

## Geç B/Erken A Tayf Türü Süperdev Yıldızlarından 4 Lacertae ve v Cephei'nin Tayfsal Analizleri

Kutluay Yüce

Ankara Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Fen Fakültesi, 06100, Tandoğan, Ankara  
kyuce@astro1.science.ankara.edu.tr

**Özet:** Bu çalışmada, 4 Lac (B9 Iab) ve v Cep (A2 Ia) yıldızlarının Dominion Astrofizik Gözlemevi'ndeki (DAO) 1.2 metrelik teleskoba bağlı Reticon ve CCD dedektörlerle alınmış yüksek ayırma güçlü tayfları kullanılarak atmosfer parametreleri ile element bollukları belirlenmiştir. Tayflar, REDUCE ve VLINE programları (Hill & Fisher 1986) ile ölçülerek her bir tayf çizgisinin gözlenen dalgaboyu, eşdeğer genişliği, çizgi derinliği ve yarı-maksimumdaki tam genişliği bulunmuştur. Atmosfer analizi, ATLAS9 (Kurucz 1993) ve onun ilgili programları kullanılarak gerçekleştirildi. İlk kez bu çalışma ile 4 Lac ve v Cep yıldızlarının atmosfer parametreleri, gözlemsel H $\beta$  ve H $\gamma$  çizgilerinin kuramsal profillerle karşılaştırılmasından ve elementlerin iyonizasyon dengelerinden yararlanılarak tespit edildi. Mikrotürbülans hızı, 4 Lac için 2.7 km s<sup>-1</sup> v Cep için 5.2 km s<sup>-1</sup> olduğu saptandı. SYNTHE (Kurucz & Avrett 1981) programı yardımıyla üretilen sentetik tayfın gözlemler profillerle karşılaştırılmasından her iki süperdev yıldızın dönme ve makrotürbülans hızları bulundu. 4 Lac ve v Cep'in detaylı bir model atmosfer bolluk analizleri tayfsal çalışması bu yıldızların evrim durumlarının belirlenmesine imkan sağlamıştır.

**Anahtar kelimeler:** yıldızlar: 4 Lac – yıldızlar: v Cep, yıldızlar: süperdev yıldızlar, yıldızlar: atmosfer parametreleri

**Abstract:** In this study the stellar parameters and elemental abundances of 4 Lac (B9 Iab) and v Cep (A2 Ia) stars were determined using high quality spectral data obtained with Reticon and CCD detectors of the 1.2-m telescope at the Dominion Astrophysical Observatory (DAO). The spectra were measured using programs REDUCE and VLINE (Hill & Fisher 1986), and the stellar wavelength, equivalent width, the line depth, and the line width were determined for each line. The atmosphere analysis was performed using the model atmospheres code ATLAS9 (Kurucz 1993) and its associated programs. This study is first to derive the atmosphere parameters of 4 Lac and v Cep from comparing observed (H $\beta$ , H $\gamma$ ) profiles with theoretical profiles and ionization equilibria of the elements. The microturbulent velocity was calculated as 2.7 km s<sup>-1</sup> for 4 Lac, and as 5.2 km s<sup>-1</sup> for v Cep. The rotational and macro-turbulent velocities were found using program SYNTHE (Kurucz & Avrett 1981). The detailed model atmosphere abundance analyses of 4 Lac and v Cep allow to determine the evolutionary status of these supergiants.

**Key words:** stars: individual: 4 Lac – stars: individual: v Cep – stars: supergiants – stars: atmosfer parametreleri

### 1. GİRİŞ

4 Lacertae ve v Cephei yıldızları Morgan & Roman (1950), Slettebak (1954) ve Stock (1956) tarafından B9 Iab ve A2 Ia tayf türünden yıldızlar olarak sınıflandırılmıştır. v Cep yıldızı, Cep OB2 yıldız oymağının bir üyesidir (Humphreys 1978). Hill vd. (1986), 4 Lac yıldızını Lac OB1 yıldız oymağının bir üyesi olarak belirtse de bu şüphelidir. Yaptıkları çalışmada 4 Lac, LAC OB1 için elde edilen H $\gamma$  çizgilerinin eşdeğer genişliği ile M<sub>v</sub> mutlak parlaklık değerleri arasındaki bağıntıya uymamaktadır. 4 Lac yıldızı, Humphreys (1978)'in çalışmasında bu oymağın bir üyesi olarak yer almamaktadır.

