

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

ASTRONOMİDE TAYFSAL UYGULAMALAR

Pınar İNCE

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ömür ÇAKIRLI

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 402.02.01

Sunuş Tarihi : 06.06.2012

Bornova-İZMİR

2012

Pınar İNCE tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “Astronomide Tayfsal Uygulamalar” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 08.06.2012 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Prof.Dr.Cafer İBANOĞLU

Raportör Üye : Doç.Dr.Ömür ÇAKIRLI

Üye : Yrd.Doç.Dr.Ahmet DERVİŞOĞLU

ÖZET

ASTRONOMİDE TAYFSAL UYGULAMALAR

İNCE, Pınar

Yüksek Lisans Tezi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Ömür ÇAKIRLI

Haziran 2012, 60 sayfa

Bu tezin amacı iki boyutlu CCD görüntüsünden IRAF indirgeme programı kullanılarak dalgaboyu kalibrasyonu yapılmış ve normalize edilmiş yıldız tayfını elde etmektir. Ayrıca tayfçeker konusunda temel bilgi edinmektir. Bu süreçte indirgemedede kullanılan tanımlamalar ve terimler açıklanmıştır.

Astronomların kullandığı temel aletlerden biri olan tayfçeker astronomik kaynağın kimyasal kompozisyonu, fiziksel özellikleri ve dikine hızının elde edilmesini sağlamaktadır.

İndirgeme basamakları uygulamalı olarak anlatılarak bu süreçlerin neden ve nasıl yapıldığı açıklandı.

Anahtar sözcükler: Tayfçeker, CCD, IRAF, dalgaboyu kalibrasyonu, indirgeme basamakları.

ABSTRACT

SPECTROSCOPIC APPLICATIONS IN ASTRONOMY

İNCE, Pınar

MSc in Astronomy and Space Science

Supervisor: Doç. Dr. Ömür ÇAKIRLI

June 2012, 60 pages

The goal of this text is to derive a wavelength-calibrated and normalized star spectrum from the two dimensional CCD image with IRAF reduction programme Also this thesis is obtained basic information about spectroscopy. In this process it describes the terms and definitions that used in reducing.

Spectroscopy is one of the fundamental tools at an astronomer's disposal, allowing one to determine the chemical compositions, physical properties, and radial velocity of astronomical sources.

Reduction of these processes by explaining why and how it is done in practice the steps explained.

Keywords: Spectroscopy, CCD, IRAF, wavelength-calibrated, reduction steps.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince bana her yönden destek verip danışmanlık yapan Ömür ÇAKIRLI 'ya, oğlum Göktuğ'nun bakımında yardımını esirgemeyen sevgili annem Naile KESKİN ve abim Murat AKBULUT'a, sevgili arkadaşım Zeynep ÇELİK'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
1.GİRİŞ	1
2.TAYFÇEKERLERE GİRİŞ	3
2.1 Temel Özellikler	3
2.1.1 Kırınım açını seçmek	5
2.2 Geleneksel Geniş Yarık Tayfçekeri	6
3. İNDİRGEME SÜRECİ	7
3.1 Görüntü Başlıklarının Düzeltilmesi	9
3.1.1 Gözlenen cismin koordinatlarının girilmesi	9
3.1.2 Gözlemevi bilgilerinin kullanılması	9
3.1.3 Görüntü türüne ilişkin düzeltme	10
3.1.4 Gözlem zamanına ilişkin düzeltme	11

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.2 Ham Görüntülerin İndirgenmesi İçin Bias, Dark ve Flat Görüntülerinin Hazırlanması	11
3.3 Overscan ve Trim İşlemi	12
3.4 Bias Görüntülerinin Birleştirilmesi	12
3.5 Dark Görüntülerinin Birleştirilmesi	14
3.6 Flat Görüntülerinin Birleştirilmesi	14
3.7 Flat Görüntüsünün Normalizasyonu	16
3.8 Bilimsel Görüntülerin Flat Düzeltmesi	26
3.9 Kötü Piksel Düzeltmesi	27
3.10 Kozmik Işın Etkisi	28
3.11 Bilimsel Görüntülerden Tayfın Çıkarılması	29
3.11.1 Saçılmış ışık düzeltilmesi	29
3.12 Tayfın Çıkarılması	33
3.13 Mukayese Tayfının Çıkarılması	36
3.14 Dalgaboyu Kalibrasyonu	36
3.15 Tayf Atlasları	43

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4. TAYFSAL TANIMLAMALAR VE TERİMLER	45
4.1 Sinyal Gürültü Oranı	45
4.2 Çözünürlük	47
4.3 Sürekliliğin Normalizasyonu	47
4.4 Atmosfer Çizgileri	48
4.5 Eşdeğer Genişlik	49
4.6 Bisektör	50
4.7 Dikine Hız	51
4.8 Dönme Hızı	53
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	55
KAYNAKLAR DİZİNİ	57
ÖZGEÇMİŞ	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Astronomik tayfçekerin temel bileşenleri	3
2.2 MagE'nin üstündeki dedektörün tayfsal formatı	6
3.1 İki boyutlu CCD görüntüsü ve dalgaboyu kalibrasyonu yapılmış ve normalize edilmiş tayf	7
3.2 Bir CCD ham verisinde görülen etkiler	8
3.3 Apall taskı ile zd_hs_her04 görüntüsü üzerinde belirlenen açıklık konumları	18
3.4 Açıklığın tüm görüntü boyunca tanımlanmasına ilişkin grafik	19
3.5 zd_Flat görüntüsünün açıklıklarının bulunduğu konumlar	21
3.6 Bir önceki şekilde görülen açıklıkların daha yakından görünümü	21
3.7 zd_Flat görüntüsüne ilişkin açıklık büyüklüğü ve merkezlemenin yeniden gerçekleştirildiği görüntü	22
3.8 zd_Flat görüntüsünde dispersiyon eksen hatası	22
3.9 Flat görüntüsünün 1 nolu açıklığının görüntü boyunca değişimi	23
3.10 spline3 ve order=23 kullanılarak yapılan fit	24
3.11 Şekil 3.10'da görülen fit için "k" tuşuna basılarak erişilen değişim ...	24
3.12 nFlat görüntüsünün implot ile grafiksel gösterimi	25

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.13 Aynı gece gözlemi yapılmış farklı türden görüntülere ilişkin açıklıkların değişimi	25
3.14 Farklı tarihlerde gözlemi yapılan V821 Cas yıldızının 500-520 arası kolonlarının değişimine ilişkin bir kesit grafiği	26
3.15 Flat düzeltmesi gerçekleştirilmiş (nFlat görüntüsüne bölünmüş) bir tayfta açıklıklarının yapısı	27
3.16 fz_vega03 görüntüsünün kolon kesit grafiği	30
3.17 Açıklıklar arasında sayımların değişimi ve üzerine yapılan fit	32
3.18 Son aşamada ışık saçılması dalgaboyu eksenini boyunca değişimi ve yapılan fit	32
3.19 Işık saçılmasının giderilmiş olduğu yıldız tayfına ilişkin görüntü	33
3.20 53 nolu açıklıktan çıkarılan tayf bilgisi	35
3.21 17 nolu açıklık içerisinde kalan ThAr lamba tayfına ilişkin salma çizgileri ve dalgaboyu tanımları	38
3.22 ThAr lamba tayfi kullanılarak gerçekleştirilmiş dalgaboyu Kalibrasyon	39

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.23 Coude Eşel tayfçekeri ile alınmış ve dalgaboyu kalibrasyonu yapılmış Hs Her yıldızının 69 açıklığına ilişkin tayfın dağılımı	42
3.24 Hs Her yıldızına ilişkin tayfta iki açıklığa karşılık gelen tayfın çakıştığı bir bölgeye ilişkin görüntü	43
4.1 Sinyal gürültü oranının hesaplanmasında kullanılan bir tayf verisi	46
4.2 Farklı S/N değerlerine örnekler	47
4.3 Temel parametreleri belli olan Hs Her yıldızı için elde edilen sentetik tayf ve gözlem verisi	48
4.4 HD 111456 yıldızının atmosferik çizgilerin tayftan çıkarılması	49
4.5 Eşdeğer genişlik ölçümüne iki örnek	50
4.6 Bisektör çizimine bir örnek	51
4.7 V821 Cas yıldızının çapraz bağıntı ve radyal hızı	52
4.8 Vega'nın 4475 – 4510 Å dalgaboyu aralığında gözlenen tayfı ile 50 ve 90 km/s hızla döndürüldüğünde oluşturulan sentetik tayfları	54
4.9 V821 Cas yıldızının H β çizgi profilinin dönme hızının hesaplanması	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 İndirgeme basamakları	9

1. GİRİŞ

Bir yıldızın tayfını elde etmek en temel yöntemdir. Tayfçekerlerin kullanım amaçları astronomik kaynağın kimyasal, fiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve dikine hızının tespit edilmesidir. Tayfçeker yardımıyla karanlık maddenin gökadamdaki içeriği, birbiri etrafında hareket eden iki yıldızın kütleleri, gökada kümelerinin kütlelerini, evrenin genişleme hızı ya da öte gezegenlerin diğer yıldızların etrafındaki hareketlerinden keşfedilmesini sağlar. Bunların hepsinde Doppler kaymasından yararlanılır. Bunu yaparken uzak yıldızların ve bulutsuların fiziksel özellikleri, kimyasal kompozisyonları ve uzaklıklarının duyarlı bir şekilde tayfsal veriler yardımıyla bulunması sağlanır. Ayrıca gökadanın kimyasal zenginliği ve evrenin evrimi hakkında modeller yapılması sağlanır. Çok iyi bilinen astronomlardan bir tanesi "Tek bir renkte alınan görüntü ile astrofizik yapamazsın." diyerek astronomide tayf biliminin önemi vurgulanmıştır.

Gökkuşağını gören her insan güneş ışınlarının tayfa göre ayrıldığını görüyordur aslında. Ancak bunu ilk defa fiziksel olarak yorumlayan kişi Isaac Newton (1643-1727)'dur. Bu bilim insanı prizmadan geçen güneş ışınlarının nasıl dalgaboyuna göre ayrıldığını söylemiştir. Joseph von Fraunhofer (1787-1826) ilk defa güneşin tayfının karakterinin keşiflerini yapmak amacıyla karanlık bant izleri üzerine çalışmıştır. Bu karanlık bantların nasıl oluştuğuna dair fiziksel açıklama Gustav Kirchhoff (1824-1887) ve Robert Bunsen (1811-1899) tarafından yapılmıştır. Bu kişiler sürekli zemindeki soğurma bantlarının oluşmasının nedenini güneşin sıcak iç kısmından gelen ışınların soğuk gaz yüzeyinden geçmesi sonucu üretildiğini görmüşlerdir. Yıldızların tayf verileri ilk defa Fraunhofer ve Angelo Secchi (1818-1878) tarafından astronomik tayfçekerler yardımıyla yapılmıştır (Massey ve Hanson, 2010).

Yakın zamanda yapılan gözlemler ve indirgeme teknolojisinde optik tayfçekerlerde kullanılan teknoloji yük eşleme cihazı olan CCD'lerdir ve bu teknoloji yakın kızılöte tayfçekerlerine de ihtiyaç duymaktadır. Tayf ölçümü morötede çok tartışılan bir konudur. Gamma, x-ışını ve radyo tayfı birbirinden farklı teknolojiye ihtiyaç duymaktadır. Benzer olarak, kullandığımız kaynağın değişimiyle kullandığımız teknolojinin de değişmesi gerekir.

Astronomik tayfçeker konusu hakkında çok fazla kaynak vardır. *Astronomical Techniques*'in *Stars and Stellar Systems* verisinde çok sayıda tayfçeker verisi vardır. Bu kaynağın giriş kısmında Bowen (1962) temel tayf çekerin fiziksel süreçleri hakkında bilgiler vermektedir. Bunlar tayfçekeri kullanmak isteyen kişiler için rehber kaynaklar oluşturmaktadır. Aynı şekilde Walker (1987)'ın yazdığı kaynak da temel alınabilir. Gezegenlerin gözlemi zordur. Çünkü gezegenler merkezlerinde enerji üretimini sağlayacak nükleer tepkimeleri gerçekleştirmezler. Bu yüzden yıldızlar gibi ısıtma yapamazlar. Isıtma yapamayan gezegenleri nasıl gözleyebiliriz? Barınak yıldızlarda üretilen fotonların gezegenlerin atmosferi tarafından yansıtılmasıyla onları gözleyebiliriz. Bu olay "albedo" olarak bilinir. Bu etkiyle gezegenlerin gözleminde, barınak yıldızın tayf türü ve gezegenin atmosferinin yapısı rol oynar. Atmosfer dışı gözlem yapan CoRoT (Aralık, 2006)'un ve Kepler (Mart, 2009)'in birincil hedefi

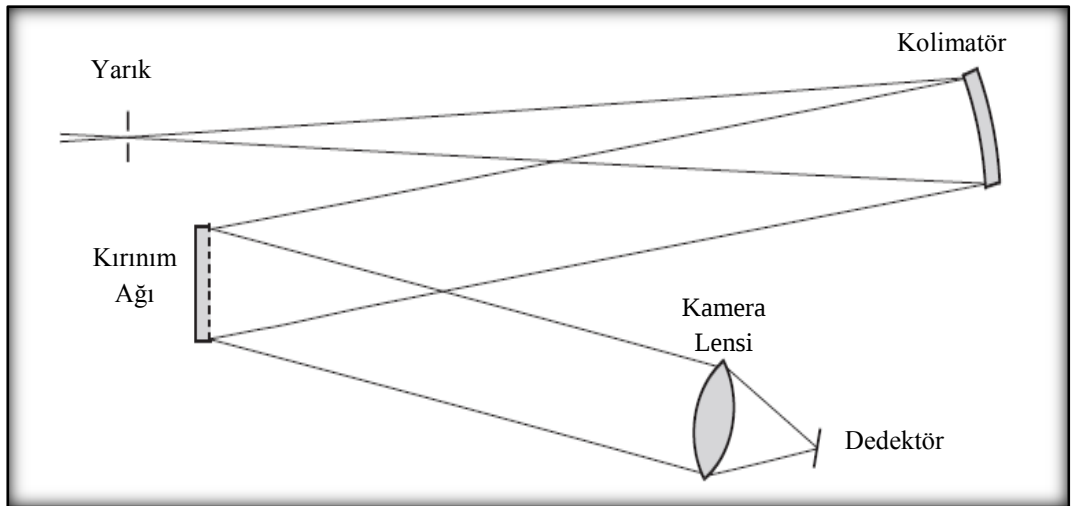
gezegenli sistemleri gözlemektir. Bu iki uzay aracı sayesinde sönük ve küçük kütleli gezegenler gözlendi. Özellikle keşfedilen Yer benzeri gezegen sayısında hızlı bir artış oldu.

2. TAYFÇEKERLERE GİRİŞ

2.1 Temel Özellikler

Bilim insanı Dr. Maarten Schmidt astronomi-teknoloji profesörü olmadan önce ilk araştırmalarını lisans döneminde yapmıştır. Basit bir tayfçekerin şemasını tahtaya çizip bunun adı ve içeriği hakkında bilgiler vermiştir. Önemli olanın yarıktan gelen ışığa teleskobun odaklanması gerektiği, kolimatörün görevinin paralel gelen ışığın odaklanmasını sağlayıp bunun kamera ya da herhangi bir dedektör tarafından okunmasını sağlamak olduğunu söylemiştir. Bu söyleminden uzun süre geçmesine rağmen tayfçekerin yapısında büyük bir değişim gözlenmemiştir. Çoklu obje gözlemi yapan fiber tayfçekerlere örnek olarak MMT'ye bağlı Hectospec (Fabricant vd., 2005) verilebilir. Eşel tayfçekerlere örnek olarak da Clay 6.5m teleskoba bağlı olan MacE (Marshall vd., 2008) verilebilir.

Yarık odak düzlemine oturtulur, yarığın genişliği olan w genellikle ayarlanabilir. Yıldızın görüntüsü bu yarığa odaklanmaya çalışılır. Gelen ışınlar kolimatöre doğru devam eder. Bu uzaklık odak uzaklığıdır ve L_{coll} olarak gösterilir. Kolimatörün f (odak) oranı teleskoba uygun olmalıdır. Odak oranına göre yarığın boyutu ayarlanır ve kolimatörün yeri belirlenir. Kolimatör paraboloid'dir ve bu şekilde ışık kaybını azaltır. Astronomik tayfçekerin temel bileşenleri Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1: Astronomik tayfçekerin temel bileşenleri.

Kırınım ağı (grating) tayf çekeri çok küçük aralıklardaki yapılardan oluşur. Bunlar 100 ile 1000 arasında değişir. λ dalgaboyunda gelen ışınlar belli bir açıyla yönlendirilerek kırınım ağından geçerek kamera yardımıyla dedektörün üzerine

düşürölerek okunurlar. Bunun için yapılan formalizasyon kırınım eşitliği olarak bilinir ve aşağıdaki (2.1) denklemini ile verilir.

$$m\lambda = \sigma(\sin i + \sin \theta) \quad (2.1)$$

i = kırınım ağı ile gelen ışının arasındaki açıdır,

θ = göz ile kırınım ağı arasındaki açıdır.

m tam sayı olup kırınım derecesini vermekte kullanılır. İnsan gözü kırmızı ve maviyi ayırt edebilir fakat CCD'nin duyarlılığına sahip değildir. Açısal ayrılma derecesi olan m' 'yi bulmak için

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = m/(\sigma \cos \theta) \quad (2.2)$$

(2.2) denklemini kullanılır. (2.1) denkleminde $\frac{m}{\sigma} = (\sin i + \sin \theta)/\lambda$ elde edilir. (2.2) denkleminde m/σ değeri yerine yazıldığında

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = (\sin i + \sin \theta)/(\lambda \cos \theta) \quad (2.3)$$

(2.3) denklemini elde edilir. $i=\theta$ olan *Litrow* yaklaşımı yapıldığında açısal ayrılma denklemini olan (2.4) denklemini elde edilir.

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \left(\frac{2}{\lambda}\right) \tan \theta \quad (2.4)$$

Bu şekilde kırınım tayfçekerinin duyarlılığını belirliyoruz. m' 'nin değerine göre duyarlılığın değiştiğini görüyoruz. Ne kadar çok kırınım ağı varsa çözünürlük o kadar artar. $\theta=i$ durumunda

$$\frac{m}{\sigma} = 2 \sin \theta / \lambda \quad (2.5)$$

(2.5) denklemini elde edilir. Bu da *Litrow* yaklaşımının sonucu olup i veya θ açısı çok küçükse $\tan \theta \approx \sin \theta$ olur. Açısal ayrılma (dispersion) $d\theta/d\lambda \approx m/\sigma$ olur. Yüksek ayrılmalar için kırınım ağları arasındaki mesafenin çok küçük olması gerekir. Tipik olarak eşel tayf çekerlerde $\tan \theta \approx 2$ ya da daha büyük olarak seçilir. Tipik olarak eşel kırınım ağları da 80 *grass/mm*, bu da $\sigma \approx 25 \lambda$ görünür dalgaboyu için verilen değerdir. m' 'nin değeri de 50 civarındadır. Böylelikle uygun bir şekilde tayfçeker tanımlanmış olur. Kırınım ağları parlama açısı olarak tarif edilen değer m_λ 'nın maksimum verimli olduğu değerdir. Bu konuda çok basit bir geometriden yararlanılır. Ne zaman parlama dalgaboyu söz konusu ise $m=1$ olarak alınır. Parlama dalgaboyu merkezde olduğu zaman θ da parlama açısı olarak karşımıza çıkar. Bu parlama dalgaboyu yaklaşık olarak *Litrow* yöntemi ile hesaplanıyor. Kırınım ağlarının %50 'sinden etki alındığı düşünöldüğünde (2.6) bağıntısı elde edilir.

$$\lambda = \frac{\lambda_b}{m} - \lambda_b/3m^2 \quad (2.6)$$

Mavi bölge için (2.6) denklemi verilir. Kırmızı bölge için de (2.7) bağıntısı verilir.

$$\lambda = \frac{\lambda_b}{m} + \lambda_b/2m^2 \quad (2.7)$$

Bu etkiler maviden kırmızıya geçilirken çok fazla değişir. Bu yüzden daha dar dalga boyları arasında çalışılmalıdır ve böylece daha başarılı alınabilir. Işık kameraya girdiği zaman aldığı yol L_{cam} odak uzaklığıdır. Daha sonra yol ilerledikçe CCD'ye gelir. CCD'nin piksellerinin boyutları p ile gösterilir, genellikle 15 μm boyutu civarındadır. Kameralar tayf çekerlere uygun olarak dizayn edilir. En önemli durum o yarığın boyutlarının kaynağın ışığını alabilecek boyutlarda olmasıdır. Ne çok fazla geniş ne de çok fazla dar olmalıdır. Bu yüzden tayfçekerin yarıkları buna uygun olarak ayarlanmalıdır, kullanılan CCD de tayfçekere uygun olarak seçilmelidir. *Nyquist-Shannon* yaklaşımına dikkat edilmelidir. Tayf çekerdeki büyütme etkisini belirleyen şey kameranın odak uzaklığı ile kolimatörün odak uzaklığının oranıdır (L_{cam}/L_{coll}). Bu değer ne kadar küçük ise tayfçeker o kadar iyi sonuç verir. Tayfçekerin çözünürlüğünün karakteri $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$ ile verilir, $\Delta\lambda$ çözüm elemanı yani iki farklı dalga boyu arasındaki değişimdir. R en önemli parametrelerden biridir. Bunun yüksek çözünürlüklü olanları kullanılır. Girişim filtre görüntülemeye $R \approx 100$ 'dür. Serbest tayf aralığı $d\lambda$, λ_m ve $\lambda_{(m+1)}$ arasındaki fark olup (2.8) denklemi ile verilir.

$$\delta\lambda = \lambda_m - \lambda_{m+1} = \lambda_{m+1}/m \quad (2.8)$$

Burada elde edilen m 'nin değeri 1 ile 3 arasındadır. Gerçek tayfçekerler bu parametrelere bağlı olarak tanımlanırlar. Burada yarık ve kolimatör nokta kaynağa uygun olarak seçilmesi gerekir. Ayrıca teleskop ve kırınım ağıının birbiriyle uyumlu olmasına dikkat edilmelidir. Bunlarla yapılan çalışmalarda geometri de önemlidir.

2.1.1 Kırınım Ağını Seçmek

Kırınım ağı seçiminde ilgili dalga boyu kaplaması ve tayfsal çözünürlüğün iyi olması lazımdır. Kırınım derecesi çok iyi seçilmelidir ki incelenen cismin özellikleri belirlenebilsin.

