

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Samanyolu'ndaki Gezegenimsi Bulutsuların Fiziksel
Özellikleri, Kimyasal Bolluk ve Galaktik Dağılımları**

Nurullah ERZİNCAN

Astronomi ve Astrofizik Anabilim Dalı

Eylül, 2025

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

**Samanyolu'ndaki Gezegenimsi Bulutsuların Fiziksel
Özellikleri, Kimyasal Bolluk ve Galaktik Dağılımları**

Nurullah ERZİNCAN

Astronomi ve Astrofizik Anabilim Dalı

Bu Yüksek Lisans Tezi 04/09/2025 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Prof. Dr. Nazım AKSAKER (Danışman)
: Prof. Dr. Aysun AKYÜZ
: Prof. Dr. Timur ŞAHİN

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Astrofizik Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Bu çalışma TÜBİTAK Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: 122F122 “Kuzey Gökkürede Yeni Gezegenimsi Bulutsuların Belirlenmesi”

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
SİMGELER VE KISALTMALAR	VI
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
3. MATERYAL VE METOT	11
3.1. Materyal	11
3.1.1. HASH (Hong Kong/Australian Astronomical Observatory/Strasbourg Observatory H _α Planetary Nebula) Veri tabanı	11
3.1.2. Gaia EDR3 Veri Tabanı	16
3.2. Metot	18
3.2.1. Gökada Bileşenlerin Belirlenmesi	18
3.2.2. ALFA (Automated Line Fitting Algorithm)	20
3.2.3. NEAT (Nebular Empirical Analysis Tool)	25
3.2.4. Galaktik Element Bolluk Dağılımları	33
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	63

Samanyolu'ndaki Gezegenimsi Bulutsuların Fiziksel Özellikleri, Kimyasal Bolluk ve Galaktik Dağılımları

Nurullah ERZİNCAN

Danışman: Prof. Dr. Nazım AKSAKER

Astronomi ve Astrofizik Anabilim Dalı

ÖZ

Bu tez çalışmasında, Samanyolu Gökadası'ndaki gezegenimsi bulutsuların fiziksel ve kimyasal özellikleri ile bu bulutsuların Gökadanın disk, şişkin bölge ve halo gibi yapısal bileşenleri arasındaki dağılımları incelenmiştir. Bu amaçla, HASH (The Hong Kong/AAO/Strasbourg H_α Gezegenimsi Bulutsu Veri Tabanı) veri tabanından seçilen 1449 “doğrulanmış gezegenimsi bulutsu” verisi kullanılmıştır. Gezegenimsi bulutsuların çoğunluğunun Galaktik diskte yer aldığı ($12''$ ve $0,30$ pc ~ 1 ışık yılı) ve halodaki gezegenimsi bulutsuların göreceli olarak daha büyük açısal boyutlara ($15,5''$ ve $0,45$ pc ($\sim 1,5$ ışık yılı)) sahip oldukları belirlenmiştir. Gezegenimsi bulutsuların tayf verilerinden elde edilen yaklaşık 16500 ışıınım çizgi ölçümlerinden fiziksel parametreler; sönümleme katsayısı, elektron sıcaklığı ve elektron sayı yoğunluğunun sırasıyla $1,3 (\pm 0,04)$, 9900 K (± 133) ve $1200 \text{ cm}^{-3} (\pm 100)$ medyan değerleriyle Gauss benzeri dağılımlar oluşturduğu gözlenmiştir. Ayrıca elde edilen element bolluklarının 7200 farklı ölçüm sonucunda Helyum, Azot, Oksijen, Neon, Kükürt, Klor ve Argon elementlerinin Galaktik bileşenler arasında farklı dağılımlar gösterdiği ve özellikle halodaki gezegenimsi bulutsularda tüm element bolluklarının en düşük düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, tüm Galaktik bileşenlerde Kükürt ve Azot element bolluğu arasında güçlü bir korelasyon ($r=0,87$) saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Samanyolu Gökadası, Galaktik Bileşenler, Gezegenimsi Bulutsular, Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

Analysis of Planetary Nebular in the Milky Way: Physical Properties, Chemical Abundances, and Galactic Distributions

Nurullah ERZİNCAN

Advisor: Prof. Dr. Nazım AKSAKER

Department of Astronomy and Astrophysic

ABSTRACT

This thesis examines the physical and chemical properties of planetary nebulae in the Milky Way and their distribution among the structural components of the Galaxy, such as the disk, bulge, and halo. For this purpose, 1449 “True Planetary Nebula” data selected from the HASH (The Hong Kong/AAO/Strasbourg H α Planetary Nebula Database) database were used. It has been determined that the majority of planetary nebulae are located in the Galactic disk (12” and 0.30 pc $\sim$ 1 light-year) and that planetary nebulae in the halo have relatively larger angular dimensions (15.5” and 0.45 pc ($\sim$ 1.5 light-years)). Physical parameters derived from approximately 16,500 emission line measurements obtained from the spectral data of planetary nebulae; the attenuation coefficient, electron temperature, and electron density were observed to form Gaussian-like distributions with median values of 1,3 ($\pm$ 0,04), 9900 K ($\pm$ 133), and 1200 cm $^{-3}$ ($\pm$ 100), respectively. Additionally, the abundance of elements obtained from 7,200 different measurements revealed that Helium, Nitrogen, Oxygen, Neon, Sulfur, Chlorine, and Argon elements show different distributions among galactic components, and that the abundance of all elements is at its lowest level, particularly in planetary nebulae in the halo. However, a strong correlation ($r=0.87$) has been detected between the abundance of sulfur and nitrogen elements in all galactic components.

Keywords: Milky Way, Galactic Components, Planetary Nebulae, Physical and Chemical Properties

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında bilgi, deneyim ve desteğini esirgemeyen, akademik gelişimime büyük katkılarda bulunan danışman hocam Prof. Dr. Nazım AKSAKER'e ve yine tez sürecine doğrudan katkısı olan, bilimsel çalışmalarımız boyunca yönlendirmeleri ve desteğiyle her zaman yanımda olan Prof. Dr. Aysun AKYÜZ'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez savunmamda jüri üyesi olarak yer alarak çalışmama değerli katkılarda bulunan Prof. Dr. Timur ŞAHİN'e de görüş ve önerileri için ayrıca teşekkür ederim. Tez çalışmamda verilerin indirilmesine yardımcı olan Doç. Dr. Sinan Kaan YERLİ hocama ayrıca teşekkürlerimi sunuyorum.

Lisans eğitimim süresince Astronomi alanına ilgi ve alakasını bizlere aşılayan ve bu alanda lisansüstü eğitimime başlamama imkân veren emekli Doç. Dr. Nuri EMRAHOĞLU hocama, Çukurova Üniversitesi UZAYMER'de beraber mesai harcadığımız, her türlü desteklerini ve çalışma azmi veren arkadaşlarım Dr. Utkan TEMİZ, Dr. Zühal KURT, Çiğdem TUNÇBİLEK, Serkan ÖNER, Yağmur KOCA ve Aleyna DEMİRCİ'ye teşekkürlerimi sunuyorum.

Son olarak tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim aileme, lisans ve lisansüstü eğitim hayatım boyunca gerek akademik gerekse kişisel olarak yanımda olan, bilgi ve motivasyon desteğiyle bu süreci daha verimli ve anlamlı hâle getiren değerli arkadaşlarım Burak KARATAYLI, Hasan ÇELİK ve Barış ÖZKILINÇ'a gönülden teşekkür ederim.

Tez çalışmam kapsamında şekil, Çizelge ve grafiklerin oluşturulmasına yönelik kodların yazılmasında, ayrıca Türkçe ve İngilizce metinlerin dilbilgisel ve anlamsal açıdan düzeltilmesinde teknik destek sağlayan yapay zekâ asistanı ChatGPT (GPT-4o)'dan faydalanılmıştır. Bu desteğin ardından gerekli kontroller tarafımdan yapılmış olup, çalışmanın tüm içeriğinden yalnızca ben sorumluyum.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Tez çalışmamızda kullanılan GB'lerin genel özelliklerini içeren bilgiler.	12
Çizelge 3.2. Örneklem GB'lerin $H_{\beta}=100$ ölçeğinde 3726,03 Å - 4711,37 Å aralığındaki ışınım çizgi akı oranları.....	22
Çizelge 3.3. Örneklem GB'lerin $H_{\beta}=100$ ölçeğinde 4740,17 Å - 6300,34 Å aralığındaki ışınım çizgi akı oranları.....	22
Çizelge 3.4. Örneklem GB'lerin $H_{\beta}=100$ ölçeğinde 6363,78 Å - 7135,80 Å aralığındaki ışınım çizgi akı oranları.....	23
Çizelge 3.5. Fiziksel özelliklerin tanımlanması için gerekli çizgi oranları.	29
Çizelge 3.6. Bileşenlere göre ortalama sönümleme katsayısı ($c(H_{\beta})$), Elektron sıcaklığı (T_e) ve Elektron sayı yoğunluğu (N_e) değerleri ve örneklem GB'lere ait $c(H_{\beta})$, T_e ve N_e değerleri.....	31
Çizelge 3.7. Element bolluklar için kullanılan iyonlar. ICF, iyonizasyon düzeltme katsayısı.....	32
Çizelge 3.8. GB'lerin $12+\log(X/H)$ oranında gösterilen element bolluk değerleri.....	32
Çizelge 4.1. GB'lerin $12+\log(X/H)$ gösteriminde verilen element bolluk değerlerinin Gökada bileşenlerine göre ve A19, Tan24 ve KH22 karşılaştırması.	40
Çizelge 4.2. GB'lerin bileşenlere göre element-element grafiklerindeki y-kesişim, eğim, korelasyon katsayısı değerleri ve KH22, Tan24 ile karşılaştırması.....	43
Çizelge 4.3. GB'lerin bileşenlere göre element-element grafiklerindeki y-kesişim, eğim, korelasyon katsayısı değerleri ve KH22, Tan24 ile karşılaştırması.....	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Morfolojileri, genişlikleri ve farklı uzaklıkta bulunan 22 Gezegenimsi Bulutsu görseli.	2
Şekil 2.1.	PN G004.9+04.9'a ait bir boyutlu tayf. Akı değerleri 10^{-13} erg s ⁻¹ cm ⁻² birimiyle çarpan faktör kullanılarak verilmiştir.	7
Şekil 3.1.	Tez çalışmasının akış şeması.	11
Şekil 3.2.	HASH veri tabanındaki tüm kaynakların Aitoff projeksiyonundaki dağılımı (09 Temmuz 2025). Güney yarı kürede -30 derecelik Galaktik enlem kuşağındaki kümelenen GB'ler LMC ve SMC uydu gökadarımızda yer almaktadır.	12
Şekil 3.3.	HASH veri tabanı kullanıcı arayüzü.	13
Şekil 3.4.	HASH veri tabanındaki kaynakların sınıflandırmaların yüzdelik dağılımı. Sağ tarafta verilen çizelgede Statü kodlarının karşılıkları Çizelge 3. 1'de verilmiştir.	14
Şekil 3.5.	GB'lerin açısal çap/genişlik ve morfolojik özelliklerinin dağılımı.	15
Şekil 3.6.	GB'lerin paralaks ve paralaks hatalarının uzaklığa göre dağılımı.	16
Şekil 3.7.	GB'lerin Gaia kataloğundaki konum arasındaki uzaklık bilgisi.	17
Şekil 3.8.	GB'lerin uzaklık (R_{geo}) dağılımları.	18
Şekil 3.9.	GB'lerin bileşenlerine göre Aitoff projeksiyonundaki dağılımı.	19
Şekil 3.10.	PN G004.9+04.9'a ait tayf (siyah düz çizgi) ve sentetik tayf (kesikli mavi çizgi) karşılaştırması. GB'ler için önemli ışınım çizgileri verilmiştir.	21
Şekil 3.11.	SMB tanı diyagramları. Siyah kareler H II bölgelerini, ters mavi üçgenler SNR'leri, renkli noktalar ise GB'leri temsil eder. Renkler, GB'lerin galaktik bileşenlerini gösterir (kırmızı: ince disk, yeşil: kalın disk, mavi: şişkin bileşen, turuncu: halo). Kırmızı çizgi GB, kesikli siyah çizgi H II, kesikli mavi çizgi SNR sınırını belirtir.	24
Şekil 3.12.	BPTa ve BPTb tanı diyagramları. Semboller ve renkler Şekil 2 ile aynıdır. Diyagramlar, farklı iyonizasyon mekanizmalarına göre kaynak ayrımını gösterir.	25
Şekil 3.13.	GB'lerin sönümlleme katsayı $c(H\beta)$ değerlerinin histogramı.	28
Şekil 3.14.	Elektron sayı yoğunluk (N_e) histogramları.	30
Şekil 3.15.	Elektron sıcaklık (T_e) histogramları.	30
Şekil 3.16.	Element bolluk değerlerinin $12 + \log(X/H)$ ölçeğindeki histogramları.	33
Şekil 3.17.	GB'lere ait element bolluklarının Pearson, Spearman ve Kendall korelasyon katsayıları.	34
Şekil 3.18.	$12 + \log(He/H)$ 'e karşı $\log(N/O)$ ilişki grafiği.	35
Şekil 4.1.	Tez çalışmamız ile C21 arasında GB'lerin bileşen karşılaştırma ısı haritası.	38
Şekil 4.2.	Element bolluk değerlerinin literatür A19, KH22 ve Tan24 ile karşılaştırması.	41
Şekil 4.3.	GB'lerin ($r > 0,5$) bolluk değerlerinin elemen-element karşılaştırma grafikleri.	45
Şekil 4.4.	GB'lerin ($0,3 > r > 0,5$) bolluk değerlerinin elemen-element karşılaştırma grafikleri.	46

SİMGELER VE KISALTMALAR

GB	: Gezegenimsi Bulutsu (Planetary Nebula)
CSPNe	: Gezegenimsi Bulutsu Merkezi Yıldızı
PN G	: Gezegenimsi Bulutsu Galaktik Koordinatı İsmi
SNR	: Süpernova Kalıntısı
H II	: İyonize Hidrojen Bölgesi
α	: Sağ Açıklık
δ	: Dik Açıklık
"	: Yay Saniyesi, Açı Saniyesi
mas	: Mili Yay Saniyesi
d	: Uzaklık
pc	: Parsek
R_{geo}	: Geometrik Uzaklık
R_0	: Gökada Merkez Uzaklık
dex	: Ondalık Üs
$M_{\odot}$	: Güneş Kütlesi
T_e	: Elektron Sıcaklığı
N_e	: Elektron Yoğunluğu
λ	: Dalga boyu
Å	: Angstrom (Dalga boyu Uzunluk Birimi)
H_{α}	: Hidrojenin Alfa Çizgisi
H_{β}	: Hidrojenin Beta Çizgisi
H_{γ}	: Hidrojenin Gama Çizgisi
H_{δ}	: Hidrojenin Delta Çizgisi
H_{ϵ}	: Hidrojenin Eta Çizgisi

1. GİRİŞ

Gezegensimsi bulutsular (GB), yaklaşık 0,8 ile 8 Güneş kütlesi ($M_{\odot}$) arasındaki yıldızların evrimsel sürecinde, Asimptotik Dev Kol (AGB) evresinden beyaz cüce evresine geçiş sırasında oluşan gaz yapılarıdır (Zijlstra ve Pottasch, 1991). AGB evresinde yıldızlar, güçlü yıldız rüzgarlarıyla dış katmanlarını fırlatarak yıldızlararası ortamın (ISM) kimyasal zenginleşmesine katkıda bulunur. Bu süreç sonucunda merkezde oluşan beyaz cüce, çevresindeki gazı (iyonize, atomik, moleküler ve katı hal formundaki maddeler) iyonize ederek parlak ve gözlemlenebilir bir yapı oluşturur. Yaklaşık $3 - 7 \times 10^4$ yıl süren görece kısa ömürlerine rağmen, GB'ler bulundukları ortama ait bilgi sunarken uzun ömürlü ata yıldızları sayesinde Gökadaların evrimine ışık tutar (Zijlstra ve Pottasch 1991; Mollá ve ark., 2017; Kwitter ve Henry, 2022; bundan sonra KH22)

AGB evresinde bazı orta kütleli yıldızlarda, alt kabuk yanması (Hot Bottom Burning, HBB) ve harmanlama (dredge-up, DU) süreçleri, çekirdek ve konveksiyon bölgeleri arasında nükleosentez ürünlerinin taşınmasını sağlar. HBB sırasında, yıldızın alt konveksiyon bölgesi çok yüksek sıcaklıklara ulaşır ve özellikle helyum ile azot üretimi artar. DU ise karbon ve diğer ağır elementlerin yüzeye taşınmasını mümkün kılar. Bu süreçlerin etkisiyle yıldız, güçlü ve değişken hızlarda rüzgarlar üreterek dış katmanlarını uzaya fırlatır. Yıldız rüzgarlarının hızı, AGB'nin başlangıcında yaklaşık 90 bin km/saat iken evrimin ilerleyen safhalarında milyonlarca km/saat seviyelerine ulaşabilir (Koupelis, 2017). Bu farklı hız ve yoğunluktaki kütle kaybı, GB'lerin gözlemlenen çeşitli morfolojilerini—halka, bipolar, eliptik veya düzensiz yapıları—oluşturan temel mekanizma olarak bilinir (Karakas ve Lattanzio, 2014; Ventura ve ark., 2013). 22 Galaktik GB'nin görsellerinden oluşturulan bir Şekil 1.1'de verilmiştir. Buradaki ölçek çubuğu 5 ışık yılına ($\sim 1,5$ pc) karşılık gelmektedir.



Şekil 1.1. Morfolojileri, genişlikleri ve farklı uzaklıkta bulunan 22 Gezegenimsi Bulutsu görseli.

GB'lerin gözlemlenebilir hale gelmesini sağlayan en temel etken, merkezdeki beyaz cüce sıcaklığı ve ışmasıdır. Ata yıldız, AGB evresini tamamladıktan sonra hızla ısınarak yüzey sıcaklığı 30000 K'nin üzerine çıkar ve güçlü morötesi (UV) ışınım yaymaya başlar. Merkezi yıldızın sıcaklığı genellikle ~ 100000 K'ye ulaşır ve bu yüksek enerjili fotonlar, çevresindeki gaz kabuğunu iyonize ederek hem parlak çizgi ışınımalarını hem de karakteristik morfolojilerin görünür hale gelmesini sağlar. Tipik bir GB'nin çapı yaklaşık bir ışık yılı, gaz yoğunluğu ise santimetre küp başına 10^3 – 10^4 parçacık mertebesinde (Gerhard ve ark., 2005). Genç bulutsularda bu değer 10^6 parçacık cm^{-3} 'e kadar çıkabilir. Bulutsunun kütlesi çoğunlukla $0,1$ – $1 M_{\odot}$ aralığındadır. Merkezi bölgelerde iyonize gaz sıcaklığı ~ 10000 K civarındayken, çekirdeğe daha yakın bölgelerde 16000 – 25000 K'ye yükselebilir; hızlı yıldız rüzgârlarının oluşturduğu koronal plazma ise milyon derece sıcaklıklara kadar ulaşabilir (Kwok, S., 2000) Yıldız evriminin erken safhalarında bulutsu daha düşük iyonizasyonlu çizgilerle tanımlanırken, merkezi yıldızın sıcaklığının artışıyla birlikte yüksek iyonlaşma potansiyeline sahip elementlere ait çizgiler (ör. [O III], [Ne III], [Ar IV]) giderek baskın hale gelir. Dolayısıyla merkez yıldızın sıcaklık ve ışınım gücü, GB'nin tayfsal özelliklerinin, fiziksel yapısının ve evrimsel sınıflandırmasının belirlenmesinde kritik rol oynar.

Gökadamızın yapısal bileşenleri olan ince disk, kalın disk, şişkin bölge ve halo; yıldız oluşum tarihleri, kimyasal zenginleşme düzeyleri ve dinamik özellikler bakımından birbirinden farklılık gösterir. GB'lerin bu bileşenler içinde nasıl dağıldığı ve fiziksel/kimyasal özelliklerinin bu yapılaraya göre değişimi, Gökadanın evrimsel geçmişine dair önemli ipuçları sunar (KH22). Özellikle helyum (He), azot (N), oksijen (O), neon (Ne), kükürt (S) gibi elementlerin bollukları arasındaki

korelasyonlar; ata yıldızlardaki nükleosentez süreçlerinin izlerini taşır ve yıldızlararası ortamın kimyasal bileşimini anlamada kritik bir öneme sahiptir (KH22). Bu tür istatistiksel ve karşılaştırmalı analizler hem GB'lerin hem de galaktik bileşenlerin kimyasal evrimine dair daha kapsamlı bir çerçeve sunar.

GB'lerin ilk gözlemleri, 18. yüzyıl sonlarında görünür bölgedeki keşiflerle başlamış ve iyonize gaz yapılarına dair ilk verileri sağlamıştır. Atom fiziğindeki gelişmelerin yanı sıra yer ve uzay tabanlı teleskopların artışıyla, GB'ler üzerine yapılan çalışmalar da hız kazanmıştır. Özellikle optik, kızılötesi ve radyo dalga boylarında gerçekleştirilen yüksek çözünürlüklü ve dar bant görüntülemeler ile geniş alan taramaları, GB'lerin kimliklerinin, fiziksel özelliklerinin ve morfolojilerinin daha ayrıntılı biçimde incelenmesine olanak tanımaktadır.

Yapıları gereği GB'ler, H II bölgeleri ve süpernova kalıntıları (SNR) gibi diğer iyonize gaz yapıları bulutsularla benzerlik gösterebilir. Bu nedenle iyonizasyon mekanizmaları -fotoiyonizasyon, çarpışmayla uyarılma ve yeniden birleşme süreçleri- ve bunların tayfsal izleri, GB'lerin ayırt edilmesinde kritik rol oynar. Işınım çizgilerinden elde edilen elektron sıcaklığı, yoğunluk ve sönümlleme gibi fiziksel parametreler hem GB'lerin kimyasal bolluklarının hesaplanmasında hem de yıldızlararası ortamın bileşiminin yorumlanmasında temel veriler sağlar (KH22; Mollá ve ark., 2017). Özellikle He, karbon (C), N, O, Ne, S, klor (Cl) ve argon (Ar) gibi elementlere ait çizgiler, ata yıldızlarda gerçekleşen nükleosentez süreçlerinin doğrudan göstergeleridir. Bu bağlamda tayflarda gözlenen en karakteristik çizgiler arasında [O III] $\lambda 5007$, H α , [N II] $\lambda 6584$, [S II] $\lambda 6716/6731$ ve He I $\lambda 5876$ yer alır. Bu çizgilerin doğru ölçümleri, bollukların güvenilirliğini belirlemede önemli rol oynamaktadır.

GB tayfında gözlenen çizgiler, iyonize gazda gerçekleşen temel mikrofiziksel atomik süreçlerin bir sonucudur. Yüksek enerjili fotonların ya da serbest elektronların etkisiyle atom ve iyonlar ya iyonlaşır ya da daha yüksek enerji seviyelerine uyarılır. Bu süreçlerin ardından sistem dengeye geri dönerken foton salınımı gerçekleşir ve tayfa karakteristik çizgiler ortaya çıkar. Başlıca iki mekanizma öne çıkar: iyonların serbest elektronlarla birleşerek foton yaydığı yeniden birleşme çizgileri (Recombination Lines, RL) ve elektronların atomları ya da iyonları çarpışma yoluyla uyararak ışımsal geçişlere neden olduğu çarpışma ile uyarılma çizgileridir (Collisionally Excited Lines, CEL). Bu mekanizmalar yıldız çekirdeğinde enerji üreten nükleer füzyon süreçlerinden farklı olup, iyonize gazda atomik geçişlere bağlı olarak ortaya çıkan radyatif süreçlerdir.

RL, serbest elektronların iyonlar tarafından yakalanması sonucu iyonların foton yayarak daha düşük enerji seviyelerine inmesi sırasında oluşur. Bu çizgiler, elektrik dipol geçişi için tüm seçim kurallarını sağladıklarından dolayı izinli çizgiler olarak adlandırılır. İyonize bulutsuların tayflarında gözlenen parlak yeniden birleşme çizgilerinin büyük kısmı hidrojen ve helyumdan kaynaklanır. Karbon, azot ve oksijen gibi metaller ise daha düşük bolluklara sahip olduklarından hidrojen ve helyuma kıyasla daha zayıf yeniden birleşme çizgileri üretirler (Peimbert ve ark., 2017). İyonize bulutsuların tayflarında bulunabilecek bazı yeniden birleşme çizgileri H I (H α 6563 Å, H β

4861 Å, H γ 4340 Å), He I (4471, 5875 Å) ve He II (4686 Å) çizgileridir. Yeniden birleşme ile yayılan H I fotonları bazı durumlarda bulutsudan kaçabilir, bazı durumlarda ise kaçamaz. Optik olarak ince bir bulutsuda yayımlanan fotonların tamamı dışarıya ulaşır; bu durum *A Durumu* (Case A) olarak bilinir. Öte yandan, optik olarak kalın bir bulutsuda hidrojen Lyman fotonlarının tamamı soğurulur; bu da *B Durumu* (Case B) olarak tanımlanır (Osterbrock ve Ferland, 2006).

Buna karşın, bazı ağır elementlerin birinci uyarılma seviyeleri hidrojen ve helyuma kıyasla birkaç eV mertebesinde. Bu nedenle serbest elektronlarla çarpışan atomların uyarılma seviyelerine çıkması daha kolay gerçekleşir. CEL, bu şekilde uyarılan atomların ışıınımsal geçişlerle daha düşük enerji seviyelerine bozulması sonucunda oluşur. Bu çizgilerin geçiş olasılıkları düşük olmasına rağmen, düşük yoğunluklu iyonize bulutsular bu geçişlerin gerçekleşmesine olanak tanır. Optik bölgede görülen bu çizgiler bir kısmı parite seçim kuralı ($\Delta L = \pm 1$) tarafından yasaklandığından *yasaklı çizgiler* (*forbidden lines*) olarak adlandırılır (Peimbert ve ark., 2017). Bu çizgilere örnek olarak, GB'lerin tayflarında sıklıkla gözlenen [O III] $\lambda\lambda 4959, 5007$ Å, [N II] $\lambda\lambda 6548, 6583$ Å, [S II] $\lambda\lambda 6716, 6731$ Å ve [Ar III] $\lambda 7136$ Å çizgileri sayılabilir.

Dolayısıyla çizgi seçimi ve ölçüm yöntemi, GB'lerin fiziksel ve kimyasal yapılarının ve evrimsel geçmişlerinin doğru anlaşılmasında belirleyici öneme sahiptir (KH22; Parker ve ark., 2022). Gökadamızdaki GB'lerle ilgili teorik çalışmalar, sayılarının ~25000 civarında olması gerektiğini öne sürmektedir (Jacoby ve ark., 2010). Ancak bazı sınırlamalar nedeniyle bugüne kadar yalnızca ~3500 GB ve aday kataloglanabilmiştir (Parker ve ark., 2016). Bu sınırlamalar; Gökada diskinin yoğun yıldız içeriği, yıldızlararası sönmüleme etkileri ve GB'lerin kısa yaşam süreleri olarak sıralanabilir. İlk kapsamlı GB katalogları arasında Perek ve Kohoutek (1967), Acker ve ark. (1992, 1996) ve Kohoutek (2001) çalışmaları öne çıkmaktadır.

Son yıllarda yer tabanlı ve uzay tabanlı teleskoplarla yapılan gözlemler neticesinde, GB'lere dair daha kapsamlı kataloglar oluşturulmuştur. Bunlar arasında MASH¹ (The Macquarie/AAO/Strasbourg H α Planetary Nebula Catalogue; Parker ve ark., 2006), IPHAS² (The Isaac Newton Telescope H α Survey of the Northern Galactic Plane; Drew ve ark., 2008), VPHAS+ (The VST Photometric H α Survey of the Southern Galactic Plane and Bulge; Drew ve ark., 2014) ve HASH (The Hong Kong/AAO/Strasbourg H α Planetary Nebula Database³; Parker ve ark., 2016) (HASH bölüm 3.1.1'de ayrıntılı olarak anlatılmıştır) katalogları yer almaktadır. Bu kataloglar, yalnızca yeni GB ve GB adaylarının tanımlanmasına değil, aynı zamanda bu nesnelerin şekilsel ve yapısal analizlerinin gerçekleştirilmesine de olanak tanımaktadır.

Bu bağlamda, GB'ler üzerine yapılan önceki çalışmalar genellikle sınırlı örneklerle yürütülmüş, bu da özellikle galaktik bileşenlerin karşılaştırmalı analizlerinde istatistiksel

¹ <https://vizier.cds.unistra.fr/viz-bin/VizieR-3?-source=V/127A>

² <https://vizier.cds.unistra.fr/viz-bin/VizieR?-source=J/MNRAS/384/1277>

³ <http://hashpn.space>

belirsizliklere yol açmıştır. Bu çalışmada HASH veri tabanından seçilen 2591 doğrulanmış GB'lerin kullanılması, şimdiye kadar yapılmış en kapsamlı istatistiksel incelemelerden birini oluşturmaktadır. Böylece ince disk, kalın disk, şişkin bölge ve halo bileşenleri arasında GB'lerin dağılımları istatistiksel güvenilirliği daha yüksek biçimde ortaya konulmakta birlikte ata yıldızların nükleosentez süreçleriyle, galaktik kimyasal evrim arasındaki bağlantılar daha sağlam verilerle test edilmektedir. GB'ler, α -elementlerin ve ağır elementlerin bolluklarının izlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır ve bu nedenle GCE modellerinin sınanmasında anahtar gözlemsel araçlar arasında yer alırlar (Cavichia ve ark., 2017; Stanghellini ve Haywood, 2018). Bu bağlamda, HASH örneklemiyle yapılan geniş ölçekli analiz, galaktik bileşenler arasındaki bolluk gradyanlarının ve evrimsel süreçlerin daha güvenilir biçimde test edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yönüyle tez, literatürdeki önceki GB çalışmalarına geniş ölçekli bir veri setiyle tamamlayıcı bir nitelik taşımaktadır.

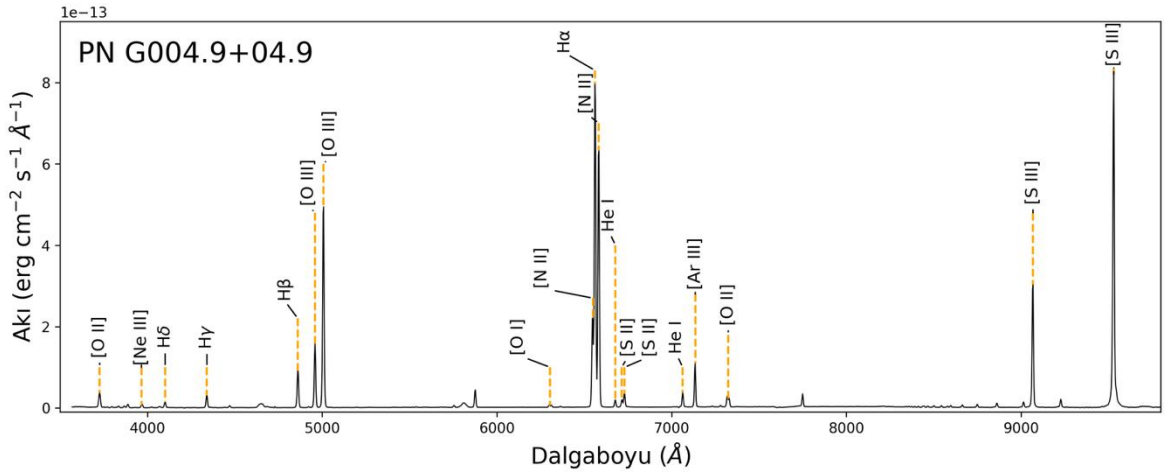




2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

GB'ler üzerine yapılan çalışmalar, 1764 yılında Charles Messier'in gerçekleştirdiği gözlemlere dayanmaktadır. Messier, Tilkecik (Vulpecula) takımyıldızında parlak olmayan, yıldız içermeyen ve dairesel görünümüne sahip bir gök cismi tespit etmiş ve bu nesneyi kuyruklu yıldızlarla karıştırmamak amacıyla “yıldızsız bulutsu” olarak tanımlayarak M27 (Dumbbell Bulutsusu) adıyla kataloğuna eklemiştir (KH22). 1779 yılında ise A. Pellepoix, Çalgı (Lyra) takımyıldızında yer alan M57 (Halka Bulutsusu) için yaptığı tanımda, bu nesneyi “Jüpiter büyüklüğünde, çok soluk fakat belirgin hatlara sahip bir gezegeni andıran bir bulutsu” olarak betimlemiştir. “Gezegenimsi Bulutsu” kavramı ise 1782 yılında William Herschel tarafından, NGC 7009 (Satürn Bulutsusu) gözlemi literatüre kazandırılmıştır. Herschel, bu yapıları merkezde yer alan yıldızlardan gelen ışımayla ilişkilendirerek, söz konusu nesnelerin fiziksel yapısına dair ilk bilimsel yorumları da ortaya koymuştur (Hoskin, 2014).

GB'ler, düşük-orta kütleli yıldızların yaşamlarının AGB evresinden sonra kısa sürede geçtikleri evrimsel aşamalar olup, bu süreçte yıldızlararası ortama (ISM) önemli miktarda zenginleştirilmiş madde bırakırlar (Zijlstra ve Pottasch, 1991). Özellikle C, N, O, Ne, S, Cl ve Ar gibi elementlerin ışıınım çizgileri, bu zenginleşmenin ve ata yıldızlardaki nükleosentezin izlerini taşır. Şekil 2.1'de GB'lerin optik bölgedeki belirgin ışıınım çizgileriyle karakterize edildikleri için kimyasal bolluk çalışmalarında önemli bir gözlemsel araçlardır. (KH22).



Şekil 2.1. PN G004.9+04.9'a ait bir boyutlu tayf. Akı değerleri $10^{-13} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ birimiyle çarpan faktör kullanılarak verilmiştir.

Bu ilk gözlemsel keşifler doğrultusunda, GB'lere yönelik sistematik kataloglama çalışmaları başlamıştır. GB'ler, Messier'in kataloğunda yer almalarının ardından, Perek ve Kohoutek (1967) tarafından yayımlanan ilk özel katalogla modern anlamda sınıflandırılmıştır. Acker ve ark (1992) tarafından hazırlanan Strasbourg-ESO Galaktik Gezegenimsi Bulutsu Kataloğu, 1143 doğrulanmış

veya olası GB'yi içermektedir. Bu katalog, alandaki temel referanslardan biri hâline gelmiştir. Kohoutek (2001) tarafından güncellenen katalogla birlikte, bilinen GB sayısı 1510'a çıkarılmıştır.

Daha sonraki yıllarda, geniş alanlı fotometrik araştırmaların katkısıyla GB sayısında dikkate değer bir artış yaşanmıştır. Parker ve ark (2006; 2016) tarafından oluşturulan HASH, yaklaşık 3800 Galaktik GB'yi kapsamaktadır. Buna karşın, diğer gökadalardaki GB de dâhil edildiğinde, toplam sayının 10000 civarında olabileceği tahmin edilmektedir (Moe ve De Marco, 2006). Bu tahminler, gözlemlenebilirlik sınırlarına ve mevcut araştırmaların derinliğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Son 15 yılda GB keşfindeki artışın temel nedeni, AAO/UKST SuperCOSMOS H_α Araştırması (SuperCOSMOS H_α Survey, SHS; Parker ve ark., 2005) ve IPHAS (Drew ve ark., 2005) gibi büyük ölçekli H_α araştırmalarıdır. Bu çalışmalar, Güney ve Kuzey Galaktik düzlemlerinde önemli miktarda yeni adayın belirlenmesini sağlamıştır. Ayrıca, UWISH2 (Gledhill ve ark., 2018), CORNISH (Irabor ve ark., 2018; Fragkou ve ark., 2018) ve çeşitli geçici kaynak araştırmaları (Boumis ve ark., 2003, 2006) sayesinde GB keşif süreci daha da hız kazanmıştır. Ancak geleneksel tanımlama yöntemleri, bu büyük veri setleri karşısında yetersiz kalmakta, bu da daha gelişmiş analiz tekniklerinin geliştirilmesini gerektirmektedir.

Bu ihtiyaca yanıt olarak, son yıllarda otomatik sınıflandırma için yapay zekâ ve makine öğrenmesi tabanlı algoritmalar kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin, Akas ve ark (2019a), optik ve kızılötesi fotometrik verileri karar ağaçlarıyla birleştirerek kompakt GB'leri diğer H_α yayıcılarından %75 doğrulukla ayırmışlardır. Awang Iskandar ve ark (2020), HASH ve Pan-STARRS görüntülerini birleştirerek üç farklı derin öğrenme algoritmasıyla %60–90 doğruluk aralığında sınıflama gerçekleştirmiştir. Sun ve ark (2024), VPHAS+ kataloğunu kullanarak 815 aday GB belirlemiş ve bunlardan 23'ünü tayfsal olarak doğrulamıştır. Bu tür çalışmaların, GAIA, LSST, J-PAS, S-PLUS, J-PLUS ve LAMOST gibi büyük veri tabanları için hız kazanması beklenmektedir.

KH22, GB'ler konusunda kapsamlı bir derleme çalışmasında GB bolluklarının belirlenmesine yönelik yöntemleri, gözlemsel ve teorik karşılaştırmaları ve bu nesnelerdeki molekül/toz varlığının etkilerini tartışmıştır. Bu çalışmada ayrıca farklı galaktik bileşenlerdeki (disk, şişkin bölge, halo) bolluk karşılaştırmalarına yer verilmiş, element bolluklarının Güneş değerlerine göre nasıl farklılaştığı incelenmiştir. Örneğin, disk bölgesinde Ne bolluğunun şişkin bölge bölgesine göre %30 daha yüksek olduğu, ancak Cl bolluğunun ise tersine şişkin bölge diske göre iki kat fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Galaktik bileşenler arasında bolluk gradyanlarını araştıran bir diğer önemli çalışma Chiappini ve ark (2009) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada O ve Ne gibi elementlerin şişkin bölgede yıldızlararası ortamdan büyük ölçüde etkilenmediği, ancak S ve Ar bolluklarının şişkin bölgenin kimyasal evriminin izleyicileri olarak değerlendirilebileceği öne sürülmüştür. Daha güncel olarak Tan ve ark (2024) (bundan sonra Tan24 olarak anılacaktır), yüksek çözünürlüklü tayfsal verilerle şişkinlik bölgesindeki GB bolluklarının geleneksel modellere kıyasla daha yüksek

olduğunu belirtmişlerdir. Stanghellini ve ark (2024) ise, kırmızı dev ata yıldızlarından türeyen GB'lerde önemli miktarda Fe tükenmesi ve hafif S tükenmesine ek olarak, C ve N zenginleşmesine dikkat çekmişlerdir.

Literatürde mevcut bu tür çalışmalar çoğunlukla sınırlı örneklemelere veya gökadanın belirli bölgelerine odaklanmış durumdadır. Ancak son yıllarda gelişen geniş alanlı gözlemler ve kataloglar (ör. Gaia EDR3, HASH) sayesinde daha homojen ve büyük veri setlerine erişim mümkün hale gelmiştir. Parker ve ark (2016) tarafından oluşturulan HASH veri tabanı, GB'lerin optik morfolojilerini, tayflarını ve temel fiziksel parametrelerini (Açısal çap, Morfolojik Ana sınıf ve alt sınıf) içermesi açısından önemlidir. Bu veri tabanı, GB kimyasal bolluklarının galaktik bileşenlere (Tüm galaktik bileşenler) göre sistematik bir şekilde analizine olanak sağlamaktadır.

KH22 tarafından hazırlanan inceleme makalesinde, element bolluklarının belirlenmesi, teorik tahminlerle karşılaştırmalar ve ilişkili toz ve moleküllerin varlığı da dahil olmak üzere GB'lerin gözlemlenen çeşitli özellikleri tartışılmıştır. Makalede ayrıca GB'lerin uzaklıkları, morfolojileri ve evrimleri gibi temel hususlar da incelenmiştir. Çalışmada, GB'lerin şişkinlik ve diskteki He ve N bolluklarının Güneşin üzerinde, O ve Ar'ın Güneşe yakın, S'nin ise altında olduğu vurgulanırken, disk bileşenindeki Ne bolluğunun şişkinlik bölgesinden %30 daha yüksek olduğu, şişkinlik bölgesindeki Cl bolluğunun ise disktekinden iki kat daha fazla olduğu belirtildi. Dahası, halo'da O, Ne, S ve Ar bollukları Güneş bolluklarının altındayken, He, C ve N Güneş seviyelerinin üzerindedir.

Galaktik şişkin bölgede yer alan GB'lerin kimyasal bollukları Tan24 tarafından yüksek çözünürlüklü tayfsal veriler kullanılarak analiz edilmiştir. Onların bolluk derlemesi, literatürdeki genel örüntüden farklı olarak, genel olarak Güneş'ten daha yüksek element (N, O, Ne, S, Cl ve Ar) bolluğu göstermektedir. Chiappini ve ark (2009) Gökadamızın şişkinliği ve diskindeki GB'ler üzerindeki bolluk çalışmaları da şişkinlik metalikliğinde, O ve Ne bolluklarının GB ata yıldız oluşumu sırasındaki yıldızlararası ortam değerlerine yakın olduğunu ve onları S ve Ar'a benzer şekilde şişkinlik kimyasal evriminin izleyicileri haline getirdiğini tartışmıştır.

Stanghellini ve ark (2024) (bundan sonra S24 olarak anılacaktır) Galaktik disk içindeki GB'lerdeki C, N, O, Fe (demir) ve S bolluğunu araştırmış ve bu bulutsuların Galaktik kırmızı dev yıldızların torunları olduğunu öne sürmüştür. Çalışma, GB'lerde Fe'nin çoğunun toz taneciklerinde hapsediği ve hafif S tükenmesi ile önemli Fe tükenmesi olduğunu ortaya koymuştur. Buna ek olarak, ata yıldızlarda sıcak dip yanmasına atfedilen C ve N zenginleşmesinin kanıtları bulunmuştur. Bunlara ek olarak, Chiappini (2001), Daflon ve Cunha (2004), Kobayashi ve ark. (2011), Pagomenos ve ark (2018) gibi birçok çalışma Samanyolu Gökadası'ndaki element bolluklarını incelemiş, metal bolluk gradyanları, kimyasal evrim ve çeşitli galaktik bileşenlerin bileşimi gibi konulara odaklanmıştır.

GB'lerin uzaklık bilgileri, merkezi yıldızı ve/veya nebuların özelliklerinden elde edilebilir (KH22). Gökada bileşenlerinin sınırları tam olarak tanımlanmamıştır ve tartışma konusu olmaya devam etmektedir. Yan ve ark (2019) tarafından yapılan çalışmada, ince ve kalın disklerin sınırları

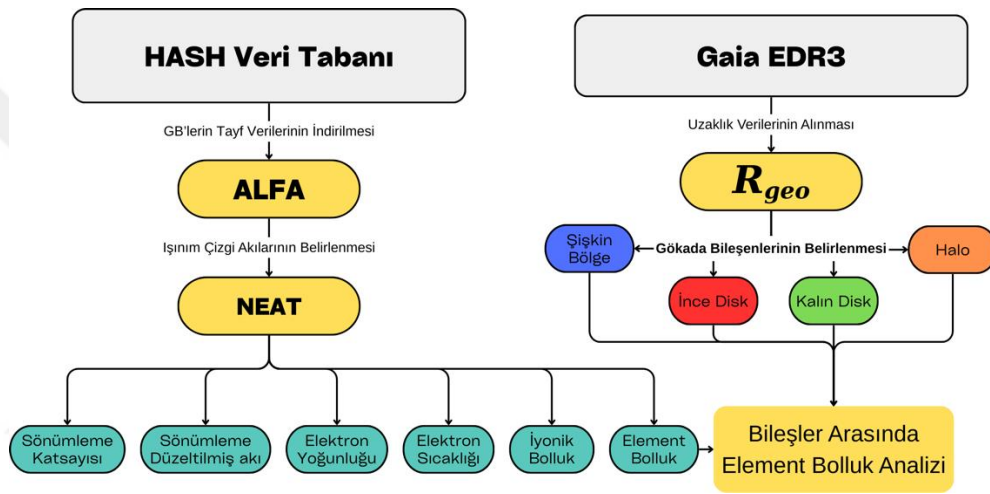
sırasıyla 200-369 pc ve 600-1.000 pc olarak bildirilmiştir. Ancak Ak (2021) bu bileşenleri sırasıyla 250-400 pc ve 600-1500pc olarak tanımlamıştır. Ayrıca, Zoccali ve Valenti (2016) ve Ak (2021), şişkin bölgenin çubuksu yapısı göz önüne alındığında sırasıyla 2,5-3 kiloparsek (kpc) ve 1,5-4,5 kpc yarıçapında olabileceğini vurgulamıştır. Ayrıca, Gökada'nın halo bölgesinin 3 ila 100 kpc uzunluğunda olabileceğini belirtmişlerdir (Ak, 2021). Ayrıca, Reid ve ark (2014) çalışmalarında Güneş'in Galaktik merkeze olan uzaklığını $R_0 = 8,34 \pm 0,16$ kpc olarak belirlemişlerdir.

GB'lerin uzaklıklarının doğru bir şekilde belirlenmesi, Gökada'daki konumlarının anlaşılmasına ve ata yıldız oluşum bölgelerinin incelenmesine ışık tutmaktadır. Güvenilir uzaklık tahminleri, GB çalışmalarında büyük önem taşımaktadır (KH22). GB'lerin uzaklıkları, merkezi yıldız (CSPNe) özelliklerinden ve/veya bulutsu özelliklerinden elde edilebilir. CSPNe özelliklerinden trigonometrik paralaks, spektroskopik paralaks ve kütleçekim temelli yöntemlerle uzaklık bilgileri elde edilirken bulutsu özelliklerinden ise kırmızıya kayma, kinematik hareketler veya genişleme paralaksarı aracılığıyla uzaklık belirlenebilir. Bunun yanı sıra, istatistiksel yöntemler kullanılarak H_β yüzey parlaklığı ve bulutsunun yapısı dikkate alınarak uzaklık tahminleri yapılmaktadır. İlk istatistiksel çalışmalar, Shklovsky ve ark. (1956) tarafından, $2 M_\odot$ kütleli GB'lerin aynı iyonize malzemeyi içerdiği varsayımı ile kalibre edilmiş ve bulutsunun genişlemesiyle elektron yoğunluğunun azaldığını göstermiştir. Frew ve ark. (2008), GB'nin H_α yüzey parlaklığı ile açısal çapı arasında istatistiksel bir ölçek sunarken; Frew ve ark. (2016) yöntemi, geniş bir yüzey parlaklık aralığında uyum eşitliği sağlayacak şekilde geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, HASH kataloğunda yer alan 2591 GB'nin tayfsal verileri kullanılarak, Samanyolu Gökada'sında yer alan bu nesnelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri detaylı biçimde analiz edilmiştir. Gaia EDR3 kataloğundan elde edilen uzaklık verileriyle, GB'lerin Gökada'nın ince disk, kalın disk, şişkinlik ve halo bileşenleri içindeki konumları belirlenmiş, ardından bu bileşenler arasında element bolluklarının nasıl değiştiği araştırılmıştır. Tayflardan elde edilen ışınım çizgi akıları sönümlenme etkisinden arındırılmış ve her bir GB'nin fiziksel parametreleri ile He, N, O, Ne, S, Cl ve Ar elementlerine ait kimyasal bollukları hesaplanmıştır. Sonuçlar, önceki çalışmalarla karşılaştırılarak Gökada'nın kimyasal evrimi bağlamında değerlendirilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışmasında, 8 Aralık 2023 tarihinde HASH kataloğunda GB olarak sınıflandırılan kaynakların tayf verileri indirilmiş ve analiz edilmiştir. Uzaklık bilgileri kullanılarak bu kaynakların Samanyolu Gökadası'nın hangi bileşeninde yer aldığı belirlenmiştir. GB'lerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ortaya konularak, bileşenler arası farklar ve benzerlikler incelenmiş, elde edilen bulgular literatür verileriyle karşılaştırılmıştır. Bu analizler doğrultusunda, Galaktik yapı ile GB'lerin evrimi arasındaki ilişki yorumlanmıştır. Tez kapsamında yürütülen analiz sürecinin genel yapısı ve adımları, Şekil 3.1'de akış şeması olarak sunulmuştur. Bu adımlara ek olarak tanısıl grafikler, element-element arasındaki ilişkiler incelenmiştir.



Şekil 3.1. Tez çalışmasının akış şeması.

3.1. Materyal

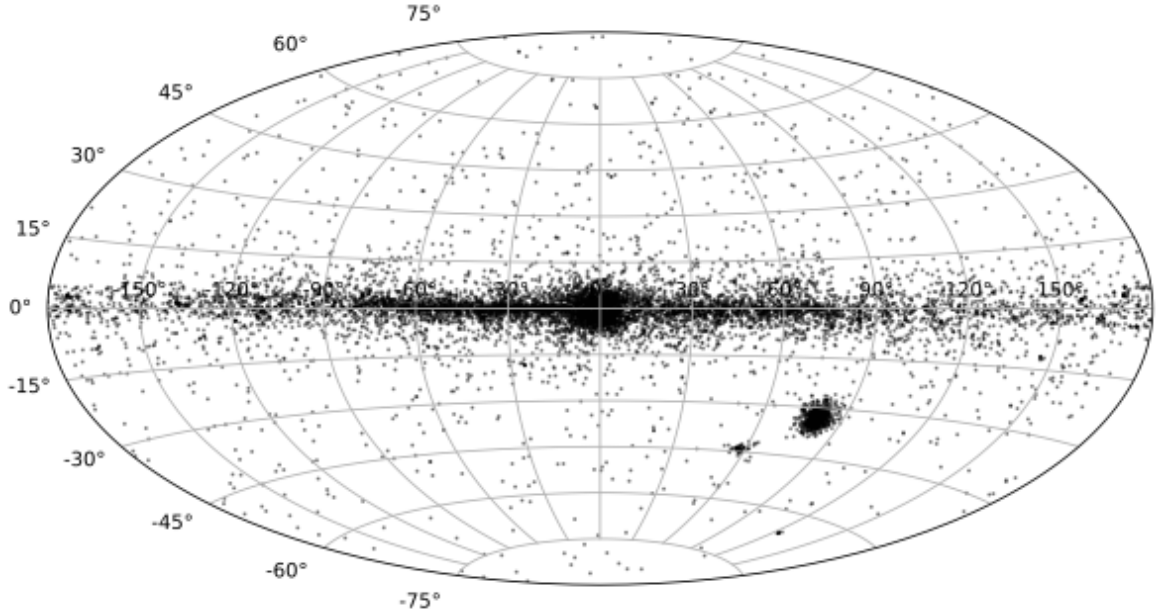
3.1.1. HASH (Hong Kong/Australian Astronomical Observatory/Strasbourg Observatory H_a Planetary Nebula) Veri tabanı

Tez çalışmasının temel veri kaynağını HASH (Parker ve ark., 2016; Bojičić ve ark., 2017) veri tabanı oluşturmaktadır. HASH, GB ve benzeri nesnelere odaklanan, çoklu dalgaboyu gözlemleri ile desteklenmiş kapsamlı ve dinamik bir veri tabanıdır. Bu veri tabanı, 5 Mart 1970'ten günümüze kadar yayımlanmış 197 katalog ve 145 bağımsız çalışmadan derlenen tayfsal ve fotometrik verileri içermektedir. Tez kapsamında kullanılan örneklem kaynaklara ait PN G (PN, "Planetary Nebulae", G ise "Galactic Coordinates") tanımlaması, sağ açıklık (α), dik açıklık (δ), Galaktik boylam (l) ve enlem (b), büyük ve küçük çap ($''$), Ana sınıf ve alt sınıf morfolojik bilgileri ve uzaklık verileri Çizelge 3.1'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.1. Tez çalışmamızda kullanılan GB'lerin genel özelliklerini içeren bilgiler.

HASH ID	PN G	Kaynak İsim	Sağ Açıklık (J2000)	Dik Açıklık (J2000)	Galaktik Boylam (<i>l</i>) (deg)	Galaktik Enlem (<i>b</i>) (deg)	Büyük Çap (<i>''</i>)	Küçük Çap (<i>''</i>)	Ana Sınıf	Alt Sınıf	<i>R</i> _{geo} (kpc)
11	000.1-01.1	M 3-43	267,6	-29,42	0,12	-1,15	3,5	2,7	E	-	6,84
13	000.1-05.6	H 2-40	272,13	-31,61	0,15	-5,62	18,3	16,9	E	a	5,66
14	000.1+17.2	PC 12	250,97	-18,95	0,17	17,25	2,3	2,2	B	m	7,82
17	000.1-02.3	Bl 3-10	268,84	-29,96	0,2	-2,34	7,2	6,9	R	a	6,7
19	000.2-01.9	M 2-19	268,44	-29,73	0,23	-1,93	20	-	B	-	9,03
20	000.2-04.6	Wray 16-363	271,18	-31,05	0,26	-4,64	6,4	-	E	m	6,85
22	000.3-04.6	M 2-28	271,26	-30,97	0,36	-4,66	5,5	-	E	-	6,8
23	000.3+12.2	IC 4634	255,39	-21,83	0,36	12,21	20,5	6,6	B	m	2,46
25	000.3-02.8	M 3-47	269,43	-30,04	0,39	-2,83	9	8	R	-	8,67
26	000.4-01.9	M 2-20	268,61	-29,60	0,41	-1,99	6	-	B	-	10,47
27	000.4-02.9	M 3-19	269,58	-30,01	0,48	-2,93	7,2	6,6	R	-	7,63
29	000.5+01.9	JaSt 17	264,88	-27,46	0,55	1,92	9,1	6,6	E	-	1,46
30	000.5-03.1	KFL 1	269,81	-30,05	0,55	-3,12	8	7,9	R	-	7,69
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

HASH veri tabanında, 09 Temmuz 2025 itibarıyla, toplam 11392 kaynak bulunmaktadır; bunların 1072'si Samanyolu Gökadası dışında yer almaktadır⁴. Bu kaynakların gökyüzündeki dağılımı, Şekil 3.2'de Aitoff projeksiyonu ile sunulmuştur.



Şekil 3.2. HASH veri tabanındaki tüm kaynakların Aitoff projeksiyonundaki dağılımı (09 Temmuz 2025). Güney yarı kürede -30 derecelik Galaktik enlem kuşağındaki kümelenen GB'ler LMC ve SMC uydı gökadalarmızda yer almaktadır.

HASH veri tabanı ayrıca, her kaynak için PN G tanımlaması, galaktik koordinatlar, sınıflandırma bilgisi, katalog referansları, açılal boyutlar, morfolojik alt sınıflar ve farklı dalga boylarındaki akı ölçümleri dâhil olmak üzere 36'ya kadar farklı parametre sunmaktadır. Bu parametreler üç ana başlık altında toplanabilir: gözlemsel özellikler, radyo dalga boyundaki (2–36

⁴ Şekil 3.3'te HASH veri tabanı arayüzünde yer alan seçim penceresi görülmektedir. Bu pencerede, Samanyolu dışındaki 1072 GB'nin LMC, SMC ve diğer gökadalardaki dağılımları gösterilmektedir.

cm) akı değerleri ve kızılötesi dalga boyundaki (1,2–500 μm) akı değerleri. Bu sınıflandırma, kaynakların fiziksel ve morfolojik analizlerinin yapılmasına olanak tanımaktadır. Veri tabanının kullanıcı arayüzüne ait genel görünüm Şekil 3.3'te verilmiştir.

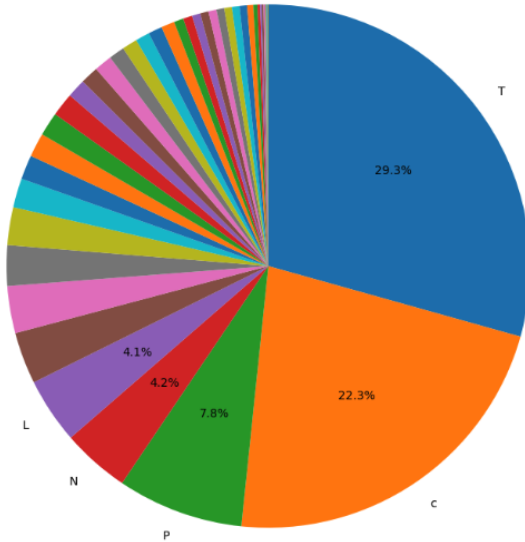
PNC	Name	Phase	RAJ2000	DECJ2000	Glon	Glat	MajDiam	MinDiam
116.0-04.8	IPHASX J000021.4+572207	L	00:00:21.39	57:22:07.7	116.06195	-4.82001	22.0	16.0
116.7+08.2	Abell 86	T	00:01:31.0	70:42:29.92	118.79495	8.23861	70.0	70.0
117.8+01.6	IRAS 00032+6348	P	00:05:53.5	64:05:15.61	117.98044	1.65467		
115.8-13.5	SDr 141	T	00:10:21.67	+48:47:11.91	115.99300	-13.53090	252.0	164.0
117.5-05.3	Dr 27	L	00:11:03.42	+57:10:36.30	117.45669	-5.26510	540.0	
119.4+09.9	Abell 1	T	00:12:55.0	69:10:23.99	119.49953	6.55870	47.0	47.0
120.0+09.9	NGC 40	T	00:13:01.0	72:31:19.09	120.01620	9.86807	56.0	34.0
119.2+04.6	Ts 10	T	00:13:33.8	67:18:03.96	119.28001	-4.68628	13.0	7.0
118.0+08.6	PN W 2	T	00:18:42.2	53:52:20.03	118.09155	-4.68967	5.2	5.2
119.3+00.3	BV 5-1	T	00:19:58.7	62:59:01.68	119.36800	0.32993	42.0	10.0
119.9+01.8	Pa J0027.0+6051	P	00:27:3.8	+60:51:14.4	119.96677	-1.87734	30.0	30.0
119.6+06.1	Hu 1-1	T	00:28:15.6	55:57:54.72	119.66990	-6.79968	8.0	5.0
120.4+01.3	Ou 2	T	00:30:56.74	61:24:34.3	120.48212	-1.36471	76.0	
120.2+06.3	Sh 2-176	T	00:31:48.6	57:22:58.37	120.27740	-5.38766	660.0	600.0
121.7+11.4	Hu 2	L	00:33:57.40	+74:18:40.00	121.72708	11.48027	120.0	96.0
108.4+76.1	BoBn 1	T	00:37:16.0	-13:42:58.46	108.37087	-76.18578	2.2	1.5
121.6+03.5	We 1-1	T	00:38:54.05	66:23:49.3	121.67507	3.55588	22.0	20.0
122.1+04.9	Abell 2	T	00:45:34.7	57:57:34.88	122.15193	-4.90318	36.5	30.0
118.8+74.7	NGC 246	T	00:47:03.3	-11:52:19.06	118.86345	-74.70908	260.0	227.0
122.8+00.3	IPHASX J005123.2+631059	P	00:51:23.2	63:10:59.09	122.82622	0.31133	47.0	30.9
124.3+07.7	WeSB 1	L	01:00:54.10	55:04:00.0	124.29903	-7.77996	185.0	175.0
123.6+09.9	Pa 154	P	01:01:24.94	72:45:52.5	123.68199	9.90737	75.0	55.0
124.0+09.9	KLSS 2-7	T	01:02:24.5	65:46:32.81	124.05833	2.92803	20.0	17.0
125.4+08.9	Dr 36	L	01:07:40.04	+53:52:24.02	125.35202	-8.92213	162.0	126.0
300.7+43.8	DeGaPe 83	L	01:13:30.93	-73:09:42.00	300.71698	-43.87151	6.0	

Şekil 3.3. HASH veri tabanı kullanıcı arayüzü.

HASH veri tabanındaki nesneler; doğrulanmış GB'ler (T), muhtemel (L) ve olası (P) GB'ler, yeni adaylar (c), GB olmadığı belirlenen kaynaklar (N), süpernova kalıntıları (SNR), H II bölgeleri, gökadarlar (G) ve diğer nesneler olmak üzere toplam 45 farklı sınıf altında toplanmıştır. Bu sınıfların tanımları ve karşılıkları Çizelge 3.2'de sunulmuş, veri tabanındaki yüzdelik dağılımları ise Şekil 3.4'te solda pasta grafiği, sağda ise yüzdelik değerler şeklinde görselleştirilmiştir.

Çizelge 3.1. HASH veri tabanındaki kaynakların sınıflandırma listesi ve Türkçe karşılığı.

Kod	İngilizce Açıklama	Türkçe Açıklama
T	True PN	Doğrulanmış Gezegenimsi Bulutsu
L	Likely PN	Muhtemel Gezegenimsi Bulutsu
P	Possible PN	Olası Gezegenimsi Bulutsu
agb	AGB Star	AGB Yıldızı
agb?	AGB Star candidate	AGB Yıldızı Adayı
q	Artefact	Yapay Nesne (Artefakt)
Be*	Be Star	Be Yıldızı
Be?	Possible Be Star	Olası Be Yıldızı
CV*	Cataclysmic Variable Star	Kataklizmik Değişen Yıldız
cir	Circumstellar Matter	Yıldız Çevresi Maddesi
Cl*	Cluster of Stars	Yıldız Kümesi
CGb	Cometary Globule	KuyrukluYıldız Benzeri Bulutsu
Em*	Emission Line Star	Emisyon Çizgili Yıldız
?Em*	Possible Emission Line Star	Olası Emisyon Çizgili Yıldız
EmO	Emission Object	Emisyon Nesnesi
G	Galaxy	Gökada
G?	Possible Galaxy	Olası Gökada
HH	Herbig-Haro Object	Herbig-Haro Nesnesi
HH?	Possible Herbig-Haro Object	Olası Herbig-Haro Nesnesi
HII	HII Region	HII Bölgesi
o	Interesting Object	İlginç Nesne
iISM	Ionized ISM	İyonize Yıldızlararası Madde
c	New Candidates	Yeni Adaylar
X	Not PN	Gezegenimsi Bulutsu Değil
N	Not PN (check)	Gezegenimsi Bulutsu Değil (Kontrol Gerekir)
ooun	Object of unknown nature	Bilinmeyen Doğaya Sahip Nesne
s	Objects to check	Kontrol Edilmesi Gereken Nesneler
a	PAGB/Pre-PN	PAGB / Ön-Gezegenimsi Bulutsu
b	Possible PrePN	Olası Ön-Gezegenimsi Bulutsu
ev?	Possible Transient Event	Olası Geçici Olay
ev	Transient Event	Geçici Olay
e	RCrB/eHe/LTP	RCrB/eHe/LTP Türü Yıldız
RNe	Reflection Nebula	Yansıma Bulutsusu
r	RV Tau	RV Tauri Türü Yıldız
star	Star	Yıldız
SNR	SuperNova Remnant	Süpernova Kalıntısı
SR?	Supernova Remnant Candidate	Olası Süpernova Kalıntısı
Sy*	Symbiotic Star	Simbiyotik Yıldız
Sy?	Symbiotic Star Candidate	Olası Simbiyotik Yıldız
test	Test Object	Test Nesnesi
k	Transition Object	Geçiş Nesnesi
WD*	White Dwarf / Hot Subdwarf	Beyaz Cüce / Sıcak Alt Cüce
Y*O	Young Stellar Object	Genç Yıldız Nesnesi
Y*?	Young Stellar Object Candidate	Olası Genç Yıldız Nesnesi



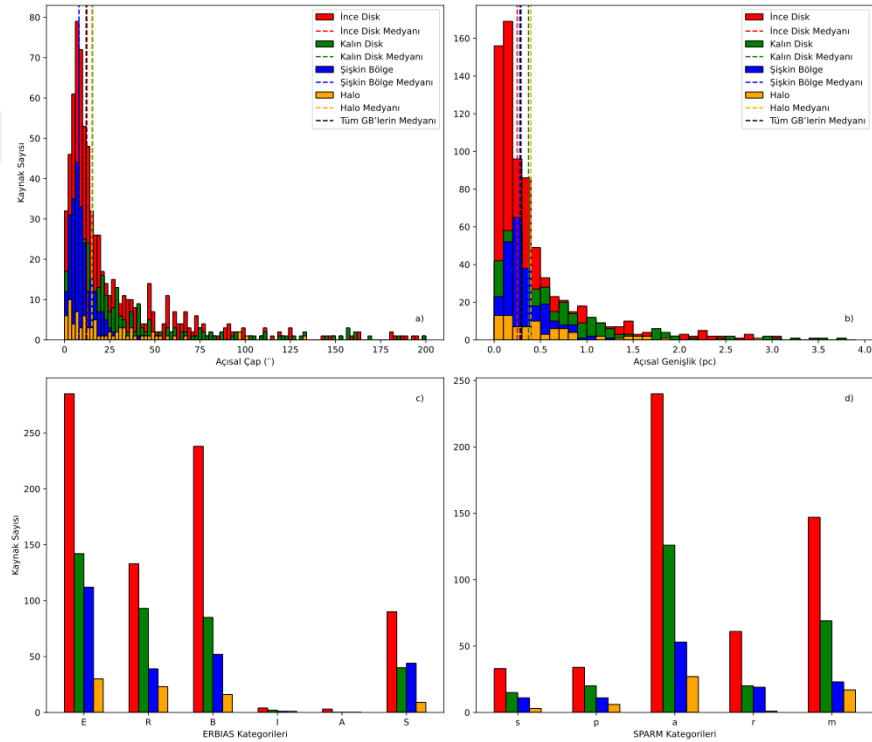
Statü	%	Statü	%	Statü	%	Statü	%
T	29.36	cir	1.48	e	0.59	HH	0.16
c	22.31	G?	1.46	?Em*	0.56	CGb	0.11
P	7.79	q	1.45	SR?	0.52	Be*	0.11
N	4.18	ooun	1.16	iISM	0.51	Y*O	0.08
L	4.06	a	1.11	WD*	0.5	EmO	0.07
Cl*	3.2	Sy?	1.1	SNR	0.48	agb?	0.03
HII	2.91	r	0.97	CV*	0.47	ev?	0.03
b	2.5	s	0.94	o	0.47	test	0.03
star	2.34	X	0.87	Y*?	0.46	agb	0.03
G	1.8	RNe	0.86	HH?	0.38	NS	0.02
Em*	1.5	Sy*	0.83	k	0.25		

Şekil 3.4. HASH veri tabanındaki kaynakların sınıflandırmaların yüzdelik dağılımı. Sağ tarafta verilen çizelgede Statü kodlarının karşılıkları Çizelge 3. 1’de verilmiştir.

Bu tez kapsamında, 8 Aralık 2023 itibarıyla HASH veri tabanında doğrulanmış GB (True PN) olarak sınıflandırılan 2591 kaynak (28 Ağustos 2025 itibarıyla 2787 GB) analiz edilmiştir. Bu kaynaklara ait toplam 4925 tayf, 45 farklı çalışmadan derlenmiş olup, Perl dilinde yazılmış bir script aracılığıyla esnek görüntü aktarım sistemi (Flexible Image Transport System; *.fits) formatında

indirilmiş ve işlenmiştir. Kullanılan tayf verileri yalnızca optik (400-700 nm) dalga boyu bölgesini kapsamaktadır. HASH, yalnızca büyük teleskoplardan değil, aynı zamanda 20 cm çapındaki amatör teleskoplarla elde edilen gözlemleri de içermektedir. Ayrıca daha büyük teleskoplardan sağlanan yüksek çözünürlüklü verilerle veri çeşitliliğini artırmaktadır.

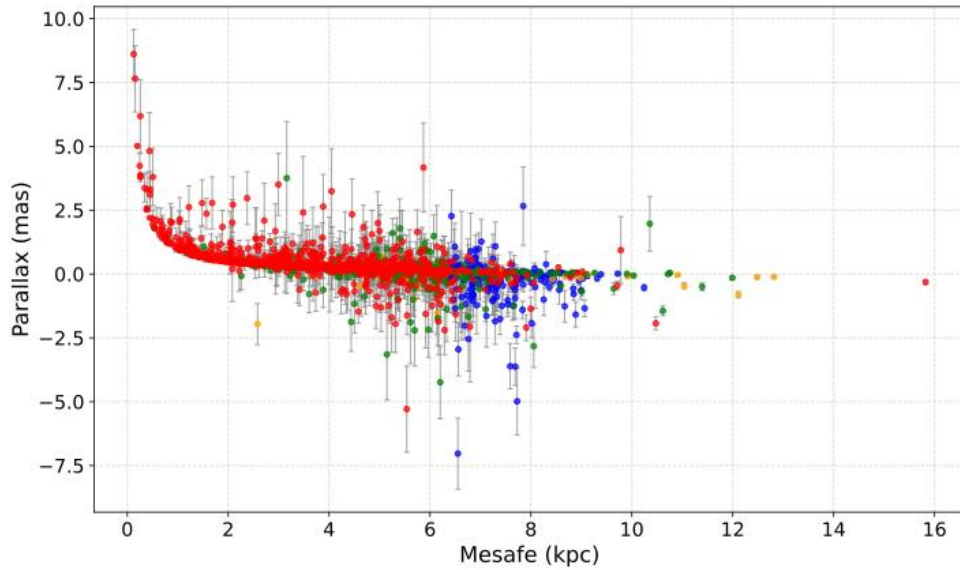
HASH'te yer alan GB'ler, fiziksel ve morfolojik özelliklerine göre ayrıntılı biçimde sınıflandırılmıştır. Morfolojik ana sınıflandırma ERBIAS sistemi ile yapılmaktadır: Eliptik (E), Yuvarlak (R), Bipolar (B), Düzensiz (I), Asimetrik (A) ve Yarı yıldızsal (S). Buna ek olarak, iç yapıya ilişkin alt sınıflar (sparm) da kullanılmaktadır. Bu alt sınıflar arasında nokta simetrisi (p), iyi tanımlanmış halka veya halkasal yapı (r), birden fazla kabuk ya da dış yapı (m), tek taraflı parlaklık artışı/asimetri (a) ve çözölmüş iç yapı (s) gibi özellikler yer almaktadır. Söz konusu sınıflandırma, Parker ve ark. (2006) tarafından önerilen şemaya dayanmaktadır. Şekil 1.1'de verilen 22 GB örneği, farklı morfolojik tipleri ve boyut ölçeklerini görsel olarak yansıtmaktadır. Şekil 3.5'te ise bu sınıflamaların dağılımı ile kaynakların açisal boyutları (yay saniyesi) ve fiziksel boyutları (pc) histogramlar hâlinde sunulmuştur. Histogramların renklendirilme biçimi Bölüm 3.2.1'de açıklanmış olup, tez çalışması boyunca aynı renklendirme standardı kullanılmıştır.



Şekil 3.5. GB'lerin açisal çap/genişlik ve morfolojik özelliklerinin dağılımı.

3.1.2. Gaia EDR3 Veri Tabanı

Gaia Erken Veri Sürümü 3⁵ (Gaia Early Data Release 3; Gaia EDR3), Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından yürütülen Gaia misyonu kapsamında 3 Aralık 2020 tarihinde yayımlanan bir ara veri sürümüdür. Bu sürüm, tam Gaia Veri Sürümü 3⁶ (Gaia Data Release; Gaia DR3) öncesinde, kullanıcılara geliştirilmiş astrometrik ve fotometrik veriler sunmak amacıyla hazırlanmıştır. Gaia EDR3 uzaklık kataloğu, 25 Temmuz 2014 ile 28 Mayıs 2017 tarihleri arasında toplanan 34 aylık gözlem verilerine dayanmaktadır ve referans dönemi J2016,0 olarak belirlenmiştir. Söz konusu sürüm, yaklaşık 1,81 milyar gök cismini kapsamaktadır. Bunlardan yaklaşık 1,4 milyar kaynak için gökyüzündeki konum (α , δ), paralaks ve özdevinim (proper motion) bilgilerini içeren tam astrometrik çözüm sağlanmıştır. Gaia EDR3 uzaklık kataloğu, önceki Gaia sürümlere (Gaia DR1 ve Gaia DR2) kıyasla hem doğruluk hem de veri kapsamı açısından önemli iyileştirmeler içermekte olup (Bailer-Jones ve ark., 2021; bundan sonra BJ21 olarak anılacaktır), veriler RUWE (Renormalized Unit Weight Error) gibi yeni kalite göstergeleriyle sunulmuştur. Gaia EDR3 fotometrik sistemi, Gaia DR1 ve DR2'ye kıyasla yeniden kalibre edilmiş olup, kullanıcıların karşılaştırmalı çalışmalarda bu farkı dikkate almaları gerekmektedir.



Şekil 3.6. GB'lerin paralaks ve paralaks hatalarının uzaklığa göre dağılımı.

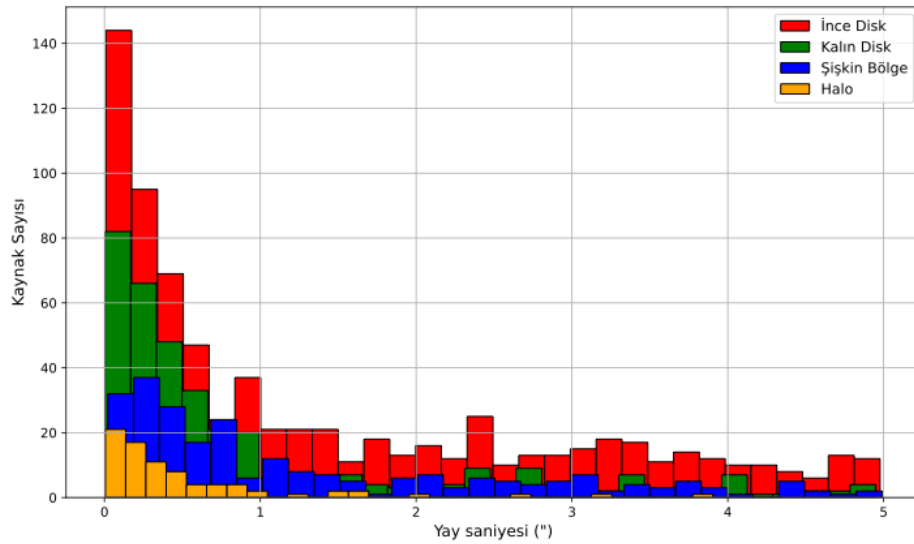
Gaia EDR3 verileri temel alınarak oluşturulan EDR3 uzaklık kataloğu, gök cisimlerinin uzaklıklarının güvenilir bir şekilde tahmin edilmesini sağlayan önemli bir tamamlayıcı veri tabanıdır. Gaia tarafından doğrudan ölçülen paralaks değerleri, özellikle küçük veya negatif değerlerde yüksek belirsizlik içerdiğinden, doğrudan ters çevirme yöntemi ($1/\text{paralaks}$) ile yapılan uzaklık

⁵ <https://vizier.cds.unistra.fr/viz-bin/VizieR-3?-source=I/350/gaiaedr3>

⁶ <https://vizier.cds.unistra.fr/viz-bin/VizieR-3?-source=I/355>

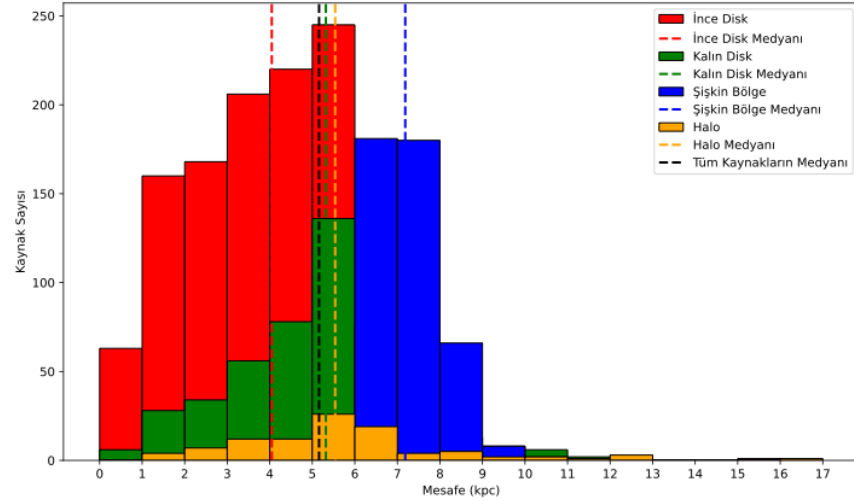
hesaplamaları genellikle güvenilir sonuçlar vermemektedir. Bu durum, düşük sinyal-gürültü oranına sahip, yani uzak veya zayıf kaynaklar için özellikle geçerlidir.

EDR3 uzaklık kataloğu, bu sınırlamaları aşmak amacıyla Bayesyen istatistiksel çerçevede modellenmiş uzaklık tahminleri sunmaktadır. Katalogda her kaynak için en olası uzaklık değeri, ilgili güven aralıkları (ör. %5–%95), olasılık yoğunluk fonksiyonu ve kullanılan önbilgi (prior) modeli yer almaktadır. Bu sayede araştırmacılar, yıldızların üç boyutlu dağılımı, galaktik yapı analizi ve yıldızlararası ortam çalışmaları gibi alanlarda daha güvenilir ve istatistiksel olarak anlamlı uzaklık verilerini kullanabilmektedir. Katalog, özellikle Gaia paralaks verilerinden elde edilen doğrudan hesaplamalara kıyasla çok daha kararlı ve sistematik belirsizliklerden arındırılmış uzaklık değerleri sunması açısından önemlidir.



Şekil 3.7. GB'lerin Gaia kataloğundaki konum arasındaki uzaklık bilgisi.

Buna ek olarak, daha ayrıntılı analizler için Gaia EDR3 kataloğundan paralaks ve paralaks belirsizlik değerleri de alınmıştır. Paralaks ölçüm hatalarının, uzaklık arttıkça artma eğiliminde olduğu ve bunun daha uzak kaynaklar için uzaklık tahminlerinin güvenilirliğini azalttığı bilinmektedir (BJ21). Şekil 3.6'da görüldüğü gibi, yakın kaynaklarda paralaks ve buna bağlı belirsizlikler arasında paralaks değerlerinin uzaklık arttıkça azalan bir dağılım gözlemlenmektedir.



Şekil 3.8. GB'lerin uzaklık (R_{geo}) dağılımları.

Bu çalışmada kullanılan veriler HASH veri tabanından elde edilen gezegenimsi bulutsulara ait tayf gözlemleri ve Gaia EDR3 veri tabanından alınan uzaklık ölçümleridir. HASH verileri, çizgi akıllarının analizi yoluyla fiziksel ve kimyasal parametrelerin hesaplanmasında temel girdi olarak kullanılmıştır. Gaia EDR3 uzaklık bilgileri ise söz konusu bulutsuların Gökada içerisindeki konumlarının ve bileşenlere dağılımlarının belirlenmesinde kritik rol oynamaktadır. Materyal bölümünde özetlenen bu veriler üzerine inşa edilen yöntemsel yaklaşım, bir sonraki bölümde detaylandırılacağı üzere, uzaklık verileri ile Gökada bileşen sınıflandırmalarının yapılmasını, tayf verilerinden sönmüleme katsayılarının ve fiziksel koşulların (elektron sıcaklığı ve elektron yoğunluğu) hesaplanmasını ve sonrasında kimyasal bollukların türetilerek element bollukları arasındaki ilişkilerin incelenmesini kapsamaktadır.

3.2. Metot

3.2.1. Gökada Bileşenlerin Belirlenmesi

GB'lerin uzaklık bilgileri, CSPNe ve/veya nebuların özelliklerinden elde edilebilir (KH22). Bu çalışmada, HASH veri tabanında listelenen GB'lerin Galaktik koordinatlarını Gaia EDR3 (BJ21) kataloğunda sorguladık. Her GB için, güvenilir eşleştirme sağlamak amacıyla 5" yarıçapı içindeki en yakın Gaia EDR3 kaynağını seçtik. Şekil 3.7'de, Galaktik koordinatlara dayalı olarak her GB ile eşleşen Gaia EDR3 kaynağı arasındaki açısal ayrımın histogramını göstermektedir. Tez çalışmasında kullanılan R_{geo} değerleri, BJ21 tarafından sağlanan geometrik uzaklık tahminlerinin medyanını temsil eder ve Çizelge 3.2'in en sol sütununda kpc cinsinden verilmiştir. R_{geo} dağılımı Şekil 3.8'de ayrı olarak gösterilmiştir.

Samanyolunun bileşenlerinin ayrımı hakkında yapılan çalışmalarda net bilgiler henüz tam olarak ortaya konmamıştır. Yan ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada, ince ve kalın disklerin sınırları sırasıyla 200–369 pc ve 600–1.000 pc olarak verilmiştir. Buna karşın, Ak (2021)'deki

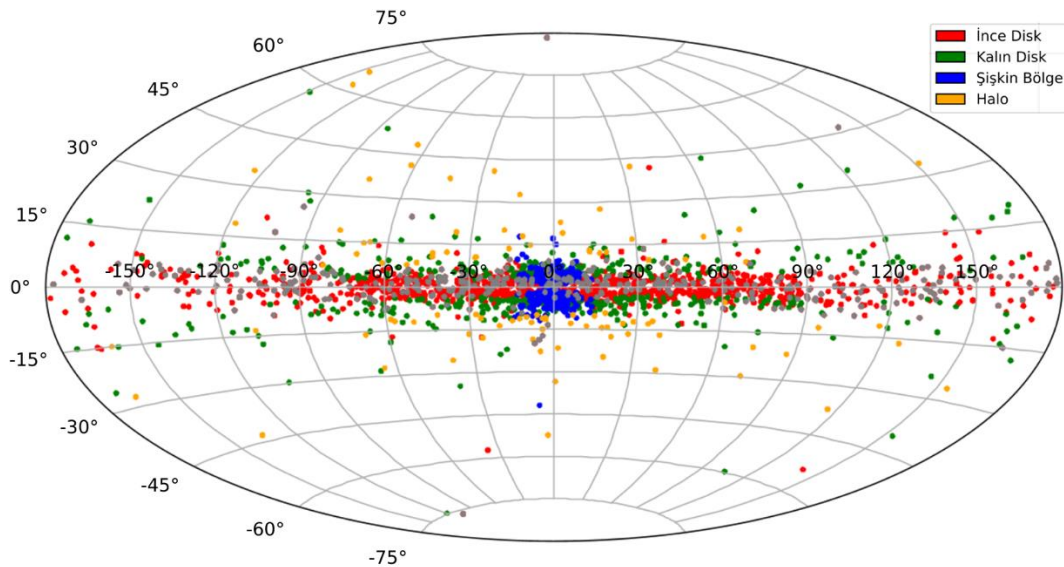
çalışmasında ince ve kalın diskleri sırasıyla 250–400 pc ve 600–1.500 pc aralığında tanımlamıştır. Ayrıca, Zoccali ve Valenti (2016) ile Ak (2021), Gökadamızın bar benzeri yapıyı dikkate alarak, şişkin bölgesinin yarıçapının sırasıyla 2,5–3 kpc ve 1,5–4,5 kpc olabileceğini vurgulamışlardır. Gökadamın halo bölgesinin uzunluğu ise 3 ila 100 kpc arasında değişebilmektedir (Ak, 2021). Ek olarak, Reid ve ark. (2014) çalışmalarında Güneş’in Galaktik merkezden uzaklığını $R_0 = 8,34 \pm 0,16$ kpc olarak belirlemişlerdir.

Tez çalışmamızda, Gökadamızın bileşenleri; Galaktik düzlemden 400 pc’ye kadar olan bölge ince disk, 400–1.000 pc aralığı kalın disk ve Güneş’ten 8,34 kpc uzaklıkta 2 kpc yarıçaplı şişkin bölge olarak kabul edilmiştir. Bu sınırların dışındaki kaynaklar halo kaynakları olarak sınıflandırılmıştır. GB’lerin uzaklık ve Galaktik boylam bilgileri dikkate alınarak, Galaktik diskten uzaklık Denklem 3.1’de verilen küçük açı formülü ile hesaplanmıştır:

$$G_{dist} = ((b/3600) \times 206265) \times R_{geo} \quad (3.1)$$

Burada, G_{dist} GB’nin diskten uzaklığı (pc), b Galaktik enlem (derece) ve R_{geo} GB’nin Güneş’e olan uzaklığı (pc) olarak tanımlanmıştır.

Bu yöntemle, Gökadamızdaki GB’lerin dağılımı Ek 2’de verilen kod ile oluşturularak Şekil 3.9’da gösterilmiştir. 2591 GB için kaynak sayıları şişkin bölge, ince disk, kalın disk, halo ve bilinmeyen uzaklıklar açısından sırasıyla 437, 1222, 475, 98 ve 359 olarak belirlenmiştir. Bilinmeyen uzaklığa sahip GB’ler tez çalışmasında analizlere dahil edilmemiştir.



Şekil 3.9. GB’lerin bileşenlerine göre Aitoff projeksiyonundaki dağılımı.

GB’lerin Gökada bileşenlerine göre sınıflandırılması, sonraki aşamalarda yapılacak fiziksel ve kimyasal analizler için gerekli temel çerçeveyi sağlamaktadır. Bu sınıflandırma üzerine tayf verilerinden ışınım çizgi oranlarının elde edilmesine geçilmektedir.

3.2.2. ALFA (Automated Line Fitting Algorithm)

Otomatik çizgi uyumlandırma algoritması: ALFA⁷ (sürüm: 2.21d, Wesson, 2016), FORTRAN 95 ile geliştirilmiş bir tayfsal analiz yazılımıdır ve hem düz metin hem de FITS formatındaki veri dosyalarını okuyabilmektedir. 1 boyutlu FITS dosyaları, düz metin dosyaları gibi işlenirken, üç boyutlu veri küplerinde her pikseldeki tayf ayrı ayrı analiz edilir; bu özellikle büyük veri kümelerinin doğrudan işlenmesine olanak tanır. Işınım çizgilerini ölçmeden önce, tayftaki sürekli dalga (continuum) bileşeninin çıkarılması gerekmektedir. ALFA bu işlemi, tayf boyunca 100 veri noktası genişliğinde bir pencere kullanarak akı değerlerinin %25’lik dilimini hesaplayan bir yöntemle gerçekleştirir. Manuelde belirtildiği gibi, eğer analiz edilecek tayf önceden continuum’dan arındırılmışsa, ALFA’ya bu seçenek verilerek continuum uyumlaması atlanabilir. Bu yaklaşım, manuel yöntemlerde sıkça rastlanan fiziksel olmayan dalgalanmaları engelleyerek daha tutarlı sonuçlar sağlar. Işınım çizgilerinin uyumu için ALFA, manuel ölçümlerin zahmetli ve hata yapmaya açık doğasına alternatif olarak, kullanıcının sağladığı çizgi listesinden sentetik bir tayf üretir ve her çizgiye Gauss profili uygular. Daha sonra bu profillerin parametrelerini optimize etmek için genetik algoritma kullanılır. Bu otomatik yaklaşım, yoğun çizgili tayflarda ölçüm süresini önemli ölçüde azaltmakta ve insan hatasını en aza indirmektedir.

ALFA, çizgi profillerinin parametreleri optimize edilip uyum sağlandıktan sonra, sürekli bileşeni çıkarılmış tayf üzerinden en iyi uyumu belirler ve bu uyumun kalıntılarını kullanarak ışınım çizgilerinin akı belirsizliklerini tahmin eder. Gürültü tahmini, 20 birimlik hareketli bir pencerede en yüksek iki kalıntının dışlanmasıyla gerçekleştirilir; bu, güçlü çizgilerden kaynaklanan sapmaların belirsizlik hesaplarını etkilemesini önler. Her çizgi için sinyal-gürültü oranı, tepe akısının o dalga boyundaki kalıntıların RMS (karekök ortalama kare) değerine oranı olarak tanımlanır. Daha sonra, bu sinyal-gürültü oranına dayalı olarak, çizgi akısı belirsizliği Denklem 3.2’de verilen Lenz ve Ayres (1992) tarafından tanımlanan ampirik bir formülle hesaplanır.

$$\frac{F}{\sigma_F} = 0.67 \left(\frac{FWHM}{\Delta\lambda} \right)^{1/2} \left(\frac{f_o}{\sigma_f} \right) \quad (3.2)$$

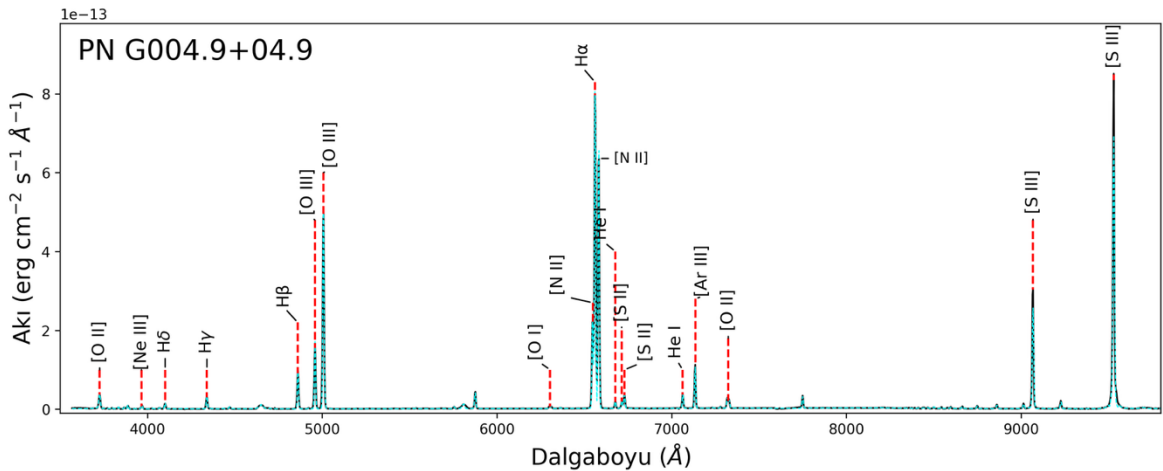
Belirsizliklerin hesaplanmasının ardından, sinyal-gürültü oranı 3’ün altında kalan tüm çizgiler analizden çıkarılır. Geriye kalan ışınım çizgileri, hem yayına uygun LaTeX formatında bir çizelgeye hem de Bölüm 3.2.3’de anlatılan kod yazılımı ile uyumlu düz metin dosyasına kaydedilir. Ayrıca, orijinal tayf, sentetik uyum, tahmini sürekli bileşen, sürekli çıkarılmış tayf, (varsa) gökyüzü tayfi ve kalıntılar dahil olmak üzere görsel veri içeren üçüncü bir çıktı dosyası da üretilir.

⁷ <https://nebulousresearch.org/codes/alfa/>

GB'lerin ışıınım mekanizmalarını incelemek için tayfsal veri analizi kritik öneme sahiptir. Çalışmamızda, büyük veri kümelerindeki ışıınım çizgilerini ölçmek için ALFA yazılımı kullanılmıştır. Unix tabanlı işletim sistemlerinde çalıştırılan ALFA, çizgi akılarını üç aşamalı bir süreç ile belirler. İlk aşamada, tayftaki süreklilik bileşeni çıkarılır; ikinci aşamada, tayfın çözünürlüğü ve kaynağın hızı saptanır; üçüncü ve son aşamada ise gözlemlenen tayf pencerelere bölünerek, sentetik çizgiler ile gözlemlenen ışıınım çizgileri eşleştirilir. Bu yöntem, GB tayflarında bulunan olası ışıınım çizgilerinin güvenilir bir şekilde tanımlanmasını sağlar.

ALFA yazılımı çalıştırılırken bazı çeşitli seçenekler sunmaktadır ve bu seçenekler ALFA kullanma kılavuzunda⁸ detaylı olarak açıklanmıştır. Ancak herhangi bir seçenek belirtilmediğinde, yazılım varsayılan ayarlarla (*bash* terminalinde: *alfa *.fits*) çalışmaktadır.

Tez çalışmamızda ALFA, 5σ eşik değeri kullanılarak ve çıktı dosyalarını *txt* dosya formatında olsun diye çalıştırılmıştır. Öncelikle, HASH veri tabanından indirilen FITS uzantılı dosyalar tek bir klasörde toplanmış ve *bash* terminalinde “*for i in \$(ls *.fits); do alfa \$i -of text -n 5; done*” komutu ile tüm veriler işlenmiştir. Çıktı verileri, Bölüm 3.2.3’te açıklanan yöntemle uygun olacak şekilde düzenlenmiştir. Örnek olarak, Şekil 2.1’de verilen PN G004.9+04.9 kaynağına ait gözlemlenen ve sentetik tayfın uyumu Şekil 3.10’da gösterilmektedir. Elde edilen akı değerleri ve çizgi hataları, $H_\beta = 100$ olacak şekilde normalize edilerek belirlenmiştir.



Şekil 3.10. PN G004.9+04.9’a ait tayf (siyah düz çizgi) ve sentetik tayf (kesikli mavi çizgi) karşılaştırması. GB’ler için önemli ışıınım çizgileri verilmiştir.

Tez çalışmamızda, ALFA kodu kullanılarak toplam 4925 tayf analiz edildi. Ancak bazı tayflar yalnızca mavi veya kırmızı bölgeyi kapsadığından, optik spektrumun tamamını içermeyen bu veriler sönümleme katsayısı gibi bazı fiziksel parametrelerin hesaplanmasında yetersiz kalmaktadır.

⁸ <https://nebulousresearch.org/codes/alfa/manual>

Özellikle sönümleme katsayısının belirlenebilmesi için, tayfta hem mavi bölgede H_{β} hem de kırmızı bölgede H_{α} çizgisinin bulunması gerekmektedir.

GB örneklemini iyileştirmek amacıyla aşağıdaki seçim kriterleri uygulanmıştır:

- (a) Hem mavi hem de kırmızı bölgelerde ışınım çizgileri içeren tayflar,
- (b) 6562,77 Å'daki H_{α} çizgisi için her GB'nin tayfında en yüksek sinyal-gürültü oranına sahip veri,
- (c) Mevcut R_{geo} verilerinin bulunması.

Bu kriterler sonucunda toplam 1449 GB tayfı seçilmiş ve sonraki analizler bu kaynaklar üzerinden yapılmıştır. Seçilen kaynakların tayfsal kapsama aralığı, medyan başlangıç dalga boyu 4003,58 Å ve medyan bitiş dalga boyu 7329,67 Å olarak belirlenmiştir. Toplamda, tüm GB örneklerinde 437 farklı ışınım çizgisi tanımlanmıştır.

Seçilen GB'lerin Gökada bileşenlerine dağılımı ise şu şekildedir: 248 kaynak şişkin bölgede, 756 kaynak ince disk, 365 kaynak kalın disk ve 80 kaynak halo'da yer almaktadır. Çizelge 3.3, 3.4 ve 3.5, GB örnekleminin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek için gerekli ışınım çizgileri ve akı ve hata değerleri sunmaktadır.

Çizelge 3.2. Örneklem GB'lerin $H_{\beta}=100$ ölçeğinde 3726,03 Å - 4711,37 Å aralığındaki ışınım çizgi akı oranları.

HASH ID	PN G	[O II] $\lambda 3726,03$	[O II] $\lambda 3728,82$	O II $\lambda 4089,29$	H _{δ} $\lambda 4101,74$	H _{γ} $\lambda 4340,47$	[O III] $\lambda 4363,21$	He I $\lambda 4471,50$	O II $\lambda 4649,13$	O II $\lambda 4661,63$	[Ar IV] $\lambda 4711,37$
11	000.1-01.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	000.1-05.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	000.1+17.2	-	-	-	-	26,50 $\pm$ 0,10	-	4,07 $\pm$ 0,41	-	-	-
17	000.1-02.3	-	-	-	25,50 $\pm$ 2,60	-	-	-	-	-	-
19	000.2-01.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	000.2-04.6	-	-	-	-	21,00 $\pm$ 0,10	-	-	-	-	-
22	000.3-04.6	-	-	-	6,47 $\pm$ 0,51	21,10 $\pm$ 0,10	1,72 $\pm$ 0,27	5,25 $\pm$ 0,59	-	-	-
23	000.3+12.2	-	-	-	19,30 $\pm$ 1,70	41,80 $\pm$ 0,10	4,40 $\pm$ 0,51	3,43 $\pm$ 0,34	-	-	1,97 $\pm$ 0,01
25	000.3-02.8	-	-	-	-	125,00 $\pm$ 1,00	-	-	-	-	-
26	000.4-01.9	-	-	-	-	23,10 $\pm$ 0,10	-	-	-	5,79 $\pm$ 1,13	6,79 $\pm$ 0,01
27	000.4-02.9	-	-	-	-	31,60 $\pm$ 0,10	-	-	-	-	-
29	000.5+01.9	-	-	-	-	27,80 $\pm$ 0,10	-	-	-	-	-
30	000.5-03.1	-	-	-	4,91 $\pm$ 0,57	21,00 $\pm$ 0,10	2,69 $\pm$ 0,53	4,28 $\pm$ 0,55	-	-	-
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Çizelge 3.3. Örneklem GB'lerin $H_{\beta}=100$ ölçeğinde 4740,17 Å – 6300,34 Å aralığındaki ışınım çizgi akı oranları.

HASH ID	PN G	[Ar IV] $\lambda 4740,17$	[O III] $\lambda 4958,91$	[O III] $\lambda 5006,84$	[Ar III] $\lambda 5191,82$	[Cl III] $\lambda 5517,66$	[Cl III] $\lambda 5537,60$	[O I] $\lambda 5577,34$	[N II] $\lambda 5754,60$	He I $\lambda 5875,66$	[O I] $\lambda 6300,34$
11	000.1-01.1	-	373 $\pm$ 60	1,130 $\pm$ 190	-	-	2,78 $\pm$ 0,48	-	16,80 $\pm$ 2,00	18,40 $\pm$ 2,70	7,01 $\pm$ 1,13
13	000.1-05.6	-	140 $\pm$ 13	438 $\pm$ 23	-	-	-	-	-	-	-
14	000.1+17.2	-	110 $\pm$ 14	386 $\pm$ 49	-	-	-	-	26,30 $\pm$ 2,30	8,63 $\pm$ 0,97	3,19 $\pm$ 0,44
17	000.1-02.3	-	524 $\pm$ 39	1,660 $\pm$ 90	-	-	12,90 $\pm$ 2,30	-	14,00 $\pm$ 1,70	-	-
19	000.2-01.9	-	72 $\pm$ 6	259 $\pm$ 13	-	-	-	-	48,90 $\pm$ 2,30	-	-
20	000.2-04.6	-	224 $\pm$ 33	706 $\pm$ 99	-	-	-	66,00 $\pm$ 4,00	41,60 $\pm$ 7,35	65,80 $\pm$ 4,00	20,10 $\pm$ 3,15
22	000.3-04.6	-	221 $\pm$ 25	690 $\pm$ 71	-	1,95 $\pm$ 0,30	-	-	19,39 $\pm$ 0,66	22,10 $\pm$ 2,00	-
23	000.3+12.2	-	348 $\pm$ 26	1,110 $\pm$ 60	-	1,00 $\pm$ 0,19	-	-	19,80 $\pm$ 1,20	-	-
25	000.3-02.8	-	216 $\pm$ 22	771 $\pm$ 21	-	-	-	-	77,60 $\pm$ 8,90	68,20 $\pm$ 9,10	-
26	000.4-01.9	-	215 $\pm$ 16	697 $\pm$ 38	4,57 $\pm$ 0,64	3,07 $\pm$ 0,35	-	4,62 $\pm$ 0,92	61,60 $\pm$ 3,50	10,90 $\pm$ 1,30	-
27	000.4-02.9	-	165 $\pm$ 14	608 $\pm$ 10	-	-	-	-	38,00 $\pm$ 3,55	-	-
29	000.5+01.9	-	189 $\pm$ 9	672 $\pm$ 23	-	-	19,00 $\pm$ 3,20	-	144,00 $\pm$ 6,00	-	-
30	000.5-03.1	-	240 $\pm$ 38	769 $\pm$ 120	-	1,79 $\pm$ 0,33	-	-	38,29 $\pm$ 0,32	-	-
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Çizelge 3.4. Örneklem GB'lerin $H_{\beta} = 100$ ölçeğinde 6363,78 Å - 7135,80 Å aralığındaki ışınım çizgi akı oranları.