Literatürde 4 Lac (B9 Iab)'ın fotosferik kimyasal bileşimiyle ilgili herhangi bir çalışma bulunmazken, v Cep (A2 Ia)'in kimyasal bolluk analizi Takeda & Takada (1995, 1998, 2000) tarafından yapılmıştır. Verdugo vd. (1999) 4 Lac yıldızının atmosfer parametrelerini, Balmer çizgilerine atmosferin yerel termodinamik dengede olduğunu kabul eden YTD atmosfer modeliyle hesaplanan kuramsal profillerle karşılaştırarak (T<sub>e</sub>=10000 K, log g = 1.5) olarak bulmuşlardır.

### 2. TAYFSAL GÖZLEMLER

4 Lac ve v Cep'in bu çalışmada incelenen tayfsal verileri; 1999, 2000 ve 2001 yıllarında Dr. Saul J. Adelman ve Dr. Austin F. Gulliver tarafından DAO'daki 1.2 metrelik teleskoba bağlı Reticon ve CCD dedektörlerle alınmıştır. 2.4 Åmm<sup>-1</sup>'lik ayırma gücüne sahip tayfların dalgaboyu genişlikleri 63 Å

Bildiri tam metni için : Kutluay YÜCE  
e-mektup: kyuce@astro1.science.ankara.edu.tr

veya 147 Å olup, her tayfın sonu bir sonrakinin yaklaşık 5 Å'luk kısmıyla çakışmaktadır. Tayflar  $\lambda\lambda 3830-4950$  dalgaboyu aralığında olup, sinyal-gürültü oranı (S/N) > 250 dir.

### 3. GÖZLEMLERİN ANALİZİ

Tayfların sürekliliği, çok amaçlı bir paket program olan REDUCE (Hill & Fisher 1986) ile belirlendi. Sürekliliği belirlenen her tayf VLINE programı ile ölçülmüştür. Yaklaşık 8 Å'luk bölgeler seçilerek, o bölgedeki çizgi profillerine kuramsal profiller çakıştırılarak en iyi uyum elde edilmeye çalışıldı. Seçilen bölgedeki profillere aynı anda en fazla 12 adet Gauss, Lorentzian veya Rotational fiti yapabildiği program, en fazla 38 bilinmeyenli karmaşık fonksiyonların çözümünü yapan CURFIT (Bevington 1969)'i kullanmaktadır. Böylece seçilen dalgaboyu aralığında belirlenen çizgilerin eşdeğer genişliği (EW), merkezi dalgaboyu ( $\lambda$ ), çizgi derinliği ve yarı-maksimumdaki tam genişliği (FWHM) tespit edilmektedir.

#### 3.1. Radyal Hız Ölçümleri

4 Lac ve v Cep'in her tayfı için temiz (blend olmayan) çizgiler seçilerek, o tayf bölgesi için ortalama radyal hız değeri ve onun standart hatası bulundu. Çizginin gözlenen dalgaboyu  $\lambda_0$  ve laboratuvar dalgaboyu  $\lambda_L$  ise o çizgiden hesaplanan radyal hız değeri (c ışık hızı olmak üzere) Doppler bağıntısı ile bulundu.

$$V_R = [(\lambda_0 - \lambda_L) / \lambda_L] \cdot c \quad (1)$$

Blend olmayan ve temiz en az beş adet tayf çizgisinin laboratuvar dalgaboyları gözlemsel değerleri ile karşılaştırılarak o tayf için radyal hız değeri hesaplandı. Daha sonra bu değer o bölgedeki tüm çizgilere aynı oranda uygulanarak, tüm çizgilerin hesaplanan dalgaboyu değerleri bulundu.

