tayfsal analizleri neticesinde elde edilen bilgiler, DAO serisi aracılığı ile önemli bir 'tayfsal veri seti' olarak yıldız astrofiziği alanına kazandırılmaktadır. Bu bilgiler, Dominion Astrofizik Gözlemevi'nde yüksek çözünürlüğe (0.072 Å) ve yüksek sinyal gürültü oranına (200+) sahip tayfsal veriler kullanılarak, model atmosfer yöntemiyle element bolluk analizlerinden elde edilmektedir. İncelenen tayf aralığı genellikle  $\lambda 3820$ -- $4750\text{Å}$  olup, bazı yıldızlar için daha uzun dalgaboylarını içerir. Analizi yapılmak üzere incelemeye alınan

\* kyuce@ankara.edu.tr

yıldızlar çoğunlukla  $B2-F0$  tayf türü aralığındadır. Seride yer alan bazı yıldızlar sonraki yıllarda daha yüksek kaliteli ve/veya daha geniş tayf bölgesinde yeniden incelenmiştir. Buradan elde edilen sonuçlar; DAO serisinde ilk ve güncel sonuçlar arasında uzun dönemli bir tutarlılığın olduğunu göstermiştir. Tespit edilen bu durum; zaman içerisinde geliştirilen analiz teknikleri ve bir miktar farklı dedektörlerin kullanımı ve geliştirilen çizgi osilatör şiddetlerinin uygulanmasına rağmen elde edildi. Yeni osilatör şiddetlerinin kullanımı sayesinde, aynı elementin iki yonu arasındaki dengeye en iyi uyum element bolluk oranları düzeltilti. Literatürde bugüne kadar, genellikle  $F6$ 'dan daha geç türler ile  $B1$ 'den daha sıcak olan yıldızlar ayrıntılı olarak incelenmiştir. Oysa HR diyagramının geç  $B$  -- erken  $F$  tayf türü bölgesinde, DAO serisinde ele alındığı gibi, ayrıntılı bir tayfsal analiz serisi henüz hazır değildir. Ancak; şimdilerde orta-- $A$  ve erken-- $F$  tayf türü 'normal' ve kimyasal 'tuhaf yıldızlar' literatürdeki yerini almaya başladı.

Literatürde; 'HgMn,  $Am$  ve normal' tipi yıldızların kayda değer manyetik alana, fotometrik ve/veya tayfsal değişimlere sahip olup olmadıkları irdelenmektedir. Zira, bunların varlığı çalışmalarımızı etkileyebilirdi. HR diyagramının manyetik özellik taşımayan HgMn ve  $Am$  tipi yıldızların bulunduğu bölgede aynı zamanda normal ve  $mCP$  yıldızları da mevcuttur. Auriere et al. (2007) yıldızlara özgü geliştirilmiş 'magnetometre' kullanılarak  $mCP$  yıldızlarında en az 300 Gauss değerinde manyetik alanlar tespit etti. Yapılan yüksek çözünürlüklü gözlemlerde 40 'normal' ve ' $Am$ ' tipi yıldızlar için manyetik varlığına ilişkin kanıt bulunamadı (örn.; Auriere et al. 2010). Ne var ki; Vega yıldızında son derece küçük eser niteliğe haiz manyetik alanın olabileceğine dair iddialar mevcuttur (örn.; Petit et al. 2010), fakat öylesine küçük bir manyetik alan varlığı, element bolluklarını önemli ölçüde etkilememelidir. Benzer bir çalışma da Kochukhov et al. (2013) tarafından HgMn yıldızlarında manyetik alan tespit edilmedi.

Son 20 yılda yıldızların iç yapısı ve atmosferlerinin kuramsal olarak anlaşılmasına katkı sağlayan önemli gelişmeler oldu. Maddenin ışınımına karşı direncinin bir ölçütü olan donukluk hesabı geliştirildi. Bu sayede yıldızların herhangi bir bölgesindeki yoğunluk, sıcaklık ve kimyasal bileşim içeriğinden basınç ve iç enerji, gerçek değerine daha yakın olarak hesaplanabiliyor. Yıldız atmosferlerine enerji akışını sağlayan yıldız iç yapı modellerini oluşturmanın yolu olabildiğince çok katmanlara ayırarak yıldız yapı denklemlerini eş zamanlı olarak çözmekten geçer. Böylelikle yıldızlar ve evrimi deşifre edilebilmektedir. Ülkemizde bu tarz çalışmaların başlamasını ve ilerlemesini, Sayın Prof. Dr. Dilhan Ezer Eryurt hocamızın çok değerli çalışmalarına borçluyuz. Saygı ile belirtmek isterim.

