



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

GALAKSİMİZDEKİ ÇUBUK YAPININ İNCELENMESİ

Şivan DURAN

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. Esma YAZ GÖKÇE

Ağustos, 2022

İSTANBUL

Bu çalışma, 02.08.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı, Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı'nda Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Esmâ YAZ GÖKÇE (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Ahmet Talât SAYGAÇ
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Melike AFŞAR
Ege Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Zeynep BOZKURT
Ege Üniversitesi
Fen Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ULUBAY
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

- **İntihal Programı Beyanı**

20.04.2016 tarihli resmi gazetede yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

- **Proje Destekleri**

Bu tez, 112T120 numaralı proje ile Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir.



ÖNSÖZ

Doktoram boyunca oldukça olumsuz olaylara maruz kaldım ve bu süreçte yer yer psikolojik olarak çöktüğüm dönemler oldu. Bu dönemlerde varlığıyla bile bana çok destek olan anneme sonsuz teşekkür ederim. Arada sırada birbirimize sinirlensek de hayatım boyunca hep en yakınımda olan kardeşime olan minnettarlığımı anlatmaya kelimeler kifayetsiz kalır. Sizleri çok seviyorum.

Tez çalışmamda benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, ailemden birisi olarak gördüğüm sevgili danışmanım Doç. Dr. Esmâ YAZ GÖKÇE'ye çok teşekkür ederim.

Yıllarca ara raporlarımı sunduğum ve bana hep yapıcı eleştirilerde bulunan saygıdeğer tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Talât SAYGAÇ'a ve Prof. Dr. Melike AFŞAR'a katkılarından ötürü minnettarım. Tezimi okuyup değerlendiren jüri üyelerine ayrı ayrı teşekkür ederim.

Doç. Dr. M. Hakan Erkut'a özellikle teşekkür etmek istiyorum. Kendisinin bana sağladığı imkanlar ve desteği benim için çok önemliydi.

İyi ve kötü dönemlerimde bana destek olan bütün arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Bu tezi, doktora başlamadan kısa bir süre önce kaybettiğim babama ve babaanneme armağan etmek istiyorum. Işıklar içinde uyuyun...

Ağustos, 2022

Şivan DURAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	5
2.1. ÇUBUKLU SARMAL BİR GALAKSİ: SAMANYOLU	5
2.2. GALAKTİK ŞİŞKİN BÖLGE VE ÇUBUK	8
2.3. ÇUBUK OLUŞUMU VE EVRİMİ	12
2.3.1. ÇUBUK OLUŞUM SENARYOLARI	12
2.3.2. ÇUBUK YAPININ EVRİMİ	15
2.3.3. BÜKÜLME KARARSIZLIĞI	15
2.4. ÇUBUK YAPININ YOK OLMASI	18
2.5. ÇUBUĞUN GALAKSİ EVRİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	18
2.5.1. AÇISAL MOMENTUM TRANSFERİ	18
2.5.2. SAHTE ŞİŞKİN BÖLGE OLUŞUMU	19
2.6. GALAKSİ MODELLERİ	19
2.6.1. BESANÇON GALAKSİ MODELİ	20
2.7. KIRMIZI YIĞIN YILDIZLAR	24
3. MALZEME VE YÖNTEM	29
3.1. VERİLER	29
3.1.1. <i>WISE</i>	29

3.1.2. UKIDSS GALAKSİ DÜZLEM GÖKYÜZÜ TARAMASI	31
3.1.3. VVV	32
3.2. KIRMIZI YIĞIN YILDIZLARIN AYIKLANMASI	33
3.3. BESANÇON MODELİYLE ÖRNEK ALANLARIN BELİRLENMESİ	36
3.4. YAPAY SİNİR AĞLARI	39
3.4.1. BAYES SİNİR AĞLARI	42
3.4.2. KAYIP (LOSS) FONKSİYONU	43
4. BULGULAR	44
4.1. BAYES SİNİR AĞLARININ EĞİTİMİ	44
4.2. ÇUBUK VE ŞİŞKİN BÖLGENİN FİZİKSEL YAPISININ BELİRLENMESİ	48
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	52
5.1. BAYES SİNİR AĞLARININ SONUÇLARI	52
5.2. ÇUBUK VE ŞİŞKİN BÖLGE ARASINDAKİ İLİŞKİ	53
5.3. ÇUBUK UZUNLUĞU VE KONUM AÇISI	54
5.4. SONUÇ	55
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	71

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

- Şekil 2.1:** Samanyolu'nun Yuri Beletsky tarafından ESO'nun Paranal Gözlemevindeki VLT (Very Large Telescope) tarafından alınmış görüntüsü. (ESO, Y. Beletsky, görüntü kodu: potw1036a). 5
- Şekil 2.2:** Samanyolu diskinin tepeden görünüşü. Sarmal kolların isimleri, çubuk ve Güneş'in konumu görsel üzerinde belirtilmiştir. Ayrıca çubuğun yarı uzunluğu ($r_{\text{çubuk}}$ ve konum açısı (ϕ) şekil üzerinde gösterilmiştir.) (NASA/JPL-Caltech/ESO, R. Hurt, görüntü kodu: eso1339g). 7
- Şekil 2.3:** Klasik ve sahte şişkin bölgelere örnek görüntüler. Üstte M81, altta NGC 6782 galaksisi görülmektedir (Görüntüler Hubble Uzay Teleskobu arşivinden alınmıştır). M81 klasik bir şişkin bölgeye sahipken NGC 6782 merkezinde sahte şişkin bölge barındırır. Klasik şişkin bölgeler daha çok birleşmelerle oluşan daha küresel yapılardır. