

# Yıldız Popülasyonu Modelleri İçin Yıldız Tayfı Kütüphanelerinin Güncellenmesi: Atmosferik Parametrelerin Belirlenmesi

Selim O. SELAM<sup>1</sup>, Reynier F. PELETIER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>A.Ü.F.F. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100, Tandoğan-ANKARA  
e-mail: selim@astro1.science.ankara.edu.tr

<sup>2</sup>School of Physics and Astronomy, University of Nottingham, University Park, Nottingham, NG7 2RD,  
UK  
e-mail: Reynier.Peletier@nottingham.ac.uk

**ÖZET:** Günümüzün yeni kuşak büyük teleskopları, farklı türden galaksilerin daha önceleri ulaşılamamış kalitedeki tayfsal gözlemlerini yapabilmektedir. Ancak bu gözlemsel verileri modellemede kullanılan "Yıldız Popülasyon Sentezi" modelleri, veri kalitesindeki bu hızlı gelişmelere ayak uyduramamıştır. Dolayısıyla bu modellerle üretilmekte olan bilimsel çalışmaların sonuçlarına şu an için ihtiyatlı yaklaşılmaktadır. Sorun, kullanılmakta olan modellerin içerdikleri "Yıldız Tayfı Kütüphaneleri"nin, kapsadıkları dalgaboyu ve tayf türü aralıklarının kısıtlı olması ve tayfsal çözünürlüklerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada, farklı türlerden seçilmiş 1075 adet yıldızın yeni gözlenmiş tayflarını içeren modern bir yıldız kütüphanesi oluşturulmuş ve ilgili modellerin güncellenmesi sağlanmıştır. Bu bildiride ağırlıklı olarak, kütüphane için seçilmiş yıldızların güvenilir temel atmosferik parametrelerinin nasıl belirlendiği üzerinde durulacaktır.

## 1. Giriş: Kütüphanelerin Mevcut Durumu

Günümüzün yeni kuşak büyük teleskoplarına ait gözlem zamanlarının büyük bir kısmı, galaksilerin yapısı ve evrimini anlamak amacı ile önerilen gözlem projelerine verilmektedir. Bir galaksinin yapısını ve evrimini anlamak, onun içerdığı yıldız popülasyon yapısının doğru olarak ortaya konmasını gerektirmektedir. Bu popülasyon dağılımı bir bütün olarak sistemin yıldız oluşumu ve kimyasal evrim geçişine ait tüm kayıtları bünyesinde barındırmaktadır. Bu durumda farklı türden galaksilerin içerdikleri yıldızların çeşitliliği konusunda yapılacak araştırmalar bizi doğrudan evrenin yapısı ve evrimi ile ilgili önemli ipuçlarına ulaştıracaktır. Bu tür araştırmalarda günümüzde yaygın olarak kullanılan teknik, farklı türden uygun sayıda model yıldızın biraraya getirilerek, bir galaksinin gözlenen tayfsal ve fotometrik özellikleri ile karşılaştırıldığı "Yıldız Popülasyon Sentezi" çalışmalarıdır (bkz. Tinsley 1980). Böyle bir sentezin, seçilmiş model yıldızlara ait temel özelliklerin iyi bilinmesine ihtiyaç duyduğu açıktır. Yıldızların atmosferleri o derece karmaşıktır ki, modelleme işlemlerinin ihtiyaç duyduğu kalitede ve tam anlamıyla gözlemlerle uyuşan teorik (sentezik) yıldız tayfı hesabı yapmak halen imkansızdır. Bu yüzden sentez işlemleri tüm tayf türü ve ışınım sınıfı aralığını kapsayacak şekilde gözlenmiş ve temel

atmosferik parametreleri iyi belirlenmiş örnek yıldız tayfları içeren geniş kütüphanelere ihtiyaç duymaktadır. Bu kütüphaneler uygun eş-yaş modelleri (isochrone) ve başlangıç kütle fonksiyonları ile birleştirilerek model galaksi tayfları oluşturulmakta ve gözlemlerle karşılaştırılarak ilgili galaksinin evrim düzeyi hakkında fikir edinilebilmektedir.

Günümüzün yeni kuşak büyük teleskopları, değişik türden galaksilerin daha önceleri ulaşılamamış kalitedeki tayfsal gözlemlerini yapabilme olanağı sunmaktadır. Ancak bu gözlemsel verileri modellemede kullanılan "Yıldız Popülasyon Sentezi" modelleri, veri kalitesindeki bu hızlı gelişmelere ayak uyduramamıştır. Dolayısıyla bu modellerle işlenmiş verilerin ürünü olan bilimsel çalışmaların sonuçlarına şu an için ihtiyatlı yaklaşılmaktadır. Sorun, kullanılmakta olan modellerin içerdikleri "Yıldız Tayfı Kütüphaneleri"nin, kapsadıkları dalgaboyu ve tayf türü aralıklarının kısıtlı olması ve tayfsal çözünürlüklerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Şu anda yaygın olarak kullanılmakta olan kütüphanelerden Lick-IDS (IDS: Image Dissector Scanner) tayfsal veri seti  $\sim 9\text{\AA}$  FWHM çözünürlüğe sahip,  $\square\square$  4100-6300 Å dalgaboyu aralığındaki 500 adet yıldızla ilgili görsel bölge tayflarından oluşmaktadır (Faber vd. 1985, Gorgas vd. 1993, Worthey vd. 1994, Trager vd.

2000). Ancak bu kütüphanenin, yıldız çeşitliliğinin yanı sıra teknik açıdan da çok sayıda eksiği bulunmaktadır. Veri setinde yer alan tayflar 1970'lerde, önemli ölçüde doğrusallıktan sapmış algılayıcılarla gözlenmiştir, dolayısıyla tayf kaliteleri çok yüksek değildir (bkz. Worthey 1994). Bu tayfların sinyal-gürültü oranı görece olarak düşük olup tayfsal çözünürlük dalgaboyu ile değişmektedir (Worthey & Ottaviani 1997) ve akı ayarı (kalibrasyonu) yapılmamıştır. Ayrıca, Lick-IDS kütüphanesi her yıldızla ilişkin tayfı bir bütün olarak ele almak yerine sadece kuvvetli çizgilerin komşuluklarındaki sürekliliklerine göre çizgi şiddetlerini, "çizgi insileri" ile vermektedir. Bu yaklaşım daha zayıf çizgilerde saklı olan önemli ölçüdeki bilginin kaybolması anlamına gelmektedir. Bu yıldızlara ait çizgi şiddetleri, galaksilerin çizgi şiddetleri ile karşılaştırılmak istendiğinde, çok zaman alıcı deneysel düzeltmeler yapılması gerekmektedir. Sonuç olarak Lick-IDS verileri, alındığı zamanlarda ihtiyaçlara cevap verebilirken günümüzde elde edilen yüksek kalitedeki galaksi gözlemlerini temsil etmede yetersiz kalmaktadır ve özellikle galaksi evrimi çalışmalarında kullanmaya artık uygun değildir. Bu nedenlerden dolayı yakın zamanda, "Yıldız Popülasyon Sentezi" çalışmalarında kullanılmak üzere güncellenmiş yıldız tayfı kütüphanelerine şiddetle ihtiyaç doğmuştur.