## 2 Kimyasal Yapı Ayırımına Göre Üst ve Orta Anakol Yıldızları

Tayfsal sınıflama yapan araştırmacılar bazı yıldızları, tayf görünümünün birbirine benzemesini esas alarak 'normal' yıldız olarak tanımladı. Ancak; kimyasal analizlerde yüksek çözünürlüklü tayfların kullanımı ile 'normal' yıldızlardan bazılarının farklı gruplandırılması fikri ağırlık kazandı. Bu yıldızlar, Charles Cowley tarafından "görünürde normal yıldızlar (superficially normal stars)" olarak betimlenir.

Adelman (2004) tarafından incelenen 'normal'  $A$  yıldızları; "yüzey element bollukları Güneş'in değerlerine yakın (süperdevler ve beyaz cüceler dışında), algılanabilen bir manyetik alanı olmayan, ekvatoryal dönme hızları  $> 120 \text{ km s}^{-1}$  değere sahip olan, salma çizgileri gözlenmeyen, fotometrik olarak ölçülen

ışınım şiddetleri zamanla değişmeyen yıldızlar olarak tarif edilir. Ayrıca bu yıldızlar 'bir çift sistemin üyesi iseler bileşenler arası önemli ölçüde kütle aktarımları yoktur' olarak betimlenir.

'Kimyasal tuhaf' yıldızlar optik bölge tayflarında bazı elementlerin beklenenden güçlü ya da zayıf soğurma çizgilerinin varlığı ile ilk kez fark edildiler. Örneğin bazı yıldızlar, Morgan (1933) tarafından, Mn, Si, Eu, Cr ve Sr elementlerinde görülen baskın tuhafliklarla tanımlanmıştır. Daha sonra Preston (1974) tarafından geç  $B$  -- erken  $F$  yıldızları tayfsal yolla sınıflandırıldı. Bahse konu yıldızlar, aynı zamanda, manyetik alan şiddetleri ile de karakterize edilirler. Manyetik özellik gösteren ve manyetik özellikli olmayan yıldız tiplerine ait genel bir ayırım Kurtz (2000) tarafından yapılmaktadır.

**Metal çizgili ya da  $Am$  tipi yıldızlar (Preston' un  $CP1$  yıldızları):** Miss Maury 1897 de yıldızları yirmi iki grupta toplarken, bazı yıldızların bu sınıflamaya aykırılık gösterdiğine ve bu şartlarda hepsini aynı grup içerisinde toplanamayacağına özellikle işaret etti. Ancak Titus ve Morgan (1940) bu sıra dışı yıldızların bazılarının ortak özelliklere sahip olduklarını fark edip, bunları ayrı bir grup altında topladılar ve bunlara "metalik çizgili yıldızlar" adını verdiler. Söz konusu bu yıldızlarda C, N, O ve Ca bollukları genelde Güneş'tekine nazaran daha az iken, demir grubu elementler daha fazla bolluk gösterir. Bu bolluk anormalliklerinin, kütle kaybı, türbülans gibi farklı fiziksel süreçlerden kaynaklandığı belirtilmiştir (Michaud 2005).

Adelman and Unsure (2007), 'normal'  $A$  ve erken  $F$  türü yıldızların  $Am$  tipleri ile birleştiğini belirledi.  $A0$  ile kodlanan tayf türü yöresinde 'normal' ve  $Am$  tipi yıldızlar oldukça benzer element bolluk yapıları sergilemektedir. Bu iki yıldız tipi arasında net bir ayırım henüz yoktur.

Adelman et al. (2003), soğuk HgMn yıldızlarının sıcak  $Am$  yıldızlarına evrimleştiğini gösterdi. Başka araştırmacılar, tayflardaki Hg hatlarını esas alarak bu iki sınıfı birbirinden ayırmayı denemişlerdir.

