

TUG RTT-150 Coudé Echelle Tayfçekeri ile Yapılan Deneme Gözlemleri

Emre Işık¹, Ilfan Bikmaev², Zeki Aslan^{1,3}

¹Akdeniz Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, 07058, Antalya
eis@akdeniz.edu.tr

²Kazan Devlet Üniversitesi, Fizik Fakültesi, Astronomi Bölümü, Kazan, Rusya Federasyonu
Ilfan.Bikmaev@ksu.ru

³TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Akdeniz Üniversitesi Yerleşkesi, 07058, Antalya
aslan@tug.tug.tubitak.gov.tr

Özet: TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde kurulan Coudé Echelle Tayfçeker (RTT150-CES) ile alınan “ilk ışık” ve onu izleyen deneme gözlemleri, Türk gökbilimcilerin ilgisine sunulmuştur. İndirgemelerde karşılaşılan önemli noktalara değinilmiş, elde edilen tayf kesitlerinden örnekler verilmiştir. Tayfların sinyal/gürültü oranları, hava koşullarına ve aletten beklenen değerlere uygundur.

Anahtar kelimeler: astronomik aletler: görsel bölge tayfölçümü – deneme gözlemleri

Abstract: “First light” and the following test observations carried out with the Coudé Echelle Spectrograph (RTT150-CES) at the TÜBİTAK National Observatory is presented to the interest of Turkish astronomical community. Important issues encountered during the reductions are discussed and examples of the spectrograms are shown. Signal/noise ratios of the spectra were found to be convenient as expected from the weather conditions and the instrumentation.

Key words: astronomical instrumentation: optical spectroscopy – test observations

1. Giriş

TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nin (TUG) Kazan Üniversitesi'nde yapılan coudé echelle tayfçekeri (CES) kurulması Ocak 2004'te tamamlanmış, aynı tarihlerde deneme gözlemlerine başlanmıştır. TUG-CES'in 2005 yılı başlarında, projelendirilmiş gözlemlere başlanması planlanmıştır. Bu bildiri, TUG-CES'nin hizmete girmesinin öncesinde, Türk gökbilimcileri için bir ön bilgilendirme amacıyla hazırlanmıştır. 2. bölümde aletsel bilgiler ile gözlemlerden söz edilmiş, 3. bölümde indirgemelere ilişkin önemli noktalara değinilmiş, 4. bölümde elde edilen bazı tayf kesitleri sunulmuş, 5. bölümde ise değişik yıldızlar ve dalgaboyu pencereleri için ölçülen ortalama S/G oranları verilmiştir.

2. RTT150-CES ile Gözlemler

Kazan Üniversitesi'nde üretilen RTT150-CES, 1.5 m çaplı teleskop binasının orta katındaki coudé odağı odasında kurulmuştur. Yüksek ayırma gücü düzeneğinde 1.5 yay saniyesi açısal genişliğe

karşılık gelen 500 μm genişliğindeki, çok yüksek ayırma gücü düzeneğinde ise 0.6 yay saniyesi açısal genişliğe karşılık gelen 200 μm genişliğindeki yarıktan geçen ışık, düzelticilerden geçirilmekte ve diğer çeşitli aynalardan yansıtılarak iki kamera düzeneğinden (yüksek ve çok yüksek ayırma gücü) birine gelmektedir. Testere (blazing) açısı 63° , optik ağ (grating) yoğunluğu ise 37.5 mm^{-1} 'dir. *Yüksek ayırma güçlü* ($\lambda/\Delta\lambda = R \sim 40000$) tayflar veren *kısa kamera*, çapraz yayıcı olarak iki 45° prizma ile 400 mm odak uzaklıklı “katlanmış” Schmidt teleskoptan oluşmaktadır. *Çok yüksek çözünürlüklü* ($R \sim 100000$) tayflar sağlayan *uzun kamera* düzeneği ise çapraz yayıcı olarak bir 45° prizma ile 1000 mm odak uzaklıklı bir Schmidt teleskoptan oluşmaktadır. Şekil 9'da verilen dışındaki tüm tayflar, yüksek ayırma gücünde ($R=40000$), yani kısa odak uzaklıklı kamera ile alınmıştır. Bu tayflar, 2048x2048 piksel içeren Andor CCD yongasına düşürülmüştür. Bu sayede, kaynaktan alınabilecek görsel tayfın tümü alınabilmiştir. Ancak Cassegrain odağında, ışıkölçüm amacıyla kullanılacak olan bu CCD, yerini 2004 Ağustos'undan başlayarak 1060x1180 pikselden oluşan Rus yapımı CCD'ye bırakmıştır.