HASH ID	PN G	[O I] $\lambda 6363, 78$	[N II] $\lambda 6548, 10$	H_{α} $\lambda 6562, 77$	[N II] $\lambda 6583, 50$	He I $\lambda 6678, 16$	[S II] $\lambda 6716, 44$	[S II] $\lambda 6730, 82$	[Ar V] $\lambda 7005, 67$	[Ar III] $\lambda 7135, 80$
11	000.1-01.1	7.01 $\pm$ 1.13	153 $\pm$ 25	277 $\pm$ 42	393 $\pm$ 65	6 $\pm$ 1.01	18.20 $\pm$ 3.25	32.40 $\pm$ 5.60	3.41 $\pm$ 0.65	41.00 $\pm$ 8.25
13	000.1-05.6	-	115 $\pm$ 22	285 $\pm$ 38	384 $\pm$ 61	-	50.10 $\pm$ 10.00	45.90 $\pm$ 8.95	-	32.50 $\pm$ 7.15
14	000.1+17.2	3.19 $\pm$ 0.44	-	1,100 $\pm$ 165	381 $\pm$ 50	10 $\pm$ 1.73	-	25.80 $\pm$ 3.10	-	47.60 $\pm$ 6.30
17	000.1-02.3	-	-	829 $\pm$ 59	41 $\pm$ 5	-	-	12.90 $\pm$ 2.60	29.10 $\pm$ 3.90	77.90 $\pm$ 8.50
19	000.2-01.9	-	-	1,260 $\pm$ 105	624 $\pm$ 48	14 $\pm$ 2.20	44.70 $\pm$ 6.80	70.50 $\pm$ 6.10	-	48.60 $\pm$ 5.05
20	000.2-04.6	20.10 $\pm$ 3.15	328 $\pm$ 12	752 $\pm$ 37	978 $\pm$ 53	24 $\pm$ 1.65	80.40 $\pm$ 9.10	81.60 $\pm$ 11.60	-	-
22	000.3-04.6	-	186 $\pm$ 4	298 $\pm$ 6	578 $\pm$ 9	5 $\pm$ 0.33	35.50 $\pm$ 1.30	45.90 $\pm$ 1.70	2.06 $\pm$ 0.38	30.70 $\pm$ 1.30
23	000.3+12.2	-	-	425 $\pm$ 31	15 $\pm$ 1	5 $\pm$ 0.42	-	-	-	15.90 $\pm$ 1.25
25	000.3-02.8	-	689 $\pm$ 70	1,220 $\pm$ 80	2,210 $\pm$ 100	-	207.00 $\pm$ 14.00	184.00 $\pm$ 16.00	-	162.00 $\pm$ 11.00
26	000.4-01.9	-	-	1,250 $\pm$ 90	466 $\pm$ 29	22 $\pm$ 1.90	20.60 $\pm$ 2.70	36.30 $\pm$ 2.70	-	119.00 $\pm$ 8.00
27	000.4-02.9	-	-	649 $\pm$ 73	63 $\pm$ 11	11 $\pm$ 1.15	-	7.20 $\pm$ 1.10	-	31.40 $\pm$ 4.40
29	000.5+01.9	-	-	3,080 $\pm$ 140	-	77 $\pm$ 3.60	-	-	16.60 $\pm$ 1.55	239.00 $\pm$ 10.00
30	000.5-03.1	-	-	845 $\pm$ 7	40 $\pm$ 2	17 $\pm$ 0.66	8.58 $\pm$ 0.46	8.31 $\pm$ 0.59	1.43 $\pm$ 0.25	43.37 $\pm$ 0.97
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Tanısal Grafikler

GB'ler, H II bölgeleri ve SNR gibi iyonize gaz yapıları nesneler, benzer tayfsal ışınım özellikleri gösterebilirler. Bu benzerlik, özellikle dar bant ışınım çizgilerinde belirgin olup, bu kaynakların sınıflandırılmasını güçleştirebilir. Bununla birlikte, bu kaynaklarda baskın olan iyonizasyon mekanizmaları—fotoiyonizasyon (GB ve H II bölgelerinde), çarpışmalı iyonizasyon ve şoklar (SNR'lerde)—farklı fiziksel koşullara işaret eder. Bu nedenle, iyonlaşma mekanizmalarının ayırt edilmesinde, bu mekanizmaların tayfsal izlerini taşıyan tanı diyagramları önem taşır (KH22; Frew ve Parker, 2010).

Tez çalışmamızda, HASH veri tabanında GB olarak sınıflandırılan kaynakları doğrulamak amacıyla çizgi oranlarına dayalı tanı diyagramları kullanılmıştır. Bu doğrulama, yalnızca morfolojik veya katalog bilgilerine değil, aynı zamanda fiziksel temelli tayfsal analizlere de dayanmaktadır. Özellikle SMB (Sabbadin-Minello-Bianchini; Sabbadin ve ark., 1977) ve BPT (Baldwin-Phillips-Terlevich; Baldwin ve ark., 1981) diyagramları, iyonlaşma mekanizmasını yansıtan karakteristik çizgi oranları kullanılarak oluşturulmuştur.

Ek olarak, Frew ve Parker (2010) tarafından sunulan diyagramlarda daha fazla H II bölgesi ve SNR kaynağı eklenmiş, bu sayede GB'lerin ayrımı daha güvenilir hâle getirilmiştir. Ayrıca, Sabin ve ark. (2013) tarafından güncellenen yeni SMBb diyagramı da kullanılmıştır; bu sayede modern veri kümelerindeki GB'lerin doğrulanması için daha kapsamlı ve güncel referans sağlanmıştır.

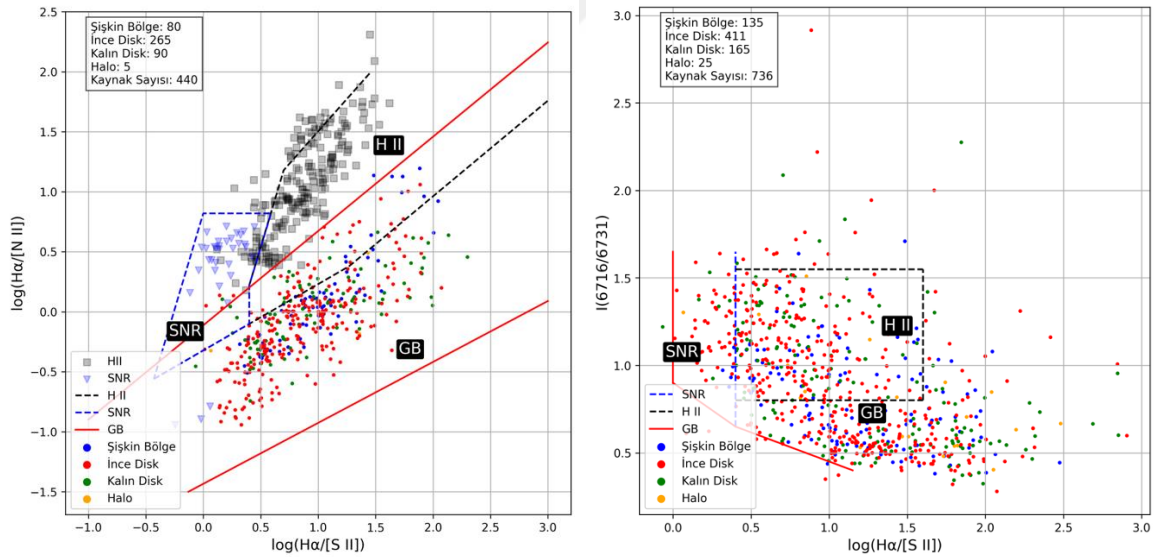
Bu diyagramlarda kullanılan ışınım çizgileri— H_{β} ($\lambda 4861$), [O III] ($\lambda 5007$), H_{α} ($\lambda 6563$), [N II] ($\lambda \lambda 6548, 6584$) ve [S II] ($\lambda \lambda 6716, 6731$)—GB'lerin fiziksel koşulları hakkında bilgi sağlar. Bu çizgiler üzerinden elde edilen $\log(F(X)/[N II])$ ve $\log(F(X)/[S II])$ oranları, GB'lerdeki tipik düşük iyonlaşma koşullarını yansıtarak, H II bölgeleri veya SNR'lerden ayırt etmek amacıyla kullanılır. Özellikle azot ve kükürt çizgileri iyonlaşma derecesi ve kimyasal zenginleşme geçmişi hakkında bilgi verir (Mollá ve ark., 2017; Parker ve ark., 2022).

SMBa/SMBb ve BPTa/BPTb tanı diyagramlarında seçilen kaynakların konumları, bunların GB doğasını desteklemekte ve sınıflandırmalarını güçlendirmektedir. Bu yönüyle çalışma, yalnızca GB sınıflamasını doğrulamakla kalmamakta, aynı zamanda tayfsal teşhis diyagramlarının geniş örneklerdeki geçerliliğini de ortaya koymaktadır. Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de Temiz (2022)'de

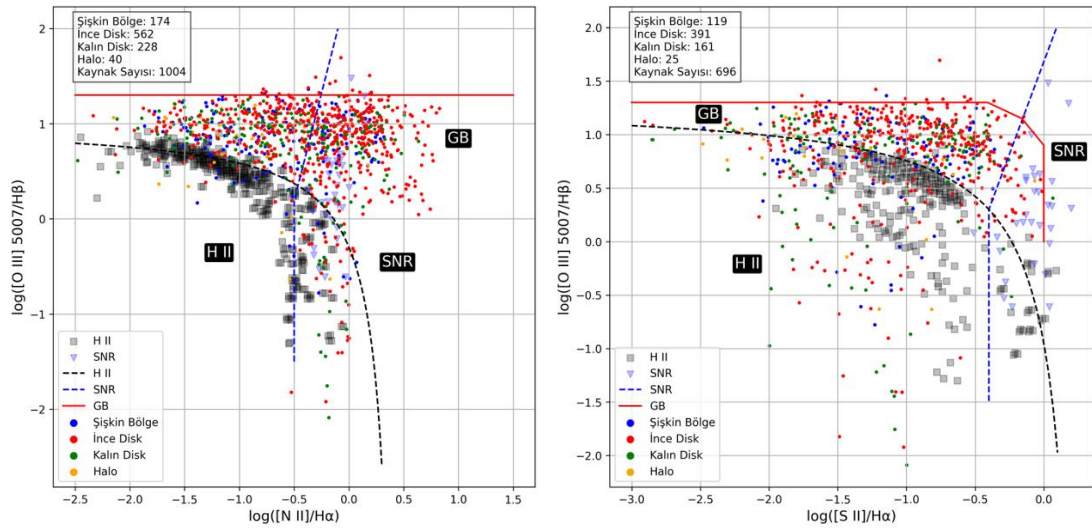
sunulan SMB ve BPT tanı diyagramlarını güncelleyerek Ek 3'te yer alan kod ile oluşturularak, farklı ionizasyon kaynaklarına sahip kaynakların ayrımını görsel olarak ortaya koymaktadır. Grafiklerde kullanılan ışınım çizgi oranları için Bölüm 3.2.3'te açıklanan sönümlleme düzeltme işlemi yapılmış ışınım çizgi akıları kullanılarak belirlenmiştir. Bu grafiklerde siyah kareler H II bölgelerini, ters mavi üçgenler ise SNR'leri temsil etmektedir. Renkli noktalar ise GB kaynaklarını göstermekte olup, her bir renk GB'nin ait olduğu galaktik bileşeni ifade etmektedir: kırmızı ince disk, yeşil kalın disk, mavi şişkin bölge ve turuncu halo bölgelerine karşılık gelir.

Diyagramlarda ayrıca, düz kırmızı çizgi GB'ler için öngörülen sınır bölgesini, kesikli mavi çizgi SNR sınırını ve kesikli siyah çizgi ise H II bölgelerinin sınırını göstermektedir. Bu sınırlar, literatürde tanımlanmış tipik ışınım çizgi oranlarına dayalı olarak çizilmiş olup (örneğin Sabbadin ve ark., 1977; Frew ve Parker, 2010), kaynakların tayfsal özelliklerine göre hangi fiziksel mekanizmanın baskın olduğunu ayırt etmeye olanak tanımaktadır.

Bu grafiklerdeki dağılım, tez çalışmasındaki örnek GB'lerin büyük çoğunluğunun tanı diyagramlarında GB sınırları içinde yer aldığını ve bu nedenle morfolojik ya da katalog temelli sınıflandırmalarının tayfsal olarak da doğrulandığını göstermektedir. Ayrıca galaktik bileşenlere göre farklı renklerle gösterilen dağılım, GB'lerin yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda galaktik yapı içerisindeki konumlarına göre de farklı tayfsal özellikler sergileyebileceğine işaret etmektedir.



Şekil 3.11. SMB tanı diyagramları. Siyah kareler H II bölgelerini, ters mavi üçgenler SNR'leri, renkli noktalar ise GB'leri temsil eder. Renkler, GB'lerin galaktik bileşenlerini gösterir (kırmızı: ince disk, yeşil: kalın disk, mavi: şişkin bileşen, turuncu: halo). Kırmızı çizgi GB, kesikli siyah çizgi H II, kesikli mavi çizgi SNR sınırını belirtir.



Şekil 3.12. BPTa ve BPTb tanı diyagramları. Semboller ve renkler Şekil 2 ile aynıdır. Diyagramlar, farklı iyonizasyon mekanizmalarına göre kaynak ayrımını gösterir.

Tanı grafikleri yardımıyla GB'lerin diğer kaynaklardan farklı ışınım çizgi oranları gösterdiğini büyük örneklem grubuyla ortaya konmuştur. Bu değerlendirmelerin ardından çizgi oranları kullanılarak sönümleme katsayıları ile fiziksel ve kimyasal özellikler hesaplanmaktadır.

3.2.3. NEAT (Nebular Empirical Analysis Tool)

Fotoiyonize bulutsulardan elde edilen kimyasal bolluk tayinleri, birçok astrofiziksel süreçlerde önemli rol oynamaktadır (KH22). Özellikle GB ve Wolf-Rayet (WR) bulutsuları gibi evrimleşmiş yıldızların çevresindeki bulutsular, yıldız nükleosentezi ve evrimiyle ilgili teorilere önemli kısıtlamalar sağlar (Maeder 1992; Karakas ve ark. 2009; Magrini, Stanghellini ve Goncalves 2011; Stock, Barlow ve Wesson 2011). Bu tür bulutsuların kimyasal bileşimi, galaktik kimyasal evrim modellerinde temel bir parametre olan yıldız evrimlerinin belirlenmesinde de büyük önem taşır. Öte yandan, Galaktik ve ekstragalaktik H II bölgeleri, ISM'nin mevcut kimyasal bileşimini yansıtarak bu modellerin çıktılarının test edilmesinde kritik veriler sunar (Pagel 1997; Matteucci 2003).

Fotoiyonize bulutsular üzerine yapılan çalışmalar, bu alanda köklü bir geçmişe sahiptir (örn. Huggins ve Miller 1864). Ancak hâlâ yanıtlanmamış önemli sorular bulunmaktadır. Bu sorulardan biri, CEL'ler ve RL'lerden elde edilen kimyasal bolluklar arasında gözlenen ve zaman zaman oldukça büyük boyutlara ulaşabilen tutarsızlıklardır (Wesson, Liu ve Barlow 2005; Liu ve ark. 2006; García-Rojas ve Esteban 2007; Tsamis ve ark. 2008). Gözlemsel sonuçların kuramsal modellerle ne ölçüde uyumlu olduğunun anlamlı bir şekilde değerlendirilebilmesi hem gözlemlere hem de modellere ilişkin belirsizliklerin dikkatle tahmin edilmesini gerektirir. Bu tür belirsizliklerin güvenilir biçimde belirlenmesi genellikle kolay değildir.

Bu çalışmada, GB'lerden elde edilen tayfsal veriler fiziksel özellikleri ve kimyasal bollukları belirlemede bunun yanı sıra yıldızlararası sönümlemeyi hesaplamada kullanılır. Gökadadaki yıldızlararası gaz ve toz sönümü, bu verileri doğrudan etkileyebilir. Gökadadaki gaz ve tozun neden olduğu yıldızlararası sönüm, bu tayfsal verileri doğrudan etkileyebildiğinden, H_{β} sönüm katsayısı $c(H_{\beta})$ (fiziksel özellikler başlığı altında nasıl hesaplandığı verilmiştir), sönümleme düzeltmeleri için kilit bir parametre olarak kullanılır (Frew ve ark., 2016). Bu çalışmada, sönüm düzeltmesi uygulanmış ışınım çizgi akılarından elde edilen fiziksel ve kimyasal parametreler, *Nebular Empirical Analysis Tool* (NEAT) kodu (v2.3e⁹; Wesson ve ark., 2012; bundan sonra W12) aracılığıyla hesaplanmıştır. NEAT, iyonik ve element bolluklarını belirlerken, girdi çizgi akılarından rastgele ölçüm hatalarını binlerce simülasyonla istatistiksel olarak yayarak türetilen parametrelere yönelik belirsizlik tahminleri üretmektedir. NEAT kodu çıktısında Ek 1'de yer alan FITS okuma kodu ile GB'lere ait toplam dört sayfada sonuçlar elde edilmektedir. İlk sayfada NEAT kılavuzundaki parametrelerden hangilerinin kullanıldığı ve ne zaman çalıştırıldığı, ikinci sayfada ışınım çizgi akı oranları, sönümleme düzeltilmiş akılar ve atomik geçiş bilgileri, üçüncü sayfada ise 164 satırdan oluşan sönümleme katsayısı, iyonik bolluklar, element bollukları ve diğer parametreler yer almaktadır. Son sayfada ise atomik (N II, O II) çizgilerin uyumunu gösteren grafikler bulunmaktadır. Bu sayede her bir tayf için iyonik ve toplam element bollukları ile bunların istatistiksel belirsizlikleri elde edilmiştir. Herhangi bir ön işlem veya özel yapılandırma gerektirmeksizin, NEAT kodu doğrudan ALFA kodu çıktılarıyla uyumlu olacak şekilde çalışmakta ve tüm varsayılan parametrelerle sorunsuz şekilde işlemektedir. Sönümleme düzeltmesinde uygulanacak yasalar arasından – Howarth (1983), Cardelli, C. ve Mathis (1989), Fitzpatrick ve Massa (1990), LMC (Howarth, 1983) ve SMC (Prevot ve ark., 1984) yasaları – GB çalışmalarında en çok kullanılan Fitzpatrick ve Massa (1990) sönümleme yasası tercih edilmiştir. Ayrıca, türetilen parametrelerin istatistiksel güvenilirliğini artırmak amacıyla, NEAT kodu her bir spektrum için 10000 yinelemeli (iterasyonlu) olarak çalıştırılmıştır. Bunun dışında kalan tüm ayarları için NEAT'in varsayılan değerleri dikkate alınmıştır.

Bu bağlamda, ALFA kodu ile ölçülen 2591 kaynağa ait 4925 tayf verisinden 4788 tayfa ait çizgi oranları kullanılarak dalga boyu, akı ve hata bilgilerini içeren üç sütunlu .txt uzantılı veriler NEAT'e girdi olarak sağlanmıştır. Unix tabanlı bir işletim sisteminde NEAT kodu, bash terminal 'for i in \$(ls *.fits_lines); do neat -i \$i -e Fitz -n 10000 -u 10000; done' komut döngüsü ile çalıştırılmıştır. NEAT kodu çıktısında Ek 1'de yer alan FITS okuma kodu ile GB'lere ait toplam 4 sayfada sonuçları vermektedir. İlk sayfada kodunun kullanma klavuzundaki parametrelerden hangileri kullanıldığı ve ne zaman çalıştırıldığı ikinci sayfada ışınım çizgi akı oranları ve sönümleme düzeltilmiş akılar ve atomik geçiş bilgileri yer alırken üçüncü sayfada toplam 164 satırdan oluşan sönümleme katsayı, iyonik bolluk, element bolluk ve diğer parametrelerin yer aldığı ve son sayfada ise atomik (N II, O

⁹ <https://github.com/rwesson/NEAT>

II) çizgilerin uyumunu gösteren sayfalar bulunmaktadır. Bu sayede her bir tayf için iyonik ve toplam element bollukları ile bunların istatistiksel belirsizlikleri elde edilmiştir. Ancak bu yöntem yalnızca rastgele (istatistiksel) hataları dikkate almakta ve akı kalibrasyonu, çizgi karışımı gibi sistematik etkileri kapsamamaktadır. Dolayısıyla, hesaplanan belirsizlikler yalnızca alt sınır olarak değerlendirilmelidir.

Fiziksel Özellikler

Herhangi bir bolluk analizinin ilk adımı, yıldızlararası sönüm için düzeltme uygulanmasıdır. Bu çalışmada kullanılan NEAT kodu, sönüm miktarını hidrojen Balmer çizgi oranlarını dikkate alarak belirlemektedir. İlk aşamada, 10000 K sıcaklık ve 1000 cm^{-3} yoğunluk için teorik H_α , H_β , H_γ ve H_δ çizgi oranları varsayılır. Bu oranlar gözlenen değerlerle karşılaştırılarak sönüm katsayısı $c(H_\beta)$ hesaplanır. Hesaplama, Denklem 3.3'te (W12; Denklem 5) Hidrojenin üç çizgi oranından elde edilen akı ağırlıklı ortalama değere dayanır.

$$c(H_\beta)_\alpha = \frac{I(H_\alpha)c(H_\beta)_\alpha + I(H_\gamma)c(H_\beta)_\gamma + I(H_\delta)c(H_\beta)_\delta}{I(H_\alpha) + I(H_\gamma) + I(H_\delta)} \quad (3.3)$$

Bu formüldeki her bir ifade ise Denklem 3.4 (W12; Denklem 6) ile elde edilir. Buradaki x ; α , γ ve δ 'yi ifade eder.

$$c(H_\beta)_x = \frac{\log\left(\frac{I(H_x)}{I_0(H_x)}\right)}{f(H_x)} \quad (3.4)$$

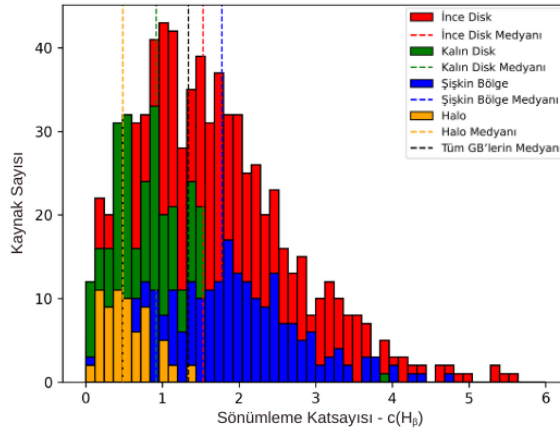
Ardından çizgi listesi bu ilk $c(H_\beta)$ değeri ile düzeltilir. Daha sonra, çizgilerden elde edilen sıcaklık ve yoğunluk değerleri kullanılarak teorik Balmer oranları yeniden hesaplanır ve $c(H_\beta)$ güncellenir. Bu işlem, doğruluğu artırmak amacıyla birkaç yineleme ile sürdürülür. Belirsizliklerin hesaplanması için Denklem 3.5 (Wesson, 2012; Denklem 7) kullanılır.

$$\frac{\Delta c(H_\beta)}{c(H_\beta)} = \left(\frac{(\Delta c(H_\beta)_\alpha)^2 + (\Delta c(H_\beta)_\gamma)^2 + (\Delta c(H_\beta)_\delta)^2}{(c(H_\beta)_\alpha + c(H_\beta)_\gamma + c(H_\beta)_\delta)^2} + \frac{\Delta I(H_\alpha)^2 + \Delta I(H_\gamma)^2 + \Delta I(H_\delta)^2}{(I(H_\alpha) + I(H_\gamma) + I(H_\delta))^2} \right)^{0.5} \quad (3.5)$$

Bu formüldeki her bir ifade ise Denklem 3.6 (W12; Denklem 8, 9) ile elde edilir. Buradaki x ; α , γ ve δ 'yi ifade eder.

$$\Delta c(H_\beta)_x = c(H_\beta)_x \times \left(\frac{\Delta I(H_x)}{I(H_x)} \right)^2 + \left(\frac{0.434x \left(\Delta \frac{I(H_x)}{I_o(H_x)} \right)}{\frac{I(H_x)}{I_o(H_x)}} \right)^2 \quad (3.6)$$

Elde edilen $c(H_\beta)$ değerleri, H_α ve H_β çizgi oranları üzerinden hesaplanmış olup, sonuçların dağılımı Şekil 3.13'te gösterilmiştir. NEAT kodu ayrıca, sistematik hatalar dışındaki istatistiksel belirsizlikleri değerlendirmek için her spektrum üzerinde 10000 yinleme ile çalıştırılmıştır. Belirsizliklerin hesaplanmasında analitik yöntem ve Monte Carlo yöntemi olmak üzere iki farklı yaklaşım mümkündür. Analitik yaklaşım, ölçülen bir değer bilinen belirsizliğinden, bu değerden türetilen fonksiyonun belirsizliğini hata yayılımı formülleri ile hesaplar ve genellikle birinci dereceden Taylor açılımına dayanır. Ancak bu yöntem, çok sayıda ara formül kullanıldığında karmaşık hale gelir, her adımda normal dağılım varsayımını içerir ve belirsizliklerin küçük olmasını gerektirir. Gözlemsel verilerde bu varsayımlar çoğunlukla sağlanmadığından, analitik yöntemle hesaplanan belirsizlikler gerçek belirsizlikleri tam olarak yansıtmayabilir. Monte Carlo yöntemi ise, ölçülen niceliğin bilinen veya makul şekilde varsayılabilen bir dağılıma sahip olduğunu kabul eder ve bu dağılımdan rastgele örnekler üreterek her örneğe ilgili fonksiyonu uygular. Elde edilen sonuçlar üzerinden ortalama, standart sapma ve dağılımın şekli doğrudan belirlenir. Bu yöntem, dağılım tipi veya belirsizlik büyüklüğü konusunda sınırlama getirmediği ve uygulanması basit olduğu için, gözlemsel verilerde genellikle analitik yöntemle göre daha güvenilir sonuçlar vermektedir.



Şekil 3.13. GB'lerin sönümlenme katsayısı $c(H_\beta)$ değerlerinin histogramı.

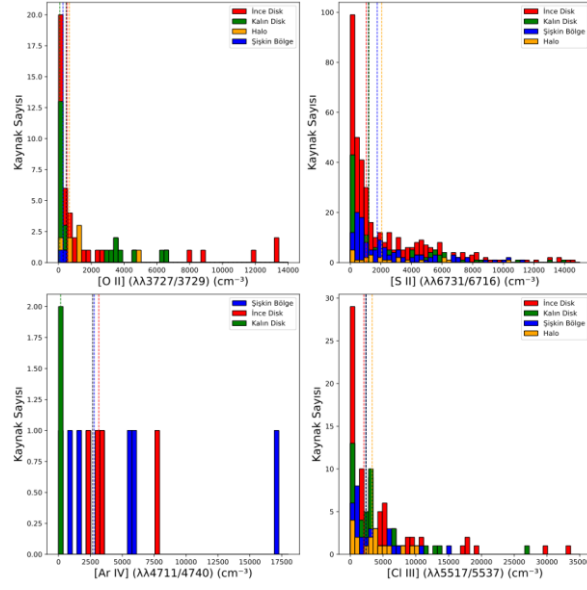
İyonize bölgelerdeki fiziksel koşulları tanımlayan elektron sıcaklığı (T_e) ve elektron yoğunluğu (N_e), bu çalışmada CEL çizgileri ve RL (He I) çizgisi kullanılarak hesaplanmıştır. Wesson ve ark (2012)'de uygulandığı gibi, her bulutsu düşük, orta ve yüksek iyonlaşma bölgelerine ayrılmış ve her bölgede sıcaklıklar ile yoğunluklar yinlemeli bir prosedürle, her tanı güvenilirliğine göre

ağırlıklandırılarak belirlenmiştir. Bu süreç şu şekilde ilerlemiştir: İlk olarak 10000 K’lik bir başlangıç sıcaklığı varsayılır, ardından ilgili bölgenin tanı çizgi oranlarından N_e hesaplanmıştır. Elde edilen yoğunluk değeri kullanılarak sıcaklık tanı çizgi oranlarından yeni bir T_e değeri türetilmiş, daha sonra tüm sıcaklık tanıların uygun şekilde ağırlıklandırılmış ortalaması alınarak N_e tekrar hesaplanmıştır. Bu güncellenmiş yoğunluk değeri ile sıcaklık yeniden belirlenmiş ve işlem, düşük, orta ve yüksek iyonlaşma bölgeleri için art arda tekrarlanmıştır. Eğer bir bölgede gerekli tanı çizgileri mevcut değilse, o bölgenin sıcaklık ve/veya yoğunluğu bir önceki bölgeden alınmıştır.

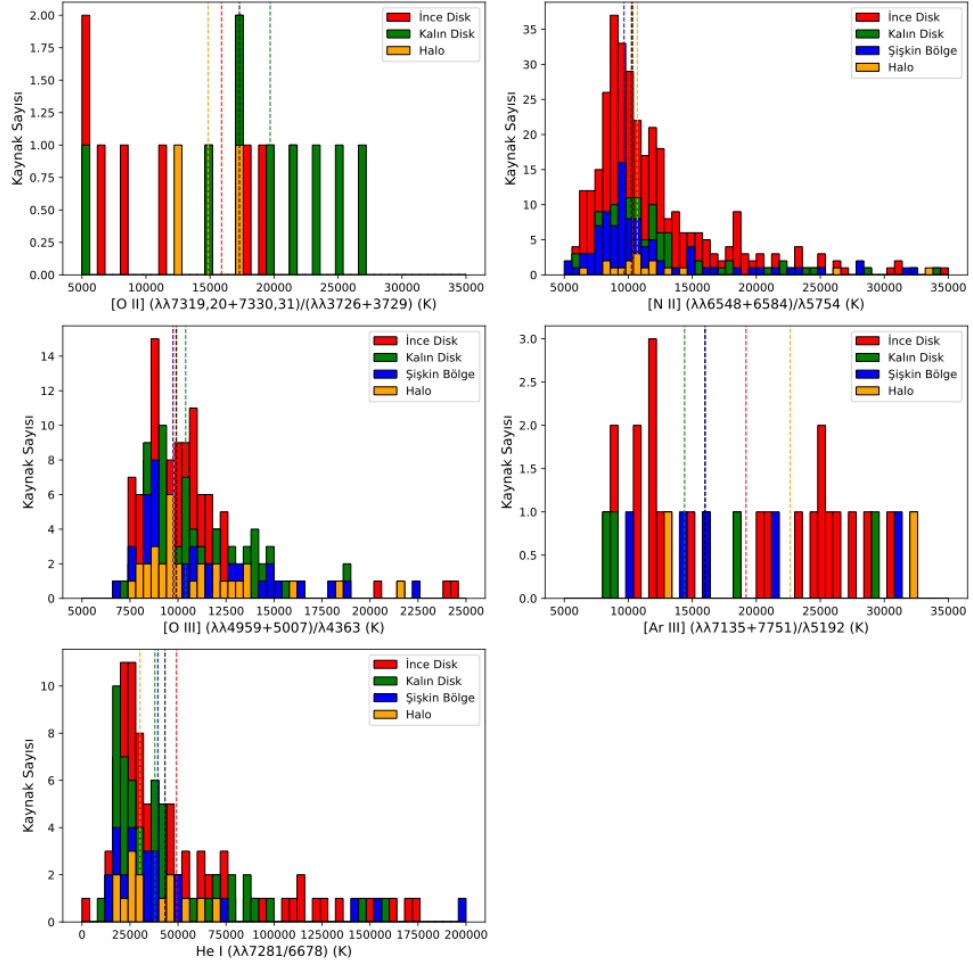
Çizelge 3.5. Fiziksel özelliklerin tanımlanması için gerekli çizgi oranları.

Elektron Yoğunluğu		Elektron Sıcaklığı	
N_e	Çizgi oranı	T_e	Çizgi oranı
[O II] yoğunluk	$\frac{\lambda 3727}{\lambda 3729}$	[N II] sıcaklık	$\frac{\lambda 6548 + \lambda 6584}{\lambda 5754}$
[S II] yoğunluk	$\frac{\lambda 6717}{\lambda 6731}$	[S II] sıcaklık	$\frac{\lambda 6717 + \lambda 6731}{\lambda 4068 + \lambda 4076}$
[Cl III] yoğunluk	$\frac{\lambda 5517}{\lambda 5537}$	[O I] sıcaklık	$\frac{\lambda 6363 + \lambda 6300}{\lambda 5577}$
[Ar IV] yoğunluk	$\frac{\lambda 4711}{\lambda 4740}$	[O III] sıcaklık	$\frac{\lambda 7319, 20 + \lambda 7330, 31}{\lambda 3726 + \lambda 3729}$
[C III] yoğunluk	$\frac{\lambda 1907}{\lambda 1909}$	[C I] sıcaklık	$\frac{\lambda 9850 + \lambda 9824}{\lambda 8727}$
[O III] yoğunluk	$\frac{\lambda 52 \text{ um}}{\lambda 88 \text{ um}}$	[O III] sıcaklık	$\frac{\lambda 4959 + \lambda 5007}{\lambda 4363}$
[Ar III] yoğunluk	$\frac{\lambda 9 \text{ um}}{\lambda 21.8 \text{ um}}$	[Ar III] sıcaklık	$\frac{\lambda 7135 + \lambda 7751}{5192}$
[S III] yoğunluk	$\frac{\lambda 18.7 \text{ um}}{\lambda 33.8 \text{ um}}$	[Ne III] sıcaklık	$\frac{\lambda 3868 + \lambda 3967}{3342}$
[Ne III] yoğunluk	$\frac{\lambda 15.5 \text{ um}}{\lambda 36.0 \text{ um}}$	[S III] sıcaklık	$\frac{\lambda 9069 + \lambda 9531}{6312}$
		[Ne III] sıcaklık	$\frac{\lambda 3868 + \lambda 3967}{15.5 \text{ um}}$
		[O III] sıcaklık	$\frac{\lambda 4959 + \lambda 5007}{52 \text{ um}}$
		He I sıcaklık	$\frac{\lambda 7281}{\lambda 6678}$

Bu yöntem sonucunda kullanılan tüm tanı çizgileri ve her iyonlaşma bölgesi için atanan ağırlıklar Çizelge 3.5’te sunulmaktadır. Bu çizelgede [O II], [S II], [Ar IV] ve [Cl III] çizgi oranlarından yoğunluk; [O II], [N II], [O III], [Ar III] ve He I çizgi oranlarından sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Gökada bileşenlerinde yer alan GB’lerin ortalama değerleri ile her bir GB’ye ait hesaplanan $c(H_\beta)$, T_e ve N_e değerleri ise Çizelge 3.6’de verilmiştir. Bu çizelgede düşük, orta ve yüksek iyonlaşma bölgelerine ait tanılardan türetilen sıcaklık ve yoğunluklar verilmiştir.



Şekil 3.14. Elektron sayı yoğunluk (N_e) histogramları.



Şekil 3.15. Elektron sıcaklık (T_e) histogramları.

Şekil 3.14, [O II] ($\lambda\lambda$ 3727/2729), [S II] ($\lambda\lambda$ 6731/6717), [Ar IV] ($\lambda\lambda$ 4711/4740) ve [Cl III] ($\lambda\lambda$ 5571/5537) çizgi oranlarından elde edilen N_e değerlerini; Şekil 3.15 ise [O II] ($(\lambda\lambda$ 7319,20 + 7330,31)/($\lambda\lambda$ 3726 + 3729)), [N II] ($(\lambda\lambda$ 6548 + 6583)/ λ 5754), [O III] ($(\lambda\lambda$ 4959 + 5007)/ λ 4363), [Ar III] ($(\lambda\lambda$ 7135 + 7751)/ λ 5192) ve He I ($\lambda\lambda$ 7281/6678) çizgi oranlarından elde edilen T_e değerlerini göstermektedir. Şekillerdeki kesikli siyah çizgi, tüm örneklem için hesaplanan medyan değerleri, renkli kesikli çizgiler ise ilgili Galaktik bileşenlerin medyan değerlerini temsil etmektedir.

Çizelge 3.6. Bileşenlere göre ortalama sönümleme katsayısı ($c(H_\beta)$), Elektron sıcaklığı (T_e) ve Elektron sayı yoğunluğu (N_e) değerleri ve örneklem GB'lere ait $c(H_\beta)$, T_e ve N_e değerleri.

		N_e , Elektron Yoğunluğu [cm^{-3}]					T_e , Elektron Sıcaklığı [K]			
		$c(H_\beta)$	[O II]	[S II]	[Cl III]	[Ar IV]	[O II]	[N II]	[O III]	[Ar III]
Tez Çalışmamız	Şişkin Bölge	$1,77 \pm 0,13$	545 ± 209	3412 ± 1076	3939 ± 1772	5210 ± 1817	-	11512 ± 1155	10987 ± 514	18462 ± 2438
	İnce Disk	$1,64 \pm 0,15$	5022 ± 2342	3347 ± 1163	5007 ± 2086	4095 ± 1853	13623 ± 2264	11968 ± 1091	10337 ± 424	18773 ± 2744
	Kalın Disk	$0,94 \pm 0,13$	2713 ± 977	3311 ± 1144	3914 ± 1780	336 ± 168	18944 ± 4684	11723 ± 1064	11019 ± 417	15618 ± 1920
	Halo	$0,44 \pm 0,12$	1300 ± 537	2735 ± 1069	4183 ± 1685	-	14850 ± 2350	12632 ± 1314	11004 ± 431	22650 ± 2625
HASH ID	PN G									
11	000.1-01.1	$3,64 \pm 0,22$	-	5520 ± 1410	-	-	-	14600 ± 750	-	-
13	000.1-05.6	$0,69 \pm 0,2$	-	448 ± 364	-	-	-	-	-	-
14	000.1+17.2	$1,81 \pm 0,26$	-	-	-	-	-	7700 ± 545	-	-
17	000.1-02.3	$1,44 \pm 0,14$	-	-	-	-	-	-	-	-
19	000.2-01.9	$2,02 \pm 0,16$	-	3070 ± 2140	-	-	-	9360 ± 700	-	-
20	000.2-04.6	$1,32 \pm 0,24$	-	707 ± 511	-	-	-	-	-	-
22	000.3-04.6	$0,04 \pm 0,02$	-	1540 ± 260	-	-	-	8860 ± 220	7780 ± 330	-
23	000.3+12.2	$0,53 \pm 0,14$	-	-	-	-	-	22300 ± 3200	8780 ± 290	-
25	000.3-02.8	$1,97 \pm 0,19$	-	382 ± 229	-	-	-	-	-	-
26	000.4-01.9	$2,08 \pm 0,13$	-	4280 ± 865	-	-	-	8270 ± 450	-	24800 ± 3550
27	000.4-02.9	$1,19 \pm 0,18$	-	-	-	-	-	22400 ± 4900	-	-
29	000.5+01.9	$3,23 \pm 0,10$	-	-	-	-	-	-	-	-
30	000.5-03.1	$1,46 \pm 0,24$	-	753 ± 315	-	-	-	21500 ± 1650	8490 ± 525	-
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Kimyasal Özellikler

GB'lerin kimyasal bolluklarının belirlenmesi hem yıldızlararası ortamın bileşimini anlamak hem de merkezi yıldızın evrimsel aşamalarını değerlendirmek açısından büyük önem taşımaktadır (KH22). Son yıllarda bu alanda çeşitli yazılımlar geliştirilmiş olsa da kırmızılaşma düzeltmeleri, uygun sıcaklık ve yoğunlukların seçimi, gözlemlenemeyen iyonik türler için düzeltmeler ve belirsizlik analizleri hâlâ tartışmalı konular arasında yer almaktadır (Stasińska, 2023). Tez çalışmasında, He, N, O, Ne, S, Cl ve Ar elementlerinin iyonik ve toplam bollukları, ışınım çizgi akıları ile bunlara ilişkin belirsizlikler temel alınarak NEAT yazılımı aracılığıyla elde edilmiştir. Belirsizlikler yalnızca akı ölçümlerindeki istatistiksel yayılımı yansıtmakta olup, sistematik hatalar dikkate alınmadığından alt sınır değerleri temsil etmektedir.

H için rekombinasyon verileri Storey ve Hummer (1995), He için Smits (1996) kaynaklarından alınmıştır. He bollukları, çarpışma etkilerini hesaba katmak amacıyla Kingdon ve Ferland (1995) formülleri kullanılarak düzeltilmiştir. Daha ağır elementler için atomik veriler dış veri dosyalarında tutulmakta olup, bu çalışmada CHIANTI 5.2 (Landi ve ark., 2006) veri seti kullanılmıştır. Ancak, CHIANTI 5.2'de O^+ (Kisielius ve ark., 2009) ve muhtemelen S^{2+} verilerinde hata bulunduğundan, bu iyonlar için sırasıyla Zeippen (1982) geçiş olasılıkları ve Pradhan (1976) çarpışma kesitleri ile Mendoza ve Zeippen (1982) geçiş olasılıkları ve Mendoza (1983) çarpışma kesitleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.7. Element bolluklar için kullanılan iyonlar. ICF, iyonizasyon düzeltme katsayısı.

Element	ICF	İyonlar			
He/H (RL)	—	He ⁺ /H	He ²⁺ /H		
N/H	icf(N)	N ⁺ /H	N ²⁺ /H	N ³⁺ /H	N ⁴⁺ /H
O/H	icf(O)	O ⁰ /H	O ⁺ /H	O ²⁺ /H	O ³⁺ /H
Ne/H	icf(Ne)	Ne ⁺ /H	Ne ²⁺ /H	Ne ³⁺ /H	Ne ⁴⁺ /H
S/H	icf(S)	S ⁺ /H	S ²⁺ /H		
Cl/H	icf(Cl)	Cl ⁺ /H	Cl ²⁺ /H	Cl ³⁺ /H	
Ar/H	icf(Ar)	Ar ²⁺ /H	Ar ³⁺ /H	Ar ⁴⁺ /H	
C/H	icf(C)	C ⁰ /H	C ⁺ /H	C ²⁺ /H	C ³⁺ /H

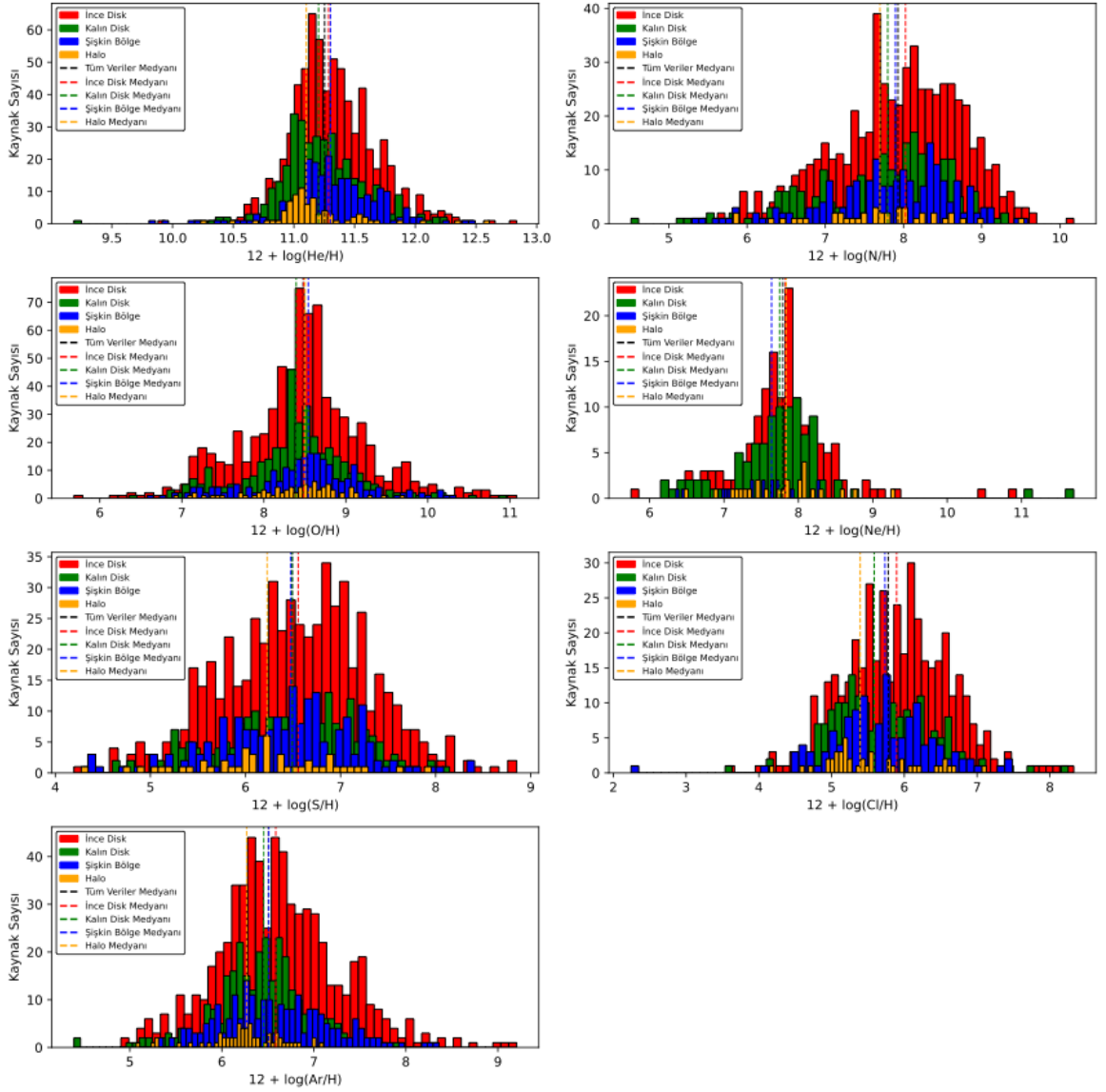
İyonik bolluklar, iyonlaşma potansiyellerine uygun olarak seçilen sıcaklık ve yoğunluk değerleri ile CEL’lerden hesaplanmıştır. Bir iyondan birden fazla çizgi mevcutsa, gözlenen çizgi akılarına göre ağırlıklandırılmış ortalama kullanılmıştır. RL’ler ise helyum ve ağır elementlerin iyonik bolluklarının hesaplanmasında kullanılmış, çoklu çizgiler içeren multipletler için önce toplam yoğunluktan iyonik bolluk bulunmuş, ardından multiplet ortalaması alınmıştır.

Toplam element bollukları, gözlemlenemeyen iyonlaşma aşamalarını telafi etmek amacıyla Delgado-Inglada ve ark (2014) iyonizasyon düzeltme faktörleri (ICF) şeması kullanılarak elde edilmiştir. Monte Carlo yaklaşımı ile akı belirsizliklerinin bolluklara etkisi 10000 yineleme ile istatistiksel olarak örneklenmiş, böylece özellikle [O III] sıcaklıklarında örnekleme belirsizliğinin ~1 K düzeyinde olduğu görülmüştür. Tunçbilek (2024) Gökadamızda yer alan 12 GB’nin element bolluğu araştırmasında, Delgado-Inglada ve ark (2014) ve diğer ICF düzeltme şemalarının karşılaştırması ve iyonik bolluklardan element bollukların nasıl hesaplandığını incelemiştir.

Tez çalışmamızda elde edilen GB bolluk değerleri Çizelge 3.8 verilmiştir. Şekil 3.16’de ise Galaktik bileşenlere göre gruplandırılmış element bolluk değerlerinin histogramları yer almaktadır. Bu şekillerde kesikli siyah çizgi tüm örneklem için hesaplanan medyanı, renkli kesikli çizgiler ise ilgili Galaktik bileşenlerin medyan değerlerini ifade etmektedir.

Çizelge 3.8 GB’lerin $12+\log(X/H)$ oranında gösterilen element bolluk değerleri.

HASH ID	PN G	He/H	N/H	O/H	Ne/H	S/H	Cl/H	Ar/H
11	000.1-01.1	11,29 ± 0,03	6,93 ± 0,05	8,75 ± 0,02	-	5,80 ± 0,09	6,23 ± 0,08	7,12 ± 0,04
13	000.1-05.6	11,52 ± 0,02	8,39 ± 0,11	8,82 ± 0,25	-	7,04 ± 0,16	-	6,87 ± 0,13
14	000.1+17.2	11,58 ± 0,05	8,31 ± 0,02	8,38 ± 0,05	-	6,61 ± 0,06	-	-
17	000.1-02.3	11,28 ± 0,03	8,26 ± 0,16	10,18 ± 0,36	-	6,71 ± 0,12	-	7,48 ± 0,17
19	000.2-01.9	11,75 ± 0,05	8,65 ± 0,02	8,41 ± 0,01	-	6,97 ± 0,03	-	7,17 ± 0,03
20	000.2-04.6	11,13 ± 0,01	8,22 ± 0,03	8,79 ± 0,11	7,79 ± 0,10	6,49 ± 0,04	5,73 ± 0,11	6,80 ± 0,06
22	000.3-04.6	11,31 ± 0,07	7,40 ± 0,11	7,57 ± 0,23	-	5,77 ± 0,08	-	5,90 ± 0,12
23	000.3+12.2	11,22 ± 0,01	8,69 ± 0,05	9,11 ± 0,08	-	7,27 ± 0,07	5,47 ± 0,09	6,71 ± 0,06
25	000.3-02.8	10,92 ± 0,04	5,86 ± 0,03	6,75 ± 0,01	-	4,34 ± 0,09	-	5,30 ± 0,04
26	000.4-01.9	-	7,64 ± 0,10	-	-	6,09 ± 0,65	6,15 ± 0,35	-
27	000.4-02.9	11,09 ± 0,03	8,59 ± 0,11	8,80 ± 0,13	-	6,79 ± 0,21	-	6,29 ± 0,08
29	000.5+01.9	11,37 ± 0,08	7,63 ± 0,12	7,82 ± 0,11	-	6,54 ± 0,14	-	6,43 ± 0,08
30	000.5-03.1	10,43 ± 0,04	8,87 ± 0,07	9,45 ± 0,13	8,06 ± 0,09	7,22 ± 0,09	5,42 ± 0,09	5,91 ± 0,08
...	...	...	...	...	...	...	...	...



Şekil 3.16. Element bolluk değerlerinin $12 + \log(X/H)$ ölçeğindeki histogramları.

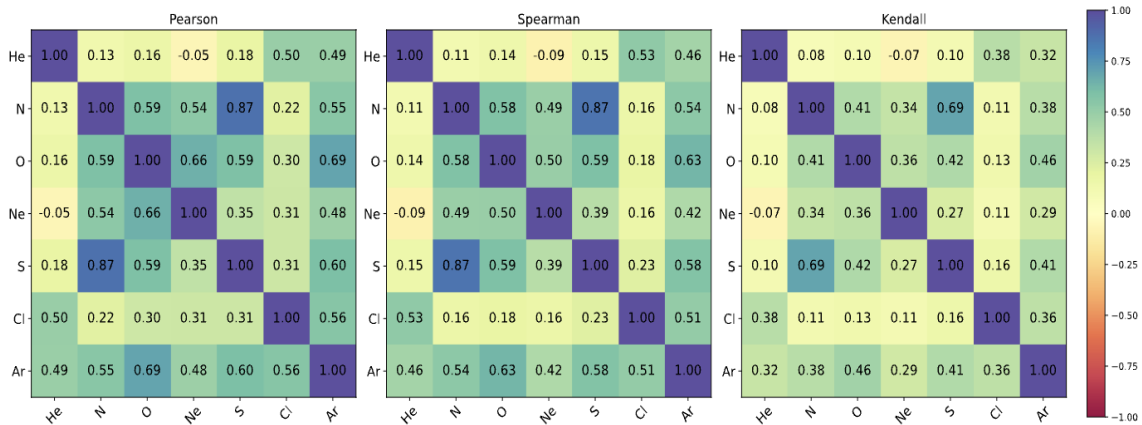
Elde edilen fiziksel koşullar ve kimyasal bolluklar, GB'lerin ayrıntılı yapısını ortaya koymaktadır. Bu bulguların Gökada ölçeğinde anlam kazanabilmesi için ise element bolluklarının farklı bileşenler arasındaki dağılımının incelenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, bir sonraki bölümde Gökada bileşenleri arasındaki karşılaştırmalar ele alınacaktır.

3.2.4. Galaktik Element Bolluk Dağılımları

GB üzerinde gerçekleştirilen element bolluk analizleri, Gökadamızın kimyasal evrimi ve ISM bileşenleri hakkında önemli bilgiler sunar (KH22). Ancak, bazı elementlerin bolluklarını ölçmek çeşitli nedenlerle zorluklar içermektedir. Örneğin, demir (Fe) elementinin GB içindeki bolluğu, Fe'nin toz fazına yoğun olarak tükenmesinden dolayı ölçülmesi güç çizgilere sahiptir ve dolayısıyla metal bolluk göstergesi olarak kullanımı sınırlıdır (Jenkins 2009; Dwek 2016). GB'lerde

metal bolluk tayini geleneksel olarak α -elementleri (N, O, Ne, S, Cl, Ar) üzerinden yapılmaktadır. α -elementlerinin bollukları hem yıldız oluşumu süreçlerinde kilit rol oynayan elementler olarak hem de galaktik kimyasal evrimin izleyicileri olarak önemli birer gösterge teşkil eder. Bu bağlamda, elemente karşı element grafiklerinin analizi, α -elementleri arasındaki korelasyonları görsel ve istatistiksel olarak değerlendirmek için güçlü bir yöntem sunmakta; böylece GB’lerde metal bolluk izleyicisi olarak hangi elementlerin birlikte hareket ettiğine dair doğrudan kanıtlar sağlanmaktadır (KH22).

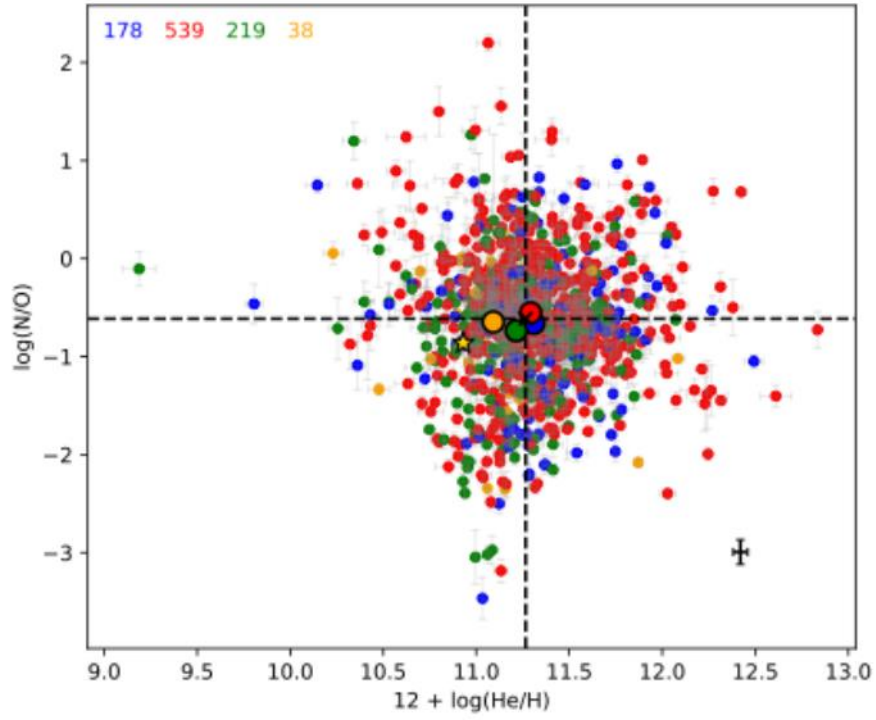
Tez çalışmamızda, GB’lerde metal bolluk izleyicisi olarak α -elementleri ve He elementi arasındaki ilişkilerinin analizi hedeflenmiştir. NEAT kodu ile elde edilen element bollukları kullanılarak, elementler arasındaki karşılıklı dağılımlar incelenmiş ve Pearson (r), Spearman (ρ) ile Kendall (τ) korelasyon katsayıları aracılığıyla elementler arasındaki doğrusal ve sıralı ilişkiler değerlendirilmiştir. Pearson korelasyon katsayısı (r) değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiyi ölçerken, Spearman sıra korelasyonu (ρ) değişkenlerin sıraları üzerinden monotonik (doğrusal olmak zorunda olmayan) ilişkileri değerlendirmektedir (Pearson, 1895; Sperman, 1961). Kendall tau katsayısı (τ) ise veri çiftlerinin sıralı uyumuna dayalı ilişkileri dikkate almakta olup, özellikle küçük örneklem için daha güvenilir sonuçlar sunmaktadır (Kendall, 1938). Şekil 3.17’de bu üç korelasyon katsayısının sonuçları özetlenmekte olup, güçlü korelasyon gösteren (0,5 ile 1 arasında) element çiftlerinin bolluk karşılıklı grafiklerine Şekil 4.3’te orta derecede korelasyonlu (0,3 ile 0,5 arasında) çiftlerin grafiklerine ise Şekil 4.4’te yer verilmiştir. Bu analizler, GB’lerdeki α -elementleri arasındaki kimyasal bağılılıkları ortaya koyarak, Galaktik bileşenlerde metal bolluk izleyicisi olarak kullanılabilirliklerini desteklemektedir.



Şekil 3.17. GB’lere ait element bolluklarının Pearson, Spearman ve Kendall korelasyon katsayıları.

Elementler arası karşılaştırma grafiklerinin temel amacı, ata yıldızların evrimi sırasında örüntüleri aracılığıyla ISM’ye aktardığı elementler üzerindeki etkileri incelemektir. Ata yıldız evrimi boyunca elementlerin ISM’ye toplam katkısı, yıldız zarflarındaki bollukların fırlatılmasıyla belirlenir ve bu süreç, sonraki GB oluşumundan hemen önceki kimyasal durumu tahmin etmeye olanak tanır

(KH22). GB'lerin He/H bolluğu ile N ve O element bolluklarının karşılaştırılması, ata yıldız evriminde gerçekleşen füzyon tepkilerini açığa çıkarmaktadır. Şekil 3.18'de He/H bolluğu ile N/O bolluğu arasındaki ilişki gösterilmektedir. Görüldüğü üzere He ve N/O arasında doğrudan bir korelasyon bulunmamaktadır. Bu sonuç, Aller ve Czyzak (1983) ile Kingsburgh ve Barlow (1994) tarafından yapılan çalışmalarla niteliksel olarak uyumludur. Şekil 3.18'deki dağılım, He/H oranındaki artış ile N ve O elementlerindeki değişimlerin doğrudan ata yıldız kütlelerine bağlı olarak HBB süreciyle oluşan CNO döngüsünden kaynaklandığını göstermektedir (KH22).



Şekil 3.18. $12 + \log(\text{He}/\text{H})$ 'e karşı $\log(\text{N}/\text{O})$ ilişki grafiği.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

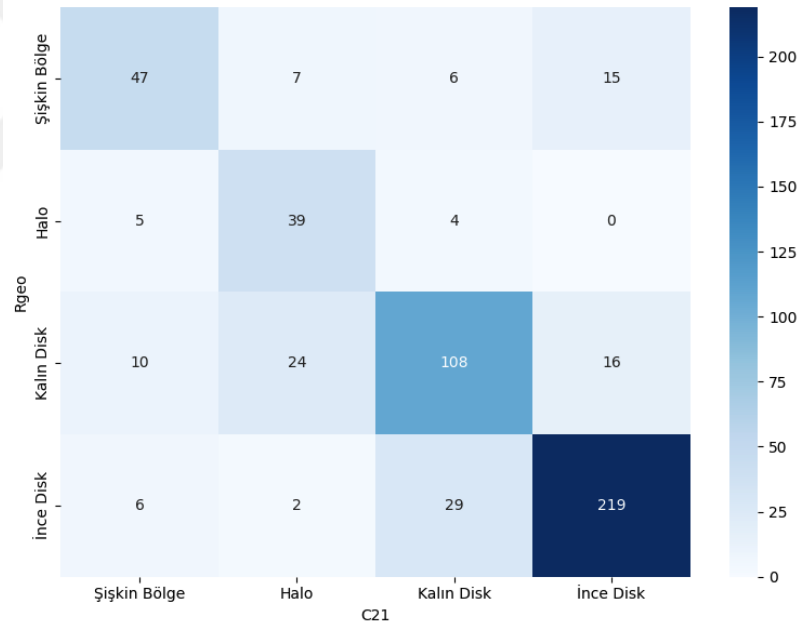
Tez çalışmamızda, HASH veri tabanındaki GB'lerin fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında kapsamlı bir çalışma gerçekleştirdik. Gökadanın farklı bileşenlerinde bulunan 2591 GB içerisinde 1449 GB'nin tayfsal verileri analiz edildi.

Şekil 3.5'te sunulan histogramlar, farklı Galaktik bileşenlerdeki GB'lerin açısal boyutlarının/genişliklerinin birbirlerine benzer şekilde hızlı bir azalma eğilimi sergilediğini göstermektedir. Tüm bileşenlerdeki dağılımlar incelendiğinde GB'lerin açısal boyutları $12''$ ve $0,30$ pc medyan olarak belirlenmiştir. Halo bileşenindeki GB'lerin açısal boyutları ise diğer bileşenlere göre daha büyük olup $15,5''$ ve $0,45$ pc değerindedir. Frew ve ark (2010), GB'lerin açısal boyutlarının çoğunlukla $<1,5$ pc, nadiren ise $<2,5$ pc olduğunu belirtmektedir. ERBIAS ve sparm morfoloji sınıflandırmalarında (Şekil 3.5-c ve 3.5-d) görüldüğü üzere, ince disk bileşenindeki GB sayısı beklendiği gibi diğer bileşenlerden fazladır. Histogramlar, GB'lerin eliptik, bipolar ve asimetric morfolojilerinin baskın olduğunu, ancak Tan ve ark (2023) çalışmasında belirtildiği gibi tek bir morfolojik özelliğe indirgenemeyecekleri anlaşılmaktadır.

Gaia EDR3'ten alınan uzaklık değerleri, Şekil 3.7'de verilen GB'lerin dağılımını göstermektedir. Bu dağılım, medyan uzaklığı $\sim 5,2$ kpc ve maksimum uzaklığı 17 kpc olan sağa eğik bir dağılım göstermektedir. Bu dağılımın eğik kısmı çoğunlukla şişkin bölgede bulunmaktadır. Gonzalez ve ark (2021), 1725 GB üzerinde yaptıkları çalışmada ortalama uzaklığı 4,6 kpc olarak belirlemiş ve bizim verilerimiz ile yaklaşık 0,6 kpc'lik bir fark bulunmaktadır. Şekil 3.6'da verilen paralaks değerleri genellikle 0,08 ila 1,82 mas arasında değişirken, belirsizlikler 0,08 ila 0,3 mas arasında değişmektedir. Medyan paralaks ve belirsizlik değerleri sırasıyla 0,21 mas ve 0,20 mas'tır. Bu mas düzeyindeki belirsizlikler kaynak seçimimizin güvenilirliğini güçlendirmektedir. Kaynakların uzaklıkları ile ters orantılı olması beklenen paralaks-uzaklık ilişkisi, çalışmamızın bulguları ile tutarlıdır. Şekil 3.6'da gösterildiği gibi, paralaks değerleri daha yakın mesafelerde (örneğin, < 1 kpc) 1 mas'ın oldukça üzerinde ölçülür, ancak mesafe arttıkça önemli ölçüde azalır. 5-6 kpc mesafelerde yaklaşık 0,16 mas'a ve 6-7 kpc mesafelerde yaklaşık 0,08 mas'a ulaşır. Bu, uzak kaynaklar için paralaks ölçümlerinin giderek belirsizleştiğini ve bazı durumlarda negatif değerlere düştüğünü göstermektedir. Şekil 3.9'da verilen GB'lerin Galaktik dağılımı, ağırlıklı olarak diskte (hem ince hem de kalın) bulunur ve Şekil 3.7'de gösterilen dağılıma benzer bir dağılım sergiler.

Şekil 3.7'te gösterildiği gibi, GB'lerin merkezi koordinatları ile en yakın Gaia kaynakları arasındaki uzaklıkların dağılımı, Galaktik bileşenlere göre kategorize edildiğinde; Kaynakların %62'si $0-1''$ aralığında yer almaktadır ve bu aralıkta en yaygın olanı ince disk bileşenidir (416 kaynak). Ayrıca, Halo bileşenindeki kaynakların %87,5'i bu aralıkta yer almaktadır. $1''$ ötesinde, kaynakların sayısı keskin bir şekilde düşer ve sağa eğik bir dağılım sergiler.

Gaia EDR3'ün GB'lerin merkezi koordinatlarından belirlediği uzaklıklar, merkezi yıldızlarının konumlarını doğru bir şekilde temsil etmeyebilir. Bu durum, GB'lerin Galaktik bileşenlerindeki dağılımında bir sapmaya yol açabilir. Bu sapmayı değerlendirmek için, Galaktik GB'lerin merkezi yıldızlarına odaklanan C21 veri setini kullandık. C21, Gaia EDR3 kataloğunu kullanarak CSPNe ve kompakt GB için paralaks bilgileri ve istatistiksel yöntemler ile yüksek hassasiyetli astrometrik ölçümler sunar ve toplam 2117 GB tanımlar. Çalışmamızdaki kaynakların 1108'i (%76,5) C21 kataloğuyla eşleşmektedir. Bunların %84,5'i (936) her iki çalışmada da Gaia EDR3 kataloğunda aynı GB'ye karşılık gelir. C21 çalışmasında eşleşen GB'lerden 537 kaynağın uzaklık bilgileri bulunmakta ve GB'lerin C21'de verilen uzaklık bilgileri ile bileşenlerine göre dağılımı analiz edilmiştir. Şekil 4.1'de ısı haritasında verilen karşılaştırmalı bileşen dağılımlarına göre %76,5 oranında aynı bileşenlerde bulunduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, eşleşen kaynaklar arasında bileşenlere göre dağılım şu şekildedir: %78 (146) Şişkin bölge kaynağı, %81 (432) İnce Disk, %90 (282) Kalın Disk ve %99 (76) Halo. Bu yüksek eşleşme oranı ile bileşenlerdeki dağılım farkının istatistiksel sonuçlarımız üzerinde önemli bir etkisi olmayacağını varsayıyoruz.



Şekil 4.1. Tez çalışmamız ile C21 arasında GB'lerin bileşen karşılaştırma ısı haritası.

Çizelge 3.2, 3.3 ve 3.4'te verilen analiz sonuçları, GB'lerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini hesaplamak için kullanılan 29 farklı ışınım çizgisini kapsamaktadır. Toplam 16545 ışınım çizgisi ölçümü elde edilmiştir (geriye farklı ışınım çizgi akıları dikkate alınmamıştır). H_{α} akısı tüm GB'lerde mevcutken, sadece 4 GB O II $\lambda 4089.29$ çizgisini göstermektedir. GB'lerdeki en parlak çizgilerden biri olan [O III] $\lambda 5006.84$ çizgisi 1387 GB'de gözlemlenirken, [O III] $\lambda 4958.91$ çizgisi 1371 GB'de tespit edilmiştir. PN G078.3-02.7 ve PN G356.1-03.3, her biri 26 ile en yüksek ışınım çizgisi sayısına sahiptir, ancak hiçbir GB tüm çizgileri göstermemektedir. Buna karşılık, PN G000.3-03.0 ve PN

G359.2+04.7, yalnızca H_{β} $\lambda 4681.33$, H_{α} $\lambda 6562.77$, [N II] $\lambda 6583.5$ ve [S II] $\lambda 6730.81$ çizgilerini gösteren en az çizgi sayısına sahip olduğu gözlenmiştir. Akı ölçümleri için, yalnızca 5σ eşikini aşan sinyal-gürültü oranlarına (S/N) sahip çizgiler dahil edilmiştir. Medyan S/N'nin 9,4 olduğu bulunurken, medyan göreceli akı hatası (akı hatası / akı) %11 olarak hesaplanmıştır. Bu akılar ve bunlarla ilişkili hatalar, element bolluklarını ve fiziksel koşulları türetmek için NEAT 'te kullanılmıştır. Sonuçta elde edilen bolluk değerlerindeki belirsizlikler yaklaşık %10 olup Çizelge 3.8'de verilmektedir.

GB'lerin H II ve SNR ile benzer tayf özellikleri göstermeleri ve tez çalışmamızdaki GB'lerin sayısının fazla olması nedeniyle tanı grafiklerinde bu kaynakların dağılımı incelendi. SMB ve BPT tanı diyagramlarına (bkz. Şekil 3.11 ve 3.12) çalıştığımız GB'ler kullanıldığında bunların çoğunun GB sınırları içinde olduğu görülmektedir. Ancak, bazı GB'ler H II ve SNR'lerle ilişkili bölgelerde de bulunmakta olup, GB sınırları dışında SMB grafiklerinde toplamda 14 kaynak, BPT grafiklerinde ise toplamda 43 kaynak görülmektedir. HASH veri tabanında 20 cm'lik ayna çapına sahip teleskoplarla elde edilen optik tayf verilerinin düşük çözünürlüklü olması, ışıınım çizgi oranlarında bazı sorunlara yol açabilmektedir. Ayrıca, HASH veri tabanının güncel ve dinamik yapısı göz önüne alındığında, GB olarak sınıflandırılmış bazı kaynakların farklı bir statüde yer alma olasılığı da bulunmaktadır.

Çizelge 3.6 üçüncü sütunda 1449 GB için $c(H_{\beta})$ değerleri listelenmiştir. Şekil 3.13'te gösterildiği gibi, H_{α}/H_{β} çizgi oranlarından hesaplanan yıldızlararası ortam sönümünü temsil eden $c(H_{\beta})$, en düşük 0 ile en yüksek 6 arasında değişmektedir. Bu aralık, bazı bulutsularda ışığın hemen hiç soğrulmadan ($c(H_{\beta}) \sim 0$) bize ulaşabildiğini, bazı bulutsularda ise yoğun yıldızlararası toz nedeniyle ışığın büyük ölçüde zayıfladığını ($c(H_{\beta}) \sim 6$) göstermektedir. Dağılım, medyan değeri 1,34 olan sağa eğik bir karakter sergilemektedir. Şişkin bölge ve ince disk için elde edilen medyan $c(H_{\beta})$ değerleri, beklendiği üzere tüm GB'lerin genel medyan değerinden daha yüksektir. Galaktik bileşenler bazında medyan değerler sırasıyla şişkin bölge için 1,7, ince disk için 1,5, kalın disk için 0,9 ve halo için 0,4'tür. Gökada'nın yapısı dikkate alındığında bu sonuçlar beklendiği gibidir. Yoğun gaz ve toz içeren şişkin bölge ve ince disk için sönüm yüksek iken, daha seyrek yapıya sahip kalın disk için değerler orta düzeydedir ve toz açısından en fakir bileşen olan halo bölgesinde sönümleme en azdır.

Toplam 1449 GB için, yüksek sıcaklık ($T_e > 35000$ K) ve yoğunluk ($N_e < 1 \text{ cm}^{-3}$ ve $N_e > 10^6 \text{ cm}^{-3}$) değerlerine sahip durumlar hariç, çeşitli ışıınım çizgileri kullanılarak 891 T_e değeri ve 889 N_e değeri hesaplanmıştır. Bunlar arasında 217 yüksek sıcaklık değeri tespit edilmiş olup, bunların 65'i (%30) [Ar III]'e aittir. [O II] ($\lambda\lambda 3727/2729$), [S II] ($\lambda\lambda 6731/6717$), [Ar IV] ($\lambda\lambda 4711/4740$) ve [Cl III] ($\lambda\lambda 5571/5537$), [O II] ($((\lambda\lambda 7319,20 + 7330,31)/(\lambda\lambda 3726 + 3729))$), [N II] ($((\lambda\lambda 6548 + 6583)/\lambda 5754)$), [O III] ($((\lambda\lambda 4959 + 5007)/\lambda 4363)$), [Ar III] ($((\lambda\lambda 7135 + 7751)/\lambda 5192)$) ve He I ($\lambda\lambda 7281/6678$) ışıınım çizgi oranları elde edilmiştir. Bu çizgi oranların elde edilen T_e ve N_e histogramları Şekil 3.14 ve 3.15'te sunulmuştur. N_e histogramı, 1'den 1000 cm^{-3} 'e kadar hızla azalan bir eğilim gösterir ve [S II] için medyan değeri 1170 cm^{-3} 'tür. Galaktik bileşenlerin yoğunluğu, halo (1715 cm^{-3}) ile ince disk

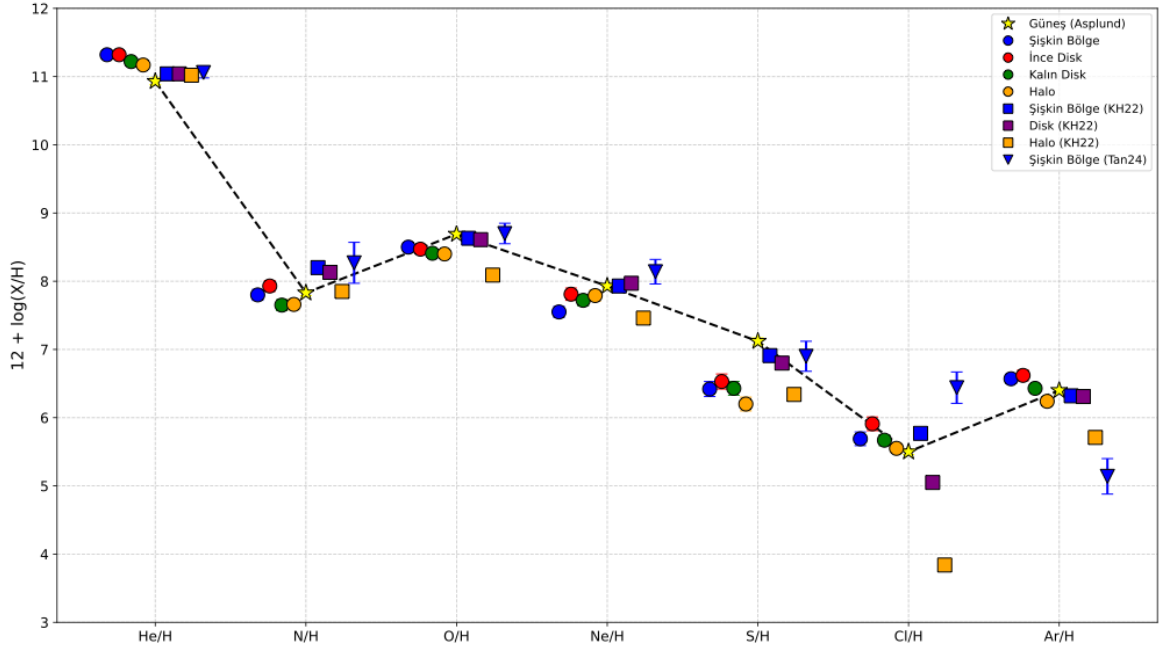
(1030 cm⁻³) arasında azalır. T_e dağılımı, Osterbrock ve Ferland (2006) tarafından verilen GB için tipik sıcaklık olan 10000 K ile uyumlu olarak, [O III] ve [N II] için 9920 K ve 10250 K medyan değerleri ile benzer Gauss dağılımları göstermektedir. Diğer elde edilen T_e ve N_e değerleri çizgi ölçümlerinin düşük sinyal-gürültü göstermesi sonuçların tutarsızlıklarını açıklar. Bununla birlikte sıcaklık ve yoğunluk dağılımlarının Galaktik bileşenler arasında önemli ölçüde farklılık göstermemektedir.

Tez çalışmasında belirlenen bolluk değerleri, KH22 (Şekil 5–7), Tan24 ve A19 (Asplund ve ark., 2009; A19) ile karşılaştırma amacıyla Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Bu şekil, GB'lerdeki He, N, O, Ne, S, Cl ve Ar'ın (bundan sonra, element bollukları X/H yerine X formatında kullanılacaktır) ortalama bolluklarını göstermektedir. Çizelge 4.1'de birinci sütun göre satırlar içerisinde ilk üç satırda literatürdeki A19, Tan24 ve KH22 çalışmalarından derlenen Galaktik bileşen bollukları; dördüncü satırda ise çalışmamızdan elde edilen ortalama değerler yer almaktadır. Çizelge 4.1'de diğer sütunlar Galaktik bileşenlere göre Çizelge 3.8'den alınan element bolluklarının ortalama değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. 12+log(X/H) gösteriminde verilen element bolluk değerlerinin GB'lerin Gökada bileşenlerine göre ortalama bolluk değerleri ve A19, Tan24 ve KH22 karşılaştırması.

Ref.	Kaynak	He/H	N/H	O/H	Ne/H	S/H	Cl/H	Ar/H
A19	Güneş	10,93	7,83	8,69	7,93	7,12	5,5	6,4
Tan24	Şişkin Bölge (124)	11,06 ± 0,08	8,27 ± 0,30	8,70 ± 0,15	8,14 ± 0,18	6,90 ± 0,22	6,44 ± 0,23	5,14 ± 0,26
KH22	Şişkin Bölge	11,04	8,2	8,63	7,93	6,91	5,77	6,32
	Disk	11,04	8,13	8,61	7,97	6,8	5,05	6,31
	Halo (13)	11,02	7,85	8,09	7,46	6,34	3,84	5,71
Tez Çalışmamız	Şişkin Bölge (248)	11,32 ± 0,04	7,80 ± 0,08	8,50 ± 0,07	7,55 ± 0,08	6,42 ± 0,11	5,69 ± 0,10	6,57 ± 0,07
	İnce Disk (756)	11,32 ± 0,04	7,93 ± 0,08	8,47 ± 0,07	7,81 ± 0,09	6,53 ± 0,11	5,91 ± 0,10	6,62 ± 0,08
	Kalın Disk (365)	11,22 ± 0,04	7,65 ± 0,08	8,41 ± 0,05	7,72 ± 0,08	6,43 ± 0,10	5,67 ± 0,08	6,43 ± 0,07
	Halo (80)	11,17 ± 0,03	7,66 ± 0,08	8,40 ± 0,05	7,79 ± 0,08	6,20 ± 0,10	5,55 ± 0,07	6,24 ± 0,07
	Samanyolu (1449)	11,26 ± 0,04	7,76 ± 0,08	8,44 ± 0,06	7,72 ± 0,08	6,47 ± 0,07	6,39 ± 0,10	5,71 ± 0,09

Çizelge 4.1'de verilen ortalama bolluk değerlerinin, literatür verileri ve Galaktik bileşenlerle karşılaştırılması Şekil 4.2'de sunulmaktadır. Bu şekilde, yuvarlak renkli daireler çalışmamızdaki bileşenlerin ortalama değerlerini; renkli kareler KH22 çalışmasındaki bileşenlerin ortalamalarını, ters mavi üçgenler Tan24 çalışmasındaki şişkin bölge kaynaklarının ortalama değerlerini ve hata çubuklarını; sarı yıldız ise A19 çalışmasındaki Güneş bolluk değerini göstermekte, bu değerler kesikli siyah çizgi ile birbirine bağlanmaktadır. Tez çalışmamızda ve Tan24'de verilen veriler için bolluk değerlerindeki belirsizlikler, Şekil 4.2'de hata çubukları ile gösterilmiştir. Tez çalışmamızda elde edilen (Çizelge 4.1) Galaktik bileşenler arasındaki element bolluğu dağılımları önceki çalışmalarda sunulanlarla benzer bir eğilim izlemektedir. Özellikle, şişkin bölge değerlerini temsil eden Tan24 verileri, bizim ve KH22 verileri ile karşılaştırıldığında Ar hariç daha yüksek element bolluğu göstermektedir. Buna karşılık, KH22'deki Cl ve Ar için halo değerleri önemli ölçüde daha düşüktür. Ayrıca, bu çalışmada belirlenen S bolluğu, A19'da Güneş için verilen değerden daha düşüktür.



Şekil 4.2. Element bolluk değerlerinin literatür A19, KH22 ve Tan24 ile karşılaştırması.

Şekil 3.18, 974 GB'ye ait $12 + \log(\text{He}/\text{H})$ ile $\log(\text{N}/\text{O})$ arasındaki korelasyonu göstermektedir. Grafikte He elementi ile N/O arasında belirgin bir ilişki bulunmamaktadır. Bununla birlikte belirli bir noktada öbeklenme gözlenmektedir. Bu öbeklenme, $\text{He}/\text{H} \approx 11,3$ ve $\text{N}/\text{O} \approx -0,6$ değerlerine karşılık gelmektedir. Bileşenler arasındaki medyan dağılımlar öbeklenme noktasına yakın konumlanırken, Güneş bolluk değerleri He/H açısından yaklaşık 0,4 dex ve N/O açısından yaklaşık 0,3 dex daha düşük değerler göstermektedir.

GB'lerdeki He, N, O, Ne, S, Cl ve Ar elementlerinin bollukları Gauss benzeri dağılımlar göstermektedir (Şekil 3.17) ve medyan değerleri sırasıyla 11,3, 8,0, 8,4, 8,6, 6,6, 5,8 ve 6,5'tir. İnce diskteki GB'ler, Galaktik bileşenlerin medyan değerinin üzerinde yüksek bolluklara sahiptir (O ve Ne hariç). Öte yandan, halo ve kalın diskteki GB'lerin bollukları (O hariç) medyanın altındadır. Yukarıda verilen elementler arasında He en yüksek bolluğa, Cl ise en düşük bolluğa sahiptir. Şişkin bölgedeki GB'lerin bolluk değerlerinin medyanı, tüm GB'lerin bolluk değerlerinin medyanı ile uyumludur. Ancak He ve O için bu durum nispeten daha yüksek, Ne ise 0,15 dex daha düşüktür. Medyan değerlere dayalı grafiklerin açıklamaları aşağıda verilmiştir:

He: Halo'da daha düşük, şişkin bölge daha yüksektir.

N: İnce diskte değer daha yüksek, halo'da daha düşüktür.

O: Bileşenler arasında tutarlıdır, kalın diskteki değeri biraz daha düşüktür.

Ne: Daha az veri noktası vardır, ancak bileşenler arasındaki ortalama değerler benzerdir.

S: Halo değeri diğer bileşenlere göre yaklaşık 0,3 dex daha düşüktür.

Cl: İnce diskte nispeten daha yüksektir.

Ar: Halo'da daha düşük, kalın diskte daha yüksektir.

1449 GB'nin element bollukları arasındaki ilişkileri değerlendirmek için Pearson (r , Pearson, 1895), Spearman (ρ , Spearman, 1904) ve Kendall (τ , Kendall, 1975) korelasyon testleri kullanılarak analiz edildi ve korelasyon katsayıları Şekil 3.17'de sunuldu. Üç istatistiksel yöntem (Pearson, Spearman ve Kendall) çok benzer katsayı değerleri verdiği için ve Pearson korelasyonu literatürde yaygın olarak kullanıldığından, çalışmamız için Pearson istatistiklerini seçtik. Renk kodlu ısı haritası, pozitif korelasyonları mavi renkle vurgulamaktadır. Daha koyu tonlar daha güçlü korelasyonu gösterirken, kırmızı alanlar (negatif korelasyonları temsil eden) minimum düzeydedir. Pearson korelasyonu (r) doğrusal korelasyonu ölçer: $r > 0,5$ güçlü pozitif, $0,3-0,5$ orta pozitif ve $0,0-0,3$ zayıf pozitif korelasyonu gösterirken, negatif değerler ters korelasyonu gösterir. Şekil 3.17'de gösterildiği gibi toplam 21 korelasyon katsayısı bulunmuştur. Bunlardan 10'u güçlü, 6'sı orta, 4'ü zayıf ve 1'i negatif zayıf korelasyon ($r = -0,05$, Ne/He) içermektedir. Ar'ın 6 elementten 4'ü ile güçlü bir korelasyon içinde olduğu belirtilmelidir. Ayrıca, en güçlü pozitif korelasyon S/N için bulunmuştur ($r = 0,87$). $r > 0,3$ korelasyonları için, en küçük kareler uyumu uygulanmıştır. Çizelge 4.2 ve 4.3, her bir Galaktik bileşen için 16 çapraz korelasyonun uyumlarında kullanılan en küçük kareler uyum parametrelerini, Pearson korelasyon katsayısını ve veri noktası sayısını iki bölüm halinde göstermektedir. Tüm eğim değerleri pozitiftir. Galaktik bileşenler arasında en yüksek ve en düşük korelasyon katsayısı değerleri sırasıyla S/N ve O/Cl bolluk oranlarında gözlemlenmiştir. O/Ar oranı, en büyük GB örneği (1217) kullanılarak analiz edilirken, N/Ne oranı en küçük örneklem büyüklüğüne (206) sahiptir.

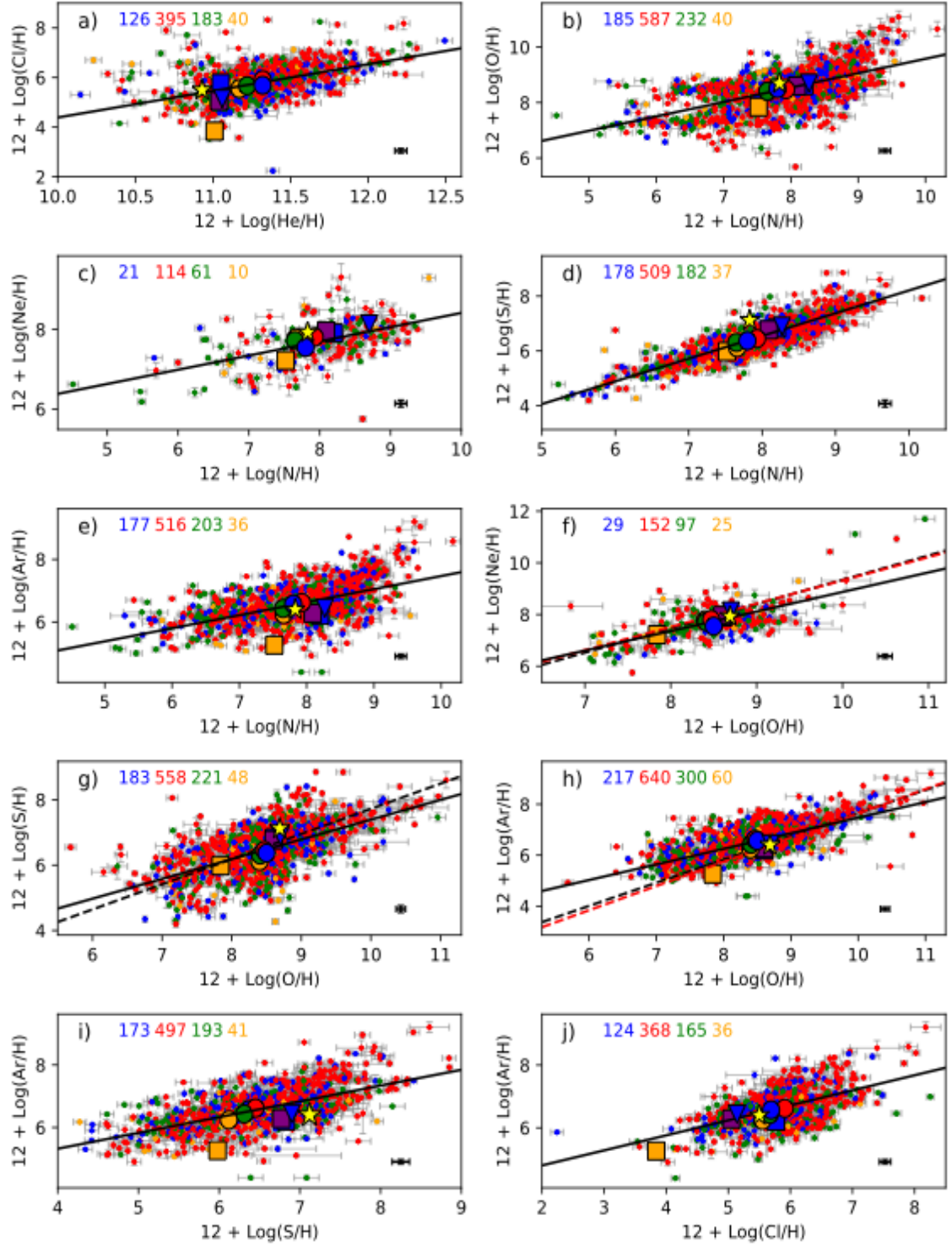
Çizelge 4.2. GB'lerin bileşenlere göre element-element grafiklerindeki y-kesişim, eğim, korelasyon katsayısı değerleri ve KH22, Tan24 ile karşılaştırması.

Bolluk Oranı	Ref.	Bileşen	y-Kesişim Noktası	Eğim	Korelasyon Katsayısı	Kaynak Sayısı
Cl/He	Tez Çalışmamız	Şişkin Bölge	$-4,99 \pm 0,13$	$0,94 \pm 0,42$	0,42	126
		İnce Disk	$-6,56 \pm 0,07$	$1,10 \pm 0,21$	0,51	395
		Kalın Disk	$-7,41 \pm 0,10$	$1,17 \pm 0,32$	0,52	183
		Halo	$1,27 \pm 0,23$	$0,38 \pm 0,87$	0,16	40
		Samanyolu	$-6,35 \pm 0,05$	$1,07 \pm 0,16$	0,50	744
O/N	Tez Çalışmamız	Şişkin Bölge	$4,60 \pm 0,10$	$0,50 \pm 0,12$	0,59	185
		İnce Disk	$3,88 \pm 0,06$	$0,58 \pm 0,07$	0,60	587
		Kalın Disk	$5,03 \pm 0,08$	$0,44 \pm 0,09$	0,60	232
		Halo	$4,83 \pm 0,19$	$0,47 \pm 0,23$	0,61	40
		Samanyolu	$4,39 \pm 0,04$	$0,52 \pm 0,05$	0,59	1044
Ne/N	Tez Çalışmamız	Şişkin Bölge	$5,79 \pm 0,23$	$0,23 \pm 0,26$	0,42	21
		İnce Disk	$5,18 \pm 0,11$	$0,32 \pm 0,16$	0,40	114
		Kalın Disk	$4,66 \pm 0,12$	$0,38 \pm 0,12$	0,69	61
		Halo	$2,01 \pm 0,35$	$0,73 \pm 0,38$	0,84	10
		Samanyolu	$4,84 \pm 0,08$	$0,36 \pm 0,09$	0,54	206
S/N	Tez Çalışmamız	Şişkin Bölge	$-0,02 \pm 0,05$	$0,82 \pm 0,07$	0,91	178
		İnce Disk	$-0,25 \pm 0,04$	$0,85 \pm 0,05$	0,86	509
		Kalın Disk	$0,13 \pm 0,06$	$0,81 \pm 0,08$	0,87	182
		Halo	$0,26 \pm 0,17$	$0,78 \pm 0,21$	0,83	37
		Samanyolu	$-0,08 \pm 0,03$	$0,83 \pm 0,04$	0,87	906
Ar/N	Tez Çalışmamız	Şişkin Bölge	$3,47 \pm 0,09$	$0,40 \pm 0,10$	0,56	177
		İnce Disk	$2,80 \pm 0,06$	$0,48 \pm 0,07$	0,57	516
		Kalın Disk	$4,20 \pm 0,08$	$0,29 \pm 0,09$	0,48	203
		Halo	$4,49 \pm 0,16$	$0,22 \pm 0,21$	0,39	36
		Samanyolu	$3,29 \pm 0,04$	$0,42 \pm 0,05$	0,55	932
Ne/O	Tez Çalışmamız	Şişkin Bölge	$1,42 \pm 0,16$	$0,71 \pm 0,34$	0,68	29
		İnce Disk	$2,59 \pm 0,10$	$0,61 \pm 0,18$	0,53	152
		Kalın Disk	$-0,88 \pm 0,10$	$1,02 \pm 0,17$	0,82	97
		Halo	$1,04 \pm 0,18$	$0,81 \pm 0,31$	0,78	25
		Samanyolu	$1,31 \pm 0,07$	$0,76 \pm 0,12$	0,66	303
	KH22 Tan24	Samanyolu Şişkin Bölge	$-0,06 \pm 0,72$ $0,90 \pm 0,05$	$0,94 \pm 0,08$ $0,32 \pm 0,46$	0,72 0,86	116 105
S/O	Tez Çalışmamız	Şişkin Bölge	$0,95 \pm 0,10$	$0,64 \pm 0,14$	0,61	183
		İnce Disk	$1,48 \pm 0,06$	$0,60 \pm 0,07$	0,62	558
		Kalın Disk	$1,29 \pm 0,10$	$0,60 \pm 0,15$	0,53	221
		Halo	$1,53 \pm 0,22$	$0,56 \pm 0,37$	0,46	48
		Samanyolu	$1,35 \pm 0,04$	$0,60 \pm 0,06$	0,59	1010
	KH22	Samanyolu	$0,024 \pm 1,17$	$0,77 \pm 0,14$	0,47	117
Ar/O	Tez Çalışmamız	Şişkin Bölge	$1,53 \pm 0,07$	$0,59 \pm 0,10$	0,70	217
		İnce Disk	$1,04 \pm 0,04$	$0,66 \pm 0,06$	0,73	640
		Kalın Disk	$2,16 \pm 0,06$	$0,51 \pm 0,09$	0,61	300
		Halo	$3,21 \pm 0,11$	$0,36 \pm 0,21$	0,46	60
		Samanyolu	$1,35 \pm 0,03$	$0,61 \pm 0,04$	0,69	1217
	KH22 Tan24	Samanyolu Şişkin Bölge	$-1,45 \pm 0,83$ $0,95 \pm 0,06$	$0,91 \pm 0,10$ $-1,86 \pm 0,48$	0,66 0,84	117 122

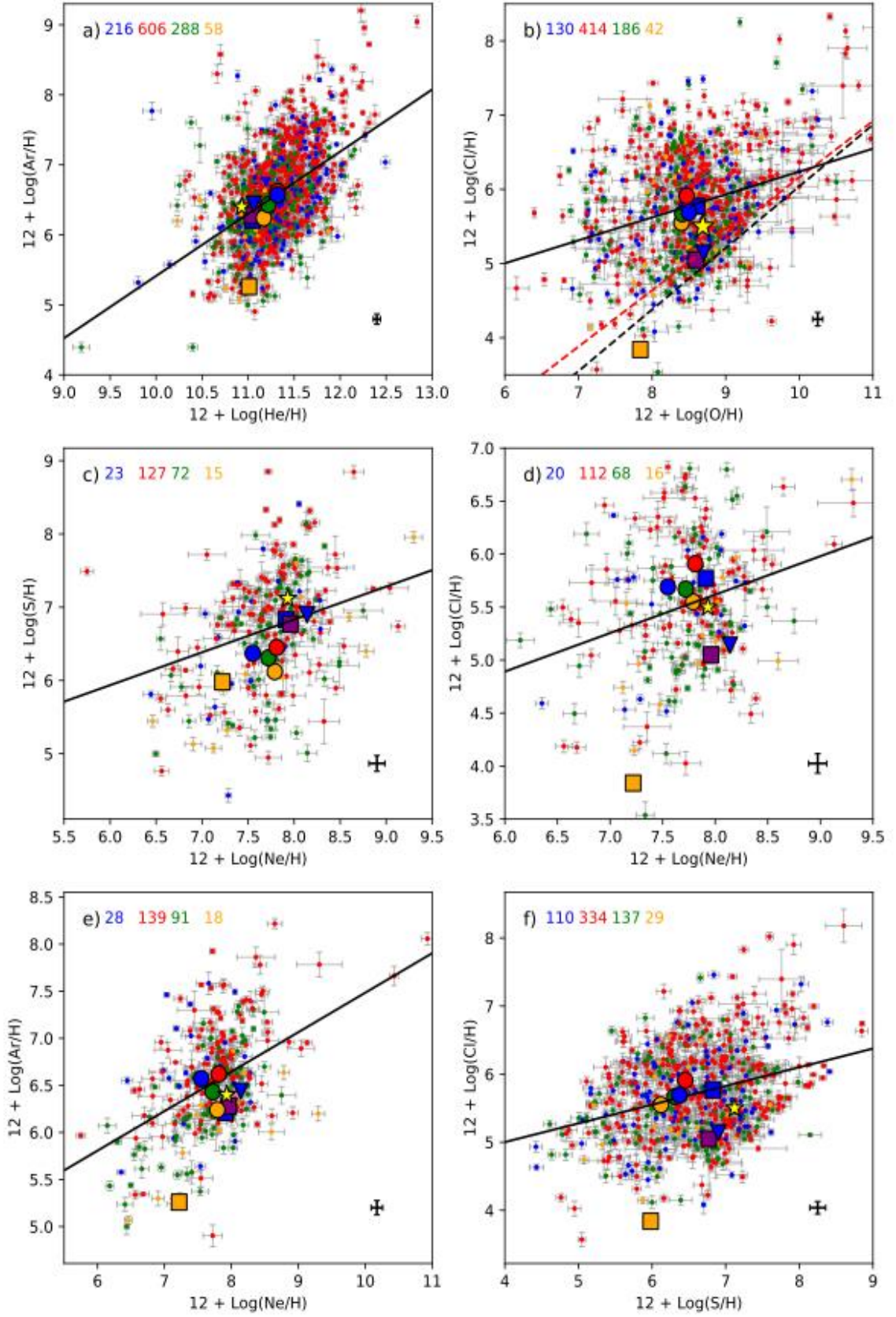
Çizelge 4.3. GB'lerin bileşenlere göre element-element grafiklerindeki y-kesişim, eğim, korelasyon katsayısı değerleri ve KH22, Tan24 ile karşılaştırması.

Bolluk Oranı	Ref.	Bölge	y-Kesişim Noktası	Eğim	Korelasyon Katsayısı	Kaynak Sayısı
Ar/S	Tez Çalışmamız	Şişkin Bölge	$3,55 \pm 0,09$	$0,47 \pm 0,12$	0,58	173
		İnce Disk	$2,75 \pm 0,05$	$0,59 \pm 0,07$	0,66	497
		Kalın Disk	$4,64 \pm 0,08$	$0,29 \pm 0,11$	0,41	193
		Halo	$4,25 \pm 0,14$	$0,31 \pm 0,19$	0,52	41
		Samanyolu	$3,30 \pm 0,04$	$0,50 \pm 0,05$	0,60	904
Ar/Cl	Tez Çalışmamız	Şişkin Bölge	$3,89 \pm 0,10$	$0,48 \pm 0,14$	0,58	124
		İnce Disk	$3,58 \pm 0,06$	$0,53 \pm 0,09$	0,58	368
		Kalın Disk	$4,61 \pm 0,08$	$0,32 \pm 0,11$	0,46	165
		Halo	$4,78 \pm 0,13$	$0,27 \pm 0,22$	0,43	36
		Samanyolu	$3,84 \pm 0,04$	$0,48 \pm 0,06$	0,56	693
Ar/He	Tez Çalışmamız	Şişkin Bölge	$-2,67 \pm 0,08$	$0,82 \pm 0,24$	0,47	216
		İnce Disk	$-5,13 \pm 0,05$	$1,04 \pm 0,15$	0,54	606
		Kalın Disk	$0,45 \pm 0,07$	$0,53 \pm 0,20$	0,34	288
		Halo	$0,16 \pm 0,12$	$0,55 \pm 0,50$	0,32	58
		Samanyolu	$-3,47 \pm 0,04$	$0,89 \pm 0,11$	0,49	1168
Cl/O	Tez Çalışmamız	Şişkin Bölge	$3,03 \pm 0,14$	$0,31 \pm 0,20$	0,30	130
		İnce Disk	$3,19 \pm 0,08$	$0,32 \pm 0,10$	0,33	414
		Kalın Disk	$3,73 \pm 0,12$	$0,23 \pm 0,19$	0,20	186
		Halo	$3,93 \pm 0,23$	$0,19 \pm 0,52$	0,13	42
		Samanyolu	$3,15 \pm 0,06$	$0,31 \pm 0,08$	0,30	772
	KH22 Tan24	Samanyolu	$-2,26 \pm 1,03$	$0,83 \pm 0,12$	0,56	107
		Şişkin Bölge	$0,76 \pm 0,10$	$1,44 \pm 0,83$	0,59	119
S/Ne	Tez Çalışmamız	Şişkin Bölge	$-0,18 \pm 0,38$	$0,89 \pm 0,81$	0,48	23
		İnce Disk	$4,23 \pm 0,15$	$0,34 \pm 0,24$	0,28	127
		Kalın Disk	$3,36 \pm 0,20$	$0,42 \pm 0,31$	0,35	72
		Halo	$-1,21 \pm 0,32$	$0,97 \pm 0,44$	0,82	15
		Samanyolu	$3,24 \pm 0,11$	$0,45 \pm 0,18$	0,35	237
Cl/Ne	Tez Çalışmamız	Şişkin Bölge	$2,62 \pm 0,28$	$0,38 \pm 0,56$	0,35	20
		İnce Disk	$2,86 \pm 0,13$	$0,36 \pm 0,23$	0,32	112
		Kalın Disk	$3,39 \pm 0,18$	$0,26 \pm 0,38$	0,19	68
		Halo	$-0,41 \pm 0,27$	$0,72 \pm 0,49$	0,67	16
		Samanyolu	$2,72 \pm 0,09$	$0,36 \pm 0,18$	0,31	216
Ar/Ne	Tez Çalışmamız	Şişkin Bölge	$5,51 \pm 0,23$	$0,15 \pm 0,46$	0,14	28
		İnce Disk	$3,57 \pm 0,09$	$0,40 \pm 0,14$	0,48	139
		Kalın Disk	$2,92 \pm 0,10$	$0,45 \pm 0,15$	0,59	91
		Halo	$1,81 \pm 0,20$	$0,54 \pm 0,30$	0,73	18
		Samanyolu	$3,29 \pm 0,07$	$0,42 \pm 0,11$	0,48	276
Cl/S	Tez Çalışmamız	Şişkin Bölge	$3,78 \pm 0,13$	$0,29 \pm 0,18$	0,34	110
		İnce Disk	$3,73 \pm 0,08$	$0,31 \pm 0,11$	0,34	334
		Kalın Disk	$4,87 \pm 0,12$	$0,10 \pm 0,16$	0,13	137
		Halo	$3,95 \pm 0,27$	$0,23 \pm 0,40$	0,24	29
		Samanyolu	$3,90 \pm 0,06$	$0,27 \pm 0,08$	0,31	610

Bolluk korelasyon grafikleri, $r > 0,5$ için Şekil 4.3'te ve $0,3 > r > 0,5$ için Şekil 4.4'de verilmiştir. $12 + \log(X/H)$ olarak ifade edilen bolluk karşılaştırmaları, A19, KH22 ve Tan24'ten alınan ortalama değerleri içeren yıldızlararası ortam hakkında bilgi vermektedir.



Şekil 4.3. GB'lerin ($r > 0,5$) bolluk değerlerinin elemen-element karşılaştırma grafikleri.



Şekil 4.4. GB'lerin ($0,3 > r > 0,5$) bolluk değerlerinin elemen-element karşılaştırma grafikleri.

Cl/He, O/H, Ne/N, S/N, Ar/N, Ne/O, S/O, Ar/O, Ar/S ve Ar/Cl için güçlü korelasyonlar ($r > 0,5$) Şekil 4.3'ün oluşturulmasında kullanılmıştır. Bu dağılımlardaki saçılmalar, ölçülen çizgi yoğunluklarındaki belirsizliklere, kızılötesi düzeltmelere ve belirli iyonik çizgilerin yokluğuna bağlanabilir. Galaktik bileşenler için bu elementlerin ortalama değerleri, Güneş değeri ve KH22 ve Tan24 tarafından bildirilen değerlerle birlikte karşılaştırma amacıyla bu grafiklerde sunulmuştur. Bu grafiklerde en dikkat çekici veri, KH22'de bildirilen halo değerlerinin bolluk dağılımıdır. Öte yandan, Ar/Cl için, halo için KH22 verilerindeki dağılım yaklaşık 2 dex'tir. Bu fark, KH22'nin örneğinin 13 GB'den sadece 12 Ar ve 4 Cl'nin ortalama bolluk değeri içermesine bağlanabilir. Ne/N grafiğinde, Tan24'ün şişkin bölge için verdiği değer bizim şişkin bölge değerimizden 1 dex. ve KH22'nin şişkin bölge değerinden 0,5 dex. daha büyük olduğu belirlenmiştir.