2.2 Geleneksel Geniş Yarık Tayfçekeri

En basit kullanılan tayf çekerdir. Çok parlak yıldız veya zayıf kuazarların tayfını almak için kullanılır. Ayrıca alternatif olarak da gökadalarn tayf çözünürlüğünü elde etmek ya da H II bölgelerinin belirlenmesinde kullanılır. Bu tür tayfçekerler ile elde edilen verilerde karanlık gökyüzü etkisi ve diğer gökyüzü etkisi çoklu obje yarık maskeleriyle atılır. Eşel tayfçekerlerde ikinci dağılım elementleri kırınım ya da prizmadan biri kullanılarak ışığın dağılması sağlanarak dedektör üstüne düşmesi sağlanır. Örnek Şekil 2.2'de verilmiştir. Eşel tayfların çalışılacak dalgaboyuna uygun seçilmesine dikkat edilmelidir. Gözlenecek cismin hangi dalgaboyunda ışınım yapacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Eşeller yüksek dereceden çalışacak şekilde dizayn edilirler (tipik olarak $m \geq 5$), i ve θ kırınım eşitliğinde yer alırlar. Dedektörler çok yüksek derecelere sahiptir. Dalgaboyu arasındaki fark $\delta\lambda$ ile gösterilir. Eğer düşük dereceden ise tayfsal aralık da büyük olur. Açısal ayrılma $\delta\theta$ birinci dereceden $\delta\lambda d\theta/d\lambda$ olur. Bu eşitliği açısal dağılımla düzenlediğimizde;

$$\frac{\lambda}{\sigma \cos \theta} = \delta\lambda \left(\frac{2}{\lambda}\right) \tan \theta \quad (2.9)$$

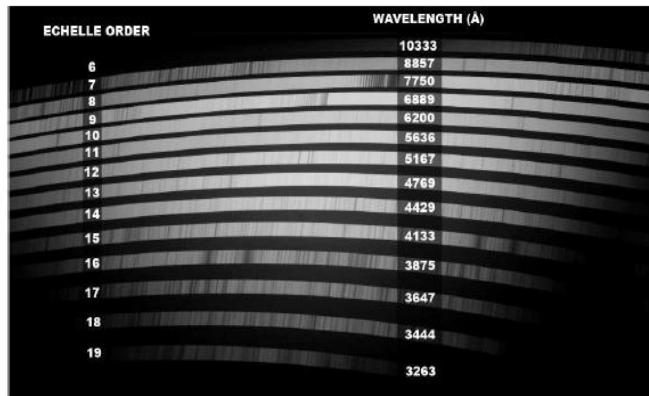
(2.9) denklemi elde edilir. Dalgaboyunun kapladığı alan

$$\delta\lambda = \lambda^2 / (2\sigma \sin \theta) \quad (2.10)$$

(2.10) denklemi ile, açısal dağılım da

$$\Delta\theta = \lambda / (\sigma \cos \theta) \quad (2.11)$$

(2.11) denklemi ile verilebilir. Dalgaboyunun kapladığı alan $\delta\lambda = \lambda^2 / (2\sigma \sin \theta)$ denklemle lineer olarak ifade edilmiştir. Şekil 2.2'de kısa dalgaboyları için dağılım belirlenmiştir ayrıca Ca II H&K çizgileri çok güçlü olarak görülmektedir.



Şekil 2.2: MagE 'nin üstündeki dedektörün tayfsal formatı.

3. İNDİRGEME SÜRECİ

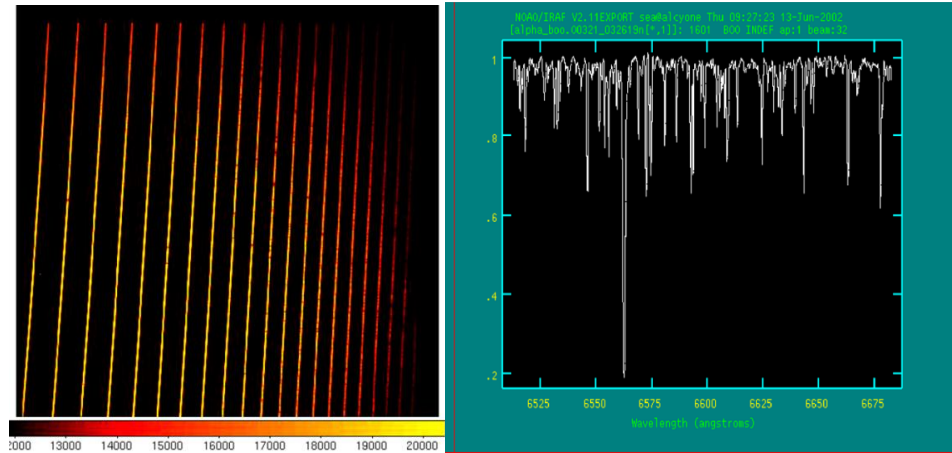
Tayfsal verilerin indirgenmesi amacıyla birçok program yapılmıştır. Bunlar genel olarak çok daha hızlı sunucular üzerinde veya kişisel bilgisayarlarda kullanılabilecek programlardır. IRAF (**I**mage **R**eduction and **A**nalysis **F**acility), MIDAS (**M**ünich **I**mage **D**ata **A**nalysis **S**ystem), Starlink Software (CCDPACK) ve FIGARO sayılabilir. Bunların yanında kişisel bilgisayarlarda kullanılabilen daha küçük boyutlu ve kullanıcılara çeşitli kolaylıklar sağlayan programlar da vardır. Örnek olarak AIP₄WIN ve MaxIm DL verilebilir. Bu çalışmada indirgeme yaparken kullanacağımız program IRAF olarak seçilmiştir. Programın kopyalanması ve dağıtılması ücretsizdir. Bu program <http://iraf.noao.edu/> web adresinden elde edilebilir. IRAF programı birçok işletim sisteminde kullanılabilecek şekilde yaratılmıştır. Bu işletim sistemlerine örnek olarak Ubuntu10.10, SunOS/Solaris, PC-IRAF (Linux/FreeBSD/Solaris), RedHat 7, MacOS X verilebilir. Bu çalışmada Ubuntu10.10'u kullandık. Ön indirgeme için kullanılan paketler:

cl → noao → imred → ccdred → ccdproc

dizisi şeklindedir. Eşel verilerinin indirgenmesi için kullanılan paketler de:

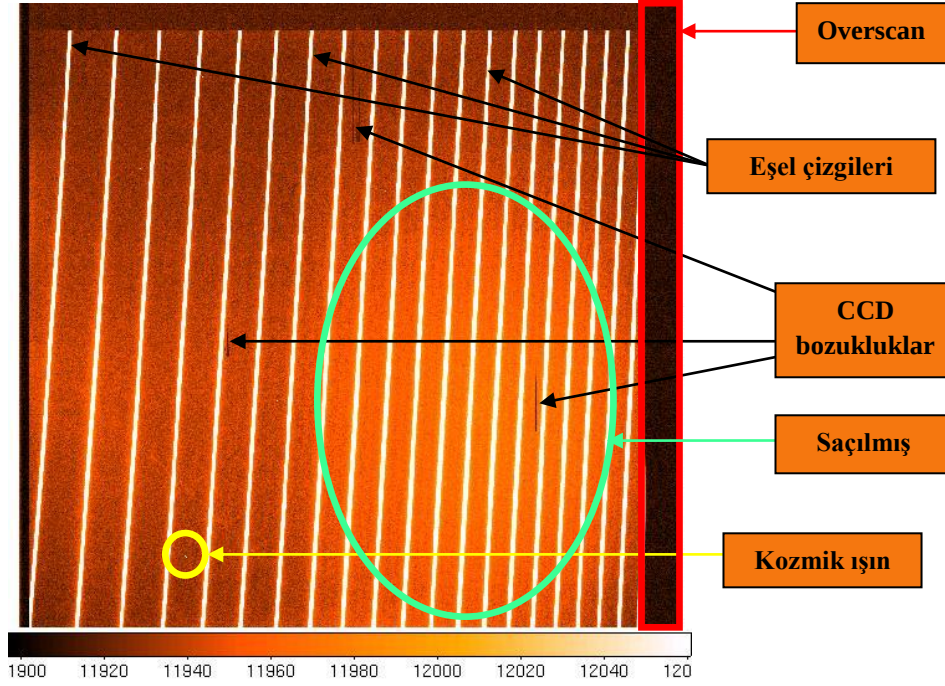
cl → noao → imred → echelle

şeklinde sıralanabilir. Paketlerin amacı: iki boyutlu CCD görüntüsünden dalgaboyu kalibrasyonu yapılmış tayfi elde etmektir. İndirgeme süreci: CCD verilerinin kalibrasyonunu, tayfin çıkartılmasını ve dalgaboyu kalibrasyonunu içermektir. İki boyutlu CCD görüntüsünden başlayarak en son dalgaboyu kalibrasyonu yapılmış ve normalize edilmiş tayfi elde edene kadar ki basamaklar adım adım anlatılarak indirgeme süreci tamamlanacaktır. Şekil 3.1'de iki boyutlu CCD görüntüsü ve en son elde edilen tayfa bir örnek verilmiştir.



Şekil 3.1: Elimizdeki ham veri olan iki boyutlu CCD görüntüsü (sol). En son elde etmek istediğimiz dalgaboyu kalibrasyonu yapılmış ve normalize edilmiş tayf (sağ).

Yıldız tayfinin çıkartılmasında ilk basamak ön indirgeme sürecidir. Bu süreç, yıldız sinyali etkileyen bozukluklar ve aletsel problemlerin ortadan kaldırılması ve dalgaboyu kalibrasyonunu da içerir. Optik ve dedektör kaynaklı etkilerin arındırılması ilk aşamadır. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi bir CCD görüntüsü; overscan bölgesi, eşel çizgileri, saçılmış ışık, kozmik ışınlar ve CCD etkilerinden oluşur.



Şekil 3.2: Bir CCD ham verisinde görülen etkiler.

Verilerin indirgenmesinde takip edilecek temel adımlar Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Çizelge 3.1: İndirgeme basamakları.

3.1 Görüntü Başlıklarının Düzeltilmesi

3.1.1 Gözlenen Cismin Koordinatlarının Girilmesi (Görüntü başlıklarında bulunmuyorsa veya hatalı ise)

Görüntü başlıklarında tayfını aldığınız cisme ilişkin koordinatlar hatalı girilmiş veya RA (Sağaçıklık), DEC (Dikaçıklık) ve EPOCH bilgileri gözlem zamanına ilişkin yıldız zamanı ve hava kütlesi bilgilerinin hesaplanabilmesi için mutlaka bulunması gereken başlıklardır. Gözlemi gerçekleştirilen cismin koordinatları aşağıdaki gibi komutlar kullanılarak başlığa eklenmeli veya gerekiyorsa bu başlıklar güncellenmelidir (*IRAF Ve Tayfsal İndirgeme*, 2009).

```

da> hedit hsher01.fits ra "(str('00:01:49.44'))" add+ verify- show-
da> hedit hsher01.fits dec "(str('-03:01:38.9'))" add+ verify- show-
da> hedit hsher01.fits epoch 2000.0 add+ verify- show-

```

Epoch değeri gözlenen cismin koordinatlarının hesaplandığı yıl olarak girilmelidir.

3.1.2 Gözlemevi Bilgilerinin Kullanılması

Görüntü başlıklarında bulunan OBSERVAT başlığı gözlemin hangi gözlemevinde yapıldığını belirten bir başlıktır. Gözlemevi tanımlaması IRAF programında çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilmektedir.

- Gözlemevi bilgisinin IRAF veritabanında bulunması hali,
- Gözlemevi bilgisinin görüntü başlıklarında bulunması hali,
- Gözlemevi bilgisinin OBSERVATORY taskına girilmesi hali,

gibi üç farklı şekilde kullanılabilen bu parametre için sayısal değerler aşağıdaki gibi olmalıdır:

```
cl> type noao$lib/obsdb.dat
# Observatory parameters for TUBITAK National Observatory, Turkey
  Observatory = tug
  timezone = -2
  altitude = 2547.
  latitude = 36:49:30
  longitude = -30:20:00
  name = 'TUBITAK National Observatory, Turkey'
```

Timezone parametresi yaz/kış saat farkına göre düzeltilerek kullanılmalıdır.

- Görüntü başlıklarında OBSERVATORY başlığı “TUG, Turkey” olarak girilmiş durumda. Bu nedenle ya gözlemevi veritabanındaki tanımlamayı “TUG, Turkey” olarak değiştirmek veya görüntü başlıklarındaki bu bilgiyi “TUG” olarak değiştirmek gerekmektedir. Bu amaçla;

```
cl> hedit *.fits OBSERVAT "TUG" upd+ ver-
```

şeklinde bir komut vermek yeterli olacaktır.

- Görüntü başlığında gözlemevi bilgisi girilmiş durumda ise bu durumda OBSERVATORY taskına ilişkin parametreler, görüntü başlığında bu bilgiyi alacak şekilde ayarlanmalıdır. COMMAND=Images şeklinde bir ayarlama yapılmalıdır.
- Son bir seçenek ise gözlemevi bilgisinin OBSERVATORY taskının parametreleri olarak girilmesi olabilir ki bu durumda OBSERVATORY taskının parametre seti yeniden düzenlenmelidir.

3.1.3 Görüntü Türüne İlişkin Düzeltme

Görüntü başlıklarında bulunan IMAGETYP başlığı görüntülerin indirgenmesinde dikkate alınan bilgi içerir. Bu amaçla IRAF programında işlemlerin düzgün yapılabilmesi için görüntü başlıklarının uygun yapıya sahip olması gerekmektedir. Genel olarak tayfsal görüntülerde lamba tayflarının görüntü

türü “object” olarak yazılmaktadır. Bu bilgi özellikle dalgaboyu kalibrasyonu yapılmak istendiğinde problemlere neden olmaktadır. Bu nedenle Th-Ar lamba tayflarına ilişkin görüntü başlıklarındaki IMAGETYP başlığı “comp” olarak değiştirilmelidir. Uygulanacak komut aşağıdaki gibidir:

```
cl> hedit thar*.fits IMAGETYP "comp" upd+ ver-
```

3.1.4 Gözlem Zamanına İlişkin Düzeltme

Görüntülerde bulunan TSTART başlığı yerel zaman olarak girilmiş olduğundan Greenwich ile aramızdaki zaman farkı (-2 saat, yaz saat uygulamasında -3 saat) bu başlıktan çıkarılarak UT başlığına aktarılmalıdır. Yukarıda alınan görüntüler yaz saat uygulamasının bulunduğu tarihlerde alındığından $UT = (TSTART - 3 \text{ saat})$ olarak başlığa eklenmelidir. Bu işlemi ve ilave olarak gerekli olan utmiddle, st ve airmass başlıklarını hesaplayarak görüntü başlıklarına aktaracak komut dosyası aşağıdaki gibi olmalıdır. Dikkat edilmesi gereken bir nokta yaz/kış uygulaması olmalıdır. Yerel gözlem zamanından yararlanarak da gözlemlere ilişkin JD ve HJD başlıklarını hesaplatarak görüntüye aktarmak mümkündür. Bu amaçla *setjd* taskının parametre seti düzenlenmelidir.

Komut satırında ise,

```
cl> setjd hsher01 date="date-obs" time=TSTART ra=ra dec=dec epoch=epoch utdate- \
>>> uttime-
```

şeklinde bir komut vererek aynı işlem gerçekleştirilebilir. Fakat bu işlemin doğru çalışabilmesi için gözlemevi için belirlenmiş parametrelerden zaman farkının doğru olması gerekmektedir. Bu uygulamada gözlemevi için zaman farkı -3 saat olarak seçildiğinden doğru bir şekilde hesaplamayı gerçekleştirmiştir. Bu durumda UT başlığı kullanılmadan yerel gözlem zamanı dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır.

3.2 Ham Görüntülerin İndirgenmesi İçin Bias, Dark ve Flat Görüntülerinin Hazırlanması

Görüntülerin hazırlanması işlemi yapılmadan,

```
cl> imred
cl> ccdred
cl> epar ccdred
```

şeklinde bir komut vererek parametrelerinin aşağıdaki gibi olup olmadığını incelememiz gerekir. Buna göre daha önceden tanımlanmış görüntü türleri, DARK (dark), BIAS(zero), OBJECT(object), ‘DOME FLAT’(flat) ve ‘SKY FLAT’(flat) şeklindedir. Görüntü türleriniz yukarıda verilen tanımlamalardan farklı ise bu

durumda ccdred taskında bulunan alet parametresine bir tanımlama yapmadan işlemlere devam etmek mümkündür.

3.3 Overscan ve Trim İşlemi

İndirgemeye overscan bölgesinin görüntüden atılmasıyla başlanır. Seviyesi ADU ile verilen boş okuma alanı overscan'nin görüntüden atılması için kullanılan paket ccdred'dir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta girdi ve çıktı dosyalarının farklı isimde kaydedilmesidir. Overscan bölgesi genellikle indirgeme sürecinde hızlı geçilen bir basamaktır. Ancak overscan bölgesi daha çok CCD'nin ve dalgaboyu kalibrasyonunda kullanılan vakumlu lambaların test edilmesinde kullanılır. Ayrıca teleskop-alıcı ve kamera düzeneklerinin ayarlanmasında CCD'nin tüm alanının kullanılması gereken durumlarda overscan bölgesi işe yarar. Gerçekte overscan bölgesi bir çeşit test alanıdır.

Alınan görüntülerde overscan bölgesi yoksa bu düzeltmenin yapılmasına gerek yoktur. Fakat görüntülerde bozukluk varsa ve istenmesi durumunda bu kolon ve satırlarda düzeltme yapılabilir ya da bu alanlar görüntülerden atılabilir. Bunun için trim bölgesi olarak CCD çipinin geometrisine göre alan büyüklüğü seçilir. Örnek olarak [2:1040,1:1159] şeklinde bir tanımlama ile ccdproc taskı kullanılarak kötü olan bölgelerin tayfsal görüntülerden atılması sağlanır. Seçilen bölgenin doğru olup olmadığı yeni görüntüden denetlenmelidir.

3.4 Bias Görüntülerinin Birleştirilmesi

Bir sonraki aşama bias görüntüsünün belirlenmesidir. CCD'nin tamamı üzerine herhangi bir ışık düşürülmeden sıfır poz süresi verilerek okunur. Bias görüntüsü tayfçekerin bağlı olduğu elektronik düzenekteki ısısal artışın görüntüler üzerine olan etkisidir. Bu etki elektronik gürültü olarak bilinir ve mutlaka tüm görüntülerden ayıklanmalıdır. Uygulamada genellikle gözlemden hemen önce ve sonra shutter (çip üzerine düşen ışığı kesen kapak) kapalı iken kısa bir zaman aralığında alınır. Okuma gürültüsünü düşürmek için birkaç bias görüntüsü alınarak bunların ortalamaları kullanılır. Sonuç olarak elde edilen "master" bias (SuperBias) görüntüsü basit bir aritmetik işlemle geriye kalan görüntülerden çıkarılır.

Hangi yöntemin kullanılarak bias görüntülerinin elde edileceği kullanılan çipin kalite ve kararlılığına bağlıdır. Eğer çip gözlem sezonu boyunca kararlı kalmıyorsa her gözlem için ayrı ayrı bias görüntüsü almak daha iyi sonuçlar verecektir. Genellikle bias düzeltmesi CCD'lerin verilerinin indirgeme aşamasında dikkatle uygulanması gereken ilk adımdır. Süreci kolaylaştırmak amacıyla sıfır poz süresine sahip görüntü isimleri bir metin dosyasına aktarılır ve işlemler bu metin dosyasındaki görüntü isimleri üzerinde uygulanır. Alınan görüntülerinde görüntü ismi olarak "bias" ve aynı zamanda görüntü türü olarak (*imagetyp:bias*) tanımlaması bulunmalıdır. Bu aşamada işlemleri kolaylaştırmak için ya görüntü türlerini zero olarak değiştirebiliriz ya da bias görüntülerini bias.lst isimli bir metin dosyasına aktararak işlemlere devam edebiliriz. Burada

tercih kullanıcıya kalmıştır, bu amaçla, `cl> files bias*.fits > bias.lst` şeklinde bir komut verilmesi ile aktif dizinde bulunan ve bias ile başlayan bütün dosya isimlerinin bias.lst isimli bir metin dosyasına aktarılması gerçekleştirilir. Görüntü isimlendirmesi farklı bir şekilde yapılmış ise bu durumda, `cl> hselect *.fits $I 'imagetyp=="bias"' > bias.lst` şeklinde bir komut vererek bütün görüntüler içerisinde görüntü türü bias olarak girilmiş görüntülerin bias.lst isimli bir dosyaya aktarılması sağlanmıştır. Yukarıdaki kullanım şekli ile farklı görüntü türlerinin seçilmesi kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Örneğin bias yerine flat veya dark kullanılarak bütün görüntülerin içerisinde ayıklama yapmak mümkündür. Amacımız çok sayıda alınmış bias görüntülerinden istatistiksel olarak daha doğru olan bir SuperBias görüntüsü oluşturmak olduğuna göre bu görüntüleri çeşitli algoritmalar kullanarak birleştirmek olacaktır. Birleştirme işlemi average veya median seçenekleri ile gerçekleştirilebilir. Kullanıcı kendi tercihinin veya görüntülerin yapısına göre en iyi seçimi yapmalıdır. Ayrıca görüntülerin birleştirilmesi aşamasında bazı kötü piksel değerlerinin atılması sağlanabilir. Bu amaçla minmax, ccdclip, crreject, sigclip, avsigclip, pclipor seçenekleri veya none seçeneğini kullanmak mümkündür. imstat taskı ile önce bias'lerin minimum ve maximum noktaları kontrol edilir. Eğer ortalamanın dışında minimum ve maximumlar varsa bunlar yapacağımız işlemde önce bias listesine alınmaz. Bias ortalaması alınarak hazırlanan yeni görüntünün adı Zero 'dur. Zero oluşturulurken kullanılan paketin ismi immatch, kullanılan task ise imcombine. Daha önce bias görüntülerine ilişkin görüntü türü zero olarak değiştirilmemiş ise bu durumda birleştirmeyi gerçekleştirecek zerocombine taskı çalışmayabilir veya hata verebilir. Taskın parametrelerinden ccdtype içerisinde yazan zero silinmelidir veya ccdtype="" şeklinde bir ek yapılmalıdır.

IRAF programında taskların çalıştırılması komut satırında yapılabildiği gibi doğrudan taskın parametrelerinde uygun değişiklikler gerçekleştirilerek de çalıştırılması mümkündür. Aşağıdaki örnekte komut satırında verilmiş ve bias.lst isimli metin dosyasının içerisinde adları yazılmış görüntülerin ortalama işlemi kullanılarak ve ccdclip algoritması dikkate alınarak Zero isimli bir görüntünün oluşturulması amacıyla verilmiştir.

```
cl> zerocombine @bias.lst output="zero" combine="average" reject="ccdclip"
```

Zero görüntüsü çok sayıda sıfır poz süresi verilerek alınmış görüntünün ortalama alınarak birleştirilmiş ve istatistiksel olarak daha doğru olan bir görüntüdür ve kullanılan CCD'nin elektronik gürültü düzeyini bize gösterir. Bu görüntünün bilimsel görüntülerden çıkarılması gerekmektedir ve bu işlem daha sonra ccdproc ile gerçekleştirilecektir. Komut satırı yerine `cl> epar zerocombine` komutu verilerek ve ardından aşağıdaki gibi bir düzenleme yapılarak da bu taskın parametreleri değiştirilebilir ki bu yöntem IRAF programını yeni kullanan kişiler için en kolay yöntem olarak bilinmektedir.

