

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Galaktik 12 Gezegenimsi Bulutsunun Element Bolluklarının
Belirlenmesi**

Çiğdem Pelin TUNÇBİLEK

Astronomi ve Astrofizik Anabilim Dalı

Ağustos, 2024

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	VII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. MATERYAL ve METOT	11
3.1. Materyal	14
3.1.1. TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi.....	14
3.2. Metot	15
3.2.1. IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) Tayf Analizi	15
3.2.1.a. Ön indirgeme Adımları	16
3.2.1.b. Dalga Boyu Kalibrasyonu	17
3.2.1.c. Akı Kalibrasyonu Adımları	18
3.2.2. IRAF Programında Yayınım Çizgi Akılarının Ölçülmesi	18
3.2.3. Alfa (Automated Line Fitting Algorithm) ile Yayınım Çizgi Akılarının Belirlenmesi	19
3.2.4. PyNeb’de Sönümleme Çıkarma	19
3.2.5. Fiziksel Koşulların Belirlenmesi	19
3.2.5.a. Elektron Sıcaklığı T_e	20
3.2.5.b. Elektron Yoğunluğu (n_e):.....	20
3.2.5.c. $c(H\beta)$ Değeri	20
3.2.6. İyonik Bolluklar.....	21
3.2.6.a. İyonik Bollukları ve Hesaplanması	24
3.2.7. İyonizasyon Düzeltme Faktörü (Ionization Correction Factor) (ICF)	25
3.2.8. Element Bollukları.....	26
3.2.8.a. Neat (Nebular Empirical Analysis Tool) Kullanılarak Element Bollukları Hesabı	28
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	29
4.1. Gezegenimsi Bulutsuların Tayfsal İncelenmesi	32
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	45
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	61
EKLER.....	63

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Galaktik 12 Gezegenimsi Bulutsunun Element Bolluklarının Belirlenmesi

Çiğdem Pelin TUNÇBİLEK

Danışman: Prof. Dr. Aysun AKYÜZ

Astronomi ve Astrofizik Anabilim Dalı

ÖZ

Gezegenimsi bulutsuların element bolluklarının incelenmesi, galaksilerin kimyasal evrimi hakkında kritik bilgiler sağlar. Bu tez çalışmasında, HASH kataloğundan seçilen Galaktik 12 Gezegenimsi Bulutsunun Helyum, Azot, Oksijen, Neon, Argon, Kükürt elementlerinin bollukları incelenmiştir. Bu amaçla TÜBİTAK Ulusal Gözlemevinde (TUG)'da bulunan RTT150 teleskobuna takılı TFOSC tayfçekerinden alınan veriler kullanılmıştır. İncelenen Galaktik 12 Gezegenimsi Bulutsu için belirlenebilen yayınımlar çizgilerinden elektron sıcaklığı, elektron yoğunluğu ve sönümleme için $c(H\beta)$ değerleri hesaplanmıştır. Bununla birlikte farklı programlar (*Image Reduction and Analysis Facility (IRAF)*, *Automated Line Fitting Algorithm (Alfa)*, *PyNeb* ve *Nebular Empirical Abundance Tool (Neat)*) kullanılarak incelenen gezegenimsi bulutsuların iyonik bollukları, iyonik düzeltme faktörü (ICF) ve element bollukları belirlenmiştir. Elde edilen element bollukları Galaktik şişkin bölge, disk ve halo için verilen değerlerle çoğunlukla uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gezegenimsi Bulutsu, Tayf, Element Bolluğu

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

MSc THESIS

**Determination of Elemental Abundances in Galactic 12
Planetary Nebulae**

Çiğdem Pelin Tunçbilek

Advisor: Prof. Dr. Aysun AKYÜZ

Department of Astronomy and Astrophysics

ABSTRACT

Investigating the elemental abundances of planetary nebulae provides critical information about the chemical evolution of galaxies. In this thesis study, the abundances of Helium, Nitrogen, Oxygen, Neon, Argon, Sulfur elements in Galactic 12 Planetary Nebulae selected from the HASH catalogue were investigated. For this purpose, data obtained from the TFOSC spectrograph attached to the RTT150 telescope located at the TUBITAK National Observatory (TUG) were used. From the emission lines determined for the Galactic 12 Planetary Nebulae, electron temperature, electron density, and $c(H\beta)$ values for extinction were calculated. In addition, ionic abundances, ionic correction factor (ICF) and element abundances of the planetary nebulae were determined using different programs (*Image Reduction and Analysis Facility (IRAF)*, *Automated Line Fitting Algorithm (Alfa)*, *PyNebve Nebular Empirical Abundance Tool (Neat)*). It was observed that the obtained element abundances were mostly consistent with the values given for the Galactic bulge, disk and halo.

Keywords: Planetary Nebula, Spectrum, Elemental Abundance

TEŞEKKÜR

Bu projede bana çalışma fırsatı veren, bilgi ve deneyimlerini her daim benimle paylaşan ve yol gösterici rehberliğiyle beni yönlendiren kıymetli hocalarım **Prof. Dr. Aysun AKYÜZ** ve **Prof. Dr. Nazım AKSAKER**'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Bu süreçte bana olan inançları, akademik gelişimime sağladıkları katkılar ve tüm destekleri benim için çok değerli olmuştur.

Ayrıca, tezim hakkında sunduğu öneriler ve yapıcı eleştirileriyle bana yardımcı olan jüri üyesi hocamız **Prof. Dr. Eda SONBAŞ**'a da teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca her zaman yanımda olan, manevi desteklerini esirgemeyen ve motivasyonumu artıran sevgili arkadaşlarım **Nurullah ERZİNCAN**, **Utkan TEMİZ**, **Zuhal KURT**, **Murat BEYAZIT** ve **Yağmur KOCA**'ya da gönülden teşekkür ediyorum. Onların samimiyeti ve arkadaşlığı, bu zorlu süreçte bana güç ve moral kaynağı olmuştur.

Tezimle ilgili tüm ofis işlemlerinde yardımcı olan UZAYMER görevlisi **Resul EYİ**'ye teşekkür ederim.

Tüm bu süreçte maddi manevi bana destek olan sevgili aileme minnetlerimi sunarım ve bu tezi, çok yakın zamanda kaybettiğim, bana her daim destek olan ve yanımda olan **Sevgili Babam Niyazi TUNÇBİLEK**'e adıyorum.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. TFOSC'un gözlemler süresince kullanılan CCD'lerinin temel özellikleri.....	15
Çizelge 3.2. 12 GB için, katalog ve sınıflandırma tipi belirtilmiştir. E (Elliptical), R (Ring-like), S (Spherical) biçimsel sınıflandırmaları temsil etmektedir. Bu sınıflandırmalar, bulutsuların gözlemsel özelliklerine dayanarak yapılmış olup, farklı araştırma gruplarının bulgularını kapsamaktadır (HASH kataloğundan alınmıştır.)	17
Çizelge 3.3. Kullanılan RL'lere karşılık gelen dalga boylarını verir.....	23
Çizelge 3.4. İyonize bölgelerdeki farklı sıcaklık değerlerine karşılık gelen yayınım katsayı değerleri gösterilmektedir (Osterbrock ve Ferland, 2006).....	23
Çizelge 3.5. Element bolluklarının hesaplanmasında kullanılan tüm yayınım çizgilerinin dalga boyları (Shuyu Tan, 2024).....	24
Çizelge 3.6. G.Delgado-Inglada, C.Morisset and G.Stasinska(2014) DMS14 ICF Hesaplama Tablosu	25
Çizelge 3.7. WL07 ICF Hesaplama Tablosu	26
Çizelge 3.8. KB94 (Kingsburgh,ve Barlow, 1994) 'de ICF ve element bolluklarının hesaplama yöntemi.....	26
Çizelge 3.9. Bazı elementlerin bolluk değerleri (bolluklar $12+\log(X_m/H^+)$ formülüne göre hesaplanmıştır).	27
Çizelge 4.1. Seçilen 12 GB'nin bazı özellikleri ve gözlem bilgileri verilmektedir. 1. sütunda GB'lerin katalog isimleri yer almaktadır. 2. sütunda yaygın bilinen adları, 3. sütunda sağ açıklık (R.A), 4. sütunda dik açıklık (Dec.) koordinat değerleri gösterilmiştir. Kaynakların HASH veri tabanında yer alan açısız büyüklükleri 5. sütunda, USNOB1.0 kataloğunda R filtresinde bulunan parlaklık değerleri ise 6. sütunda verilmiştir. Gözlemlerin yapıldığı tarihler 7. sütunda ve kullanılan grismler 8. sütunda listelenmiştir.....	30
Çizelge 4.2. IRAF ve Alfa yöntemleri kullanılarak yapılan tayfsal analiz sonuçları karşılaştırılmaktadır. Her iki yöntemin sonuçları GB'lerin çeşitli iyonlarına ait akıllar H_β 'ya göre normalize edilmiş ve kızarma düzeltmesi yapılmış değerlerdir.	34
Çizelge 4.3. 12 GB 'nin <i>IRAF</i> ve <i>Alfa</i> gibi iki program ile belirlenen akı değerlerinden hesaplanan T_e , n_e ve $c(H\beta)$ sonuçları. 1., 3. ve 5. sütunlar <i>IRAF</i> ile elde edilen sonuçlar 2.,4. ve 6. sütunlar ise aynı tayfın <i>Alfa</i> ile elde edilen sonuçlarını vermektedir.....	38
Çizelge 4.4. 12 GB için elde edilen kimyasal bollukları göstermektedir. Her bir GB için hem IRAF hem de Neat ile elde edilmiş ICF ve belirlenen element bollukları detaylı bir şekilde sunulmuştur. Her GB'nin sağındaki sütunlar, aynı GB'nin Neat çıktılarını göstermektedir. Sonuçlar $\log(X) + 12$ bağıntısına göre verilmiştir.....	39

ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 3.1. Bir AGB yıldızının zamanla gelişiminin şematik gelişimi (Werner ve Herwig 2006)..
Konvektif bölgeler gri gölgeli alanlar olarak gösterilmiştir; burada 'ICZ', kabuklar arası konveksiyon bölgesini temsil eder. H-tükenmiş çekirdek kütlesi ince kırmızı düz bir çizgiyle, He-tükenmiş çekirdek kütlesi ise kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Kalın kırmızı çizgiler, nükleer yanmanın ne zaman aktif olduğunu gösterir. Sadece iki yanan bölgenin etrafındaki bölge, yaklaşık $0,01 M_{\odot}$ 'den oluşan kabuklar olarak gösterilmiştir. Taranmış bölge, ^{13}C açısından zengin bir kabuk olduğunu belirtir. Bu taranan bölüm, H açısından zengin zarf ile C açısından zengin kabuk arasındaki bölgenin arayüzünde oluşmuştur..... 11
- Şekil 3.2. $2M_{\odot}$ kütleli bir yıldız için ana kol aşamasından beyaz cüce aşamasına kadar tam bir evrim izinin Hertzsprung-Russell diyagramı (Güneş metalikliği dikkate alınmıştır) (Herwig, 2005). 13
- Şekil 3.3. GB'lerin sırasıyla 2 boyutlu tayf görüntüleri gösterilmektedir. 11 GB için grism8 ve grism14 yan yana GB 202.9+07.4 için grism15 tek bir ham obje tayfı bulunmaktadır. 16
- Şekil 4.1. 12 GB'nin dağılımı (Hammer-Aitoff projeksiyonu kullanılmıştır). GB'ler Sağ açıklık (RA) ve Dik açıklık (Dec.) koordinatları kullanılarak kırmızı noktalar ile işaretlenmiştir. 30
- Şekil 4.2. 12 GB'nin WISE uydusunun W4 (Red), W3 (Green), W2 (Blue) bantlarından alınan görüntüleri ile oluşturulmuş 3 renk (RGB) görüntüleri. GB'ler görüntülerde çoğu merkezde ve kırmızı olarak görülmektedir. 31
- Şekil 4.3. 12 GB'nin *PyNeb* kullanılarak oluşturulmuş 1-boyutlu tayfları. x eksenini Angström cinsinden dalga boyunu, y eksenini dalga boyu başına birim zamanda birim alana düşen enerjiyi göstermektedir. GB'lerde beklenen H β , [O III] $\lambda\lambda 4959, 5007 \text{ \AA}$, H α , [N II] $\lambda\lambda 6548, 6583 \text{ \AA}$ ve [S II] $\lambda\lambda 6717, 6731 \text{ \AA}$ çizgilerinden çoğunluğu bulunmaktadır. 32
- Şekil 4.4. IRAF ve Alfa ile ölçülmüş akı değerlerinin uyum grafiği 37
- Şekil 5.1. IRAF ve Neat programlarında hesaplanan He, O, N, Ne, Ar ve S elementlerinin bolluk değerleri karşılaştırılmıştır ((Log (X)+12)' e göre). x ekseninde IRAF değerleri, y ekseninde Neat değerleri gösterilmektedir. 48
- Şekil 5.2. 12 GB için He, N, O, Ne, Ar ve S bollukları $X+\log(X/H)$ biçiminde verilmiştir. Ayrıca Neat Aksaker ve ark. (2024) tarafından Neat (sigma 6) programı kullanılarak yapılan analizler ile oluşturulmuş görüntü de verilmektedir. He, H, Ne, Ar ve S dahil olmak üzere bu element oranları O'ya karşı çizilmiş ve saat yönünde düzenlenmiştir. Sağ alt panel, He bolluğuna kıyasla O'ya göre N bolluğunu temsil eder. Kırmızı, yeşil,

turuncu ve pembe daireler sırasıyla Asplund ve ark. (2009); Kwitter ve Henry (2022)'den alınan güneş, Galaktik şişkin bölge, Galaktik disk ve Galaktik halo bolluklarını gösterir. Kesintisiz çizgi Kwitter ve Henry'den (2022) alınan GB bolluklarına uyumu temsil eder.....52



SİMGELER VE KISALTMALAR

GB : Gezegenimsi Bulutsu (Planetary Nebula)

$M_{\odot}$: Güneş kütlesi

Mag : Parlaklık birimi

SBM : Sabbadin, Minello ve Biancini Diyagramı

BPT : Baldwin, Phillips ve Terlevich Diyagramı

T_e : Elektron sıcaklığı

n_e : Elektron yoğunluğu

Å : Ångström, ışığın dalga boyunu ölçmekte kullanılan uzunluk ölçü birimi

pc : Parsek

SNR : Süpernova Kalıntısı (Supernova Remnant)

H II : İyonize hidrojen bölgesi

YSO : Yerel yıldızlararası ortam

AGB : Asimtotik Dev Kolu (Asymptotic Giant Branch)

1. GİRİŞ

Gezegensimsi bulutsular, kütlesi (1- 8) $M_{\odot}$ aralığında olan yıldızların evrimlerinin son aşamasında, dış katmanlarının uzaya püskürtülmesi sonucu oluşurlar. Bu süreçte, yıldızın merkezindeki çekirdeğin sıcaklığı artar ve etrafını saran gazın genişlemesi gerçekleşir. Genişleyen gaz, merkezden yayılan ışıma ile iyonize olur ve bu durum gezegensimsi bulutsunun parlak hale gelmesini sağlar. Gezegensimsi bulutsu evresi birkaç bin yıl sürer ve bu süre sonunda çekirdek beyaz cüceye dönüşürken, dış katmanlar yıldızlararası ortama karışır. Böylece, gezegensimsi bulutsunun yaşam döngüsü tamamlanmış olur. Gezegensimsi bulutsu adı bir gezegeni çağrıştırmasına rağmen gezegenle ilgisi olmayan bir gök cisimidir.

Gezegensimsi bulutsular, yıldızlararası ortamda radyasyon ve madde arasındaki etkileşimi incelemek için ideal bir laboratuvar sunmaktadır. Burada, bulutsunun tüm enerjisi tek bir kaynaktan, yani merkezi yıldızdan gelir. Yıldızın yaydığı radyasyon, iyonize, atomik, moleküler ve katı hal formlarında madde içeren bulutsu tarafından soğurular ve yeniden işlenir. Bu kaynaklarla ilgili 1970 öncesi yapılan ilk gözlemler, görünür bölgeyle sınırlı olduğundan, bilgilerimiz sadece iyonize gaz bileşenlerini kapsıyordu. Ancak, atom fiziğinin gelişimi ve farklı teleskoplarla bulutsu gözlem sonuçlarının birlikte değerlendirilmesiyle sonraki yıllarda bu alanda önemli ilerlemeler, gelişmelere olanak tanıdı.

Gezegensimsi bulutsulardaki element bollukları, hem ata yıldızların doğduğu yıldızlararası ortamın kimyasal bileşimini hem de bu yıldızların evrimi süresince gerçekleşen nükleosentez ürünlerini yansıtır. Yıldız evrimi sırasında He, C ve N elementlerinin bolluğu artarken, orta kütleli yıldızlarda Oksijen ve Oksijen nükleosentez ürünleri ile Fe-pik elementleri (Periyodik tabloda atom numarası 21 ile 32 aralığında Skandiyumdan Germanyuma kadar olan elementler) gibi daha ağır elementler sentezlenmez. Bu nedenle, gezegensimsi bulutsularda He, C ve N bolluklarını inceleyen çalışmalar, yıldız evrim modellerini test etmek için önemlidir. Öte yandan, O, Ne, Ar, S gibi elementlerin bollukları, yıldızın olduğu bölgenin metal bolluğunu belirler. Dolayısıyla, gezegensimsi bulutsularda kimyasal bolluğun doğru bir şekilde belirlenmesi, sadece yıldız evrimi ve nükleosentez basamaklarını anlamak için değil, aynı zamanda barınak galaksilerin kimyasal evrimini incelemek için de gereklidir (Kwitter ve Henry, 2022).

Galaksimizde günümüze kadar ~3500 gezegensimsi bulutsu kataloglanabilmiştir (Parker, 2020). Otuz yılı aşkın sürede yapılan çalışmalardan ortaya çıkan kataloglar arasında güncel olan HASH kataloğu, bu alanda kullanılan en büyük veri kaynağı olarak tanımlanmaktadır.

Bu tezin amacı, HASH kataloğundan seçilen Galaktik 12 gezegensimsi bulutsunun tayfsal verilerinin analiz sonuçlarından yararlanarak bu kaynakların iyonik ve element bolluklarını belirlemektir. Gözlemler TUG (TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi) yerleşkesinde gerçekleştirilmiş ve TFOSC'tan (TUG Sönük Nesne Tayf Çeker ve Kamerası) elde edilen verilerin detaylı analizleri yapılmıştır. Bunun için astronomide görüntü ve tayf verilerinin indirgemelerinde kullanılan IRAF

yazılımının yanı sıra *PyNeb*, *Alfa*, *Nebular Empirical Abundance Tool (Neat)* gibi gelişmiş hesaplama araçları olarak bilinen paket yazılımlar da kullanılmıştır. 12 Gezegenimsi bulutsunun element bolluğu, farklı yazılımlardan elde edilen sonuçlara bakılarak Güneşin element bolluk değerleri ve Galaktik şişkin bölgede, diskte, haloda bulunan Gezegenimsi bulutsuların bolluk değerleri ile karşılaştırılmıştır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Gezegeimsi Bulutsuların (GB'lerin) incelenmesi, genel olarak Charles Messier'in 1764 yılında yaptığı gözlemlerle başlar. Messier'in Tilkicik (Vulpecula) takımyıldızını incelemesi sonucu yıldızlardan yoksun, dairesel şekilli bir gök cismini keşfetmiştir. Messier bu gök cismini, asıl ilgi alanı olan kuyruklu yıldızlarla karıştırmamak için yıldız olmayan cisimler sınıfında 27 numaralı "yıldızsız bulutsu" olarak kataloglamıştır (Kwitter ve Henry, 2022). Böylece günümüzde Dumbbell Bulutsusu (M27 veya NGC 6853) olarak bilinen ilk GB gözlenmiştir. 1779 yılında, diğer bir gökbilimci A.Pellepoix gözlemleri sonucunda Çalgı (Lyra) takımyıldızında bulunan Halka Bulutsusunu (Ring Nebula, M57) "Jüpiter kadar büyük ve solgun bir gezegene benzeyen, çok donuk ancak mükemmel hatları olan bir bulutsu" olarak tanımlamıştır. "Gezegeimsi Bulutsu" terimi ilk olarak 1782'de William Herschel tarafından kullanılmıştır. Herschel, bugün Satürn Bulutsusu (NGC 7009) olarak bilinen yıldız olmayan bir gök cismi keşfetmiş ve bunu "Gezegeimsi Bulutsu" olarak sınıflandırmıştır. Herschel sonraki çalışmalarında GB'lerin doğasını araştırmış ve ilk kez GB'lerin ışıma enerjisini merkezi yıldızdan aldığı fikrini ileri sürmüştür (Hoskin, 2014).

Teleskopların çözünürlüğünün artması ve tayf biliminin gelişmesiyle GB'ler, belirgin yapıları ve genellikle merkezi yıldız ile ilişkili olmaları nedeniyle diğer Galaktik dağınık bulutsulardan daha kolay ayırt edilmeye başlanmıştır. İlk GB tayfı 1864 yılında W. Huggins tarafından Kedi Gözü Nebulası (Cat's Eye Nebula, NGC 6543) olarak bilinen gök cisminden alınmıştır. Tanımlanan ilk yayınım çizgisi Balmer serisinden H α (Hidrojen alfa) olmuştur. GB tayfı çoğunlukla yayınım çizgisi içerdiğinden yıldız tayfindan oldukça farklı ve bir GB'den ölçülen akının yalnızca merkezdeki bir yıldızdan kaynaklı olmadığı anlaşılmıştır. 1922 yılında Hubble, Mount Wilson'da bulunan 60 ve 100 inçlik teleskop verilerini kullanarak merkezi yıldızın parlaklığı ile GB boyutu arasında bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Ayrıca bir GB tayfının, sürekli yayınımına sahip merkezi yıldızın ışımasını soğuran bir bulutsudan kaynaklandığını öne sürmüştür. Bunun yanı sıra, tayfsal teknikleri kullanarak GB'lerin çeşitli morfolojik tiplerini sınıflandırmış ve Ring Nebula gibi genellikle küresel simetrik bir yapıya sahip olduklarını belirtmiştir (Kwok, 2000). Sadece GB'lere ait bilinen ilk katalog H. D. Curtis tarafından 1918 yılında oluşturulmuştur. Bu katalogda Crossley yansıtıcısı ile fotoğraflanan 78 GB'nin biçimleri, boyutları ve parlaklıkları bulunmaktadır.

20.yüzyılın ortalarında CCD (Charge-Coupled Devices) teknolojisi, astronomide görüntüleme tekniklerinde devrim yarattı. CCD'ler, teleskopların hassasiyetini fotoğraf plakalarına göre yaklaşık 100 kat artırarak çok daha sönük nesneleri ve detayları tespit etmelerini sağladı. Örneğin, fotoğraf plakaları ile birkaç gece sürecek görüntülemelerin süresi, CCD'ler ile bir geceye düşürüldü. CCD'ler, parlak kaynaklar için hata oranları genellikle %1'in altında olan hassas fotometrik ölçümler yapılmasına izin verir. Bu oran fotoğraf plakalarında %10 veya daha fazladır. Boyle ve Smith'in 1969 yılında tanıttığı CCD'ler, uzun zamandır astronomide hassas ve hızlı veri toplama imkânı sunmaktadır.

Parker ve ekibi, 1997-2008 yılları arasında Anglo-Avustralya Gözlemevi (AAO) ve UK Schmidt Teleskobu (UKST) kullanarak geniş kapsamlı bir H α taraması gerçekleştirdi. Güney Galaktik Düzleminde yaklaşık 1250 yeni GB keşfederek, bilinen gezegenimsi bulutsu sayısını ~2700'e çıkardı. Bu çalışmaların sonuçları Macquarie Üniversitesi, Anglo-Avustralya Gözlemevi (AAO) ve Strasbourg Gözlemevi iş birliğiyle oluşturulan Macquarie/AAO/Strasbourg H α Planetary Nebula Catalogue (MASH) başlığı ile kataloglandı. MASH kataloğu, optik ve kızılötesi fotometri, tayfsal analizler ve uzun süreli takip çalışmaları sonucu elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Her bir GB'nin Galaktik koordinatları (RA ve Dec) detaylı olarak listelenmiştir. GB'lerin boyutları ve morfolojik özellikleri, bulutsuların açısal büyüklükleri ve yüzey parlaklıkları, merkezi yıldızların fiziksel parametreleri, kütleleri ve sıcaklık değerleri verilmiştir (Acker ve ark., 2010).

İngiltere'deki Isaac Newton Teleskobu'nda (INT) gerçekleştirilen IPHAS (Isaac Newton Telescope Photometric H α Survey of the Northern Galactic Plane), 2003-2008 yılları arasında yapılan ve Kuzey Galaktik Düzlemindeki H α yayılımını fotometrik olarak incelemeyi amaçlayan bir tarama gözlemidir. $-5^\circ < b < +5^\circ$ enlem aralığında 1800 deg^2 geniş bir alanı kaplar ve sloan r' bandında $\approx 20 (10\sigma)$ mag. ulaşır (Drew ve ark., 2005). IPHAS çerçevesinde, bir dizi renk-renk grafiği kullanarak çok sayıda kompakt GB adayı belirlenmiştir (Viironen ve ark., 2009). IPHAS, nokta kaynağı kataloğu yaklaşık 80 milyon nesne için fotometrik veriler içerir ve Samanyolu diski içindeki yıldız popülasyonlarını incelemek için önemli bir katalogdur (Brown ve ark., 2010). IPHAS araştırma alanı içindeki GB'lerin dağılımı incelenerek bunların Samanyolu'nun yapısı üzerindeki etkileri araştırılmıştır (González-Santamaría ve ark., 2008). Bununla birlikte Güney Gökküre gözlemleri için planlanmış VPHAS+ (The VST H α Survey of Southern Galactic Plane and Bulge), Güney Galaktik Düzlem ve Galaktik Bulge boyunca H α unu araştıran bir projedir. 2012 yılında Güney yarımküredeki yıldızlararası ortamı, yıldız oluşum bölgelerini ve GB'leri incelemek amacıyla 1700 deg^2 'lik geniş bir alanı kapsayan bir proje olarak gerçekleştirilmiştir (Drew ve ark., 2014).

Aksaker ve ark. (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışma, Acker ve ark. (1992) kataloğundan sağ açıklık (RA) ve açısal büyüklük kriterlerine göre seçilen, kuzey yarımkürede (Dec $> -35^\circ$) bulunan 17 GB'nin , TUG T100 teleskopu ve RTT150 teleskopunda TFOSC kullanılarak yapılan uzun yarı tayfsal gözlemleri sonucunda elde edilen yayılım çizgilerinin incelenmesini sunmaktadır. Bu çalışma kapsamında, seçilen 17 GB'nin tüm gözlemlenebilir yayılım çizgilerinin mutlak akıları ve eşdeğer genişlikleri (EW) titizlikle ölçülmüş; ayrıca, elektron sıcaklıkları (T_e), yoğunlukları (n_e) ve kimyasal bolluklar hesaplanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, önceki verilerle (Acker ve ark., 1992; Wright ve ark., 2005) karşılaştırıldığında, akı ölçümlerinde %1'in altında bir hata oranı ile doğrusal bir ilişki sergilemiştir. Bu araştırma, kuzey yarımküredeki GB'lerin tayfsal araştırma alanını genişleterek, dar bant görüntüleme ve Fabry-Perot tayfı için referans alınabilecek yeni yayılım çizgi akıları sağlamaktadır.

GB verilerinin en güncel ve kapsamlı online veri tabanı olan HASH, Hong Kong Üniversitesi, Anglo-Australian Observatory (AAO) ve Strasbourg Gözlemevi iş birliğiyle geliştirilmiş olup bu gök cisimleriyle ilgili tüm verileri (MASH, IPHAS ve diğer kataloglar) bir araya getirmektedir. HASH, 2430 gerçek (true), 460 muhtemel (likely) ve 710 olası (possible) Galaktik GB'yi kapsayan toplam 3600 nesne içerir (Parker ve ark., 2016). Ayrıca, 640 Asimptotik Dev Kolu (AGB) sonrası yıldızlar ve olası GB adayları da bu veri tabanında yer almaktadır. Veri tabanı, $H\alpha$, [OIII], [NII] ve diğer önemli yayınım çizgilerinde çoklu dalga boyu görüntülerini, GB'lerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini analiz etmek için tayfsal verilerini, koordinatlarını, fiziksel boyutlarını ve morfolojik özelliklerini içermektedir. Kullanıcı dostu grafik arayüzü sayesinde veriler kolayca erişilip analiz edilebilir. Ayrıca, HASH, daha önce GB'lerle karıştırılmış veya yanlış şekilde GB olarak kataloglanmış nesneleri de içermektedir (Bojičić ve ark., 2017).

Temiz ve ark. (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, HASH veri tabanından küçük açısız büyüklüğe (<8 yay saniyesi) sahip 10 nesnenin sınıflandırılması ve fiziksel özellikleri üzerine bir çalışma yapılmıştır. 6 Muhtemel PN, iki yeni aday, bir yayınım çizgisi yıldızı ve doğası bilinmeyen bir nesneden oluşmaktadır. Bunlar arasında, TUG RTT150'ye takılı orta çözünürlüklü TFOSC kullanarak ilk kez dört nesne gözlemlenmiştir. Gözlenen nesnelerin sınıflandırılması için [O III] / $H\gamma$, [O III] / $H\beta$, [N II] / $H\alpha$ ve [S II] / $H\alpha$ yayınım çizgi oranlarını ve Sabbadin-Minello-Bianchini (SMB) (Sabbadin ve ark., 1977) ve Baldwin-Phillips-Terlevich (BPT) (Baldwin ve ark., 1981) diyagramları gibi tanısal diyagramları kullanmış ve dört nesnenin Muhtemel GB'den Gerçek GB'ye yeniden sınıflandırılmış ve kalan altı nesne için daha önce yapılan sınıflandırma korunmuştur. Ek olarak, incelenen 10 nesne için elektron sıcaklıkları, elektron yoğunlukları, logaritmik sönüm katsayıları ve uyarılma sınıfları gibi çeşitli fiziksel koşullar belirlenmiştir. Bu çalışma ile nesnelerin çoğunun iyonik bolluğunun Galaktik GB ile uyumlu olduğu ortaya çıkmış ve HASH veri tabanındaki 10 GB'nin güncellenmesini sağlamıştır.

Gaz bulutsuları, HII bölgeleri, süpernova kalıntıları (SNR'ler) ve GB'ler, optik tayflarında yayınım mekanizmalarına bağlı olarak farklı yoğunluklarda benzer yayınım çizgileri gösterirler. Ancak, bu gök cisimleri arasında ayırım yapmak için tanı araçları ve yayınım çizgi oranları kullanılır. Özellikle, GB'leri tanımlamada, tayfta 4686 Å dalga boyunda He II yayınım çizgisinin varlığı etkili bir yöntemdir (Frew ve Parker 2010; Parker 2022). Ayrıca, GB'ler, tayfin mavi kısmında güçlü bir [O III] $\lambda 5007$ Å çizgisiyle de ayırt edilir. Bu da [O III] / $H\beta$ yayınım çizgi oranını bir tanı aracı haline getirir ve GB'lerin uyarılma sınıfları hakkında bilgi verir (Frew ve Parker, 2010). Diğer yandan, [N II] / $H\alpha$ oranı şok dalgalarının varlığını gösterebilir. [N II] / $H\alpha$ oranı $<0,6$ ise HII bölgesi veya GB olarak sınıflandırılabilir (Frew ve Parker 2010). Bir bulutsudaki şok dalgaları, fotoiyonizasyona yol açarak güçlü [S II] çizgileri üretebilir. Bir SNR, [S II] / $H\alpha > 0,5$ oranıyla tanımlanabilirken, [S II] / $H\alpha < 0,5$ oranı, nesnenin GB veya HII bölgesi olabileceğini gösterir (Fesen ve ark., 1985; Matonick ve ark. 1997; Sonbas ve ark. 2010). Ayrıca, bir gök cismini GB veya simbiyotik yıldız olarak sınıflandırmaya yardımcı olmak için, [O III] $\lambda 4363$ / $H\gamma$ 'ye karşı [O III] $\lambda 5007$ / $H\beta$ oranlarını içeren

bir diyagram kullanılabilir. Yayınım çizgisi tanı diyagramları literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır (Frew & Parker 2010; Sabin ve ark., 2013; Akas ve ark., 2022). Bu alandaki iki temel tanı diyagramı, SMB ve BPT. SMB diyagramı, $\log F(H\alpha) / F [N II]$ 'ye karşı $\log F(H\alpha) / F [S II]$ grafiği kullanır. Burada $F(H\alpha)$, yayınım çizgi akısını temsil eder. BPT diyagramları ise $\log (F (6584) / F(H\alpha))$ 'ye karşı $\log (F (5007) / H\beta)$ ve $\log (F ([S II]) / F(H\alpha))$ 'ye karşı $\log (F (5007) / H\beta)$ oranlarını içerir.

19. yüzyılın ortalarında gelişen tayf bilimi, astronomiye yeni bir boyut kazandırmıştır. Gök cisimlerinin ışığını prizma tayfı ile renklerine ayırarak ve Tayfölçerler ile ışığın tayfını kaydederek elementlerin varlığını belirlemek için kullanılmıştır. Hearnshaw (1986) çalışmasında, NGC 7027 ve NGC 6543 gibi iyi bilinen GB'lerin tayflarını inceleyerek, O, H, N gibi elementleri ve bolluklarını belirlemiştir. Ayrıca, Güneş ve benzeri yıldızlar, novalar, süpernovalar gibi gök cisimlerinin tayfsal analizlerini de gerçekleştirmiştir.