Şekil 1. R=40000 modunda, Andor 2K CCD ile alınmış gökyüzü tayfı. Üstten yedinci basamakta görülen geniş karartı, H α çizgisidir. Şeklin sağ üstündeki seri ise atmosferik (tellürik) kökenlidir.

Bu bildiri metninde sunulan çok yüksek ayırma gücündeki tayflar (R~100000), uzun odaklı kamera ile alınmış ve bu yeni CCD üzerine düşürülmüştür.

3. İndirgemeler

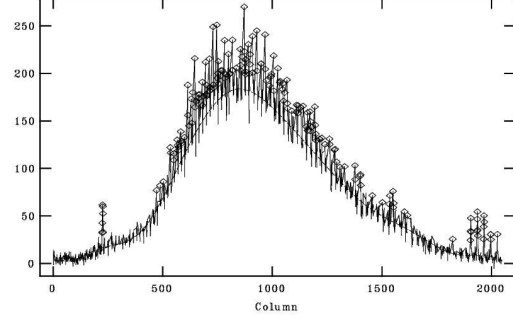
FITS (Flexible Image Transport System) biçiminde alınan sayısal tayf görüntüleri IRAF (Image Reduction and Analysis Facility, NAO, ABD) ve DECH (G. Galazutdinov, SAO, Rusya) yazılımları kullanılarak indirgenmiş ve analiz edilmiştir.

Şekil 1’de, R=40000 çözünürlüğünde bir gündüz gökyüzü tayfının bir parçası görülmektedir. Tayfta atmosferimizden kaynaklanan tellürik çizgi serileri ve Güneş’in tayf çizgileri göze çarpmaktadır. Tayf görüntüleri ilk olarak ön indirgeme işlemlerinden geçirilmiştir. Sıfır düzeyi (bias) ve karanlık (dark) görüntüleri, çok sayıda alınmış ve ortalama görüntülere indirgenmiştir. Sonra bütün görüntülere sıfır düzeyi ve karanlık düzeltmeleri yapılmıştır. Sıvı azotla soğutulan bu CCD’lerin oldukça kararlı olması beklense de, “overscan” bölgesi olmadığı için bu düzeltmelere önem verilmelidir.

Ön indirgemesi yapılmış olan tüm tayf görüntüleri – düz alan dahil – tayfçeker içinde saçılan ışıktan olabildiğince arındırılmalıdır. Bu ve bundan sonraki tüm adımlar için IRAF içindeki noao.imred.echelle paketi kullanılmıştır. Tayfçeker içinde saçılmış ışık düzeyi, dispersiyon açıklıkları (tayfın düştüğü şeritler; bundan böyle kısaca “açıklıklar”) dışında kalan ışık yeğniliğinin satır ve sütun dağılımlarına bir boyutlu fonksiyonlar uydurulmaktadır. Buna bir örnek, 5 dakikalık bir poz verilmiş olan σ^2 CrB tayfının 1024. satırı için Şekil 2’de görülmektedir. apscatter uygulaması, bu uydurmayı ortalama yeğniliğe göre tüm CCD çerçevesine uygular ve bu düzeyi

piksellerin sahip olduğu yeğnilikten düşer. Aynı işlem tüm sütunlar için de yapıldığında, saçılmış ışığın oluşturduğu düzensiz aydınlanma bir bakıma düzlenmiş olur.