Kütüphanelerin güncellenmesi ve sentez modellerine entegrasyonu anlamında ilk somut adım Jones (1997) tarafından atılmıştır. Görsel bölgenin  $3856-4476\text{\AA}$  ve  $4795-5465\text{\AA}$  aralığında  $1.8\text{\AA}$  FWHM çözünürlükle elde ettiği 550 adet çeşitli türdeki yıldızın tayfı ile yeni bir sentez kodu üretmiştir. Kesikli olamayan bir tayfin elde olması sayesinde sadece yapıların tanımını ve yanbant değerlerini değiştirmekle yeni çizgi indislerinin tanımlanabilmesi kolaylığını getirmiştir. Şu an için Lick indisleri yerine Jones (1997) tayfları ile galaksi verilerini modelleme daha iyi bir sonuç veriyor olsa da kütüphane içeriği olarak bakıldığında halen bir eksiklik vardır. Bu tayflara ilişkin akı ayarlama (flux calibration) kontrolleri yapıldığında, hata düzeyinin %10 larda olduğu görülmüştür. Bunun ötesinde verinin kapsadığı dalgaboyu aralığının kısıtlı olması, uyum işlemleri için kullanılabilen tayfsal çizgi sayısının az olmasına neden olmaktadır. Ayrıca Jones (1997) verileri içerdikleri yıldız türü çeşitliliği açısından ele alındığında, olası tüm popülasyonları tam olarak modelleyebilmekten uzaktır. Bir örnek vermek gerekirse, metalce fakir yıldızlar ( $[\text{Fe}/\text{H}] < -1$ ) hemen hemen yok denecek kadar azdır.

Güncelleme konusunda Jones'u takip eden diğer bir somut girişim ise bu bildiride aktarılan çalışmayı da sürdüren grup tarafından, Ca II

tripletini içine alan kırmızıöte bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Nottingham Üniversitesi Astrofizik Grubu ve Complutense de Madrid Üniversitesi işbirliği ile oluşan bu grup, değişik türden teleskoplar kullanılarak  $8348\text{\AA}-9020\text{\AA}$  (kırmızıöte Call tripletini kapsayan) dalgaboyu aralığında  $1.5\text{\AA}$  (FWHM) çözünürlükle 706 adet yıldızın tayfı gözlenmiştir. Bu veri indirgenmiş ve yayınlanmış olup (Cenarro vd. 2001a, 2001b, 2002), ilgili yıldız popülasyonu modellerine kütüphane olarak ilave edilmiş durumdadır (Vazdekis vd. 2002). Böylelikle "Yıldız Tayfı Kütüphaneleri"nin güncellenmesi adına önemli bir adım atılmış oldu. Bu kütüphane, ilgili verileri ve uygulama programları ile, aşağıdaki WEB adresi aracılığı ile herkesin kullanımına açılmıştır:

<http://www.nottingham.ac.uk/~ppzrpf/catriplet/index.html>

Grubumuz yukarıda bahsedilen ilk girişim sonrasında, "Yıldız Tayfı Kütüphaneleri"nin optik dalga boylarında da güncellenmesi için 2000 yılı Temmuz ayında ikinci bir proje başlatılmıştır. Bu bildiriye de konu olan bu proje çerçevesinde LaPalma Gözlemevi INT (Isaac Newton Telescope) teleskobu ve buna bağlı IDS (Intermediate Dispersion Spectrograph) tayfçeki ile 4 gözlem dönemi boyunca (Temmuz 2000 - 6 gece, Aralık 2000 - 6 gece, Temmuz 2001 - 10 gece, Ocak 2002 - 4 gece) kütüphaneye dahil edilmesi düşünülen 1075 adet yıldızın,  $3500\text{\AA}-7500\text{\AA}$  dalgaboyu aralığında,  $1.8\text{\AA}$  (FWHM) çözünürlükle tayfları elde edilmiştir. Bu kütüphanenin daha geniş tayfsal aralık ve daha iyi akı ayarı olanakları sunmasının yanı sıra, önceki kütüphanelere oranla yıldız türlerinde daha fazla çeşitlilik göstermesi gibi önemli bir avantajı bulunmaktadır. Bu yeni kütüphane, önceki emsallerine göre çok daha geniş sıcaklık (O-M tayf türü aralığında), yüzey çekim ivmesi (Alt Cüceler-Süperdevler) ve metal bolluğu aralığına dağılmış yıldızları içermektedir. Bu bildiride ağırlıklı olarak, kütüphane için seçilmiş yıldızların güvenilir temel atmosferik parametrelerinin ( $T_{\text{eff}}$ ,  $\text{Log } g$ ,  $[\text{Fe}/\text{H}]$ ) nasıl belirlendiği üzerinde durulacaktır.

## 2. Gözlemler ve Alt Çalışma Başlıkları

Proje gözlemleri INT teleskobuna bağlı IDS tayfçekininin  $235\text{ mm}$ 'lik kamerası, R632V kırınım ağı ve  $2048 \times 4096$  pixel formatlı EEV10 CCD algılayıcısı ile elde edilmiştir. İlgili kırınım ağının CCD algılayıcısı üzerinde oluşturduğu toplam dalgaboyu penceresi  $2050\text{\AA}$  dur. Bu nedenle her yıldız için, sonradan birleştirilmek

üzere, kırınım açısının açısı değiştirilerek i) Mavi Bölgede:  $\square\square$ 3500-5500 Å ve ii) Kırmızı Bölge:  $\square\square$ 5450-7500 Å olmak üzere iki farklı dalga boyu aralığında, 0.75 yaysn. genişlikli yarıklı tayfları çekilmiştir. Bu tayfların yarı yükseklikteki tam genişlik (FWHM) çözünürlükleri 1.8Å dır. Ayrıca, her yıldız için mavi ve kırmızı bölge tayflarının hatasız olarak birleştirilebilmesi (akı kalibrasyonu) amacıyla R300V kırınım ağı ve 6 yaysn. yarık genişliği kullanılarak daha düşük çözünürlükte tayfları alınmıştır. 4 gözlem dönemi boyunca gözlenen yıldızların toplam sayısı 1075 adettir ve bunların 144 adedi küme, 931 adedi ise alan yıldızdır. Yine 1075 adet yıldızın 477 adedi küme, 598 adedi ise dev yıldızdır.

teleskobunda farklı iki küme üyesi 40 erken tür galaksinin yüksek sinyal/gürültü oranlı tayfları elde edilmiştir. Yeni gözlenen yıldız kütüphanesi ile güncellenmiş popülasyon modelleri bu gözlemlere uygulanarak galaksilerin genel yaşları, ait oldukları küme içerisinde gösterdikleri yaş dağılımları ve metal bolluğu dağılımları analiz edilecektir. Bu analiz sonuçları ilgili küme üyesi galaksiler için birleştirilerek, kümelerin ne zaman oluştuğunu ve nasıl evrimleştikleri de incelenecektir.