**Manyetik özellikli  $CP$  yıldızları ( $mCP$ ) (Preston' un  $CP2$  yıldızları):** Manyetik özellik veren kimyasal sıra dışı yıldızların tayflarında ( $125 \text{ Å mm}^{-1}$ ) Sr, Cr, Eu, ve Si elementlerinin çizgileri, anormallikler sergilemektedir. Manyetik alanı olduğu bilinen tuhaf  $B$  ve  $A$  yıldızları da benzer tayf değişiklikleri gösterir. Bu yıldızların çoğu tayfsal, fotometrik ve manyetik değişim gösterirler.

Manyetik özellikli kimyasal tuhaf yıldız tipleri, üst ve orta anakol yıldızlarıdır ve tayflarında anormal kimyasal bolluklar ve farklı enerji dağılımlarıyla karakterize edilirler. Manyetik  $CP$  yıldızları, normal yıldızların aksine optik ve moröte bölgeye ait tayflarda, birçok genişlemiş çizgi profil özelliklerine sahiptir. Görünür bölgedeki en baskın özelliği  $\lambda 5200$  çizgisinin merkez bölgesidir. Saul J. Adelman'nın 'spektrofotometrik çalışmaları' bu özelliklerin  $mCP$  yıldızları için optik bölge belirteçleri olduğunu gösterir.

**Civa--mangan yıldızları (HgMn) (Preston' un  $CP3$  yıldızları):** Bu grubun üyeleri tipik olarak geç  $B$  türü yıldızlardır. Tayflarını, olağan dışı şiddetli mangan çizgileri ve özellikle Hg II  $\lambda 3984$  çizgisi karakterize eder.

Auriere et al. (2007), manyetik özellik göstermeyen  $CP$  yıldızlarının kolu olarak oluşan bu tür yıldızların, manyetik alana sahip olmadıklarını tespit etti.

Çoğu HgMn yıldızı,  $B9$  sınıfında, ya da bu sınıfa yakın bir tayf türü olarak sınıflandırılır. Adelman (2003), erken  $A$  tür yıldız olan  $\nu$  Cnc isimli yıldızı en soğuk HgMn yıldızı olduğunu belirledi. Bir HgMn yıldızı olan  $\alpha$  And isimli yıldızın Hg II  $\lambda 3984$  çizgisinde önemli profil değişimi (örn.; Wahlgren et al. 2001)

keşfedilmiş ve bunun sebebi olarak, civanın yıldız yüzeyindeki homojen olmayan dağılımları gösterilmiştir.

HgMn yıldızlarının kimyasal özellikleri, 'atomik verinin geliştirilmesi'nde 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 (örn.; Yüce et al. 2011b).

**Helyum bakımından fakir yıldızlar (Preston'un CP4 yıldızları):** Bu grup kimyasal tuhaf B yıldızlarıdır. Bu yıldızlar, sıcak mCP (CP2) ve HgMn (CP3) yıldızlarının bir karışımıdır. Tayflarında helyum, platin ve civa elementlerinin baskın çizgi profilleri ve çizgi kaymaları gözlemlenmiştir.

Bir yıldızda, her yıldızda görülmesi beklenen bazı tayfsal karakteristiklerin gözlenemeyişini ve bolluklarda görülen bazı farklılıkların/tuhaflikların meydana gelişini açıklamak için daha çok çalışma yapılması gerekmektedir. Bu konuda difüzyon teorisi olarak adlandırılan ve element dağılımlarını tahminde kullanılan bilimsel yaklaşımlar şimdilik yetersizdir (Charles Cowley, 2006 yazılı görüşme).

Yukarıda bahsedilen kimyasal tuhaf yıldız tiplerinin dışında farklı özellikler sergileyen yıldız grupları da vardır. Bunlar  $\rho$  Pup ve  $\lambda$  Bootis tipi yıldızlardır.

$\rho$  Pup tipi yıldızlar, III ve IV ışınım sınıfının üyesi olan evrimleşmiş Am tipi yıldızlardır. Michigan Tayfsal Kataloğu'nda  $\delta$  Del olarak tanımlandılar. Geç--A ve orta--F türünden evrimleşmiş parlak Am yıldızları için  $\rho$  Pup yıldızı prototip olarak önerildi (Gray and Garrison 1989). Bu tip yıldızlar için genel kabul gören kimyasal yapı özelliği; anakol hayatına Ca ve/veya Sc bakımından oldukça fakir olarak başlayabilmeleridir. Evrim süresince bahse konu elementlerin fakirliği giderek etkisini azaltır. Bu durumda yıldız, normal kalsiyum bolluğu sergiler (örn.; Berthet 1992).