NGC 6543 (Cat's Eye Nebula) ve NGC 7009 (Saturn Nebula) gibi iyi bilinen GB'ler üzerinde yapılan yüksek çözünürlüklü tayfsal gözlemler, bu bulutsuların genişleme hızlarının ~ 30 km/s ve bu genişlemelerin düzgün bir şekilde merkezden dışarı doğru olduğunu ortaya koymuştur. Bu gözlemler, GB'lerin merkezi yıldızlarından yayılan güçlü rüzgarların ve radyasyon basıncının bulutsu maddesini dışarı doğru genişlemesini sağladığını göstermiştir. Bu bilgiler kullanılarak, bir GB'nin ortalama ömrünün $\sim 10^4$ yıl ve merkez yıldızının hızlı bir şekilde beyaz cüceye dönüşme sürecinde olduğunu göstermiştir (Kwok, 2000).

Osterbrock (1960), GB'lerin sıcaklıklarını belirlemek için iyonize [O III] yayınım çizgileri (4959 Å ve 5007 Å) ile [N II] yayınım çizgileri (6548 Å ve 6584 Å) arasındaki oranları kullanmıştır. [O III] çizgilerinin yoğunluk oranı, yüksek iyonizasyon bölgelerinde tipik GB sıcaklıklarının 10,000 K ile 20,000 K, [N II] çizgileri ise daha düşük iyonizasyon bölgelerinde sıcaklıkların genellikle 8,000 K ile 12,000 K arasında olduğunu göstermiştir. Elektron yoğunluğu, genellikle düşük yoğunluklu (100 cm^{-3} ile $10,000 \text{ cm}^{-3}$) bölgelerde [S II] yayınım çizgilerinin (6716 Å ve 6731 Å) yoğunluk oranları kullanılarak belirlenmiştir. Osterbrock ayrıca, GB'lerin yüzey parlaklığı ile elektron yoğunluğu arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Tipik bir gezegenimsi bulutsu için yüzey parlaklığı ve elektron yoğunluğu arasındaki ilişkiyi kullanarak ortalama kütle ve sıcaklık formülleri de türetilmiştir. Osterbrock'un hesaplamalarına göre, NGC 3587 (Owl Nebula), ortalama elektron yoğunluğu $\sim 100\text{-}200 \text{ cm}^{-3}$, kütlesi ise $\sim 0.02 M_{\odot}$ olarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra NGC 6720 (Ring Nebula), daha yüksek bir elektron yoğunluğuna sahiptir, ortalama elektron yoğunluğu $\sim 1,000 \text{ cm}^{-3}$ tür.

Kaler (1970) çalışmasında, 1960'larda toplanan tayf verileri kullanarak yaklaşık 30 GB'nin kimyasal bileşimini incelemiş, O, N ve Ne elementlerinin bolluklarını hesaplamış ve O/H oranını 10^{-4} mertebesinde belirlemiştir. Örneğin, NGC 6543 (Cat's Eye Nebula)'te O/H oranı $\sim 5.10^{-4}$ olarak verilmiştir.

Boumis ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada [O III] λ 5007 Å girişim filtresi ile Galaktik şişkin bölgede GB taraması yapılmıştır. Gözlemler, Girit'te (Yunanistan) Skinakas Gözlemevi'ndeki 0,3 m Schmidt-Cassegrain (f/3.2) teleskopuyla, gerçekleştirilmiştir. [O III] λ 5007 Å girişim filtresi görüntüleri ile Galaksinin şişkin bölgesinde 57'si önceden bilinen, 25 yeni ve 8 GB aday olmak üzere toplam 90 nesne tanımladılar. Tanımlanan yeni adayların H α + [N II] görüntüleri ve düşük çözünürlükte tayfları ile kaynakların çizgi akıları, log (H α / [N II]) vs. log (H α / [S II]) tanısal diyagramına göre inceledikleri kaynakların foto iyonizasyon doğasını onaylamışlardır. Bulunan GB'lerin dokuzunun IRAS kaynaklarıyla ilişkili olduğu belirlenmiştir. Yeni keşfedilen GB'lerin açısal çapları, 1,3 m teleskopla alınan optik görüntülerine (H α + [N II]) göre ölçülmüş ve dairesel çapları bulutsuların optik dış kısmından, eliptik kabuk durumunda ise büyük ve/veya küçük eksenleri belirlenmiştir. Özellikle, yeni GB'lerin %50'si halka benzeri bir yapıya sahip olduğu, geri kalanın ise tam bir parlak kabuk yapısı olmayan sönük bulutsular ve parlak kompakt bulutsulardan oluştuğu belirtilmiştir. Morfolojik farklılıkların GB'lerin evrim aşamasına işaret ettiğini öne sürerek örneğin kompakt bulutsular genişlemelerinin ilk aşamasındaki durumu gösterdiğini, büyük ve sönük bulutsular geç evrim aşamasında olduğunu gösterdiğini yorumlamışlardır.

Ueta (2003) çalışmasında, çoğunluğu GB adaylarından oluşan 78 nesnenin JHK yakın kızılöte fotometrik ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmada görüntüleme ve açıklık fotometrisi kullanılarak bu nesnelerin fotometrik büyüklükleri belirlenmiştir. Yapılan gözlemler sonucunda 78 kaynaktan yaklaşık on tanesinde yanlış tanımlama veya komşu parlak kaynaklarla karışıklık tespit edilmiştir. Ayrıca, bu nesnelerin yaklaşık 24'ünün değişkenlik gösterdiği ve gözlemlerle takibinin gerektirdiği belirtilmiştir.

20.yüzyılın son çeyreğinde, kızılötesi ve milimetre dalga boyu astronomisinde gerçekleşen gelişmeler, GB'lerin optik olarak incelenebilen kaynaklar olmasının yanı sıra, moleküller yapılarından gelen güçlü yayılım yapan kaynaklar olduklarını da ortaya koymuştur. Zhang ve Kwok'un (1991) çalışmalarına göre, GB'lerden gelen enerjinin büyük bir bölümü, toz parçacıkları tarafından yayılan kızılötesi radyasyon olarak gözlenmektedir. Moleküler dağılım haritaları, GB'lerin çok miktarda nötr madde içerdiğini ve bazı durumlarda bu nötr maddenin, iyonize bulutsularda bulunan kütleyi aştığını göstermektedir.

1980'lerden itibaren radyo dalga boylarında da GB gözlemleri yapılmaya başlanmış, özellikle K. G. Jansky Very Large Array'nin (VLA) gözlemleri, GB'lerin tayfında gaz hareketlerini ve manyetik alanları araştırmak için kullanılmıştır. 7 mm dalga boyundaki VLA ile yüksek açısal çözünürlüklü (0,1 arcsec), IC 4997 gözlemlerinde, yoğun ($2,6 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$) ve optik olarak kalın bir iç çekirdek ile düşük yoğunluklu (10^{-4} cm^{-3}), optik olarak ince bir halo varlığı tespit edilmiştir. İç çekirdeğin kütle kaybı oranı üst sınır $\sim 3 \times 10^{-6} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ olup, bu çekirdeğin süper rüzgâr evresinin sonunda oluştuğu önerilmiştir (Gómez ve ark., 2002).

IRAS (Infrared Astronomical Satellite) 1983 yılında fırlatılmış ve kızılötesi ışıpta gökyüzünü tarayan ilk uydu olmuştur. Tüm gökyüzünü 12, 25, 60 ve 100 μm dalga boylarında tarayarak toz ve

gaz bulutları, yıldızlararası ortam ve çeşitli Galaktik ve galaksi-ötesi cisimlerin yakın kızılöte görüntülemeleri yapılmıştır. İyi bilinen GB'lerinkine benzer uzak kızılötesi renkler gösteren ve büyük çoğunluğunun tanımlanamayan kaynaklar olduğu veya literatürde çok az bilinen 253 IRAS kaynağın düşük çözünürlüklü optik tayfsal özellikleri incelenmiştir. 103 kaynağın AGB sonrası yıldızlar, 21'inin " transition sources " ve 36' sının GB olduğu belirlenmiştir (Suarez ve ark., 2006).

1990 yılında fırlatılan optik ve kızılötesi dalga boylarında gözlem yapabilen Hubble Uzay Teleskobu (HST) sayesinde geniş kızılötesi aralıklarda yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmiştir. M31'in genç açık kümesi B477-D075 içinde parlak bir GB'yi incelemek, kümeye ait olup olmadığını belirlemek ve evriminin hangi aşamasında olduğunu öğrenmek için HST fotometri ve tayf verileri kullanılmıştır. M31'in merkezinden ~ 8 kpc uzaklıktaki bir bölgede beklenen $\sim 70 \text{ km s}^{-1}$ hız dağılımı göz önüne alındığında, GB'nin kümeye ait olduğunu göstermiştir. HST-ACS (Advanced Camera for Surveys) kamerasından alınan renk-parlaklık arşiv verilerinden yıldızların yaşını ve metaliklik özelliklerini belirlemek için kullanılan izokron uyumlandırma yöntemi uygulanmıştır. Küme yaşı 290 Myıl ve metalikliği $Z = 0.0071$ olarak belirlenmiştir. N bolluğunun ise Güneş değerinden $\sim 5-6$ kat daha fazla olduğu bulunmuştur. Başlangıç kütlesi $3,4 M_{\odot}$ olan AGB yıldızlarının olası ata yıldızlar olabileceğine dair güçlü kanıtlar sunmuşlardır (Davis ve ark.,2019).

M31 ve M33 galaksileri civarında Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope (LAMOST) ile gözlemlenen 3305 H α yayının çizgisi veren nokta kaynaklarının bir kataloğu oluşturulmuştur. Katalogda 1487 yayının çizgisine sahip yıldız, 377 olası GB, 83 H II bölgesi aday ve 20 olası süpernova kalıntısı (SNR) dahil 532 yayının çizgisine sahip bulutsu ve 1286 bilinmeyen nesne bulunmaktadır. Bunlar arasında 24 GB aday, 19 H II bölgesi aday, 10 SNR aday ve bir simbiyotik yıldız aday yeni keşiflerdir. LAMOST spektrumlarından elde edilen H α çizgisinden ve H β , [O III] $\lambda 4959$, [O III] $\lambda 5007$, [N II] $\lambda 6548$, [N II] $\lambda 6583$, [S II] $\lambda 6717$ ve [S II] $\lambda 6731$ çizgileri de dahil olmak üzere diğer yayının çizgilerinden tahmin edilen radyal hızlar ve akılar da katalogda sunulmaktadır (Zhang ve ark., 2020).

James Webb Uzay Teleskobunun (JWST), yüksek çözünürlüklü görüntüleme ve tayfsal yetenekleri olan Orta Kızılötesi Enstrümanı (MIRI) ve Yakın Kızılötesi tayfçekeri (NIRSpec) sayesinde, ~ 760 pc uzaklıkta bulunan NGC 3132 ("Güney Halkası") NIRCcam ve MIRI tarafından görüntülenmiş, biri parlak bir ana kol A yıldızı, diğeri ise bulutsunun kaynağı olan genç bir beyaz cüce olan ikili yıldız gözlenmiştir. NGC 3132 yakın kızılötesinde H rekombinasyon çizgileri, yüksek oranda iyonlaşmış atomlardan ([Ar III], [S IV], [Ne II] ve [S III]) gelen çizgiler ve H₂ titreşim ve dönme çizgilerinin her ikisini de içermektedir (Pontoppidan ve ark.,2022).

2006 ve 2007 yıllarında Brezilya Ulusal Astrofizik Laboratuvarına (The National Laboratory for Astrophysics) (LNA) ait 1.60 m'lik teleskop ile yapılan tayfsal gözlemler ile Galaksinin şişkin bölgesinin batısında yer alan 54 GB'den 33'ü için ilk kez He, N, S, O, Ar ve Ne elementlerinin bollukları elde edilmiştir. Ayrıca yine aynı bölgede, daha önce yayınlanmış 50 GB verileri yeniden analiz edilmiştir. 45 GB için kimyasal bolluk değerleri yayınlamıştır. Kingsburgh ve Barlow'un (1994) çalışmasında sunulan iyonizasyon düzeltme faktörleri (ICF'ler) kullanılmıştır. Bollukları

türetmek amacıyla düşük iyonlaşma seviyesindeki iyonlar için [N II] sıcaklığını ve yüksek iyonlaşma seviyesindekiler için [O III] çizgilerinden elde edilen sıcaklık değerleri kullanılmıştır (Cavichia ve ark., 2009).

Danehkar ve ark. (2022) çalışmalarında, GB IC 4997'in fiziksel koşullarını ve kimyasal bolluklarını incelemişlerdir. 2014'te La Palma Gözlemevi'ndeki İskandinav Optik Teleskobu ile Fİbre beslemeli Échelle Tayfölçeri kullanılarak yapılan orta çözünürlüklü tayflardan çarpışmayla uyarılmış çizgiler (CEL'ler) ve optik rekombinasyon çizgileri (ORL'ler) elde edilmiştir. CEL'lerden $\approx 3 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluklarını ve $\approx 14.000 \text{ K}$ elektron sıcaklık değerlerini bulmuşlardır. Helyum ve ağır element ORL'lerinden ise sırasıyla ~ 11.000 ve $\sim 7.000 \text{ K}$ değerinde düşük sıcaklıklar elde edilmiştir. CEL'lerden elde edilen element bollukları, $[\text{O}/\text{H}] \lesssim -0,75$ ile metal açısından fakir bir ata yıldızla işaret ederken, ORL bolluklarının ise $[\text{O}/\text{H}] \approx 0,15$ ile Güneş metalikliğinin biraz üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Galaksideki yıldızlararası S, Cl ve Ar bolluğunu incelemek için 86 GB kullanılmıştır. 20 Galaktik GB'nin 3700- 9600 Å aralığındaki tayfsal gözlemleri, Kitt Peak Ulusal Gözlemevi (KPNO) veya Cerro Tololo Inter-American Gözlemevi'nde (CTIO) optik/yakın kızılötesi tayfölçer ile, [S IV] 10.5 mm çizgisini içeren 6 GB'nin gözlemi de Kızılötesi Uzay Gözlemevinde (ISO) Kısa Dalga boyu Spektrometresi (SWS) kullanılarak yapılmıştır. CTIO'daki gözlemler 1997'de 1,5 m teleskop ve 15 adet 1200 x 800 mm piksele sahip Loral 1K CCD'li Cassegrain tayf bilimi ile Doğu-batı yönünde genişletilmiş bir yarık kullanılarak elde edilmiştir. 20 GB'nin her biri için S/O, Cl/O ve Ar/O oranları verilerek element bolluk çalışmaları yapılmıştır (Kwitter ve ark., 2002).

Galaksi merkezine göre tanımlanan mesafelerde (8-21 kpc) Spitzer Uzay Teleskobu üzerindeki kızılötesi tayfölçer ile 2007 ile 2008 yılları arasında IRS'nin (The Infrared Spectrograph) kısa-düşük (SL), kısa-yüksek (SH) ve uzun-yüksek (LH) modülleri kullanılarak 23 GB gözlemlenmiştir. Bu gözlemler sonucu, 5,2–14,5 μm , $R \sim 60\text{--}127$ ve 9,9–36,4 μm aralığında $R \sim 600$ çözünürlüklerine sahip tayflar üretilmiştir. Samanyolu diski içinde $\sim 10 \text{ kpc}$ mesafelere kadar bir metaliklik gradyanının varlığını gösteren H II bölgeleri ve genç B tipi yıldızlar da dahil olmak üzere farklı kaynak türleri üzerinde yapılan çalışmalardan elde edilen bulgularla GB'lerin tayfları karşılaştırılmıştır. GB tayfları iyonik türlerden gelen çok sayıda ince yapıyı yayılım çizgisini göstermiştir ve yıldızlararası ortama fırlatılan bulutsu malzemesinin genel bolluğunun incelenmesine olanak sağlamıştır. Bulunan Ne, S ve Ar bollukları, değişen dağılıma rağmen, güneş sistemi çevresinden $\sim 20 \text{ kpc}$ 'lik mesafelere kadar olan metaliklik gradyanı ile tutarlı olduğu tespit edilmiştir (Pagomenos ve ark., 2017)

Galaktik küme NGC 2453'ün bir üyesi olduğu düşünülen GB NGC 2452'nin fiziksel koşulları, kimyasal bollukları kinematik karakteristiği ve morfolojisi araştırılmıştır. Bu amaçla 2016'da Siding Spring Gözlemevi'ndeki 2,3 m'lik The Australian National University (ANU) teleskobuna monte edilen Geniş Alan tayfölçer (WiFeS) cihazı kullanılarak tayfsal gözlemler yapılmıştır. GB tayfında yaklaşık 150 yayılım çizgisi ölçülmüştür. Bunların çoğu H I, He I, He II, O II, O III, N II' nin izinli çizgileri olup çok sayıda yasak ve yarı-yasak çizgilerde tanımlanmış ve akı değerleri hesaplanmıştır. He ve C iyonik ve toplam bolluğu optik rekombinasyon çizgilerinden,

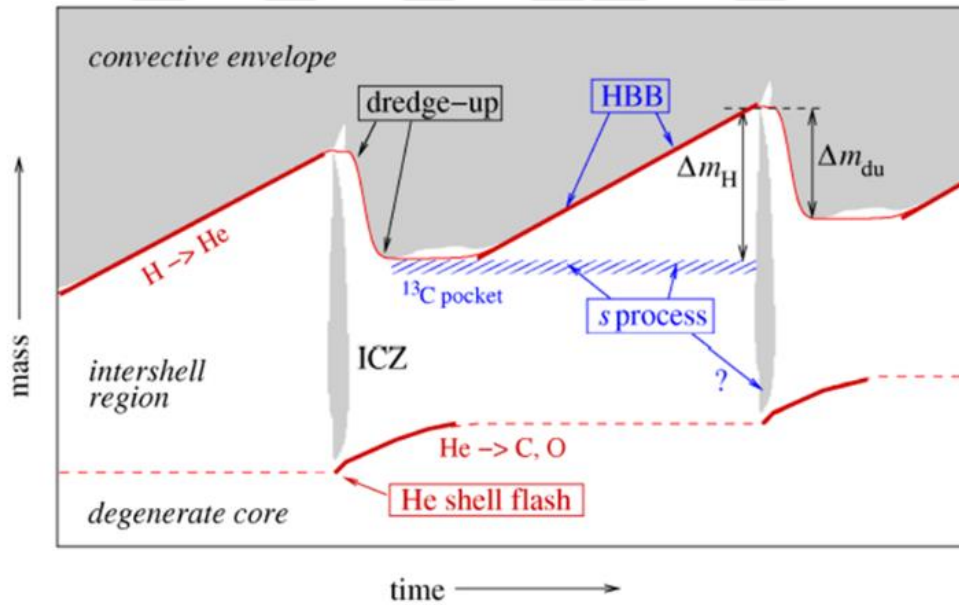
N, O, Ne, Ar, S ve Cl, çarpışmalı uyarılma çizgilerinden elde edilmiştir. Ayrıca GB tayfında s-süreci ürünleri olduğu bilinen Kripton (Kr), Manganez (Mn) ve Krom (Cr) gibi silik çizgiler de görülmüştür. İyonik ve element bolluklar Neat (Nebular Empirical Abundance Tool) (Wesson, 2016) kullanılarak hesaplanmıştır. Çizgi akılarının istatistiksel belirsizlikleri, Monte Carlo yaklaşımı kullanılarak Neat algoritması aracılığıyla sıcaklık, yoğunluk, iyonik ve element bolluklar gibi tüm parametrelere uygulanmıştır. He II λ (4686) çizgisinin fazlalığı GB'nin yüksek uyarılma sınıfında olduğunu, [O I] ve [NI] nötr çizgilerinin varlığı ile ([N II] λ 6583) /F(H) α akı oranı değeri NGC 2452 bulutsusunun optik olarak kalın olduğuna işaret etmektedir. GB'nin genel olarak eliptik bir şekle sahip olduğu tespit edilmiştir (Alruhaili ve ark.,2024).

Ayrıca, Muthumariappan ve ark. (2023) çalışmalarında, Wolf-Rayet tipi merkezi yıldızlara sahip NGC 2452 ve IC 2003 için tozlu foto-iyonizasyon modelleri Cloudy17.02 1D foto-iyonizasyon kodu kullanılarak yapılmıştır. Orta çözünürlüklü optik tayfları ve arşiv IRAS fotometrisi kullanılmıştır. Element bollukları, gözlem verileri kullanarak ve ayrıca foto iyonizasyon modellemesi yapılarak elde edilmiştir. Farklı iyonların optik yayılım çizgi akıları kullanılarak bulutsu elektron yoğunluğu ve elektron sıcaklığın yaklaşık değerleri elde edilmiştir. Bu değerler iyonik bollukları ölçmek için kullanılmıştır. *Neat*, zayıf çizgilerden dolayı belirlenemeyen iyonların bolluğunu tahmin etmek için ICF değerlerini ve toplam element bolluğu hesaplanmasında kullanmıştır. Her iki GB için modellerden elde edilen N/O oranlarının değerleri gözlem verilerinden elde edilen değerlerden daha düşük bulunmuştur. Merkezi yıldızların kara cisim olduğu varsayılmış ve en iyi uyum modellerinden NGC 2452 ve IC 2003 için elde edilen fotosferik sıcaklıklar sırasıyla 182 kK ve 155 kK ve ilgili parlaklıkları $630L_{\odot}$ ve $1015L_{\odot}$ olarak bulunmuştur. Her iki GB'nin ata yıldızlarının kütlelerinin $\leq 2,8 M_{\odot}$ olduğu tahmin edilmiştir.

Son yıllarda Bandyopadhyay ve ark. (2023) tarafından yapılan çalışmada, NGC 6572'nin 3 boyutlu yapısal ve kinematik özellikleri araştırılmış ve 2m'lik Himalayan Chandra Teleskopundan alınan tayfsal veriler yardımıyla foto iyonizasyon modellemesi gerçekleştirilmiştir. Bu GB'nin bulutsu görüntüsü, spiral halka benzeri bir yapı içindeki birden fazla lobun izlerini göstermiştir. Çok kutuplu yapı, sırasıyla kapalı ve açık loblara sahip iki kutuplu kabuk ile modellenmiştir. Foto iyonizasyon modellemesi ile GB'nin element bolluğunu, merkezi yıldızın özellikleri (etkin sıcaklık, parlaklık, yerçekimi, kütle vb.) ve bulutsunun önemli karakteristik parametreleri (hidrojen yoğunluk profilleri, yarıçaplar vb.) tahmin edilmiştir. 4,2 m W. Herschel Teleskobu kullanılarak elde edilen H β , [O III] ve [N II] profillerini foto iyonizasyon modelinden elde edilen profillerle karşılaştırılmış ve iyi bir eşleşme bulunduğu belirtilmiştir.

3. MATERYAL ve METOT

Küçük ya da orta kütleli bir yıldız, ana koldaki yaşamının sonunda hidrojen yakıtını tüketir ve kırmızı dev aşamasına geçer. Bu aşamada yıldızın dış katmanları genişler ve yıldız büyük miktarda kütle kaybeder. Asimptotik dev kolu (AGB) olarak adlandırılan bu aşama, yıldızın yakıtını büyük ölçüde tükettiği ve çekirdeğinin çevresinde kabuk halinde hidrojeni ve helyumu yaktığı dönemdir. AGB yıldızındaki titreşimler, 10^4 ila 10^5 yıl süren bir dönem boyunca yıldız zarfının çoğunu uzaklaştırarak büyük kütle kaybına neden olur. Bu süreç sırasında helyumun ani yanması ve bu yanma sonucunda ortaya çıkan enerji patlamaları konvektif sürüklenmeyi tetikler ve bu zarfı hem He hem de C ile zenginleştirir. Genellikle gazdan oluşan zarfın toz/gaz kütsel oranı tipik olarak %1'dir (van Winckel 2003). AGB yıldızları, düşük ve orta kütleli yıldızların nükleer yanma tarafından yönlendirilen son evrim aşamasıdır. Bu evrede, yıldızın çekirdeği etrafındaki ince kabuklarda hidrojen (H) ve helyum (He) yanması gerçekleşir. Ancak daha yüksek başlangıç kütlelerine sahip yıldızlar, süper-AGB yıldızlarına dönüşebilirler ve sonunda (O-Ne-Mg) beyaz cücelere (WD) veya nötron yıldızlarına dönüşebilirler (Werner ve Herwig 2006). Şekil 3.1.de Bir AGB yıldızının zamanla gelişiminin şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 3.1. Bir AGB yıldızının zamanla gelişiminin şematik gelişimi (Werner ve Herwig 2006)..

Konvektif bölgeler gri gölgeli alanlar olarak gösterilmiştir; burada 'ICZ', kabuklar arası konveksiyon bölgesini temsil eder. H-tükenmiş çekirdek kütsesi ince kırmızı düz bir çizgiyle, He-tükenmiş çekirdek kütsesi ise kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Kalın kırmızı çizgiler, nükleer yanmanın ne zaman aktif olduğunu gösterir. Sadece iki yanan bölgenin etrafındaki bölge, yaklaşık $0,01 M_{\odot}$ 'den oluşan kabuklar olarak gösterilmiştir. Taranmış bölge, ^{13}C açısından zengin bir kabuk olduğunu belirtir. Bu taranan bölüm, H açısından zengin zarf ile C açısından zengin kabuk arasındaki bölgenin arayüzünde oluşmuştur.

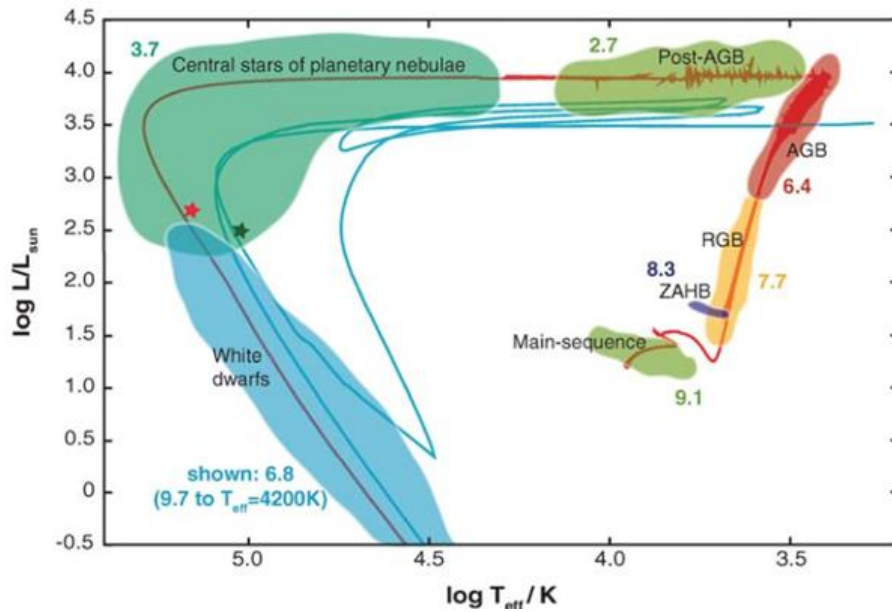
Evrimin bu aşamasında özellikle, karmaşık bir dizi konvektif karıştırma olayına neden olan tekrarlayan termonükleer flaşlar, nükleer üretim için zengin bir ortam sağlar. Konveksiyon, nükleosentezden etkilenmiş bölgelerden malzemenin yüzeye taşınmasına neden olabilir. Bu olaya "dredge-up" adı verilir. Herwig (2005); Habing ve Olofsson (2004) tarafından tanımlanmış üç farklı Dredge-up vardır.

Herwig (2005), çok düşük metal içeriğine sahip türlerin de dahil olduğu birçok elementin yıldız yüzeyine taşındığını belirtir. Bu süreçte, ^{19}F , ^{14}N , ^{26}Al ve ^{27}Al gibi elementlerin üretilebileceğini ve bu elementlerin sonraki döngülerde H yanma kabuğundan geçeceğini ifade eder. Büyük kütleli AGB yıldızlarında, çekirdeğin dış katmanlarına yayılan ısı, yanma kabuğundaki yakıt miktarını artırarak yıldızın çok daha parlak olmasına neden olur. Bu sürece "sıcak alt yakma (HBB)" denir ve bu da yıldızın karbon yıldızı haline gelmesini engeller. "Demir dışı tüm elementlerin yarısının kökeni" Süper-AGB yıldızlarında meydana gelen s-process (yavaş nötron yakalama) sürecidir. Bu süreç, 90 ila 204 atom ağırlığına sahip elementlerin oluşumunu içerebilir. Yıldız AGB evrimine ilerledikçe, s-proseste azalma meydana gelir.

AGB yıldızlarının gaz zarfı, kütleinin çoğunu oluşturmaya rağmen, ortalama yoğunluğu deniz seviyesindeki Dünya atmosferinden çok daha düşüktür. Bu zarf, kütle çekimi kuvveti ile radyasyon basınç kuvveti etkisi altındadır. Genellikle, kütle kaybı, radyasyondan toz taneciklerine ve toz taneciklerinden gaza momentumun aktarımı yoluyla gerçekleşir. Atılan zarfın içindeki toz tanecikleri, yıldızın dış katmanlarının genişleyip soğuması sonucunda oluşur. Bu süreç, yıldızın H yakma sürecinin sona ermesiyle başlar. Çekirdek konveksiyonu, dış katmanlardan çekirdeğe gelen helyum miktarının artmasına neden olur. Bu durum, çekirdekteki sıcaklık ve basıncın artmasına yol açar. Sıcaklık ve basınç artışı, çekirdekteki helyumun termal nükleosentez reaksiyonlarına girmesine ve yıldızın iç katmanlarında helyum ve diğer ağır elementlerin oluşmasına neden olur. Bu süreç, büyük miktarda enerji açığa çıkarır. Oluşan enerji, yıldızın dış katmanlarını genişletir ve genişleyen katman soğur. Soğuyan dış katmanlar içinde, özellikle silikat ve karbona benzeyen maddelerin yoğunlaşması sonucu toz tanecikleri oluşur. Oluşan toz tanecikleri, yıldızdan uzaklaşan dış katmanlarda bulunan gazla bir araya gelir ve yavaş yavaş genişleyen zarf içinde taşınır. Bu toz tanecikleri, uzayda dağılarak yıldızın evrimini ve çevresindeki ortamın kimyasal zenginleşmesini etkilerler.

Yıldızın içindeki pulsasyonlar, yıldızın dış katmanlarının genişleyip büzülmesine neden olan dalgalanma hareketleridir. Bu hareketler, yıldızın dış katmanlarında basınç ve sıcaklık değişimlerine yol açar. Bu değişimler, dış katmanlardaki gazın genişlemesine ve sıkışmasına sebep olarak toz ve gazın dışarı doğru atılmasını sağlar. Pulsasyonlar aynı zamanda yüksek miktarda kütleli yıldızdan uzaklaştırır. Bu kütleinin kaybı, radyasyon basıncının tozlar üzerindeki etkisiyle artar. Yıldızın kimyasal bileşimine bağlı olarak, kütle kaybının etkisi değişebilir. Tozlar olmadan bile, yıldız kütle kaybı yaşayabilir. Farklı yıldız türlerinin zarflarında, farklı koşullar altında çeşitli toz türleri oluşabilir.

Sonraki dönemde yıldızın merkezi çekirdeği küçülüp yoğunlaşırken, dış katmanlar uzaya savrulur ve GB oluşur. Bu süreçte, çekirdekten yayılan ultraviyole ışınlar, atılan gazları iyonize ederek bulutsunun parlak bir şekilde ışımasına neden olur. GB evresi birkaç bin yıl sürer ve bu süre sonunda çekirdek beyaz cüceye dönüşürken, dış katmanlar yıldızlararası ortama karışır. Böylece, GB'nin yaşam döngüsü tamamlanmış olur. Merkezdeki çekirdekte nükleer yanma sona erdiğinde ise, yıldız bir beyaz cüceye dönüşür (Herwig 2005; Van Winckel, 2003). Şekil 3.2. 'de Güneş metalikliği dikkate alınan $2M_{\odot}$ bir yıldızın evrim aşamaları Hertzsprung-Russell diyagramı üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.2. $2M_{\odot}$ kütleli bir yıldız için ana kol aşamasından beyaz cüce aşamasına kadar tam bir evrim izinin Hertzsprung-Russell diyagramı (Güneş metalikliği dikkate alınmıştır) (Herwig, 2005).

GB aşamasında, kimyasal bileşimlerin Yıldızlararası ortam (YSO) üzerindeki etkisi oldukça önemlidir. Özellikle O, Ne, Ar ve S elementlerinin GB'lerdeki bollukları, yıldızların olduğu YSO bölgesindeki bolluklarıyla uyumlu olmalıdır. Bu elementlerin bolluklarının değişmemesi, yıldızın kimyasal evrimi sırasında bu elementlerin sabit kaldığını gösterir ancak He, C ve N gibi diğer elementlerin bollukları değişebilir. Ne'nin bolluğu Galaktik GB'lerde O ve H ile ilişkilidir ve S ile Ar için de benzer ilişkiler bulunur (Exter ve ark., 2004). GB'lerdeki element bollukları, HII bölgeleri, Güneş ve genç yıldızlardan elde edilen verilerle karşılaştırılmış ve galaksi merkezine göre aynı uzaklıktaki GB'ler ile HII bölgelerinin Ne, S, Ar ve O bolluklarında belirgin bir fark olmadığı görülmüştür (Pottasch ve Bernard-Salas (2006)).

Moleküler gazlar, GB'lerde genellikle cepler, halkalar ve kabuklar şeklinde bulunur. Gözlemler, CO, CS, CN, HCN, SiO, SiC₂, H₂CO, HNC, HNCO, HCO⁺, CH₃OH ve CH₃N gibi çeşitli bileşenleri içerdiğini gösterir. Bu moleküler yapılar, AGB yıldızlarından GB'lere dönüşümü işaret

eder (Balser ve McMullin, 2006). AGB yıldızlarının atmosferlerinde bulunan elementler, GB'ler yoluyla YSO'ya geri döner (Garcia-Hernandez ve ark., 2006).

Bu tez çalışmasında, HASH kataloğunda bulunan, 2017 – 2021 yılları arasında yürütülen 16BRTT150 – 1064 numaralı TUG gözlem projesi kapsamında 12 Gerçek (True) GB'nin element bolluklarının belirlenmesi amacıyla tayf verilerinden yararlanılmıştır. Analiz edilen tayf verileri TUG RTT150 'ye takılı odak düzlem aleti TFOSC tarafından alınmıştır. Bu bölümde RTT150 teleskobu, TFOSC ve alınan verilerin analiz basamakları anlatılmaktadır.