En güçlü pozitif korelasyon kükürt-azot (S/N) oranına aittir ($r = 0,87$) ve diğer bolluk dağılımlardan önemli ölçüde farklıdır. S/H ile N/H grafiğindeki 0,83, kükürtün azotla birlikte daha yavaş bir hızda arttığını gösterir. N, AGB aşamasında orta ve düşük kütleli yıldızlarda, özellikle Tip I GB'ye evrilen kütleli yıldızlarda CNO döngüsü ve s-süreci nükleosentezi yoluyla zenginleşir. α elementi olan kükürt, bu süreçlerden büyük ölçüde etkilenmez ve bu, ata yıldızın oluşumundaki yıldızlararası ortamın bileşimini yansıtır. S/H'deki bu daha yavaş artış, kükürtün yıldız nükleosentezinden bağımsız olduğunu vurgularken, azot yıldız evrimiyle daha güçlü bir şekilde bağlantılıdır ve bu da GB'lerin ata yıldız kütle ve evrimine göre farklılaşmasına olanak tanır.

KH22'den elde edilen Ne/O, S/O ve Ar/O oranlarının doğrusal uyum değerleri, bu çalışmada analiz edilen Galaktik bileşenler için elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. İnce disk dışındaki bileşenlerin sınırlı katkılarına rağmen, Ne/O arasında $r = 0,7$ korelasyon katsayısına sahip bir doğrusal uyum belirlenmiştir. Tüm Galaktik bileşenler dikkate alındığında, KH22'deki doğrusal uyumun eğimi 0,95 ($r = 0,72$) iken, biz bunu 0,76 ($r = 0,66$) olarak belirledik. Bu korelasyonun elde edilmesinde 3 kat daha fazla verinin kullandığımızı belirtmek gerekir.

S/O dağılımı, KH22'deki 0,77 ($r = 0,47$) eğimine benzer şekilde 0,60 ($r = 0,59$) eğimli bir doğrusal uyum sergilemektedir. Galaktik bileşenlerin ortalama bolluk değerleri birbirine benzer olmakla birlikte, her iki eksen de Güneş değerinden 0,5 dex daha düşüktür.

Ar/O dağılımı için, KH22'den elde edilen doğrusal denklemin eğimi 0,91 ($R = 0,66$) iken, tüm bileşenleri kapsayan denklemin eğimi 0,61 ($R = 0,69$) dir. Ne/O dağılımında gözlemlenen benzer bir tutarsızlık, örneklem büyüklüğü farkına bağlanabilir. Burada kullanılan veri sayısı KH22'nin 10 katıdır. Galaktik bileşenlerin ortalama Ar/H değerleri Güneş, KH22 ve Tan24'e yakındır. Bu grafikte en dikkat çekici gözlem, halo içindeki GB'lerin Ar/O değerlerinin Güneş ve Galaktik bolluk değerlerinden 1 dex düşük olmasıdır.

Şekil 4.4, Ar/He, Cl/O, S/Ne, Cl/Ne, Ar/Ne ve Cl/S için orta derecede pozitif ($0,3 > r > 0,5$) korelasyonlara sahip element bolluğu grafiklerini göstermektedir. Bunlar arasında Ar/He grafiği en fazla GB sayısına (1168) sahiptir. Benzer şekilde Şekil 4.4'te, KH22'deki farklı elementlerin halo değerleri tüm grafiklerde dağınıkken, diğer bileşen değerleri 0,5 dex civarında yoğunlaşmaktadır. Bu

grafikler arasında, Cl/O dağılımı KH22 ile karşılaştırıldığında eğimde önemli bir fark gösteren tek grafikdir. KH22'de Cl/O dağılımı 0,83 ($R = 0,56$) eğim gösterirken, bu çalışmada 0,31 ($R = 0,30$) eğim göstermiştir. Dikkat çekici bir şekilde, veri setimiz bu korelasyonda yedi kat daha büyüktür.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Galaktik bileşenlerde bulunan 1449 GB'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri istatistiksel olarak incelenmiştir. Bu kapsamda eliptik, bipolar ve asimetrik tipler dahil olmak üzere GB'lerin açısal boyutlarının ve morfolojilerinin, Galaktik disk içinde ağırlıklı olarak dağıldığını ve medyan açısal boyutlarının 12" ve 0,30 pc (~1 ışık yılı) olduğunu ortaya konmuştur. Ayrıca, Haloda bulunan GB'ler diğer bileşenlere kıyasla daha büyük açısal boyutlara sahip olduğu belirlenmiştir (15,5" ve 0,45 pc).

Gaia EDR3'ün GB'lerin merkezi koordinatlarından elde edilen paralaks ölçümleri, uzaklık arttıkça hata paylarının büyümesine neden olmaktadır. Çalışmamızdaki 1108 GB kaynağının C21 kataloğuyla %76,5 oranında eşleşmesi ve eşleşen kaynakların bileşen dağılımlarının %78 Şişkin Bölge, %81 İnce Disk, %90 Kalın Disk ve %99 Halo olarak bulunması, paralaks sapmalarına rağmen bileşenlerdeki dağılım farkının istatistiksel sonuçlarımız üzerinde önemli bir etkisi olmadığını göstermektedir. Buna karşın, GB'lere ait uzaklık bilgileri paralaks yöntemleri ile hesaplanmasının yanı sıra yüzey parlaklığı (surface brightness) ile hesaplanan uzaklık yöntemleri de kullanılabilir. Ayrıca, Gökada dinamiği göz önüne alındığında kaynakların hareketleri incelendiğinde bileşenler arasında keskin sınırlar bulunmadığı ve geçişler gösterebildiği gözlenmektedir. Bu bulgular, GB'lerin bileşenlere göre sınıflandırılmasında ve Galaktik dağılım analizlerinde farklı uzaklık hesaplama yöntemlerinin dikkate alınmasının önemini ortaya koymaktadır.

Tüm GB'lerdeki 29 ışınım çizgisinin çoğundan elde edilen fiziksel parametreler $c(H\beta)$, T_e ve N_e , sırasıyla 1,3 ($\pm 0,04$), 9900 K (± 133) ve 1200 cm^{-3} (± 100) medyan değerleriyle Gauss benzeri dağılımlar sergilemektedir. Bu parametrelerin Galaktik bileşenler arasındaki dağılımları küçük fakat belirgin farklılıklar göstermektedir. Disk bileşenleri daha homojen ve düşük yoğunluk ve sıcaklıkta iken Bulge daha soğuk fakat yoğun ve Halo ise hem yüksek sıcaklık hem yüksek yoğunluk göstermektedir. Şişkin bölge ve ince disk bölgelerindeki $c(H\beta)$ değerleri, yıldızlararası ortam ve Gökada disk yoğunluğu etkisi ile beklendiği gibi GB'lerin genel ortalamasından daha yüksektir.

H (12,0), He (11,3), N (7,8), O (8,4), Ne (7,7), S (6,3), Cl (5,7) ve Ar (6,5) için element bolluğu dağılımları Gauss benzeri modeller sergilemektedir. Parantez içerisinde ortalama değerler verilmiştir. İnce disk GB'ler, O ve Ne hariç, ortalamadan daha yüksek bolluklara sahipken, halo GB'ler en düşük değerlere sahiptir. Şişkin bölge, Galaktik ortalamalarla yakından uyumludur, ancak biraz daha yüksek He ve O ve daha düşük Ne element bolluk değerleri sergiler.

Pearson, Spearman ve Kendall korelasyon testleri dahil olmak üzere istatistiksel analizler, elementler arasında güçlü korelasyonlar olduğunu ortaya koymuştur. Kükürt ve Azot, toplam 21 korelasyonun yarısını oluşturan özellikle yüksek bir korelasyon ($r = 0,87$) göstermektedir. KH22 ve Tan24 ile karşılaştırıldığında, özellikle halo'da element bolluğu oranlarında tutarsızlıklar ($< 2 \text{ dex.}$) görülmektedir. Bunun nedeni KH22 çalışmasında kaynak sayısını az olduğunu unutulmamalıdır.

Belirtildiği üzere, sapma belirsizlikleri yaklaşık %16 düzeyindedir ve veri setinin yalnızca küçük bir bölümünü etkilemektedir. Bununla birlikte, akı ölçümlerindeki belirsizlik oranı yaklaşık %11 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler göz önünde bulundurulduğunda, söz konusu sapma ve belirsizliklerin genel sonuçlar üzerinde anlamlı bir etki yaratması beklenmemektedir.

Bu çalışma, Galaktik GB üzerindeki eğilimleri ortaya koymak amacıyla büyük ölçekli veri kümelerinin kullanımının önemini vurgulamaktadır. Elde edilen bulgular, Galaktik kimyasal evrim sürecinde bu yapıların oynadığı role ilişkin gelecekteki araştırmalara temel oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmayı HASH veri tabanının güncel dinamik yapısı dolayısıyla kaynak sayılarının değişmesi ve tayf verilerinin kırmızı ve mavi bölgelerini birleştirerek, uzaklık bilgisi olmayanları dahil etmek veya uzaklıkları başka yöntemlerle elde ederek çalışmaya dahil edilerek çalışmayı güçlendirilebilir. Öte yandan GB adayı olarak Olası GB, Muhtemel GB ve özellikle yeni adayların HASH veri tabanındaki çoğunluğu göz önüne alındığında bu çalışmaya dahil ederek GB ve adaylarının ilişkisi ile çalışma farklı bir boyuta taşınabilir. Yakın vadede, çalışmanın kapsamını Büyük ve Küçük Macellan Bulutlarını ve yakın gökadalrı da içerecek şekilde genişletmek hedeflenmektedir.

Ayrıca bu tez çalışmadan sonra Gökadamızda RTT150/TFOSC tayölçeri ile gözlemi yapılan 16 GB'ye ait iki çalışmamızda Aksaker, N. ve ark (2024) ve Yalgın, S. ve ark (2025) fotoiyonizasyon modellemesi ile ata yıldızların etkin sıcaklık, ışımaları, gaz/toz yapılar ve kütle yaş bilgileri H-R diyagramı üzerinde konumları incelenmiş ve yayımlanmıştır. Bu aşamadan sonra tez çalışmamızda kullanılan GB'lerin fiziksel özellikleri ve kimyasal özelliklerini kullanarak, önceki çalışmamızdaki tecrübelerimiz ile bu geniş örneklemin fotoiyonizasyon modellemeleri ilerleyen çalışmalarda ele alınacak ve incelenecek; böylece bolluk dağılımlarının ata yıldız kütleleri ve yaşlarıyla ilişkilendirilmesi sağlanarak gökadamızın kimyasal evrimi daha kapsamlı biçimde ortaya konabilecektir.

KAYNAKLAR

- Acker, A., Marcout, J., Ochsenbein, F. 1996. First Supplement to the Strasbourg-ESO Catalogue of Galactic Planetary Nebulae (SECGPN). Garching: European Southern Observatory.
- Acker, A., Marcout, J., Ochsenbein, F., Stenholm, B., Tylenda, R., Schohn, C. 1992. The Strasbourg-ESO Catalogue of Galactic Planetary Nebulae. Parts I, II. Garching: European Southern Observatory.
- Ak, S., ve Bilir, S., 2021. Galactic Astronomy Workshop Proceedings Book. Istanbul University Press.
- Akras, S., Guzmán-Ramírez, L., Gonçalves, D. R. 2019. “Compact planetary nebulae: improved IR diagnostic criteria based on classification tree modelling”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 488(3), 3238-3250.
- Akras, S., Guzmán-Ramírez, L., Leal-Ferreira, M. L., Ramos-Larios, G. 2019. “A census of symbiotic stars in the 2MASS, WISE, and Gaia surveys”, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 240(2), 21.
- Akras, S., Leal-Ferreira, M. L., Guzmán-Ramírez, L., Ramos-Larios, G. 2019. “A machine learning approach for identification and classification of symbiotic stars using 2MASS and WISE”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 483(4), 5077-5104.
- Aksaker, N., Erzincan, N., Akyuz, A., ve Temiz, U. (2024). Physical Properties, Abundances and Photoionization Modeling of 12 Galactic PNe. *Acta Astronomica*, 74(3), 201-229.
- Aller, L. H., & Czyzak, S. J. (1983). Chemical compositions of planetary nebulae. *Astrophysical Journal Supplement Series*, vol. 51, Feb. 1983, p. 211-247., 51, 211-247.
- Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A. J., ve Scott, P., 2009. The chemical composition of the Sun. *Annual review of astronomy and astrophysics*, 47(2009), 481-522.
- Awang Iskandar, D. N., Zijlstra, A. A., McDonald, I., Abdullah, R., Fuller, G. A., Fauzi, A. H., & Abdullah, J. (2020). Classification of planetary nebulae through deep transfer learning. *Galaxies*, 8(4), 88.
- Bailer-Jones, C. A. L., Rybizki, J., Fouesneau, M., Demleitner, M., ve Andrae, R., 2021. Estimating distances from parallaxes. V. Geometric and photogeometric distances to 1.47 billion stars in Gaia Early Data Release 3. *The Astronomical Journal*, 161(3), 147.
- Baldwin, J. A., Phillips, M. M., ve Terlevich, R., 1981. Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 93(551), 5.
- Boumis, P., Paleologou, E. V., Mavromataki, F., & Papamastorakis, J. (2003). New planetary nebulae in the Galactic bulge region with $l > 0^\circ$ – I. Discovery method and first results. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 339(3), 735-747.
- Boumis, P., Akas, S., Xilouris, E. M., Mavromataki, F., Kapakos, E., Papamastorakis, J., & Goudis,

- C. D. (2006). New planetary nebulae in the Galactic bulge region with $l > 0^\circ$ –II. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 367(4), 1551-1561.
- Cardelli, J. A., Clayton, G. C., ve Mathis, J. S. (1989). The relationship between infrared, optical, and ultraviolet extinction. *Astrophysical Journal, Part 1* (ISSN 0004-637X), vol. 345, Oct. 1, 1989, p. 245-256., 345, 245-256.
- Cavichia, O., ve Mollá, M. (2019). The formation of the Galactic bulge in an inside-out scenario. arXiv preprint arXiv:1905.02022.
- 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.
- Chiappini, C., 2001. The Formation and Evolution of the Milky Way: The distribution of the chemical elements in our galaxy serves as a "fossil record" of its evolutionary history. *American Scientist*, 89(6), 506-515.
- Chiappini, C., Górny, S. K., Stasińska, G., ve Barbuy, B., 2009. Abundances in the Galactic bulge: results from planetary nebulae and giant stars. *Astronomy ve Astrophysics*, 494(2), 591-610.
- Chornay, N., ve Walton, N. A., 2021. One star, two star, red star, blue star: an updated planetary nebula central star distance catalogue from Gaia EDR3. *Astronomy ve Astrophysics*, 656, A110.
- Daflon, S., ve Cunha, K., 2004. Galactic metallicity gradients derived from a sample of OB stars. *The Astrophysical Journal*, 617(2), 1115.
- Delgado-Inglada, G., Morisset, C., ve Stasińska, G., 2014. Ionization correction factors for planetary nebulae–I. Using optical spectra. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 440(1), 536-554.
- Drew, Janet E., Greimel, R., Irwin, M. J., Aungwerojwit, A., Barlow, M. J., R. L. M., Drake, J. J., Gänsicke, B. T., Groot, P., Hales, A., Hopewell, E. C., Irwin, J., Knigge, C., Leisy, P., Lennon, D. J., Mampaso, A., Mashedier, M. R. W., Matsuura, M., Morales-Rueda, L., Morris, R. A. H., Parker, Q. A., Phillipps, S., Rodriguez-Gil, P., Roelofs, G., Skillen, I., Sokoloski, J. L., Steeghs, D., Unruh, Y. C., Viironen, K., Vink, J. S., Walton, N. A., Witham, A., Wright, N., Zijlstra, A. A., Zurita, A. 2005. "The INT photometric H α survey of the northern Galactic plane (IPHAS)", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 362(3), 753-776.
- Drew, J. E., Greimel, R., Irwin, M. J., Sale, S. E. 2008. "Early-A stars from IPHAS, and their distribution in and around the Cyg OB2 association", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 386(4), 1761-1773.
- Drew, J. E., Gonzalez-Solares, E., Greimel, R., Irwin, M. J., Küpcü Yoldas, A., Lewis, J., Barentsen, G., Eisloffel, J., Farnhill, H. J., Martin, W. E., Walsh, J. R., Walton, N. A., Mohr-Smith, M., Raddi, R., Sale, S. E., Wright, N. J., Groot, P., Barlow, M. J., Corradi, R. L. M., Drake, J. J., Fabregat, J., Frew, D. J., Gänsicke, B. T., Knigge, C., Mampaso, A., Morris, R. A.

- H., Naylor, T., Parker, Q. A., Phillipps, S., Ruhland, C., Steeghs, D., Unruh, Y. C., Vink, J. S., Wesson, R., Zijlstra, A. A. 2014. “The VST photometric H α survey of the Southern Galactic Plane and Bulge (VPHAS+)”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 440(3), 2036-2058.
- Dwek, E. (2016). Iron: A key element for understanding the origin and evolution of interstellar dust. *The Astrophysical Journal*, 825(2), 136.
- Fitzpatrick, E. L., ve Massa, D., 1990. An analysis of the shapes of ultraviolet extinction curves. III- an atlas of ultraviolet extinction curves. *Astrophysical Journal Supplement Series* (ISSN 0067-0049), vol. 72, Jan. 1990, p. 163-189., 72, 163-189.
- Frew, D. J. (2008). Planetary Nebulae in the Solar Neighbourhood: Statistics, Distance Scale and Luminosity Function (Doctoral dissertation, Macquarie University).
- Frew, D. J., ve Parker, Q. A., 2010. Planetary nebulae: observational properties, mimics and diagnostics. *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 27(2), 129-148.
- Frew, D. J., Parker, Q. A., ve Bojičić, I. S., 2016. The H α surface brightness–radius relation: a robust statistical distance indicator for planetary nebulae. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 455(2), 1459-1488.
- Fragkou, V., Parker, Q. A., Bojičić, I. S., & Aksaker, N. (2018). New Galactic Planetary nebulae selected by radio and multiwavelength characteristics. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 480(3), 2916-2928.
- Gaia Collaboration ; Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, T., de Bruijne, J. H. J., Babusiaux, C., Bailer-Jones, C. A. L., Biermann, M., Evans, D. W., Eyer, L., Jansen, F., Jordi, C., Klioner, S. A., Lammers, U., Lindegren, L., Luri, X., Mignard, F., Panem, C., Pourbaix, D., Randich, S., Sartoretti, P., Siddiqui, H. I., Soubiran, C., van Leeuwen, F., Walton, N. A., Arenou, F., Bastian, U., Cropper, M., Drimmel, R., Katz, D., Lattanzi, M. G., Bakker, J., Cacciari, C., Castañeda, J., Chaoul, L., Cheek, N., De Angeli, F., Fabricius, C., Guerra, R., Holl, B., Masana, E., Messineo, R., Mowlavi, N., Nienartowicz, K., Panuzzo, P., Portell, J., Riello, M., Seabroke, G. M., Tanga, P., Thévenin, F., Gracia-Abril, G., Comoretto, G., Garcia-Reinaldos, M., Teyssier, D., Altmann, M., Andrae, R., Audard, M., Bellas-Velidis, I., Benson, K., Berthier, J., Blomme, R., Burgess, P., Busso, G., Carry, B., Cellino, A., Clementini, G., Clotet, M., Creevey, O., Davidson, M., De Ridder, J., Delchambre, L., Dell'Oro, A., Ducourant, C., Fernández-Hernández, J., Fouesneau, M., Frémat, Y., Galluccio, L., García-Torres, M., González-Núñez, J., González-Vidal, J. J., Gosset, E., Guy, L. P., Halbwachs, J. -L., Hambly, N. C., Harrison, D. L., Hernández, J., Hestroffer, D., Hodgkin, S. T., Hutton, A., Jasiewicz, G., Jean-Antoine-Piccolo, A., Jordan, S., Korn, A. J., Krone-Martins, A., Lanzafame, A. C., Lebzelter, T., Löffler, W., Manteiga, M., Marrese, P. M., Martín-Fleitas, J. M., Moitinho, A., Mora, A., Muinonen, K., Osinde, J., Pancino, E., Pauwels, T., Petit, J. -M., Recio-Blanco, A., Richards, P. J., Rimoldini, L., Robin, A. C.,

Sarro, L. M., Siopis, C., Smith, M., Sozzetti, A., Süveges, M., Torra, J., van Reeve, W., Abbas, U., Abreu Aramburu, A., Accart, S., Aerts, C., Altavilla, G., Álvarez, M. A., Alvarez, R., Alves, J., Anderson, R. I., Andrei, A. H., Anglada Varela, E., Antiche, E., Antoja, T., Arcay, B., Astraatmadja, T. L., Bach, N., Baker, S. G., Balaguer-Núñez, L., Balm, P., Barache, C., Barata, C., Barbato, D., Barblan, F., Barklem, P. S., Barrado, D., Barros, M., Barstow, M. A., Bartholomé Muñoz, S., Bassilana, J. -L., Becciani, U., Bellazzini, M., Berihuete, A., Bertone, S., Bianchi, L., Bienaymé, O., Blanco-Cuaresma, S., Boch, T., Boeche, C., Bombrun, A., Borrachero, R., Bossini, D., Bouquillon, S., Bourda, G., Bragaglia, A., Bramante, L., Breddels, M. A., Bressan, A., Brouillet, N., Brüsemeister, T., Brugaletta, E., Bucciarelli, B., Burlacu, A., Busonero, D., Butkevich, A. G., Buzzì, R., Caffau, E., Cancelliere, R., Cannizzaro, G., Cantat-Gaudin, T., Carballo, R., Carlucci, T., Carrasco, J. M., Casamiquela, L., Castellani, M., Castro-Ginard, A., Charlot, P., Chemin, L., Chiavassa, A., Cocozza, G., Costigan, G., Cowell, S., Crifo, F., Crosta, M., Crowley, C., Cuypers, J., Dafonte, C., Damerdjy, Y., Dapergolas, A., David, P., David, M., de Laverny, P., De Luise, F., De March, R., de Martino, D., de Souza, R., de Torres, A., Debusscher, J., del Pozo, E., Delbo, M., Delgado, A., Delgado, H. E., Di Matteo, P., Diakite, S., Diener, C., Distefano, E., Dolding, C., Drazinos, P., Durán, J., Edvardsson, B., Enke, H., Eriksson, K., Esquej, P., Eynard Bontemps, G., Fabre, C., Fabrizio, M., Faigler, S., Falcão, A. J., Farràs Casas, M., Federici, L., Fedorets, G., Fernique, P., Figueras, F., Filippi, F., Findeisen, K., Fonti, A., Fraile, E., Fraser, M., Frézouls, B., Gai, M., Galletti, S., Garabato, D., García-Sedano, F., Garofalo, A., Garralda, N., Gavel, A., Gavras, P., Gerssen, J., Geyer, R., Giacobbe, P., Gilmore, G., Girona, S., Giuffrida, G., Glass, F., Gomes, M., Granvik, M., Gueguen, A., Guerrier, A., Guiraud, J., Gutiérrez-Sánchez, R., Haigron, R., Hatzidimitriou, D., Hauser, M., Haywood, M., Heiter, U., Helmi, A., Heu, J., Hilger, T., Hobbs, D., Hofmann, W., Holland, G., Huckle, H. E., Hypki, A., Icardi, V., Janßen, K., Jevardat de Fombelle, G., Jonker, P. G., Juhász, Á. L., Julbe, F., Karampelas, A., Kewley, A., Klar, J., Kochoska, A., Kohley, R., Kolenberg, K., Kontizas, M., Kontizas, E., Koposov, S. E., Kordopatis, G., Kostrzewa-Rutkowska, Z., Koubsky, P., Lambert, S., Lanza, A. F., Lasne, Y., Lavigne, J. -B., Le Fustec, Y., Le Poncin-Lafitte, C., Lebreton, Y., Leccia, S., Leclerc, N., Lecoœur-Taïbi, I., Lenhardt, H., Leroux, F., Liao, S., Licata, E., Lindstrøm, H. E. P., Lister, T. A., Livanou, E., Lobel, A., López, M., Managau, S., Mann, R. G., Mantelet, G., Marchal, O., Marchant, J. M., Marconi, M., Marinoni, S., Marschall, G., Marshall, D. J., Martino, M., Marton, G., Mary, N., Massari, D., Matijević, G., Mazeh, T., McMillan, P. J., Messina, S., Michalik, D., Millar, N. R., Molina, D., Molinaro, R., Molnár, L., Montegriffo, P., Mor, R., Morbidelli, R., Morel, T., Morris, D., Mulone, A. F., Muraveva, T., Musella, I., Nelemans, G., Nicastro, L., Noval, L., O'Mullane, W., Ordénovic, C., Ordóñez-Blanco, D., Osborne, P., Pagani, C., Pagano, I., Paillet, F., Palacin, H., Palaversa, L., Panahi, A., Pawlak, M., Piersimoni, A. M.,

Pineau, F. -X., Plachy, E., Plum, G., Poggio, E., Poujoulet, E., Prša, A., Pulone, L., Racero, E., Ragaini, S., Rambaux, N., Ramos-Lerate, M., Regibo, S., Reylé, C., Riclet, F., Ripepi, V., Riva, A., Rivard, A., Rixon, G., Roegiers, T., Roelens, M., Romero-Gómez, M., Rowell, N., Royer, F., Ruiz-Dern, L., Sadowski, G., Sagristà Sellés, T., Sahlmann, J., Salgado, J., Salguero, E., Sanna, N., Santana-Ros, T., Sarasso, M., Saviotto, H., Schultheis, M., Sciacca, E., Segol, M., Segovia, J. C., Ségransan, D., Shih, I. -C., Siltala, L., Silva, A. F., Smart, R. L., Smith, K. W., Solano, E., Solitro, F., Sordo, R., Soria Nieto, S., Souchay, J., Spagna, A., Spoto, F., Stampa, U., Steele, I. A., Steidelmüller, H., Stephenson, C. A., Stoev, H., Suess, F. F., Surdej, J., Szabados, L., Szegedi-Elek, E., Tapiador, D., Taris, F., Tauran, G., Taylor, M. B., Teixeira, R., Terrett, D., Teyssandier, P., Thuillot, W., Titarenko, A., Torra Clotet, F., Turon, C., Ulla, A., Utrilla, E., Uzzi, S., Vaillant, M., Valentini, G., Valette, V., van Elteren, A., Van Hemelryck, E., van Leeuwen, M., Vaschetto, M., Vecchiato, A., Veljanoski, J., Viala, Y., Vicente, D., Vogt, S., von Essen, C., Voss, H., Votruba, V., Voutsinas, S., Walmsley, G., Weiler, M., Wertz, O., Wevers, T., Wyrzykowski, Ł., Yoldas, A., Žerjal, M., Ziaeepour, H., Zorec, J., Zschocke, S., Zucker, S., Zurbach, C., ve Zwitter, T., 2018. Gaia data release 2-summary of the contents and survey properties. *Astronomy ve astrophysics*, 616, A1.

Gaia Collaboration, Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, T., de Bruijne, J. H. J., Babusiaux, C., Biermann, M., Creevey, O. L., Evans, D. W., Eyer, L., Hutton, A., Jansen, F., Jordi, C., Klioner, S. A., Lammers, U., Lindegren, L., Luri, X., Mignard, F., Panem, C., Pourbaix, D., Randich, S., Sartoretti, P., Soubiran, C., Walton, N. A., Arenou, F., Bailer-Jones, C. A. L., Bastian, U., Cropper, M., Drimmel, R., Katz, D., Lattanzi, M. G., van Leeuwen, F., Bakker, J., Cacciari, C., Castañeda, J., De Angeli, F., Ducourant, C., Fabricius, C., Fouesneau, M., Frémat, Y., Guerra, R., Guerrier, A., Guiraud, J., Jean-Antoine Piccolo, A., Masana, E., Messineo, R., Mowlavi, N., Nicolas, C., Nienartowicz, K., Pailer, F., Panuzzo, P., Riclet, F., Roux, W., Seabroke, G. M., Sordo, R., Tanga, P., Thévenin, F., Gracia-Abril, G., Portell, J., Teyssier, D., Altmann, M., Andrae, R., Bellas-Velidis, I., Benson, K., Berthier, J., Blomme, R., Brugaletta, E., Burgess, P. W., Busso, G., Carry, B., Cellino, A., Cheek, N., Clementini, G., Damerdj, Y., Davidson, M., Delchambre, L., Dell'Oro, A., Fernández-Hernández, J., Galluccio, L., García-Lario, P., Garcia-Reinaldos, M., González-Núñez, J., Gosset, E., Haigron, R., Halbwachs, J. -L., Hambly, N. C., Harrison, D. L., Hatzidimitriou, D., Heiter, U., Hernández, J., Hestroffer, D., Hodgkin, S. T., Holl, B., Janßen, K., Jevardat de Fombelle, G., Jordan, S., Krone-Martins, A., Lanzafame, A. C., Löffler, W., Lorca, A., Manteiga, M., Marchal, O., Marrese, P. M., Moitinho, A., Mora, A., Muinonen, K., Osborne, P., Pancino, E., Pauwels, T., Petit, J. -M., Recio-Blanco, A., Richards, P. J., Riello, M., Rimoldini, L., Robin, A. C., Roegiers, T., Rybizki, J., Sarro, L. M., Siopis, C., Smith, M., Sozzetti, A., Ulla, A., Utrilla, E., van Leeuwen, M., van Reeve, W., Abbas, U., Abreu

Aramburu, A., Accart, S., Aerts, C., Aguado, J. J., Ajaj, M., Altavilla, G., Álvarez, M. A., Álvarez Cid-Fuentes, J., Alves, J., Anderson, R. I., Anglada Varela, E., Antoja, T., Audard, M., Baines, D., Baker, S. G., Balaguer-Núñez, L., Balbinot, E., Balog, Z., Barache, C., Barbato, D., Barros, M., Barstow, M. A., Bartolomé, S., Bassilana, J. -L., Bauchet, N., Baudesson-Stella, A., Becciani, U., Bellazzini, M., Bernet, M., Bertone, S., Bianchi, L., Blanco-Cuaresma, S., Boch, T., Bombrun, A., Bossini, D., Bouquillon, S., Bragaglia, A., Bramante, L., Breedt, E., Bressan, A., Brouillet, N., Bucciarelli, B., Burlacu, A., Busonero, D., Butkevich, A. G., Buzzì, R., Caffau, E., Cancelliere, R., Cánovas, H., Cantat-Gaudin, T., Carballo, R., Carlucci, T., Carnerero, M. I., Carrasco, J. M., Casamiquela, L., Castellani, M., Castro-Ginard, A., Castro Sampol, P., Chaoul, L., Charlot, P., Chemin, L., Chiavassa, A., Cioni, M. -R. L., Comoretto, G., Cooper, W. J., Cornez, T., Cowell, S., Crifo, F., Crosta, M., Crowley, C., Dafonte, C., Dapergolas, A., David, M., David, P., de Laverny, P., De Luise, F., De March, R., De Ridder, J., de Souza, R., de Teodoro, P., de Torres, A., del Peloso, E. F., del Pozo, E., Delbo, M., Delgado, A., Delgado, H. E., Delisle, J. -B., Di Matteo, P., Diakite, S., Diener, C., Distefano, E., Dolding, C., Eappachen, D., Edvardsson, B., Enke, H., Esquej, P., Fabre, C., Fabrizio, M., Faigler, S., Fedorets, G., Fernique, P., Fienga, A., Figueras, F., Fouron, C., Fragkoudi, F., Fraile, E., Franke, F., Gai, M., Garabato, D., Garcia-Gutierrez, A., García-Torres, M., Garofalo, A., Gavras, P., Gerlach, E., Geyer, R., Giacobbe, P., Gilmore, G., Girona, S., Giuffrida, G., Gomel, R., Gomez, A., Gonzalez-Santamaria, I., González-Vidal, J. J., Granvik, M., Gutiérrez-Sánchez, R., Guy, L. P., Hauser, M., Haywood, M., Helmi, A., Hidalgo, S. L., Hilger, T., Hładczuk, N., Hobbs, D., Holland, G., Huckle, H. E., Jasniewicz, G., Jonker, P. G., Juaristi Campillo, J., Julbe, F., Karbevská, L., Kervella, P., Khanna, S., Kochoska, A., Kontizas, M., Kordopatis, G., Korn, A. J., Kostrzewa-Rutkowska, Z., Kruszyńska, K., Lambert, S., Lanza, A. F., Lasne, Y., Le Campion, J. -F., Le Fustec, Y., Lebreton, Y., Lebzelter, T., Leccia, S., Leclerc, N., Lecoœur-Taïbi, I., Liao, S., Licata, E., Lindstrøm, E. P., Lister, T. A., Livanou, E., Lobel, A., Madrero Pardo, P., Managau, S., Mann, R. G., Marchant, J. M., Marconi, M., Marcos Santos, M. M. S., Marinoni, S., Marocco, F., Marshall, D. J., Martin Polo, L., Martín-Fleitas, J. M., Masip, A., Massari, D., Mastrobuono-Battisti, A., Mazeh, T., McMillan, P. J., Messina, S., Michalik, D., Millar, N. R., Mints, A., Molina, D., Molinaro, R., Molnár, L., Montegriffo, P., Mor, R., Morbidelli, R., Morel, T., Morris, D., Mulone, A. F., Munoz, D., Muraveva, T., Murphy, C. P., Musella, I., Noval, L., Ordénovic, C., Orrù, G., Osinde, J., Pagani, C., Pagano, I., Palaversa, L., Palicio, P. A., Panahi, A., Pawlak, M., Peñalosa Esteller, X., Penttilä, A., Piersimoni, A. M., Pineau, F. -X., Plachy, E., Plum, G., Poggio, E., Poretti, E., Poujoulet, E., Prša, A., Pulone, L., Racero, E., Ragaini, S., Rainer, M., Raiteri, C. M., Rambaux, N., Ramos, P., Ramos-Lerate, M., Re Fiorentin, P., Regibo, S., Reylé, C., Ripepi, V., Riva, A., Rixon, G., Robichon, N., Robin, C., Roelens, M., Rohrbasser, L., Romero-Gómez, M., Rowell, N., Royer, F.,