$\lambda$  Bootis ( $\lambda$  Boo) yıldızları, kayda değer metal fakirliği ile karakterize edilen kimyasal tuhaf, manyetik özellik sergilemeyen ve A dan F tayf türüne kadar uzanan Pop I cüce yıldızlarıdır. C, N, O ve S element bollukları Güneş'teki değerlerde iken, demir grubu elementler bakımından fakirdir. Bu bolluk yapısı sadece yıldızın yüzeyi ile sınırlı gibi gözükmemekte ise de; birçok  $\lambda$  Boo yıldızı zonklayan  $\delta$  Scuti yıldızı olarak tanımlanmıştır.

Kimyasal 'tuhaf yıldızlar' üzerinde yapılan ilk çalışmalardan sonra elementlerin bolluklarındaki sıra dışılığın zahiri olduğu ve bunun, bu yıldızların atmosferlerindeki farklı fiziksel şartlardan meydana geldiği düşünülüyordu. Ancak sonraki araştırmalar yıldızların atmosferlerindeki fizik şartlarının normal olduğunu gösteriyor (yüksek mikrotürbülans hariç). O halde element bolluklarındaki anormallikler hakikidir; yani kimyasal tuhaf yıldızlar, normal yıldızlardan farklı bir yüzey kimyasına sahiptir. Ancak bu tip yıldızların buldukları çift sistemlerdeki veya kümelerdeki diğer yıldızlar normaldir. O halde olağandışı kimyasal bileşim yıldızın hayatı esnasında meydana gelmiş olmalı. Acaba yüzey kimyasal bileşimlerindeki sıra dışılığı meydana getiren süreçler nelerdir? Bu soruya cevap verebilmek için daha birçok kimyasal tuhaf yıldızın nicel olarak incelenmesi gereklidir.

Michaud (1970) tarafından ortaya konulan ve Vauclair et al. (1978) tarafından geliştirilen 'difüzyon teorisi' yıldız atmosferlerindeki bolluk anormalliklerinde kabul edilen bir açıklamadır. Genel kanaat ise HgMn yıldızlar arasında daha nadir olan ağır elementler görelisi olarak bol miktarda iken hafif bol elementlerin azalmasıdır. Michaud ve arkadaşları (örn.; Talon et al. 2006) tarafından yapılan hesaplamalar, Am tipi yıldızlarda gözlenen bolluk anormalliğinin ana nedeni olarak, ışınım ivmesi tarafından

kontrol edilen atomik difüzyonu göstermiştir. Işınım basıncı ve bölgesel yüzey çekim arasındaki denge; bir elementin yukarı doğru itilmesine ve desteklenmesine ya da aşağı hareketini belirler. Eğer karşı koyan hidrodinamik süreçler yok ise / etkin değilse, atomik difüzyon gözlenenenden daha büyük bolluk anomalileri üretebilir. Sabit bir oranda türbülans karışımı ve kütle kaybı meydana geliyorsa bolluk miktarlarında azalma beklenebilir.

### 3 Civa--Mangan, Metal Çizgili ve Normal Yıldızlar Üzerine Gerçekleştirdiğimiz Kimyasal Element Bolluk Analizleri

İncelediğimiz yıldızlar, ölçümlerimize göre 'vsini  $< 50 \text{ km s}^{-1}$ ' dönme hızı değerlerine sahip, Pop I üyeleridir (Yüce and Adelman 2014). Söz konusu bu yıldızlar aynı zamanda B5 ve daha geç tayf türünden, anakol ve yakınlarındaki yıldızlardır. Sadece zayıf tayf çizgilerine dayanan analizlerde, artan dönme hızı nedeni ile çizgiler zayıfladığından, element bollukları belirlenememektedir. Zira çizgiler örtüşmekte, bu da analizlerin karmaşıklaşmasına sebep olmaktadır. Sonuçta, ince analiz tekniği kullanılarak nicel bollukları belirlemede kullanılacak tayf çizgilerinin sayısı azalmaktadır.

Önemli bir soru; bolluk belirleme işlemi için civa spektral hatlarına benzer başka spektral hatlar bulunup bulunmayacağıdır. Eğer ışımalı difüzyon ve çekimsel çökme bu yıldız tiplerindeki bolluk anormalliğini oluşturan temel mekanizma ise, biz böyle tayf çizgileri bulmamız gerekir. Bu olasılığı araştırmak, yaptığımız çalışmalar arasındadır.

Yüce and Adelman (2014) tarafından DAO serisindeki B, A, erken F türü normal, HgMn ve Am tipi yıldızların element bollukları öncelikle tek bir standarta dönüştürüldükten sonra yıldızlar yeniden gruplandırıldı; 17 'HgMn', 21 'Am' ve 20 'normal' yıldız. Söz konusu bu çalışmada kullanılan Güneş'e ilişkin yüzey element bollukları Asplund et. al. (2009) tarafından verilenlerdir. Ardından tayfsal çıkarımlardan elde edilen atmosfer parametrelerine bağlı gözlemsel HR diyagramı türetildi. He, C, O, Mg, Al, Si, P, S, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Ga, Sr, Y, Zr, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Hg içeren otuz iki (32) elementin bolluk dağılımları incelendi.

Etkin sıcaklık değeri 7700 ila 10200 K ve yüzey çekim ivmesi 3.25 ila 4.30 aralığında olan 21 Am yıldızı, atmosfer parametreleri (10375--1330 K ve 3.50--4.25) aralığında 17 HgMn yıldızından daha benzer bolluk anormalliklerine sahiptirler. Am tipi yıldızların çoğu kalsiyum ve skandiyum azlığı yanında (normal bolluklu  $\lambda$  UMa hariç) demir pikli elementler, ağır elementler ve nadir toprak elementlerdeki (gözlemlendiği takdirde) bolluk fazlalığını paylaşmaktadır. Ulaşılan sonuçlar, klasik Am ve Fm yıldızlarında dahil etmek üzere Am tipi yıldızlarda da sıcak Am yıldızlarını kapsayacak şekilde Am sınıfını genişleten Conti (1965) ile uyum sağlamaktadır.

Adelman et al. (2003) HgMn ve metal çizgili yıldızların element bollukları, etkin sıcaklıkları, yüzey çekim ivmeleri ve mikrotürbülans hızları arasında bir korelasyon analizi sunmuşlardır. Söz konusu çalışmada ele alınan yıldız sayısı az olmakla birlikte bu iki yıldız tipi arasında önemli bir örtüşme olduğu tespit edilmiştir. İlgili makalede yer alan Çizelge 2, çoğu durumda korelasyon sabiti r'nin 0.312'den daha büyük mutlak değerlerine karşılık gelen önemli bir ilişki sunar. İlgili çalışmada bazı veriler hesaba katılmamış ve tahmini dönme hızına (vsini) yer verilmemiştir. Yüce and Adelman (2014) HgMn ve Am tipi 38 yıldızın etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi, mikrotürbülans hızı, vsini ve (Mg, Si, Ca, Ti, Cr, Mn Fe ve Sr) bolluk anormalliğine ilişkin niceliklerin bir korelasyon analizini gerçekleştirdiler. 38

yıldızla ait korelasyon değeri 0.320'den büyüğe yıldızlar arasında bir korelasyon ilişkisinin olması olasılığı  $1/20$  değerinden daha azdır. Bir başka ifade ile; 38 yıldız için  $r$ 'nin mutlak değeri 0.320'den daha büyük olmalıdır anlamına gelecek bir tesadüfe bağlılığı ancak  $1/20$  ihtimalden daha az bir olanak var ise bu korelasyon önemli olarak kabul edilir. Bu kriteri karşılayan değerler Yüce ve Adelman tarafından Tablo 2 (ve Tablo 3)'de koyu renkli gösterilmektedir. Tablo 3 sadece birkaçı eksik/atlanmış da olsa çok değerli sonuçları içerir; Sc (32 çizgi), Ni (34 çizgi), Y (35 çizgi), ve Zr (34 çizgi). Söz konusu değerlerden daha azına sahip elementler için bir korelasyon sunulmuş olsaydı, bu çalışmanın amacı HgMn ve *Am* yıldızlarının tüm etkin sıcaklık aralığı için olmayacaktı. Yıldız yavaş dönüyorsa, hiç bir gözlenmiş verinin görünür dönme hızına bağlı olmaması beklenir. Halbuki, dönme hızı ile [Mg/H], [Mn/H] ve [Ni/H] arasında belirgin bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Benzer atom numaralı elementlerin bollukları arasındaki ilişkilerde genel beklentiler, difüzyon teorisine dayalı olarak geliştirilmiştir. Söz konusu bu durumlar bazı haller için geçerlidir. Bundan başka, herhangi bir elementin yüzey bollukları yıldızdan yıldızla önemli ölçüde değişiklik gösterdiği bilinmektedir.