3.1. Materyal

3.1.1. TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi

TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG), 1998 yılında Antalya'daki 2500 m yükseklikteki Bakırlıtepe zirvesinde kurulmuştur. RTT150 teleskobu ile ilk ışık 2001'de alınmıştır.

RTT150 Teleskobu; 1998 yılında TUG bünyesine dahil olan ve 2001 yılından itibaren ülkemizin en büyük optik teleskobudur. Bu teleskop uluslararası bir iş birliği ile Rusya Bilimler Akademisi ve Kazan Devlet Üniversitesi uluslararası bir iş birliği ile Bakırlıtepe de kurulmuştur. RTT150 ile hem Rus hem de Türk araştırmacıları zaman paylaşımı yapmakta ve proje temelli fotometrik, tayfsal gözlemlerde kullanılmaktadır. RTT150, Ritchey-Chrétien optik sistemi ile donatılmıştır. Teleskopun mevcut kurulumunda, f/7.7 Cassegrain (görüntüleme/tayf) ve f/48 Coude (tayf) odakları kullanılabilir. RTT150, Ritchey-Chrétien optik sistemi ile donatılmıştır. Teleskopun mevcut kurulumunda, f/7.7 Cassegrain (görüntüleme/tayf) ve f/48 Coude (tayf) odakları kullanılabilir.

RTT150'ye takılı olan TFOSC, tayf ve/veya fotometri amaçlı gözlem projelerinde kullanılmaktadır. TFOSC, RTT150'nin aynalarını kullanarak daha fazla ışığı toplayabilir ve bu da daha sönük nesnelerin incelenmesini sağlar. 330- 1200 nm dalga boyu aralığında gözlem yapılabilen TFOSC'un genel özellikleri için bkz. (<https://tug.tubitak.gov.tr/tr/teleskoplar/rtt150>).

CCD Kameralar; TFOSC' un orijinal tasarımında bulunan Fairchild 447 kamera 8 Ağustos 2017 tarihine kadar kullanılmış olup arkadan aydınlatmalı yongaya sahip, sıvı azot ile soğutulan bir kameradır. TFOSC'un ikinci kamerası olan Andor DW436-BV (2007) CCD kamera 8 Ağustos 2017- 14 Mayıs 2019 tarihleri arasında kullanılmıştır. 2018 yılının sonlarında satın alınan yeni Andor CCD kamera (Andor iKon-L 936 BEX2-DD-9ZQ) 15 Mayıs 2019 tarihinde kalıcı olarak TFOSC'a takılmış olan en gelişmiş kameradır. Çizelge 3.1.'te 12 GB'nin gözlemlerinde kullanılan CCD kamera özellikleri listelenmiştir. Kamera yazılımı, gözlemlerde en düşük gürültü ve yüksek hassasiyet elde edilecek şekilde ayarlanmıştır.

Çizelge 3.1. TFOSC'un gözlemler süresince kullanılan CCD'lerinin temel özellikleri

Özellikler	Fairchild 447	Andor DW436-BV	Andor iKon-L 936 BEX2-DD-9ZQ
Etkin Piksel Sayısı	2048 x 2048	2048 x 2048	1024 x 1024
Piksel Boyutu (μm)	15 x 15 μm	13.5 x 13.5	13 x 13
Piksel Ölçeği ("piksel)	0.39	0.33	0.33
Soğutma Sistemi	Sıvı azot	Peltier soğutma	Soğutma yok
Arabirim	Belirtilmemiş	USB, Gigabit Ethernet	Firewire 800
Pozlama Süresi Aralığı (s)	Belirtilmemiş	0.0001- 1200	0.001- 3600
Gürültü (e^-)	5.1	2.7	4
Kazanç (e^-/ADU)	1.34	1.4	3.1
Üretici Firma	Fairchild Imaging	Andor	Andor

<https://tug.tubitak.gov.tr/tr/icerik/tfosc-tug-faint-object-spectrograph-and-camera>

3.2. Metot

RTT150 ye takılan TFOSC ile alınan tayf verilerinin analizleri için kullanılan programlar ve analiz adımları aşağıda özetlenmektedir.

3.2.1. IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) Tayf Analizi

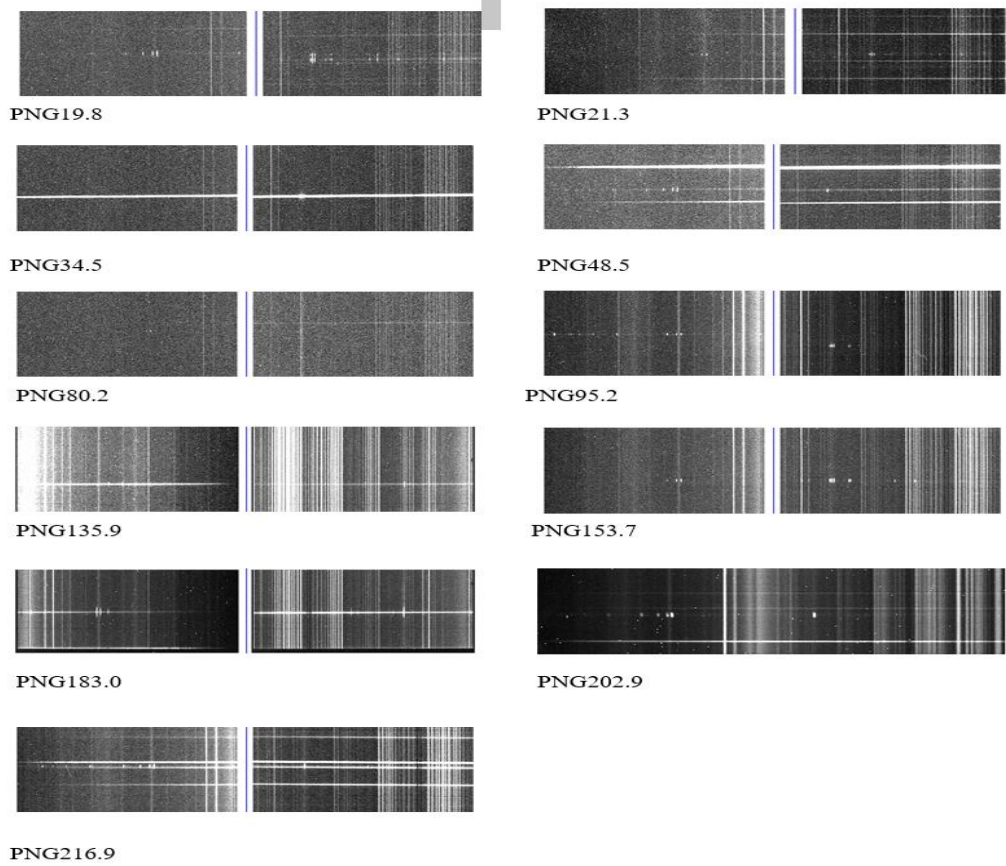
Tayf verilerinin analizi: ön indirgeme, dalga boyu kalibrasyonu ve akı kalibrasyonu olmak üzere üç temel adımda gerçekleştirilen bir süreçtir. Amaç, gözlenen kaynakların 2-boyutlu tayf görüntülerini 1-boyutlu hale getirme ve yayılım çizgilerini ölçmektir. Analiz, ön hazırlık işlem aşamasıyla başlar. Bu aşamada yapılanlar verilerin kalitesini artırmak ve daha sonra yapılacak olan adımlar için sağlam bir temel oluşturmak amacıyla yapılır. Ön hazırlık aşamasında ham veriler IRAF (v2.16.1) paket programında kullanılacak hale getirilir. Analizde kullanılacak olan .fits uzantılı dosyalar kaynak isimlerine göre ayrı klasörlerde düzenlenir. Daha sonra, bu dosyaların başlıkları (header) incelenir. Bu başlıklar aracılığıyla "IMTYPE," ve "DISPAXIS" parametreleri kontrol edilir. IMTYPE'da, analiz edilecek görüntünün bir bias (zero), flat, halojen, lamba tayfı (calib), veya nesne (object) olduğunu belirtmelidir. DISPAXIS değişkeni ise TFOSC'un enine tayf aldığını göstermek için 1 olarak ayarlanır.

3.2.1.a. Ön indirgeme Adımları

Tayf analizi sürecinin temel adımlarından ilki, bias düzeltmesi ve flat düzeltmesi olarak sıralanır. Gözlemin başladığı sırada alınan ve 0 s poz süresine sahip olan bias görüntüleri, genellikle görüntülerin arka planında veya piksellerin üzerinde rastgele dağılmış gibi görünen istenmeyen sinyallerin giderilmesi amacıyla kullanılır. Bu sinyaller bias görüntüleri kullanılarak verilerden çıkarılır. Ardından, flat düzeltmesi yapılır. Bu adım gözlemler sırasında optik sistemin farklı bölgelerindeki ışık seviyelerinin farklılıklarını düzelteren bir işlemdir ve görüntülerin homojenleştirilmesini sağlar.

Tez çalışmamızda, 12 GB'nin TFOSC ile alınan 2-boyutlu tayflarının gösterimi sırasıyla Şekil 3.3'te verilmektedir. Bu tayflar TFOSC içerisinde yer alan optik mavi bölge için *grism14*, kırmızı bölge için *grism8* ve tüm optik bölgenin kapsamı için *grism15* kullanılmıştır.

Şekil3.3'te yer alan GB'ler sırasıyla 019.8+05.6, 021.3+02.2, 034.5-11.7, 048.5+04.2, 080.2+03.8, 095.2+25.4, 135.9+55.9, 153.7-01.4, 183.0+00.0, 202.9+07.4 ve 216.9-0.2'dir. 12 GB'nin yer aldığı makaleler ve yapılan morfolojik sınıflandırma Çizelge 3.2. de listelenmiştir.



Şekil 3.3. GB'lerin sırasıyla 2 boyutlu tayf görüntüleri gösterilmektedir. 11 GB için *grism8* ve *grism14* yan yana GB 202.9+07.4 için *grism15* tek bir ham obje tayfı bulunmaktadır.

Çizelge 3.2. 12 GB için, katalog ve sınıflandırma tipi belirtilmiştir. E (Elliptical), R (Ring-like), S (Spherical) biçimsel sınıflandırmaları temsil etmektedir. Bu sınıflandırmalar, bulutsuların gözlemsel özelliklerine dayanarak yapılmış olup, farklı araştırma gruplarının bulgularını kapsamaktadır (HASH kataloğundan alınmıştır.)

GB	Makale	GB Tipi
019.8+05.6	Acker ve ark. (1992)	E
021.3+02.2	Brent Miszalski ve ark (2008)	S
034.5-11.7	L. Kohoutek (2001)	
048.5+04.2	Acker ve ark. (1992)	S
050.4-01.6	Acker ve ark. (1992)	S
080.2+03.8	K. Viironen(2009)	R
095.2+25.4	Kronberger ve ark. (2012)	R
135.9+55.9	Tovmassian ve ark. (2002)	E
153.7-01.4	Acker ve ark. (1992)	E
183.0+00.0	K. Viironen(2009)	R
202.9+07.4	Matthias Kronberger (2012)	E
216.9-05.2	Brent Miszalski (2008)	E

<http://202.189.117.101:8999/gGB/dbMainPage.php>

3.2.1.b. Dalga Boyu Kalibrasyonu

Ön indirgeme işlemlerinde kullanılan tayfin mavi bölgesi (Grism14) için Helyum, kırmızı bölgesi (Grism8) için Neon lamba tayfları tercih edilmiştir. Neredeyse tüm görünür bölgeyi kaplayan Grism15 için ise Demir-Argon (Fe-Ar) lamba tayfı kullanılmıştır.

İşlenmiş görüntüler, benzer grismlerle daha önce alınmış çizgi atlasları kullanılarak “identify” görevine alınıp çizgiler tanımlanır. Helyum ve Neon için ALFOSC haritaları (<https://www.not.iac.es/instruments/alfosc/lamps/ccd7-ccd8/>), Fe-Ar için ise TUG sayfasında bulunan TFOSC atlas verileri (<https://tug.tubitak.gov.tr/tr/teleskoplar/fear-atlas>) kullanılmıştır. *Identify* görevi çalıştırıldığında pik yapan çizginin merkez noktası işaretlenir ve atlastan dalga boyu değeri girilerek çizginin dalga boyu tanımlanmış olur. Tanımlanamayan çizgiler veri tabanından yüklenir. Belirlenen çizgilerin saçılma oranı kontrol edilir ve fazla saçılan çizgiler silinerek işlem tamamlanır.

Reidentify görevinde eksenler tanımlanır ve grafik yeniden çizdirilir. Yanlış dağılıma sahip satır veya sütunlar silinir ve koordinatların veri tabanına yazılması onaylanır. Bu adımlar grism14 ve grism8 ile ayrı ayrı alınan tayfin her iki bölgesi için ayrı ayrı uygulanır ve koordinat veri tabanı elde edilir.

Ön indirgeme adımları yapılan kaynak tayflarına, transform görevi ile veri tabanına kaydedilen koordinatlar yüklenir. Bu işlemten sonra, görüntülerde x-ekseni dalga boyu olarak güncellenir.

PyNeb 'de Kozmik Temizleme İşlemi (Ara Adım); Jupyter Notebook üzerinde *Python-PyNeb* kodları kullanılarak *IRAF*'ta oluşturulan kalibrasyon dosyalarının daha net görüntülerini elde etmek amacıyla kozmik ışınlar ve bozuk pikseller görüntülerden çıkarılarak kozmik temizleme işlemi uygulanmıştır. Bu adım, özellikle daha net ve doğru kalibrasyon dosyaları elde etmek için önemlidir. Bu süreç, *IRAF (Image Reduction and Analysis Facility)* tarafından oluşturulan kalibrasyon dosyalarının işlenmesinde kullanılmaktadır. *IRAF* kullanılarak elde edilen kalibrasyon dosyaları Jupyter Notebook ortamına yüklenir. Bu dosyalar, gözlemsel verilerin başlangıç noktasıdır ve kozmik ışınlar ve bozuk pikseller gibi hataları içerebilir. *PyNeb* kütüphanesi ve diğer ilgili Python araçları kullanılarak, görüntülerdeki kozmik ışınlar ve bozuk pikseller tespit edilir. Bu adım, belirli eşik değerler ve algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilir. Kozmik temizleme işlemi tamamlandıktan sonra, elde edilen yeni görüntüler doğrulanır. Bu adımda, görüntülerin önceki hali ile temizlenmiş hali karşılaştırılır ve hataların giderilip giderilmediği kontrol edilir. Temizlenmiş görüntüler kullanılarak kalibrasyon dosyaları güncellenir. Bu dosyalar, verilerin kalibrasyonunda kullanılacak olan referans noktaları sağlar. Kozmik temizleme işlemi *PyNeb* kodları ekler 3 kısmında paylaşılmıştır.

3.2.1.c. Akı Kalibrasyonu Adımları

2D tayf görüntülerini 1D boyuta indirgemek için "apall" görevi kullanılır. Apall görevi çalıştırıldığında arka plan seçimi için belirli bir bölge işaretlenir. Açıklık ve arka plan belirlendikten sonra 1boyutlu tayf elde edilir.

Analiz adımlarındaki tüm bu işlemler, ESO Spectroscopic Standard Star (<https://www.eso.org/sci/observing/tools/standards/spectra.html>) kataloğundan seçilmiş standart yıldızlar için de yapılır. Elde edilen 1 boyutlu standart yıldız tayfı "standard" görevi ile her bir grism için "std" dosyası olarak üretilir. Bu aşamada gözlemevi adı, gözlenen standart yıldızın adı, standart yıldız tayfının poz süresi belirtilir. Standard görevinin çıktısı "*sensfunction*" görevinde girdi olarak kullanılır. *sensfunction* görevi, gözlemlenen tayfın bilinen referans tayf ile karşılaştırılması yoluyla, dedektör ve gözlemevindeki aletlerin duyarlılık fonksiyonunu hesaplar. Oluşturulan bu dosya, "*calibrate*" görevi ile 1D tayfların akı kalibrasyonunda kullanılır. Bu görev çalıştırıldığında, 1 boyutlu tayflara standart yıldızdan elde edilen akı kalibrasyonu uygulanır. Böylece IRAF analiz işlemi sonucu kalibre edilmiş dosya oluşturulmuştur.

3.2.2. IRAF Programında Yayınım Çizgi Akılarının Ölçülmesi

Akı kalibrasyonları yapılmış 1D tayflar IRAF *splot* taskı ile hata değerini tespit etmek için görüntünün görece daha az çizgilerin bulunduğu birkaç bölgede SNR değerleri ölçülür ve bu değerlerin ortalaması alınarak genel bir hata değeri belirlenir. Splot taskı kapatılıp ölçülen SNR değeri *epar Splot* taskında yerine yazılarak bu değer ölçülecek çizgilerde hata değerlerine etkisi belirlenir. Açılan Görüntü üzerinde ölçümü yapılması istenilen çizginin sınırları ölçülerek merkez

dalga boyu, akı değeri, eşdeğer genişliği (FWHM) ve hata değeri gibi değerler belirlenir. Bu işlem tüm çizgileri ölçmek için tekrarlanır. Bu ölçümler sonunda IRAF bir plot dosyası oluşturur ve ölçülen tüm çizgilere ait bilgileri listeler.

3.2.3. Alfa (Automated Line Fitting Algorithm) ile Yayınım Çizgi Akılarının Belirlenmesi

Alfa (Automated Line Fitting Algorithm), tayfsal analizde kullanılan ve yayınım çizgilerinin akılarını belirlemek için geliştirilmiş bir algoritmadır. IRAF tarafından oluşturulan kalibrasyon dosyaları Alfa programına yüklenir. Alfa programı çalıştırılır. Alfa linux işletim sistemi kodu sayfa sonunda paylaşılmıştır. Alfa Kodu girildikten sonra algoritma çalışmaya başlar. Algoritma, tayfta bulunan belirgin yayınım çizgilerini otomatik olarak tespit eder. Bu, genellikle belirli bir eşik değerinin üzerindeki akı yoğunluklarının belirlenmesi ile yapılır. Tespit edilen yayınım çizgilerine Gaussian fit uydurulur. Uydurma işlemi, her bir yayınım çizgisi için merkezi dalga boyu, genişlik ve pik akı değerlerini belirler. Çizgiler arasındaki karışmalar veya örtüşmeler, algoritma tarafından ayırt edilerek her bir çizgi için ayrı ayrı uyumlandırma (fit) yapılır ve her bir yayınım çizgisi için akı değeri hesaplanır. Akı, çizginin altındaki alan olarak tanımlanır ve şu formül ile hesaplanabilir:

$$Akı = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

Denklem 1’de $F(\lambda)$, dalga boyundaki akı yoğunluğunu ifade eder ve integral, çizgi genişliği boyunca hesaplanır. Hesaplanan akı değerleri çıktı dosyasında verilir.

3.2.4. PyNeb’de Sönümlenme Çıkarma

Yıldızlararası tozun en belirgin etkisi uzak yıldızlar ve bulutsulardan gelen ışığı sönümlenmesidir. Bu sönümlenme optik bölgede büyük ölçüde saçılmadan, bir kısmı da soğurmadan kaynaklanır. Sönümlenme katsayısı, farklı dalga boylarında ışığın ne kadar sönümlendiğini belirlemek için kullanılır. Bu çalışmada *PyNeb* programı kodlarıyla Fitzpatrick (1999) sönümlenme yasası:

$$A(\lambda)/A(V) = R_V [c_1 + c_2 + c_3 \lambda^2] \quad (2)$$

Burada c_1 , c_2 ve c_3 katsayıları dalga boyuna bağlı değerlerdir. Ortalama $R_V=3,1$ olarak sönümlenme çıkarma işlemi yapılmıştır. Kullanılan kod ile ilgili bilgi Ekler 3 kısmında detaylı verilmektedir.

3.2.5. Fiziksel Koşulların Belirlenmesi

Gözlemlenen parlak yayınım çizgilerinin temel bileşenlerini açıklamak için elektron sıcaklığı, elektron yoğunluğu ve sönümlenme katsayısı gibi terimlerin bilinmesi gerekir.

3.2.5.a. Elektron Sıcaklığı (T_e)

İyonize gaz içindeki elektronların ortalama enerji seviyeleri, ne kadar enerji taşıdığını ve dolayısıyla tayfta gözlenen yayınım çizgilerinin şiddetini belirler. Elektron sıcaklıkları, çeşitli yayınım çizgileri ve bunların yoğunluk oranları kullanılarak hesaplanabilir.

Bazı yasak çizgi CEL oranları, elektron sıcaklıklarının (T_e) belirlenmesini sağlar. Bu çalışmada belirlenen sıcaklık değerleri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Proxauf ve ark., 2013)

$$(T_e) \text{ (O III): } I(4959) / I(4363), \quad (3)$$

$$R = (4959\text{\AA} + 5007\text{\AA}) / 4363\text{\AA} \quad (4)$$

$$r = \log(R) \quad (5)$$

$$T_e \text{ [K]} = 5294 (r - 0.848)^{-1} + 19047 - 7769 r + 944 r^2 \quad (6)$$

3.2.5.b. Elektron Yoğunluğu (n_e):

İyonize bölgelerde, birim hacimdeki parçacık sayısı genellikle elektron yoğunluğu olarak ifade edilir, çünkü bu bölgelerde temelde elektronlar ve iyonlar bulunur. Yayınım çizgileri, bu elektronların ve iyonların hangi enerji seviyelerine ait olduklarını gösterir ve bu da yoğunluğun belirlenmesine yardımcı olur. Bu çalışmada yoğunluklar SII yayınım çizgilerinden aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Proxauf ve ark., 2014).

$$n_e \text{ [S II]} = 6716\text{\AA} / 6732\text{\AA} \quad (7)$$

$$\log(n_e \text{ [cm}^{-3}\text{]}) = 0.0543 \tan(-3.0553 R + 2.8506) + 6.98 - 10.6905R + 9.9186R^2 - 3.5442R^3 \quad (8)$$

3.2.5.c. $c(H_\beta)$ Değeri

Yıldızlararası toz, uzak yıldızlardan ve bulutsulardan gelen ışığın sönümlemesine neden olur. Bu sönümleme, genellikle optik bölgede saçılma ile gerçekleşir. H_β sönümleme katsayısı ($c(H_\beta)$), yıldızlararası ortamda ışığın ne kadar sönümlendiğini belirlemek $H\alpha$ (6563 Å) ve H_β (4861 Å) yayınım çizgilerinin gözlenen oranları aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanır.

$$c(H_\beta) = 2.84 \times \log[(H\alpha/H_\beta) / 2.86] \quad (9)$$

3.2.6. İyonik Bolluklar

İyonize gazlarda temel fiziksel süreçler, foto iyonizasyon, çarpışmayla uyarılma ve rekombinasyon olarak sayılabilir. Bu süreçler, gazın enerji dengesi ve tayfsal özellikleri üzerinde belirleyici rol oynar.

Fotoiyonizasyon, bir enerji kaynağının bulunduğu ortamda yüksek enerjili fotonların (genellikle ultraviyole veya morötesi ışık) atomik veya iyonize gazları iyonize etme sürecidir. Güçlü enerji kaynakları, atomların dış elektronlarını serbest bırakarak iyonlaşmalarına neden olur. Özellikle genç, sıcak yıldızlar, foto iyonizasyon sürecinde iyonize bulutsuların parlak ışık yaymalarına yol açar. Fotoiyonizasyon özellikle H II bölgeleri gibi genç yıldız oluşum bölgelerinde ve GB’lerde gözlenebilir (Osterbrock ve Ferland 2006).

Fotoiyonize bölgelerde, hidrojen tayfının Lyman çizgileri olan ve rekombinasyon sonucu yayılan H I fotonları serbestçe kaçamazlar bu durumda Lyman serisindeki fotonlar, ortamdaki hidrojen atomları tarafından kolayca soğurulur ve tekrar yayılır. Bu durum, fotonların bir noktadan başka bir noktaya serbestçe kaçmasını engeller. Bu süreç, Osterbrock ve Ferland (2006) çalışmasındaki “**Case B**” durumuyla ilgilidir. "Case B" durumunda, optik olarak kalın ortamda fotonlar sıkça etkileşir, yayınım çizgileri daha geniş ve zayıf olabilir.

Optik olarak ince bir bulutsuda ise, yayılan tüm fotonların kaçma olasılığı yüksektir; bu durum "**Case A**" olarak adlandırılır. Bu durumda, bulutsunun opaklığı düşük olduğundan, fotonlar serbestçe hareket eder ve bu da ışımayı etkiler (Osterbrock & Ferland 2006).

Çarpışma ile uyarılan çizgi (CEL), İyonize bulutsulardaki gaz atomlarının veya iyonlarının çarpışmalar sonucu enerji kazanarak uyarılma durumuna geçmelerine çarpışmayla uyarılma denir. Çarpışma ile uyarılmada elektronların enerji seviyeleri değişir ve bu enerji seviyelerindeki değişiklikler foton yayılmasına neden olur. İyonlarının temel seviyelerinden ilk uyarılmış seviyelere geçiş enerjilerinin birkaç elektron-volt (eV) olduğundan özellikle ağır elementlerde bu seviyelere geçiş görece kolaydır. CEL, yasaklı ve izinli geçişlerle yakından ilişkilidir.

İzinli geçişler, kuantum mekaniğinde belirli kurallara bağlıdır ve bu kurallar, geçişlerin mümkün olup olmadığını belirler. Bu kurallara "seçim kuralları" denir. İzinli geçişlerin ölçütleri olarak: Elektrik dipol geçişleri için, elektronun açısal momentum kuantum sayısındaki değişim, $\Delta l = \pm 1$ olmalıdır ve manyetik kuantum sayısı için ise $\Delta m_l = 0, \pm 1$. Bununla birlikte elektrik dipol geçişlerinde, başlangıç ve bitiş durumlarının paritelerinin farklı olması gerekir. Parite, dalga fonksiyonunun uzaysal yansıma altında nasıl davrandığını ifade eder. Bu kural, $\Delta \pi = -1$ şeklinde tanımlanır. Geçiş sırasında paritenin değişmesi gerekir. Yani, eğer başlangıç durumu çift pariteye sahipse, bitiş durumu tek pariteye sahip olmalıdır ve tersi de geçerlidir. Ayrıca geçiş sırasında enerji korunumu sağlanmalıdır. Yani, yayılan veya soğurulan fotonun enerjisi, geçiş yapan elektronun enerji seviyeleri arasındaki farka eşit olmalıdır.

Elektrik dipol geçişleri, atomların ve moleküllerin en yaygın geçiş türüdür ve bu süreç hızlıdır (tipik olarak 10^{-8} s) ayrıca güçlü tayfsal çizgiler üretirler. Diğer geçiş türleri (manyetik dipol,

elektrik kuadrupol, vb.) farklı seçim kurallarına sahiptir ve genellikle daha zayıf geçişler olarak tanımlanır.

Elektrik dipol geçiş kurallarını tamamen ihlal eden ve genellikle çok yavaş olan geçişler yasaklı geçişler olarak tanımlanır. Örneğin, [O III] λ 5007 Å ve [N II] λ 6584 Å. Yasaklı geçişler, elektrik dipol geçişlerine izin vermeyen, yani $\Delta l = \pm 1$ ve $\Delta \pi = -1$ seçim kurallarına uymayan geçişlerdir. Bu geçişler, manyetik dipol veya elektrik kuadrupol gibi daha yüksek mertebeden geçiş mekanizmaları ile gerçekleşir ve genellikle çok daha yavaş (10^{-3} s ile birkaç saniye arasında) gerçekleşir. Düşük yoğunluklu ortamlarda (örneğin, H II bölgeleri ve GB'lerde) daha belirgindirler ve plazma yoğunluğu ve sıcaklığı gibi fiziksel koşulları belirlemek için kullanılırlar.

Bununla birlikte elektron spin değişikliklerine ($\Delta S \neq 0$) izin veren ve orta hızda gerçekleşen geçişler, yarı yasaklı geçişlerdir. Örneğin, C III] λ 1909 Å ve O III] λ 1663 Å. Yarı yasaklı çizgiler, yoğunluk ve sıcaklık bilgileri sağlayabilir ve özellikle yıldızlararası ortamda önemlidir.

Yeniden birleşme, Rekombinasyon (Recombination), iyonize gazların içerisindeki serbest elektronların, pozitif iyonlarla birleşerek nötr atomlar veya moleküller oluşturduğu temel bir süreçtir. Bu süreç, genellikle düşük sıcaklık ve yoğunlukta olan ortamlarda meydana gelir. Işıma, bir elektronun daha yüksek enerji seviyelerinden daha düşük bir enerji seviyesine geri dönmesiyle gerçekleşir. Hidrojen ve helyum gibi bazı elementlerden gelen yeniden birleşme çizgileri (RL'ler)'in bolluğu yüksektir; ancak C, N ve O gibi metallere gelen RL'lerde daha düşük bolluklar gözlemlenebilir. Bir rekombinasyon çizgisinin yayınım katsayısı, $j_{nn'}$ olarak ifade edilir ve aşağıdaki formülle hesaplanır (Osterbrock ve Ferland, 2006).

$$j_{nn'} = \alpha_{nn'}^{eff} n_e X n_n X \frac{h \Delta E_{nn'}}{4\pi} \quad (10)$$

Denklem 10'da $\Delta E_{nn'}$ iki seviye arasındaki enerji farkını ($h\nu_{nn'}$ olarak yazılabilir), $\alpha_{nn'}^{eff}$ etkili rekombinasyon katsayısını, n_e elektron yoğunluğunu, n_n başlangıç seviyesinin ana kuantum sayısını temsil eder. İyonize gazların rekombinasyonu sırasında ortaya çıkan ve çeşitli elementlerin farklı iyonizasyon durumlarına karşılık gelen tayfsal çizgiler vardır ve bu çizgilerin her biri, belirli dalga boylarında gözlemlenebilir. Tez çalışmamızda, denklem 11-14'te He **RL yayınım çizgileri** için kullanılan formüller verilmektedir (Osterbrock ve Ferland, 2006).

He rekombinasyon katsayıları, serbest elektronların iyonize helyum iyonlarıyla birleşerek nötr helyum oluşturma hızını temsil eder. Bu katsayılar gazın sıcaklığına ve yoğunluğuna bağlıdır. Çizelge 3.3'te He RL katsayıları için kullanılan dalga boyları verilmiştir. Çizelge 3.4'te ise Nötr helyum (HeI) ve tek başına iyonize edilmiş helyum (HeII) için rekombinasyon katsayıları verilmiştir. Bu katsayılar He^+ iyonlarının elektronlarla birleşerek HeI'i ve He^{2+} iyonlarının elektronlarla birleşerek He^+ 'yı oluşturma hızını gösterir. Sıcaklık arttıkça rekombinasyon katsayıları genellikle azalır. Bunun nedeni, daha yüksek sıcaklıkların daha enerjik elektronlara yol açması ve

rekombinasyon olasılığını azaltmasıdır. Çizelge 3.4'te yoğunluk sabittir, ancak hesaplamalarımızda değişen yoğunluklar kullanılarak rekombinasyon katsayıları bulunmuştur.

$$\left(\frac{I_{He^+}}{I_{H\beta}}\right) \left(\frac{\alpha_{eff}^{H\beta}}{\alpha_{eff}^{He}}\right) \left(\frac{4471}{4861}\right) \quad (11)$$

$$\left(\frac{I_{He^+}}{I_{H\beta}}\right) \left(\frac{\alpha_{eff}^{H\beta}}{\alpha_{eff}^{He}}\right) \left(\frac{5876}{4861}\right) \quad (12)$$

$$\left(\frac{I_{He^+}}{I_{H\beta}}\right) \left(\frac{\alpha_{eff}^{H\beta}}{\alpha_{eff}^{He}}\right) \left(\frac{6678}{4861}\right) \quad (13)$$

$$\left(\frac{I_{He^+}}{I_{H\beta}}\right) \left(\frac{\alpha_{eff}^{H\beta}}{\alpha_{eff}^{He}}\right) \left(\frac{4686}{4861}\right) \quad (14)$$

Çizelge 3.3. Kullanılan RL'lere karşılık gelen dalga boylarını verir.

H I Çizgileri	H β (4861 Å)
He I Çizgileri	5875 Å, 4471 Å, 6678 Å
He II Çizgileri	4686 Å

Çizelge 3.4. İyonize bölgelerdeki farklı sıcaklık değerlerine karşılık gelen yayınım katsayı değerleri gösterilmektedir (Osterbrock ve Ferland, 2006).

T (K)	5,000 K		10,000 K		20,000 K	
N _e (cm ⁻³)	10 ²	10 ⁴	10 ²	10 ⁴	10 ²	10 ⁴
$\alpha_{H\beta}^{eff} (10^{-14} \text{ erg.cm}^3.\text{s}^{-1})$	5.37	5.43	3.02	3.03	1.61	1.61
$\alpha_{4471}^{eff} (10^{-14} \text{ erg.cm}^3.\text{s}^{-1})$	2.60	2.67	1.39	1.47	0.683	0.925
$\alpha_{4686}^{eff} (10^{-13} \text{ erg.cm}^3.\text{s}^{-1})$	7.11	6.98	3.57	3.53	1.72	1.70
j λ 5876/j λ 4471	2.93	2.92	2.67	2.90	2.62	3.62
j λ 6678/j λ 4471	0.841	0.838	0.756	0.768	0.721	0.756

3.2.6.a. İyonik Bollukları ve Hesaplanması

Foto iyonizasyon bölgelerde, en bol bulunan element H'dir ve H⁺ iyonu genellikle mevcut iyonların yaklaşık %90'ını oluşturur. GB'lerde 'deki iyonik bollukların hesaplanması, genellikle yayınım çizgileriyle gerçekleştirilir. Bu yayınım çizgileri, belirli iyonların belirli enerji seviyeleri arasındaki geçişlerinden kaynaklanır. En sık kullanılan çizgiler, [O III] $\lambda\lambda 4959 \text{ \AA}$ ve $5007 \text{ \AA}$, [N II] $\lambda\lambda 6548 \text{ \AA}$ ve $6584 \text{ \AA}$, [S II] $\lambda\lambda 6716 \text{ \AA}$ ve $6731 \text{ \AA}$, [Ne III] $\lambda\lambda 3869 \text{ \AA}$ ve $3967 \text{ \AA}$ 'dir. Bu çizgilerin gözlenen akıları, iyonik bollukların hesaplanmasında temel veri kaynağını oluşturur. İyonik bolluklar, genellikle yayınım çizgi oranlarına dayalı **tanı** (diagnostic) diyagramları kullanılarak belirlenir. Elektron sıcaklığı (T_e) ve yoğunluğu (n_e) iyonik bollukların doğru bir şekilde hesaplanabilmesi yayınım çizgilerinin yoğunluk oranlarından türetilir.