### 3. Kütüphane Yıldızlarının Atmosferik Parametrelerinin Belirlenmesi:

Çizelge 1. Proje alt çalışma başlıkları ve sorumluları

|   | Alt Çalışma Başlığı  | Sorumlusu   | İndirgeme ve Analiz Araçları                         | İşlenecek Nesne sayısı |
|---|--|---|--|------------------------|
| 1 | Temmuz 2000 gözlemlerinin indirgenmesi   | J. Jimenez (Kapteyn Inst.)<br>R. Peletier (Nott. Üniv.) | IRAF<br>REDUCE *<br>MUSE                             | 200 yıldız             |
| 2 | Aralık 2000 gözlemlerinin indirgenmesi   | R. Peletier (Nott. Üniv.)<br>J. Jimenez (Kapteyn Inst.) | IRAF<br>REDUCE *<br>MUSE                             | 300 yıldız             |
| 3 | Temmuz 2001 gözlemlerinin indirgenmesi   | J. Gorgas (UCM Üniv.)<br>P. Sanchez (UCM Üniv.)         | IRAF<br>REDUCE *<br>MUSE                             | 410 yıldız             |
| 4 | Ocak 2002 gözlemlerinin indirgenmesi   | J. Gorgas (UCM Üniv.)<br>P. Sanchez (UCM Üniv.)         | IRAF<br>REDUCE *<br>MUSE                             | 165 yıldız             |
| 5 | Kütüphane yıldızlarının atmosferik parametrelerinin belirlenmesi ( $T_{\text{eff}}$ , Log g, [Fe/H]) | S. Selam (Ankara Üniv.)                                 | ADS, CDS veri tabanları, İstatistik Analiz Paketleri | 1075 yıldız            |
| 6 | Yıldız kütüphanesinin modellere entegrasyonu (Fitting Functions)                                     | A. Vazdekis (IAC)<br>N. Cardinel (UCM Üniv.)            | Fortran ve C Programlama                             | 1075 yıldız            |
| 7 | Güncellenmiş modellerle uygulama   | Tüm Grup Elemanları                                     | Güncellenmiş Model Programları                       | 40 galaksi             |

\* REDUCE → <http://www.ucm.es/info/Astrof/reduceme/reduceme.html>

Projenin oldukça kapsamlı ve değişik aşamalarında çok miktarda gözlemsel verinin farklı analiz metodları ile incelenmesini gerektirdiği dikkate alınarak, proje çalışanları arasında bir görev bölümü yapılmıştır. Buna göre proje alt çalışma başlıkları ve sorumluları Çizelge. 1 de özetlendiği şekilde oluşmuştur. İlk üç alt çalışma başlığı altında 910 yıldızın tayfsal gözlemlerinin indirgenmesi sonuçlanmıştır. Dördüncü başlık altında verilen Ocak 2002 gözlemlerinin indirgenmesi sonuçlanmak üzeredir. Beşinci alt başlık altında tanımlanan ve gözlenmiş kütüphane yıldızlarının atmosferik parametrelerinin ( $T_{\text{eff}}$ , Log g, [Fe/H]) belirlenmesine ilişkin çalışmaya ait, veri tabanı taramaları ve analizleri tamamlanmıştır. Bu alt başlık ile ilgili kullanılan yöntem ve bulgular bu bildiri metninin bir sonraki bölümünde detaylandırılacaktır. Altıncı ve yedinci alt başlık altında yer alan çalışmalar ilk beş aşamanın tamamlanmış olmasını gerektirmektedir ve dolayısıyla henüz çalışmalarına başlanmamıştır. Yedinci aşama için 2000 yılı içerisinde ESO-NTT

"Yıldız popülasyonu sentezi" modelleri temel olarak, gözlenmiş örnek yıldız tayflarından uygun bir bileşim ile sentetik bileşik tayf üreten ve bunları bir galaksinin gözlenmiş tayfı ile karşılaştırarak, galaksinin yıldız çeşitliliği hakkında bilgiler veren yöntemlerdir. Dolayısıyla bu modeller, tüm tayf türü ve ışınım sınıfı aralığını kapsayacak şekilde gözlenmiş örnek yıldız tayfları içeren geniş bir kütüphaneye ve bu kütüphane üyesi yıldızların hassas ve homojen olarak belirlenmiş temel atmosferik parametrelerine ( $T_{\text{eff}}$ , Log g, [Fe/H]) ihtiyaç duymaktadır. Bugüne kadar galaksilerin bileşik tayflarını modelleme kullanılan yıldız kütüphanelerinin üyeleri için atmosferik parametreler, homojen bir sistem altında olduklarına bakılmaksızın, literatürden toplanmış ve kaba ortalamaları alınmış veya en son yayınlanan değerleri kullanılmıştır. Bu durum modelleme sonucu elde edilen parametrelerin hata düzeylerine olumsuz yönde bir etki yapmakta ve çalışmanın güvenilirlik düzeyini

düşürmektedir. Bu çalışmada temel amaç bu olumsuzluğu ortadan kaldıracak şekilde, gözlenen kütüphane yıldızları için yeni ve homojen bir sistemde atmosferik parametrelerin belirlenmesidir.

Bu amaçla literatürden elde edilen atmosferik parametrelerin homojen bir sisteme kalibrasyonu sırasında Cenarro vd.'nin (2001b) Ca II triplet kütüphanesi yıldızları için uyguladıkları yöntem izlenmiştir. Bu yöntem gereği öncelikle, literatürden çok sayıda yıldızın temel atmosferik parametrelerini (etkin sıcaklık  $T_{\text{eff}}$ , yüzey çekim ivmesi  $\log g$  ve görelî metal bolluğu  $[Fe/H]$ ) içeren geniş bir derleme yapılmıştır. Bu derleme 718 adet yayınlanmış çalışmadan 3338 adet yıldızın 22704 adet parametre setini içermektedir ve büyük çoğunluğu CDS\* astronomi veri tabanından çıkarılmıştır. CDS de yer almayan veriler ise ADS\*\* veri tabanı yoluyla orijinal kaynaklarına ulaşılarak elde edilmiştir (Literatür taraması Eylül 2001 sonuna kadar yayınlanan çalışmalarla sınırlandırılmıştır). Bu derlemenin ana çatısını Cayrel de Strobel vd. (1997) ve Cayrel de Strobel vd.'nin (2001) atmosferik parametre katalogları oluşturmaktadır. Cenarro vd.'nin (2001b) atmosferik parametre kalibrasyon metodu alan ve küme yıldızları için ayrı bir yapıya sahiptir ve ayrı başlıklar altında incelenecektir.

### 3.1 Alan Yıldızları için Atmosferik Parametrelerin Hesabı:

Cenarro vd.'nin (2001b) atmosferik parametre kalibrasyon metoduna göre, yapılan derleme içerisinde, atmosferik parametreleri homojen bir sistemde elde edilmiş çok fazla sayıda ve çeşitte yıldız içeren bir kaynak, temel referans sistemi olarak seçilmektedir. Diğer kaynakların bulguları ise bu referans sistemi üzerine kalibre edilerek sonuç atmosferik parametreleri hesaplanmaktadır. Bu çalışmada yukarıda bahsedilen ölçütlere uyan Soubiran vd.'nin (1998, SKC) çalışması temel referans sistemi olarak seçilmiştir. SKC'nin çalışması, aynı teleskop ve algılayıcı ile elde edilmiş 211 adet soğuk yıldızın yüksek ayırma güçlü Echelle tayflarından belirlenmiş güvenilir atmosferik parametrelerini içermektedir ve geniş bir çekim ivmesi ve metal bolluğu aralığını taramaktadır. SKC'nin yıldızları  $4000 < T_{\text{eff}} < 6300$  sıcaklık aralığına dağılmaktadır. Bu nedenle yapılacak kalibrasyonlar da bu aralıkta geçerli olmaktadır. Buna göre kütüphanemizin SKC ile ortak olan yıldızlarının (190 adet) atmosferik parametrelerinin doğrudan SKC'den alınacağı açıktır.

\* CDS: Centre de Données Astronomiques de Strasbourg (SIMBAD), <http://cdsweb.u-strasbg.fr>

\*\* ADS: Astrophysics Data System, <http://adsabs.harvard.edu>

Kütüphanemizin SKC ile ortak olmayan ancak derleme içerisindeki diğer kaynaklarda yer alan yıldızlarının SKC sistemine kalibrasyonu ise şöyle yapılmaktadır: Öncelikle kütüphane yıldızlarımızı içeren ve SKC ile en az 25 adet ortak yıldız olan kaynaklar seçilmektedir. SKC ile seçilen bu kaynağın ortak yıldızlarının her üç atmosferik parametresi için karşılaştırma yapılarak aralarında doğrusal veya offset bir ilişkinin var olup olmadığına, eğer varsa bu ilişkinin istatistik olarak anlamlı olup olmadığına bakılmaktadır. Buna göre;

$p$  : herhangi bir kaynakta yer alan atmosferik parametre

$p_{\text{ref}}$  : referans sisteminde yer alan atmosferik parametre (başlangıçta SKC'deki)

olmak üzere

$$\text{Doğrusal ilişki} : p = A + Bp_{\text{ref}} \quad (\text{i})$$

$$\text{Offset ilişki} : p = A + p_{\text{ref}} \quad (\text{ii})$$

bağıntılarından ilişki için A ve B katsayıları hataları ile beraber bulunur. Öncelikle (i) bağıntısından elde edilen B eğiminin 1 değerinden önemli ölçüde ( $\square=0.1$  güvenilirlik düzeyinde) sapma gösterip göstermediği istatistiksel t-test ile kontrol edilir. Eğer B eğim değeri istatistiksel olarak anlamlı ise seçilen kaynak için düzeltilmiş atmosferik parametre değeri  $p^*$

$$p^* = (p - A) / B \quad (\text{iii})$$

bağıntısı ile SKC sistemine kalibre edilerek bulunur. Eğer B eğim değeri istatistiksel olarak anlamlı değilse, izlenen yol aynen (ii) bağıntısından elde edilen A offset terimi için tekrarlanır (burada  $\square=0.1$  güvenilirlik düzeyinde A offset değerinin 0 dan olan sapması t-test ile kontrol edilmektedir) ve A offset değeri istatistiksel olarak anlamlı ise düzeltilmiş atmosferik parametre değeri  $p^*$

$$p^* = p - A \quad (\text{iv})$$

bağıntısı ile SKC sistemine kalibre edilir. Eğer A offset katsayısı da istatistiksel olarak anlamlı değilse bu durumda incelenen kaynağa ait atmosferik parametreler zaten SKC sistemindedir ve sonuç parametre değeri kaynağın orijinal değerine eşit olmaktadır ( $p^* = p$ ).

Yukarıda tarif edilen yöntemle çok sayıda kaynağa ait ve SKC de yer almayan yıldızın düzeltilmiş (SKC sistemine kalibre edilmiş) atmosferik parametresi hesaplanmış olur. Böylelikle bu veri seti içinden kütüphanemize ait yıldızların parametreleri seçilerek

$$P = \frac{\sum_{i=1}^N p_i^* / \sigma_i^2}{\sum_{i=1}^N 1 / \sigma_i^2} \quad (\text{v})$$

bağıntısından hata ağırlıklı ortalamaları alınarak sonuç atmosferik parametreleri elde edilir. Burada  $p_i^*$  kütüphane yıldızının farklı kaynaklarda yer alan ve SKC sistemine kalibre edilmiş parametre değerleri,  $\square_i$  ise ilgili kaynağın (i) veya (ii) bağıntısı yardımıyla referans sistemi ile karşılaştırılması sırasında elde edilen standart sapma değeridir. Bir örnek olarak Thevenin ve Idiart (1999, TID)'da verilen atmosferik parametrelerin SKC sistemine kalibrasyonu Şekil.1(abcdef)'de gösterilmiştir. Bu kaynağın SKC ile 35 adet ortak yıldızı bulunmaktadır. Şekil.1 a ve b den de görüleceği üzere  $T_{\text{eff}}$  değerleri SKC sistemindedir ve düzeltme gerektirmemektedir. Şekil.1 c ve d den anlaşıldığı gibi Log g parametreleri SKC sisteminden hem doğrusal hem de offset olarak sapmalar göstermektedir. Yapılan t-test sonucu doğrusal sapma eğiminin istatistik olarak anlamlı olmadığı buna karşılık offset sapmanın istatistik olarak anlamlı olduğu görülmüştür ve TID kaynağına ait Log g parametreleri offset sapma

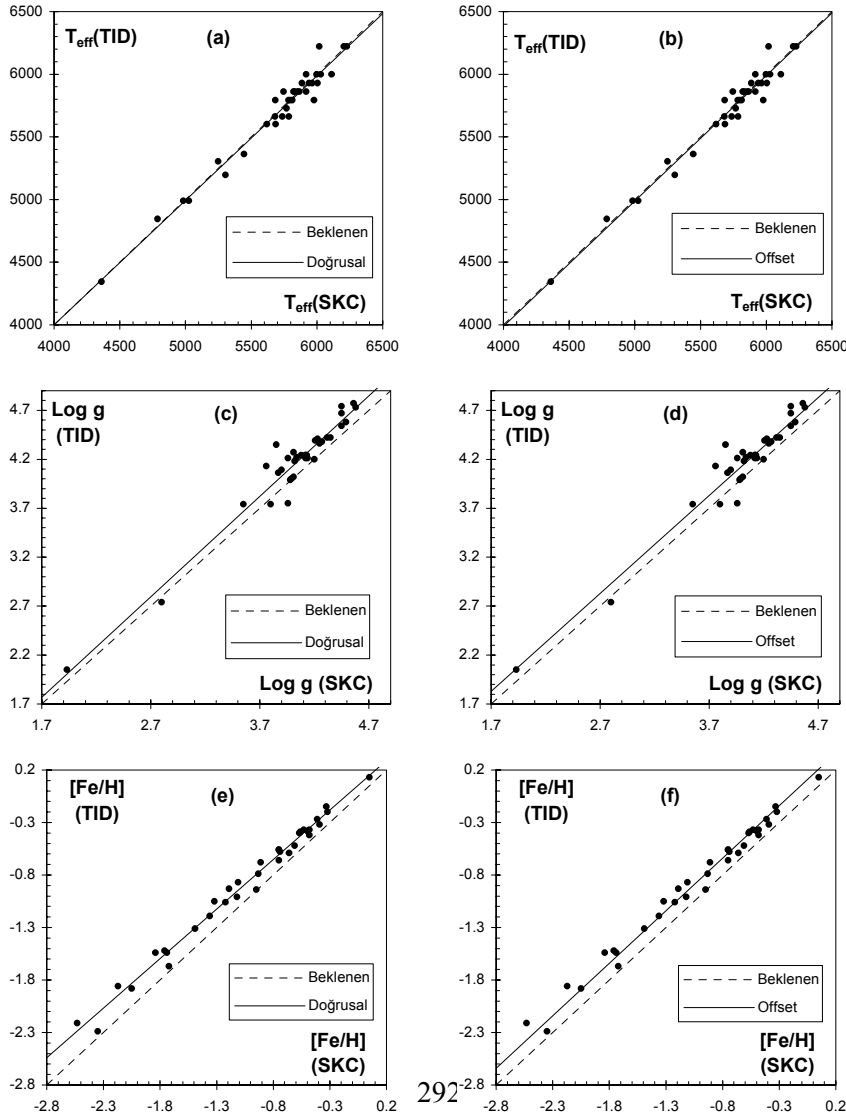
için düzeltilmiştir. Şekil.1 e ve f de görülen [Fe/H] kalibrasyonlarında ise her iki sapmanın da istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Bu durumda B eğim ve A offset değerleri için sırası ile

$$S_B = (B - 1) / \text{Err} (B) \text{ ve} \quad (vi)$$

$$S_A = (A-0) / \text{Err} (A)$$

şeklinde tanımlanan "S - önem derecesi (significance)" parametresi hangisi için büyük ise ilgili düzeltme dikkate alınmalıdır. TID örneğinde A offset değeri için hesaplanan  $S_A$  önem derecesi daha yüksektir ve dolayısıyla [Fe/H] parametrelerine offset düzeltilmesi uygulanmıştır.

Bu şekilde SKC sistemine taşınmış olan farklı kaynaklara ait yıldızların oluşturduğu düzeltilmiş parametre seti (RF1) SKC'nin parametre seti ile birleştirilerek yeni ve daha geniş tabanlı bir referans sistemi elde edilir (SKC+RF1). Böylelikle, başlangıçta SKC ile yeterli sayıda ortak yıldızı bulunmayan bazı kaynakların da kalibrasyonu mümkün olmaktadır. Buna göre



Şekil.1 Thevenin ve Idiart, 1999 (TID) atmosferik parametrelerinin SKC sistemine kalibrasyonu

geriye kalan kaynaklar için bu defa SKC+RF1 referans sistemi olmak üzere yukarıda tarif edilen yöntem aynen uygulanmıştır. Geriye kalan kaynaklardaki yıldız sayısı göreceli olarak daha az olduğundan, bu aşamada referans sistemi ile ortak yıldız sayısı şartı 15'e indirilmiştir. Böylelikle SKC sistemine taşınmış ikincil bir düzeltilmiş parametre setine (RF2) ulaşılmış olur. Bu set içerisinde yine yukarıda tarif edilen yöntemle bir miktar daha kütüphane yıldızının hata ağırlıklı ortalamaları alınarak sonuç atmosferik parametreleri elde edilmiştir. Bu çalışmada kalibre edilen tüm kaynaklar için Tablo.2'de, K kaynak kodu (yazar kısaltması ve ADS BibCode), N referans sistemi ile ortak yıldız sayıları, F uygulanan düzeltme türü (d: doğrusal, o: offset, n: düzeltmesiz), S temel alınan referans sistemi (1: SKC, 2: SKC+RF1),  $\sigma$ : uygulanan fit için standart sapma, A ve B katsayıları ve R: ilgili parametre için geçerlilik aralığı listelenmiştir. Kütüphanemizde bulunan alan yıldızlarının yaklaşık % 60'ının sonuç atmosferik parametreleri bu kalibrasyonlarla elde edilmiştir.

SKC ve kalibre edilmiş RF1 ve RF2 de yer almayan kütüphane yıldızlarının atmosferik parametreleri ise literatürden elde edilen derleme içerisinde aritmetik ortalamalar alınarak hesaplanmıştır. Bu yolla elde edilen atmosferik parametrelerin güvenilirlik derecesinin, kalibre edilmiş parametrelere oranla daha düşük olduğu açıktır. Literatürde yer alan  $T_{\text{eff}}$  sıcaklık hesaplama metodları genel olarak sıcak, orta ve soğuk yıldızlar için farklı hata dağılımları

göstermektedir. Bu nedenle kalibre edilmemiş kaynaklar için aşağıda listelenen 3 ayrı kategori oluşturulmuştur:

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| Orta sıcaklıktaki yıldızlar:     | 4000                                     |
| $<T_{\text{eff}} < 6300\text{K}$ | (RF3)                                    |
| Sıcak yıldızlar:                 | $T_{\text{eff}} \geq 6300\text{K}$ (RF4) |
| Soğuk yıldızlar:                 | $T_{\text{eff}} \leq 4000\text{K}$ (RF5) |

Son olarak, literatürde hiç verisi bulunmayan kütüphane yıldızları için literatürden elde edilen tayf türü ve ışınım sınıfı bilgisi kullanılarak Lang'in (1991) atmosferik veri tablolarından  $T_{\text{eff}}$  ve  $\log g$  parametreleri belirlenmiştir. Parametreleri bu yolla belirlenen yıldızlar ise RF6 olarak kodlanmıştır.