Montreal modelleri normal yıldızlardan ziyade HgMn ve *Am* tipi yıldızlarda daha çok dillendirilen C, N ve O fakirliğini öngördüğünden dolayı; biz de incelemeye aldığımız yıldız tipleri için [C/Fe] & [log Fe/H] ve [O/Fe] & [log Fe/H] grafiklerini hazırlayarak, değişimleri incelemeye aldık (bkz. Yüce and Adelman 2014; Şekil 65 ve 66). Güneş'teki Fe bolluğu ise  $\log Fe/H = -4.5$  dex değerine karşılık gelmektedir. Demir bolluğu artarken; [C/Fe] ve [O/Fe] azalır; yani X ile Y arasında negatif yönde bir korelasyon vardır. Yüce and Adelman (2014) çalışmasında yer alan Şekil 65 ve 66'da görüldüğü gibi normal yıldızlar şeklin sol tarafında yer almaktadır. HgMn ve *Am* yıldızları ise tüm değer aralığı boyunca yayılmıştır.

#### 4 Müzakere

Etkin sıcaklık -- yüzey çekim ivmesi -- bolluk diyagramlarında, yıldızların konumları ile element bollukları arasında ilişkiler göze çarpmaktadır. Ancak etkin sıcaklıkları ve yüzey çekim alanları çok benzer olan bazı yıldızlarda, element bolluklarının farklı olabildiği de bir gerçektir. Yıldızların iç bölgelerinde hız / açısal momentum profillerinin farklı olması böyle farklı element bolluklarına yol açabilir. Konu ile ilgili teorinin de, bu önemli bulguyu tahmin edebilecek şekilde modifiye edilmesi gerekmektedir.

#### Teşekkür

Bu çalışmada SIMBAD veritabanı (Strasbourg, Fransa) kullanılmıştır. Çalışma arkadaşlarım Sayın Prof. Dr. Saul J. Adelman (Citadel, Amerika Birleşik Devletleri) ve Sayın Prof. Dr. Austin F. Gulliver (Brandon, Kanada)'e teşekkür ederim.

#### Kaynaklar

Adelman, S. J.: uvby FCAPT photometry of the metallic-lined stars 60 Tau and HR 1528 and the magnetic CP stars HR 8216 and HR 8770. *A&A*, (2003), vol.401, 357--360  
 Adelman, S. J.: The physical properties of normal A stars. in: J. J. Zverko et al. (eds.), *The A Star Puzzle*, IAU Symp. 224, UK: Cambridge University Press, (2004), p.1--11  
 Adelman, S. J., Unsree, N.: On chemical abundances of Am and Normal A type stars. *Balt. Astron.*, (2007), vol.16, 183-190  
 Adelman, S. J., Yüce, K.: Elemental abundance analyses with Coude Echelle Spectrograms from the TÜBİTAK National Observatory