Bir elementin iyon bolluğunu hesaplamak için kullanılan genel formül, şu şekildedir:

$$\left[\frac{N(X^{+i})}{N(H^+)} = \frac{I(\lambda)}{I(H\beta)} \cdot \frac{\epsilon(H\beta)}{\epsilon(\lambda)} \right] \quad (15)$$

Denklem 15'te İyonik bolluk iyonun hidrojen iyonuna oranı, $I(\lambda)$:İyonun (λ) dalga boyundaki gözlemlenen yayınım çizgi akısı, $I(H\beta)$: $H\beta$ Çizgisinin gözlemlenen akısı, $j(H\beta)$: Belirli şartlar (sıcaklık ve yoğunluk) altında $H\beta$ çizgisi için yayınım katsayısı (emissivite), $j(\lambda)$: Belirli şartlar (sıcaklık ve yoğunluk) altında iyonun (λ) dalga boyundaki yayınım çizgisi için yayınım katsayısı gösterir (Osterbrock ve Ferland, 2006). Bu formül, belirli bir sıcaklık ve yoğunlukta hesaplanan yayınım katsayılarını içerir. Bu katsayılar, *PyNeb* gibi yazılımlar kullanılarak hesaplanır. Bu tez çalışmasında *PyNeb* kullanarak iyonik bolluk hesaplamalarına yönelik bir Python kod örneği ekte verilmektedir. Kullanılan dalga boyları çizelge 3.5. 'de yer almaktadır.

Çizelge 3.5. Element bolluklarının hesaplanmasında kullanılan tüm yayınım çizgilerinin dalga boyları (Shuyu Tan ve ark., 2024)

X^{+i}	Dalgaboyu (λ)
$He^+ \text{ He I}$	$\lambda\lambda 4471, 5876, 6678$
$He^{+2} \text{ He II}$	$\lambda 4686,$
$N^+ \text{ [N II]}$	$\lambda\lambda 5755, 6548, 6584$
$O^+ \text{ [O II]}$	$\lambda\lambda 3726, 3729, 7319, 7330$
$O^{+2} \text{ [O III]}$	$\lambda\lambda 4959, 5007$
$Ne^{+2} \text{ [Ne III]}$	$\lambda 3868$
$S^+ \text{ [S II]}$	$\lambda\lambda 6716, 6731$
$S^{+2} \text{ [S III]}$	$\lambda 6312$
$Ar^{+2} \text{ [Ar III]}$	$\lambda\lambda 7135, 7751$
$Ar^{+3} \text{ [Ar IV]}$	$\lambda\lambda 4711, 4740$
$Ar^{+4} \text{ [Ar V]}$	$\lambda\lambda 6435, 7005$

3.2.7. İyonizasyon Düzeltme Faktörü (Ionization Correction Factor) (ICF)

Tayf verilerinden genellikle belirli bir dalga boyu aralığındaki çizgi yayını ölçülür ve bazı çizgiler belirlenen aralıkta olsa da çok zayıf olduğundan ölçülemez. Bu durumda, toplam bollukları hesaplamak için sadece belirli iyonları kullanmak gerekir. Ölçülemeyen iyonların katkısını hesaba katmak için iyonizasyon düzeltme faktörleri (ICF'ler) kullanılmalıdır (Kingsburgh Barlow,1994)

ICF'ler, ilk olarak farklı iyonların iyonlaşma potansiyelleri arasındaki benzerliklere dayanarak tanımlanmıştır. Ancak, daha güvenilir sonuçlar elde etmek için foto iyonizasyon modellerinden türetilen ICF'ler tercih edilir. Bu modeller, foto iyonizasyonla ilgili tüm fiziksel süreçleri hesaba kattıkları için daha güvenilirdir. ICF hesaplamalarında kullanılan veriler çizelge 3.6, 3.7, 3.8'de sunulmuştur. Hesaplamalarda farklı formüllerin kullanılmasının sebebi, her tayfsal çizginin gözlemlenememiş olmasıdır. Hangi çizgiler bulunmuşsa, ona uygun formül kullanılarak element bollukları belirlenmiştir. Bu yöntem, mevcut verilerle en doğru sonuçları elde etmek amacıyla yapılmıştır.

Çizelge 3.6. G.Delgado-Inglada, C.Morisset and G.Stasinska (2014) DMS14 ICF Hesaplama Tablosu

Bolluk	ICF	ε^-	ε^+	
He/H	ICF ($\text{He}^+ + \text{He}^{++}$)=1 ICF ($\text{He}^+ + \text{He}^{++}$)=1	$0 < \varepsilon^- < 1$	$\frac{0.1}{0.03 + \omega^{1.1}} < \varepsilon^+ < 1$	$0.05 < \omega < 0.5$ $\omega > 0.5$
O/H	$\text{Log ICF } (O^+ + O^{++}) = \frac{(0.08v + 0.006v^2)}{(0.34 - 0.27v)}$	$0.03 + 0.5v - 0.2v^2$	$0.03 + 0.5v - 0.2v^2$	$v < 0.95$
Ne/H	$\text{ICF } ((\text{Ne}^{++} / \text{Ne}^{+4}) = (1.31 + 12.68 v^{2.57})^{0.27}$	0.20	0.17	$v > 0.02$

$$v = \text{He}^{++} / (\text{He}^+ + \text{He}^{++}), \quad \omega = O^{++} / (O^+ + O^{++})$$

Çizelge 3.7. WL07 (Wang, W., & Liu, X.-W.,2007) ICF Hesaplama Tablosu

Element	İyonizasyon	İyonlar			X/H	ICF
N	CELS	N ⁺	N ⁺²		$ICF \times \left(\frac{N^{+2}}{H^+} + \frac{N^+}{H^+} \right)$	$\left(\frac{He^+ + He^{+2}}{He^+} \right)^{2/3}$
		N ⁺			$ICF \times \left(\frac{N^+}{H^+} \right)$	$\left(\frac{O}{O^{+2}} \right)$
O	CELS	O ⁺	O ⁺²		$ICF \times \left(\frac{O^+}{H^+} + \frac{O^{+2}}{H^+} \right)$	$\left(\frac{He^+ + He^{+2}}{He^+} \right)^{2/3}$
Ne	ORLS CELS		Ne ⁺²		$ICF \times \left(\frac{Ne^{+2}}{H^+} \right)$	$\left(\frac{O}{O^{+2}} \right)$ CELS
S	CELS	S ⁺	S ⁺²		$ICF \times \left(\frac{S^+}{H^+} + \frac{S^{+2}}{H^+} \right)$	$[1 - (1 - \frac{O^+}{O})^3]^{-1/3}$
Ar	CELS	Ar ⁺²	Ar ⁺³	Ar ⁺⁴	$ICF \times \left(\frac{Ar^{+2}}{H^+} + \frac{Ar^{+3}}{H^+} \right)$	$[1 - (\frac{N^+}{N})CELS]^{-1}$
		Ar ⁺²	Ar ⁺³		$ICF \times \left(\frac{Ar^{+2}}{H^+} + \frac{Ar^{+3}}{H^+} \right)$	$[1 - (\frac{N^+}{N})CELS]^{-1}$

Çizelge 3.8. KB94 (Kingsburgh ve Barlow, 1994) ICF ve element bolluklarının hesaplama yöntemi

Bolluk	ICF
$\frac{N}{H^+}$	$\frac{O}{O^+}$
$\frac{O}{H^+}$	$\left(\frac{He^+ + He^{+2}}{He^+} \right)^{2/3}$
$\frac{Ne}{H^+}$	$\frac{A(O)}{O^{+2}}$
$\frac{Ar}{H^+}$	$\frac{Ne}{Ne^{+2}}$
$\frac{S}{H^+}$	$[1 - (1 - \frac{O^+}{O})^3]^{-1/3}$

3.2.8. Element Bollukları

Bir elementin toplam bolluğu, bulutsuda bulunan tüm iyonların iyonik bolluklarının toplamından oluşur. Tüm çizgiler ölçülemeyeceği için sadece belirli iyonlar ve ICF kullanılır. Toplam bolluklar şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Toplam} = \sum X_{\text{toplama}} = \sum_i X_i \cdot ICF_i \cdot \frac{H}{H_i} \quad (16)$$

GB’lerdeki element bolluğunu belirlemek için bulutsu tayfında yayının çizgilerinin analizi yapılır. Bu yayının çizgileri, bulutsuda bulunan çeşitli elementlerin farklı iyonları tarafından üretilir. Belirli bir elementin (X) hidrojene (H) göre element bolluğu şu şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{X}{H} = \frac{X^+}{H^+} + \frac{X^{++}}{H^+} + \frac{X^{+3}}{H^+} + \dots \quad (17)$$

Bu formülde: $(\frac{X}{H})$, hidrojene göre (X) elementinin toplam bolluğunu, $(\frac{X^+}{H^+})$, $(\frac{X^{++}}{H^+})$, $(\frac{X^{+3}}{H^+})$, vb. hidrojene göre (X) elementinin farklı iyonizasyon aşamalarının iyonik bolluklarını ifade eder (Osterbrock ve Ferland, 2006).

Ancak tayfta tam olarak belirlenemeyen iyonları hesaba katmak için bir iyonizasyon düzeltme faktörü (ICF) uygulanır. Element bolluğunun düzeltilmiş formülü şöyledir:

$$\frac{X}{H} = \sum_{obs} \frac{X^{+i}}{H^+} \times ICF \quad (18)$$

Element bollukları $12 + \log (n (x^{+i}) / n (H^+))$ formülü ile ifade edilir.

Çizelge 3.9’da farklı ortamlardaki element bolluklarının karşılaştırmasını sağlar. Orion Bulutsusundaki gaz ve toz, genellikle daha yüksek element bolluklarına (özellikle oksijen ve neon gibi yıldız oluşumu için kritik elementlerde) sahiptir. Bu da Orion Bulutsusunun aktif yıldız oluşum bölgelerinde zengin kimyasal içeriğe sahip olduğunu gösterir. Güneş’in element bollukları ise genellikle Orion Bulutsusuna yakın olup diğer ortamlara göre daha iyi tanımlanmış değerlere sahiptir. Bu karşılaştırmalar, galaktik kimyasal evrim ve yıldız oluşumu çalışmalarında önemli bilgiler sağlar.

Çizelge 3.9. Bazı elementlerin bolluk değerleri (bolluklar $12 + \log (X_m/H^+)$ formülüne göre hesaplanmıştır).

Element	Orion ^a Gaz + toz	YSO ^b	Genç F ve G yıldızlar ^b	Beyaz Cüce ^c	Güneş ^d
He	10.988 ± 0.003	...	...	...	10.98 ± 0.02
C	8.52 ± 0.02	8.15 ± 0.06	8.55 ± 0.10	8.25 ± 0.08	8.41 ± 0.05
N	7.73 ± 0.09	...	...	7.81 ± 0.09	7.80 ± 0.05
O	8.73 ± 0.03	8.50 ± 0.02	8.65 ± 0.15	8.68 ± 0.06	8.66 ± 0.05
Ne	8.05 ± 0.07	...	...	...	7.84 ± 0.06

S	7.22 ± 0.04	...	...	...	7.20 ± 0.08
Cl	5.46 ± 0.04	...	...	...	5.28 ± 0.08
Ar	6.62 ± 0.05	...	...	...	6.18 ± 0.08

^aEsteban ve ark., (2004), ^bSofia ve Meyer (2001). ^cHerrero (2003). ^dChristensen-Dalsgaard (1998); Grevesse ve Sauval (1998); Asplund (2003); Asplund ve ark. (2004)

Element bolluklarının hesaplanmasında farklı gözlem verileri ve farklı yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçların uyumunu ve tutarlılığını değerlendirmek önemlidir. Neat (Nebular Empirical Analysis Tool), astronomi topluluğunda yaygın olarak kullanılan bir yazılımdır ve tayfsal çizgilerden element bolluklarını hesaplamak için gelişmiş algoritmalar ve yöntemler kullanır.

3.2.8.a. Neat (Nebular Empirical Analysis Tool) Kullanılarak Element Bollukları Hesabı

Neat yazılımını kullanmak için, kalibrasyon verileri yüklenir. *Neat*, genellikle FITS formatındaki dosyaları destekler. *Neat*, tayftaki kalibrasyon çizgilerini otomatik olarak tespit eder ve bunları bilinen referans çizgileri ile eşleştirir.

Tayfsal verilerdeki kozmik ışınlar, sıcak piksel hataları ve diğer istenmeyen sinyaller temizlenir. Bu adım, tayfsal verilerin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırır. *Neat*, kozmik ışın temizleme işlemini otomatik olarak gerçekleştirir, böylece manuel müdahale gereksinimi en aza indirgenir. Temizlenmiş veriler daha sonra akı kalibrasyonuna tabi tutulur, bu da gözlemlenen tayfsal çizgilerin gerçek akı değerlerine dönüştürülmesini sağlar.

Kalibre edilmiş tayfsal veriler, yayının çizgilerinin analizinde ve astronomik nesnelerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. GB'nin kimyasal bileşimi, sıcaklığı, yoğunluğu ve hız yapısı bu verilerden elde edilir. *Neat* yazılımı, tayfsal çizgilerin merkez dalga boylarını, genişliklerini ve yoğunluklarını hesaplayarak element bolluklarını belirler. Sonuçlar genellikle grafikler ve tablolar şeklinde sunulur. Grafikler, tayfsal çizgilerin görsel gösterilmesidir. Bu da belirli özelliklerin ve kalibrasyon hatalarının kolayca tespit edilmesini sağlar. Tablolar, hesaplanan dalga boyları, akı değerleri ve element bollukları gibi sayısal sonuçları içerir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

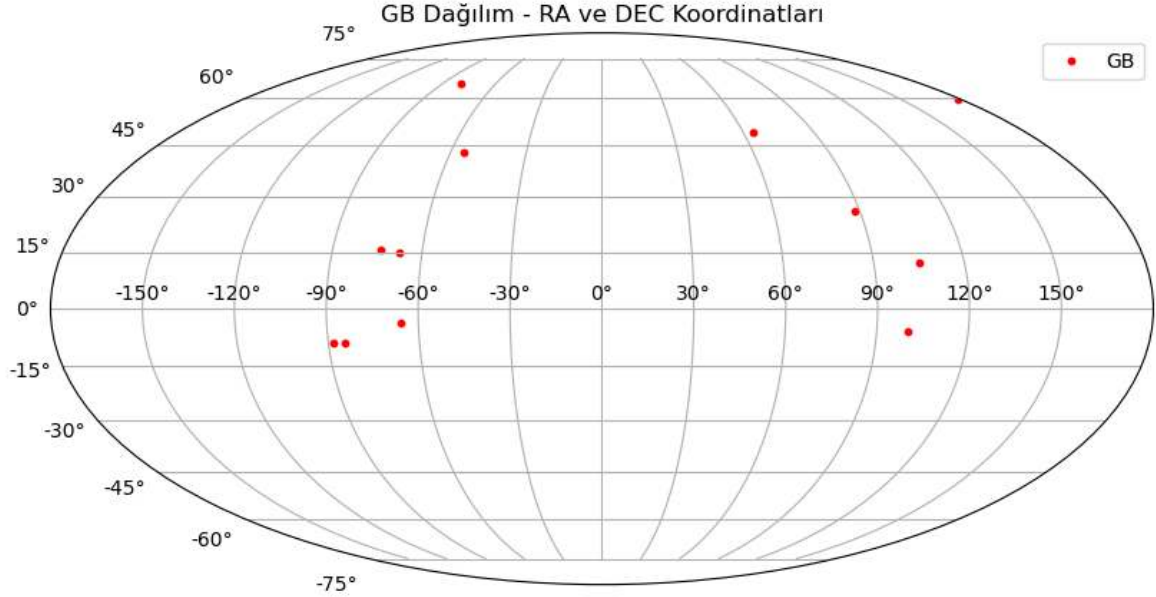
GB'lerin element bolluklarının araştırılması, yıldızların yaşam döngüsü ve yıldızlararası ortamın kimyasal zenginleşmesi hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Bu tez çalışmasında, HASH kataloğunda bulunan 12 GB'nin element bollukları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıntılı tayfsal analizler ve *PyNeb*, *Alfa*, *Neat* gibi gelişmiş hesaplama araçları sayesinde, GB'lerin oluşumunu ve evrimini yönlendiren karmaşık süreçler anlaşılır bir şekilde çözümlenmeye çalışılmaktadır. Tez çalışmamızda GB'lerdeki element bolluklarının belirlenmesi için çeşitli yöntemler incelenmiş ve kullanılmıştır. Bu amaçla gerçekleştirilen analiz adımları ve elde edilen bulgular kapsamlı bir şekilde bu bölümde tartışılmıştır.

2017 – 2021 yılları arasında yürütülen 16BRTT150 – 1064 numaralı TUG gözlem projesi kapsamında, 12 Gerçek (True) GB kaynağının tayf verileri alınmıştır. Çizelge 4.1'de bu kaynaklara ait bazı temel özellikler verilmiştir. Seçilen 12 GB'nin gökyüzündeki dağılımları ise Şekil 4.1'de gösterilmektedir.

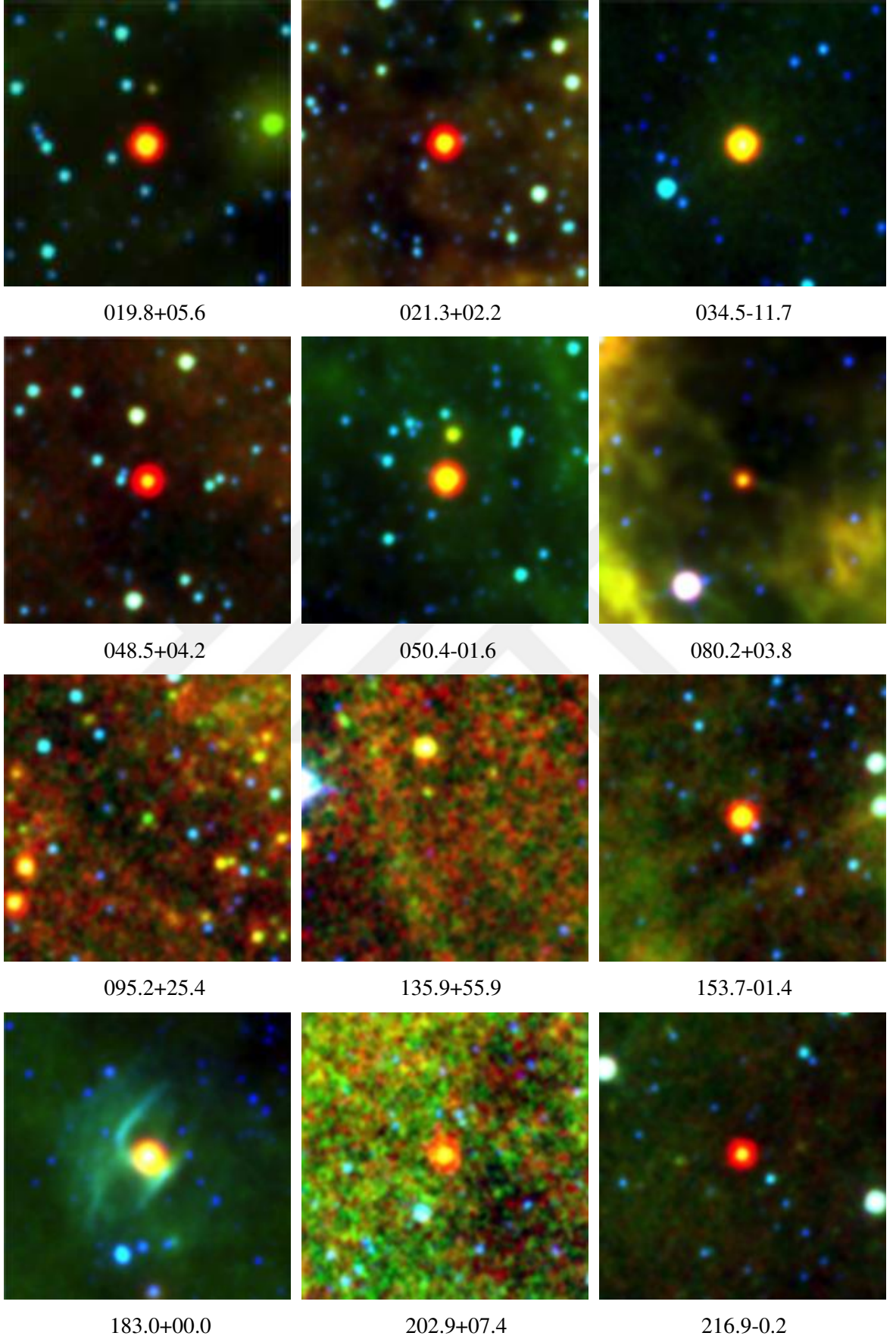
Pek çok GB, oluşumlarından kaynaklı içerdikleri tozdan dolayı kızılötesi bölgede yayılım yapmaktadır. İncelenen kaynakların görselleştirilmesi için WISE (Widefield Infrared Survey Explorer – Geniş alan Kızılöte Tarama Kâşifi) filtrelerinden oluşturulmuş RGB (Red – Green – Blue/Kırmızı – Yeşil Mavi) görüntüleri Şekil 4.2'de verilmektedir. Şekil 4.2'de kullanılan WISE uydusunun gözlediği etkin dalga boyları sırasıyla W2, W3 ve W4 için 4.618, 12.082 ve 22.194 μm dir. Görüntüler 10 açı dakikalık alanları kaplamaktadır. Buda yaklaşık olarak RTT150 ile aynı alana (Bkz. Çizelge 3.1) denk gelmektedir. Yakın ve orta kızılötesi bölgelerde toz yayılımı ve saçılma, gaz yayılımı ve soğurumu, büyük molekül ve toz taneciklerinin yayılımı gibi birçok önemli süreç gerçekleşir. Örneğin, H_2 ve CO gibi moleküllerden kaynaklanan gaz yayılımı, bu moleküllerin varlığı ve yoğunlukları hakkında bilgi verirken, Ne II gibi iyonize element çizgileri, bulutsunun iyonizasyon yapısını ve merkezi yıldızın enerji yayılımını anlamamıza yardımcı olur. Gaz soğurumu, CO, C_3 ve C_2H_2 gibi moleküller tarafından gerçekleşir ve bu moleküllerin varlığı, bulutsunun kimyasal bileşimi ve soğurma özellikleri hakkında ipuçları sağlar. Ayrıca, poliaromatik hidrokarbonlar (PAHs) gibi büyük molekül ve toz tanecikleri, GB'lerdeki karmaşık karbon bileşiklerinin varlığına işaret eder. Bu moleküller, yıldızlararası ortamın kimyasal evriminde önemli rol oynar ve kızılötesi tayfta belirgin yayılım özellikleri sergilerler.

Çizelge 4.1. Seçilen 12 GB'nin bazı özellikleri ve gözlem bilgileri verilmektedir. 1. sütunda GB'lerin katalog isimleri yer almaktadır. 2. sütunda yaygın bilinen adları, 3. sütunda sağ açıklık (R.A), 4. sütunda dik açıklık (Dec.) koordinat değerleri gösterilmiştir. Kaynakların HASH veri tabanında yer alan açısız büyüklükleri 5. sütunda, USNOB1.0 kataloğunda R filtresinde bulunan parlaklık değerleri ise 6. sütunda verilmiştir. Gözlemlerin yapıldığı tarihler 7. sütunda ve kullanılan grismler 8. sütunda listelenmiştir.

GB	Bilinen Yaygın Adı	R.A(J2000)	Dec.(J2000)	Major Diam.	R_mag	Tarih	Grism
019.8+05.6	CTS1	18:06:59.8	08:55:32.8	3	12.5	20190727	8-14
021.3+02.2	J18220914	18:22:05.7	09:14:09.0	8	16.1	20180714	8-14
034.5-11.7	PM1308	19:36:17.5	03:53:25.3	1.8	12.6	20190726	8-14
048.5+04.2	K416	19:04:51.4	15:47:36.7	3	14.8	20190727	8-14
050.4-01.6	K428	19:30:16.7	14:47:21.8			20200519	8-14
080.2+03.8	J201954.23+430559.6	20:19:54.2	43:05:59.6		17.5	20190726	8-14
095.2+25.4	Kn59	18:41:41.9	65:11:58.0	4	14.7	20200518	8-14
135.9+55.9	TS1	11:53:24.7	59:39:56.9	9.2	16.3	20170129	8-14
153.7-01.4	K365	04:15:54.5	48:49:40.6	7	14.6	20210108	8-14
183.0+00.0	J055242.8+262116	05:52:42.8	26:21:16.1	16.1	11.9	20170131	8-14
202.9+07.4	Kn60	07:00:06.6	12:14:41.3	9	14.8	20210108	15
216.9-05.2	J06390554	06:39:58.1	05:54:56.7	5	14	20210108	8-14



Şekil 4.1. 12 GB'nin dağılımı (Hammer-Aitoff projeksiyonu kullanılmıştır). GB'ler Sağ açıklık (RA) ve Dik açıklık (Dec.) koordinatları kullanılarak kırmızı noktalar ile işaretlenmiştir.

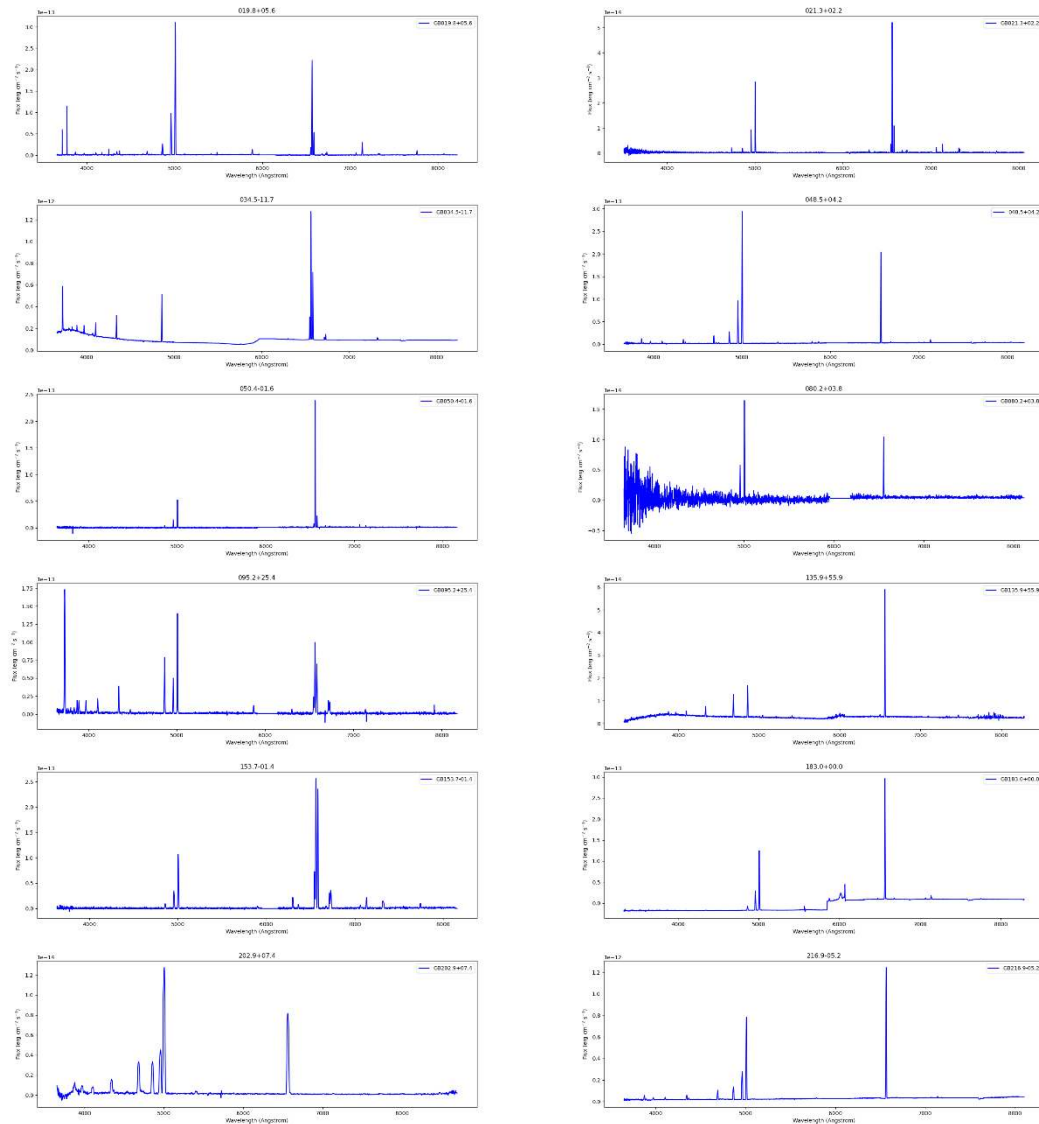


Şekil 4.2. 12 GB'nin WISE uydusunun W4 (Red), W3 (Green), W2 (Blue) bantlarından alınan görüntüleri ile oluşturulmuş 3 renk (RGB) görüntüleri. GB'ler görüntülerde çoğu merkezde ve kırmızı olarak görülmektedir.

4.1. Gezegenimsi Bulutsuların Tayfsal İncelenmesi

Bu bölümde açılal çapları < 16 açi saniyesi ve kuzey yarıküreden gözlenebilen ($\text{Dec} > 10^\circ$), 12 (T) GB olarak kataloglanmış kaynakların TUG RTT150 teleskobu TFOSC tayf çekeri ile alınmış tayflarının analiz sonuçları özetlenmektedir. 12 GB'nin TFOSC ile alınan 2 boyutlu tayflarının gösterimi sırasıyla Şekil 4.3'te verilmektedir. Bu tayflar TFOSC içerisinde yer alan optik mavi bölge için *grism14*, kırmızı bölge için *grism8* ve tüm optik bölgenin kapsamı için *grism15* kullanılmıştır.

Her bir *grism* ile ayrı ayrı alınan tayflar IRAF 2.16.1 ile sırasıyla ön indirgeme, dalga boyu kalibrasyonu ve akı kalibrasyonu işlemleri uygulanarak *onedspec* taskı ile tek boyutlu tayflara dönüştürülmüştür. *Grism14* ve *grism8*'den tüm dalga boyu kapsamı oluşturmak için bu optik ağlardan elde edilen metin dosyaları *PyNeb* ile birleştirilmiş ve tek boyutlu tayfların görselleri elde edilmiştir. Oluşturulan tek boyutlu tayflar her bir GB için Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.3. 12 GB'nin *PyNeb* kullanılarak oluşturulmuş 1-boyutlu tayfları. x eksenı Angström cinsinden dalga boyunu, y eksenı dalga boyu başına birim zamanda birim alana düşen enerjiyi göstermektedir. GB'lerde beklenen $\text{H}\beta$, $[\text{O III}] \lambda\lambda 4959, 5007 \text{ \AA}$, $\text{H}\alpha$, $[\text{N II}] \lambda\lambda 6548, 6583 \text{ \AA}$ ve $[\text{S II}] \lambda\lambda 6717, 6731 \text{ \AA}$ çizgilerinden çoğu belirlenmektedir.

GB’lerde tipik olarak gözlenmesi beklenen [O III] $\lambda 5007$ Å ve H β $\lambda 4861$ Å çizgilerine 12 (T) GB’nin çoğunluğu sahiptir.