Bu çalışma ile 4 Lac'ın mevcut tayflarından bulunan radyal hız değişim genliği  $13.3 \text{ km sn}^{-1}$ , ortalama radyal hız değeri  $-21.9 \pm 5.1 \text{ km sn}^{-1}$  dir. v Cep için bu değerler sırasıyla  $14.8 \text{ km sn}^{-1}$  ve  $-20.1 \pm 5.0 \text{ km sn}^{-1}$  olup, literatürde yer alan ortalama radyal hız değerleriyle uyumludur. Fotosferik çizgilerden belirlenen radyal hızlardaki değişimin nedenini anlayabilmek için erken tayf türünden süperdev yıldızların eşzamanlı fotometrik ve tayfsal gözlemlerine ihtiyaç vardır.

#### 3.2. Çizgi Tanımları

4 Lac'ın görsel bölge tayflarından yapılan çizgi tanısında; H I, He I, C II, N II, O I, O II, Mg I, Mg II, Al I, Al II, Al III, Si II, Si III, S II, A II, Ca I

Ca II, Sc II, Ti II, V II, Cr II, Mn I, Mn II, Fe I, Fe II, Fe III, Ni II, Sr II, Y II, Zr II ve Ba II atom ve iyonlarına ait çizgiler belirlenmiştir.

v Cep'in çizgi tanısında ise; H I, He I, C I, C II, N I, N II, O I, Mg I, Mg II, Al I, Al II, Si I, Si II, S II, Ca I, Ca II, Sc II, Ti I, Ti II, V II, Cr I, Cr II, Mn I, Mn II, Fe I, Fe II, Fe III, Ni I, Ni II, Sr II, Y II, Zr II, Ba II ve Eu II atom ve iyonları tanımlandı. 4 Lac ve v Cep'in tayf atlasları literatürde ilk kez yer alacaktır (Yüce 2004b).

### 4. ATMOSFER ANALİZLERİ

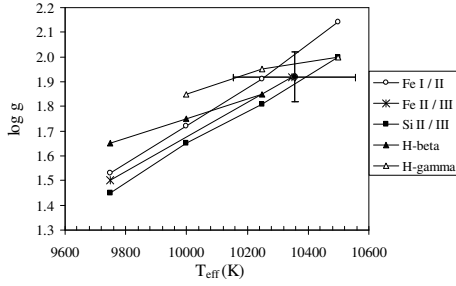
#### 4.1. Atmosfer Parametrelerinin Belirlenmesi

Bir yıldızın iki önemli atmosfer parametresi olan etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi, o yıldızın yüzeyindeki kimyasal element bolluklarını bulurken kullanıldıkları için bu iki parametrenin doğru olarak belirlenmesi önemlidir. Atmosfer parametrelerine ait güvenilir değerler tayfsal analizlerden tayin edilmektedir. 4 Lac ve v Cep'e ait bu parametreler literatürde çok fazla yer almamaktadır.

Bu çalışmada 4 Lac ve v Cep'in atmosfer parametreleri çeşitli ölçütlerle belirlenmiştir. Bunlar, yıldızın gözlemsel ve kuramsal Balmer çizgi profillerinin karşılaştırılmasını ve elementlerin iyonizasyon dengesini içerir. Bu ölçütlerle belirlenen parametre çiftleri, "Kiel Diyagramı" olarak adlandırılan  $T_e - \log g$  diyagramına yerleştirilerek en olası etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi değeri elde edilmiştir.

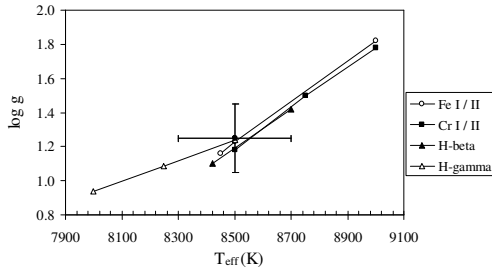
Bu çalışmada atmosfer parametrelerini ilk olarak, gözlemsel ve kuramsal  $H_\beta$  ve  $H_\gamma$  çizgilerini karşılaştırarak belirledik. Kuramsal profil, YTD varsayımıyla paralel düzlem geometri ATLAS9 model atmosferini kullanan SYNTHE (Kurucz & Avrett 1981) programı ile üretildi. Gözlemsel ve kuramsal Balmer profilleri arasında en iyi uyumu veren ( $T_e$ ,  $\log g$ ) değerleri Şekil 1'de görülmektedir.