of Turkey: I. The HgMn stars 11 Per, HR 2801, and nu Cnc, *Astron. Nachr.*, (2010), vol.331, 785--793  
 Adelman, S. J., Adelman, A. S., & Pintado, O. I.: On the relationship between the mercury-manganese stars and the metallic-lined stars. *A&A*, (2003), vol.397, 267--273  
 Adelman, S. J., Caliskan, H., Kocer, D., Kablan, H., Yüce, K., Engin, S.: Elemental abundance analyses with DAO spectrograms. XXV. The superficially normal B and A stars alpha Draconis, tau Herculis, gamma Lyrae, and HR 7926. *A&A*, (2001), vol.371, 1078--1083  
 Aurière, M., Wade, G. A., Lingières, F., et al.: No detection of large-scale magnetic fields at the surfaces of Am and HgMn stars. *A&A*, (2010), vol.523, id.A40 p.1--5  
 Aurière, M., Wade, G. A., Silvester, J., et al.: Weak magnetic fields in Ap/Bp stars. Evidence for a dipole field lower limit and a tentative interpretation of the magnetic dichotomy. *A&A*, (2007), vol.475, 1053--1065  
 Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A.J., & Scott, P.: The chemical composition of the Sun. *ARA&A*, (2009), vol.47, 481--522  
 Berthet, S.: Which evolution for an Am star? *A&A*, (1992), vol.253, 451--458  
 Conti, P. S.: The early A stars. I. Rotation and metallicity. *ApJ.*, (1965), vol.142, 1594--1603  
 Gray, R. O., Garrison, R. F.: The early F-type stars - Refined classification, confrontation with Stromgren photometry, and the effects of rotation. *ApJS*, (1989), vol.69, 301--321  
 Kochukhov, O., Makaganiuk, V., Piskunov, N. et al.: Are there tangled magnetic fields on HgMn stars? *A&A*, (2013), vol.554, id.A61, pg.1--12  
 Kurtz, D. W.: Pulsation of chemically peculiar and pre-main sequence stars in the delta Scuti instability strip. in M. Breger and M. Montgomery (eds.), *ASP Conference Series*, (San Francisco: ASP) ISBN: 1-58381-041-2, (2000), vol.210, 287--308  
 Michaud, G.: Diffusion processes in peculiar A stars. *ApJ*, (1970), vol.160, 641--658  
 Morgan, W.W.: Some evidence for the existence of a peculiar branch of the spectral sequence in the interval B8-F0. *ApJ*, (1933), vol.77, 330--336  
 Petit, P., Lingières, F., Wade, G. A., et al.: The rapid rotation and complex magnetic field geometry of Vega. *A&A*, (2010), vol.523, A41 p.1--9  
 Preston, G. W.: The chemically peculiar stars of the upper main sequence. *ARA&A*, (1974), vol.12, 257--277  
 Talon, S., Richard, O., & Michaud, G.: AmFm stars as a test of rotational mixing model. *ApJ*, (2006), vol.645, 634--651  
 Titus, J., and Morgan, W. W.: On the classifications of the A stars. I. The spectral types of the brighter members of the Hyades Cluster. *ApJ*, (1940), vol.92, 256--261  
 Vauclair, S., Vauclair, G., Schatzman, E., & Michaud, G.: Hydrodynamical instabilities in the envelopes of main-sequence stars - Constraints implied by the lithium, beryllium, and boron observations. *ApJ*, (1978), vol.223, 567-582  
 Wahlgren, G. M.; Ilyin, I., & Kochukhov, O.: Spectrum variability for the HgMn star alpha And. *AAS Mtg.* 199, (2001), vol.33, p.1506  
 Yüce, K., Adelman, S. J.: Elemental abundance analyses with DAO Spectrograms. XXXIV. A three-dimensional graphical examination of the elemental abundances of the mercury-manganese and metallic-line stars. *PASP*, (2014), vol.126, 345--358  
 Yüce, K., Adelman, S. J., & Gulliver, A. F.: Elemental abundance analyses with DAO spectrograms. XXVIII. Comparisons with two series of automated elemental abundance analyses. *New Astronomy*, (2011a), vol.16, 191--193  
 Yüce, K., Castelli, F., & Hubrig, S.: Wavelengths and oscillator strengths of Xe II from the UVES spectra of four HgMn stars. *A&A*, (2011b), vol.523, id.A37 p.1--16  
 Yüce, K., Adelman, S. J., Gulliver, A. F., Hill, G.: Elemental abundance analyses with DAO spectrograms: XXXII. HR 6455 (A3 III), delta Aqr (A3 V), eta Lep (F2 V), and 1 Boo (A1 V). *Astron.*

Nachr., (2011c), vol.332, 681--689

**Erişim:**

O31-0930: [UAK-2015 Program](#) --- [UAK Bildiri](#) --- [Turkish J.A&A.](#)