NOAO/IRAF V2.12.2-EXPORT eis@phoos Sat 12:00:46 28-Aug-2004
func=spline3, order=10, low_rej=5, high_rej=2, niterate=5, grow=0
total=1224, sample=1224, rejected=166, deleted=0, RMS= 6.853
S2001: Fit line 1024
Sigma2CrB



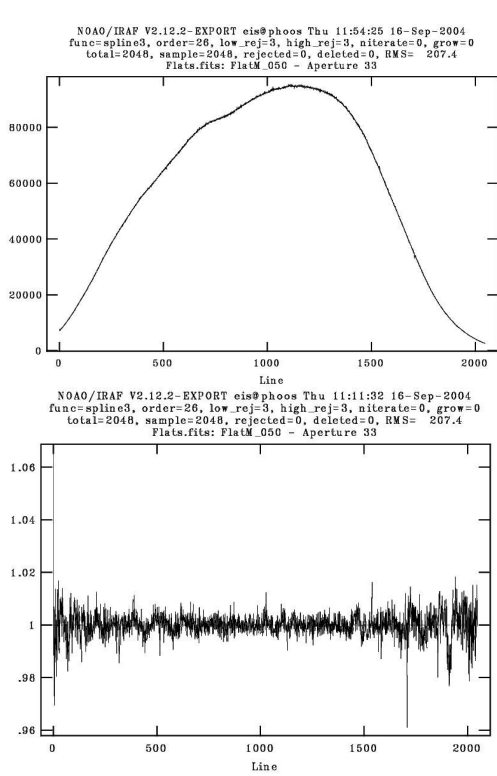
Şekil 2. Tayfçeker içinde saçılmış ışığın CCD’nin orta satırı (burada 1024. satırı) boyunca alınan izi.

Tayf açıklıklarının CCD çerçevesinden ayrıştırılması, yine echelle paketindeki apsum uygulaması ile yapılmıştır. Burada öncelikle dikkat edilmesi gereken, açıklıkların tanımlanması (apfind) işinde, yeterince uzun poz süresi verilmiş bir tayfın kozmik ışın ya da yıldız çizgisi barındırmayan bir satırının kullanılmasıdır (burada “satırlar”dan, açıklıklara hemen hemen dik olan eksenler anlaşılmalıdır). Bunun yanında, açıklıkların tam izlerini çıkarmak (aptrace) için fonksiyon uydururken kenar noktalarına dikkat edilmelidir. Açıklıkların belirlenmesi ve izlerinin bulunması (apfind ve atrace) işleri böylesi bir tayf için bir kez yapılarak veritabanına yazıldığında, tayfçekerin konfigürasyonu değişmediği sürece bu “imza” diğer tüm tayf görüntülerine kendiliğinden uygulanabilir.

Tayf kesitleri, eşel formatında, basamaklar (order) halinde ayrıştırıldığında, en uzun dalgaboylarından H α çizgisinin bulunduğu basamaklara dek azalan biçimde etkili olan saçaklanma deseni (fringe pattern) ile karşılaşılır. Bu etki, düz alan düzeltmesinde ortadan kalkmaktadır. Diğer yandan, aşağıda belirtilen nedenlerle, gözlemcilere düz alan tayf görüntülerini kendi içinde boylandırmaları önerilebilir. Bu amaçla echelle.apflatten kullanılabilir.

1. Açıklığın enine kesitinde oluşabilecek biçim farklılıkları, düz alan düzeltmesinde istenmeyen kenar etkilerine yol açabilmektedir.
2. Sinyalin çok azaldığı bölgelerde görüntünün düz alana bölümü sonrasında büyük genlikli yapay görüntüler oluşmaktadır.