### 3.2 Küme Yıldızları için Atmosferik Parametrelerin Hesabı:

Küme yıldızları için atmosferik parametrelerin belirlenmesinde daha dolaylı yöntemler kullanılmaktadır. Bu nedenle literatürden elde edilecek verilerde güvenilirlik düzeyinin yüksek olması ve yakın tarihte elde edilmiş olması ön planda tutulmuştur.

Küresel kümeler için [Fe/H] metal bolluğu ölçüğü Carretta ve Gratton'dan (1997, CG97) alınmıştır. CG97'nin güvenilirlik düzeyi ve bu çalışma için [Fe/H] metal bolluğu ölçüğü kaynağı olarak tercih edilmesinin nedenleri için bakınız Cenarro vd. (2001b). Açık kümeler için metal bolluğu ölçüğü ise Friel (1995)'den alınmıştır. Bir küme için ele alınan [Fe/H] metal bolluğu

**Tablo.2** Farklı kaynakların kalibrasyon parametreleri (tablo başlıkları için metne bakınız.)

| K                         | $T_{\text{eff}}$ |   |   |          |        |        | $\log g$   |    |   |   |          |        | [Fe/H] |            |     |   |   |          |        |       |            |
|---------------------------|------------------|---|---|----------|--------|--------|------------|----|---|---|----------|--------|--------|------------|-----|---|---|----------|--------|-------|------------|
|                           | N                | F | S | $\sigma$ | A      | B      | R          | N  | F | S | $\sigma$ | A      | B      | R          | N   | F | S | $\sigma$ | A      | B     | R          |
| AAM, 1996A&S...117..227A  | 67               | n | 1 | 98       | 0      | 1      | 4300, 6400 | -  | - | - | -        | -      | -      | -          | 68  | d | 1 | 0.22     | -0.006 | 1.065 | -3.0, +0.4 |
| AFG, 1994A&A...291..895A  | 30               | n | 1 | 124      | 0      | 1      | 5600, 6400 | 30 | n | 1 | 0.27     | 0      | 1      | 2.5, 4.8   | 30  | d | 1 | 0.13     | -0.120 | 0.858 | -2.5, -0.4 |
| BAL, 1990ApJ...354..310B  | 21               | n | 2 | 100      | 0      | 1      | 6000, 6400 | 23 | n | 2 | 0.07     | 2.560  | 0.391  | 3.9, 4.3   | 23  | o | 2 | 0.10     | -0.067 | 1     | -0.7, +0.3 |
| BKP, 1990AJ...100..849B   | -                | - | - | -        | -      | -      | -          | -  | - | - | -        | -      | -      | -          | 27  | d | 1 | 0.21     | -0.324 | 0.829 | -3.1, -1.0 |
| BLL, 1994A&A...282..899B  | 44               | d | 2 | 75       | -175.5 | 1.0440 | 3900, 6400 | -  | - | - | -        | -      | -      | -          | -   | - | - | -        | -      | -     | -          |
| BSL, 1989ApJS...71..293B  | 39               | d | 1 | 66       | 396.5  | 0.9118 | 4000, 5100 | 39 | n | 1 | 0.19     | 0      | 1      | 1.4, 3.9   | 39  | n | 1 | 0.19     | 0      | 1     | -0.8, +0.5 |
| CGC, 2000ApJ...533..215C  | -                | - | - | -        | -      | -      | -          | -  | - | - | -        | -      | -      | -          | 27  | o | 2 | 0.10     | 0.129  | 1     | -2.4, -1.0 |
| CLL, 1994AJ...107.2240C   | 40               | n | 1 | 76       | 0      | 1      | 4600, 6300 | -  | - | - | -        | -      | -      | -          | 41  | d | 1 | 0.10     | 0.029  | 1.070 | -2.7, +0.2 |
| CNZ, 2000A&S...141..491C  | 18               | n | 2 | 92       | 0      | 1      | 5700, 6500 | 17 | d | 2 | 0.08     | 2.283  | 0.467  | 3.9, 4.5   | 17  | d | 2 | 0.06     | -0.081 | 0.843 | -1.2, +0.0 |
| EAG, 1993A&A...275..101E  | 36               | o | 1 | 60       | 39.9   | 1      | 5650, 6350 | 36 | o | 1 | 0.12     | 0.042  | 1      | 3.9, 4.6   | 36  | d | 1 | 0.05     | -0.047 | 0.925 | -1.1, +0.2 |
| FLB, 2000AJ...120.1841F   | 61               | n | 1 | 114      | 0      | 1      | 4200, 6400 | 61 | n | 1 | 0.25     | 0      | 1      | 0.5, 4.9   | 61  | o | 1 | 0.14     | 0.100  | 1     | -3.0, -0.3 |
| GCC, 1996A&A...314..191G  | 65               | d | 1 | 86       | -178.8 | 1.0397 | 4100, 6500 | 65 | d | 1 | 0.24     | -0.200 | 1.077  | 0.0, 5.2   | 65  | d | 1 | 0.10     | -0.002 | 0.947 | -3.0, +0.2 |
| GRJ, 1991PASP...103..439G | 28               | d | 2 | 115      | 835.8  | 0.8637 | 5100, 6300 | -  | - | - | -        | -      | -      | -          | -   | - | - | -        | -      | -     | -          |
| GRS, 1987A&A...178..179G  | 25               | n | 1 | 116      | 0      | 1      | 3800, 6100 | 24 | o | 1 | 0.30     | 0.139  | 1      | 0.7, 4.5   | 25  | n | 1 | 0.18     | 0      | 1     | -2.4, +0.2 |
| HEA, 1974A&A...34..263H   | 26               | d | 2 | 65       | 811.0  | 0.8529 | 5100, 6200 | 23 | n | 2 | 0.18     | 0      | 1      | 3.8, 4.6   | 23  | o | 2 | 0.18     | -0.066 | 1     | -1.1, +0.4 |
| JON, 1997PhDT(Jones)      | 47               | d | 2 | 67       | -291.4 | 1.0604 | 4200, 5300 | -  | - | - | -        | -      | -      | -          | 49  | o | 2 | 0.13     | -0.056 | 1     | -0.5, +0.3 |
| KNK, 1997A&S...122..51K   | -                | - | - | -        | -      | -      | -          | 28 | o | 1 | 0.14     | 0.075  | 1      | 4.0, 4.7   | 32  | d | 1 | 0.09     | -0.036 | 0.911 | -2.1, +0.2 |
| LAI, 1985ApJS...57..389L  | 53               | o | 2 | 71       | -51.1  | 1      | 4700, 6400 | 48 | d | 2 | 0.32     | 2.038  | 0.520  | 3.4, 4.6   | 51  | o | 2 | 0.16     | -0.051 | 1     | -2.5, +0.5 |
| LBO, 1985ApJ...292..559L  | -                | - | - | -        | -      | -      | -          | 16 | n | 2 | 0.39     | 0      | 1      | 0.0, 4.0   | 24  | o | 2 | 0.12     | 0.093  | 1     | -2.7, -0.6 |
| LCH, 1995AJ...110.2968L   | 38               | o | 2 | 62       | -72.9  | 1      | 3900, 5000 | 38 | o | 2 | 0.37     | -0.527 | 1      | 0.2, 2.8   | 35  | d | 2 | 0.15     | -0.058 | 0.665 | -0.5, +0.2 |
| LUB, 1983ApJ...271L..75L  | -                | - | - | -        | -      | -      | -          | -  | - | - | -        | -      | -      | -          | 22  | d | 2 | 0.12     | -0.016 | 0.945 | -2.8, -0.6 |
| MAS, 1995BICDS...47..13M  | 38               | d | 1 | 83       | 2852.0 | 0.5450 | 5900, 6300 | 38 | o | 1 | 0.40     | 0.247  | 1      | 3.8, 5.0   | 39  | d | 1 | 0.12     | -0.040 | 0.630 | -1.0, +0.2 |
| MCW, 1990ApJS...74.1075M  | 62               | n | 1 | 86       | 0      | 1      | 3900, 5900 | 62 | o | 1 | 0.21     | 0.233  | 1      | 1.6, 4.2   | 62  | o | 1 | 0.09     | -0.062 | 1     | -0.7, +0.2 |
| NHS, 1997EASAP.402..225N  | 22               | n | 2 | 96       | 0      | 1      | 4700, 6300 | 18 | d | 2 | 0.25     | 1.740  | 0.609  | 3.7, 4.7   | 22  | d | 2 | 0.13     | -0.089 | 0.885 | -2.5, -1.0 |
| PET, 1981ApJ...244..989P  | 26               | o | 2 | 106      | -83.7  | 1      | 4500, 6400 | -  | - | - | -        | -      | -      | -          | 26  | d | 2 | 0.12     | 0.014  | 1.058 | -3.5, -0.5 |
| PSB, 1993ApJ...407..699P  | 26               | d | 1 | 101      | 517.7  | 0.9042 | 4300, 6000 | -  | - | - | -        | -      | -      | -          | 26  | n | 1 | 0.11     | 0      | 1     | -3.2, -0.7 |
| PSK, 1996AJ...111.1689P   | 26               | d | 2 | 100      | -404.6 | 1.0910 | 4200, 5300 | 25 | n | 2 | 0.25     | 0      | 1      | 0.2, 3.0   | 29  | o | 2 | 0.14     | -0.033 | 1     | -3.1, -0.9 |
| RMB, 1988A&A...192..192R  | 25               | o | 2 | 80       | -77.1  | 1      | 5200, 6150 | -  | - | - | -        | -      | -      | -          | 25  | o | 2 | 0.16     | -0.064 | 1     | -2.5, -0.7 |
| SIC, 1992ApJS...81..865S  | 20               | d | 2 | 112      | -661.1 | 1.1006 | 4200, 6300 | -  | - | - | -        | -      | -      | -          | 19  | n | 2 | 0.15     | 0      | 1     | -1.8, +0.5 |
| TAY, 1994PASP...106..452T | 62               | d | 1 | 92       | 1075.9 | 0.8166 | 4800, 6200 | -  | - | - | -        | -      | -      | -          | -   | - | - | -        | -      | -     | -          |
| THE, 1998yCat.3193...0T   | -                | - | - | -        | -      | -      | -          | -  | - | - | -        | -      | -      | -          | 127 | n | 1 | 0.13     | 0      | 1     | -2.9, +0.4 |
| TID, 1999ApJ...521..753T  | 35               | n | 1 | 75       | 0      | 1      | 4300, 6300 | 35 | o | 1 | 0.13     | 0.130  | 1      | 1.9, 4.8   | 35  | o | 1 | 0.08     | 0.160  | 1     | -2.6, +0.0 |
| TLL, 1992AJ...104.1568T   | 22               | o | 2 | 82       | -67.5  | 1      | 4700, 6300 | 22 | d | 2 | 0.21     | -0.910 | 1.210  | 2.5, 5.1   | 22  | o | 2 | 0.09     | -0.114 | 1     | -2.7, -1.3 |
| WOR, 1994ApJS...94..687W  | 44               | n | 1 | 74       | 0      | 1      | 4100, 6100 | 34 | n | 1 | 0.33     | 0      | 1      | 1.0, 4.8   | 76  | o | 2 | 0.14     | 0.033  | 1     | -2.6, +0.5 |
| WAL, 1962ApJS...6..407W   | -                | - | - | -        | -      | -      | -          | 20 | d | 2 | 0.19     | 0.055  | 0.873  | -2.0, +0.4 | 28  | d | 2 | 0.14     | -0.063 | 0.608 | -0.6, +0.1 |
| ZAS, 1996KFNT...12b..20Z  | -                | - | - | -        | -      | -      | -          | 46 | d | 2 | 0.12     | -      | -      | -          | -   | - | - | -        | -      | -     | -          |