Bu taskın çalışarak Zero görüntüsü oluşturulabilmesi için `ccdtype="zero"` yerine `ccdtype=""` yazılmalıdır yani bu alan boş bırakılmalıdır çünkü bizim görüntülerimizde görüntü türü olarak bias yazmaktadır. Ayrıca yukarıda bahsi geçen algoritmalarının çalışması sırasında CCD'ye özgü rdnoise (okuma

gürültüsü) ve gain (kazanç) parametrelerine ihtiyaç duyar. Taskın çalışmaması durumunda bu parametreler incelenmeli ve gerekli düzenlemeler yapılmalıdır. Bu düzenlemeler çeşitli şekillerde olabilir: Örneğin görüntü başlığında bu bilgiler bulunuyorsa bu durumda `rdnoise=image` ve `gain=image` şeklinde bir değişiklik yapılabilir. Şayet görüntü başlığında bu bilgiler bulunmuyorsa bu durumda doğrudan yukarıdaki pencerede bu bilgiler yazılabilir ve kullanılabilir. Yukarıdaki işlemlerin ardından elinizde Zero isimli bir görüntü bulunacaktır ve bu görüntü elektronik gürültü düzeyini gösteren bir görüntüdür. Bilimsel görüntülerden çıkarılması için kullanılan paket `imutil`, kullanılan task ise `imarith`. Girdi ve çıktı dosyalarının farklı isimde olmasına dikkat edilmelidir.

3.5 Dark Görüntülerinin Birleştirilmesi

Yukarıdaki işleme benzer şekilde dark görüntüleri de bir metin dosyasına aktararak kullanılabilir. Liste olarak kullanılması durumunda `cl> darkcombine @dark.lst output="Dark" combine="average" reject="ccdclip"` şeklinde bir komut verilerek birleştirilmiş dark görüntüsü oluşturulabilir. Veya aynı işlem için, `cl> darkcombine *fits output="Dark" combine="average" reject="ccdclip"` şeklinde bir komut verilerek aynı işlem gerçekleştirilebilir. IRAF otomatik olarak dark görüntülerini kendisi seçerek bu birleştirme işlemini gerçekleştirecektir. Benzer bir şekilde doğrudan `cl> epar darkcombine` komutunu vererek taskın parametre setinde değişiklik yapılabilir ve taskın işletilmesi sağlanabilir.

Birleştirilmiş dark görüntüsü daha sonra `ccdproc` taskında kullanılacak ve bilimsel görüntülerden karaakım gürültüsünün giderilmesini sağlayacaktır. Bilimsel görüntülerin poz süresi ile dark görüntülerinin poz süresi aynı olmalıdır. Bu amaçla `ccdproc` taskı ile işlem yapılırken IRAF otomatik olarak bilimsel görüntünün ve dark görüntüsünün poz süresini dikkate alarak ölçeklendirme yapacak ve ardından bilimsel görüntülerden çıkarma işlemini gerçekleştirecektir.

IRAF programını bilimsel görüntülerden karaakım (dark) çıkarma işlemini gerçekleştirirken poz süresine göre ölçeklendirme yaptığından bahsetmiştik. Bu konuda biraz dikkatli olmak gerekmektedir çünkü IRAF bu işlem sırasında poz süresine göre doğrusal bir ölçeklendirme yapmaktadır. Bu durumda dark görüntüsü kullanılarak bilimsel görüntüler düzeltilecek ise yapılması gereken aynı poz süresi verilerek alınmış dark görüntülerinin kullanılmasıdır. Aksi durumda kullanılmaması tercih edilmelidir.

3.6 Flat Görüntülerinin Birleştirilmesi

CCD'ler üretim hataları nedeniyle piksellerin hepsinin duyarlılıkları aynı olmaz veya yapılamaz. Genellikle piksellerin duyarlılıkları yüzde birkaç oranında tüm satır veya kolon boyunca değişim gösterir. Değişim gerçekte rastgele bir etkidir ve bir değişimin fonksiyonu değildir. Piksellerin göreceli duyarlılıklarının kalibrasyonu düzgün aydınlatılmış bir kaynağın gözlenmesi (örneğin tan zamanı gökyüzü görüntüsü) ve kaydedilen değerlerin incelenmesi ile gerçekleştirilir. Bu düzeltme işlemine alan düzeltmesi (flat fielding) adı verilir ve bu işlemde

kullanılan görüntüye ise düz alan (flat) görüntüsü adı verilir. Flat düzeltmesinde dikkat edilmesi gereken bir konu hangi filtre veya optik düzenek bilimsel görüntünün alınmasında kullanılıyorsa aynı koşullarda flat görüntüsünün alınmasıdır. Gözlemsel olarak iki farklı türden flat görüntüsü alınabilir. Bunlar sırayla dome flat olarak isimlendirilen ve kubbe içerisinde eşyönlü olarak aydınlatılmış bir ortam kullanılarak alınır. İkincisi ise sky flat olarak isimlendirilen ve gökyüzünün yıldız görülemeyecek kadar parlak olduğu fakat doymaya neden olmayacak kadar da karanlık olduğu bir zamanda (güneş battıktan hemen sonra veya doğmadan hemen önce) alınan görüntülerdir.

Flat'ın oluşturulmasında kullanılan paket immatch, kullanılan task ise imcombine. Bu işlem ile elimizdeki birkaç flat görüntüsünün ortalaması alınarak bir master flat hazırlanmış olur. Master flat oluşturulmasının önemi ise en iyi sonucu bize verecek olan ortalama (bir gözlem gecesi boyunca meydana gelen değişimin ortalaması) bir flat hazırlanmış olmasıdır. Ayrıca master flat görüntüsü azaltılmış ve kozmik ışın etkisinden arındırılmıştır. zerocombine ve darkcombine tasklarında olduğu gibi benzer kullanım şekli flatcombine taskı içinde geçerlidir. Burada flat görüntülerini içeren flat.lst dosyası kullanılmış ve `cl> flatcombine @flat.lst output="Flat" combine="average" reject="ccdclip"` ile flat isimli birleştirilmiş görüntü oluşturulmuştur. Benzer şekilde `cl> epar flatcombine` komutunu vererek aşağıdaki değişiklikler ile aynı flat görüntüsü oluşturulabilir. Bir önceki adımda oluşturulan Zero, Dark ve Flat görüntüleri üzerinde yapılması gereken işlemler, Zero görüntüsünü geriye kalan bütün görüntülerden çıkarmak (obje, Dark, Flat ve Ark), Dark görüntüsünü obje ve Flat görüntülerinden çıkarmak ve ardından Flat görüntüsü üzerinde normalizasyon (tayfsal gözlemler için özel bir yöntem kullanılarak) yapılarak bilimsel görüntülerin flat düzeltmesini gerçekleştirmek olacaktır.

ccdproc taskı yukarıda sayılan işlemleri adım adım veya bütün işlemleri tek bir adımda gerçekleştirebilen bir tasktır. Bu amaçla kullanılabilecek parametre kullanıcı tarafından düzenlenmelidir. Bilimsel görüntülerin object.lst isimli bir metin dosyasında bulunduğu kabul edilmiştir ve seçili işlemler sadece düzeltmesi gerçekleştirilecekse bu durumda object.lst içerisine ark lamba (kalibrasyon lambası) görüntülerini de koymak mümkündür. Fakat aynı anda dark düzeltmesi de gerçekleştirileceği için object.lst içerisine bu aşamada ark görüntüleri konmamalıdır. Zerocor=yes ve darkcor=yes olarak seçildiğinden object.lst isimli dosya içerisinde bulunan görüntüler üzerinde zero düzeltmesi ve dark düzeltmesi gerçekleştirilmek istenmektedir. Bu durumda düzeltmeleri gerçekleştirmek için `zero="Zero"` ve `dark="Dark"` başlıklarında hangi görüntülerin kullanılarak bu düzeltmelerin gerçekleştirileceği belirtilmiş olması gerekir. Ayrıca `ccdtype="object"` olarak girilmiş olduğundan object.lst içerisinde görüntü türü object olmayan görüntüler bulunması durumunda o görüntüler üzerinde işlem gerçekleştirilmeyecektir. Bir başka konu ise Dark görüntüsünün içerisinde Zero bulunduğundan IRAF kendisi öncelikli olarak Dark görüntüsünden Zero görüntüsünü çıkaracak ve diğer işlemleri ondan sonra gerçekleştirecektir.

Uygun değişiklikler yaptıktan sonra `:go` seçeneği kullanılarak veya `:q` seçeneği ile parametre değişikliğinden çıkarak `cl> ccdproc` komutunu vererek task çalıştırılabilir. Taskın çalıştırılması ile object.lst isimli dosya içerisinde

bulunan ve görüntü türü object olan bütün görüntülerimiz için sırasıyla *Zero* ve *Dark* düzeltmeleri gerçekleşir. Program aynı zamanda *Dark* görüntülerinden *Zero* görüntüsünü çıkararak işlemleri gerçekleştirir.

Görüntüler üzerinde ne tür işlemlerin yapıldığı (işlemler ccdproc ile gerçekleştirildiyse) görüntü başlıklarının sonuna yazılır. Bu başlıkları görebilmek için, `cl> imhead hs_her04 1+` şeklinde bir komut vererek başlık bilgisinin tamamının ekrana gelmesi sağlanır. Görüntüler üzerinde uygulanan işlemler en son satırda yazılmış olacaktır.

```
...
ZEROCOR = 'Jan 3 15:57 Zero level correction image is Zero'
DARKCOR = 'Jan 3 15:57 Dark count correction image is DARK10 with
scale=24.'
...
```

Aynı zamanda *Dark* görüntüsü de incelenirse bu görüntü üzerinde de *Zero* düzeltmesi yapıldığı görülebilir. ccdproc taskının avantajı indirgeme işlemlerinin görüntü başlıklarına yazılmasıdır. Bu sayede hangi işlemlerin gerçekleştirildiğini takip edilebilmesini ve tekrar aynı işlemlerin yapılmaması sağlanmaktadır. Normal olarak görüntüler üzerinde bu düzeltmeler doğrudan matematiksel işlemler kullanılarak da yapılabilir fakat bu durumda başlıklarda bu bilgiler bulunmayacağı için tekrar tekrar aynı düzeltmelerin uygulanması mümkündür.

```
cl> imarith hs_her04 - Zero z_hs_her04
cl> imarith Dark - Zero z_Dark
cl> imarith z_hs_her04 - z_Dark hs_her04
```

şeklinde bir komut zinciri kullanılarak ccdproc taskının yaptığı aynı işlemler gerçekleştirilebilir.

3.7 Flat Görüntüsünün Normalizasyonu

Flat düzeltmesi CCD görüntülerindeki ön indirgeme işlemlerinin en önemlisidir. Bu düzeltme ile dedektörde bulunan her pikselin üzerine düşen ışınımına verdiği yanıtı ilişkin düzeltme gerçekleştirilir.

Doğrudan görüntülemeye (örn. fotometrik görüntüler) flat görüntüsü, düzgün aydınlatılmış bir ortamın görüntüsü alınarak elde edilir. Şayet gözlemlerde filtre kullanılmış ise flat görüntüsünün de aynı filtre kullanılarak alınması gerekmektedir. Bu amaçla kullanılacak en uygun kaynak karanlık gökyüzünden alınan flat görüntüsüdür ve bu tür görüntülere SkyFlat görüntüsü adı verilir. Gerçekten karanlık bir gökyüzü bölgesinin bulunmasında ve fazla gözlem zamanı harcamadan yeterince doğru sayımların alınabilmesi oldukça güçtür. Ayrıca bu tür gözlemlerde gürültü düzeyi de oldukça yüksektir. Bu nedenle daha kolay bir yöntem kullanılarak eşyönlü aydınlatılmış bir perde ya da ortam kullanılarak ya da doğrudan görülen alanın aydınlatılması yoluyla alınan kubbe içi flat görüntüsünün alınması tercih edilir. Bu tür görüntülere Lamba Flat görüntüleri

adı verilir. Eğer aydınlatma gerçekten eşyönlü ise bu durumda alınacak birkaç flat görüntüsünün birleştirilmesi ile daha doğru flat görüntülerinin elde edilmesi mümkündür.

Tayfsal flat görüntüleri, gökyüzü veya lamba ile geçirgenliğin dalgaboyuna bağlı değişim göstermesi nedeniyle normal görüntülerdekinden farklılık gösterir. Bu türden görüntülerin gözlemlerinde tayfsal ve geçirgenliğe ilişkin izler bulunur. Tayfsal izlerin giderilmesi için uygulanması gereken temel işlevler, açıklık içerisinde olmak üzere dispersiyon eksenini boyunca tüm satır ve kolonun ortalamasını alarak tayfin değişimine ilişkin değişimi görmek. Ortalama işlemine ilaveten, gürültünün giderilmesi amacıyla flat tayfına düzgün (smooth) bir fit gerçekleştirmek. Bu bulunan düzgün fit'i kullanarak dispersiyon eksenini boyunca tayfsal değişimi veya küçük boyutlu yanıt değişimine etkide bulunmadan, tayf üzerinde flat düzeltmesi gerçekleştirmektir. Açıklıklar dışında kalan bölgeler için piksel değerleri birim değerine sahip olmalıdır. Bu yöntem için dispersiyon ekseninin CCD'nin satır veya kolonlarına göre yeterince paralel olması gerekir.

Yukarıda bahsi geçen yöntem bütün tayfsal görüntüler için uygulanabilen bir yöntemdir (eşel veya slit). Uzun yarıklı tayflar için uygulanacak algoritma daha da basittir ve longslit paketinde bulunan response taskı bu amaçla kullanılabilir. Çok açıklıklı (eşel türü) tayflar için tayfin bulunduğu bölgenin belirlenmesi ve sinyalin bulunmadığı açıklık dışındaki bölgenin belirlenmesi problemi ile karşılaşılır. Bu işlem için apextract paketinde bulunan apnormalize veya echelle paketinde bulunan apflatten taskı kullanılabilir. Bu işlem için lamba gözlemlerinin önceden bias ve dark düzeltmesi gerçekleştirilmiş olmalıdır. Bilimsel görüntülerin flat düzeltmesi gerçekleştirilmeden önce quartz lambasına ilişkin tayfsal izlerin giderilmesi gerekmektedir. Bu işlemin yapılabilmesi için görüntü boyunca açıklıkların bulunduğu konumların bilinmesi gerekmektedir ve bu açıklıklar genellikle az veya çok bir eğime sahip bir şekilde değişim gösterir. Flat görüntüsü alınırken kullanılan halojen lamba, ccd'nin her bölgesini eşit biçimde aydınlatamadığından farklı açıklıkların merkezi bölgelerinin belirlenmesinde güçlük yaşanır. Bu nedenle açıklıkların belirlenmesi amacıyla parlak bir yıldızın tayfsal gözleminin dikkate alınması daha doğru olur. Parlak bir yıldızın tayfsal gözlemini apall taskı ile birlikte kullanarak açıklıkların bir metin dosyasına kaydedilmesi sağlanır.

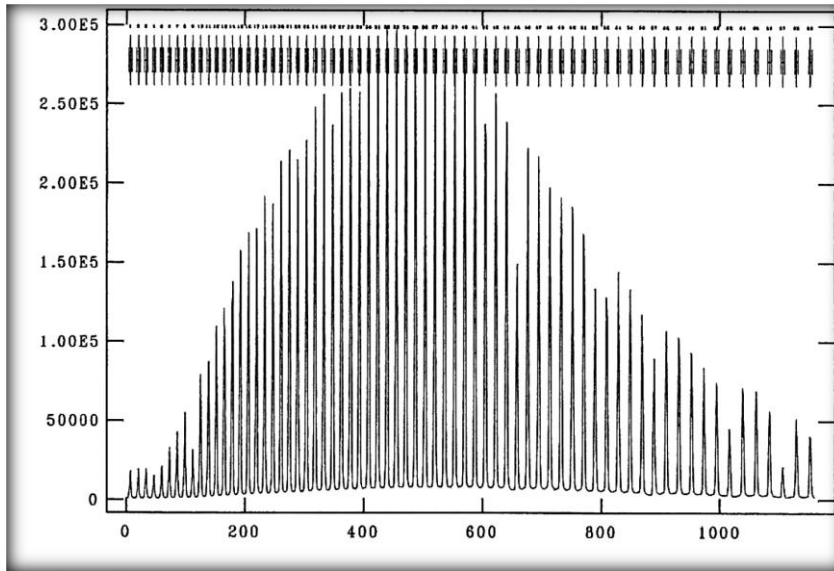
IRAF programında eşel tayflarının indirgenmesindeki paket (noao.imred.echelle) kullanılarak apall taskının parametre setinde uygun ayarlamaların yapılması gerekmektedir. DEFAULT APERTURE PARAMETERS alanında bulunan lower ve upper parametreleri ki açıklıkların alt ve üst sınırlarının belirlenmesinde kullanılır, yıldız profilinin FWHM değerinin iki katı kadar bir değere ayarlanmalıdır. AUTOMATIC FINDING AND ORDERING PARAMETERS alanında ise görüntü üzerinde bulunacak açıklıkların sayısını göstermektedir. Kullanıcı görüntü üzerinde yarım bulunan açıklıkları ya da ghost yapıları mutlaka incelemelidir. Değişiklikler yapıldıktan sonra `cl> apall hs_her` şeklinde aynı gözlem gecesinde tayfi alınmış parlak bir yıldızın görüntüsü yazılarak task çalıştırılır. Apall taskı aşağıdaki üç sorguyu ekrana getirecektir,

Find apertures for hs_her? (yes) :

Number of apertures to be found automatically (80) :

Edit apertures for hs_her? (yes) :

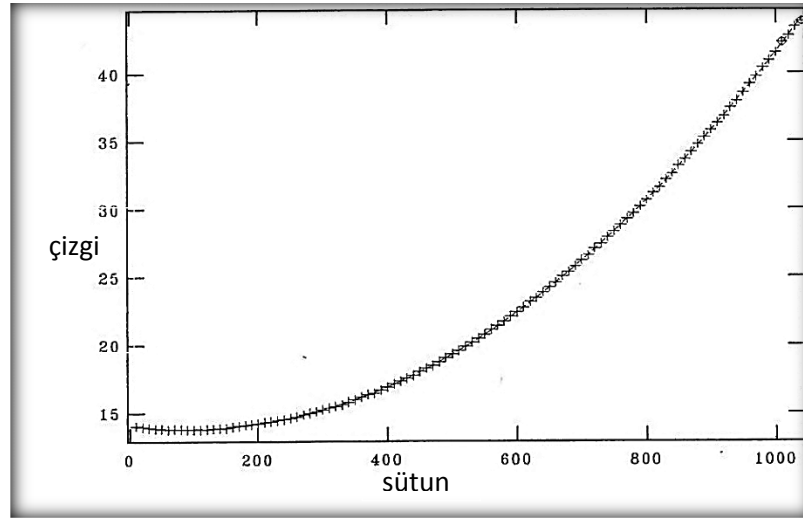
Bu sorgulara return tuşuna basarak geçebilirsiniz. Uygun ayarlamalar yapılmamış olsaydı bu aşamada gerekli değişiklikler yapılarak işlemlere devam edilebilir. Yukarıdaki sorguların ardından IRAF hs_her04 görüntüsünün bir kesit grafiğini ekrana getirecektir. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi bu grafik üzerinde toplam 69 adet açıklık otomatik olarak belirlenerek işaretlenmiş durumdadır. Açıklık şiddetinin düşük olması gibi durumlarda otomatik açıklık belirleme işlemi yapılabilir. Bu nedenle kullanıcı gerekli olan düzeltmeleri yapılarak yeni açıklıklar ilave etmeli veya aynı açıklık için birden fazla numaralandırma bulunuyorsa çift olanlardan tekini silmelidir. Ardından açıklık sıralamasını yenilemelidir. Yeni açıklık ilave etmek için imleci numaralandırılmamış açıklık üzerine getirdikten sonra “m” tuşuna basılmalıdır. Olan açıklığı silmek için ise imleci açıklığın üzerine getirildikten sonra “d” tuşuna basılmalıdır. Sıralamayı yenilemek için ise ilk açıklık üzerine imleci getirdikten sonra “o” tuşuna basarak 1 değerini girmelidir.



Şekil 3.3: Apall taskı ile hs_her görüntüsü üzerinde belirlenen açıklık konumları. Grafik görüntünün merkezi bölgesinde 515 ile 524 kolonları arasındaki piksellerin ortalama değerlerine göre otomatik olarak çizilmiştir (Çakırlı, Ö. vd., 2007).

apall taskında bulunan nsum parametresi ortalaması alınacak piksel sayısını belirler. Bu aşamada eğer açıklığa ilişkin profil yeterince iyi görülüyorsa grafik üzerinde iken “:nsum #” şeklinde bir komut vererek ortalamasını alacağı piksel sayısını artırabilirsiniz. “a” tuşuna basılarak ALL mesajının görüntünün altına yazılması sağlanır. Bu işlem ile grafikte bulunan bütün açıklıklar üzerinde eşzamanlı olarak değişiklik yapılabilmesini sağlar. Bu grafik penceresinde iken + ve - tuşları kullanılarak seçilmiş olan açıklıklar arasında geçiş yapılabilir ve “:width” şeklinde komut verilerek profil genişliği değiştirilebilir. İmleç yardımıyla

seçili açıklığın sol sınırını belirlemek için “l” tuşunu ve sağ sınırını belirlemek için “u” tuşunu kullanmak mümkündür. “c” tuşu ile açıklığın yeniden merkezlenmesi sağlanabilir. Gerekli olan ayarlamalar yapıldıktan sonra “a” tuşuna basarak ALL seçeneği kapatılarak tek tek açıklıklar üzerinde işlemler yapılabilir. Özellikle CCD’nin kenar kısımlarına rastladığı için bu bölgedeki açıklıklar üzerinde ayrıca dikkatli düzeltmeler yapılmasında yarar olacaktır. Aynı tuş takımları bu durumda sadece seçili açıklık için işleyecektir. Ayarlamalar yapıldıktan sonra “q” tuşuna basılarak bir sonraki aşama olan açıklığın görüntü boyunca konumunun belirlenmesi işlemi olan trace adımına geçilir. Program aşağıdaki sorguları ekrana getirecektir ve bu sorguları onaylayarak fit işlemine geçilmesi sağlanır.



Şekil 3.4: Açıklığın tüm görüntü boyunca tanımlanmasına ilişkin grafik. Bu aşamada uygun fitler yapılarak açıklıklar belirlenir.

Trace apertures for hs_her? (yes) :

Fit traced positions for hs_her interactively (yes) :

wait...