E. Işık vd: TUG RTT150-CES ile Yapılan Deneme Gözlemleri

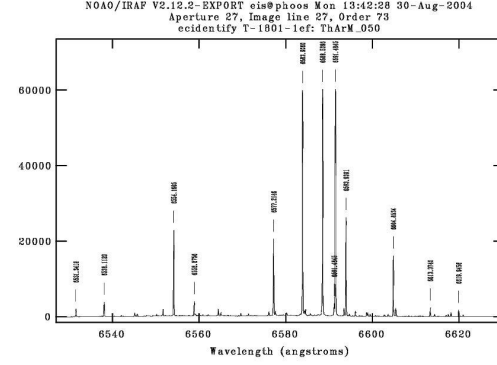


Şekil 3. (a) Doğrudan ayrıştırılmış düz alan tayf kesiti (30. basamak); (b) Düzleştirme işlemi yapıldıktan sonra ayrıştırılmış düz alan kesiti (33. basamak).

3. Doğrudan düz alan görüntüsüne bölme işlemi, yıldız tayfının karakteristik kesitini ortadan kaldırmaktadır. Oysa bu kesit, örneğin kozmik ışınları elemek için varyansa dayalı olarak açıklık ayrıştırılması sırasında kullanılır (bu çalışmada kozmik ışınlar bu biçimde elenmiştir).

4. Doğrudan düz alana bölme, tayfın dalgaboyuna göre biçimini değiştirerek Poisson istatistiğini bozar ve düşük sinyalli bölgelerde sıfıra yakın sayılara bölmeden dolayı çok büyük ek sinyaller üretir.

Bu nedenlerle, gözlemcilere uzaysal dağılımın ayırmsanamayacağı – nokta kaynak – gözlemlerde “düz alanı düzleştirmek” önerilebilir. IRAF’ta bu amaçla yapılan “apflatten” işleminde açıklıkların dışında kalan pikseller bire boylanır ve açıklıklar yine başlangıçtaki yıldız tayfından elde edilen maske (aperture reference) kullanılarak ayrıştırıldığında, Şekil 3a’daki yerine Şekil 3b’deki gibi eşel basamakları elde edilir. Ayrıştırma yapılırken her bir basamağın dispersiyon boyunca gösterdiği şiddet dağılımına fonksiyonlar uydurulur.



Şekil 4. RTT150-CES kısa kamera için oluşturulan Th-Ar atlasından bir basamağın görünümü.

Böylece, düz alan kesitine yalnızca pikseller arası duyarlılık farklılıkları yansır. Şekil 3b’de görülen farklılıklar, yüksek frekanslı gürültü biçiminde görülen pikseller arası duyarlılık farkları ile düşük frekanslı dalga biçiminde görülen, olasılıkla CCD yüzeyindeki büyük ölçekli duyarlılık farkları ve orta frekanslı gürültü veren kırınım saçaklarıdır.

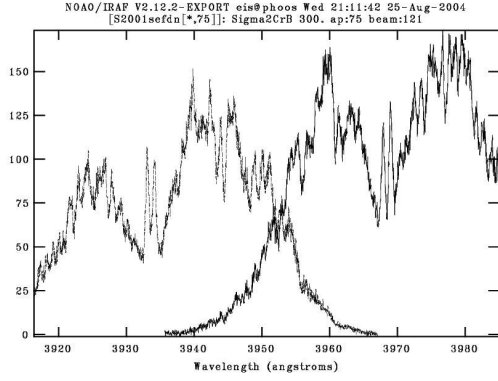
Tayfların dalgaboyu ayarlaması, her gözlem gecesinde alınan Th-Ar (Toryum-Argon) lamba tayfları kullanılarak yapılmıştır. Th-Ar tayflarındaki çizgilerin, dalgaboyları belirlenmiştir (Şekil 4). Bu amaçla Anglo-Australian Gözlemevi’nin web sayfasından alınan Th-Ar atlası kullanılmıştır. Yapılan dispersiyon uydurmasında ulaşılan kok (rms) hatası, Şekil 4’te bir bölümü verilmiş olan lamba tayfı için 0.004 Å düzeyindedir. Daha çok çizgi belirlenerek bu hata azaltılabilir.