Tayfsal analizlerle etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesinin belirlenmesinde kullanılan diğer yöntem, iyonizasyon dengesidir. Bu yöntemde 4 Lac yıldızı için Fe I/II ve Si II/III iyonizasyon dengelerinden yararlanıldı. Demirin iyonizasyon dengesinden ( $\log \epsilon(\text{Fe I}) = \log \epsilon(\text{Fe II})$ ), silisyumun iyonizasyon dengesinden ( $\log \epsilon(\text{Si II}) = \log \epsilon(\text{Si III})$ ) ve gözlemsel ve kuramsal  $H_\beta$  ve  $H_\gamma$  profillerinin uyumundan belirlenen atmosfer parametreleri, x ekseninde etkin sıcaklık değerleri y ekseninde yüzey gravitesi olmak üzere grafiğe yerleştirildi (Şekil 1). Diğer bir ifade ile, 4 Lac'ın dört farklı ölçütle hesaplanan atmosfer parametrelerinden Kiel diyagramı oluşturuldu. Bu diyagramdan yıldızın en olası etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi;  $T_e = 10350 \text{ K}$  ve  $\log g = 1.92$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. 4 Lac'in Kiel Kiagramı

v Cep için demir ve kromun iyonizasyon dengelerinden ve Balmer çizgi profillerinden belirlenen atmosfer parametreleri ile oluşturulan Kiel diyagramı Şekil 2'de görülmektedir. Buna göre diyagramdan belirlenen yıldızın en olası etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi;  $T_e = 8500$  K ve  $\log g = 1.25$  dir. 4 Lac ve v Cep'in model atmosfer hesaplarında kullanılan mikrotürbülans hızları sırasıyla  $2 \text{ km sn}^{-1}$  ve  $4 \text{ km sn}^{-1}$  dir.



Şekil 2. v Cep'in Kiel Kiagramı

## 4.2. Mikrotürbülans Hızının Belirlenmesi

4 Lac ve v Cep yıldızlarının atmosferlerindeki element bollukları, ilk olarak çeşitli mikrotürbülans değerleri kullanılarak WIDTH9 (Kurucz 1993) programı yardımıyla çizgilerin eşdeğer genişliklerinden hesaplandı. Bolluklar arasında eşdeğer genişliğe bağlılığın bulunmadığı veya en az olduğu dağılımı veren mikrotürbülans değeri, o element için mikrotürbülans hızı ( $\xi$ ) olarak kabul edildi. Mikrotürbülans hızlarına ilişkin sonuçlar Tablo 1'de verilmektedir. Burada  $\xi_1$  eğimin en küçük olduğu,  $\xi_2$  ise saçılmanın en az olduğu dağılımı veren değerlerdir. 4 Lac için  $2.8 \text{ km sn}^{-1}$  ve v Cep için  $5.2 \text{ km sn}^{-1}$  olarak belirlenen mikrotürbülans hızları, her iki yıldızın diğer atom ve iyonlarına ait bolluk hesaplarında da kullanılmıştır.

Tablo 1. Mikrotürbülans Hızları ( $\text{km sn}^{-1}$ )

| İyon                          | n     | $\xi_1$ | $\log N/N_T$ | $\xi_2$        | $\log N/N_T$ |                |
|-------------------------------|-------|---------|--------------|----------------|--------------|----------------|
| 4 Lac                         | Fe II | 71      | 2.5          | $-4.8 \pm 0.2$ | 2.8          | $-4.8 \pm 0.2$ |
| $\xi = 2.7 \text{ km s}^{-1}$ |       |         |              |                |              |                |
| v Cep                         | Cr II | 30      | 5.2          | $-6.4 \pm 0.2$ | 5.1          | $-6.4 \pm 0.2$ |
|                               | Ti II | 39      | 5.5          | $-7.4 \pm 0.2$ | 5.5          | $-7.4 \pm 0.2$ |
|                               | Fe II | 61      | 4.8          | $-4.5 \pm 0.2$ | 5.5          | $-4.5 \pm 0.2$ |
| $\xi = 5.2 \text{ km s}^{-1}$ |       |         |              |                |              |                |