Fit curve to aperture 2 of hs_her interactively (yes) :

Şekil 3.4’de görülen açıklığa uygun fitlerin yapılması gerekmektedir. Bu grafik üzerinde kesikli çizgi yapılan fit’i ve + işareti ile gösterilen eğri ise açıklığın görüntü boyunca değişimini göstermektedir. Grafik üzerinde ise `:function chebyshev` komutu ile fit için kullanılacak fonksiyon değişikliği ve `“:order 4”` ile fit’in derecesini değiştirmek mümkündür. Bu değişiklikler yapıldıktan sonra “f” tuşuna basıldığında yeni parametreler kullanılarak fit yenilenir. Bu aşamada grafik üzerinde çok aykırı noktalar bulunuyorsa, noktanın üstüne imleci getirdikten sonra “d” tuşuna basarak silme işlemini, “u” tuşuna basarak ise silinmiş olan noktanın geri getirilmesi sağlanır. Yapılan fit’e ilişkin rms değeri grafiğin sağ üst kısmında bulunur. Yapılacak fit için rms değerinin 0.2’nin altında olmasına dikkat edilmelidir. Şayet seçilen parametreler sonucunda

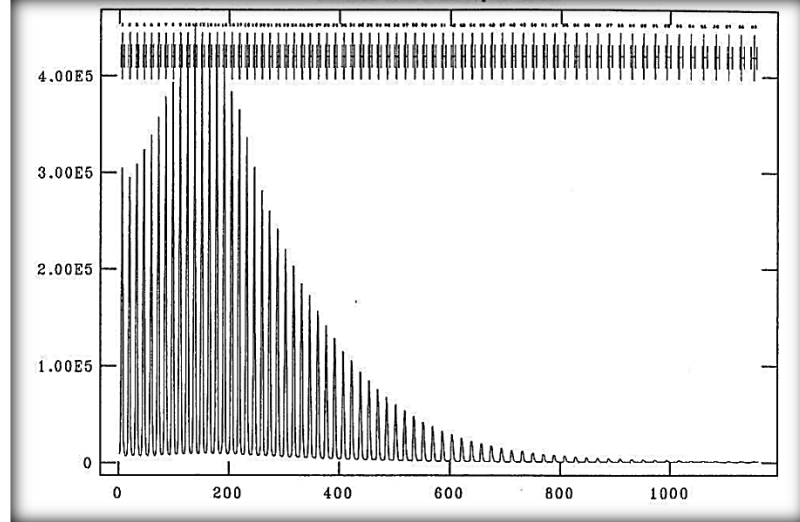
bu düzeyde bir fit gerçekleştirilmiş ise “q” tuşuna basarak bir sonraki açıklık için fit işlemine geçilir. Bu şekilde bütün açıklıklar etkileşimli olarak tanımlandıktan sonra *Write apertures for hs_her04 to database (yes)* : şeklinde bir sorgu ekrana gelir. Bu sorguyu return tuşu ile onayladığınızda bulunduğunuz dizin içerisinde oluşturulacak veya var olan database dizini içerisine açıklık bilgileri kaydedilecektir. Flat görüntüsünden açıklık belirleme işlemi özellikle kısa dalgaboylarına karşılık gelen açıklıklarda zorlaşmaktadır. Bu nedenle açıklık belirleme işlemi daha açıklıkların çok belirgin olduğu bir gözlem kullanılarak belirlenmiş ve bu belirlenen açıklıkların diğer gözlemlerde kullanılması gerçekleştirilecektir. Flat görüntüsünün normalizasyonu işleminde farklı tasklar kullanılabilmesine (apflatten ya da apnormalize) rağmen apflatten taskının daha iyi sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Bu amaçla noao.imred.echelle paketinde bulunan apflatten taskının parametre setinde değişiklik yapmak üzere, *cl> epar apflatten* komutu verilir. Aşağıda apflatten taskı kullanılarak flat görüntüsünün normalizasyonu işlemi için gerekli parametre değişiklikleri verilmiştir. Öncelikle bias düzeltmesi gerçekleştirilmiş Flat görüntüsü üzerinde zero ve dark düzeltmesi gerçekleştirilmiş olmalıdır. Çıktı görüntü dosyası olarak “nFlat” isimlendirmesi kullanılmıştır ve normalize flat görüntüsü anlamına gelmektedir. Kullanıcı istediği herhangi bir ismi kullanmakta özgürdür. Bu aşamada önemli bir nokta bir önceki aşamada açıklıkların belirlediğimiz yıldıza ilişkin tayf referen parametresine girilmiştir. apflatten taskı referen parametresinde bulunan görüntüyü dikkate alacak ve bu görüntüye ilişkin database dizini içerisinde açıklık dosyasının bulunup bulunmadığını kontrol edecektir. Açıklık bilgisinin bulunması durumunda Flat görüntüsü üzerinde bu açıklıkların konum ve büyüklüklerini dikkate alarak işaretleyecektir. apflatten taskında interac, flatten ve fitspec parametreleri dışındaki anahtarlar kapalı tutulduğundan doğrudan açıklık içerisinde kalan flat sayımlarının normalizasyonu işlemine geçilecektir. Bu aşamada recenter, find, resize ve trace parametrelerinin tamamının “no” olduğuna emin olunuz. Bu parametreler açıklıkların Flat görüntüsüne göre bulunmasını, yeniden boyutlandırılmasını ve açıklık değişiminin modellendirilmesinin yeniden yapılmasını sağlayan parametrelerdir. Yıldızın tayfi kullanılarak açıklıklar daha doğru olarak belirlenmiş olduğundan bu parametrelerin kapatılması daha doğru olacaktır.

cl> apflatten Flat nFlat

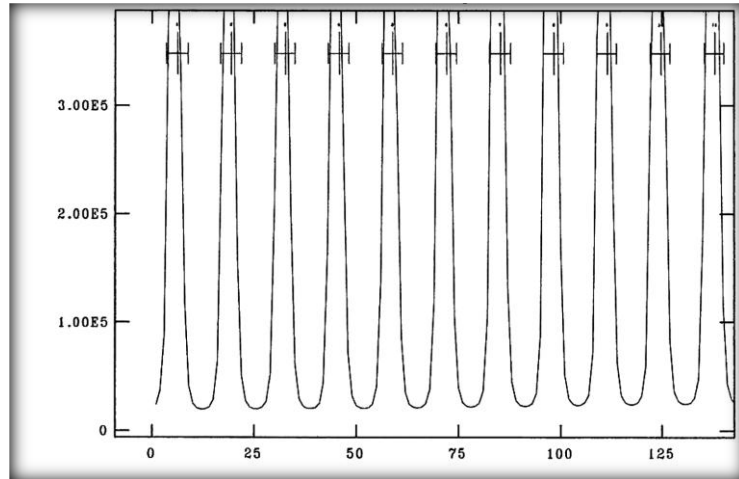
şeklinde bir komut vererek taskı çalıştırmanız veya parametre setinde değişiklik yaptıktan sonra :go şeklinde bir komut ile taskı çalıştırınız. Bu aşamada iki evre bulunur, ekrana gelen sorguyu onaylayarak (veya “yes” yazarak) geçiniz. *Edit apertures for Flat? (yes)* :

Komutunun ardından grafik ekrana Şekil 3.5’de gösterilene benzer bir şekil gelecektir. Bu grafik ekranda açıklıklar ve konumları incelenmeli ve gerekiyorsa uygun düzeltmeler yapılmalıdır. Genellikle flat görüntülerinde bulunan açıklıklar yıldızlar için belirlenen açıklıklardan da geniş yapılıdır ve bu nedenle açıklık genişliklerinin artırılması gerebilir. Bir başka durum ekrandaki şekil daha ayrıntılı incelendiğinde bir önceki adımda belirlenen açıklık merkezleri ile Flat için belirlenen açıklık merkezlerinin birbirinden farklı olduğudur (Şekil 3.6). Bu nedenle açıklık merkezlerinin de düzeltilmesi gerekmektedir. Şekil 3.6’dakine

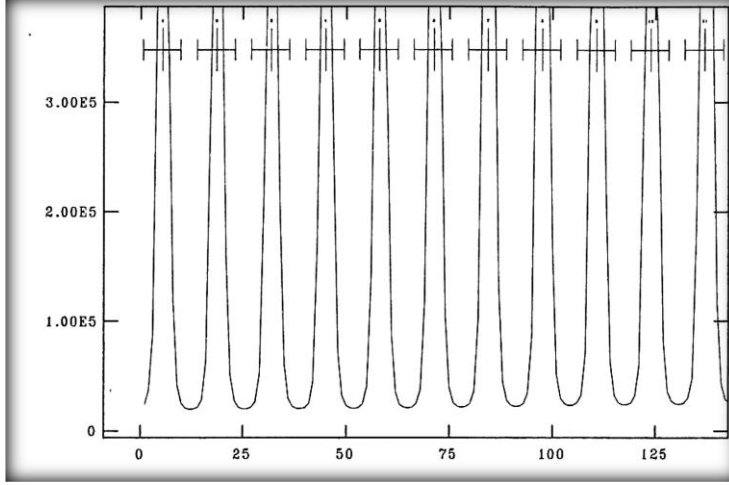
benzer şekilde bir grafiği daha ayrıntılı inceleyebilmek için önce “w” tuşuna basarak grafik üzerinde :window aktif olmasını ve ardından imleci daha ayrıntılı görmek istediğimiz konumun sol alt kenarına getirerek “e” tuşuna ve sol üst kenarına getirerek tekrar “e” tuşuna basılması gerekmektedir. Orijinal grafik görüntüsüne geri dönmek için ise önce “w” tuşuna ve ardından “a” tuşuna basılması gerekmektedir.



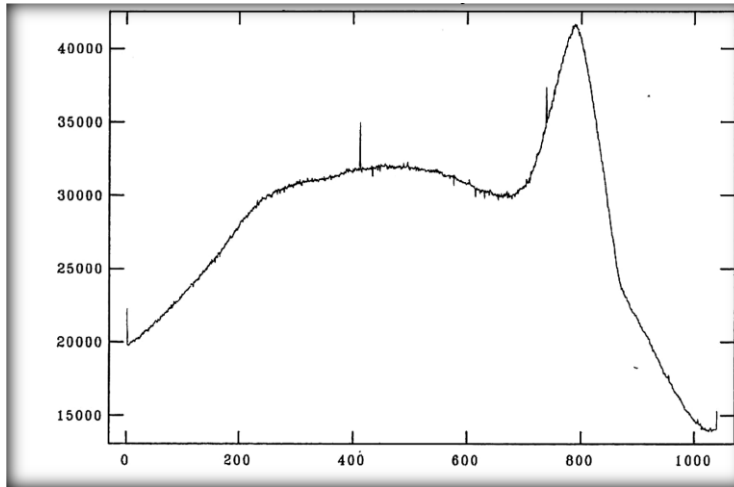
Şekil 3.5: Flat görüntüsünün açıklıklarının bulunduğu konumlar. Kolon bazında çizilmiş olan bu grafite dikkat edilirse açıklıkların bazı bölgelerde çok az veya görülmediği ortaya çıkmaktadır. Bunun temel nedeni flat görüntüsü alınırken kullanılan homojen lambanın kısa dalgaboylarında saldıdığı ışınının az olmasıdır.



Şekil 3.6: Bir önceki şekilde görülen açıklıkların daha yakından görünümü. Bu açıklıklar apflatten taskı için referans olarak kullanılan tayfsal görüntüye ilişkin açıklıklardır ve flat için merkezleme ile açıklık büyüklüğünün değiştirilmesi gerektiğini açık bir şekilde göstermektedir.



Şekil 3.7: Flat görüntüsüne ilişkin açıklık büyüklüğü ve merkezlemenin yeniden gerçekleştirildiği görüntü. Merkezlemenin yapılabilmesi için ya tek tek açıklıkları seçip “c” tuşuna basılması veya “a” tuşu ile bütün açıklıkların seçilmesini sağladıktan sonra “c” tuşuna basılması gerekmektedir. Ardından “a” tuşuna tekrar basılarak bütün açıklıkların seçiminden vazgeçilmelidir.



Şekil 3.8: Flat görüntüsünde dispersiyon (dalga boyu) ekseninin hatalı olarak seçilmesi veya dispersiyon ekseninin belirtilmemiş olması durumunda yukarıdakine benzer bir grafik ile karşılaşılır. Bu durumda işlemleri iptal ederek flat görüntüsüne dispersiyon eksenini 1 girildikten sonra işlemler tekrarlanmalıdır. Bu işlem için `cl> hedit Flat DISPAXIS "1" addonly+ upd+ ver-` şeklinde bir komut verilmelidir.

Flat görüntüsünde dispersiyon (dalga boyu) ekseninin hatalı olarak seçilmesi veya dispersiyon ekseninin belirtilmemiş olması durumunda Şekil 3.8’dekine benzer bir grafik ile karşılaşılır. Bu durumda işlemleri iptal ederek flat görüntüsüne dispersiyon eksenini 1 girildikten sonra işlemler

tekrarlanmalıdır. Bu işlem için `cl> hedit Flat DISPAXIS "1" addonly+ upd+ ver-` şeklinde bir komut verilmelidir.

Açıklık boyutlarının ayarlanması: apall taskı database dizini içerisinde tanımlı bulunan açıklıkları dikkate alarak `zd_Flat` görüntüsünün bir kesit grafiğini ekrana getirecektir. Bu aşamada daha önce gördüğümüz gibi açıklıkların boyutlarını ve merkezlerini değiştirmek mümkündür (Şekil 3.7). Bu evrenin en önemli aşaması normalizasyonun gerçekleştirileceği açıklık boyutlarının mümkün olduğu kadar geniş tutulması olmalıdır, tabi, açıklıkların kenar kısımlarından kaçınılması gerekmektedir. Hangi açıklığın seçili olduğu grafik üzerindeki bilgi satırında görülebilir. Uygun ayarlanmaların yapılmasının ardından “q” tuşuna basılarak bu evreden çıkılır ve aşağıdaki sorgular ekrana gelir,

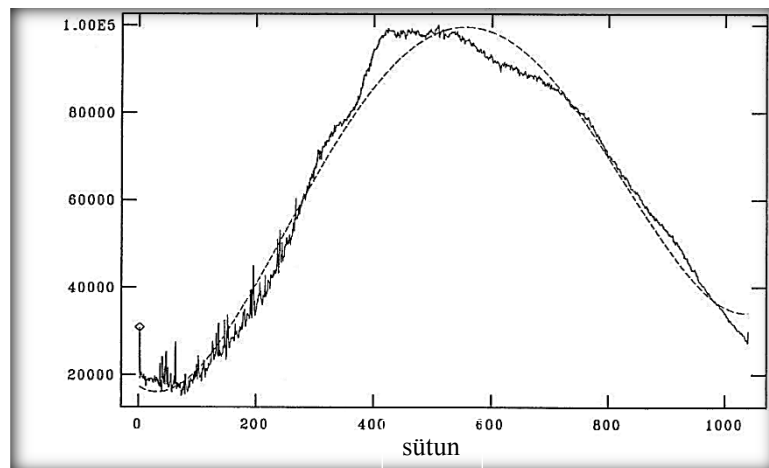
Write apertures for Flat to database (yes) :

Normalize apertures in Flat? (yes) :

Fit spectra from Flat interactively? (yes) :

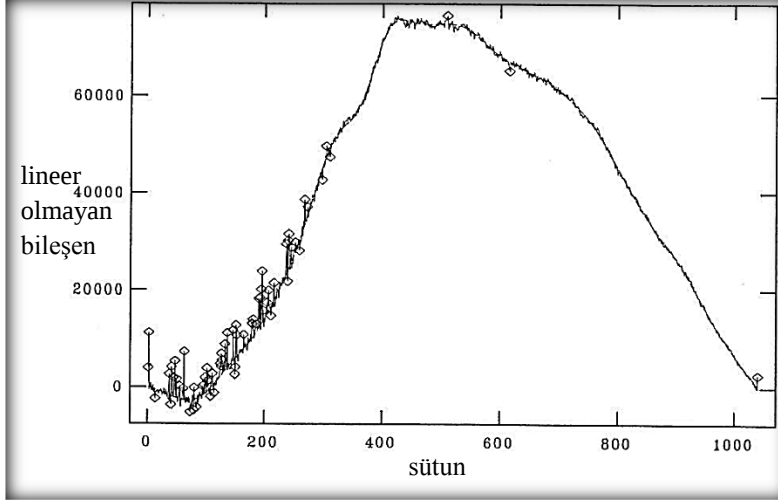
Fit spectrum for aperture 1 for Flat.fits interactively? (yes) :

Normalize işleminin gerçekleştirilmesi: Şekil 3.9’da görülmekte olan grafik normalizasyon işlemini gerçekleştirmek amacıyla ekrana gelecektir. Bu aşamada yapılması gereken işlem büyük boyutlu değişim için (piksel den piksele değişim değil) fit yapılması olmalıdır (Şekil 3.10). Fit için kullanılan fonksiyon türünü değiştirmek için `:func spline3` ve fit için kullanılacak order değişimi için `“:o 17”` şeklinde komutları grafik ekranına vermek mümkündür. Ayrıca fit için aşırı dağılım gösteren noktaların dikkate alınmaması için `:niter 4` bir parametre değişikliği yaparak saçılmış noktalardan kurtulmak mümkündür. Yapılan değişikliklerin ardından “f” tuşuna basarak fit işleminin uygulanması sağlanır. “k” tuşuna basıldığında örnek veri ile yapılan fit değerlerinin birbirine oranına ilişkin değişimini görmek mümkündür (Şekil 3.11). “h” tuşu ile bir önceki ekrana dönüş sağlanır. Yeterli ölçüde fit işlemi gerçekleştirildikten sonra “q” tuşuna basılarak bir sonraki açıklık için fit işlemine geçilir. Ardından benzer fit işlemlerini diğer açıklıklar için gerçekleştirilerek Flat görüntüsünün normalizasyon işlemi bitirilir.

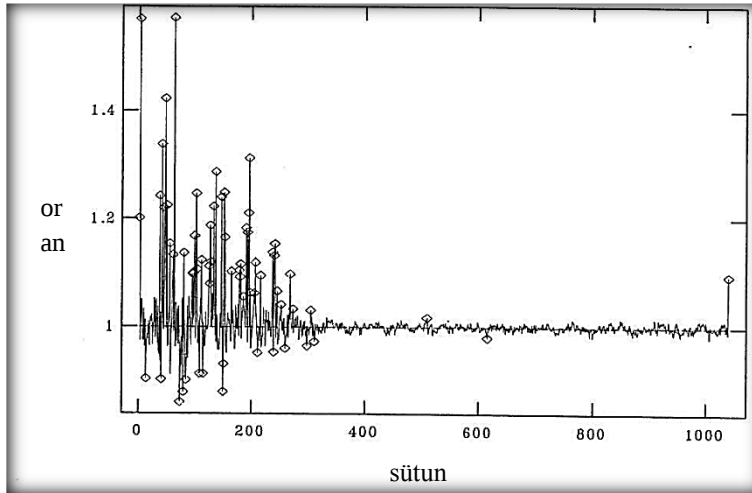


Şekil 3.9: Flat görüntüsünün 1 nolu açıklığının görüntü boyunca değişimi ve başlangıç fit parametreleri ile yapılmış olan fit görülmektedir (kesikli çizgi). Gerçekte silinmiş olan birinci

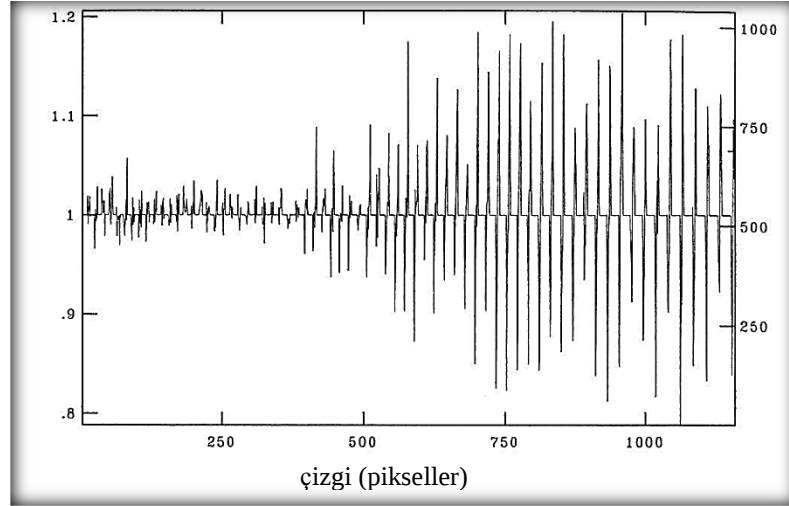
order yarım bir order'dır ve yaklaşık 360'nci kolona kadar tayfsal bilgi bulunmaz. O nedenle daha sonraki order'ların şekli ekranda görüldüğünde biraz farklılık gösterecektir.



Şekil 3.10: spline3 ve order=23 kullanılarak yapılan fit görülmektedir. Buradaki temel amaç flat görüntüsünün ana değişimini modellemektir.

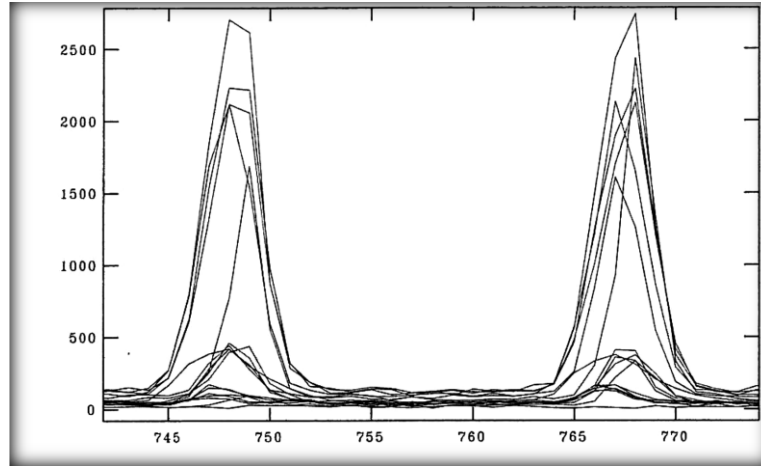


Şekil 3.11: Şekil 3.10'da görülen fit için "k" tuşuna basılarak erişilen değişim görülmektedir. İlk haline geri dönmek için "h" tuşuna basılmalıdır. Kullanılabilir tuşlar $h=(x,y)$, $i=(y,x)$, $j=(x,r)$, $k=(x,d)$, $l=(x,n)$ grafiklerini ekrana getirecektir.

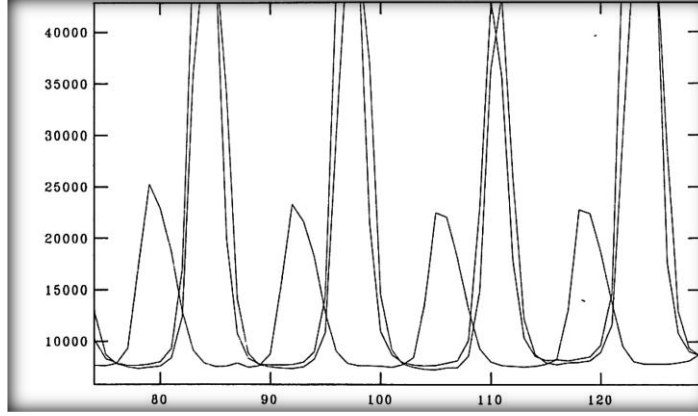


Şekil 3.12: nFlat görüntüsünün implot ile grafiksel gösterimi. İmplot taskı kullanıldıktan sonra “c” tuşuna basılarak kolon bazlı değişim çizilmiştir. Açıklıklar arasındaki piksel değerleri 1’e normalize edilmiştir.