4. Tayf kesitleri

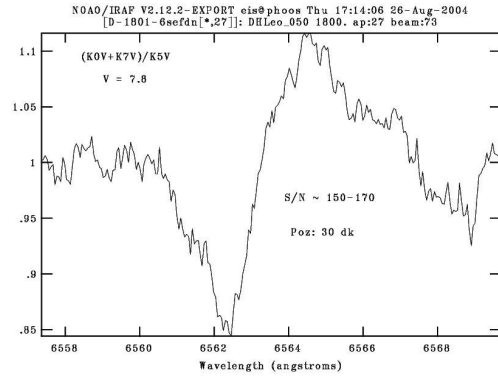
F9V/G0V ($v \sin i \sim 26 \text{ km s}^{-1}$; $P \sim 1.157 \text{ g}$; $V = 5^{\text{m}.6}$) türü bir etkin yakın çift yıldız dizgesi olan $\sigma^2 \text{ CrB}$ ’nin 3900 – 4000 Å aralığına denk düşen iki eşel basamağı, Şekil 5’te verilmiştir. Ca II K ve H çizgi öteklerinde, iki bileşen yıldız etkin kromosferlerinden kaynaklanan salmalar görülmektedir. Bu tayf, bileşen çizgilerinin ayrık olduğu (quadrature) bir yörünge evresinde, kısa kamera ile alınmıştır. 5 dakika poz süreli tayfların şeklindeki kesitinin ölçülen sinyal / gürültü (S/G) oranı, ortalama 75’tir.

Şekil 6’da bir etkin yakın çift içeren üçlü yıldız dizgesi DH Leo’nun ((K0V+K7V)/K5V; $v \sin i \sim (45, 21)/8 \text{ km s}^{-1}$; $P \sim 1.070 \text{ g}$; $V = 7^{\text{m}.8}$) H α kesiti

E. Işık vd: TUG RTT150-CES ile Yapılan Deneme Gözlemleri



Şekil 5. σ^2 CrB yakın çift yıldız dizgesinin – soldan sağa – Ca II K ve H çizgileri. Şekilde normalize edilmemiş olan 76. ve 75. echelle basamaklarının kesitleri görülmektedir. Sinyalin düşüklüğü, gerek tayfçelerin, gerekse CCD'nin mavi dalgaboylarına gittikçe azalan duyarlılığından ileri gelmektedir.

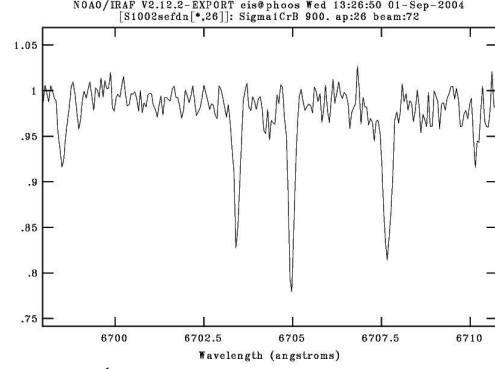


Şekil 6. DH Leo'nun H α kesitinin kısa kamera ile alınmış kesiti.