## 4.3. Bolluk Analizi

4 Lac ve v Cep'in atmosferlerindeki Helyum bolluğu SYNSPEC (Hubeny vd. 1994), diğer element bollukları WIDTH9 (Kurucz 1993) programları ile hesaplanmıştır. Element bollukları hesaplanırken kullanılan etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi ve mikrotürbülans hızlarına ilişkin değerler sırasıyla aşağıdaki gibidir:

4 Lac:  $T_e = 10350$  K,  $\log g = 1.92$ ,  $\xi = 2.7 \text{ km sn}^{-1}$

v Cep:  $T_e = 8500$  K,  $\log g = 1.25$ ,  $\xi = 5.2 \text{ km sn}^{-1}$ .

### 4.3.1. He/H oranı

Helyum bolluğunu belirlemek için, her iki yıldızın tayfında blend olmayan He I çizgileri seçilmiştir. Gözlemsel helyum profillerine kuramsal olarak üretilen profillerle karşılaştırmalar yapılarak en iyi uyum elde edilmeye çalışıldı. Karşılaştırmalarla belirlenen He/H değerleri Tablo 2'de verilmektedir. Güneş'in helyum bolluğu  $\log(\text{He/H}) = -1.00$  olduğuna göre 4 Lac ve v Cep'in atmosferinde helyum, Güneş'e göre 0.18 dex ve 0.13 dex daha fazladır.

Tablo 2. He/H oranları

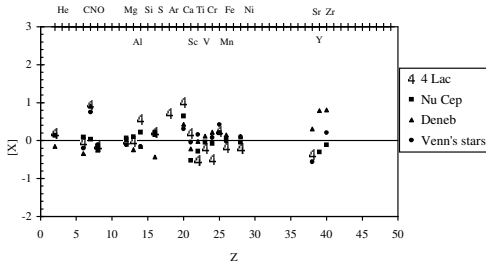
|            | $\lambda$ (Å) | He / H            |
|------------|---------------|-------------------|
| 4 Lac      | 3867          | 0.13              |
|            | 4009          | 0.15              |
|            | 4026          | 0.16              |
|            | 4168          | 0.13              |
|            | 4387          | 0.16              |
|            | 4437          | 0.13              |
|            | 4471          | 0.17              |
|            | 4713          | 0.18              |
|            | 4920          | 0.18              |
|            |               | $0.154 \pm 0.021$ |
| Ortalama = |               |                   |
| v Cep      | 4009          | 0.13              |
|            | 4026          | 0.14              |
|            | 4120          | 0.13              |
|            | 4471          | 0.14              |
|            | 4713          | 0.14              |
|            |               | $0.136 \pm 0.005$ |
| Ortalama = |               |                   |

### 4.3.2. Diğer Element Bollukları

WIDTH9 programı yardımıyla diğer element bollukları hesaplanırken, blend olmayan ve eşdeğer genişlikleri  $\geq 5$  mÅ olan çizgiler kullanıldı. 4 Lac ve v Cep'in bu çalışmayla bulunan element bollukları ve bollukların Güneş'in değerleriyle karşılaştırılması Yüce (2004a, Tablo 5)'de detaylı bir şekilde verilmektedir.

4 Lac, hafif element bakımından (Mg, Al, Si, S, Ar, Ca) v Cep yıldızından daha zengindir. Demir grubu elementleri olarak adlandırılan Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe ve Ni bollukları, bir yıldızın genellikle metal miktarını gösterir. 4 Lac metal bakımından v Cep'ten daha fakirdir. Her iki yıldızın metal bollukları genel olarak Güneş'inkinden daha azdır. Ağır elementlerden stronsiyum bolluğunu, 4 Lac için Sr II4077, 4215 Å çizgilerinden hesaplandı. Bu iyona ait çizgiler v Cep'te bulunmamaktadır.