Şekil 3.12’de görülmekte olan grafik nFlat görüntüsünün kolon’a göre değişimidir. Sonuç görüntü flat görüntüsünde bulunan açıklıkların uygulanan fit’e bölünmesi işlemi sonucunda hesaplanmıştır. Açıklıklar arasındaki piksel değerlerinin tamamı 1 değerine sahiptir. Açıklıklar konusunda incelemeye Şekil 3.13 ve Şekil 3.14 örnek verilebilir.



Şekil 3.13: Aynı gece gözlemi yapılmış farklı türden görüntüye ilişkin açıklıkların değişimi. Şekilden açıklık büyüklüklerinin ve konumlarının değişim gösterdiği görülebilir. Piksel sayımlarının yüksek değerlere sahip olması durumunda açıklık genişliği artmakta ve merkezi sola doğru kaymaktadır. Bu durum açıklıkların daha ayrıntılı incelenmesi durumunda görülebilmektedir. Dikkat edilmesi gereken önemli nokta açıklık belirlenmesi işleminin bu tayfsal görüntülerden biri dikkate alınarak yapılıyor olması ve geriye kalan bütün tayfsal görüntüler için belirlenmiş olan açıklığın dikkate alınarak işlemlerin gerçekleştiriliyor olmasıdır.



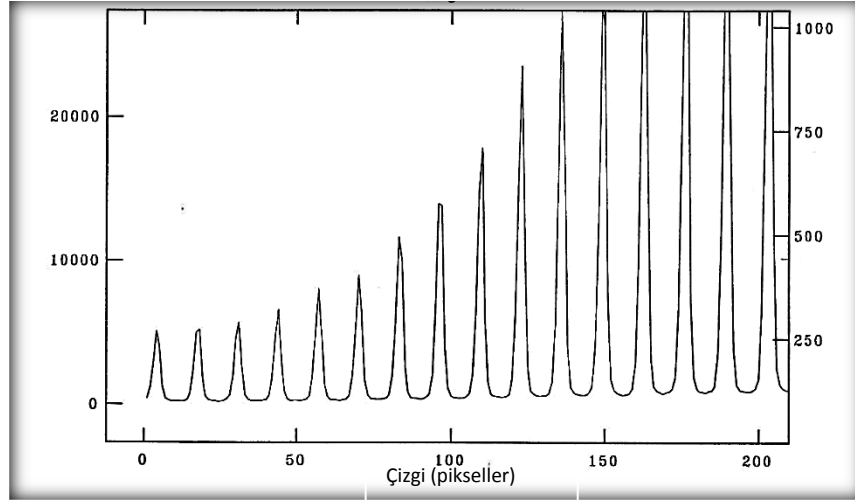
Şekil 3.14. Farklı tarihlerde gözlemi yapılan V821 Cas (Çakırlı, Ö. vd., 2009) yıldızının 500-520 arası kolonlarının değişimine ilişkin bir kesit grafiği. Birbirine yakın olan açıklıklar ard arda gelen gecelerde alınmış gözlemlerden ve yaklaşık 5 piksellik kaymış olan gözlem ise yaklaşık 3 ay sonra alınmış gözleme aittir. Farklı tarih ve zamanlara karşılık gelen gözlemler karşılaştırıldığından açıklıkların konumlarında değişimin bulunduğu ve indirgemelerde aynı gözlem gecesine ait gözlemlerin kullanılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

3.8 Bilimsel Görüntülerin Flat Düzeltmesi

Bu aşamada bilimsel görüntülerin normalize flat (nFlat) görüntüsüne bölünmesi işlemi gerçekleştirilir. Bu amaçla flat düzeltmesi gerçekleştirilecek görüntülerin bir metin dosyasına aktarılmasında yarar olacaktır (daha önce object.lst olarak oluşturulmuştu).

```
cl> epar ccdproc
```

komutunu vererek aşağıdaki gibi düzenleme yapılması gerekiyor. Normalizasyon işleminden önce nFlat görüntüsünün başlığında bulunan ccdmean başlığı incelenmeli ve şayet değil ise 1 değeri atanmalı (eski IRAF sürümlerinde farklı bir değer bu anahtarla bulunabilir). Bu amaçla `cl> hedit nFlat ccdmean 1` komutu kullanılabilir. Artık bilimsel görüntüleri normalize flat görüntüsüne bölme işlemine geçebiliriz. `cl> ccdproc @object.lst` şeklinde bir komut verildiğinde ccdproc taskı obje görüntülerini nFlat görüntüsüne bölme işlemini gerçekleştirecek ve görüntü başlığına bu bilgiyi yazacaktır. Bu aşamada artık görüntülerimiz üzerinde bulunan etkiler giderilmiş olacaktır (Şekil 3.15). İstenmesi durumunda CCD'nin hatalı pikselleri üzerinde düzeltmeler yapılabilir.



Şekil 3.15: Flat düzeltmesi gerçekleştirilmiş (nFlat görüntüsüne bölünmüş) bir tayfta açıklıklarının yapısı görülmektedir. Flat düzeltmesi gerçekleştirilmeden önce bilimsel bir görüntünün kopyasını alarak denemesinde yarar bulunmaktadır. Bu amaçla deneme isimli bir görüntü oluşturulmuş ve üzerinde flat düzeltmesi gerçekleştirilmiştir. Flat düzeltmesinin doğru yapıp yapılmadığı açıklıkların incelenmesi ile ortaya konabilir. Açıklıklar içerisinde ilave çıkıntıların bulunmaması gerekmektedir.

3.9 Kötü Piksel Düzeltmesi (Ne Zaman Yapılmalı?)

Tayfsal veriler çıkarılmadan önce kötü piksellerin giderilmesi gerekebilir. Daha önceden yaratılmış bir kötü piksel dosyası bulunuyorsa bu dosya kullanılarak, aksi durumda kötü piksellere ilişkin koordinatlar belirlenerek işleme devam edilmelidir. Bu amaçla görüntüler üzerinde grafik penceresinde bu piksellerin konumları belirlenmelidir.

```
cl> display Zero 1
cl> implot Zero 1
```

şeklinde komutlardan yararlanmak mümkündür. implot taskı ekrana gelen grafik üzerinde kötü piksellerin bulunduğu yerlere gelerek F6 tuşuna basılması durumunda kursörün bulunduğu koordinatları ekrana gelecektir. Kursörün bulunduğu ekranı dikkate alarak grafik ekranında “:1# (satır için)” ve “:c # (kolon için)” şeklinde komutlar ile kötü pikselin bulunduğu konumun grafiği incelenebilir. Bu noktalar civarında bulunan satır ve sütunların ilave grafikleri çizilerek daha doğru bir belirleme yapmak mümkündür. Bu amaçla “o” tuşuna basıldıktan sonra “:1 #” veya “:c #” şeklinde ilave farklı satır veya sütunların grafiğinin çizilmesi için kullanılır. implot taskından “q” tuşuna basıp çıkarak koordinatları belirlenen kötü pikselleri içeren bir metin dosyası oluşturulur. Bu dosyanın ismi bu uygulamada “bad.pix” olarak kullanılacaktır.

```
cl> edit bad.pix
```

komutu ile bad.pix isimli boş bir metin dosyası oluşturulur. Bu metin dosyasına,

```
cl> type bad.pix
249 249 584 1160
412 412 192 1160
740 740 464 1160
```

Şeklinde koordinatlar yazılır. Burada kullanılan ccd için 3 ayrı kötü kolonun tanımlaması bulunmaktadır, gerçekte ise çok sayıda kötü piksel mevcuttur. Yukarıda verilen koordinatları sırasıyla başlangıç kolon numarası (249), bitiş kolon numarası (249), başlangıç satır numarası (584) ve bitiş satır numarası (1160) şeklinde 249’ncü kolondan başlayan ve CCD’nin son pikseline kadar olan bir kolonun kötü piksel olduğu bildirilmiştir. bad.pix dosyası oluşturulduktan sonra ccdproc taskının parametre setinde aşağıdaki gibi değişiklik yapılarak çalıştırılır. Yapılacak düzeltme orijinal görüntü üzerinde gerçekleştirilir ve aynı isimle kaydedilir. Bu nedenle bu işlemi gerçekleştirmeden önce bir bilimsel görüntünün kopyasını alarak üzerinde bir uygulama yapmak yararlı olacaktır. Bu amaçla,

```
cl> imcopy v821cas01 deneme
```

şeklinde bir komut verilebilir ancak ccdproc taskını “deneme” isimli görüntü üzerinde öncelikle çalışarak işlemlerin doğru yapılıp yapılmadığı incelenmelidir.

```
cl> ccdproc deneme
```

Kötü piksellerin giderildiğinden emin olduktan sonra bütün bilimsel görüntüler için bu işlemi `cl> ccdproc @object.lst` komutu ile tekrarlanabilir.

3.10 Kozmik Işın Etkisi

Sönük yıldızların tayfsal gözlemleri için uzun poz süresi verilmesi gerektiğinden, görüntüler üzerinde çok sayıda kozmik ışın bulunur. Bu etkiyi giderebilmek için çeşitli yöntemler mevcuttur fakat tayfsal gözlemlerde bu etkinin giderilmesinin en son aşamada gerçekleştirilmesi önerilir. Bu etkinin en aza indirilmesi ve en optimum şekilde giderilebilmesi için tayfsal gözlemlerin uzun poz süreleri verilen gözlemlerinden kaçınarak ve zorunlu ise poz süresini birkaç parçaya bölerek yapılmış olan gözlemlerin birleştirilmesi sonrasında indirgemeler gerçekleştirilmelidir. Görüntülerin birleştirilmesi aşamasında kullanılacak fonksiyona bağlı olarak seçilebilecek çeşitli algoritmalar mevcuttur. Bu algoritmalar kullanıldığında kozmik ışın etkileri en başarılı bir şekilde görüntülerinizden giderilebilecektir.

Görüntülerin birleştirilmesi aşamasında dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan biri tayfı alınan cismin çift yıldız olması durumunda önemli büyüklükte yörüngesel hareket yapmamış olması gerekir, aksi durumda Doppler kayması nedeniyle tayftaki çizgilerin *blurlaşması* ortaya çıkar ve bu ise özellikle dikine hız hesabı yapılması düşünüüyorsa hatalı sonuçların elde edilmesine neden olur. Benzer şekilde tayfında kısa süreli değişimler görülen cisimlerin tayflarının da birleştirilmesinde dikkat edilmelidir.

3.11 Bilimsel Görüntülerden Tayfın Çıkarılması

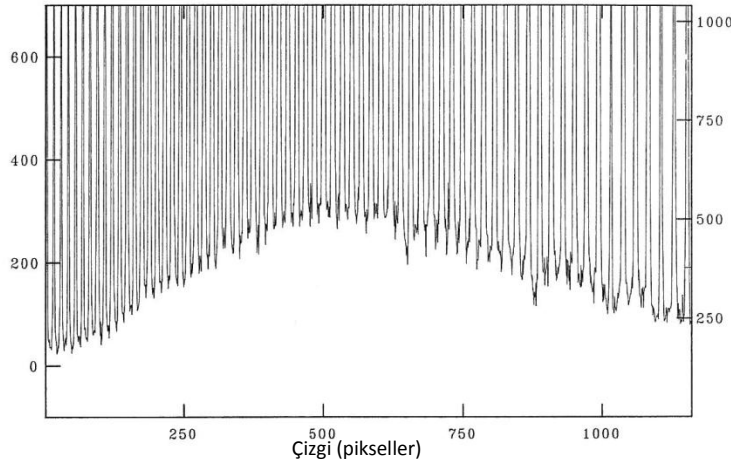
3.11.1 Saçılmış Işık Düzeltilmesi

Bu aşamada ise saçılmış ışığın belirlenmesi basamağına geçeceğiz. Saçılmış ışık yıldız sinyalinin yüksek olduğu ve birbirine yakın olan tayf çizgilerinin arasında kolaylıkla görülebilir. Bu etkinin birçok sebebi vardır: toz zerrecikleri, optik bozukluklar, sahte çizgiler bunlara örnek olabilir. Bu etki büyük ölçüde kaldırılabilir. Saçılmış ışığın belirlenmesi için kullanılan paket echelle, kullanılan task ise apscatter 'dır. Bir gözlem gecesinde gözlenen en parlak yıldızı yazıp daha sonra onu referans olarak kullanarak diğerlerinin de bu etkiden kurtulmasını sağlamak temel amaçtır. En parlak yıldızı seçmemizin sebebi ise tayfının saçılan ışıktan en fazla etkilenmesidir.

Tayfın açıklık içerisinde çıkarılması aşamasından önce görüntülerde mevcut ışık saçılmasının önemli olup olmadığının denetlenmesi gerekebilir. Bunu öğrenmenin yolu tayfın çıkarılacağı açıklıklara ilişkin bölgelerin incelenmesi ile mümkündür. *implot* taskı ile tayfsal görüntülerden birinin bir kesit grafiği çizilerek saçılmış ışık etkisinin önemli olup olmadığı incelenmelidir (Şekil 3.16).

```
cl> imred
cl> echelle
cl> implot vega (merkezi satırın grafiği çizilecektir)
      :y -100 700
(y eksenini daha açarak açıkların alt kısımları daha iyi görülebilir)
```

Açıklıkların alt bölgeleri yaklaşık 550 sayımlık bir değişim göstermektedir.



Şekil 3.16: vega görüntüsünün kolon kesit grafiği. Y eksen -100 ile 700 aralığına genişletilerek çizilmiştir.

Eşel türü tayflarda bahsi geçen saçılma açıklıklarının altında kalan alanda mevcut olan piksel değerlerinden kaynaklanır. Dikkat edilirse Şekil 3.16’da da görüldüğü gibi merkeze doğru sayım değerleri 200’e ulaşmakta CCD’nin kenarlarına doğru ise bu değer çok daha küçük değerlere düşmektedir. Bu aşamada saçılmış ışık etkisinin yapılmak istenen çalışma için önemli olup olmadığına karar verilmesi gerekmektedir. Eğer ışık saçılmasını gidermek isterseniz bu durumda *apscatter* taskı üzerinde aşağıdaki değişikliklerin yapılması gerekmektedir. Işık saçılmasının önemli olmadığını düşünüyorsanız bu durumda bu aşamayı geçebilirsiniz ve bir sonraki adımda gösterildiği gibi tayfın çıkarılması işlemine geçebilirsiniz.

Saçılmış ışık etkisinin giderilmesi durumunda açıklıkların alt kısımlarında kalan şiddet değişimleri giderilmiş olacaktır. Fakat bu etkiyi gidermenin bir başka yöntemi ise açıklıklar arasında kalan bölgeden arkaplan gök değerlerinin belirlenerek çıkarılması durumunda saçılmış ışık etkisi ile birlikte bir düzeltme gerçekleştirilecektir.

```
cl> epar apscatter
```

Apsscat1 ve *apsscat2* parametreleri bir dizi gizli parametreyi bünyesinde barındırır. Amaç CCD görüntüsünün hem satır hem de kolon olarak açıklıklar altında kalan alanın modellenmesi ile gerçekleştirilir ve bu amaçla her iki yönde saçılmış ışık fit’i gerçekleştirilir. Bu parametrelerin değiştirilebilmesi için imleci *apsscat1* (veya *apsscat2*) parametrelerine getirdikten sonra “:e” komutu verilmelidir. Bu komut ile seçili parametreye ilişkin ek parametre listesi ekrana gelecektir. Aşağıdaki gibi bir düzenleme yaparak kullanabilirsiniz. Uygun parametre değişikliklerinin ardından taskı çalıştırabilirsiniz. Aşağıda komut satırında bu komutun çalıştırılması gösterilmiştir.

cl> apscatter vega sub_vega

apscatter taskı size aşağıdaki sorguları ekrana getirecektir, bu sorgulara “yes” cevabını vererek onaylayınız.

Recenter apertures for vega? (yes) :

Edit apertures for vega? (yes) :

Task ekrana girdi olarak kullanılan görüntünün merkezi bölgesinden bir kesit grafiği ekrana getirecek ve bu grafik üzerinde daha önce tanımlanmış olan açıklıklar yer alacaktır. Bu aşamadaki önemli nokta açıklıkların yeterince büyük seçilerek yıldıza ilişkin profilin tamamen kapsayacak şekilde ayarlanmasıdır. Takip eden adımda açıklıklar arasında kalan bölgeye fit işlemi gerçekleştirilecektir. Açıklıklar arasında geçiş için + veya – tuşlarını kullanabilir ve merkezi bölgenin grafiğini çizebilirsiniz. “a” tuşuna basarak *ALL* modu aktif hale getirilerek aynı anda bütün açıklıkların boyutunu “l” ve “u” tuşlarını kullanarak ayarlayabilirsiniz. Uygun açıklık boyutunu seçtikten sonra “q” tuşuna basarak bir sonraki adıma geçilir. Task size 5 adet sorgu ekrana getirecektir ve bunların tamamına “yes” cevabı vererek onaylayınız.

Write apertures for vega to database (yes) :

Subtract scattered light in vega? (yes) :

Fit scattered light for vega interactively? (yes) :

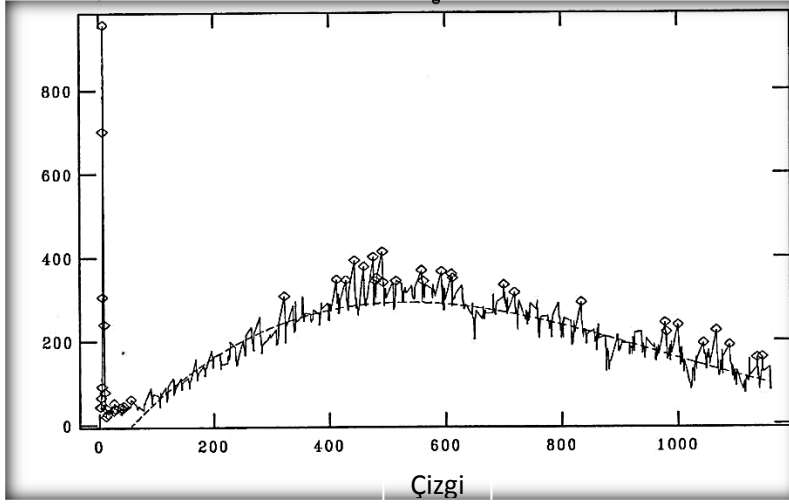
Smooth the scattered light in vega? (yes) :

Smooth the scattered light for vega interactively? (yes) :

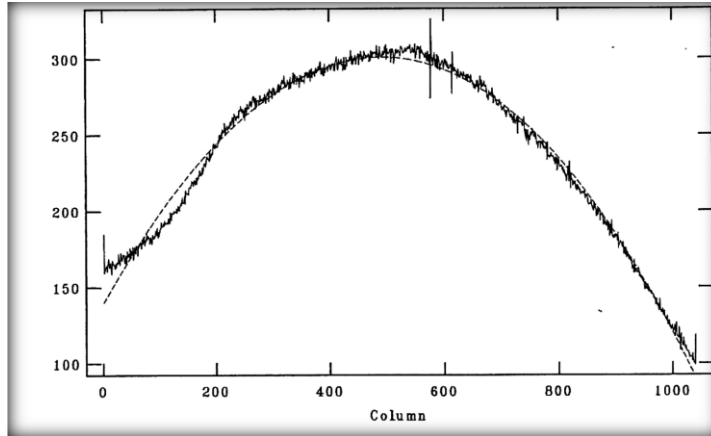
Bu aşamada ekrana Şekil 3.17’de görüldüğü gibi yeni bir grafik ekrana gelecektir. Bu grafik bir önceki adımda bulunan açıklıklar içerisinde bulunan yıldız profilinin çıkarıldığı bir grafikdir ve üzerinde açıklıklar arasındaki veri doğrusal interpolasyon ile hesaplanmış durumdadır. Şekilde görülen çıkıntılı kısımlar yıldız profilinin iyi çıkarılmadığı bölgeleri göstermektedir. Grafik üzerinde görülen baklava şekilleri task tarafından fit işlemi gerçekleştirilirken dikkate alınmayacak noktaları göstermektedir. Bu aşamada kullanılan parametrelere göre yapılan fit kesikli çizgi ile grafik üzerinde görülmektedir. Grafik üzerinde aşırı sapmış noktalar bulunuyorsa bu noktaları imleci noktanın üzerine getirdikten sonra “d” tuşuna basarak silebilirsiniz. “s” tuşunu kullanarak yapılacak fit bölgesini sınırlayabilir veya belirleyebilirsiniz. İmleci istenen bölgeye getirdikten sonra “s” tuşuna bastıktan sonra diğer bölgeye imleci getirerek “s” tuşuna basınız. Bu durumda sizin belirlediğiniz bölgeye fit işlemi yapılacaktır. Bu aşamada fonksiyon türünü ve derecesini değiştirmek mümkündür. Uygun ayarlamalar yaptıktan sonra “f” tuşuna basarak fit’in güncellenmesi sağlanır. Saçılmış ışık için uygun fit gerçekleştirildikten sonra “q” tuşuna basarak bu adımdan çıkabilirsiniz. Ardından task aşağıdaki sorguyu ekrana getirecektir,

Command (quit, buffer <value>, line <value>) :

Başka satırlar için de incelemeler yapabilmek için “line #” yazarak geçiş yapabilir veya “q” tuşuna basarak bu işlemi sonlandırabilirsiniz. *apscatter* taskı görüntünüzde mevcut bütün satırlar için kendisi fit işlemi gerçekleştirecektir.



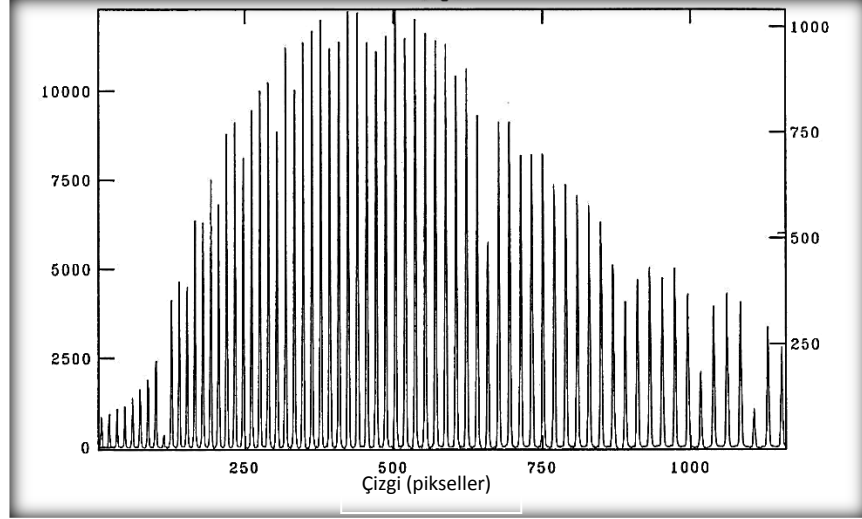
Şekil 3.17: Açıklıklar arasında sayıların değişimi ve üzerine yapılan fit görülmektedir.