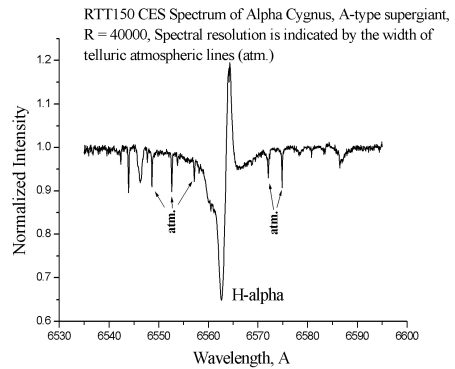
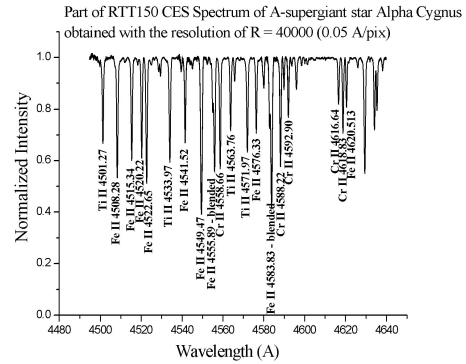
verilmiştir. 0.12 yörünge evresine karşılık gelen bu kesitte maviye kaymış soğurma K0V, kırmızıya kaymış salma K7V bileşeninden ileri gelmektedir. 30 dk poz süreli bu kesitte ölçülen S/G oranı 160 dolayındadır. Şekil 7'de yavaş dönen σ^1 CrB yıldızının (GOV) Li I λ 6708 çizgisi ve yöresi görülmektedir. Yine kısa kamera ile alınmış Deneb tayflarının mavi ve kırmızı bölgelerinden iki kesit Şekil 8'de verilmiştir. İlk bakışta H α kesitinin P Cygni özelliği göze çarpmaktadır. Çizginin iki yanında görülen dar çizgiler, yer atmosferinden kaynaklanan tellürik çizgilerdir. Bunların yarı maksimum tam genişlikleri, tayfın ilgili dalgaboyundaki çözünürlüğü mertebesinde.

Şekil 9'da, bu bildiri sunulurken indirgenmesi henüz yapılan ilk uzun kamera tayflarından iki kesit sunulmuştur. σ^2 CrB yakın çift dizgesi, yakınlık

nedeniyle çok hızlı dönen iki Güneş türü yıldızdan oluşmaktadır. Yüksek dönme hızı, aynı atomik geçişin neden olduğu bileşen yıldız çizgilerinin



Şekil 7. σ^1 CrB yıldızının (GOV) Li I λ 6708 çizgisi ve komşuluğunun kısa kamera ile alınmış kesiti.

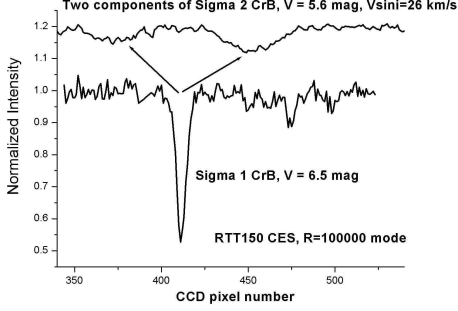


Şekil 8. Deneb'in (A2Iab) kısa dalgaboylarında (üstte) ve H α bölgesindeki (altta) tayf kesitleri (kısa kamera).

genişliğinden anlaşılabilir. Söz konusu çizgi, alttaki yavaş dönen tek yıldız tayfında çok daha dar görülmektedir.

5. Sinyal / gürültü oranları

Yapılan deneme gözlemlerinin aletten beklenen niteliklere sahip olduğu görülmüştür. Tablo 1’de, kısa kamera ile ilk gözlenen yıldızların tayflarından ortalama hava koşullarında elde edilen ortalama S/G oranları verilmiştir



Şekil 9. σ^2 CrB (altta) ile onun 6 yay saniyesi uzaktaki görsel (gerçek) bileşeni σ^1 CrB yıldızının uzun kamera ile alınmış tayf kesitleri (R~100000). Tayflar, astronomik görüşün yaklaşık 0.8 yay saniyesi olduğu bir gecede alınmıştır.

Tablo 1. Deneme gözlemlerinde ulaşılan ortalama S/G oranları (kısa kamera; R ~ 40000)

Yıldız (poz s.)	V	Ortalama dalgaboyu (angström)			
		3960	5500	7500	10000
σ^2 CrB (5 dk)	5.6	75	260	180	50
σ^1 CrB (15dk)	6.5	50	220	120	40
DH Leo(30dk)	7.8	35	240	150	40

Gözlemler ve veri sağlama konusundaki yardımlarından dolayı I. Khamitov, M. Parmaksızoğlu, K. Uluç ve diğer TUG personeline teşekkür ederiz. Bu çalışma, Akdeniz Üniversitesi Araştırma Projeleri Yönetim Birimi’nce 2004.05.0121.042 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.