Her iki süperdev yıldızın He, C, N, O ve hafif element bollukları Güneş'teki değerlere sahip veya daha zengin, demir grubu elementler ile ağır elementlerin bollukları genellikle yine Güneş'teki değerlere sahip veya daha fakirdir.



Şekil 3. 4 Lac, v Cep ve bazı süperdev yıldızların Güneş'e göre YTD bolluklarının atom numarasının bir fonksiyonu olarak gösterimi.

Şekil 3, bir alan yıldızı olan Deneb ve çok azı küme yıldızı olan Venn (1995a, b)'in incelediği A türü süperdev yıldızların bolluk değerlerini de içermektedir. 4 Lac ve v Cep'in demir grubu elementlere kadar olan bollukları, diğer yıldızlarınkinden genellikle daha yüksektir ve demir grubu elementlerin bollukları ise diğer yıldızlarınkinden daha düşüktür. Ayrıca 4 Lac ve Venn'in sıcak yıldızları düşük stronsiyum bolluğuna sahiptir. Bu yıldızlardan daha soğuk olan Deneb ve Venn'in bazı yıldızlarında görülen yitrium ve zirkonyum bolluğu v Cep'in değerleri ile uyumlu değildir. Bir oymak yıldızı olan v Cep, ağır elementler bakımından bu yıldızlardan daha fakirdir.

### 4.4. Makrotürbülans ve Dönme Hızları

Bu çalışmada 4 Lac ve v Cep'in dönme hızlarının gerçek değerlerini bulabilmek için ilk olarak

VLINE programı ile tahmini dönme hızı değeri belirlendi. Bazı temiz tayf çizgilerinden (Fe II, Mg II, S II vb) tahmini dönme hızı, 4 Lac için  $16 \text{ km s}^{-1}$ , v Cep için  $21 \text{ km s}^{-1}$  dir. Seçilen bu zayıf çizgilerin mikrotürbülans, makrotürbülans gibi çizgi genişleme mekanizmalarından çok fazla etkilenmedikleri düşünülmektedir.

Daha sonra SYNTHE (Kurucz & Avrett 1981) programı ile kuramsal tayf üretildi. 4 Lac ve v Cep yıldızlarının tayflarında kuvvetli ve temiz metal çizgileri  $\lambda\lambda 4480\text{-}4650\text{\AA}$  dalgaboyu aralığında bulunmaktadır. Bu bölge için kuramsal tayfı üretirken, serbest girdi parametreleri olarak yıldızın tahmini dönme hızı ve olası makrotürbülans hız değerleri ile yıldızın mikrotürbülans hızı kullanılmaktadır. Üretilen kuramsal tayf, gözlemsel tayftaki Fe II 4508.283, 4515.337, 4520.225, 4522.634 Å çizgileri ile karşılaştırıldı. Gözlemsel çizgi profilleriyle en iyi uyum elde edilinceye kadar serbest girdi parametreleri olarak kabul edilen makrotürbülans ve dönme hızları değiştirildi. Böylece 4 Lac yıldızı için belirlenen en iyi değerler, makrotürbülans hızı için  $\zeta=15 \pm 2 \text{ km s}^{-1}$  ve dönme hızı için  $v \sin i=14 \pm 2 \text{ km s}^{-1}$ 'dir. Benzer şekilde v Cep yıldızı için sırasıyla  $12 \pm 2 \text{ km s}^{-1}$  ve  $26 \pm 2 \text{ km s}^{-1}$  olarak bulunmuştur.

### 5. 4 Lac ve v Cep'in Evrim Durumları

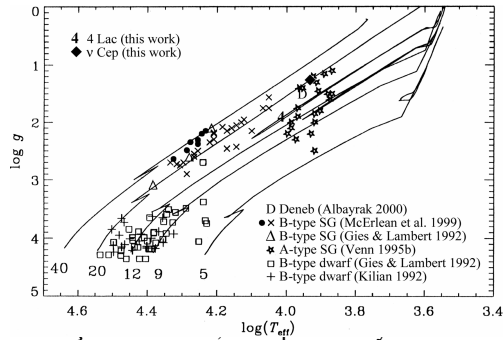
4 Lac ve v Cep, geç B ve erken A-tayf türünden  $M > 10M_{\odot}$  kütleli süperdev yıldızlardır.