Şekil 3.18: Son aşamada ışık saçılması dalgaboyu eksenini boyunca değişimi ve yapılan fit görülmektedir. Henüz fit işlemi tamamlanmamıştır.

Bu aşamadan sonra Şekil 3.18’de görülen ışık saçılmasının dalgaboyu eksenini boyunca değişimini gösteren bir grafik ekrana gelir. Bu grafik üzerinde saçılmış ışığın modellenmesi gerekmektedir. Burada “:o 9” ve “: niter 2” seçilerek yapılan fit görülmektedir. Kesikli çizgi ile gösterilen fit görüntü üzerindeki noktaların üzerinden geçmektedir. Bu aşama bir önceki adımdaki gibi başka kolonların grafikleri incelenebilir ve fit işlemi tekrarlanabilir. “q” tuşuna basarak ışık saçılmasının belirlenmesi işleminden çıkılır. Task tarafından çıktı olarak

sub_vega isimli bir dosya bulunduğunuz dizine kaydedilmiş durumdadır. Eğer sub_vega isimli görüntünün *implot* ile grafiğini çizerseniz Şekil 3.19’da görüldüğü gibi ışık saçılmasının giderilmiş olduğu bir grafik ekrana gelecektir. Bu aşamada eğer hatalı fit gerçekleştirilmiş ise bu durumda açıklıkların alt kısımları şekildeki gibi düzgün olmayacaktır. Hatalı görüntüyü silerek işlemi tekrarlayabilirsiniz.



Şekil 3.19: Işık saçılmasının giderilmiş olduğu yıldız tayfına ilişkin görüntü.

3.12 Tayfın Çıkarılması

Harici etkilerin (bias, dark, flat, saçılmış ışık) giderilmiş olduğu tayfsal görüntülerden tayfın çıkarılması işlemi gerçekleştirilebilir. Bu aşamada iki farklı yöntem kullanılabilir. Bunlardan ilki *apall* taskının kullanılarak tayfın çıkarılmasıdır. İkincisi ise *doecslit* taskı kullanılarak bu işlemin yapılmasıdır. Bu örneğimizde *apall* taskı kullanılarak tayfın çıkarılması gerçekleştirilecektir. *apall* taskı *cl> epar apall* ilişkin parametre değişiklikleri yapılabilir.

apall taskında ağırlıklandırma yapabilmek için iki seçenek bulunur. “none” seçeneği ile doğrudan seçili olan açıklıklar içerisinde kalan aynı dispersiyon eksenine sahip piksel değerlerinin toplanması gerçekleştirilir. Ayrıca bu yöntem en hızlı işleyen seçenektir. “variance” seçeneği ise piksellerin değerlerinin varyans değerine göre ağırlıklandırılarak toplama işlemini gerçekleştiren bir yöntemdir.

Varyans seçeneği veriye ilişkin değerlere ve *gain* ile *readnoise* parametrelerini dikkate alan poisson/ccd modeline bağlı olarak çalışır. Bu nedenle eğer varyans seçeneği kullanılacaksa *apall* taskında bulunan okuma gürültüsü değeri (*rdnoise*) ve birim ADU başına elektron sayısı olan kazanç (*gain*)

değerlerinin girilmesi gerekmektedir. Örneğimizde kazanç için ($gain=0.96$) ve okuma gürültüsü değeri için ($rdnoise=4.5$) elektron değerleri kullanılmıştır. Bu değerler kullanılan CCD için istatistiksel olarak hesaplanmış değerlerdir. Gözlemlerde farklı CCD'nin kullanılması durumunda ya üretici firmanın verdiği değerleri ya da sizin belirleyeceğiniz değerleri kullanmanız gerekmektedir. Örneğimiz için arkaplan gök değerleri için “fit” seçeneği seçilmiştir ki bunun anlamı tayfin çıkarılması aşamasında gök etkisinin çıkarılacağı anlamına gelmektedir. Gök değerinin hesaplanmasında *none*, *average*, *median*, *minimum* ve *fit* seçenekleri kullanılabilir. Arkaplan gök değerinin çıkarılmasını istemiyorsanız bu parametreyi “none” olarak değiştirmelisiniz. Artık *apall* taskını ilgilendığımız tayfsal görüntü için çalıştırabiliriz.

cl> apall sub_vega komutu verildiğinde task tarafından aşağıdaki sorgular ekrana gelecektir.

Recenter apertures for sub_vega? (yes) :

Edit apertures for sub_vega? (yes) :

Bu sorgulara *yes* şeklinde onaylayarak geçiniz ve grafik üzerinde açıklıkların merkezlemelerinin doğru olup olmadığını inceleyiniz. Birinci sorgu tayfin çıkarılacağı açıklıkların tanımlanması amacıyla sorulur. Ekrana *nsum* parametresi ile belirlenen satırların ortalama değerlerinin bulunduğu bir grafik gelecektir. İyi bir profilin görülebilmesi için yeterince satırın ortalaması alınmış olmalıdır. Eğer profiller iyi görülüyorsa bu durumda “:nsum #” ile satır sayısını arttırabilir veya değiştirebilirsiniz. Bu durum açıklıklar içerisindeki sayım değerlerinin yüksek olmaması durumunda yararlı olacaktır.

Açıklıklar arasında + veya – tuşlarını kullanarak geçiş yapabilirsiniz. ALL seçeneği ile aynı anda bütün açıklıkların boyutunu değiştirebilmek mümkündür. Bunun için “a” tuşuna basılması yeterlidir. “:width” şeklinde bir komut ile profili inceleyebilir (FWHM değerinin yaklaşık iki katı kadar olmalıdır). Açıklık merkezini imleci açıklığın üzerine getirdikten sonra “c” tuşuna basarak değiştirebilir, “l” tuşu ve “u” tuşunu sırasıyla kullanarak açıklığın büyüklüğünü değiştirebilirsiniz. Ayrıca “:cen #”, “:low #” ve “:upp#” komutlarını vererek merkezleme, alt ve üst sınır değerlerini değiştirebilirsiniz. Bütün bu parametreler grafik üzerinde en alt satırda size gösterilecektir. Alt ve üst sınır değerleri piksel değeri olarak merkezi bölgeye göre belirlenir. “a” tuşuna basarak eşzamanlı düzeltme işleminden çıkabilir ve açıklıkları tek tek inceleyebilir ve yeniden ayarlamalar yapabilirsiniz. Son olarak bütün ayarlamalar yapıldıktan sonra “q” tuşuna basarak bu açıklık belirleme işleminden çıkılır ve aşağıdaki sorgular ekrana gelir,

Write apertures for sub_vega to database (yes) :

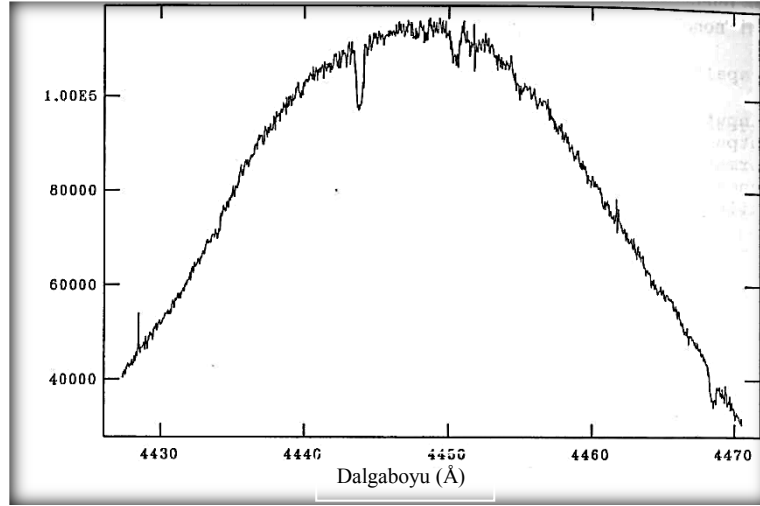
Extract aperture spectra for sub_vega? (yes) :

Review extracted spectra from sub_vega? (yes) :

Sırasıyla tanımlı açıklıklar içerisinde kalan tayfsal verilerin çıkarılma işlemi gerçekleştirilir ve ardından,

Review extracted spectrum for aperture 1 from sub_vega? (yes) :

Sorgusu ekrana gelecektir. Bu aşamada 1 nolu açıklık içerisinde çıkarılan tayf grafiksel olarak ekrana gelecektir.



Şekil 3.20: 53 nolu açıklıktan çıkarılan tayf bilgisi.

Birinci açıklıktan itibaren sırasıyla bütün açıklıklar içerisinde çıkarılan tayfsal bilgi ekrana gelecektir (Şekil 3.20). Bu aşamada herhangi bir problemin bulunup bulunmadığı incelenmelidir. “q” tuşuna basarak bu işleminden çıkılır. *apall* taskı bu işlemin sonucunda bulunan dizin içerisine *format=echelle* seçimi yapılmış ise *sub_vega.ec.* şeklinde isimlendirdiği görüntüler oluşturacaktır. Bu görüntü içerisinde toplam 69 açıklığa karşılık gelen tayf bulunur. Bu bilgiyi,

```
cl> imhead sub_vega.ec.fits
sub_vega.ec.fits[1040,69] [real] : vega
```

komutu ile görüntünün boyutunu inceleyebilirsiniz. *apall* taskının çıktı formatı, parametre setinde bulunan *format* başlığının aldığı değere göre değişecektir. Bu alana *onedspec|multispec|strip* şeklinde seçimlerden birini yazabilirsiniz. *splot* taskı kullanılarak tayfsal görüntüyü incelemek mümkündür, bunun için; *cl> splot sub_vega.ec* şeklinde bir komut vermek yeterli olacaktır. Komut verildiğinde size hangi açıklığa ilişkin tayfın grafiğinin çizileceğine ilişkin bir sorguda bulunacaktır. Sorguya cevap vermeden *return* tuşuna basarsanız ilk açıklığın grafiğini çizecektir. Diğer açıklıklara ilişkin tayflara “(“ ve “)” tuşlarına basarak geçebilir, “g” tuşu ile başka bir tayfın çizilmesi için dosya adının girileceği bir sorgu ekrana gelecektir.

3.13 Mukayese (Lamba) Tayfının Çıkarılması

Bir sonraki adım lamba tayfının çıkarılmasını içermektedir. *apall* taskını aşağıdaki parametre değişiklikleri yapılarak çalıştırılması gerekmektedir. Bu işlemlerde *interactive*, *find*, *recenter*, *edit*, *trace*, *extras* ve *review* parametrelerinin tamamı “no” olarak kullanılmalıdır. Ayrıca dalgaboyu kalibrasyonunda kullanılacak referans tayfı, objemiz için kullanacağımız lamba tayfı olmalı ve *background* ile *weights* parametreleri none olarak ayarlanmalıdır.

```
ec> epar apall
```

Apall taskının parametreleri ayarlandıktan sonra etkileşimli olmayan mod’da çalıştırılması gerekmektedir.

```
cl> apall thar01
```

apall taskı, referans olarak verilen ve açıklıkların tanımlı olduğu görüntüyü kullanarak aynı açıklıklar içerisinde kalan fakat thar01 görüntüsünden tayfin çıkarılması işlemini gerçekleştirerek thar01.ec isimli görüntü üretecektir. Aynı anda birden fazla lamba tayfı için bu işlemi uygulamak mümkündür. Bu görüntüler tayfsal gözlemlerimizin dalgaboyu kalibrasyonunda kullanılacaktır.

3.14 Dalgaboyu Kalibrasyonu

Dalgaboyu kalibrasyonu’nun üç adımı bulunur. Birinci adımda etkileşimli olarak *ecidentify* taskını kullanarak bir önceki adımda üretilen arc lamba tayflarındaki salma çizgilerinden yararlanarak hangi piksele hangi dalgaboyunun düştüğünün belirlenmesi gerekmektedir. Bu işlem ile piksel-dalgaboyu tanımlaması gerçekleştirilir ve ardından her açıklık için yapılan tanımlamalar kullanılarak dalgaboyu çözümü gerçekleştirilmelidir. Dalgaboyu çözümü *ecidentify* taskının bir çıktısı olacak ve “database” isimli dizin içerisine bir metin dosyası olarak kaydedilecektir. Bu aşama en zahmetli olan aşamalardan biridir ve çok dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir.

İkinci adımda obje tayflarında hangi arc lamba tayflarının kullanacağını belirlenmesi olacaktır. Bu işlem *refspectra* taskı ile gerçekleştirilir ve basit bir şekilde görüntü başlığına REFSPEC1 ve REFSPEC2 isimli başlıklar ekleyerek dalgaboyu kalibrasyonunda kullanılacak lamba tayfının ismi yazılır. Üçüncü adımda *dispcor* taskı kullanarak obje tayflarının başlığında yazılı olan referans lamba tayflarına göre dalgaboyu çözümünün obje tayfına aktarılması işlemi gerçekleştirilecektir. Bu işlem etkileşimli olmadan çalışır.

Birinci Adım: Arc labma tayflarında bulunan salma çizgilerinin dalgaboyu tanımlamasını yapmak ile başlanır. *ecidentify* (*imred.echelle* paketinde) taskında aşağıdaki gibi parametre değişiklikleri yapılır. Bu taskın ilk çalıştırılması en fazla

zaman alan bir işlemi karşınıza getirecektir. Gerekli parametre değişiklikleri ile taskı çalıştırınız.

```
cl> imred
im> eçhelle
ec> epar ecident
ec> ecident thar1.ec
```

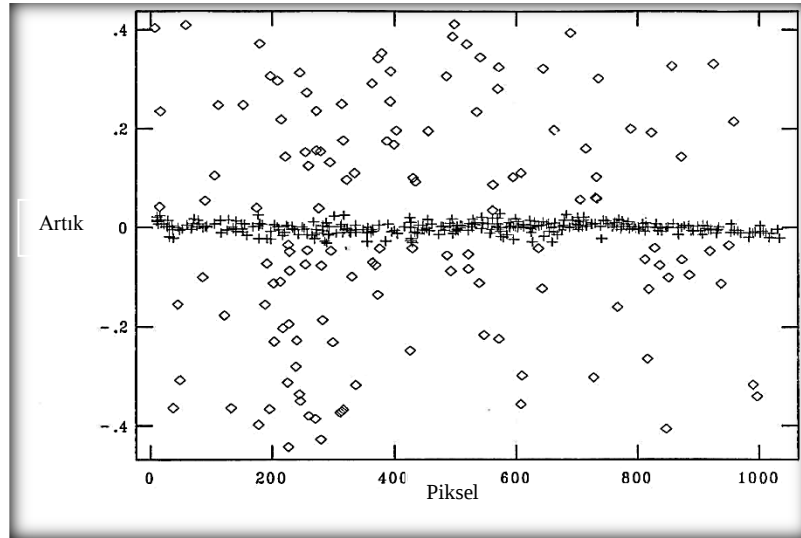
Th-Ar lamba tayfına ilişkin bir çizgi atlası noao tarafından IRAF programının içerisinde bulunmaktadır. Bu aşamada en zor işlerden birisi Th-Ar lamba tayfına ilişkin salma çizgilerinin hangisi olduğunun belirlenmesidir. Çizgilerin doğru bir şekilde tanımlanması gerektiğinden bu işlem için daha önce oluşturulmuş çeşitli atlaslar kullanılabilir. IRAF içerisinde bulunan diğer lamba tayflarına ilişkin bilgilere,

```
cl> type linelists$README | page
```

şeklinde bir komut ile ulaşılabilir.

ecidentify taskı çalıştırıldığında arc lamba tayfına ilişkin ilk açıklık ekrana gelecektir (Şekil 3.21). Grafikte *x* eksenini piksel değerine sahiptir. Kullandığınız çizgi atlasına göre grafik *x* ekseninde ters bir şekilde görülebilir. Bu durumda çizgilerin tanımlanması daha zor olacaktır. *X* eksenini ters çevirmek için “w” ardından “l” tuşlarına basılabilir. İstenilen herhangi bir açıklığa gitmek için “o” tuşuna bastıktan sonra açıklığın numarasını girmeniz yeterli olacaktır. Buradaki önerimiz en ortada bulunan açıklıktan çizgi tanımlamasına başlamanız olacaktır. Çizgi tanımlaması yapabilmek için belirlediğiniz çizginin üzerine imleci getirdikten sonra “m” tuşuna basmanız ve ardından tanımladığınız bu çizginin dalgaboyu değerini Angstrom birimlerinde girmeniz gerekmektedir. Bu işlemin ardından tanımlanmış olan bu çizginin üzerinde uzun bir çizgi ortaya çıkacaktır, bunun anlamı bu çizgiye bir dalgaboyu değerinin atandığıdır. Aynı açıklıkta tercihen 3 veya 4 ayrı çizginin dalgaboyu tanımlamasını yapmanız yararlı olacaktır. Bu tanımlamanın ardından diğer açıklıklara giderek ki bu amaçla “k” ve “j” tuşlarını kullanabilirsiniz, çizgi tanımlamalarına devam edebilirsiniz.

Üzerinde çalıştığınız açıklıkta çizgi tanımlamasını gerçekleştirdikten sonra “f” tuşuna basarak mevcut fit’in daha iyi olup olmadığını kontrol ediniz. Eğer artıklarda bir yöne doğru değişim olduğunu görüyorsanız xorder değerini bir sayı arttırarak fit’i yenileyiniz. Bu işlem için “:xorder #” şeklinde bir komutu grafik üzerinde vermeniz ardından “f” tuşuna basmanız yeterli olacaktır. Genellikle dalgaboyu çözümlerinde yorder değeri 2 olacak şekilde ayarlanır ve çoğunlukla 3 değerinden büyük bir değer kullanılmasından kaçınılır. Benzer şekilde “:yorder #” şeklinde bir komut ile değeri değiştirilebilir. Fit için kullanılan fonksiyonu değiştirmek için ise *:function legendre* gibi bir komut vermek gerekmektedir. Grafik üzerinde normal dağılımdan fazla ayrılmış noktaların üzerine imleci getirdikten sonra “d” tuşuna basılması ile o noktaların silinmesini ve “u” tuşuna basarak ise silinen noktanın geri alınması gerçekleştirilir. Yapılan fit’den memnun iseniz bu durumda “q” tuşuna basarak diğer açıklıklar için daha fazla çizginin tanımlamasına devam edebilirsiniz. Bu şekilde bütün açıklıkların incelenmesi gerekmektedir.



Şekil 3.22: ThAr lambda tayfı kullanılarak gerçekleştirilmiş dalgaboyu kalibrasyonu görülmektedir. Bu kalibrasyonun rms değeri 0.01 düzeyindedir ve dalgaboyu kalibrasyonu için kabul edilebilir büyüklüktedir. Xorder ve yorder değerleri 4 olarak alındığında rms=0.0051 değerine ulaşmaktadır.

Artık bilgisayarın kendisinin otomatik olarak çizgileri bulması zamanı gelmiştir. *locate*, “1”, komutu ile taskın veritabanında bulunan çizgi listesinde tarama yaparak sizin tanımladığınız çizgilere yakın başka çizgilerin bulunup bulunmadığını arar ve bulduklarını grafik üzerinde işaretlemesini yapar. Bu işlemi gerçekleştirmeden önce tanımlamada kullanılacak Angstrom biriminde bir dalgaboyu aralığının girilmesi gerekmektedir. Bu değişiklik *match* parametresi ile gerçekleştirilir ve genellikle rms değerinin 2-3 katı kadar alınır. Program bu seçim ile ilk açıklık içerisinde bulunan çizginin dalgaboyunu dikkate alarak *match* ile girilen değer +/- yöresinde çizgileri arayacaktır. Eğer *match* değeri çok büyük seçilmiş ise bu durumda çizgi tanımlamasını doğru yapamayabilir. “x” tuşuna basıldığında yapılan fit için farklı grafik seçeneklerine ulaşmak mümkündür.

Mevcut *rms* değerini dikkate alarak “:match #” komutu ile değişiklik yaptıktan sonra “1” tuşuna basarak diğer çizgilerin aranması sağlanır. Bu işlem ile otomatik olarak arc lamba tayfında çizgilerin tanımlanması gerçekleştirilir. Birkaç saniye sonra farklı açıklıklarda ilave çizgilerin tanımlandığını farkedebilirsiniz. “f” tuşuna basarak yeniden fit’i gerçekleştirebilirsiniz. Bu durumda bir önceki fit’de gördüğünüzden çok daha fazla noktanın bulunduğu bir fit görebilirsiniz. Fit’i daha iyileştirmek için çeşitli parametrelerde değişiklik yapabilirsiniz. Genel olarak *rms* değerinin 0.1-0.2 piksel olması durumunda iyi bir dalgaboyu çözümünün yapıldığı kabul edilir. Yapılan fit’in yeterli olduğunu düşünüyorsanız “q” tuşuna basarak bu aşamadan ve ardından tekrar “q” tuşuna basarak bu taskın işlemini sonlandırabilirsiniz. Karşınıza çıkacak olan, *Write feature data to the database (yes)* : sorusunu onaylamanız gerekmektedir. Daha önce elde edilen çözüm bu durumda *database* isimli dizin altına bir metin dosyası olarak kaydedilecektir. Artık diğer arc lamba tayflarının dalgaboyu çözümlerine geçebiliriz. Daha önceden bir lamba tayfının dalgaboyu tanımlaması gerçekleştirildiğinden bu tanımlamayı diğer lamba tayfları için referans dosyası olarak kullanabiliriz. Bir sonraki lamba tayfının dalgaboyu çözümü için, *ec> ecident thar02.ec* şeklinde bir komut vermek yeterli olacaktır. Daha önce x-ölçeğinin piksel olarak karşılık gelen dalgaboyu çözümü elimizde olduğundan “:read thar01.ec” şeklinde bir komut vererek bu çözümün okunması sağlanabilir. Komutun ardından x-ekseninde Angstrom birimi olan ve thar01.ec için tanımlanmış çizgilerin işaretli olduğu bir grafik ekrana gelecektir. Çizgilerin konumları küçük oranlarda kaydırılmış bir şekilde karşınıza gelebilir. Büyük olasılıkla farkedilemeyecek oranlarda işaretler salma çizgilerine göre kaymış durumda bulunacaktır. Bir sonraki adımda daha önce tanımlanmış olan bu çizgilerin yeniden merkezlenmesi olacaktır. Grafik üzerinde iken “a (all)” tuşuna bastıktan sonra “c (center)” tuşu ile çizgi konumları yeniden merkezlenecektir. Bir süre program işlem yapmasının ardından bütün tanımlamalar yeni lamba tayfı için kaydırılacaktır. Bu işlemin ardından “f” tuşuna basarak yeniden fit işlemine geçilerek fit’in iyileştirilmesi yapılır. Yeterli bir fit gerçekleştirildikten sonra “q” tuşuna basarak fit’ten çıkılır. Diğer lamba tayfları için de benzer işlemler gerçekleştirilerek lamba tayflarına ilişkin çözümler elde edilir. Yapılan dalgaboyu tanımlamalarının tamamı database isimli dizin içerisine kaydedilmiş olacaktır.