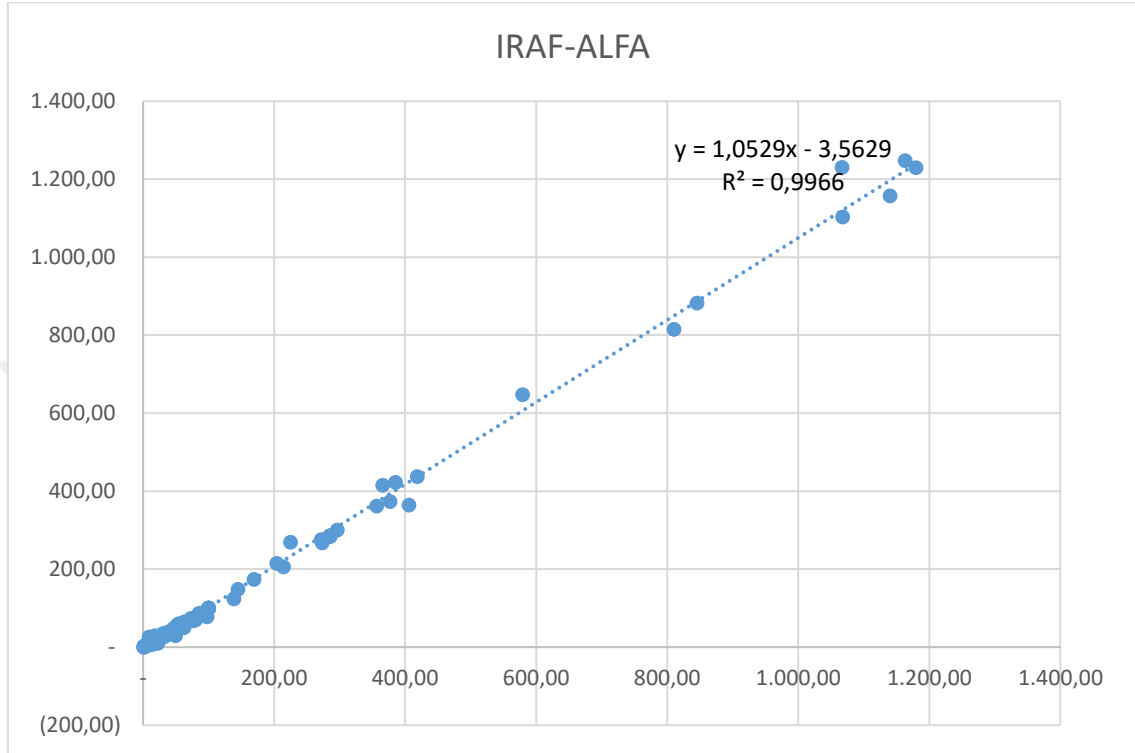
- Ancak, **034.5-11.7 ve 135.9+55.9** numaralı GB’lerde [O III] $\lambda 5007$ Å yayını çizgisi tespit edilememiştir, bu durumda bu bulutsuların farklı bir iyonizasyon yapısına veya daha düşük bir uyarılma seviyesine sahip olabileceği yorumlanabilir.
- Uyarılma seviyesinin önemli bir göstergesi olan He II $\lambda 4686$ Å çizgisi, yalnızca **019.8+05.6, 048.5+04.2, 135.9+55.9, 202.9+07.4 ve 216.9-0.2** kaynaklarında gözlenebilmiştir. Bu durum, bu 5 GB’nin daha yüksek uyarılma koşullarına sahip olduğunu ve merkezi yıldızlarının daha sıcak olduğuna işaret etmektedir.
- Ayrıca, GB’lerin önemli bir kimyasal göstergesi olan [N II] $\lambda\lambda 6548, 6583$ Å çizgileri, incelenen 12 kaynaktan 6’sında (**019.8+05.6, 021.3+02.2, 034.5-11.7, 050.4-01.6, 095.2+25.4, 153.7+01.4**) her iki çizgi de tespit edilmiştir.
- 12 GB’den hepsi beklendiği gibi H_{α} yayını çizgisine sahiptir ancak belirleyici yayını çizgilerinden [N II] ($\lambda\lambda 6548, 6583$ Å), [S II] ($\lambda\lambda 6716, 6731$ Å), [O III] ($\lambda 5007$ Å), H β ve He II ($\lambda 4686$ Å) tüm kaynaklarda güçlü olarak görülememiştir.

GB’lerin optik tayflarından ölçülen akı değerleri ve bunlara ilişkin hata oranları (ekler 2 kısmında detaylı olarak verilmiştir), her bir GB için H β $\lambda 4861$ Å çizgisi referans alınarak normalize edilmiştir ve normalize edilmiş bu değerler hem *IRAF* hem de *Alfa* programlarında kullanılmıştır (Bkz. Çizelge 4.2). H β çizgisinin referans alınarak normalize edilmesi, farklı gözlem koşullarından ve farklı bulutsular arasındaki değişikliklerden kaynaklanan etkileri minimize ederek, akı değerlerinin karşılaştırılabilir hale gelmesini sağlar. Tayf gözlemlerinde elde edilen [O III] $\lambda 5007$ Å, [N II] $\lambda 6548$ ve $\lambda 6583$ Å, He II $\lambda 4686$ Å gibi belirli yayını çizgilerinin akı değerleri, bulutsunun iyonlaşma yapısını ve merkezi yıldızın sıcaklığını belirlemede ipuçları sunar. Ayrıca normalize edilmiş akı değerleri, bulutsunun fiziksel parametrelerinin (T_e ve n_e gibi) hesaplanmasında kullanılır.

Çizelge 4.2. IRAF ve Alfa yöntemleri kullanılarak yapılan tayfsal analiz sonuçları karşılaştırılmaktadır. Her iki yöntemin sonuçları GB'lerin çeşitli iyonlarına ait akılar H_{β} 'ya göre normalize edilmiş ve kıyasma düzeltmesi yapılmış değerlerdir.

λ	İyon	019.8+05.6		021.3+02.2		034.5-11.7		048.5+04.2		050.4-01.6		080.2+03.8	
		IRAF	Alfa	IRAF	Alfa	IRAF	Alfa	IRAF	Alfa	IRAF	Alfa	IRAF	Alfa
3423,91	Ne I												
3700	Pasch						5,06						
3726,03	[O II]					96,69	85,29						
3728,82	[O II]												
3774,02	O III	224,98	269,20										
3777,14	Ne II												
3797,9	H I					2,40	3,32						
3835,39	H I					5,48	5,98						
3868,75	[Ne III]	49,49	30,01					76,42	68,40				
3882,19	O II												
3888,65	He I					10,17	12,04						
3964,73	He I												
3970,07	H I					14,69	15,52	40,38	33,40				
4067,94	C III												
4101,74	HI					24,13	25,26	31,31	26,61				
4170,04	O II	12,72	15,50										
4340,47	H I	43,64	35,53	62,20	49,79	45,92	45,72	51,69	45,81				
4345,55	O II												
4363,21	[O III]	10,83						23,13	16,11				
4366,89	N III												
4471,5	He I												
4638,86	O II	7,60											
4685,68	He II	37,16	33,23					77,78	69,56				
4711,37	[Ar IV]							11,80	11,58				
4740,17	[Ar IV]							7,41	9,20				
4814,53	[Fe II]												
4861,33	H I	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4958,91	[O III]	377,11	373,48	385,01	422,90			356,24	362,16	271,72	275,48	418,25	437,31
5006,84	[O III]	1.140,03	1.157,39	1.163,05	1.247,95			1.068,04	1.103,16	810,28	815,48	1.179,81	1.229,70
5411,52	He II	4,23						8,31	9,15				
5754,6	[N II]												
5868	[Kr IV]												

Çizelge 4.2'de, IRAF ile ölçülen akı değerlerinin yanı sıra, Alfa programı ile aynı dalga boyunda ölçülen değerler vermektedir. Bazı dalga boylarındaki çözülmesi güç olan çizgiler (blend) her iki ölçüm sonuçlarında farklı ifade edilmiş bu farklılık için görsel gösterimler ekler 1 kısmında detaylı olarak sunulmuştur.



Şekil 4.4. IRAF ve Alfa ile ölçülmüş akı değerlerinin uyum grafiği

IRAF ve *Alfa* değerlerinin benzer sonuçlar gösterdiği gözlemlenmektedir. Birçok GB için akı değerleri birbirine yakın olup, bu da ölçülen değerlerin genel olarak uyumlu olduğunu göstermektedir. Şekil 4.4'te verilen grafikte genel olarak *IRAF* ve *Alfa* değerleri arasındaki uyumu açık olarak görülmektedir. Ancak, bazı GB'ler için belirgin farklılıklar gözlenmiştir.

Çizelge 4.3. 12 GB ‘nin *IRAF* ve *Alfa* gibi iki program ile belirlenen akı değerlerinden hesaplanan T_e , n_e ve $c(H\beta)$ sonuçları. 1., 3. ve 5. sütunlar *IRAF* ile elde edilen sonuçlar 2.,4. ve 6. sütunlar ise aynı tayfın *Alfa* ile elde edilen sonuçlarını vermektedir.

GB	<i>IRAF</i> $T_e(OIII)$	<i>Alfa</i> $T_e(OIII)$	<i>IRAF</i> $n_e(SII)$	<i>Alfa</i> $n_e(SII)$	<i>IRAF</i> $cH\beta$	<i>Alfa</i> $cH\beta$
019.8+05.6	10798		2650.74	2655.79	1.13	0.95
021.3+02.2			10280.09	11448.41	2.50	2.58
034.5-11.7			6482.38	7669.59	0.21	0.25
048.5+04.2	13791.13	12216.74			1,04	0.70
050.4-01.6					3.55	3.58
080.2+03.8					1.16	0.84
095.2+25.4			226.65	218.97		
135.9+55.9					0.29	0.15
153.7-01.4			643.27	744.5	2.56	2.84
183.0+00.0					2.59	2.63
202.9+07.4						0.07
216.9-0.2	15460	13120.7			1.35	1.36

- **GB019.8+05.6** IRAF programı tarafından ölçülen T_e değerleri bulunmaktadır, ancak λ 4363 (OIII) yayılım çizgisi akı değeri bulunmadığından Alfa programında bu değer hesaplanamamıştır.
- **GB048.5+04.2** ve **GB216.9-05.2** T_e değerleri her iki programla da ölçülebilmıştır ve değerler hesaplamalarda fark yaratacak derecede değildir.
- **GB019.8+05.6**, **GB034.5-11.7** ve **GB153.7+01.4**: Alfa ve IRAF programları tarafından ölçülen n_e değerleri birbirine yakındır.
- 12 GB’den onunda (**GB019.8+05.6**, **GB021.3+02.2**, **GB034.5-11.7**, **GB048.5+04.2**, **GB050.4-01.6**, **GB080.2+03.8**, **GB135.9+55.9**, **GB153.7+01.4**, **GB183.0+00.0** ve **GB216.9-05.2**) Alfa ve IRAF programları tarafından ölçülen $c(H\beta)$ değerleri arasında belirlenen farklar genellikle küçüktür.

Çizelge 4.4. 12 GB için elde edilen kimyasal bollukları göstermektedir. Her bir GB için hem IRAF hem de Neat ile elde edilmiş ICF ve belirlenen element bollukları detaylı bir şekilde sunulmuştur. Her GB'nin sağındaki sütunlar, aynı GB'nin Neat çıktılarını göstermektedir. Sonuçlar $\text{Log}(X) + 12$ bağıntısına göre verilmiştir.

		019.8+05.6		021.3+02.2		034.5-11.7		048.5+04.2	
		IRAF	Neat	IRAF	Neat	IRAF	Neat	IRAF	Neat
4471	He ⁺ /H ⁺								
5876	He ⁺ /H ⁺							10,72	
6678	He ⁺ /H ⁺	11,19		11,08					
Avg.	He ⁺ /H ⁺	11,18	11,06	11,08	10,83		0,05	10,72	10,60
4686	He ²⁺ /H ⁺	10,51	10,58					10,79	10,82
	He/H	11,26	11,19	11,08	10,83		12,05	11,05	11,03
3727	O ⁺ /H ⁺					7,87	7,79		
4959	O ²⁺ /H ⁺	8,60	8,21	8,61	8,56			8,57	8,20
	ICF(O)	1,14	1,00	1,00	1,00		1,00	1,67	1,00
	O/H	8,65	8,21	8,61	8,56		7,79	8,79	8,20
6584	N ⁺ /H ⁺	7,12	6,85	7,08	7,08	7,46	7,39		5,31
	ICF(N)	1,14	1,00	1,00	1,00		1,00		1,00
	N/H	7,17	6,85	7,08	7,08		7,39		5,31
3868	Ne ²⁺ /H ⁺	7,73	7,38					7,87	7,47
	ICF(Ne)	1,14	1,00					1,67	1,00
	Ne/H	7,79	7,38					8,09	7,47
7135	Ar ²⁺ /H ⁺	6,40	6,12	5,93	6,12				5,61
4740	Ar ³⁺ /H ⁺		5,96					6,44	6,08
7005	Ar ⁴⁺ /H ⁺	5,66	5,17	5,48	5,42				5,15
	ICF(Ar)	1,14	1,00		1,00			1,67	1,00
	Ar/H	6,53	6,38						6,24

					6,20			6,67	
6725	S ⁺ /H ⁺	5,58	5,43	5,36	5,58	5,73			
6312	S ²⁺ /H ⁺	6,50							
	ICF(S)		1,00		1,00				
	S/H		5,43		5,58				



Çizelge 4.4. Devamı

		050.4-01.6		080.2+03.8		095.2+25.4		135.9+55.9	
		IRAF	Neat	IRAF	Neat	IRAF	Neat	IRAF	Neat
4471	He ⁺ /H ⁺								
5876	He ⁺ /H ⁺								
6678	He ⁺ /H ⁺	11,03							
Avg.	He ⁺ /H ⁺	11,03	10,98				11,06		
4686	He ²⁺ /H ⁺							10,76	10,79
	He/H	11,03	10,98				11,06	10,76	10,79
3727	O ⁺ /H ⁺					8,13	7,99		
4959	O ²⁺ /H ⁺	8,45	8,47	8,63	8,50	7,77	7,77		
	ICF(O)	1,00	1,00		1,00		1,00		
	O/H	8,45	8,47		8,50		8,19		
6584	N ⁺ /H ⁺	6,71	6,69			7,63	7,31		
	ICF(N)	1,00	1,00				2,82		
	N/H	6,71	6,69				7,76		
3868	Ne ²⁺ /H ⁺					7,17	7,39		
	ICF(Ne)						5,77		
	Ne/H						8,15		
7135	Ar ²⁺ /H ⁺	5,18	5,23			6,18	5,89		
4740	Ar ³⁺ /H ⁺				7,51				
7005	Ar ⁴⁺ /H ⁺								
	ICF(Ar)		1,00		1,00		1,11		
	Ar/H		5,23		7,51		5,93		
6725	S ⁺ /H ⁺	5,10	5,05			6,52	6,05		
6312	S ²⁺ /H ⁺								
	ICF(S)		1,00				3,29		
	S/H		5,05				6,56		

Çizelge 4.4. Devamı

		153.7+01.4		183.0+00.0		202.9+07.4		216.9-05.2	
		IRAF	Neat	IRAF	Neat	IRAF	Neat	IRAF	Neat
4471	He ⁺ /H ⁺								
5876	He ⁺ /H ⁺			10,82					
6678	He ⁺ /H ⁺	11,12		10,92					
Avg.	He ⁺ /H ⁺	11,12	10,99	10,88	10,80				10,46
4686	He ²⁺ /H ⁺					10,87	10,85	10,83	10,89
	He/H	11,12	10,99	10,88	10,80	10,87	10,85	10,83	11,03
3727	O ⁺ /H ⁺								
4959	O ₂ ⁺ /H ⁺	8,48	8,50	8,58	8,59	8,15	8,10	8,32	7,88
	ICF(O)	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00		1,00
	O/H	8,48	8,50	8,58	8,59		8,10		7,88
6584	N ⁺ /H ⁺	7,75	7,73	5,46	5,43				
	ICF(N)	1,00	1,00	1,00	1,00				
	N/H	7,75	7,73	5,46	5,43				
3868	Ne ₂ ⁺ /H ⁺				7,76	8,99		7,94	7,35
	ICF(Ne)				1,00				1,00
	Ne/H				7,76				7,35
7135	Ar ₂ ⁺ /H ⁺	6,11	6,10	5,66	5,68	5,49		5,26	4,96
4740	Ar ₃ ⁺ /H ⁺							6,11	5,76
7005	Ar ₄ ⁺ /H ⁺								
	ICF(Ar)		1,00		1,00				1,00
	Ar/H		6,10		5,68				5,82
6725	S ⁺ /H ⁺	6,33	6,22						
6312	S ²⁺ /H ⁺								
	ICF(S)		1,00						
	S/H		6,22						

12 GB'nin element bolluklarının IRAF ve Neat yöntemleriyle elde edilen sonuçlarının karşılaştırması Çizelge 4.4'te verilmiştir. Bu karşılaştırma, iki farklı yöntemle elde edilen sonuçların tutarlılığını değerlendirmek için önemlidir. Bu değerlendirme, element bolluklarının daha güvenilir şekilde hesaplamamıza yardımcı olacaktır. Çizelge 4.4'te yer alan O/H, N/H, Ne/H, Ar/H ve S/H oranları, 12 GB'nin ICF değerlerini ve element bolluklarını gösterir. ICF (Ionization Correction Factor) değerleri, gözlenen iyonların tüm element bolluğunu tespit etmek için kullanılır. Bu tabloda ICF hesaplanırken *PyNeb* ile elde edilen iyonik bolluklar için KB94, WL07 ve DMS14 makalelerindeki yöntemler kullanılmıştır. Her iki yöntemle elde edilen sonuçlar arasındaki farklar, özellikle belirli GB'lerin element bollukları için dikkat çekicidir.

H β çizgisi genellikle normalizasyon için kullanıldığından, iki yöntem arasında büyük bir tutarlılık beklenir.

- He element bollukları incelendiğinde, 9 GB (GB019.8+05.6, GB021.3+02.2, GB048.5+04.2, GB050.4-01.6, GB135.9+55.9, GB153.7+01.4, GB183.0+00.0, GB202.9+07.4 ve GB216.9-05.2 He⁺ ve He² iyonik bolluklarından en az birine sahiptir ve element bollukları yaklaşık değerler sergilemektedir. Geriye kalan 3 GB (GB034.5-11.7, GB080.2+03.8 ve GB095.2+25.4) için He⁺ ve/veya He² iyonik bollukları olmadığı için He element bolluğu hesaplanamamıştır.
- 6 GB'de (GB019.8+05.6, GB021.3+02.2, GB048.5+04.2, GB050.4-01.6, GB153.7+01.4 ve GB183.0+00.0) O/H⁺ bolluğu IRAF ve Neat programlarında karşılaştırılabilmiştir. 4 GB'de (GB021.3+02.2, GB050.4-01.6, GB153.7+01.4 ve GB183.0+00.0) iyi uyum görülürken GB019.8+05.6 ve GB048.5+04.2'de ölçülen akı değerlerinden kaynaklı sapma belirlenmiştir.
- N/H⁺ bolluğunda 6 GB'den (GB019.8+05.6, GB021.3+02.2, GB050.4-01.6, GB153.7+01.4 ve GB183.0+00.0) GB021.3+02.2'de birebir uyum, diğer 4 GB'de de (GB019.8+05.6, GB050.4-01.6, GB153.7+01.4 ve GB183.0+00.0) yakın değerler bulunmuştur.
- Ne/H⁺ bolluğu GB019.8+05.6 ve GB048.5+04.2'de hesaplanabilmiştir. Bu iki GB'nin Ne element bollukları IRAF ve Neat programlarının sonuçları arasındaki farklılık ICF değerlerindeki hesaplama yöntemlerinden kaynaklanmaktadır.
- Ar/H⁺ bollukları hesaplanabilen GB'ler (GB019.8+05.6 ve GB048.5+04.2) için genellikle uyumludur.
- S/H⁺ bolluklarında ICF hesaplamalarında kullanılan formül için gerekli iyonik bolluklar bulunmadığı için karşılaştırma yapılamamıştır.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Araştırmamız 12 Galaktik GB'nin fiziksel özellikleri (T_e , n_e ve $c(H\beta)$) ile iyonik ve element bolluklarının belirlenmesine odaklanmıştır. Bu GB'ler, Galaktik Kuzey Gökküre'de küçük açısal boyutlara ($<16''$) sahip HASH veri tabanından seçilmiştir. GB'lerin tayfları, TUG RTT150'ye takılı orta çözünürlüklü TFOCS kullanılarak elde edilmiştir (Veri seti 2017'den 2021'e kadar olan dönemi kapsamaktadır).

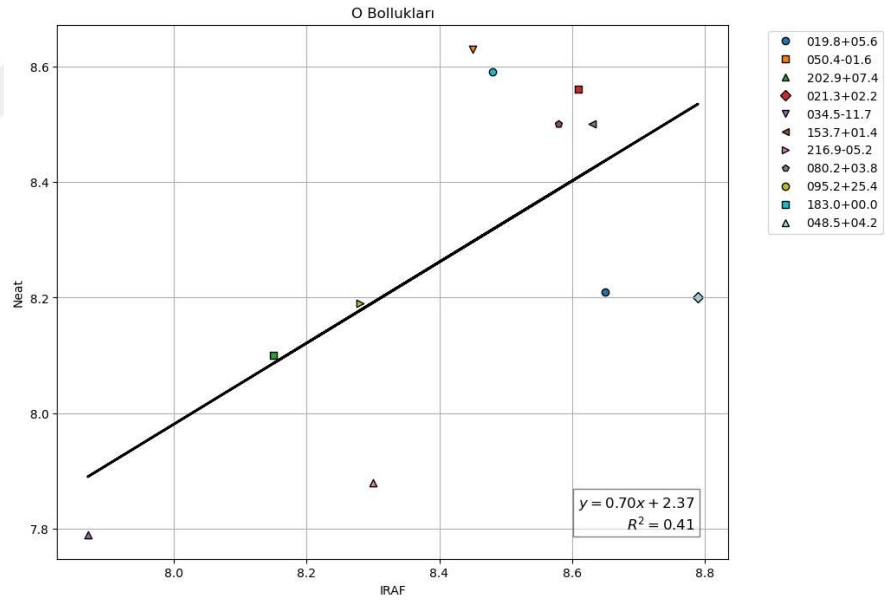
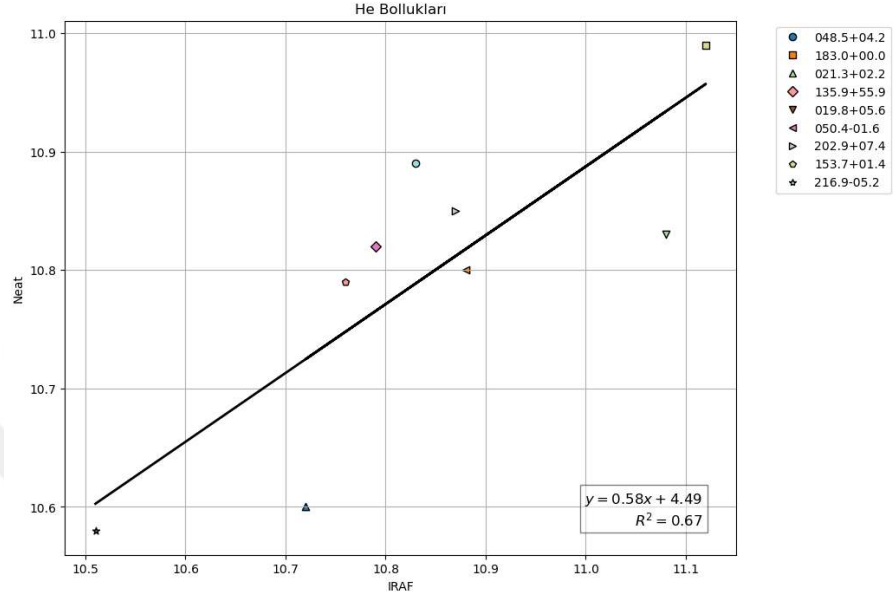
Çoğu GB tayfları hidrojen ve helyumun rekombinasyon çizgilerini ve GB'den beklendiği gibi O, N, Ne, Ar ve S gibi elementlerin çarpışmayla uyarılmış "yasak" yayılım çizgilerini göstermektedir (bkz. Şekil 4.3). Bununla birlikte Çizelge 4.2'te görüldüğü gibi, $H\alpha$ 'nın (kırmızı kısımda) ve $[O III] \lambda\lambda 4959, 5007 \text{Å}$ 'nın (mavi kısımda) güçlü yayılım çizgileri olarak öne çıktığı gözlenmektedir. Ayrıca incelenen 12 tayfın çoğunda beklenen $[O III] \lambda 5007 \text{Å} / H\beta > 5$ değerinin belirlenmesi Gerçek (True) GB olarak sınıflanan bu kaynakların tanısına dair güçlü bir göstergedir.

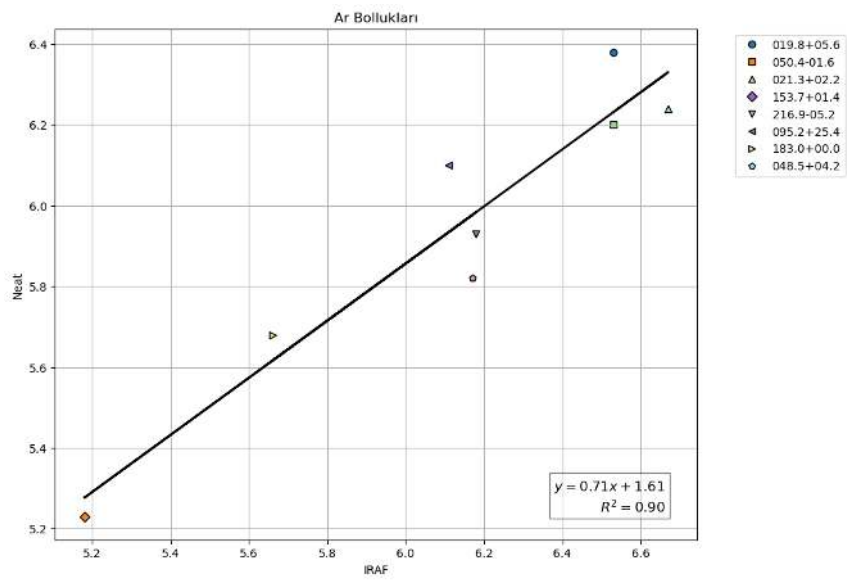
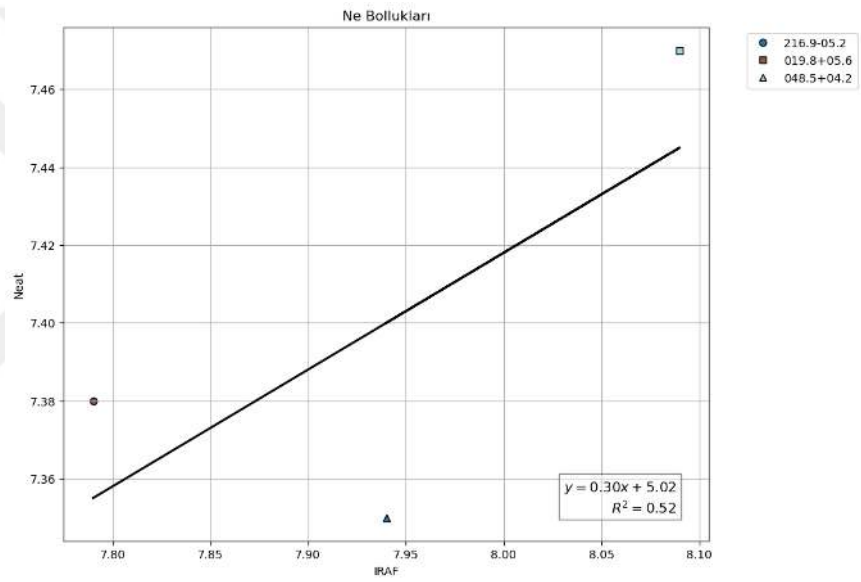
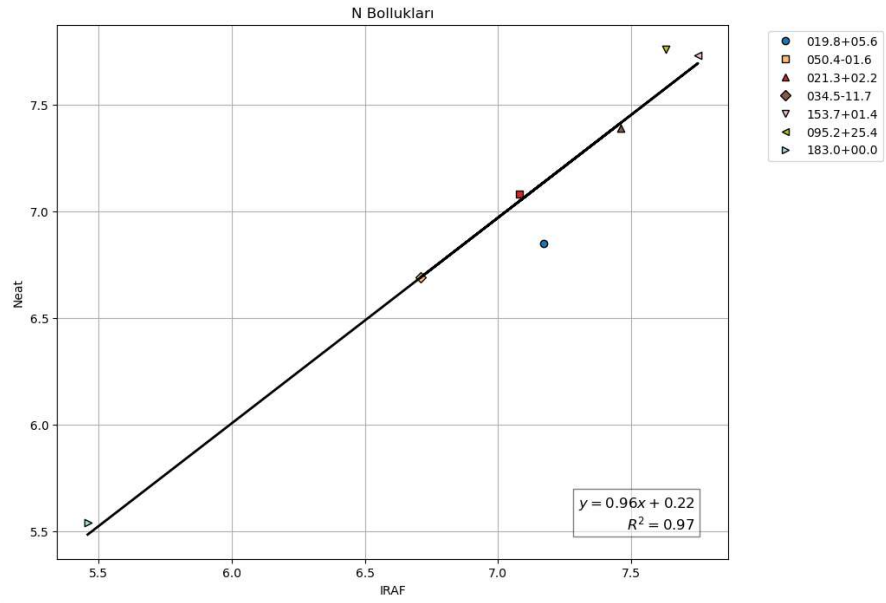
Çizelge 4.3'te verildiği gibi, incelenen GB'ler yönünde sönüm katsayısını belirlemek için kullanılan $c(H\beta)$ değerleri 0,21- 3,55 aralığındadır. **GB095.2+25.4** ve **GB202.9+07.4** için $c(H\beta)$ değeri negatif çıkması nedeniyle dikkate alınmamıştır. 12 GB'den beşi için (**GB019.8+05.6**, **GB021.3+02.2**, **GB034.5-11.7**, **GB095.2+25.4**, **GB153.7-01.4**) n_e değerleri 10^2 - 10^4 cm^{-3} aralığındadır. Bununla beraber T_e değerleri (**GB019.8+05.6**, **GB048.5+04.2** ve **GB216.9-05.2**) için 10^4 - $2 \times 10^4 \text{ K}$ aralığında belirlenmiştir. T_e ve n_e , Wesson ve ark. (2012) tarafından literatürde verilen ilgili yayılım çizgi değerlerinin olmaması nedeniyle 5 GB için belirlenememiştir. Fakat diğer değerler literatürde verilen değerler ile uyumludur.

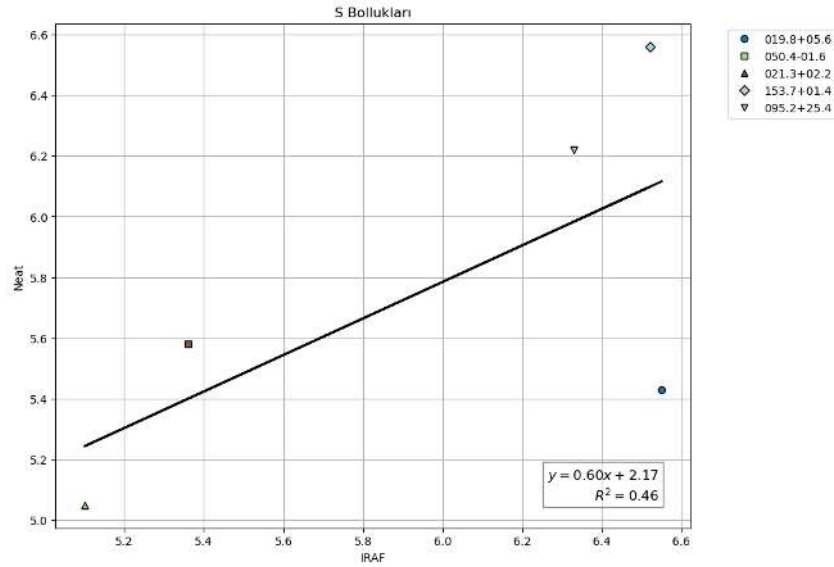
Tez çalışmamızda 12 GB için He, N, O, Ne, Ar ve S gibi element bollukları ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Bu GB'lerin element bolluklarının belirlenmesi için önemli parametre olan ICF'ler, KB94, WL07 ve DMS14 olarak kısaltılan çalışmalardan yararlanılarak hesaplandı. He, N, O, Ne, Ar ve S elementlerine ait iyonik bolluklar *PyNeb* programından yararlanılarak elde edildi. Elde edilen ICF değerleri ve iyonik bolluklar kullanılarak element bollukları elde edildi.

- Bu yöntemle 9 GB'nin (**GB019.8+05.6**, **GB021.3+02.2**, **GB048.5+04.2**, **GB050.4-01.6**, **GB135.9+55.9**, **GB153.7+01.4**, **GB183.0+00.0**, **GB202.9+07.4**, **GB216.9-05.2**) He bollukları Neat ve IRAF programı sonuçları birbiriyle uyumludur.
- 6 GB'nin (**GB019.8+05.6**, **GB021.3+02**, **GB048.5+04.2**, **GB050.4-01.6** ve **GB153.7+01.4**) Oksijen (O) bollukları kullanılan programlarda uyumlu çıkmıştır.
- Azot (N) bolluk değerleri 6 GB (**GB019.8+05.6**, **GB021.3+02.2**, **GB050.4-01.6**, **GB153.7+01.4** ve **GB183.0+00.0**) için birbiriyle tutarlıdır.
- Ne bolluklarında 2 GB'de (**GB019.8+05.6** ve **GB048.5+04.2**) ICF hesaplama yöntemlerinden kaynaklanan farklılıklar görülmüştür.

- Ar bolluklarında 2 GB değeri (**GB019.8+05.6**, **GB048.5+04.2**) birbirine çok yakın değerlerdir.
- Her iki programın verilere uyumluluğunu yansıtan R^2 değerleri analizimizde 0,41 ile 0,97 aralığındadır.







Şekil 5.1. IRAF ve Neat programlarında hesaplanan He, O, N, Ne, Ar ve S elementlerinin bolluk değerleri karşılaştırılmıştır ((Log (X)+12)' e göre). x ekseninde IRAF değerleri, y ekseninde Neat değerleri gösterilmektedir.

GB'lerin element bolluklarını IRAF ve Neat modellemesinden karşılaştırdığımızda $R^2 > 0.90$ dikkate alındığında N ve Ar elementleri için en iyi uyumun olduğu gözlenmiştir. Element değerlerindeki uyumsuzluğun nedeni Neat programında ICF hesaplamalarında DMS14 referansının kullanıldığı ancak bizim hesaplamalarımızda KB94, DMS14, WL07 referanslarından alınan formüllerden yararlanılmasının sonucu olduğu değerlendirilmektedir. Bu üç referanstan uygulanan formülleri kullandığımızda bulduğumuz ICF değerleri çizelge 5.1 de karşılaştırma amacıyla verilmektedir.

Eklenen ICF değerleri ile oluşturulan karşılaştırma tablosu çizelge 5.2 de sunulmuştur. Değerlerde çoğunlukla uyum görülmektedir.