Bu iki süperdev yıldızın kimyasal bollukları, büyük kütleli yıldızların evrimlerinin anlaşılmasına yardım edecektir. Büyük kütleli yıldızların ( $5\text{-}20M_{\odot}$ ) atmosferlerine ait C, N ve O bollukları ile ilgili evrim senaryoları mevcuttur. Bu modeller, atmosferdeki kimyasal bollukların, çekirdekte CNO süreciyle oluşan ve katalizör görevi gören maddenin fotosfere taşınıp taşınmadığını göstermesine bağlıdır. Büyük kütleli yıldızların CNO analizleri Venn (1995b) tarafından A türü süperdev yıldızlar için, McErlean vd. (1999) tarafından B-türü süperdev yıldızlar için ve Albayrak (2000) tarafından Deneb yıldızı için yapılmıştır.

Bu çalışmaya göre 4 Lac, Güneş'in yakın C, zengin N ve bir miktar fakir O bolluğuna sahiptir. Bu ise CNO süreci ile çekirdekte oluşmuş materyalin bir iç karışım süreci ile yıldızın fotosferine taşındığını göstermektedir (detay için bkz. Yüce 2003, 2004a). v Cep'in atmosferi ise, Güneş'inkine yakın C ve N bolluğuna sahiptir. Bu bolluk değerleri kimyasal reaksiyonlara uğramış materyalin derin bir iç karışımla yüzeye taşınmamış olduğunu gösterir.

4 Lac ve v Cep'in bu çalışma ile belirlenen atmosfer parametreleri  $T_e\text{-log } g$  diyagramına yerleştirildi ve benzer tür yıldızların konumlarıyla beraber teorik evrim yolları ile karşılaştırıldı (Şekil

4). Diyagramda yıldızların ZAMS kütleleri ile beraber Schaller vd. (1992)'nin teorik evrim yolları da görülmektedir. Atmosfer parametrelerine göre 4 Lac yıldızı Venn'in incelediği A-türü süperdev yıldızların yakınındaki  $12 M_{\odot}$  kütleli evrim yolu üzerinde yer alır. Bu kütle değeri literatürde verilen ( $10-11 M_{\odot}$ ) değerlere uygundur. B tayf türü anakol yıldızları (örneğin; Kilian 1992 ve Gies & Lambert 1992), 4 Lac'ın ataları gibi görünmektedir. v Cep'in atmosfer parametreleri, yıldızı  $20M_{\odot}$  kütleli evrim yolunun üzerine koymaktadır. Bu değer Lamers (1995)'nin değerinden ( $16 M_{\odot}$ ) biraz büyüktür. Bu yıldız diyagramında, Venn tarafından incelenen A-türü süperdevlerin çoğunun üst tarafında bulunmaktadır. Diyagramda McErlean vd. (1999)'nin incelediği karışmamış "moderate/normal processed" B-türü süperdevler ile uyusmaktadır. v Cep'in atası O tayf türünden anakol yıldızdır. Karbon ve azot bollukları da bir iç karışımın olmadığı sonucuna götürmüştü.



$T_e$ -log g diyagramındaki konumları.

4 Lac ve  $\square$  Cep yıldızlarının Schaller vd. (1992)'nin ( $\log L - \log T_e$ ) teorik evrim yolları üzerindeki yerlerine bakıldı (detay için bkz Yüce 2004a). Toplam ışınım gücü  $L=4.\pi.R^2.\sigma.T^4$  olmak üzere,