ölçeğinin, küme üyesi yıldızların tamamını temsil ettiği varsayılmıştır.

Literatürde küme yıldızlarının doğrudan sıcaklık ölçümlerine ilişkin verinin çok az olması nedeni ile, kütüphanemizdeki küme üyesi yıldızların  $T_{\text{eff}}$  sıcaklıkları çeşitli renk-sıcaklık kalibrasyonları kullanılarak elde edilmiştir. Son yıllarda literatürde metal bolluğu ve çekim ivmesi etkisini de dikkate alan oldukça güvenilir renk-sıcaklık bağıntıları yer almaktadır. Bu çalışmada Alonso vd. (1996) ( $4000 \leq T_{\text{eff}} \leq 8000\text{K}$  ve  $-2.5 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq 0.0$  aralığındaki cüce ve altcücüler için) ve Alonso vd. (1999)'nin ( $3500 \leq T_{\text{eff}} \leq 8000\text{K}$  ve  $-3.0 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq 0.5$  aralığındaki devler için) kalibrasyon bağıntıları kullanılarak küme üyesi kütüphane yıldızlarının  $T_{\text{eff}}$  sıcaklıkları hesaplanmıştır. Kalibrasyonlarda kullanılmak üzere kütüphane yıldızlarının B-V renkleri Mermilliod vd. (1997)'den, V-K renkleri ise Gorgas vd. (1993)'den alınmıştır.