- He bolluklarında, hesaplanabilen 9 GB'de (**GB019.8+05.6**, **GB021.3+02.2**, **GB048.5+04.2**, **GB050.4-01.6**, **GB135.9+55.9**, **GB153.7-01.4**, **GB183.0+00.0**, **GB202.9+07.4** ve **GB216.9-0.2**) iki program arasında 0,02 ile 0,15 aralığında değişim görülmektedir.
- Çizelgede 12 GB'den **GB135.9+55.9** hariç 11 GB'de Oksijen (O) bollukları hesaplanabilmiştir.
- N bollukları incelendiğinde 7 GB'de (**GB019.8+05.6**, **GB021.3+02.2**, **GB034.5-11.7**, **GB050.4-01.6**, **GB095.2+25.4**, **GB153.7-01.4** ve **GB183.0+00.0**) yakın değerler görülmektedir.
- Ar bolluklarında 8 GB'de (**GB019.8+05.6**, **GB021.3+02.2**, **GB048.5+04.2**, **GB050.4-01.6**, **GB095.2+25.4**, **GB153.7-01.4**, **GB183.0+00.0**, **GB202.9+07.4** ve **GB216.9-0.2**) iyi uyum gözlenmiştir.

- Çizelge 5.2’de Ne ve S element bollukları IRAF ve Neat programlarının her ikisinde de hesaplanabilen sırasıyla 3 GB (**GB019.8+05.6, GB048.5+04.2 ve GB216.9-0.2**) ve 5 GB (**GB019.8+05.6, GB021.3+02.2, GB050.4-01.6, GB095.2+25.4 ve GB153.7-01.4**) bulunmaktadır.

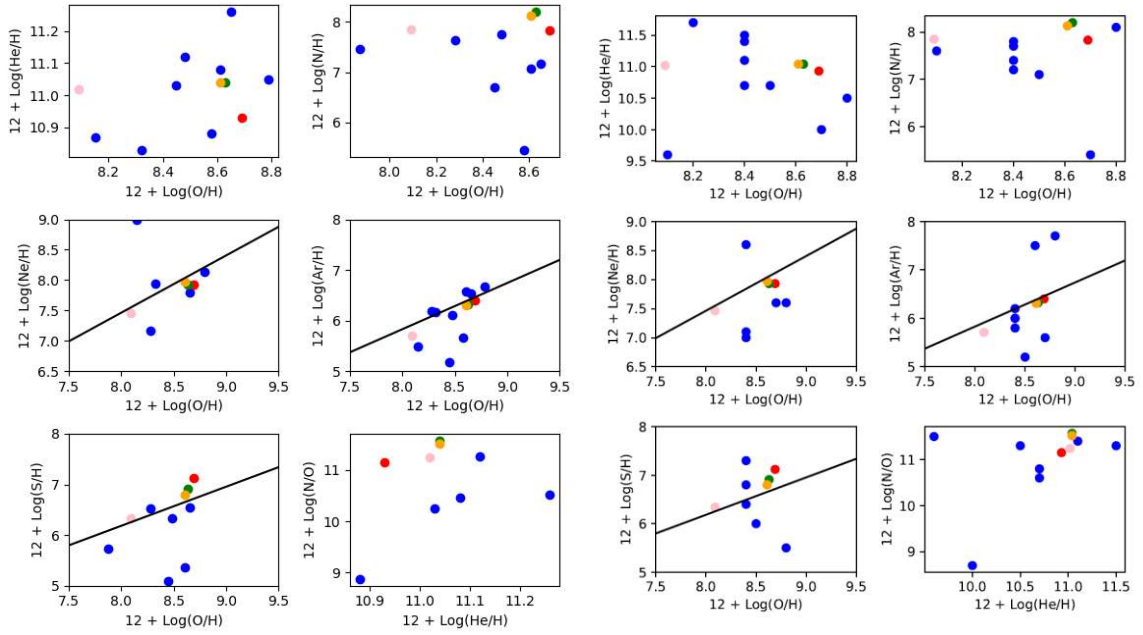


Çizelge 5.1 12 GB için hesaplanabilen ICF değerleri

ICF	O			N			Ne			Ar			S		
	DMS14	KB94	WL07	DMS14	KB94	WL07	DMS14	KB94	WL07	DMS14	KB94	WL07	DMS14	KB94	WL07
019.8+05.6	1,00	1,14	1,14	1,00	1,14	1,14	1,00	1,14	1,14	1,00	1,14		1,00		
021.3+02.2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00			1,00		
034.5-11.7	1,00			1,00			1,00						1,00		
048.5+04.2	1,00	1,67	1,67	1,00	1,67	1,67	1,00	1,67	1,67	1,00	1,67				
050.4-01.6	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00			1,00		
080.2+03.8	1,00						1,00								
095.2+25.4	1,00			1,00						1,00			1,00		
135.9+55.9							1,00								
153.7-01.4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00			1,00		
183.0+00.0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00					
202.9+07.4	1,00						1,00			1,00					
216.9-0.2	1,00						1,00			1,00					

Çizelge 5.2. 12 GB'nin IRAF ve Neat programları kullanılarak oluşturulmuş element bollukları tablosu.

		019.8+05.6	021.3+02.2	034.5-11.7	048.5+04.2	050.4-01.6	080.2+03.8	095.2+25.4	135.9+55.9	153.7+01.4	183.0+00.0	202.9+07.4	216.9+05.2
		IRAF	Neat	IRAF	Neat	IRAF	Neat	IRAF	Neat	IRAF	Neat	IRAF	Neat
4471	He ⁺ /H ⁺												
5876	He ⁺ /H ⁺				10.72						10.82		
6678	He ⁺ /H ⁺	11.19									10.92		
Avg.	He ⁺ /H ⁺	11.18	11.06	11.08	10.83	11.03	10.98	11.06		11.12	10.99		10.46
4686	He ² /H ⁺	10.51	10.58		10.79	10.82			10.76		10.88	10.87	10.89
	He/H	11.26	11.19	11.08	10.83	11.03	10.98	11.06	10.76	11.12	10.88	10.87	10.83
													11.03
3727	O ⁺ /H ⁺			7.87	7.79			8.13	7.99				
4959	O ² /H ⁺	8.60	8.21	8.61	8.56			8.48	8.50	8.58	8.59	8.15	8.32
	ICF(O)	1.14	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	O/H	8.65	8.21	8.61	8.56	8.45	8.47	8.48	8.50	8.58	8.59	8.15	8.32
													7.88
6584	N ⁺ /H ⁺	7.12	6.85	7.08	7.08	6.71	6.69	7.63	7.31	7.75	5.46		
	ICF(N)	1.14	1.00	1.00	1.67	1.00	1.00	1.00	2.82	1.00	1.00		
	N/H	7.17	6.85	7.08	7.08	6.71	6.69	7.63	7.76	7.75	5.46		
3868	Ne ² /H ⁺	7.73	7.38		7.92			7.17	7.39			8.99	7.35
	ICF(Ne)	1.14	1.00		1.67	1.00			5.77			1.00	1.00
	Ne/H	7.79	7.38		8.14	7.47			8.15			8.99	7.35
7135	Ar ² /H ⁺	6.40	6.12	5.93	6.12	5.18	5.23	6.18	5.89	6.11	6.10	5.49	5.26
4740	Ar ³ /H ⁺		5.96		6.44	6.08		7.51			5.66		6.11
7005	Ar ⁴ /H ⁺	5.66	5.17	5.48	5.42								5.76
	ICF(Ar)	1.14	1.00	1.00	1.67	1.00	1.00	1.00	1.11	1.00	1.00	1.00	1.00
	Ar/H	6.53	6.38	6.53	6.67	6.24	5.18	7.51	6.18	6.11	5.66	5.49	6.17
													5.82
6725	S ⁺ /H ⁺	5.58	5.43	5.36	5.58	5.10	5.05	6.52	6.05				
6312	S ² /H ⁺	6.50								6.33	6.22		
	ICF(S)	1.00	1.00	1.00		1.00	1.00	1.00	3.29	1.00	1.00		
	S/H	6.55	5.43	5.36	5.58	5.10	5.05	6.52	6.56	6.33	6.22		



Şekil 5.2. 12 GB için He, N, O, Ne, Ar ve S bollukları $X + \log(X/H)$ biçiminde verilmiştir. Ayrıca Neat Aksaker ve ark. (2024) tarafından Neat (sigma 6) programı kullanılarak yapılan analizler ile oluşturulmuş görüntü de verilmektedir. He, H, Ne, Ar ve S dahil olmak üzere bu element oranları O'ya karşı çizilmiş ve saat yönünde düzenlenmiştir. Sağ alt panel, He bolluğuna kıyasla O'ya göre N bolluğunu temsil eder. Kırmızı, yeşil, turuncu ve pembe daireler sırasıyla Asplund ve ark. (2009); Kwitter ve Henry (2022)'den alınan güneş, Galaktik şişkin bölge, Galaktik disk ve Galaktik halo bolluklarını gösterir. Kesintisiz çizgi Kwitter ve Henry'den (2022) alınan GB bolluklarına uyumu temsil eder.

Kwitter & Henry (2022) çalışmasında, çeşitli elementlerin Galaktik ortamdaki bolluklarını inceleyerek, GB'lerdeki element bolluklarının analiz çizelgelerini oluşturmuştur. Şekil 5.2'de çeşitli elementlerin (He, N, Ne, Ar, S) O/H oranlarına göre dağılımını göstermektedir. Analizlerimizden elde ettiğimiz GB'lerin bolluk verilerini Kwitter & Henry (2022) nin GB bollukları için tanımladığı uyumlama çizgisi (koyu siyah çizgi) civarında olduğu gözlenmektedir. 12 GB'nin element bollukları Galaktik diskte, haloda, çıkıntıda ve Güneş değerlerinde GB'nin etrafına dağılmıştır. Öte yandan, Neon, Argon ve Kükürt bollukları, Kwitter & Henry (2022) tarafından özetlenen GB'nin Galaktik bolluk değişimlerinde gözlemlenen doğrusal eğilimle uyumlu olarak dağılmış olarak gösterilmiştir.

Orta kütleli ($1 - 8 M_{\odot}$) yıldızların evriminde kritik bir aşama olan GB'lerin element bolluklarının kapsamlı incelemeleri hem kaynağın hem de çevresindeki ortamın evrimi hakkında değerli bilgiler sağlamıştır. Daha fazla bilgi edinmek için, yüksek çözünürlüklü ve çok dalga boylu veriler kullanarak daha fazla sayıda GB'yi keşfetmek esastır.

Bu tezde 12 Galaktik GB kaynağı tayfsal olarak incelenmiştir. İncelenen GB'lerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi için tayf verilerinin yanı sıra çoklu dalga boyu verileri de gerekmektedir. Dolayısıyla GB'lerin daha ayrıntılı çalışmaları için daha büyük ayna çaplı teleskoplar ve daha yüksek çözünürlüklü odak düzlemi aletleri ile farklı dalga boylarında elde edilecek veriler gerekmektedir. Gelecekteki çalışmalar kapsamında, özellikle Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) gibi daha büyük ayna çaplı teleskopların kullanımıyla yüksek çözünürlüklü veriler elde etmek

hedeflenmektedir. Ayrıca, GB'lerin fiziksel koşullarını ve kimyasal yapılarını daha derinlemesine anlamak amacıyla proje kapsamında farklı GB'ler için uygulanan fotoiyonizasyon modelleme (Aksaker ve ark., 2024) çalışmaları da yapılmaktadır. Bu yaklaşım, GB'lerin incelenmesinde hem gözlemsel hem de teorik olarak daha kapsamlı bir anlayış sağlayacaktır.





KAYNAKLAR

- Acker, A., Ochsenbein, F., Stenholm, B., Tyllenda, R., Marcout, J., & Schoenberner, D. (1992). *The Strasbourg-ESO catalogue of galactic planetary nebulae. Parts I & II*. European Southern Observatory.
- Acker, A., et al. (2010). The Macquarie/AAO/Strasbourg H α Planetary Nebula Catalogue (MASH)
- Aksaker, N., et al (2024). The Physical Properties, Abundances and Photoionization Modeling of 12 Galactic PNe. (Yayın aşamasında)
- Aksaker, N., Yerli, S. K., Kızıloğlu, Ü., & Atalay, B. (2017). Emission lines of northern planetary nebulae. In X. Liu, L. Stanghellini, & A. Karakas (Eds.), *Planetary Nebulae: Multi-Wavelength Probes of Stellar and Galactic Evolution* (IAU Symposium No. 323, pp. 333-334). Cambridge University Press.
- Akras, S., Gonçalves, D. R., & Ramos-Larios, G. (2022). Diagnostic diagrams and the classification of planetary nebulae and symbiotic stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 514(3), 3892-3906.
- Alruhaili, M., et al. (2024). Physical conditions, chemical abundances, kinematic characteristics, and morphology of the planetary nebula NGC 2452. *Astronomy and Astrophysics*.
- Asplund, M. (2003). Stellar abundance analyses in the light of 3D hydrodynamical model atmospheres. *IAU Symposium*, 210, 15-24.
- Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A. J., Allende Prieto, C., & Kiselman, D. (2004). Line formation in solar granulation. IV. [O I], O I and OH lines and the photospheric O abundance. *Astronomy & Astrophysics*, 417(3), 751-768.
- Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A. J., & Scott, P. (2009). The chemical composition of the Sun. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 47, 481-522.
- Baldwin, J. A., Phillips, M. M., & Terlevich, R. (1981). Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 93(554), 5-19.
- Balser, D. S., & McMullin, J. P. (2006). Observations of planetary nebulae in the Galactic Bulge. *The Astrophysical Journal*, 640, 360-367.
- Bandyopadhyay, R., Das, R., Parthasarathy, M., & Kar, S. (2023). Morpho-kinematic and photoionization models of the multipolar structures in planetary nebula NGC 6572. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 520(2), 2486-2500.
- Bojičić, I. S., Parker, Q. A., & Frew, D. J. (2017). HASH: A new database for Planetary Nebulae.
- Boumis, P., Akras, S., Xilouris, E. M., Alikakos, J., Redman, M. P., & Mavromataki, F. (2003). Galactic Bulge Planetary Nebulae: A Survey with the [O III] 5007 Å Interference Filter. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 339(3), 735-750.
- Brown, A. G. A., et al. (2010). The IPHAS point source catalog.

- Cavichia, O., Costa, R. D. D., Maciel, W. J., & Mollá, M. (2017). The population of planetary nebulae near the Galactic Centre: Chemical abundances. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 468(1), 272–290.
- Christensen-Dalsgaard, J. (1998). The 'standard' Sun modelling and helioseismology. *Space Science Reviews*, 85(1-2), 19-36.
- Copetti, M. V. F., Oliveira, V. A., & Riffel, R. (1990). Integrated photoelectric photometry of nine planetary nebulae. *The Astronomical Journal*, 100(4), 1574-1585.
- Curtis, H. D. (1918). A preliminary catalog of Planetary Nebulae. *Publications of Lick Observatory*, 13, 9-42.
- Danehkar, A., et al. (2022). Physical conditions and chemical abundances of the planetary nebula IC 4997. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*.
- Davis, B. D., Rich, R. M., Soria, R., & Koptelova, E. (2019). Hubble Space Telescope observations of a planetary nebula in the young open cluster B477-D075 in M31. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 486(1), 101-113.
- Delgado-Inglada, G., Morisset, C., & Stasińska, G. (2014). Ionization correction factors in planetary nebulae: Nitrogen. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 440(1), 536-547.
- Delgado-Inglada, G., Rodríguez, M., & Peimbert, M. (2014). Abundance determinations in planetary nebulae: Confronting optical and infrared spectra. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 440(1), 536-554.
- Dinerstein, H. L., Lester, D. F., & Geller, M. J. (2006). Infrared spectroscopy of planetary nebulae: Elemental abundances and physical conditions. *The Astrophysical Journal*, 311(1), 561-575.
- Drew, J. E., et al. (2005). The IPHAS survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 362, 753-776.
- Drew, J. E., et al. (2014). The VPHAS+ survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 440, 2036-2058.
- Esteban, C., Peimbert, M., García-Rojas, J., Ruiz, M. T., Peimbert, A., & Rodríguez, M. (2004). A reappraisal of the chemical composition of the Orion nebula based on Very Large Telescope echelle spectrophotometry. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 355(1), 229-247.
- Exter, K., Barlow, M. J., & Walton, N. A. (2004). Neon, sulphur, and argon in Galactic planetary nebulae. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 349(1), 1291-1302.
- Fesen, R. A., Blair, W. P., & Kirshner, R. P. (1985). Optical emission-line properties of evolved galactic supernova remnants. *The Astrophysical Journal*, 292, 29-46.
- Fitzpatrick, E. L. (1999). Correcting for the effects of interstellar extinction. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 111(755), 63-75.
- Frew, D. J., & Parker, Q. A. (2010). Planetary nebulae and their diagnostic emission lines. *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 27(2), 129-148

- Frew, D. J. (2008). Planetary Nebulae in the Solar Neighborhood. PhD Thesis, Macquarie University.
- García-Hernández, D. A., Manchado, A., García-Lario, P., Cañete, A. B., Acosta-Pulido, J. A., & García, A. M. (2006). Revealing the mid-infrared emission structure of IRAS 16594-4656 and IRAS 07027-7934. *The Astrophysical Journal*, 641(2), 943-955.
- García-Rojas, J., Esteban, C., Peimbert, M., Rodríguez, M., Ruiz, M. T., & Peimbert, A. (2009). The chemical composition of planetary nebulae in the galactic disk. *Astronomy & Astrophysics*, 456(2), 711-723.
- García-Rojas, J., Peña, M., Morisset, C., & Mesa-Delgado, A. (2015). Ionized nebulae and their interstellar environment. *The Astrophysical Journal*, 801(2), 125-139.
- García-Rojas, J. (2020). Physical conditions and chemical abundances in photoionized nebulae from optical spectra. *Atoms*, 8(1), 12.
- Gómez, Y., Rodríguez, L. F., & Miranda, L. F. (2002). VLA Observations at 7 mm of the Planetary Nebula IC 4997. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 336(4), 1139-1146.
- González-Santamaría, I., et al. (2008). Distribution of Planetary Nebulae in the Milky Way. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 389, 371-382.
- Grevesse, N., & Sauval, A. J. (1998). Standard solar composition. *Space Science Reviews*, 85(1-2), 161-174.
- Habing, H. J., & Olofsson, H. (2004). Asymptotic Giant Branch Stars. Springer.
- Hearnshaw, J. B. (1986). The analysis of stellar spectrograms. Cambridge University Press.
- Henry, R. B. C., Kwitter, K. B., & Balick, B. (2012). Galactic evolution of planetary nebulae: The effects of metallicity and progenitor mass. *The Astrophysical Journal*, 749(1), 61-79.
- Herrero, A. (2003). CNO in OB main sequence stars. *IAU Symposium*, 212, 24-35.
- Herwig, F. (2005). Evolution of Asymptotic Giant Branch Stars. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 43, 435-479.
- Hoskin, M. (2014). Discoverers of the Universe: William and Caroline Herschel. Princeton University Press.
- Hubble, E. P. (1922). A relation between the luminosity and the apparent size of Planetary Nebulae. *The Astrophysical Journal*, 56, 162-174.
- Huggins, W. (1864). On the Spectra of Some of the Nebulae. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 154, 437-444.
- Kaler, J. B. (1970). Chemical Composition of Planetary Nebulae. *The Astrophysical Journal*, 161, 247-255.
- Kariyappa, R., Papadakis, I., & Mathur, S. (2020). Identification of Emission Line Stars and Planetary Nebulae in M31 and M33 using LAMOST Spectra. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 20(6), 97.
- Kingsburgh, R. L., & Barlow, M. J. (1994). Ionization correction factors for planetary nebulae. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 271(2), 257-298.

- Kohoutek, L. (2001). VizieR Online Data Catalog: Catalogue of Galactic Planetary Nebulae. *VizieR On-line Data Catalog: V/84*. Originally published in: *Abhandlungen aus der Hamburger Sternwarte*, 12.
- Kronberger, M., Jacoby, G. H., Ciardullo, R., Crisp, R. D., De Marco, O., Douchin, D., Frew, D. J., Harmer, D., Howell, M., Howell, S. B., Parker, Q. A., Patchick, D., Rector, T., Riddle, D., & Teutsch, P. (2012). New faint planetary nebulae from the DSS and SDSS. *The Astronomical Journal*, 144(2), 62.
- Kwitter, K. B., & Henry, R. B. C. (2022). Observing Planetary Nebulae. Sky & Telescope.
- Kwitter, K. B., Henry, R. B. C., & Milingo, J. B. (2002). Galactic abundances of sulfur, chlorine, and argon: A comparison of planetary nebulae with H II regions and young stars. *The Astronomical Journal*, 123(3), 1357-1365.
- Kwitter, K. B., & Henry, R. B. C. (2022). Planetary nebulae: Sources of enlightenment. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 134(1035), 062002.
- Kwok, S. (2000). *The Origin and Evolution of Planetary Nebulae*. Cambridge University Press.
- Kwok, S. (2000). Environmental effects on the emission of planetary nebulae. *Journal of Environmental Quality*, 29(1), 135-140.
- Lasker, B. M., et al. (1990). The Guide Star Catalog. *The Astronomical Journal*, 99, 2019-2048.
- Liu, X.-W., Barlow, M. J., & Danziger, I. J. (2004). Optically thin recombination-line spectra of planetary nebulae. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 353(1), 1231-1240.
- Matonick, D. M., Fesen, R. A., Blair, W. P., Long, K. S., & van den Bergh, S. (1997). An optical survey of supernova remnants in the spiral galaxy M101. *Astrophysical Journal Supplement Series*, 113(2), 333-352.
- McMullin, J. P., & Balser, D. S. (2006). Chemical Abundances in the Galactic Bulge: Observations of Planetary Nebulae. *The Astrophysical Journal*, 640, 360-367.
- Miszalski, B., Parker, Q. A., Acker, A., Birkby, J. L., Frew, D. J., & Kovacevic, A. (2008). MASH-II: More planetary nebulae from the AAO/UKST H α survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 384(2), 525-534.
- Muthumariappan, C., et al. (2023). Dusty photoionization models of the planetary nebulae NGC 2452 and IC 2003 with Wolf-Rayet type central stars. *Advances in Space Research*.
- Osterbrock, D. E. (1960). On the Density and Temperature of the Central Regions of Planetary Nebulae. *The Astrophysical Journal*, 132, 325-351.
- Osterbrock, D. E., & Ferland, G. J. (2006). *Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei*. University Science Books.
- Pagomenos, G., et al. (2017). Planetary Nebulae observed with the Spitzer Space Telescope: A study of Ne, S, and Ar abundances in the Galactic disk. *The Astrophysical Journal*, 839(1), 52.
- Parker, Q. A., Bojčić, I. S., & Frew, D. J. (2016). The HASH PN Database. *Journal of Physics: Conference Series*, 728, 032008.

- Parker, Q. A. (2022). Planetary nebulae and how to find them: A concise review. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, 9, 895287.
- Pontoppidan, K. M., Barrado, D., Beichman, C., et al. (2022). The James Webb Space Telescope Early Release Observations: NIRCam and MIRI Imaging of the Planetary Nebula NGC 3132. *The Astrophysical Journal Letters*, 936(1), L5.
- Pottasch, S. R., Bernard-Salas, J., Beintema, D. A., & Feibelman, W. A. (2004). ISO spectra of planetary nebulae: I. The Galactic bulge nebulae He 2-260, M 1-42, and M 2-10. *Astronomy & Astrophysics*, 423(1), 593-607.
- Pottasch, S. R., & Bernard-Salas, J. (2006). Planetary nebula abundances: comparison with H II regions, young stars and the Sun. *Astronomy & Astrophysics*, 457(1), 189-201.
- Proxauf, B., Öttl, S., & Kimeswenger, S. (2014). Upgrading electron temperature and electron density diagnostic diagrams of forbidden line emission. *Astronomy & Astrophysics*, 561, A10.
- Sabbadin, F., Minello, S., & Bianchini, A. (1984). *Sharpless 176: A large, nearby planetary nebula*. *Astronomy and Astrophysics*, 137(1), 1-6.
- Sabin, L., Parker, Q. A., Contreras, M. E., Olguín, L., Frew, D. J., Stupar, M., Vázquez, R., Wright, N. J., Corradi, R. L. M., & Morris, R. A. H. (2013). New Galactic supernova remnants discovered with IPHAS. *Astronomy & Astrophysics*, 551, A136.
- Sofia, U. J., & Meyer, D. M. (2001). Stellar abundances as a surrogate for the interstellar composition. *The Astrophysical Journal*, 554(1), L221-L225.
- Sonbaş, E., Akyüz, A., Balman, Ş., & Özel, M. E. (2010). A search for supernova remnants in the nearby spiral galaxy M 74 (NGC 628). *Astronomy & Astrophysics*, 517, A91.
- Stanghellini, L., Shaw, R. A., & Villaver, E. (2010). Abundances of planetary nebulae and stellar evolution. *The Astrophysical Journal*, 711(2), 848-866.
- Suarez, O., García-Lario, P., Manchado, A., et al. (2006). Low-resolution spectroscopy of post-AGB stars. *Astronomy & Astrophysics*, 458(1), 173-183.
- Tan, S., Parker, Q. A., Zijlstra, A., & Ritter, A. (2023). Morphologies and central stars of planetary nebulae in the Galactic bulge from VLT, HST, and Pan-STARRS imaging. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 519(1), 1049–1067.
- Temiz, U., Aksaker, N., & Akyuz, A. (2024). Spectroscopic observations of selected planetary nebulae from the HASH data base. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 527(1), 1481–1493.
- Tovmassian, G. H., Stasińska, G., Chavushyan, V. H., Zharikov, S. V., Gutierrez, C., & Prada, F. (2002). PN G135.9+55.9: A new, extremely oxygen-poor planetary nebula in the Galactic halo. *Astronomy & Astrophysics*, 389(3), 913-919.

- Tsamis, Y. G., Barlow, M. J., Liu, X.-W., Danziger, I. J., & Storey, P. J. (2003). Heavy element abundances in galactic planetary nebulae: recombination-line versus forbidden-line determinations for O⁺, O²⁺, C²⁺ and Ne²⁺. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 338(3), 687-710.
- Ueta, T. (2003). Near-infrared observations of planetary nebulae and their central stars. *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, 303, 201.
- Ueta, T., & Kawakami, H. (2003). Chaos in cross-coupled BVP oscillators. *Proceedings of the 2003 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2003. ISCAS '03, 3, 495-498.
- Van Winckel, H. (2003). Post-AGB stars. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*.
- Viironen, K., et al. (2009). Candidate Planetary Nebulae in IPHAS. *Astronomy & Astrophysics*, 502, 113-132.
- Wang, W., & Liu, X.-W. (2007). Elemental abundances of Galactic bulge planetary nebulae from optical recombination lines. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 381(2), 669-694.
- Werner, K., & Herwig, F. (2006). The elemental abundances in bare planetary nebula central stars and the shell burning in AGB stars. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 118(841), 183–204.
- Wesson, R. (2016). ALFA: An automated line fitting algorithm. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 456(4), 3774-3787
- Wright, S. A., Corradi, R. L. M., & Perinotto, M. (2005). *Absolute spectrophotometry of northern compact planetary nebulae*. *Astronomy and Astrophysics*, 435(2), 659-668.
- Zhang, C. Y., & Kwok, S. (1991). Infrared Properties of Planetary Nebulae. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 23, 827.
- Zhang, M., et al. (2020). A catalog of H α emission line point sources in the vicinity of M31 and M33 using LAMOST spectra. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 20(6), 97.

ÖZGEÇMİŞ

Çiğdem Pelin TUNÇBİLEK, ortaöğretimini Anadolu Öğretmen Lisesi'nde tamamladı. Lisansını On dokuz Mayıs Üniversitesi Amasya Eğitim Bilimleri Fakültesinde Fen Bilimleri Öğretmenliği olarak tamamladı. 10 Eylül 2021'de Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Astronomi ve Astrofizik Bölümü Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.





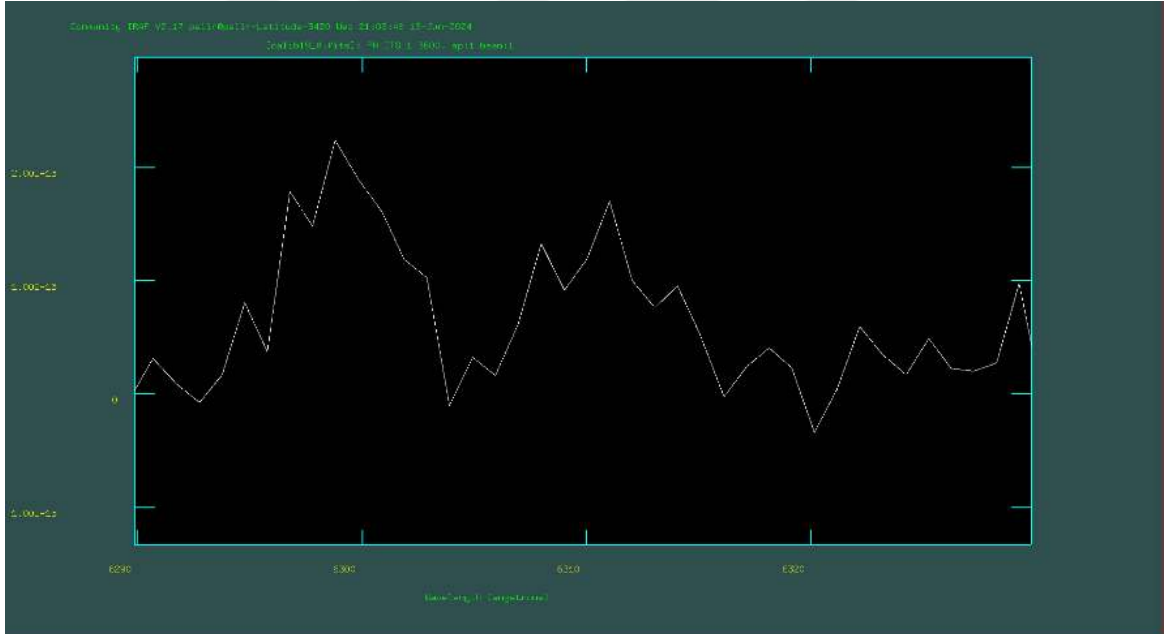
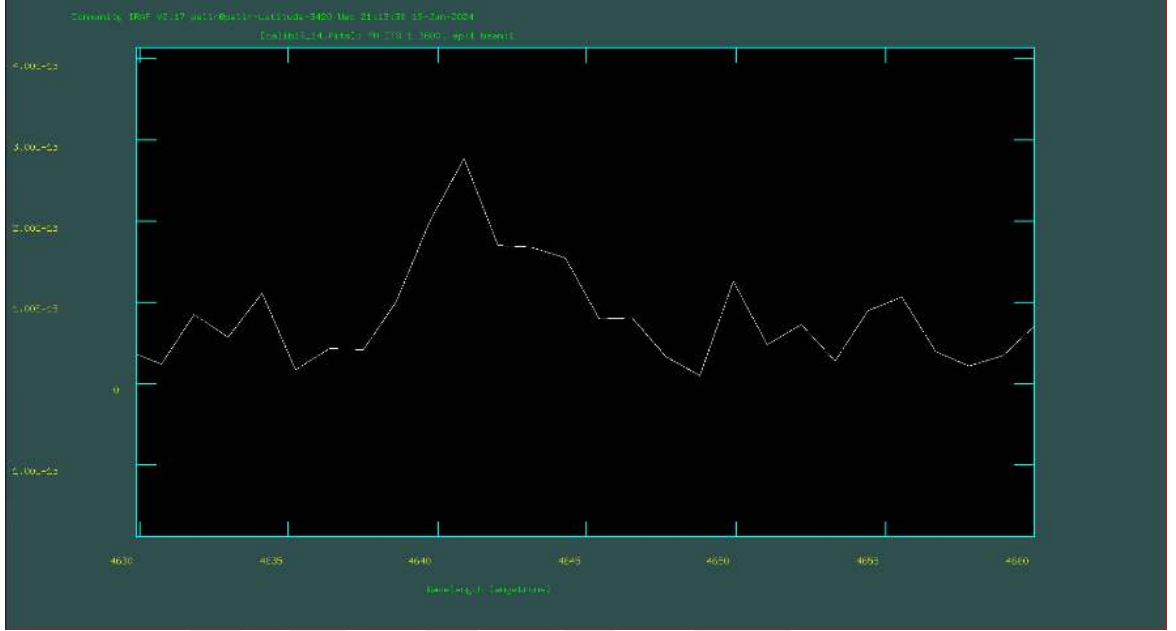