i) 4 Lac yıldızının  $R = 60R_{\odot}$  (literatür) ve bçalışma ile bulunan  $T_e = 10350$  K değerleri, yıldızı  $12M_{\odot}$  kütleli bir yıldızın teorik evrim yolu üzerine koymaktadır. Yıldız kırmızı dev bölgesine evrimleştikten sonra dönerek mavi süperdev durumuna gelmiştir. Aynı sonuca CN bollukları da götürmüştü. 4 Lac'ın bu konumu, bulduğumuz atmosfer parametrelerinin ( $T_e, \log g$ ) gösterdiği Şekil 3'deki konumu ile aynıdır. Schaller vd. (1992)'e göre  $12M_{\odot}$  kütleli bir yıldızın bu noktaya evrimleşmesi için geçen süre  $16.5 \times 10^6$  yıldır. Bu, Meynet & Maeder (2003)'ün  $12M_{\odot}$  li yıldız modeli ile uyumludur. Ayrıca bulunan bu yaş, Lac OB1 oymağının yaşı ile de uyumludur ( $16-25 \times 10^6$  yıl, Blaauw 1958). Bu ise 4 Lac yıldızının Lac OB1 oymağının bir üyesi olması ihtimalini artırmaktadır.

ii) Cep yıldızının atmosfer parametrelerine göre, bu yıldız  $20M_{\odot}$  kütleli yıldızın evrim yolu

üzerinde bulunmaktadır (Şekil 4). Schaller vd.'nin teorik hesaplarına göre,  $20M_{\odot}$  kütleli bir yıldızın bu noktaya evrimleşmesi için geçen süre  $8 \times 10^6$  yıldır. Bu, Meynet & Maeder (2003) ile uyum içindedir. Ayrıca bu yaş da CEP OB2 oymağının yaşına uygundur ( $3-7 \times 10^6$  yıl, Simonson ve Someren Greve 1976).

## 6. Kaynaklar

- Albayrak, B. 2000, A&A, 364, 237  
 Bavington, P.R. 1969, Data reduction and error analysis for the physical sciences (McGraw-Hill: New York)  
 Blaauw, A. 1958, AJ, 63, 186  
 Gies, D. R. & Lambert, D. L. 1992, ApJ, 387, 673  
 Hill, G. & Fisher, W.A. 1986, Publ. Dominion Astrophys. Obs., 16, 13  
 Hill, G. M., Walker, G. A. H. & Yang, S. 1986, PASP, 98, 1186  
 Hubeny, I., Lanz, T. & Jeffery, C.S. 1994, TLUSTY & SYNSPEC-A brief Description. Daresbury Lab. New. Anal. Astron. Spectra, No. 20; 30.  
 Humphreys, R.M. 1978, ApJS, 38, 309  
 Kilian, J. 1992, A&A, 262, 171  
 Kurucz, R.L. 1993, Kurucz CD-ROM No. 13, ATLAS9 Stellar Atmosphere Programs and 2 km/s grid (Cambridge, SAO).  
 Kurucz, R.L. & Avrett, E.H. 1981, Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep., 391  
 McErlean, N.D., Lennon, D.J. & Dufton, P.L. 1999, A&A, 349, 553  
 Meynet G. & Maeder A. 2003, A&A, 404, 975  
 Morgan, W. W. & Roman, N. G. 1950, ApJ, 112, 362  
 Schaller, G., Schaerer, D., Meynet, G. & Maeder, A. 1992, A&ASS, 96; 269  
 Simonson, S.C., & van Someren Greve, H.W. 1976, A&A, 49; 343  
 Slettebak, A. 1954, ApJ, 119, 146  
 Stock, J. 1956, ApJ, 123, 253  
 Takeda, Y. & Takada-Hidai, M. 1995, PASJ, 47, 169  
 Takeda, Y. & Takada-Hidai, M. 1998, PASJ, 50, 629  
 Takeda, Y. & Takada-Hidai, M. 2000, PASJ, 52, 113  
 Venn, K.M. 1995a, ApJS., 99; 659  
 Venn, K.M. 1995b, ApJ, 449, 839  
 Verdugo, E., Talavera, A. & Gómez de Castro, A, A&A, 346, 819  
 Yüce, K. 2003, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara  
 Yüce, K. 2004a, Baltic Astronomy, basımda  
 Yüce, K. 2004b, yayın aşamasında.