- Rybicki, K. A., Sadowski, G., Sagristà Sellés, A., Sahlmann, J., Salgado, J., Salguero, E., Samaras, N., Sanchez Gimenez, V., Sanna, N., Santoveña, R., Sarasso, M., Schultheis, M., Sciacca, E., Segol, M., Segovia, J. C., Ségransan, D., Semeux, D., Shahaf, S., Siddiqui, H. I., Siebert, A., Siltala, L., Slezak, E., Smart, R. L., Solano, E., Solitto, F., Souami, D., Souchay, J., Spagna, A., Spoto, F., Steele, I. A., Steidelmüller, H., Stephenson, C. A., Stüveges, M., Szabados, L., Szegedi-Elek, E., Taris, F., Tauran, G., Taylor, M. B., Teixeira, R., Thuillot, W., Tonello, N., Torra, F., Torra, J., Turon, C., Unger, N., Vaillant, M., van Dillen, E., Vanel, O., Vecchiato, A., Viala, Y., Vicente, D., Voutsinas, S., Weiler, M., Wevers, T., Wyrzykowski, Ł., Yoldas, A., Yvard, P., Zhao, H., Zorec, J., Zucker, S., Zurbach, C., Zwitter, T. (2021) Gaia early data release 3-summary of the contents and survey properties. *Astronomy & Astrophysics*, 649, A1.
- García-Rojas, J., & Esteban, C. (2007). On the abundance discrepancy problem in H II regions. *The Astrophysical Journal*, 670(1), 457.
- Gerhard, O., Arnaboldi, M., Freeman, K. C., Kashikawa, N., Okamura, S., & Yasuda, N. (2005). Detection of intracluster planetary nebulae in the Coma Cluster. *The Astrophysical Journal*, 621(2), L93.
- Gledhill, T. M., Froebrich, D., Campbell-White, J., & Jones, A. M. (2018). Planetary Nebulae in the UWISH2 survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 479(3), 3759-3777.
- González-Santamaría, I., Manteiga, M., Manchado, A., Ulla, A., Dafonte, C., & Varela, P. L. (2021). Planetary nebulae in Gaia EDR3: Central star identification, properties, and binarity. *Astronomy & Astrophysics*, 656, A51.
- Henry, R. B., Speck, A., Karakas, A. I., Ferland, G. J., & Maguire, M., 2012. The curious conundrum regarding sulfur abundances in planetary nebulae. *The Astrophysical Journal*, 749(1), 61.
- Howarth, I. D. (1983). LMC and galactic extinction. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 203(2), 301-304.
- Huggins, W., & Miller, W. A. (1864). XII. On the spectra of some of the fixed stars. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, (154), 413-435.
- Irabor, T., Hoare, M. G., Oudmaijer, R. D., Urquhart, J. S., Kurtz, S., Lumsden, S. L., ... & Umana, G. (2018). VizieR Online Data Catalog: CORNISH project IV. Radio-selected galactic PN (Irabor+, 2018). *VizieR Online Data Catalog*, 748, J-MNRAS.
- Jenkins, S., Ayers, P. W., Kirk, S. R., Mori-Sánchez, P., & Pendás, A. M. (2009). Bond metallicity of materials from real space charge density distributions. *Chemical Physics Letters*, 471(1-3), 174-177.
- Karakas, A. I., Van Raai, M. A., Lugaro, M., Sterling, N. C., & Dinerstein, H. L. (2008). Nucleosynthesis predictions for intermediate-mass asymptotic giant branch stars: comparison to observations of type I planetary nebulae. *The Astrophysical Journal*, 690(2), 1130

- Karakas, A. I., ve Lattanzio, J. C. (2014). The Dawes review 2: nucleosynthesis and stellar yields of low-and intermediate-mass single stars. *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 31, e030.
- Kendall, M. G. 1938. "A new measure of rank correlation". *Biometrika*, 30(1-2), 81-93.
- Kingsburgh, R. L., & Barlow, M. J. (1994). Elemental abundances for a sample of southern galactic planetary nebulae. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. Vol. 271, No. 2, p. 257-299, 271, 257-299.
- Kisieliuss, R., Storey, P. J., Ferland, G. J., & Keenan, F. P. (2009). Electron-impact excitation of O ii fine-structure levels. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 397(2), 903-912.
- Kobayashi, H., Kimura, H., Watanabe, S. I., Yamamoto, T., ve Müller, S., 2011. Sublimation temperature of circumstellar dust particles and its importance for dust ring formation. *Earth, planets and space*, 63(10), 1067-1075.
- Kohoutek, L. 2001. "Version 2000 of the catalogue of Galactic planetary nebulae", *Astronomy & Astrophysics*, 378(3), 843-846.
- Koupelis, T. 2017. *Evreni anlama serüveni* (7. Baskı, Çev. Ed. T. Güver). Nobel Akademik Yayıncılık. (Orijinal eser yayımlanma tarihi: 2014)
- Kwitter, K. B., ve Henry, R. B. C., 2022. Planetary nebulae: Sources of enlightenment. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 134(1032), 022001.
- Kwok, S. (2000). *The origin and evolution of planetary nebulae*. The origin and evolution of planetary nebulae/Sun Kwok. Cambridge; New York: Cambridge University Press.
- Landi, N., & Perfetti, C. A. (2007). An electrophysiological investigation of semantic and phonological processing in skilled and less-skilled comprehenders. *Brain and language*, 102(1), 30-45.
- Lenz, D. D., & Ayres, T. R. (1992). Errors associated with fitting Gaussian profiles to noisy emission-line spectra. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 104(681), 1104.
- Liu, X. W., Barlow, M. J., Zhang, Y., Bastin, R. J., & Storey, P. J. (2006). Chemical abundances for Hf 2-2, a planetary nebula with the strongest-known heavy-element recombination lines. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 368(4), 1959-1970.
- Liu, X., Stanghellini, L., ve Karakas, A. I., 2017. *Planetary Nebulae (IAU S323): Multi-Wavelength Probes of Stellar and Galactic Evolution*. Cambridge University Press.
- Maeder, A. (1992). Stellar yields as a function of initial metallicity and mass limit for black hole formation. *Astronomy and Astrophysics* (ISSN 0004-6361), vol. 264, no. 1, p. 105-120., 264, 105-120.
- Magrini, L., Stanghellini, L., & Gonçalves, D. R. (2011). Extragalactic planetary nebulae: Tracers of the chemical evolution of nearby galaxies. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 7(S283), 251-258.
- Mendoza, C., & Zeippen, C. J. (1982). Transition probabilities for forbidden lines in the 3 p 3

- configuration. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 198(1), 127-139.
- Mendoza, C. (1983, January). Recent advances in atomic calculations and experiments of interest in the study of planetary nebulae. In *Symposium-International Astronomical Union* (Vol. 103, pp. 143-172). Cambridge University Press.
- Moe, M., & De Marco, O. (2006). Do most planetary nebulae derive from binaries? I. Population synthesis model of the galactic planetary nebula population produced by single stars and binaries. *The Astrophysical Journal*, 650(2), 916.
- Mollá, M., Cavichia, O., Costa, R. D. D., ve Maciel, W. J., 2016. The population of planetary nebulae near the Galactic Centre: chemical abundances. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 12(S323), 339-340.
- Osterbrock, D. E., ve Ferland, G. J., 2006. *Astrophysics Of Gas Nebulae and Active Galactic Nuclei*. University science books.
- Peimbert, M., Peimbert, A., & Delgado-Inglada, G. (2017). Nebular spectroscopy: a guide on H ii regions and planetary nebulae. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 129(978), 082001.
- Perek, L., & Kohoutek, L. (1967). Errata: Catalogue of Galactic Planetary Nebulae. *Bulletin of the Astronomical Institute of Czechoslovakia*, vol. 18, p. 252, 18, 252.
- Pagomenos, G. J., Bernard-Salas, J., ve Pottasch, S. R., 2018. Neon, sulphur, and argon abundances of planetary nebulae in the sub-solar metallicity Galactic anti-centre. *Astronomy ve Astrophysics*, 615, A29.
- Parker, Q. A., 2022. Planetary nebulae and how to find them: A concise review. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, 9, 895287.
- Parker, Q. A., Bojičić, I. S., ve Frew, D. J. (2016, July). HASH: the Hong Kong/AAO/Strasbourg H α planetary nebula database. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 728, No. 3, p. 032008). IOP Publishing.
- Parker, Q. A., Xiang, Z., ve Ritter, A., 2022. A Preliminary Investigation of CSPN in the HASH Database. *Galaxies*, 10(1), 32.
- Parker, Quentin A., Acker, A., Frew, D. J., Hartley, M., Peyaud, A. E. J., Ochsenbein, F., Phillipps, S., Russeil, D., Beaulieu, S. F., Cohen, M., Köppen, J., Miszalski, B., Morgan, D. H., Morris, R. A. H., Pierce, M. J., ve Vaughan, A. E., 2006. The Macquarie/AAO/Strasbourg H α Planetary Nebula Catalogue: MASH. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 373(1), 79-94.
- Payne, J. L., White, G. L., ve Filipović, M. D., 2008. Long-slit optical spectroscopy of Large Magellanic Cloud radio supernova remnants. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 383(3), 1175-1194.
- Pearson, K., 1895. VII. Note on regression and inheritance in the case of two parents. *proceedings of the royal society of London*, 58(347-352), 240-242.

- Pradhan, A. K. (1976). Close-coupling calculations for electron collisions with O⁺ and for bound states of neutral oxygen. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, 9(3), 433.
- Prevot, M. L., Lequeux, J., Maurice, E., Prevot, L., ve Rocca-Volmerange, B. (1984). The typical interstellar extinction in the Small Magellanic Cloud. *Astronomy and Astrophysics* (ISSN 0004-6361), vol. 132, no. 2, March 1984, p. 389-392., 132, 389-392.
- Porter, R. L., Ferland, G. J., Storey, P. J., ve Detisch, M. J., 2012. Improved He I emissivities in the case B approximation. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 425(1), L28-L31.
- Reid, M. J., Menten, K. M., Brunthaler, A., Zheng, X. W., Dame, T. M., Xu, Y., Wu, Y., Zhang, B., Sanna, A., Sato, M., Hachisuka, K., Choi, Y. K., Immer, K., Moscadelli, L., Rygl, K. L. J., ve Bartkiewicz, A., 2014. Trigonometric parallaxes of high mass star forming regions: the structure and kinematics of the Milky Way. *The Astrophysical Journal*, 783(2), 130.
- Sabbadin, F., Minello, S., ve Bianchini, A., 1977. Sharpless 176: a large, nearby planetary nebula. *Astronomy and Astrophysics*, 60, 147-149
- Sabin, L., Parker, Q. A., Contreras, M. E., Olguín, L., Frew, D. J., Stupar, M., Vázquez, R., Wright, N. J., Corradi, R. L. M., ve Morris, R. A. H., 2013. New Galactic supernova remnants discovered with IPHAS. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 431(1), 279-291.
- Shklovsky, I. S. (1956). A new scale of distances of planetary nebulae. *Astronomicheskii Zhurnal*, 33, 222-235.
- Smits, D. P. (1996). Theoretical He I line intensities in low-density plasmas. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 278(3), 683-687.
- Spearman, C., 1961. The Proof and Measurement of Association Between Two Things. *American Journal of Psychology*, 45, 58.
- Stanghellini, L., Smith, V. V., Cunha, K., ve Prantzos, N., 2024. Abundances of planetary nebulae and evolved stars: Iron and sulfur depletion, and carbon and nitrogen enrichment, in low-and intermediate-mass stellar populations in the Milky Way. *The Astrophysical Journal*, 972(2), 130.
- Stanghellini, L., ve Haywood, M. (2018). Galactic planetary nebulae as probes of radial metallicity gradients and other abundance patterns. *The Astrophysical Journal*, 862(1), 45.
- Stasinska, G., 2023. On determining the chemical composition of planetary nebulae. *arXiv preprint arXiv:2312.01873*.
- Stock, D. J., Barlow, M. J., & Wesson, R. (2011). The spectroscopic properties of the nebulae around seven Galactic and LMC Wolf–Rayet stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 418(4), 2532-2547.
- Sun, R., Li, Y., Parker, Q., Li, J., Li, X., Cao, L., & Jia, P. (2024). Correction to: Artificial Intelligence Techniques for Uncovering Resolved Planetary Nebula Candidates from Wide-field

- VPHAS+ Survey Data. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.
- Storey, P. J., & Hummer, D. G. (1995). Recombination line intensities for hydrogenic ions-IV. Total recombination coefficients and machine-readable tables for $Z= 1$ to 8. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 272(1), 41-48.
- Tan, S., Parker, Q. A., Zijlstra, A., ve 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.
- Tan, S., Parker, Q. A., Zijlstra, A., ve 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.
- Tan, S., Parker, Q. A., Zijlstra, A. A., ve Rees, B., 2024. A catalogue of planetary nebulae chemical abundances in the Galactic bulge. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 527(3), 6363-6387.
- Temiz, U., 2022. Kuzey yarıküreden seçilen gezegenimsi bulutsu ve adaylarının tayfsal incelenmesi. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, 95 s.
- Tsamis, Y. G., Walsh, J. R., Péquignot, D., Barlow, M. J., Danziger, I. J., & Liu, X. W. (2008). Integral field spectroscopy of planetary nebulae: mapping the line diagnostics and hydrogen-poor zones with VLT FLAMES. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 386(1), 22-46.
- Tunçbilek, Ç.P., 2024. Galaktik 12 gezegenimsi bulutsunun element bolluklarının belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, 84 s.
- Valenti, E., Zoccali, M., Gonzalez, O. A., Minniti, D., Alonso-García, J., Marchetti, E., ... & Rejkuba, M. (2016). Stellar density profile and mass of the Milky Way bulge from VVV data. Astronomy & Astrophysics, 587, L6.
- Viironen, K., Delgado-Inglada, G., Mampaso, A., Magrini, L., ve Corradi, R. L. M., 2007. The S2N2 metallicity calibrator and the abundance gradient of M 33. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 381(4), 1719-1726.
- Wesson, R., Liu, X. W., & Barlow, M. J. (2005). The abundance discrepancy—recombination line versus forbidden line abundances for a northern sample of galactic planetary nebulae. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 362(2), 424-454.
- Wesson, R., Stock, D. J., ve Scicluna, P., 2012. Understanding and reducing statistical uncertainties in nebular abundance determinations. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 422(4), 3516-3526.
- Wesson, R., 2016. ALFA: An automated line fitting algorithm. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 456(4), 3774-3781.
- Yalçın, Ş., Aksaker, N., Erzincan, N., ve Akyuz, A. (2025). Optical spectroscopy and photoionization modeling of four selected planetary nebulae. New Astronomy, 102413.

- Yan, Y., Du, C., Liu, S., Li, H., Shi, J., Chen, Y., Ma, J., ve Wu, Z., 2019. Chemical and kinematic properties of the Galactic disk from the LAMOST and Gaia sample stars. *The Astrophysical Journal*, 880(1), 36.
- Zeippen, C. J. (1982). Transition probabilities for forbidden lines in the $2p\ 3$ configuration. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 198(1), 111-125.
- Zijlstra, A. A., ve Pottasch, S. R., 1991 . On the scale height of planetary nebulae. *Astronomy and Astrophysics* (ISSN 0004-6361), vol. 243, no. 2, March 1991, p. 478-482., 243, 478-482.
- Zoccali, M., ve Valenti, E., 2016. The 3D Structure of the Galactic Bulge. *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 33, e025.



ÖZGEÇMİŞ

Nurullah ERZİNCAN, öğrenim hayatına Adana’da başlamış ve İlk ile Ortaöğrenimini burada tamamlamıştır. 2016 yılında Adana Anadolu İmam Hatip Lisesi’nden mezun olmuştur. Lisans derecesini, 2021 yılında Çukurova Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fen Bilgisi Öğretmenliği programından almıştır. Yüksek Lisans eğitimine ise 5 Eylül 2022 tarihinde Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Astronomi ve Astrofizik Anabilim Dalı’nda başlamıştır.







EKLER



Ek 1. FITS Dosya Kodu Çıktısı Okuma

```
from astropy.io import fits
# Specify the path to your FITS file
fits_file_path = '/Users/nurullah/Desktop/true_PNe/Fits_Neat_Çıktı/png019.fits_fit.fits' # Replace
with your actual file path
# Open the FITS file
with fits.open(fits_file_path) as hdul:
    # You can access the data in the FITS file
    # For example, printing the information about the FITS file:
    hdul.info()
    # You can access different HDU (Header Data Unit) in the FITS file
    # For example, to access the primary HDU (usually the first one):
    primary_hdu = hdul[2]
    # hdul 0, 1, 2 ve 3'te diğer bilgiler yer almaktadır.
    # You can access the data and header of the primary HDU
    data = primary_hdu.data
    header = primary_hdu.header
    # You can also print the header and data to see the details
    print("Header:")
    print(repr(header))
    print("Data:")
    print(data)
```

Ek 2. Kaynakların Aitoff projeksiyonunda gösterimi ve bileşenlerinin belirlemesi

```
import pandas as pd
from openpyxl import load_workbook
from openpyxl.styles import PatternFill
from openpyxl.utils.dataframe import dataframe_to_rows
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Ana dosyalar
file_path =
'/Users/nerzincan/Desktop/galaxy_abundance/Uzak_Pc/sigma_5/bilgiislem/8.34/6563/6563.xlsx'
sheet_name = 'Sayfa2'
new_sheet_name = 'Sayfa3'
# Referans tüm kaynakları içeren dosya
all_sources_path = '/Users/nerzincan/TEZ/nurullahertzincan_09072025.xlsx'
all_sources_df = pd.read_excel(all_sources_path, sheet_name='Sayfa1')
all_sources_coords = all_sources_df[['Glon', 'Glat']].dropna()
# 6563 kaynaklarını oku
df = pd.read_excel(file_path, sheet_name=sheet_name)
df_coords = df[['Glon', 'Glat']].dropna()
# Sadece ana katalogda olup 6563.xlsx içinde olmayanları belirle
# Yaklaşık eşleşme için koordinatları yuvarlayarak kıyaslıyoruz (0.001 derece hassasiyet)
rounded_all = all_sources_coords.round(3)
rounded_df = df_coords.round(3)
merged = pd.merge(rounded_all, rounded_df, on=['Glon', 'Glat'], how='left', indicator=True)
missing_sources = merged[merged['_merge'] == 'left_only'][['Glon', 'Glat']]
# 6563 dosyasındaki veriler
galactic_ra = df['Glon']
galactic_dec = df['Glat']
disc_r = df['Gdist']
rgeo = df['rgeo']
l = galactic_ra
b = galactic_dec
l_centered = (l - 180) % 360 - 180
# Harita
fig = plt.figure(figsize=(10, 6))
ax = fig.add_subplot(1, 1, 1, projection='aitoff')
```

```

ax.grid(True)
# Bileşenleri tanımla
z_ince_disk_max = 400
z_kalin_disk_max = 1000
ince_disk_bolge = np.abs(disc_r) <= z_ince_disk_max
kalin_disk_bolge = (np.abs(disc_r) > z_ince_disk_max) & (np.abs(disc_r) <= z_kalin_disk_max)
siskin_bolge_bolge = (rgeo >= 8340 - 2000) & (rgeo <= 8340 + 2000)
siskin_bolge_bolge &= ~((galactic_ra > 14) & (galactic_ra < 346))
halo_bolge = ~(ince_disk_bolge | kalin_disk_bolge | siskin_bolge_bolge)
# Haritaya çizim
ax.scatter(np.radians(l_centered[ince_disk_bolge]), np.radians(b[ince_disk_bolge]), color='red',
s=5)
ax.scatter(np.radians(l_centered[kalin_disk_bolge]), np.radians(b[kalin_disk_bolge]), color='green',
s=5)
ax.scatter(np.radians(l_centered[siskin_bolge_bolge]), np.radians(b[siskin_bolge_bolge]),
color='blue', s=5)
ax.scatter(np.radians(l_centered[halo_bolge]), np.radians(b[halo_bolge]), color='orange', s=5)
ax.scatter(np.radians(l_centered[np.isclose(disc_r, 0)]), np.radians(b[np.isclose(disc_r, 0)]),
color='gray', s=5)
# Eksik kaynakları aitoff projeksiyonuna siyah renkte ekle
missing_l_centered = (missing_sources['Glon'] - 180) % 360 - 180
missing_b = missing_sources['Glat']
ax.scatter(np.radians(missing_l_centered), np.radians(missing_b), color='black', s=0.1)
# Haritayı kaydet
plt.savefig('/Users/nerzincan/TEZ/görüntüler/Aitof_project_milkway.pdf')
plt.show()
plt.close()
# Excel dosyasını yükle
wb = load_workbook(file_path)
# Yeni sayfa oluştur
if new_sheet_name in wb.sheetnames:
    ws = wb[new_sheet_name]
else:
    ws = wb.create_sheet(new_sheet_name)
# Gbileşen sütununu oluştur ve verileri güncelle
df['Gbileşen'] = "
for idx in df.index:

```

```

if np.isclose(disc_r[idx], 0):
    df.at[idx, 'Gbileşen'] = 'no distance'
elif siskin_bolge_bolge[idx]:
    df.at[idx, 'Gbileşen'] = 'Bulge'
elif ince_disk_bolge[idx]:
    df.at[idx, 'Gbileşen'] = 'Thin Disc'
elif kalin_disk_bolge[idx]:
    df.at[idx, 'Gbileşen'] = 'Thick Disk'
else:
    df.at[idx, 'Gbileşen'] = 'Halo'

# Yeni sayfaya verileri yaz
for r in dataframe_to_rows(df, index=False, header=True):
    ws.append(r)

# Hücreleri renklendir
for idx in df.index:
    row_num = idx + 2
    gbilesen = df.at[idx, 'Gbileşen']
    if gbilesen == 'Thin Disc':
        fill = PatternFill(start_color='FF0000', end_color='FF0000', fill_type='solid')
    elif gbilesen == 'Thick Disk':
        fill = PatternFill(start_color='00FF00', end_color='00FF00', fill_type='solid')
    elif gbilesen == 'Bulge':
        fill = PatternFill(start_color='0000FF', end_color='0000FF', fill_type='solid')
    elif gbilesen == 'Halo':
        fill = PatternFill(start_color='FFA500', end_color='FFA500', fill_type='solid')
    else:
        fill = None
    if fill:
        for col in range(1, len(df.columns) + 1):
            ws.cell(row=row_num, column=col).fill = fill

# Excel dosyasını kaydet
wb.save(file_path)

# Bilgi çıktı
gbilesen_counts = df['Gbileşen'].value_counts()
for gbilesen, count in gbilesen_counts.items():
    print(f'{gbilesen}: {count}')
print(f'Haritaya siyah olarak eklenen kaynak sayısı: {len(missing_sources)}')

```

Ek 3. SMBa, SMBb, BTPa ve BPTb tanı diyagramlarının çizdirilmesi

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from scipy.interpolate import interp1d

# =====
# Ortak Ayarlar
# =====

fontsize = 16

excel_path =
'Users/nerzincan/Desktop/galaxy_abundance/Uzak_Pc/sigma_5/bilgiislem/8.34/6563/6563.xlsx'
data = pd.read_excel(excel_path, sheet_name='smb_bpt')

# Renk haritası
color_map = {
    'Bulge': 'blue',
    'Thin Disk': 'red',
    'Thick Disk': 'green',
    'Halo': 'orange',
    'no distance': 'grey',
    'no data': 'black'
}

colors = data['Gbileşen'].map(color_map).fillna('black').tolist()

# =====
# Yardımcı Fonksiyon
# =====

def add_data_counts_tr(subset):
    counts = subset['Gbileşen'].value_counts()
    text_lines = [
        f'Şişkin Bölge: {counts.get('Bulge', 0)}",
        f'İnce Disk: {counts.get('Thin Disk', 0)}",
        f'Kalın Disk: {counts.get('Thick Disk', 0)}",
        f'Halo: {counts.get('Halo', 0)}",
        f'Kaynak Sayısı: {len(subset)}"
    ]
    return "\n".join(text_lines)

def plot_scatter_with_labels(x, y, gb_col, xlabel, ylabel, title,
                             subset_cols, extra_points=None, extra_lines=None,
```

```

        label_positions=None, save_path=None):
plt.figure(figsize=(8, 8))
# Ekstra veri noktaları
if extra_points:
    for d in extra_points:
        plt.scatter(d['x'], d['y'], c=d['color'], marker=d.get('marker','o'),
                    alpha=d.get('alpha',1), label=d.get('label',''))
# Ana GB verisi
plt.scatter(x, y, c=colors, s=5)
# Ekstra çizgiler
if extra_lines:
    for line in extra_lines:
        plt.plot(line['x'], line['y'], **line.get('kwargs',{}))
# Etiketler
plt.xlabel(xlabel, fontsize=13)
plt.ylabel(ylabel, fontsize=13)
# GB veri sayısı kutusu
subset = data[subset_cols].dropna()
plt.text(0.05, 0.98, add_data_counts_tr(subset), transform=plt.gca().transAxes,
        verticalalignment='top', horizontalalignment='left',
        fontsize=10, bbox=dict(facecolor='white', alpha=0.7, edgecolor='black'))
# Manuel etiketler
if label_positions:
    for label, pos in label_positions.items():
        plt.text(pos[0], pos[1], label, fontsize=14, color='white',
                bbox=dict(facecolor='black', boxstyle='round,pad=0.1'))
# Legend
plt.scatter([], [], c='blue', marker='o', label='Şişkin Bölge')
plt.scatter([], [], c='red', marker='o', label='İnce Disk')
plt.scatter([], [], c='green', marker='o', label='Kalın Disk')
plt.scatter([], [], c='orange', marker='o', label='Halo')
#plt.legend(loc='lower left')
plt.legend(loc='lower left')
plt.grid(True)
if save_path:
    plt.savefig(save_path, bbox_inches='tight', dpi=300)
plt.show()

```

```

# =====
# Grafik 1 - SMB-a
# =====

data4 = pd.read_excel('/Users/nerzincan/Desktop/python_kodlar/SMB_SNR_HII.xlsx')
extra_points1 = [
    {'x': data4['Log1'], 'y': data4['Log2'], 'color': 'black', 'marker': 's', 'alpha': 0.25, 'label': 'HII'},
    {'x': data4['LOG(H $\alpha$ /[S II])'], 'y': data4['LOG(H $\alpha$ /[N II])'], 'color': 'blue', 'marker': 'v', 'alpha': 0.25,
    'label': 'SNR'}
]

extra_lines1 = [
    {'x': [-0.43, 1.27, 3], 'y': [-0.56, 0.38, 1.76], 'kwargs': {'linestyle': '--', 'color': 'k', 'label': 'H II'}},
    {'x': [0.40, 0.70, 1.46], 'y': [0.22, 1.18, 2.00], 'kwargs': {'linestyle': '--', 'color': 'k'}},
    {'x': [-0.43, 0.40, 0.40, 0.59, 0.00, -0.43], 'y': [-0.56, -0.10, 0.22, 0.82, 0.82, -0.56], 'kwargs':
    {'linestyle': '--', 'color': 'b', 'label': 'SNR'}},
    {'x': [-0.13, 3], 'y': [-1.50, 0.09], 'kwargs': {'color': 'r', 'label': 'GB'}},
    {'x': [-1.00, 3.00], 'y': [-0.899, 2.245], 'kwargs': {'color': 'r'}}
]

label_positions1 = {
    "GB": (1.7, -0.35),
    "SNR": (-0.3, -0.2),
    "H II": (1.5, 1.35)
}

plot_scatter_with_labels(
    data['LOG(HS2)'], data['LOG(HN2)'], 'Gbileşen',
    'log(H $\alpha$ /[S II])', 'log(H $\alpha$ /[N II])', 'SMB Diagramı',
    subset_cols=['LOG(HS2)', 'LOG(HN2)', 'Gbileşen'],
    extra_points=extra_points1, extra_lines=extra_lines1,
    label_positions=label_positions1,
    save_path='/Users/nerzincan/TEZ/görüntüler/SMBa.png'
)

# =====
# Grafik 2 - BPT-a
# =====

x_data = np.linspace(-2.5, 0.3, 1000)
y_data = (0.61 / (x_data - 0.47)) + 1
yf = interp1d(x_data, y_data, 'cubic')(x_data)

```

```

data1 = pd.read_csv('/Users/nerzincan/Desktop/python_kodlar/BPT_a_HII_region.csv', sep='\t')
data3 = pd.read_csv('/Users/nerzincan/Desktop/python_kodlar/BPT_a_SNR.csv', sep='\t')
extra_points2 = [
    {'x': data1['LOG1'], 'y': data1['LOG2'], 'color':'black', 'marker':'s', 'alpha':0.25, 'label':'H II'},
    {'x': data3['LOG1'], 'y': data3['LOG2'], 'color':'blue', 'marker':'v', 'alpha':0.25, 'label':'SNR'}
]
extra_lines2 = [
    {'x': x_data, 'y': yf, 'kwargs': {'linestyle':'--', 'color':'k', 'label':'H II'}},
    {'x': [-0.50, -0.50, -0.10], 'y': [-1.50, 0.19, 2.00], 'kwargs': {'linestyle':'--', 'color':'b', 'label':'SNR'}},
    {'x': [-2.50, 1.50], 'y': [1.30, 1.30], 'kwargs': {'color':'r', 'label':'GB'}}
]
label_positions2 = {
    "GB": (0.9, 0.8),
    "SNR": (0.3, -0.5),
    "H II": (-1.3, -0.4)
}
plot_scatter_with_labels(
    data['LOG(N2H)'], data['LOG(O3H2)'], 'Gbileşen',
    'log([N II]/H $\alpha$ )', 'log([O III] 5007/H $\beta$ )', 'BPT-a Diyagramı',
    subset_cols=['LOG(N2H)', 'LOG(O3H2)', 'Gbileşen'],
    extra_points=extra_points2, extra_lines=extra_lines2,
    label_positions=label_positions2,
    save_path='/Users/nerzincan/TEZ/görüntüler/BPTa.png'
)
# =====
# Grafik 3 - BPT-b
# =====

data1 = pd.read_excel('/Users/nerzincan/Desktop/python_kodlar/BPT_b_HII_regions.xlsx')
data2 = pd.read_csv('/Users/nerzincan/Desktop/python_kodlar/BPT_b_SNR.csv', sep='\t')
extra_points3 = [
    {'x': data1['LOG1'], 'y': data1['LOG2'], 'color':'black', 'marker':'s', 'alpha':0.25, 'label':'H II'},
    {'x': data2['LOG1'], 'y': data2['LOG2'], 'color':'blue', 'marker':'v', 'alpha':0.25, 'label':'SNR'}
]
x_data = np.linspace(-3, 0.1, 100)
y_data = (0.72 / (x_data - 0.32)) + 1.30
yf = interp1d(x_data, y_data, 'cubic')(x_data)
extra_lines3 = [

```

```

        {'x': [-0.40, -0.40, 0.09], 'y': [-1.49, 0.30, 1.99], 'kwargs': {'linestyle': '--', 'color': 'b', 'label': 'SNR'}},
        {'x': [-3, -0.41, -0.16, -0.00, -0.00], 'y': [1.30, 1.30, 1.15, 0.90, 0.00], 'kwargs':
{'color': 'r', 'label': 'GB'}},
        {'x': x_data, 'y': yf, 'kwargs': {'linestyle': '--', 'color': 'k'}}
    ]
    label_positions3 = {
        "GB": (-2.52, 1.15),
        "SNR": (0.07, 0.8),
        "H II": (-2.25, -0.25)
    }
    plot_scatter_with_labels(
        data['LOG(S2H)'], data['LOG(O3H2)'], 'Gbileşen',
        'log([S II]/H $\alpha$ )', 'log([O III] 5007/H $\beta$ )', 'BPT-b Diyagramı',
        subset_cols=['LOG(S2H)', 'LOG(O3H2)', 'Gbileşen'],
        extra_points=extra_points3, extra_lines=extra_lines3,
        label_positions=label_positions3,
        save_path='/Users/nerzincan/TEZ/görüntüler/BPTb.png'
    )
    # =====
    # Grafik 4 - SMB-b
    # =====
    extra_lines4 = [
        {'x': [0.4, 0.4], 'y': [0.65, 1.65], 'kwargs': {'linestyle': '--', 'color': 'b', 'label': 'SNR'}},
        {'x': [0.4, 1.6], 'y': [0.8, 0.8], 'kwargs': {'linestyle': '--', 'color': 'k', 'label': 'H II'}},
        {'x': [0.4, 1.6], 'y': [1.55, 1.55], 'kwargs': {'linestyle': '--', 'color': 'k'}},
        {'x': [1.6, 1.6], 'y': [0.8, 1.55], 'kwargs': {'linestyle': '--', 'color': 'k'}},
        {'x': [1.15, 0.4], 'y': [0.4, 0.65], 'kwargs': {'color': 'r', 'label': 'GB'}},
        {'x': [0.4, 0.0], 'y': [0.65, 0.9], 'kwargs': {'color': 'r'}},
        {'x': [0.0, 0.0], 'y': [0.9, 1.65], 'kwargs': {'color': 'r'}}
    ]
    label_positions4 = {
        "GB": (1.2, 0.7),
        "SNR": (-0.05, 1.05),
        "H II": (1.35, 1.2)
    }
    plot_scatter_with_labels(
        data['LOG(HS2)'], data['6716_6731'], 'Gbileşen',

```

```
'log(H $\alpha$ /[S II])','I(6716/6731)','SMB-b Diyagramı',  
subset_cols=['LOG(HS2)','6716_6731','Gbileşen'],  
extra_lines=extra_lines4,  
label_positions=label_positions4,  
save_path='/Users/nerzincan/TEZ/görüntüler/SMBb.png'  
)
```