EKLER

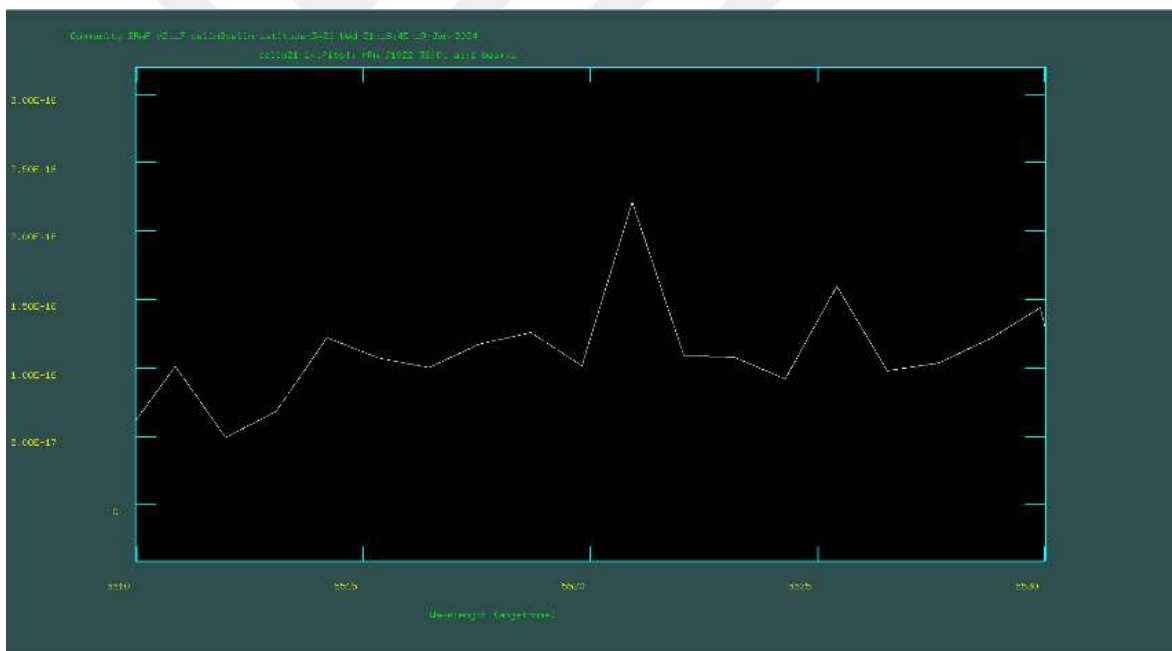
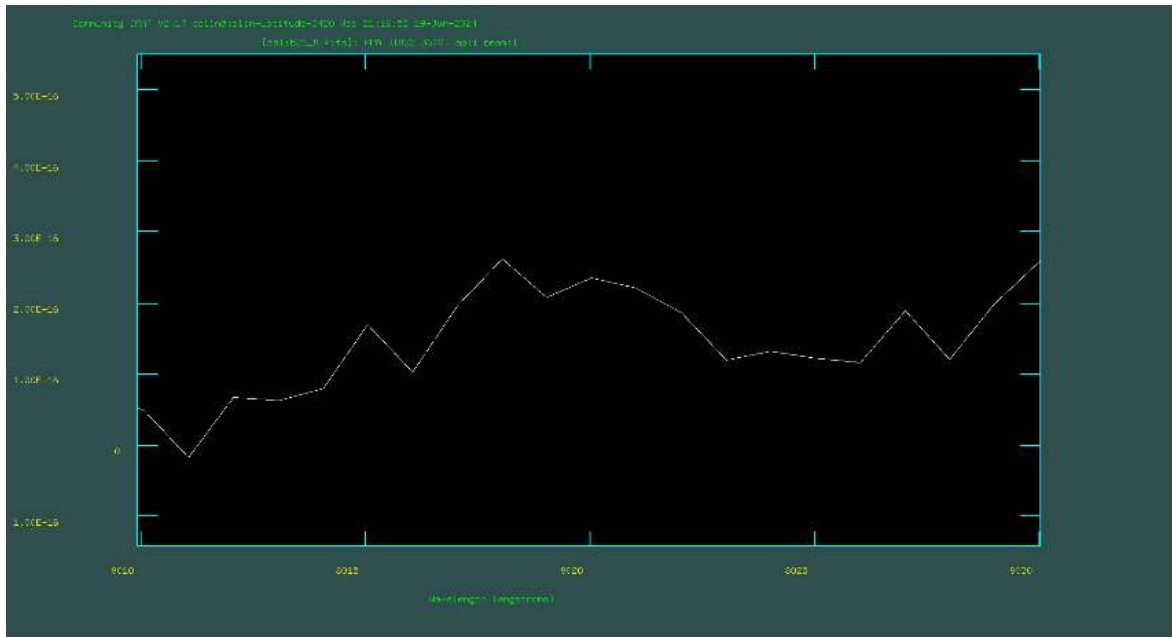


1. 1 boyutlu tayfta (IRAF analizi ile oluşturulmuş) blend olan ya da ölçülemeyen dalga boyları görselleri

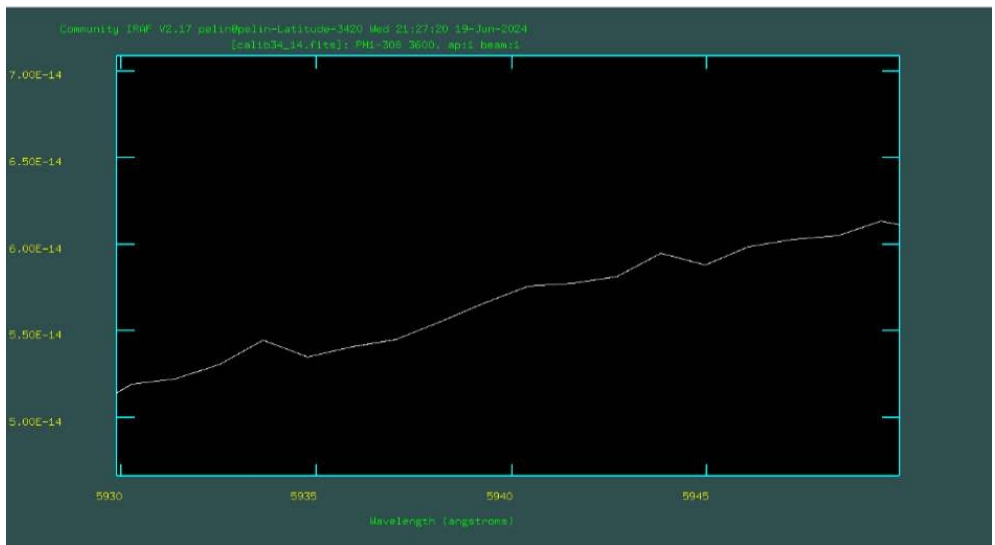
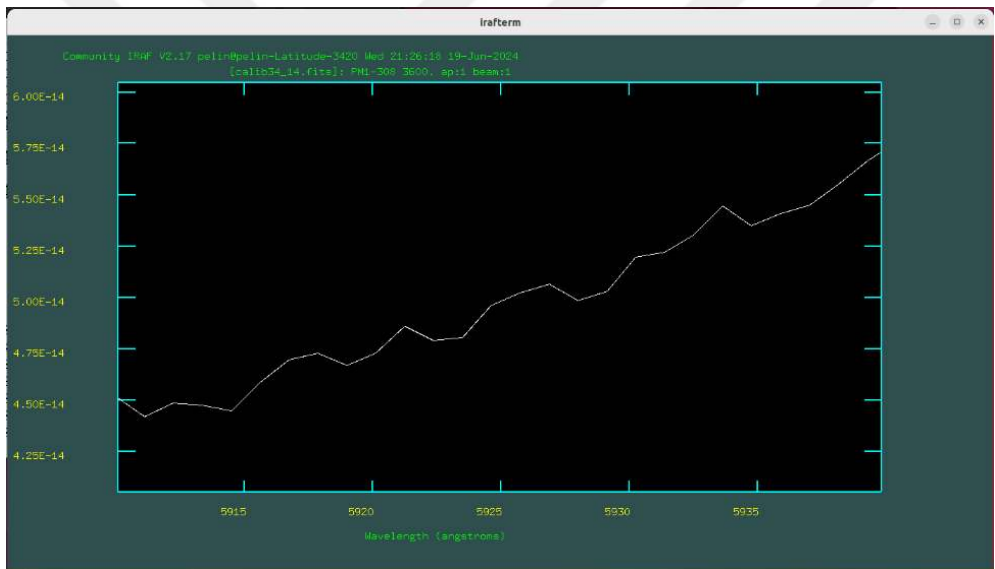
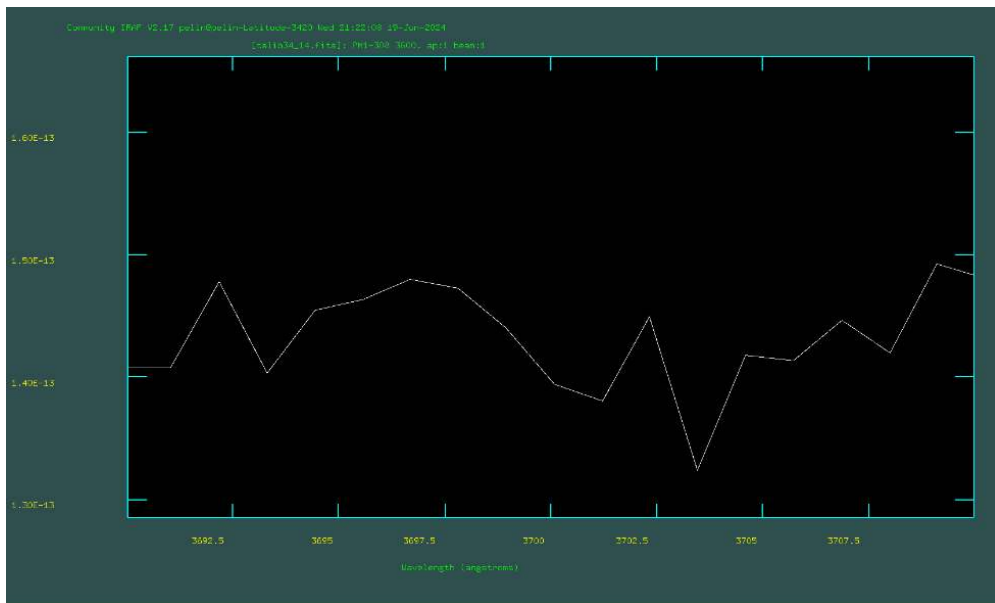
- GB 019.8+05.6



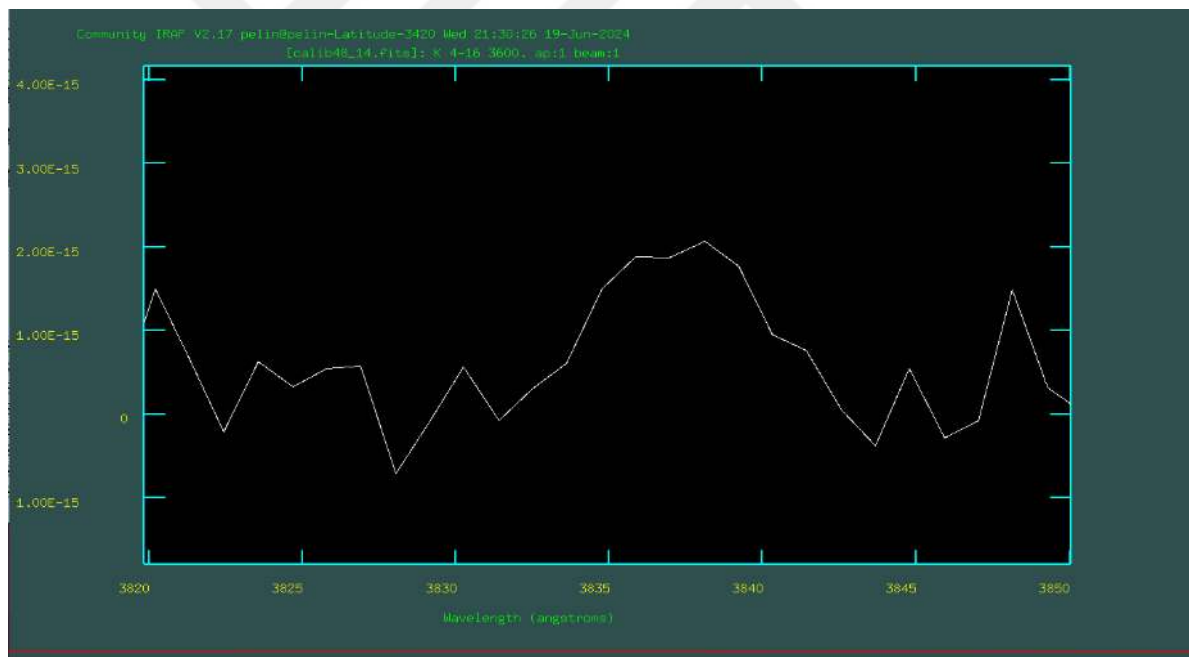
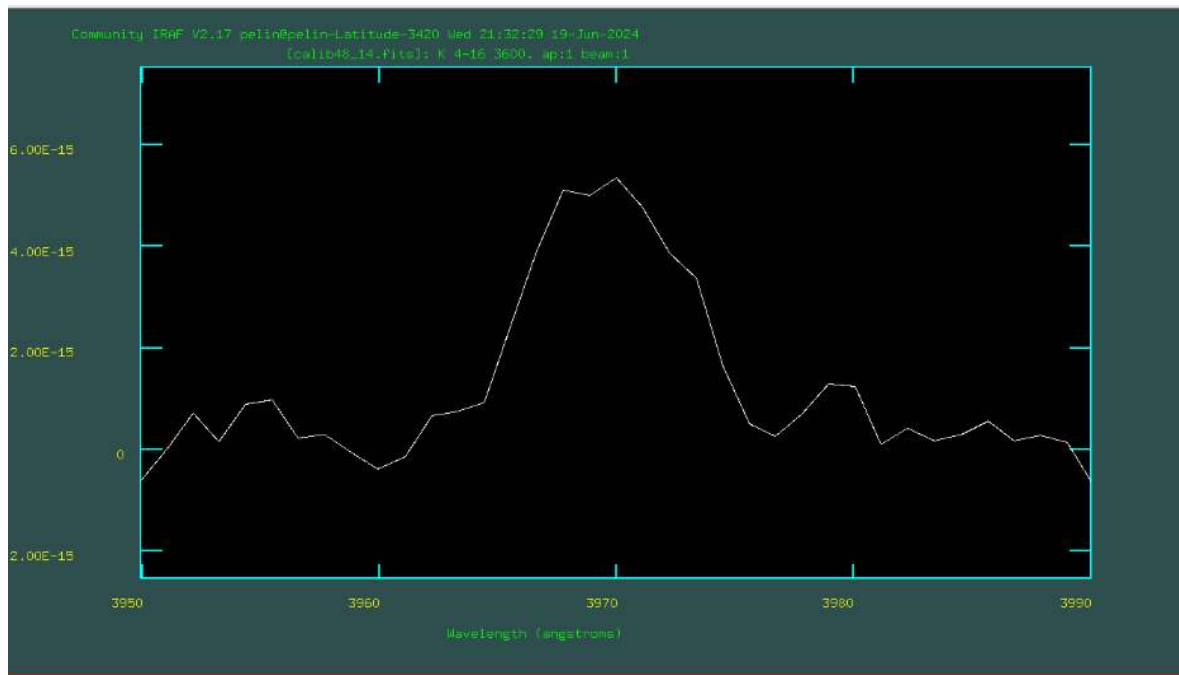
- GB 021.3+02.2

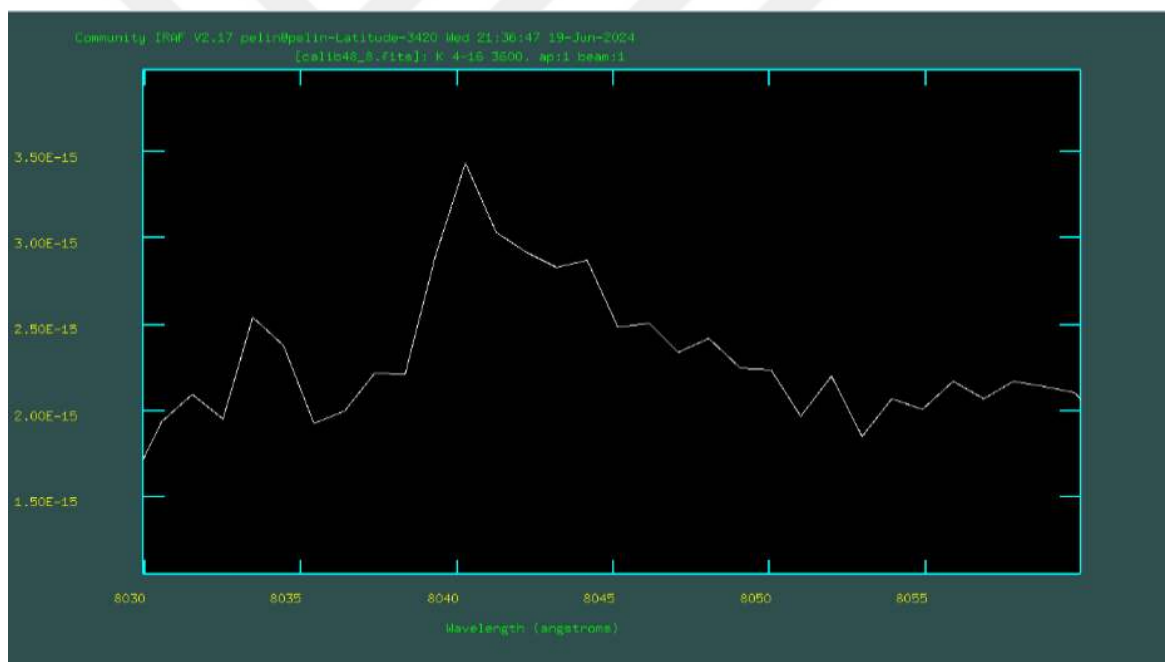
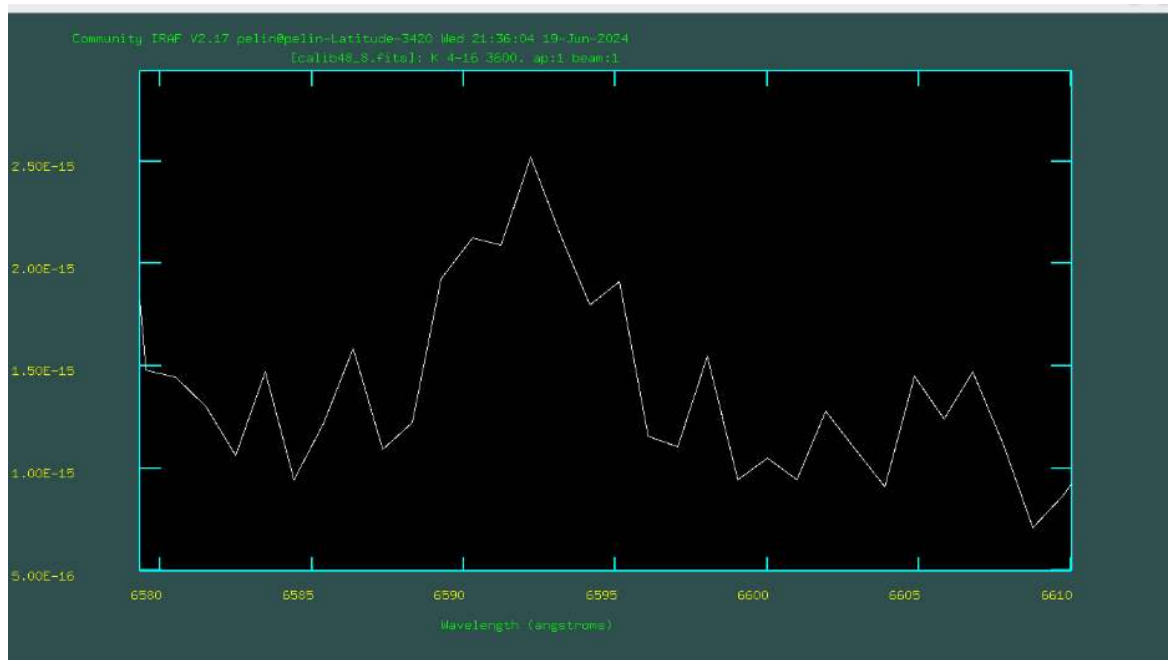


- GB 034.5-11.7

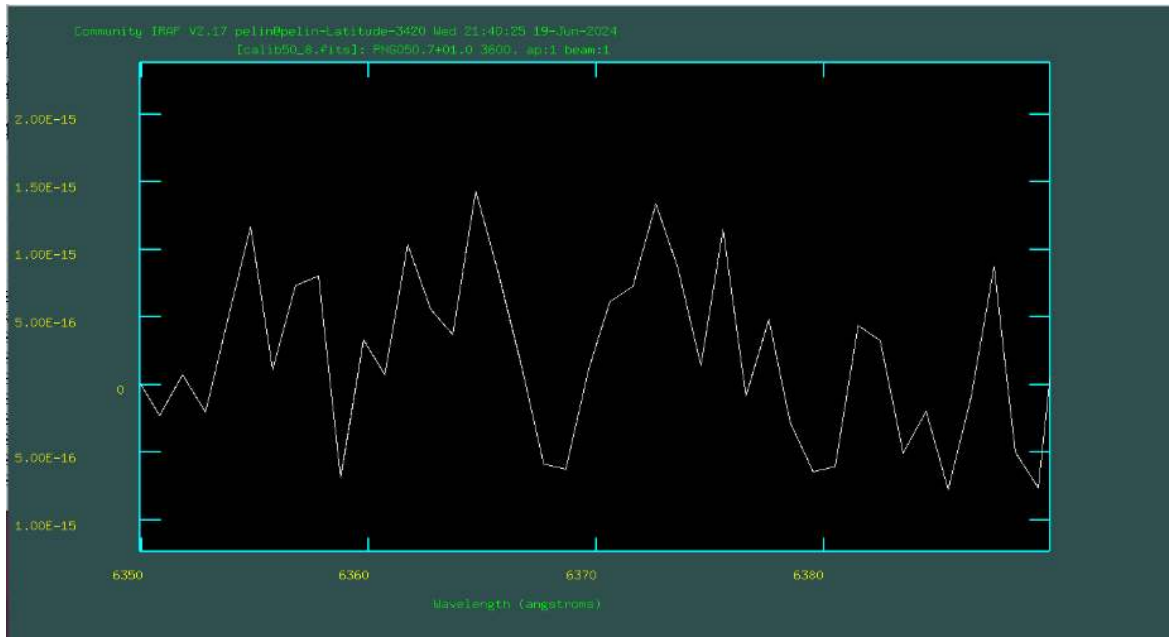


- **GB 048.5+04.2**

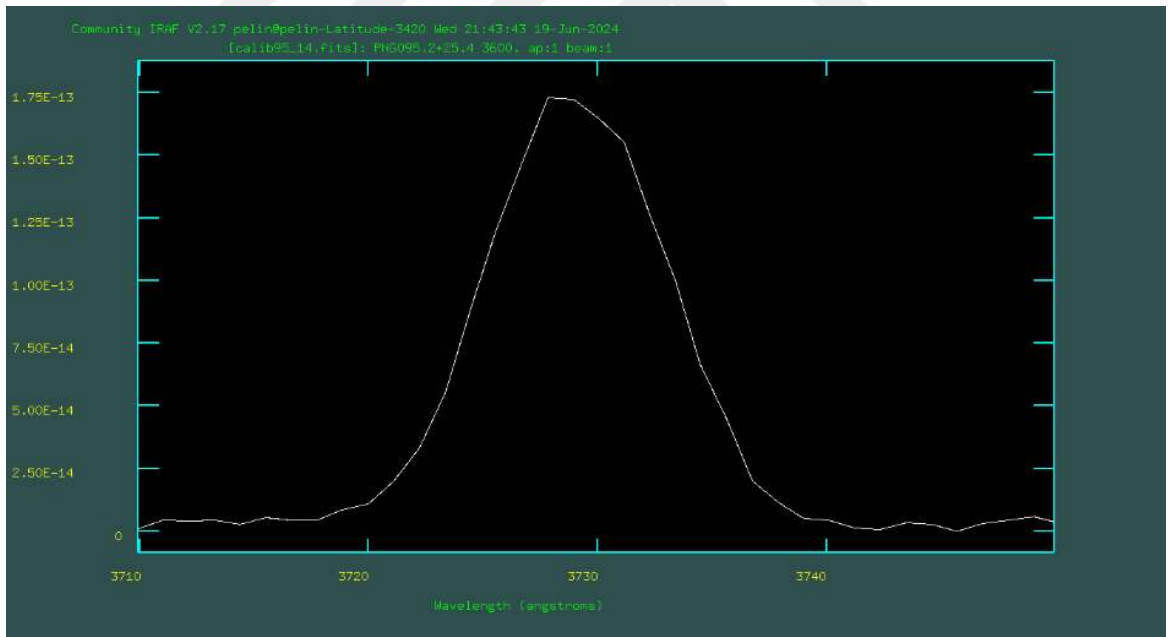




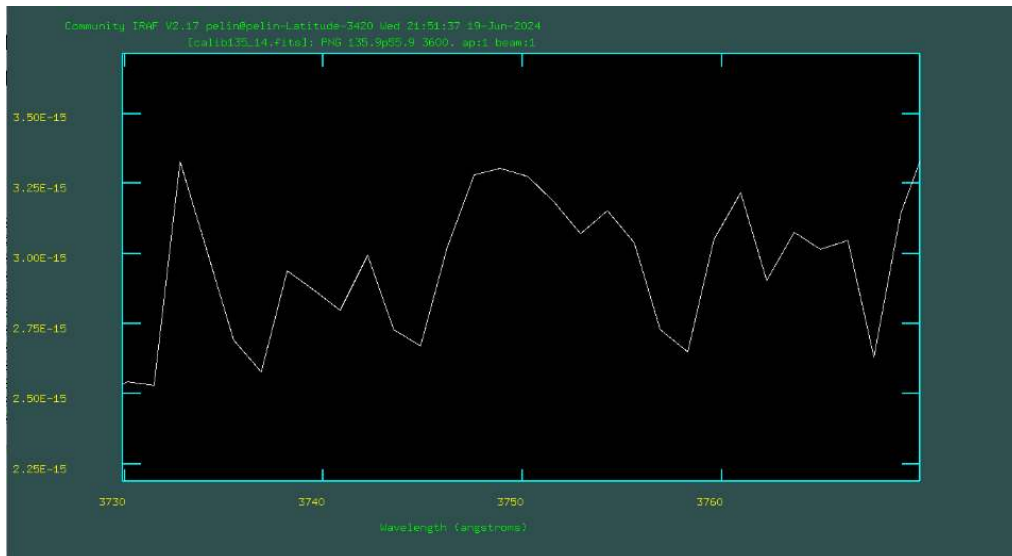
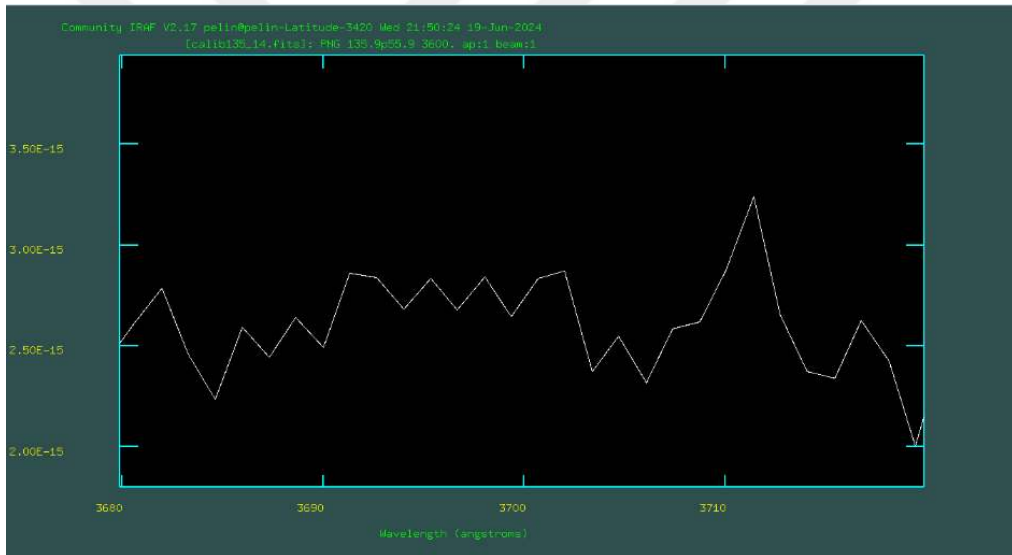
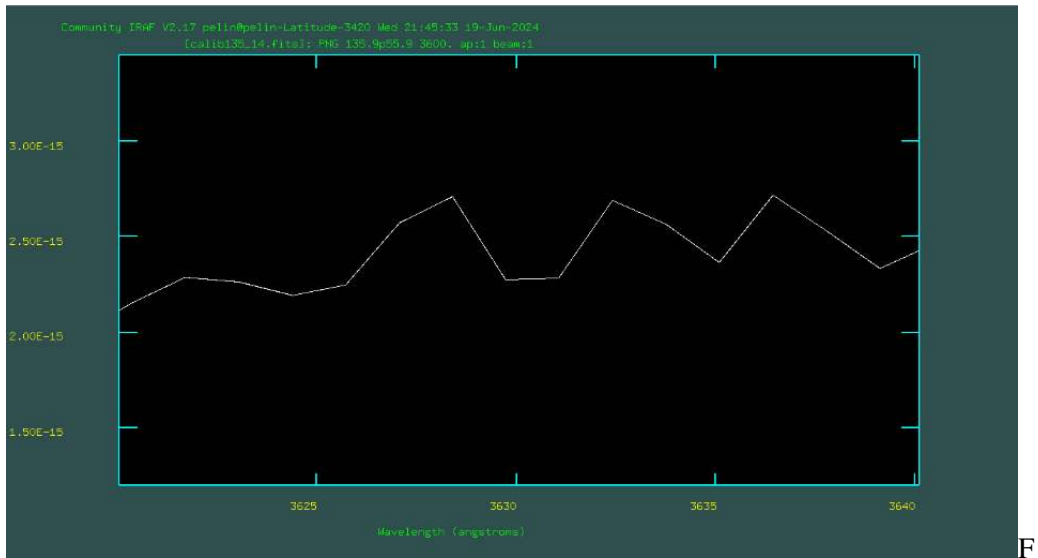
- **GB 050.4-01.6**

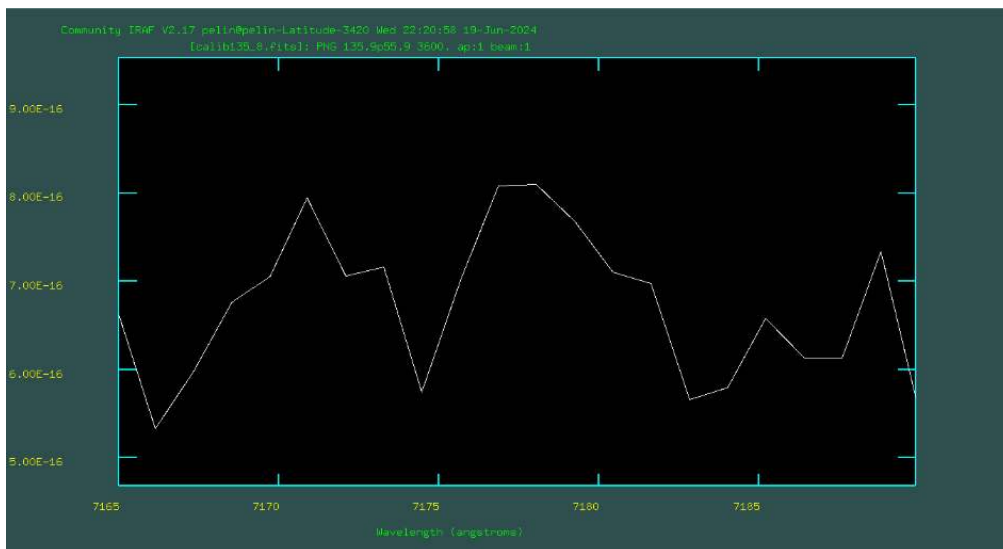
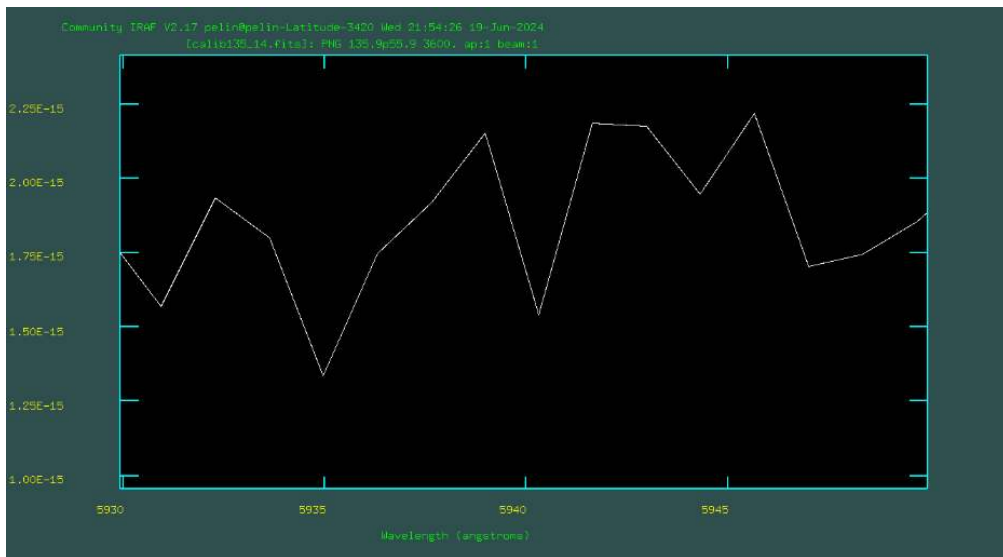
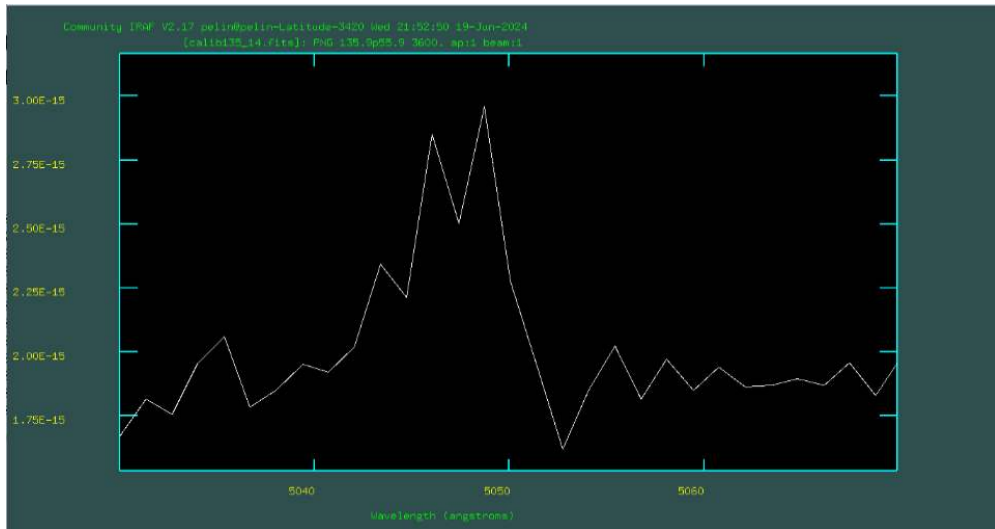