Kütüphanemizde yer alan küme yıldızları için  $\text{Log } g$  değerleri ise temel olarak Gorgas vd. (1993)'den alınmıştır. Gorgas vd. (1993) küme yıldızlarının  $\text{Log } g$  değerlerini, bu yıldızların HR diyagramı üzerindeki konumlarına teorik evrim yolları fit ederek belirlemişlerdir. Bu verinin güvenilirliği konusundaki tartışma için bakınız Cenarro vd. (2001b). Bu kaynakta yer almayan küme yıldızlarımız için  $\text{Log } g$  değerleri, güvenilir metodlar kullanan (Gorgas vd. (1993)'nin metodlarını kullanan) yakın tarihli literatür verisinden alınmıştır.

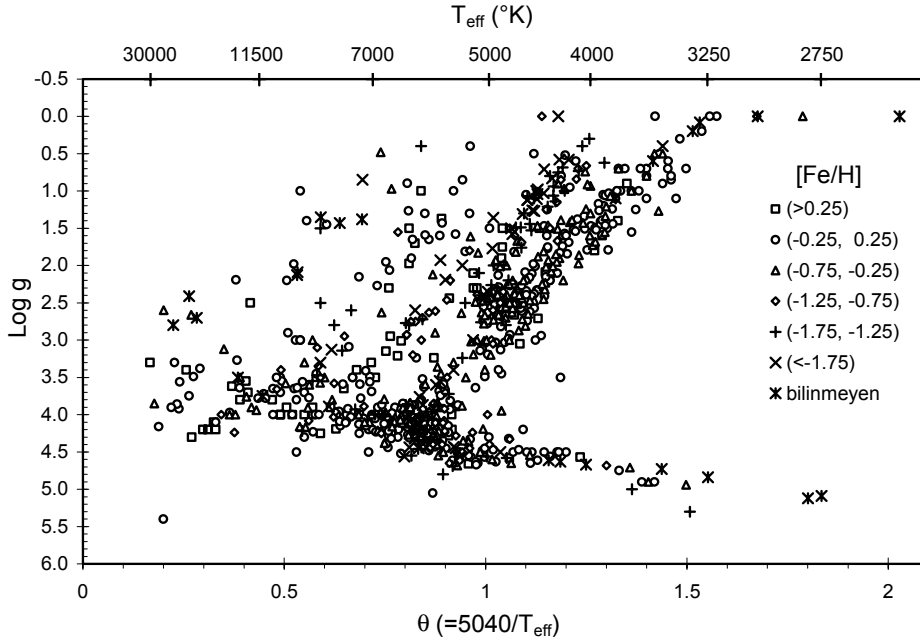
#### 4. Sonuç

"Yıldız Popülasyon Sentezi" modelleri için girdi verisi olarak kullanılan temel atmosferik parametrelerdeki belirsizlikler, bileşik tayf için çizgi şiddetleri hesabında ortaya çıkan hataların ana kaynağını teşkil etmektedir. Bu nedenle modellerle entegre edilecek kütüphane yıldızlarının son derece güvenilir temel atmosferik parametrelerine ( $T_{\text{eff}}$ ,  $\text{Log } g$ ,  $[\text{Fe}/\text{H}]$ ) ihtiyaç vardır. Bu çalışma ile, yeni gözlemlerle oluşturulan ve farklı türden 1075 adet yıldız içeren bir yıldız tayfı kütüphanesi oluşturulmuş ve bu yıldızlara ilişkin güvenilir ve homojen atmosferik parametreler hesaplanmıştır. Kapsanan parametre aralıkları;

$$\begin{aligned} 2485 &\leq T_{\text{eff}} \leq 30274 \text{ } ^\circ\text{K} \\ 0.00 &\leq \text{Log } g \leq 7.99 \\ -3.45 &\leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq 1.65 \end{aligned}$$

ve Şekil.2 de kütüphane yıldızlarımızın tamamı için yer alan sıcaklık-çekim ivmesi diyagramına bakıldığında, parametre uzayında beklenen çeşitliliğin (yıldız çeşitliliği) fazlasıyla sağlanmış olduğu inancındayız. Bu çalışmanın ürünü olan görsel bölge yıldız tayfı kütüphanesi, Ca II triplet örneğinde olduğu gibi yakın zamanda İNTERNET üzerinden herkesin kullanımına açılacaktır.

**Teşekkür:** Bu çalışma için, NATO-B2 programı kanalıyla S. O. Selam'a sunduğu maddi



Şekil.2 Kütüphane yıldızları için sıcaklık-çekim ivmesi diyagramı

destekten dolayı TÜBİTAK-BAYG'na ve sağladıkları güzel çalışma ortamından dolayı

Nottingham Üniversitesi, Fizik ve Astronomi Okulu'na teşekkür ederiz.

### Kaynaklar

- Alonso A., Arribas S., Martinez-Roger C., 1996, A&A, **313**, 873  
Alonso A., Arribas S., Martinez-Roger C., 1999, A&AS, **140**, 261  
Carretta E., Gratton R.G., 1997, A&AS, **121**, 95 (CG97)  
Cayrel de Strobel G., Soubiran C., Friel E.D., Ralite N., Francois P., 1997, A&AS, **124**, 299  
Cayrel de Strobel G., Soubiran C., Ralite N., 2001 A&A, **373**, 159  
Cenarro A.J., Cardiel N., Gorgas J., Peletier R.F., Vazdekis A., Prada F., 2001a, MNRAS, **326**, 959  
Cenarro A.J., Gorgas J., Cardiel N., Pedraz S., Peletier R.F., Vazdekis A., 2001b, MNRAS, **326**, 981  
Cenarro A.J., Gorgas J., Cardiel N., Vazdekis A., Peletier R.F., 2002, MNRAS, **329**, 863  
Faber S.M., Friel E.D., Burstein D., Gaskell C.M., 1985, ApJS, **57**, 711  
Friel E.D., 1995, ARA&A, **33**, 381  
Gorgas J., Faber S.M., Burstein D., Gonzalez J.J., Courteau S., Prosser C., 1993, ApJS, **86**, 153  
Jones L.A., 1997, Doktora Tezi, Univ. of North Carolina, Chapel Hill  
Lang K.R., 1991, Astrophysical Data: Planets and Stars. Springer-Verlag, New York  
Mermilliod J.C., Mermilliod M., Hauck B., 1997, A&AS, **124**, 349  
Soubrian C., Katz D., Cayrel R., 1998, A&AS, **133**, 221 (SKC)  
Thevenin F., Idiart T., 1999, ApJ, **521**, 753 (TID)  
Tinsley B.M., 1980, Fundam. Cosmic Phys., **5**, 287.  
Trager S.C., Faber S.M., Worthey G., Gonzalez J.J., 2000, AJ, **119**, 1645  
Vazdekis A., Cenarro A.J., Gorgas J., Cardiel N., Peletier R.F., 2002, (hazırlık aşamasında)  
Worthey G., 1994, ApJS, **95**, 107  
Worthey G., Faber S.M., Gonzalez J.J., Burstein D., 1994, ApJS, **94**, 687  
Worthey G., Ottaviani D.L., 1997, ApJS, **111**, 377