İkinci Adım: Arc lamba tayflarının obje tayflarına eşleştirme işlemi için çeşitli yöntemler bulunur. Eğer gözlemlerinizde sadece bir tane arc lamba tayfı bulunuyorsa bu durumda *refspec* taskında aşağıdaki değişiklikleri yaparak işlemlere devam edebilirsiniz. Bunun için reference parametresine thar01.ec yazdıktan sonra bütün tayflarınız için uygulanmasını sağlayabilirsiniz. Taskın işaretlenmesi sırasında herhangi bir referans tayfının obje tayflarına atanmadığına dair bilgi ekrana geliyorsa, taskın parametreleri kontrol edilmeli ve özellikle *sort* parametresi ile *time* parametreleri birbirine uygun hale getirilmelidir.

```
ec> epar refspec
ec> refspec *.ec.fits
```

Komutun işletilmesinin ardından aşağıdaki gibi bir sorgu ekrana gelecektir,

```
[sub_vega01.ec] refspec1='thar01.ec'
```

Referans tayfının onaylanması için return tuşuna basarak onaylayınız. Eğer gece içerisinde çok sayıda arc lamba tayfı alındıysa bu durumda hangi tayf için hangi arc lamba tayfının kullanılacağını tanımlayacak bir tablo aşağıdaki gibi hazırlanabilir,

```
ec> edit ref.table
    sub_vega01.ec thar01.ec
    sub_vega02.ec thar01.ec, thar03.ec
    sub_vega03.ec thar03.ec, thar04.ec
    sub_vega04.ec thar05.ec
    ...
```

İlk satırda sub_vega01.ec tayfı sadece thar01.ec lamba tayfı kullanılarak dalgaboyu kalibrasyonu yapılacağı, sub_vega02.ec ve sub_vega03.ec için iki ayrı lamba tayfının eşit ağırlıklı olarak kullanılacağı belirtilmiştir. *refspec* taskına ilişkin parametre setinde *reference* parametresine karşılık ref.table şeklinde değiştirilmesinin ardından task çalıştırıldığında görüntülerin başlıklarına bu tanımlamalar yazılacaktır.

```
ec> epar refspec
ec> refspec *.ec.fits
```

Üçüncü Adım: *dispcor* taskını çalıştırmadan önce hem girdi için kullanılacak tayfsal görüntüler hem de çıktı görüntü tayflarınız için bir liste mevcut olmalıdır. Files komutunu böyle bir liste oluşturmak için aşağıdaki gibi kullanabilirsiniz.

```
ec> files sub*.ec.fits > inlist
ec> edit inlist          (dosya içerisinde değişiklik gerekiyorsa)
```

Uygun görüntü isimlerini içeren bir liste oluşturduysanız bu dosyanın bir kopyasını örneğin *dclist* şeklinde bir isimlendirme ile kopyasını alarak içerisindeki dosya isimlerinde değişiklik yapabilirsiniz. Bu şekilde dalgaboyu kalibrasyonu yapılmış görüntülerin isimlendirilmesinde bu liste içerisindeki isimler kullanılacaktır.

```
ec> copy inlist dclist
ec> edit dclist
```

Girdi ve çıktı dosya isimlerinin sayısının aynı olmasına dikkat edilmelidir. Ardından *dispcor* taskının parametreleri aşağıdaki gibi değiştirildikten sonra task çalıştırılmalıdır.

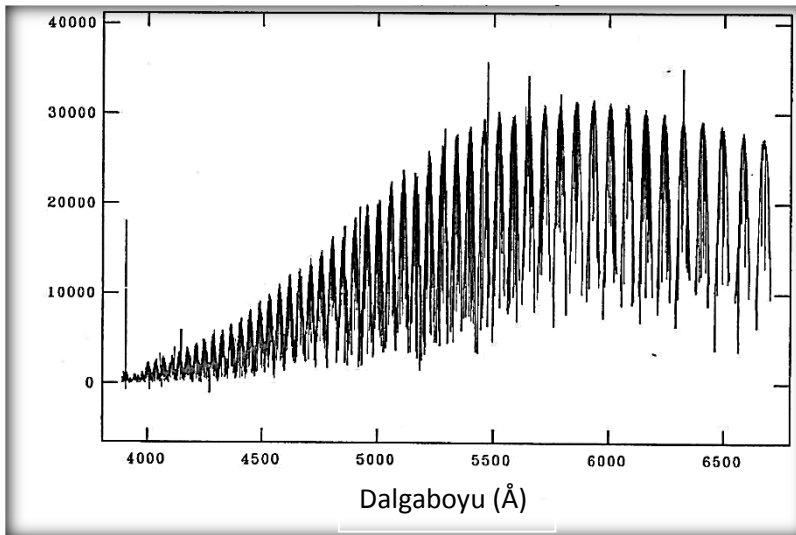
```
ec> epar dispcor
ec> dispcor @inlist @dclist
```

Taskta bulunan linearize parametresi yes olarak seçilmesinin nedeni girdi tayfsal görüntülerinin dalgaboyu ölçeğinin doğrusal şekilde interpolasyon yapılarak

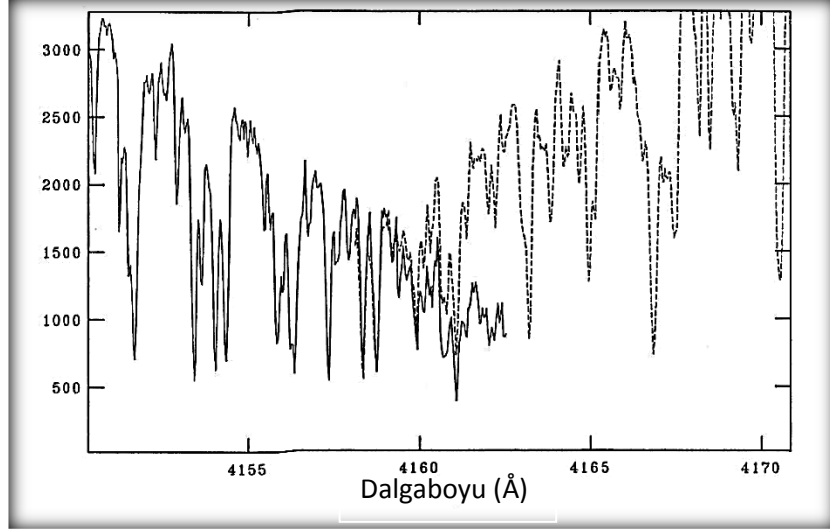
oluşturulmasının istenmesidir. Default interpolasyon fonksiyonunun polinom derecesi 5 olarak kullanılmaktadır (interpolasyon türü *interp* parametresi ile belirlenmektedir).

Eğer *linearize* parametresi no olarak seçilirse dispersiyon fonksiyonunun database dizininden görüntünün başlığına yazılması sağlanır ve interpolasyon işlemi bu durumda gerçekleştirilmez.

dispcor taskının çıktı dosyası örnekte görüntü isimleri dikkate alındığında dalgaboyu kalibrasyonu gerçekleştirilmiş şekilde *dcvega01.ec*, *dcvega02.ec*, *dcvega03.ec*... şeklinde olacaktır. Bu görüntülerin *splot* veya *specplot* taskı kullanılarak grafiklerinin çizilmesi incelenmesi mümkündür. Bunun için, *ec> splot dcvega01.ec* şeklinde bir komut verilmesi yeterlidir. Çizilen grafikte x ekseninin dalgaboyu biriminde olup olmadığını kontrol ediniz. Şekil 3.23'te *Coude Eşel* tayfçeki ile alınmış ve dalgaboyu kalibrasyonu yapılmış HS Her yıldızının 69 açıklığına ilişkin tayfin dağılımı görülmektedir. Şekil 3.24'te de HS Her yıldızına ilişkin tayfta iki açıklığa karşılık gelen tayfin çakıştığı bir bölgeye ilişkin görüntü verilmiştir.



Şekil 3.23: Coude Eşel tayfçeki ile alınmış ve dalgaboyu kalibrasyonu yapılmış HS Her yıldızının 69 açıklığına ilişkin tayfin dağılımı.



Şekil 3.24: HS Her yıldızına ilişkin tayfta iki açıklığa karşılık gelen tayfin çakıştığı bir bölgeye ilişkin görüntü. Dikkat edilirse iki açıklığa karşılık gelen soğurma çizgileri üst üste çakışmaktadır. Bu çakışma dalgaboyu kalibrasyonunun hangi oranda doğru yapıldığına dair bir ipucu vermektedir.

3.15 Tayf Atlasları

Tayfçılar sıklıkla bu çizgi (yapı yada profil) nedir? sorusuyla yüz yüze gelirler. Tabiki bu sorunun kaynağı kuazar ya da gökada dışı cisim olabilir. Ama eğer sıradan bir yıldız ise ne tür bir yıldız olduğunun tanımlanması gerekir. Bu yüzden çok geniş optik aralıkta atlaslar kullanılır. Bunlar;

- Jacoby, Hunter ve Christian (1984) *A Library of Stellar Spectra* modern çözünürlükte (4.5 Å) kızıllaşma da dahil $3500\text{-}7500 \text{ Å}$ aralığında tayf fotometresi yardımıyla normal yıldızların tayf türü ve ısıtma sınıfını belirlediler. Buradaki tanımlamada kilitlenen temel nokta tayfsal sınıfların belirlenmesidir.

- Turnshek ve arkadaşları (1985) *An Atlas of Digital Spectra of Cool Stars* ortadan yaşlı tayf türünden (G-M-S ve C) yıldızların tayf çizgilerini tanımlamayı amaçlamıştır.

- Walborn ve Fitzpatrick (1990) *Contemporary Optical Spectral Classification of the OB Stars*. Bu sayısal atlasda $3800\text{-}5000 \text{ Å}$ dalgaboyu arasındaki erken tip yıldızların çizgilerinin tanımlanması amaçlanmıştır. Bu atlas içinde cüce erken B yıldızları ve süper dev B8 yıldızları bulunur.

- Hanson ve arkadaşları (2005) *A Medium Resolution Near-Infrared Spectral Atlas of O and Early-B Stars*. $R \approx 8000\text{-}12000$ olan yüksek çözünürlüklü

O ve erken B yıldızı H ve K bantları incelenmiştir. $R \leq 1000$ değerdeki veriler Hanson ve arkadaşları tarafından 1996 'da oluşturulmuştur.

- Hinkle ve arkadaşları. (2003) *High Resolution Infrared, Visible and Ultraviolet Spectral Atlases of the Sun and Arcturus* değişik detayları içerir.

4. TAYFSAL TANIMLAMALAR VE TERİMLER

Bu bölümde, tayf çizgileri incelenirken bilinmesi mutlaka gerekli olan terimler ve tanımlamalar aşağıdaki sıra ile verilecektir.

- Sinyal gürültü oranı,
- Çözünürlük,
- Sürekliliğin normalizasyonu,
- Atmosfer çizgileri,
- Eşdeğer genişlik,
- Bisektör,
- Dikine hız,
- Dönme hızı.

4.1 Sinyal Gürültü Oranı (S/N)

Elde edilmiş verilerden bahseden makaleler ve özellikle de CCD kullanım kılavuzları, bir ölçümün S/N oranının hesaplanmasını sağlayan denklemlerin çeşitli versiyonlarına sahiptir. Araştırma raporlarında aktarılan S/N değerleri aslında okuyucuya gözlemin başarı seviyesi hakkında bir fikir verir. Örneğin S/N'si 100 olan muhtemelen iyi bir gözlemdir derken, S/N'si 3 olan iyi değildir.

İlk vereceğimiz (4.1) formülü ile ifade edilen yöntemde N_* gözlediğimiz cisimden toplanan fotonların toplam sayısıdır. N_S gökyüzünden veya arka plandan elde edilen piksel başına düşen fotonların toplam sayısıdır. N_D piksel başına düşen karaakım e^- 'lerinin toplam sayısıdır. N_R^2 okuma gürültüsünden kaynaklanan piksel başına düşen e^- 'lerin toplam sayısıdır. n_{pix} terimi, her bir piksel başına düşen gürültü teriminin S/N hesaplanmasında bulunan tüm piksellere uygulanmasında kullanılır.

$$\frac{S}{N} = \frac{N_*}{\sqrt{N_* + n_{pix}(N_S + N_D + N_R^2)}} \quad (4.1)$$

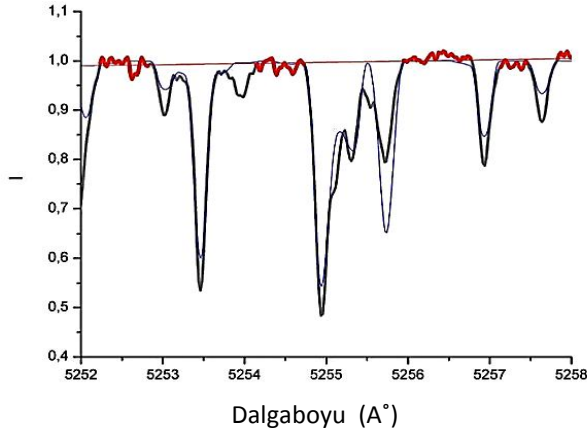
(4.2) formülü ile aşağıda verilen ikinci yöntemde n yük miktarı, g kazanılan elektron yük yüzdesi, p bir pikselin diğerine göre kazancının ortalama oranıdır.

$$\frac{S}{N} = \frac{ng}{\sqrt{ng + n^2 p^2 g^2}} \quad (4.2)$$

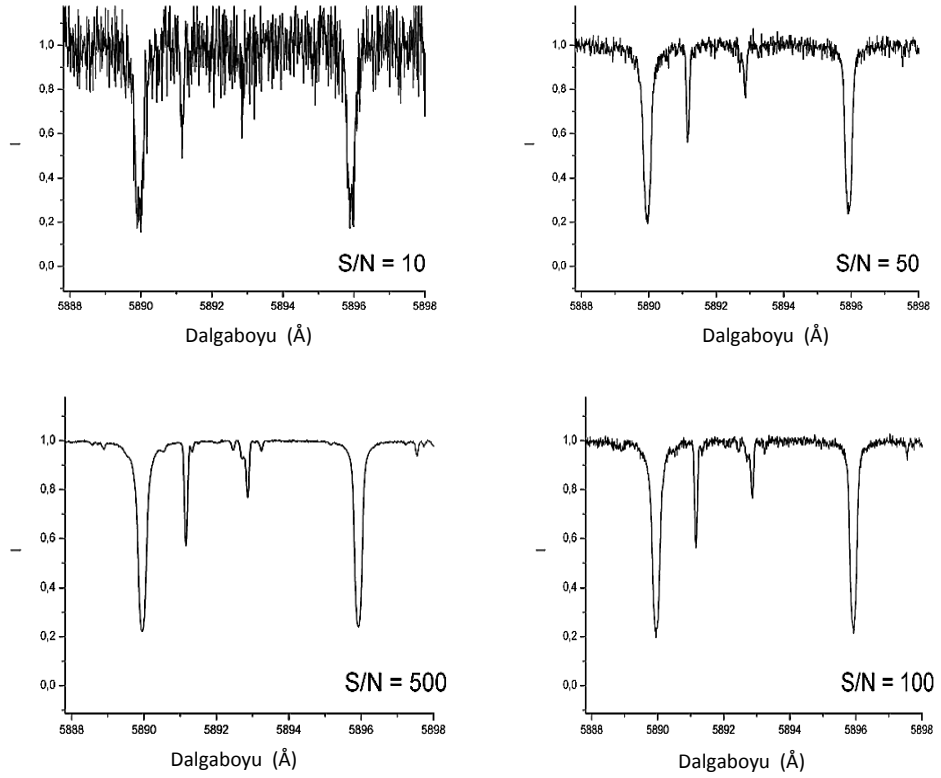
Ayrıca sinyal gürültü oranı süreklilikten de hesaplanmalıdır. Şekil 4.1'de bu hesaplama için örnek verilmiştir. Çizgi olmayan mevcut parçalar kullanılır. Lineer

fit geçirilir ya da normalizasyon yeterince iyi ise $I_{mean}=1$ alınır. Standart sapma σ hesaplanır. Sinyal gürültü oranı $S/N = I_{mean}/\sigma$ hesaplanır.

Sinyal gürültü oranının hesaplanmasının en kolay yollarından biri de kazanç değeri ile çizgi profilinin en üst noktasının çarpımının karaköküdür ($\frac{S}{N} = \sqrt{gain \times max}$). S/N'yi arttırmanın yolları şunlardır: uzun pozlama, tayfları toplamak, benzer çizgileri birleştirmek (LSD tekniği) (Şekil 4.2).



Şekil 4.1: Şekilde mavi kalın çizgi gözlem verisini, ince mavi çizgi sentezi ve kalın kırmızı çizgi S/N'yi elde etmek için kullanılan parça.



Şekil 4.2: Farklı S/N değerlerine örnekler.

4.2 Çözünürlük

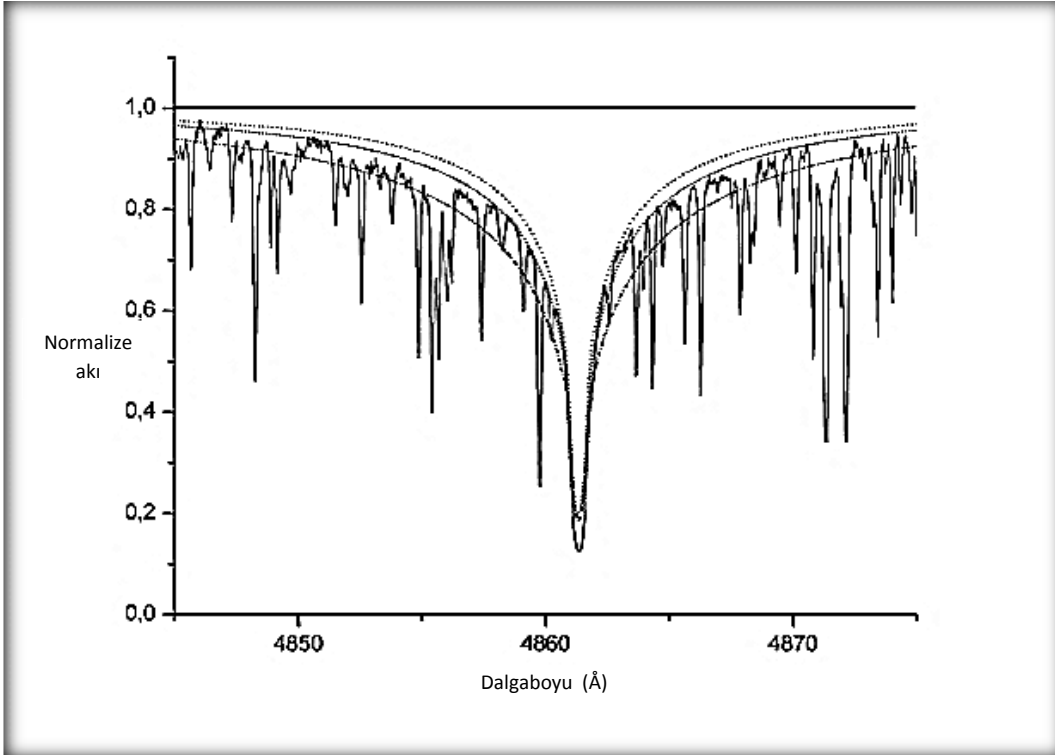
Optik sistem çözünürlüğü, tayfsal elemanın en yüksek çözünürlüğünden daha azdır. Serbest tayf aralığı ise tayf bilgisi toplanabilecek dalgaboyu aralığı olarak tarif edilebilir. Çözünürlüğün hesaplanmasında kullanılan (4.3) formülü aşağıda verilmiştir. $\Delta\lambda$ çözünürlüğün hesaplanmasında kullanılan elemanlardan biridir ve eşit güçte farklı iki dalgaboyu arasındaki farktır. Birkaç bin değerindeki çözünürlüğe “orta çözünürlük”, onlar ile binler arasındaki çözünürlük değerlerine de “yüksek çözünürlük” denir.

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad (4.3)$$

4.3 Sürekliliğin Normalizasyonu

Tayf çizgi profillerinin bilimsel olarak incelenmesi, tayfa katkısı olan bileşenlerin özelliklerini (T_1 , T_2 , R_1 , R_2 gibi parametreleri...) belirleyebilmek için bileşenlerin oluşturduğu tayfın sürekliliğe normalizasyonu önemlidir. Süreklilikteki bozulmalara ya da yüksek dereceden yapılan normalisasyonlar çizgi profillerinin ölçülen eşdeğer genişliklerini önemli derecede etkiler. Bunun sonucu

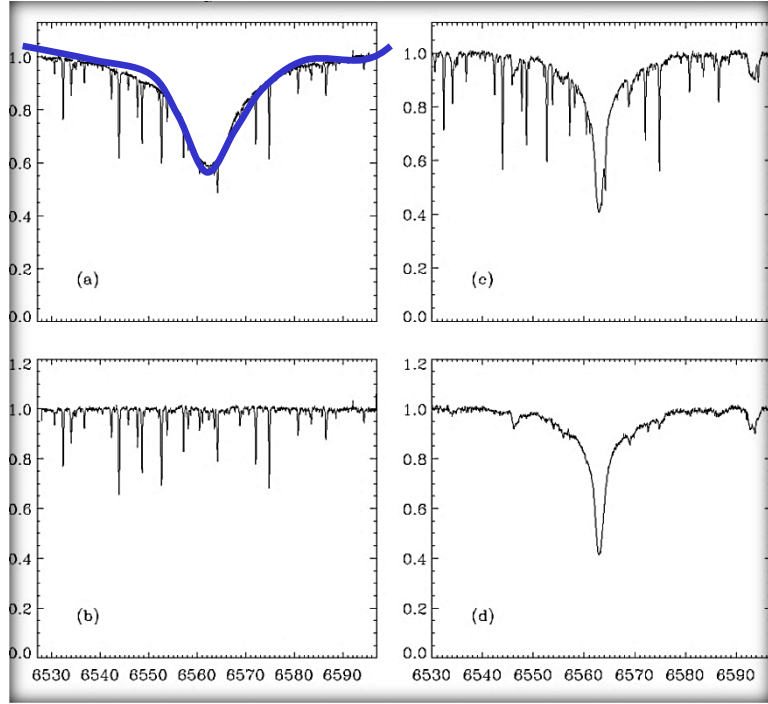
olarak, bileşen yıldıza ait çizginin eşdeğer genişliği kullanılarak elde edilen sıcaklık ve bağı olarak ısıtma hatalı olur. Şekil 4.3 de çeşitli süreklilik eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Temel parametreleri belli olan HS Her yıldızı için elde edilen sentetik tayf ve gözlem verisi.