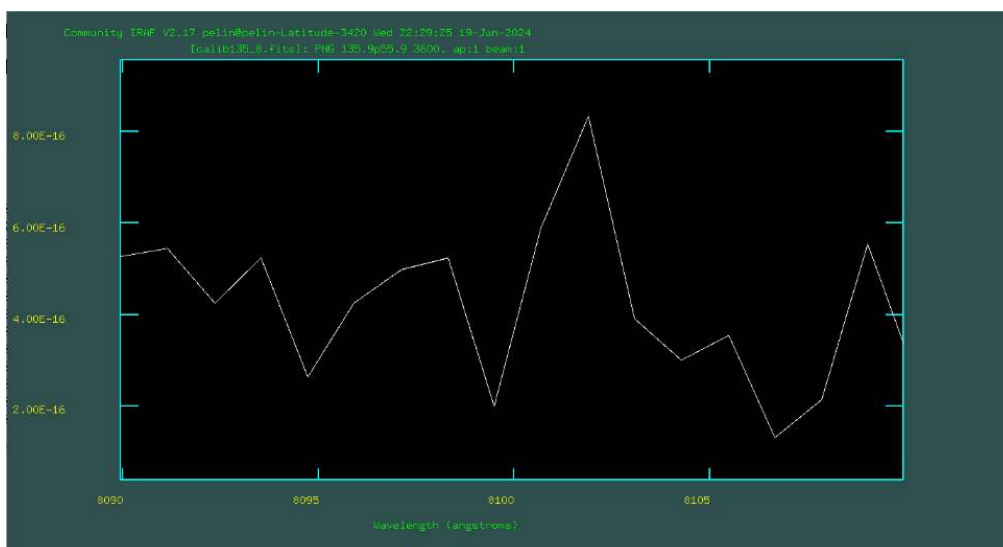
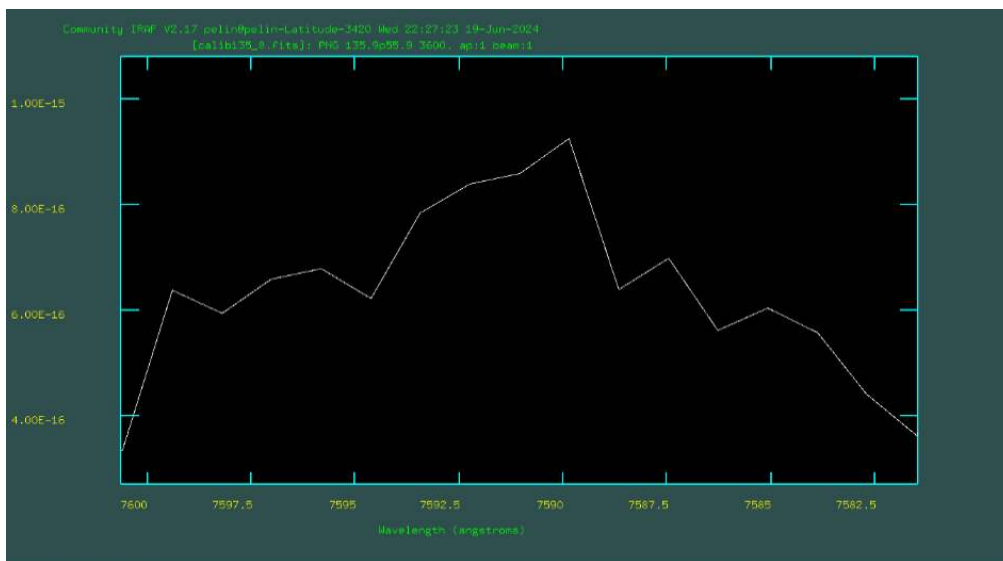
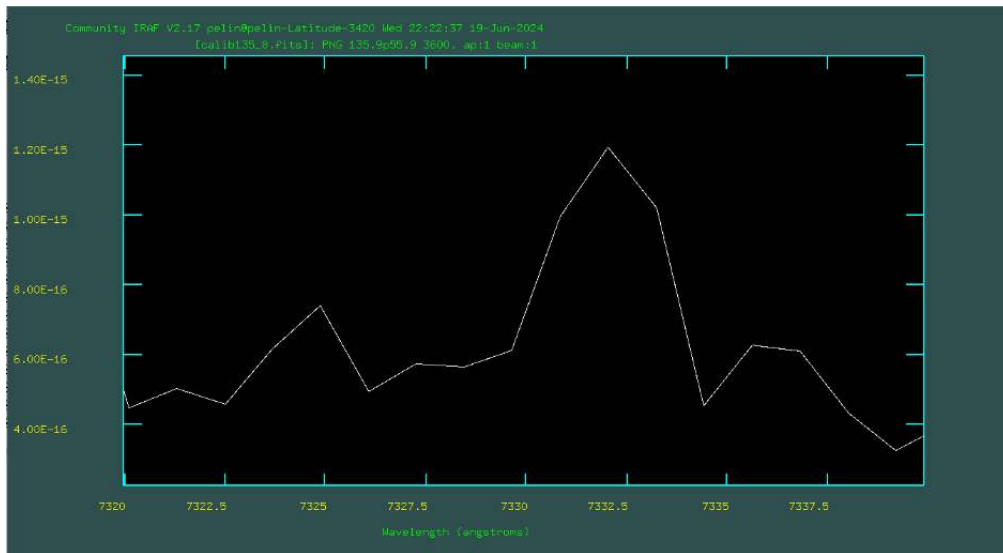
- **GB 095.2+25.4**



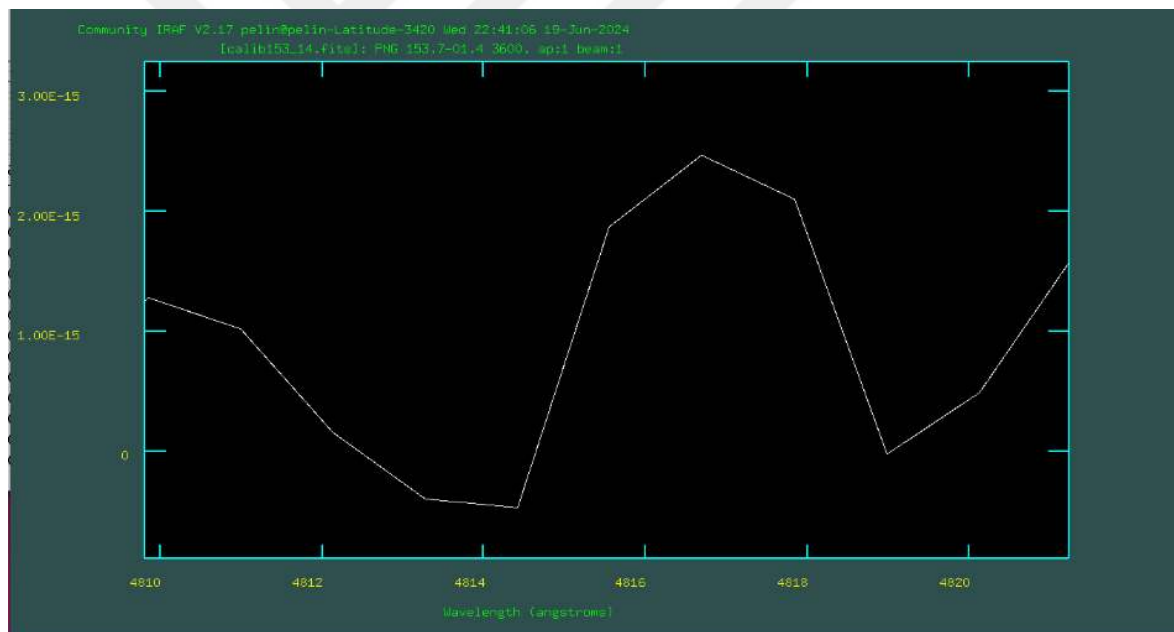
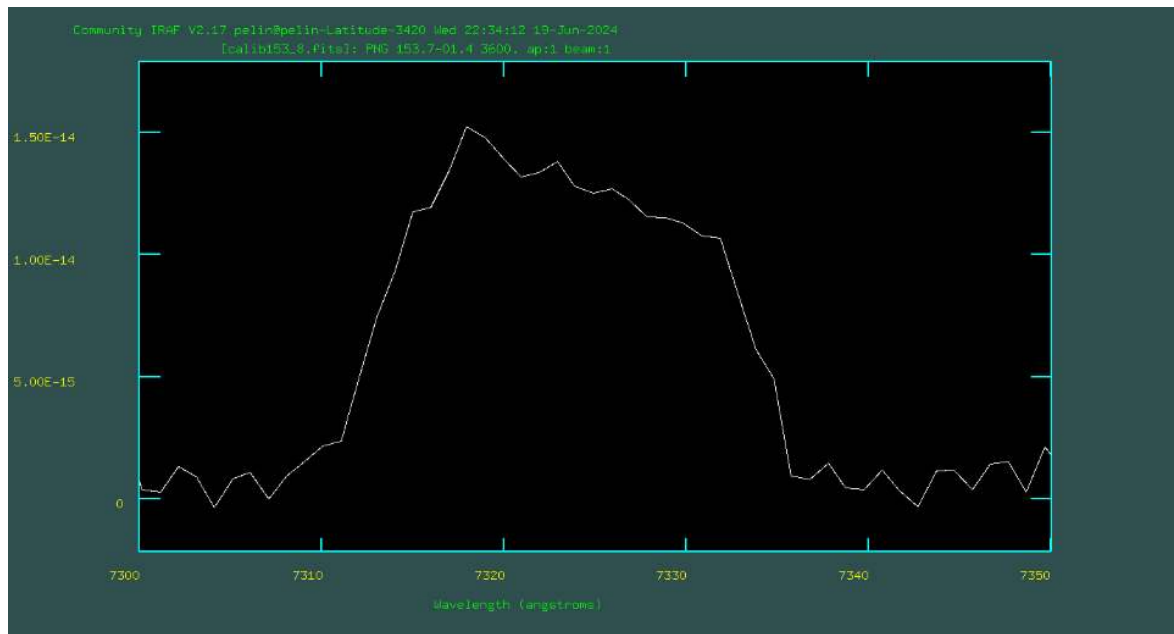
- **GB 135.9+55.9**



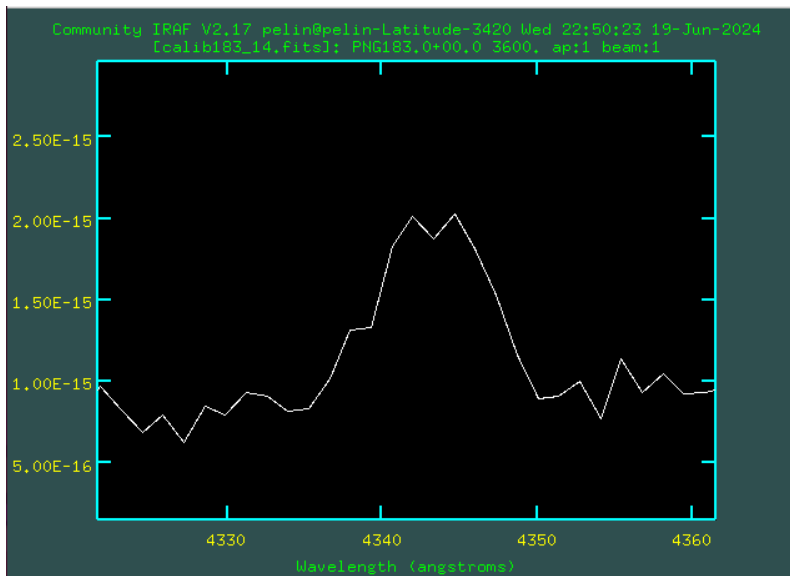
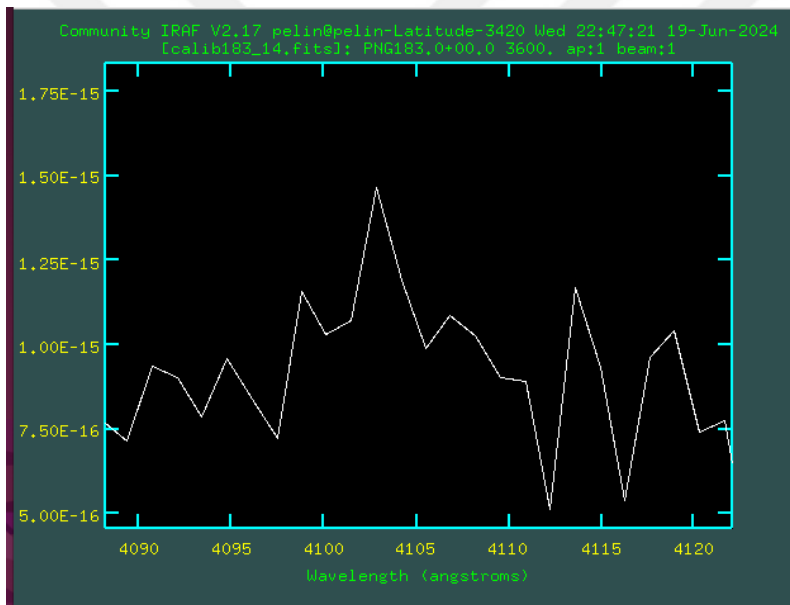
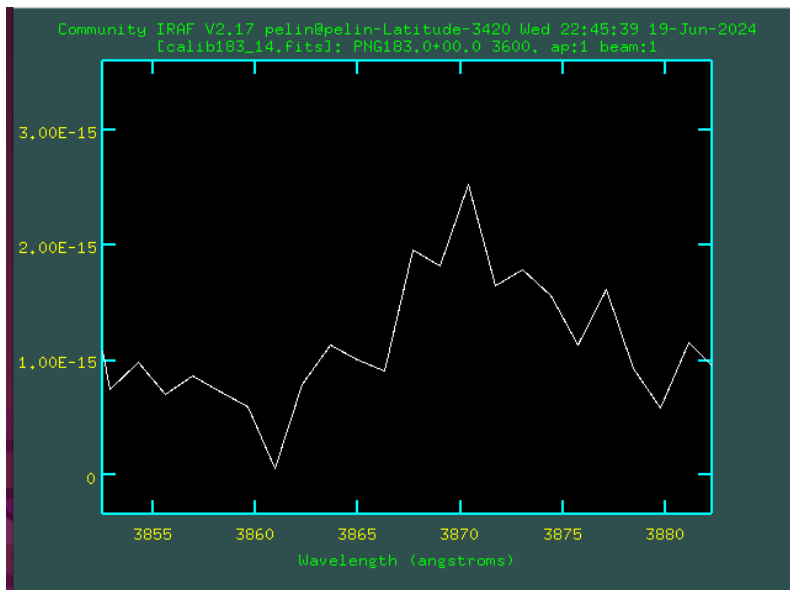




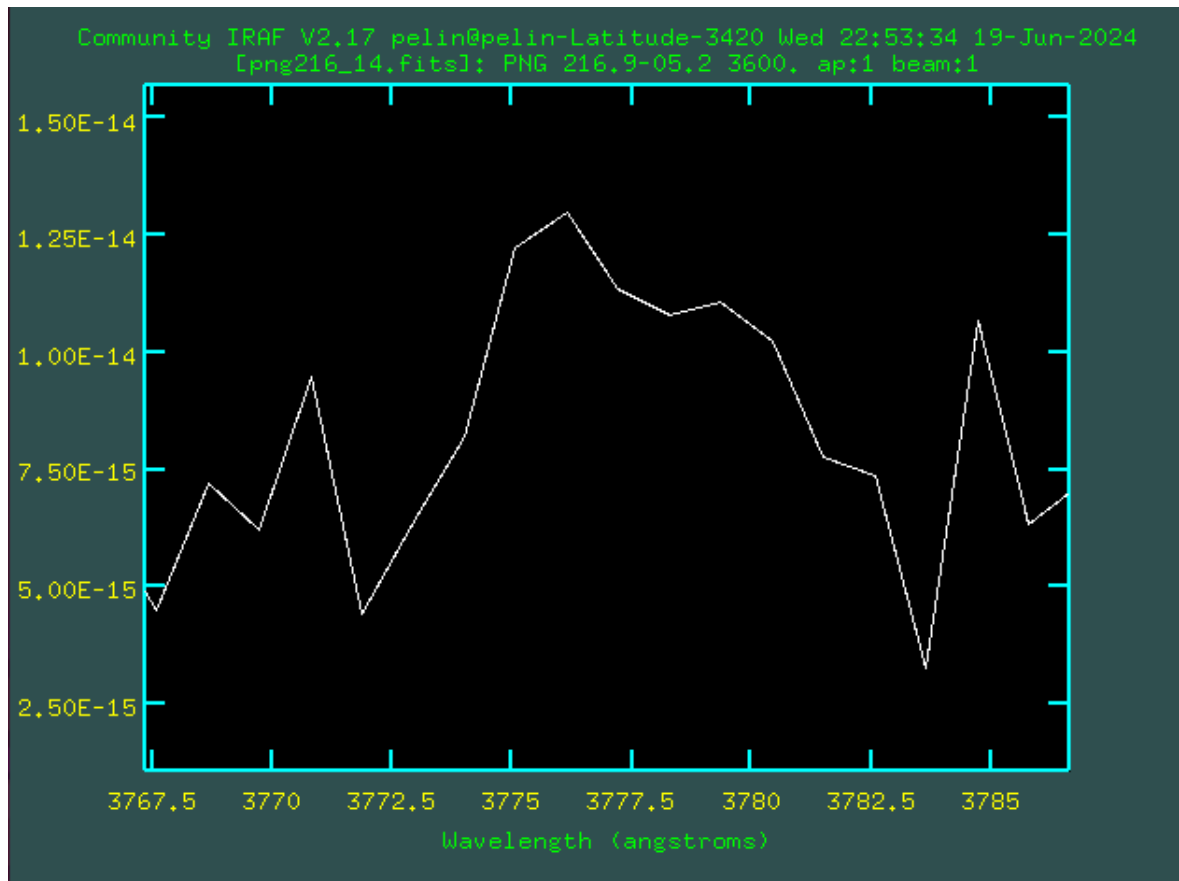
- **GB 153.7+01.4**



- **GB 183.0+00.0**



- GB 216.9-05.2



2. 1 Boyutlu tayflardan elde edilen akılar

Dalga boyu	İyon	F019.8+05.6	Hata	F021.3+02.2	Hata	F034.5-11.7	Hata	F048.5+04.2	Hata
3726,03	[O II]					2,63E-12	2,20E-15		
3774,02	O III	2,198E-13	4,1E-16						
3797,9	H I					6,47E-14	1,70E-15		
3835,39	H I					1,47E-13	2,10E-15		
3868,75	[Ne III]	5,161E-14	1,1E-15					7,40E-14	1,40E-15
3888,65	He I					2,71E-13	2,00E-15		
3970,07	H I					3,88E-13	1,90E-15	4,16E-14	1,50E-15
4067,94	C III					1,01E-13	2,00E-15		
4101,74	H I					6,28E-13	2,00E-15	3,49E-14	1,60E-15
4170,04	O II	1,617E-14	6,1E-16						
4340,47	H I	6,195E-14	1,1E-15	2,67E-15	3,00E-16	1,16E-12	1,90E-15	6,63E-14	1,30E-15
4363,21	[O III]	1,56E-14	1,8E-15					3,01E-14	1,40E-15
4638,86	O II	1,321E-14	1,1E-15						
4685,68	He II	6,674E-14	1,1E-15					1,24E-13	1,20E-15
4711,37	[Ar IV]							1,91E-14	1,30E-15
4740,17	[Ar IV]							1,22E-14	1,20E-15
4861,33	H I	2,041E-13	9,9E-16	9,53E-15	2,70E-16	2,37E-12	1,80E-15	1,79E-13	1,30E-15
4958,91	[O III]	8,269E-13	1,1E-15	4,30E-14	2,70E-16			6,81E-13	1,30E-15
5006,84	[O III]	2,588E-12	1E-15	1,40E-13	2,60E-16			2,11E-12	1,20E-15
5411,52	He II	1,257E-14	1E-15					2,10E-14	1,50E-15
5875,66	He I							2,26E-14	1,30E-15
6300,34	[O I]	1,168E-14	1,9E-15	5,32E-15	2,50E-16	4,13E-14	5,80E-16		
6310,8	He II	6,515E-15	1E-15	9,00E-16	2,60E-16				
6363,78	[O I]			2,15E-15	2,40E-16				
6548,1	[N III]	1,109E-13	8,5E-16	1,34E-14	2,50E-16	9,50E-13	6,10E-16		
6562,77	H I	1,462E-12	9,8E-16	2,06E-13	2,06E-13	5,74E-12	6,10E-16	1,19E-12	9,50E-16
6583,5	[N III]	3,24E-13	8,8E-16	4,51E-14	2,40E-16	2,91E-12	6,00E-16		
6678,16	He I			1,65E-15	1,70E-16				
6716,44	[S II]	2,722E-14	9,3E-16	2,35E-15	2,60E-16	1,27E-13	5,50E-16		
6730,82	[S II]	4,48E-14	9,3E-16	4,98E-15	2,60E-16	2,47E-13	6,00E-16		
7005,67	[Ar V]	1,409E-14	1E-15	1,61E-15	4,00E-16				
7065,25	He I	3,742E-14	9,2E-16	9,09E-15	2,70E-16				
7135,8	[Ar III]	1,922E-13	8,8E-16	1,27E-14	2,20E-16				
7281,35	He I			2,31E-15	5,10E-16				
7318,92	[O II]	2,303E-14	8,7E-16	7,73E-15	2,40E-16	1,07E-13	5,60E-16		
7329,67	[O II]	1,55E-14	9E-16	5,96E-15	2,60E-16	8,82E-14	6,10E-16		
7751,06	[Ar III]			3,96E-15	2,80E-16				

Dalga boyu	İyon	F050.4-01.6	Hata	F080.2+03.8	Hata	F095.2+25.4	Hata	F135.9+55.9	Hata
3423.90	Ne I							9,76E-15	1,10E-15
3728.82	[O II]					1.63E-12	2.00E-15		
3835.38	H I					8.84E-14	2.80E-15		
3868.75	[Ne III]					1.46E-13	2.00E-15		
3888.64	He I					1.68E-13	2.60E-15		
3970.07	H I					1.49E-13	1.90E-15	7.20E-15	6.40E-16
4101.74	H I					1.64E-13	2.00E-15	1.68E-14	6.90E-16
4340.47	H I					3.03E-13	1.70E-15	3.32E-14	6.70E-16
4471.5	He I					4.86E-14	2.30E-15		
4685.68	He II							7.43E-14	5.20E-16
4861.33	H I	2.05E-14	1.70E-15	6.94E-15	1.20E-15	6.22E-13	1.60E-15	1.05E-13	5.30E-16
4958.91	[O III]	6.96E-14	1.70E-15	3.12E-14	1.20E-15	3.26E-13	1.50E-15		
5006.83	[O III]	2.31E-13	1.40E-15	9.13E-14	1.20E-15	9.66E-13	1.40E-15		
5411.52	He II							5.80E-15	6.50E-16
5868	[Kr IV]					1.07E-13	2.20E-15		
6300.33	[O I]	1.44E-14	2.20E-15			4.45E-14	3.80E-15		
6548.10	[N II]	3.19E-14	1.40E-15			2.03E-13	4.00E-15		
6562.77	H I	1.04E-12	1.20E-15	5.09E-14	4.30E-16	8.36E-13	2.90E-15	3.80E-13	4.20E-16
6583.5	[N II]	8.88E-14	1.40E-15			6.24E-13	2.50E-15		
6678.16	He I	1.72E-14	1.40E-15						
6716.43	[S II]					1.57E-13	4.10E-15		
6730.81	[S II]	1.01E-14	1.60E-15			1.35E-13	3.90E-15		
7065.25	He I	1.59E-14	9.60E-16						
7135.79	[Ar III]	1.29E-14	1.20E-15			4.52E-14	3.90E-15		

Dalga boyu	İyon	F153.7+01.4	Hata	F183.0+00.0	Hata	F202.9+07.4	Hata	F216.9-05.2	Hata
3868.75	[Ne III]					7,72E-15	4,90E-16	4,72E-13	6,40E-15
3882.19	O II					1,54E-14	6,50E-16		
3888.65	He I							1,24E-13	6,50E-15
3964.73	He I							2,54E-13	5,70E-15
3970.07	H I					1,77E-14	3,00E-16		
4101.74	H I					1,89E-14	3,90E-16	2,35E-13	5,60E-15
4340.47	H I							4,48E-13	5,00E-15
4345.55	O II					3,76E-14	3,10E-16		
4363.21	[O III]							1,52E-13	6,70E-15
4685.68	He II					8,07E-14	3,00E-16	9,61E-13	4,20E-15
4711.37	[Ar IV]							5,60E-14	4,50E-15
4814.53	[Fe II]	1,03E-14	2,20E-15						
4861.33	H I	1,10E-13	7,00E-15	9,65E-14	8,30E-16	8,23E-14	2,90E-16	1,31E-12	5,20E-15
4958.91	[O III]	3,84E-13	4,10E-15	4,16E-13	7,40E-16	1,14E-13	2,90E-16	2,92E-12	5,00E-15
5006.84	[O III]	1,19E-12	3,20E-15	1,31E-12	8,30E-16	3,32E-13	2,70E-16	8,63E-12	4,80E-15
5411.52	He II					1,06E-14	5,30E-16		
5875.66	He I			3,61E-14	1,10E-15				
6300.34		2,33E-13	4,30E-15						
6363.78	[O I]	8,73E-14	5,30E-15						
6548.1	[N II]	7,98E-13	4,20E-15						
6562.77	H I	2,52E-12	3,50E-15	2,26E-12	6,60E-16	2,22E-13	3,10E-16	1,12E-11	4,80E-15
6583.5	[N II]	2,46E-12	3,20E-15	1,13E-14	7,80E-15				
6678.16	He I	4,94E-14	5,20E-15	2,83E-14	7,10E-16				
6716.44	[S II]	3,54E-13	4,40E-15						
6730.82	[S II]	3,97E-13	4,50E-15						
7065.25	He I	7,83E-14	4,10E-15	2,83E-14	7,30E-16			3,55E-14	6,60E-15
7135.8	[Ar III]	2,23E-13	3,90E-15	7,06E-14	7,10E-16	2,85E-15	3,50E-16	1,12E-13	6,00E-15
7177.5	He II							4,77E-14	6,30E-15
7318.92	[O II]	3,15E-13	6,20E-15						
7329.67	[O II]	Blend							
7751.06	[Ar III]			2,06E-14	7,80E-16				

3. Pyneb Kodları:

a. Kozmik temizleme

```
import numpy as np
from matplotlib import pyplot as plt

from astropy.nddata import CCDData
from astropy.nddata import block_replicate
from astropy import units as u
import ccdproc as ccdp
from photutils import detect_sources
from astropy.io import fits as pyfits
image = '/Users/cigde/OneDrive/Masaüstü/png19_14_w.fits'
cimage = '/Users/cigde/OneDrive/Masaüstü/png19_14_w_c.fits'
ccd = CCDData.read(image, unit='adu')
ccd = ccdp.gain_correct(ccd, 1.0 * u.electron / u.adu)
new_ccd = ccdp.cosmicray_lacosmic(ccd, readnoise=4, sigclip=4.5, verbose=True)
fitsfile = pyfits.open(image, mode='update')
header = fitsfile[0].header
pyfits.writeto(cimage, new_ccd, header) # 'fits' modülü yerine 'pyfits' modülünü kullanın
fitsfile.close()
```

b. İyonik Bolluk Kodları

```
import pyneb as pn
import numpy as np
import sys

path = '/Users/cigde/OneDrive/Masaüstü/flux/'
source = input(19) + '.dat'
obs = pn.Observation()
obs.readData(path + source, fileFormat='lines_in_rows', err_default=0.05)
obs.def_EBV(label1="H1r_6563A", label2="H1r_4861A", r_theo=2.85)
#obs.extinction.law = 'F99'
obs.correctData(normWave=4861.)
diags = pn.Diagnostics()
all_atoms = pn.getAtomDict(atom_list=obs.getUniqueAtoms())
line_ab = {}
ion_ab = {}
```

```

temp = 1e4
dens = 1e3

for line in obs.getSortedLines():
    if line.atom != 'H1':
        line_ab[line.label] = all_atoms[line.atom].getIonAbundance(line.corrIntens, temp,
dens,
                                                                    to_eval=line.to_eval)

    if line.atom not in ion_ab :
        ion_ab[line.atom] = [] # Anahtar yoksa boş bir liste oluştur
        ion_ab[line.atom].append(line_ab[line.label][0])
for line in sorted(line_ab) :
    print('{:10} {:.2f}'.format(line, 12+np.log10(line_ab[line][0])))

with open(path + source + '_ionic_abundance.dat', 'w') as f1:

    for ion in sorted(ion_ab) :
        print(ion, ion_ab[ion], file=f1)

with open(path + source + '_atomic_abundance.dat', 'w') as f2 :

    for atom in ion_ab:
        mean = np.mean(np.asarray(ion_ab[atom]))
        ion_ab[atom] = mean
        print('{:4s}: {:.42f}'.format(atom, 12+np.log10(mean)), file=f2)

```

c. Grism Tayf Birleştirme

```

from astropy.io import fits
import numpy as np
from pathlib import Path
files = [
    Path('/Users/cigde/OneDrive/Masaüstü/True/calibrasyonlar/calib19_8.fits'),
    Path('/Users/cigde/OneDrive/Masaüstü/True/calibrasyonlar/calib19_14.fits')
]
wavelength_start = 3660
wavelength_end = 8219.21191

```

```

num_pixels = 10000 # Bu sayıyı ihtiyacınıza göre ayarlayın
combined_wavelengths = np.linspace(wavelength_start, wavelength_end, num_pixels)
combined_data = np.zeros(num_pixels)
for file in files:
    with fits.open(file) as hdul:
        header = hdul[0].header
        data = hdul[0].data
        crval1 = header['CRVAL1']
        cdelt1 = header['CDELT1']
        num_data_points = data.shape[0]
        wavelengths = crval1 + cdelt1 * np.arange(num_data_points)
        interpolated_data = np.interp(combined_wavelengths, wavelengths, data)
        combined_data += interpolated_data
    hdu = fits.PrimaryHDU(combined_data)
    hdu.header['CRVAL1'] = wavelength_start
    hdu.header['CDELT1'] = (wavelength_end - wavelength_start) / num_pixels
    hdul = fits.HDUList([hdu])
    output_path =
Path('/Users/cigde/OneDrive/Masaüstü/True/calibrasyonlar/combined_file19.fits')
    hdul.writeto(output_path, overwrite=True)

print(f"FITS dosyaları başarıyla birleştirildi ve {output_path} dosyasına kaydedildi!")

```

d. Tayf çizimi

```

import matplotlib.pyplot as plt
from astropy.io import fits
import numpy as np
combined_file_path =
'/Users/cigde/OneDrive/Masaüstü/True/calibrasyonlar/combined_file19.fits'
with fits.open(combined_file_path) as hdul:
    combined_data = hdul[0].data
    header = hdul[0].header
    wavelength_start = header['CRVAL1']
    wavelength_end = wavelength_start + header['CDELT1'] * (combined_data.size - 1)
    combined_wavelengths = np.linspace(wavelength_start, wavelength_end,
combined_data.size)
    plt.figure(figsize=(15, 5))

```

```

plt.plot(combined_wavelengths, combined_data, label='GB019.8+05.6')
plt.xlabel('Wavelength (Angstrom)')
plt.ylabel(r'Flux (erg cm$^{-2}$ s$^{-1}$)') # LaTeX formatında y eksenini etiketi
plt.title('019.8+05.6')
plt.legend()
plt.grid(False)
output_image_path =
'/Users/cigde/OneDrive/Masaüstü/True/calibrasyonlar/combined_file19.png'
plt.savefig(output_image_path, format='png')
print(f'Çizim {output_image_path} dosyasına kaydedildi.')
plt.show()

```

e. Gökküre Harita Çizimi

```

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from astropy.coordinates import SkyCoord
import astropy.units as u
coordinates = [
    ("18:06:59.8", "-08:55:32.8"),
    ("18:22:05.7", "-09:14:09.0"),
    ("19:36:17.5", "-03:53:25.3"),
    ("19:04:51.4", "15:47:36.7"),
    ("19:30:16.7", "14:47:21.8"),
    ("20:19:54.2", "43:05:59.6"),
    ("18:41:41.9", "65:11:58.0"),
    ("11:53:24.7", "59:39:56.9"),
    ("04:15:54.5", "48:49:40.6"),
    ("05:52:42.8", "26:21:16.1"),
    ("07:00:06.6", "12:14:41.3"),
    ("06:39:58.1", "-05:54:56.7")
]
ra_values = [coord[0] for coord in coordinates]
dec_values = [coord[1] for coord in coordinates]
coords = SkyCoord(ra_values, dec_values, unit=(u.hourangle, u.deg))
plt.figure(figsize=(10, 5))
plt.subplot(111, projection="mollweide")
ra_rad = np.deg2rad(coords.ra.wrap_at(180 * u.deg).value)

```

```

dec_rad = np.deg2rad(coords.dec.value)
plt.scatter(ra_rad, dec_rad, color='red', s=10, label='GB')
plt.grid(True)
plt.title('GB Dağılım - RA ve DEC Koordinatları')
plt.legend()
plt.savefig("ra_dec_distribution_final_new.png")
plt.show()

```

f. Kızarma Düzeltme Kodları

```

import pyneb as pn
import numpy as np
import sys

path = '/Users/cigde/OneDrive/Masaüstü/True/flux/'
source = input (19) + '.dat'
obs = pn.Observation()
obs.readData (path + source , fileFormat='lines_in_rows', err_default=0.05)
obs.def_EBV(label1="H1r_6563A", label2="H1r_4861A", r_theo=2.85)
obs.extinction.law = 'F99'
obs.correctData(normWave=4861.)
obs.printIntens()

```