4.4 Atmosfer Çizgileri

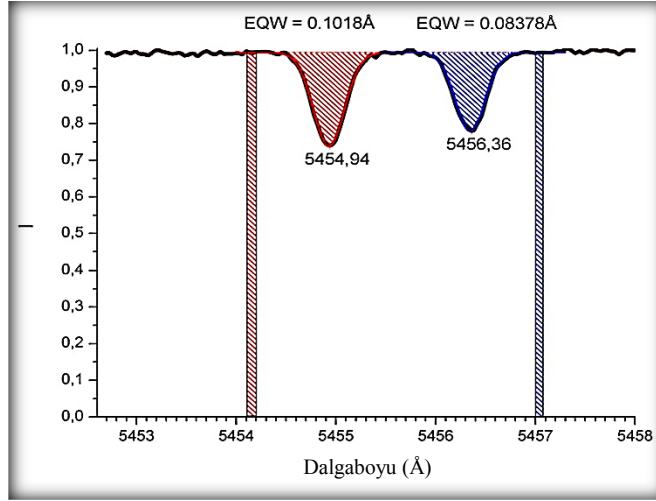
Atmosfer çizgileri yıldız tayfları üzerine binen fazladan çizgilerdir. Yıldızlarla ya da yıldızlararası ortamla bir ilgisi yoktur. Su buharının tayf üzerindeki farklı etkileri kendini keskin soğurma çizgileri olarak gösterir. Temel amaç bu çizgileri ayıklamaktır. Bu çizgilerin en önemli etkisi ölçülen dikine hız eğrilerinin hatalı olmasına ve yanlış yorumlanmasına neden olmasıdır. Şekil 4.4'te a, b, c ve d şekillerinden görüleceği gibi gözlenen tayf, bir standart yıldız kullanılarak atmosfer kaynaklı çizgiler elemine edilmiştir. Son şekil olan “d” ise tayfin en arındırılmış halidir. Artık bu çizgi profillerinden duyarlı dikine hız ölçümleri yapılabilir ve eşdeğer genişlikler ölçülebilir.



Şekil 4.4: HD 111456 yıldızının atmosferik çizgilerin tayftan çıkarılması. Yatay eksen dalgaboyu (Å). a) Hızlı dönen sıcak bir yıldızın tayfında atmosferik H_2O ve O_2 çizgileri kalıplaşmıştır yani çizgiler sabittir, kayma göstermez. b) Sahte-süreklilik geniş çizgilerin oluşumunu incelerken gözlenen tayfların normalizasyonunda ve atmosferik çizgilerin üretilmesinde kullanılır. Ancak bu şekilde atmosferik çizgileri içeren tayfların incelenmesinde kullanılır. c) Gözlenen tayftan atmosferik çizgilerin çıkarılması. d) Atmosferik çizgilerin çıkarılmış hali.

4.5 Eşdeğer Genişlik

Çizgideki toplam akının F_c ile bölümüne eşdeğer genişlik (W) denir. F_c ile bölüm akıyı sürekli akı birimlerinde ölçmek anlamına gelir, bu durumda sürekli akı 1 olur. O halde eşdeğer genişlik, gerçek çizgininki ile aynı toplam soğurmaya veren dikdörtgen tayf çizgisinin genişliğini tanımlar (F_c akının çizgiye komşu sürekli tayftaki değeridir). Eşdeğer genişliği elde etmede (4.4) ve (4.5) formülleri kullanılır. Eşdeğer genişliğin ölçülmesinin önemi: sürekli zeminin altında kalan alanın yıldızın sıcaklık ve ısıtma gibi karakteristik özelliklerinin anlaşılmasında yardımcı olmasıdır. Tayf çizgileri atom ya da molekül özellikleri için karakteristiktir ve yıldızın kimyasal kompozisyonunu anlamamıza yardımcı olur. Şekil 4.5’de eşdeğer genişlik ölçümüne iki örnek yer almaktadır.



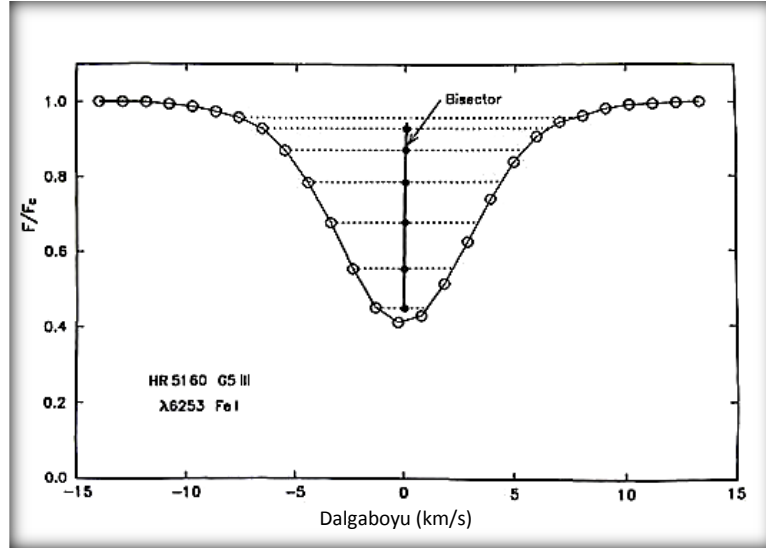
Şekil 4.5: Eşdeğer genişlik ölçümüne iki örnek.

$$W_t = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{F_C - F_V}{F_C} dv \quad (4.4)$$

$$W_m = \int_{-\Delta}^{+\Delta} \frac{I(\lambda) * (F_C - F_V)}{D_C} dv \quad (4.5)$$

4.6 Bisektör

Bisektör analizi nicel olarak çizgi profilindeki küçük asimetri ya da çok ince değişiklikleri tanımlama yöntemidir. Profildeki farklı çizgi derinliklerinin yatay çizgilerle kesilerek bu çizgilerin orta noktalarının işaretlenmesiyle hesaplanması kolaydır. Bu noktaları –ki bunlara bisektör denir- birleştiren hat daha sonra yatay yönde büyütülür (dalga boyu ya da dikine hız). Bisektörün karakteristik şekli bize yıldız atmosferindeki türbülans alanı (örneğin konveksiyon), mikro türbülansın hız değeri ya da ince asimetri profiline neden olan diğer süreçler hakkında bilgi verir. Bu yöntem öte gezegenlerin keşfinde ya da yıldız sismolojisinde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Yüksek çözünürlüklü (eşel) ve yüksek sinyal gürültü oranı normalize tayfları gerektirir.

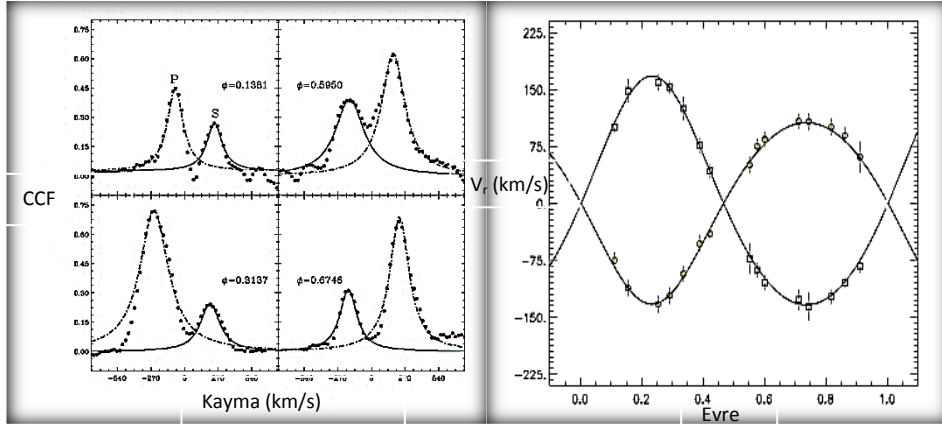


Şekil 4.6: Bisektör çizimine bir örnek.

4.7 Dikine Hız

Gözlenen cisimde temel olarak dikine hızın saptanmasıdır. Burada yapılması gereken alet etkilerinin dışarı atılması için sıvı N_2 molekülleri CCD'lere soğutucu olarak takılır. Güvenli yaklaşımla elde edilen tayf gözlemlerden önce ve gözlemden sonra alet ısınmasından bağımsız olduğu kabul edilir. Seçilen standart yıldızların gözlenen cisimle aynı tayf türünde olmasına dikkat edilmelidir.

Tayflar normalizasyon için duyarlı bir şekilde hazırlanmalıdırlar. Gözlenen yıldızın tayfı ile standart yıldızın tayfı çapraz ilişki kurularak karşılaştırılır (Şekil 4.7). IRAF'ta bunun için *fxcor*'dan faydalanılır. Tayfın bu şekilde normalizasyonunun yapılmasına hazırlık olur. Bir görüntünün tayfının çapraz ilişkisinin kurulmasında standartlaşma ve programdaki cisimlerin tek tayf çizgisine bakılır. Eğer eşleşme olmazsa ortalama 0'dır. Çizgiler kaymıyorlarsa toplam 0'a gider. Eğer çizgiler bir sıraya dizildiğinde orada sorun (kaynaşma, bozulma) yoksa sonuç '0' olur. Ne zaman ayrılma söz konusuysa maksimumdur. Burada pratik olarak kullanılan yöntem *Fourier* yöntemidir. Bu teknolojiyi bu amaçla kullananlar Tonry ve Davis (1979) 'tir.



Şekil 4.7: V821 Cas yıldızının çapraz bağıntı (sol) ve dikine hızı (sağ) (Çakırlı Ö. vd., 2009).

Dünya güneşin etrafında dolanma ve kendi etrafında dönme gösterir. Bu Doppler etkisinin sadece güneşe göre hareketli objelerde görüleceği anlamına gelmez. İkili hareketlerde de Doppler etkisi vardır ve yerin güneşin etrafındaki hareketinden kaynaklı Doppler etkisinden kurtulmaya helyosentrik düzeltme denir. Dönmeden kaynaklı düzeltme $\pm 0.5 \text{ km s}^{-1}$ iken yörünge hareketinde $\pm 29.8 \text{ km s}^{-1}$ 'dir. Açık olarak helyosentrik düzeltme boylama, tarihe, gün içindeki saate ve o cismin koordinatlarına bağlıdır. Gözlenen standart yıldızın ve cismin helyosentrik düzeltmesinin belirlenmesinde katalog değerlerine bakılmalıdır.

Bu yöntem dikine hız ölçümlerinde kullanılan kesin bir yöntem değildir. Çok erken tip yıldızlar örneğin O tipi yıldızlarda çok az sayıda çizgi görülür. Bunlarda yapılabilecek en basit yöntem tayf çizgilerinin merkezini ölçmektir. Geniş çizgili objelerde örneğin Wolf Rayet yıldızlarında daha iyi dikine hız yöntemi tespit etme çalışmaları yapılmaktadır.

Gökadaldaki hız dağılımının ölçülmesinde buna benzer bir yöntem kullanılmaktadır. Dikine hızın esas çizgi genişliği alan hızı olan hesabı ile yapılır. Bu geniş olan çizgiler kesikli çizgi dikine hız yönteminden daha iyi çalışır. Duyarlı Dikine Hızlar: Bu yöntem exoplanetlerin (öte gezegenlerin) tespitinde kullanılan yöntemdir. Buna benzer çok sayıda yöntem geliştirilmiştir. Dalgaboyu kalibrasyonundaki geleneksel yöntem yıldızlar için çok fazla duyarlılığa ihtiyaç duymadan çalışılmıştır ve kullanılan yöntemler birbirine benzerdir. Bu konuda yapılan en erken çalışma Campbell ve Walker (1979)'da 10 ms^{-1} duyarlılıkla hidrojen fibril soğurma tayflarının belirlenmesini sağlamıştır. Bir çok modern teknoloji 1 ms^{-1} duyarlılığa sahiptir. Bunlardan bir tanesine örnek *High-Accuracy Radial Velocity Planetary Searcher (HARPS) La Silla* da bulunan ESO'nun 3.6m'lik teleskoba bağlıdır. Burada Th-Ar lambaları referans alınır. Th-Ar kaynağından yıldızın ışığı sahip olduğu yarıklardan geçip uygun tayf çekerlerle ölçülür. Th-Ar kaynağı ve yıldız eş zamanlı olarak gözlenebilir.

Son zamanlarda gezegen keşiflerinde geri tayf türünden yıldızlara yönelme olmuştur. Bunlar soğuk yıldızlar olduğundan NIR'in çalışma konusudur.

4.8 Dönme Hızı ($v \sin i$)

Yıldızların dönme hızı ölçümlerinde genellikle iki yol izlenir. “Model-Gözlem karşılaştırması” ve “Gözlem-Gözlem karşılaştırması”

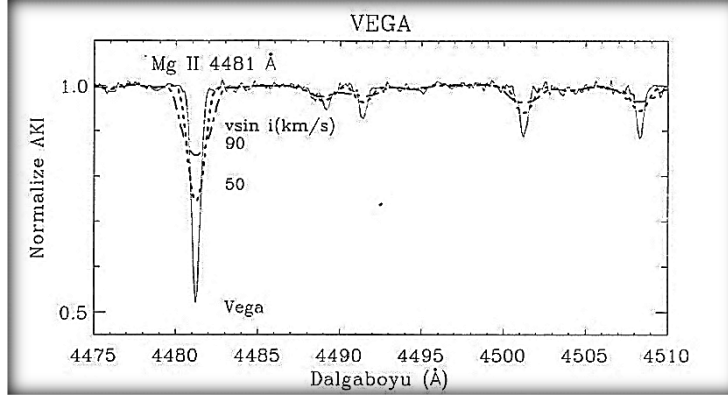
Model-Gözlem karşılaştırması

Model-gözlem karşılaştırmasında, dönme hızı ölçülecek yıldızın tayf çizgilerinin yapısını belirleyen temel parametreler (T ve $\log g$ gibi) iyi bilinmelidir. Bu parametreler kullanılıp, farklı $v \sin i$ (bazı modellerde çalkantı hızları da değişken parametre olarak alınır) değerleri ile oluşturulan sentetik tayflar ilgili yıldızın belirli çizgi veya çizgi grupları ile karşılaştırılır. Yıldızın tayf çizgilerini en iyi temsil eden modele ilişkin $v \sin i$ değeri, yıldızın dönme hızı olarak kabul edilir. Bazı Algollerin sıcak bileşenlerinin dönme hızlarını bulmak için buna benzer bir yol Mukherjee ve arkadaşları (1996) tarafından kullanılmıştır.

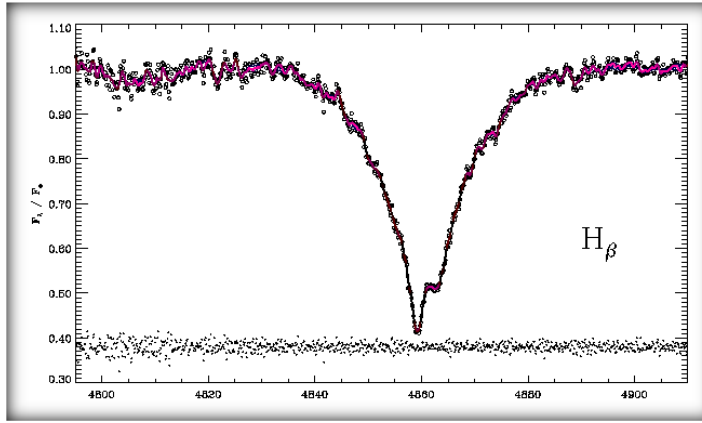
Gözlem-Gözlem karşılaştırması

Temel olarak dönme hızı ölçülecek yıldız ile standart yıldızların karşılaştırılmasına dayanır. Fakat iki farklı yol izlenir.

- Dönme hızı ölçülecek yıldızın tayf türüne ve ısıtma sınıfına yakın ve belirli $v \sin i$ aralığına sahip standart yıldız grubu ölçüm yapılacak yıldızın tayfi ile karşılaştırılır ve en iyi uyumu gösteren standart yıldızın dönme hızı o yıldızın dönme hızı olarak kabul edilir. Fakat karşılaştırma yapılacak tayf bölgesinin aktivite içeren çizgiler (Balmer çizgileri, Na D₂ çizgileri, He 5876 Å çizgisi gibi) bulundurmaması gerekir. Bu yöntem daha çok geri tayf türündeki yıldızlar için uygulanmaktadır (örnek, Marino vd., 2001).
- Bu yöntemde ise, dönme hızı ölçümü yapılacak yıldızın tayf türü ve ısıtma sınıfına olası en yakın, düşük dönme hızına sahip standart yıldız gözlenir ve daha sonra bu standart yıldızın tayfi farklı hızlarla döndürülerek sentetik standart tayflar oluşturulur. Oluşturulan sentetik tayflar, gözlenen standart yıldızın tayfi ile karşılaştırılır ve dönme hızı ile ilgili çapraz korelasyon fonksiyonunun FWHM’si (yarı yükseklikteki en büyük genişlik) arasındaki ilişki bulunur. Son olarak, değişen yıldız ile standart yıldızın gözlenen tayfi karşılaştırılarak bulunan FWHM değeri kullanılarak $v \sin i$ -FWHM korelasyonundan ilgili yıldızın $v \sin i$ değeri ölçülebilir. Şekil 4.8’de Vega’nın tayfinin farklı dönme hızlarındaki biçimi gösterilmektedir. Şekil 4.9’da da V821 Cas yıldızının H_β çizgi profilinin dönme hızının hesaplanması ile ilgili şekil örnek olarak verilmiştir.



Şekil 4.8: Vega'nın 4475 – 4510 Å dalgaboyu aralığında gözlenen tayfı (sürekli çizgi) ile 50 ve 90 km/s hızla döndürüldüğünde oluşturulan sentetik tayfları (noktalı ve kesikli çizgi) (Soydugan, F., 2005).



Şekil 4.9: V821 Cas yıldızının H_{β} çizgi profilinin dönme hızının hesaplanması (Çakırlı Ö. vd., 2009)

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Astronomlar için bir gök cisminin kütlesi ve kimyasal kompozisyonu gibi temel parametrelerin elde edilmesi çok önemlidir. Çünkü kimyasal kompozisyon bize gök cisminin evrimi hakkında bilgi verir. Aynı şekilde fiziksel özelliklerin ve dikine hızların da bulunması gök cisminin anlaşılmasında önemlidir. Bu sebeple yapılan tayf gözlemlerinin indirgenmesi ve indirgeme programlarının basamaklarının iyi bir şekilde anlaşılması gerekir. Bunlardan dolayı tez kapsamında bu konu ele alındı.

Bu tezde tayfsal verilerden elde edilen iki boyutlu CCD görüntüsünden IRAF indirgeme programı kullanılarak dalgaboyu kalibrasyonu yapılmış ve normalize edilmiş tayfi elde etmek için indirgeme basamakları adım adım anlatılmıştır. Tayfçeker konusunda temel bilgiler verilmiştir. Evren üzerine çalışan astronomların en temel araçlarından biri olan tayfçekerin gök cisminin kimyasal kompozisyonu, fiziksel özellikleri ve dikine hızlarının saptanmasını sağlaması açısından önemi vurgulanmıştır. İndirgeme işlemlerini daha iyi anlamamıza yardımcı olacak tanımlamalar ve terimler açıklanmıştır.

Sonuç olarak bu tez, tayf çalışmaya yeni başlayacak kişiler için bir kaynak niteliğindedir. Tayf çalışmaya başlayacak kişiler için tayfçekerin temel özellikleri, indirgeme basamaklarında yapılan işlemlerin amacı, bu basamakları yaparken kullanılan tanımlamalar ve terimleri bilmek önem teşkil etmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Bowen, I. S.**, 1962, in *Astronomical Techniques*, ed. W. A. Hiltner, Chicago: University of Chicago Press, 34
- Campbell, B. ve Walker, G.**, 1979, *Precision Radial Velocities With An Absorption Cell*, Geophysics and Astronomy University of British Columbia, Canada, PASP...91..540C
- Çakırılı, Ö. vd.**, 2009, *Absolute Parameters of The Eclipsing Binary V821 Cas From UBVRI Light Curves and Radial Velocities*, MNRAS 395, 1649–1656
- Çakırılı, Ö. vd.**, 2007, *A Spectroscopic Study of The Close Eclipsing Binary HS Herculis*, A&A 474, 579–584
- Fabricant, D. vd.**, 2005, *Hectospec, the MMT's 300 Optical Fiber-Fed Spectrograph*, PASP, 117, 1411
- Hanson M. M. vd.**, 2005, *A Medium Resolution Near-Infrared Spectral Atlas of O and Early-B Stars*, ApJS,161,154-170
- Hinkle, K. vd.**, 2003, *High Resolution Infrared, Visible and Ultraviolet Spectral Atlases of the Sun and Arcturus*, in *The Future of Cool-Star Astrophysics*, University of Colorado
- Jacoby, G. H., Hunter, D. A. ve Christian, C. A.**, 1984, *A Library of Stellar Spectra*, ApJS,56,257
- Kızıloğlu, Ü., Afşar, M ve Gürol, B.**, 2009, *IRAF Ve Tayfsal İndirgeme*, IV. Temel Bilimler Lisansüstü Yaz Okulu , İstanbul Kültür Üniversitesi
- Marino, G., Catalano, S., Frasca, A. ve Marilli, E.**, 2001, *New Physical Elements of HR 7428 and Its H Behaviour*, A&A 375,100
- Marshall, J. L. vd.**, 2008, *The MagE Spectrograph*, Proc. SPIE, 7014, 701454
- Mukherjee, J., Peters, G.J., Wilson, R.E.**, 1996, *Rotation of Algol Binaries - A Line Profile Model Applied to Observations*, MNRAS 283, 613
- Massey P. ve Hanson M. M.**, 2010, *Astronomical Spectroscopy*, arXiv1010.5270M
- Soydugan F.**, 2005, *Ege Üniversitesi, Algol Türü Örtün Çift Yıldızlarda Kütle Aktarımı*, Doktora Tezi
- Tonry, J. ve Davis, M.**, 1979, *A Survey of Galaxy Redshifts. I - Data Reduction Techniques*, AJ...84.1511T

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Turnshek, D. E. vd.,** 1985, An Atlas of Digital Spectra of Cool Stars, Western Research Company
- Walborn, N. R., ve Fitzpatrick, E.,** 1990, Contemporary Optical Spectral Classification of the OB Stars, PASP,102,397
- Walker, G.,** 1987, Astronomical Observations: An Optical Perspective (Cambridge: Press Syndicate of the University of Cambridge)

ÖZGEÇMİŞ

Pınar İNCE, 1984 Türkiye, Adana doğumludur. İlkokul, ortaokul ve lise eğitimini İzmir’de tamamladıktan sonra 2002 yılında Ege Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimlerine başladı. 2008-2009 öğretim yılında bu bölümü bitirdi. Şu anda Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nün Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı’nın Genel Astronomi Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.

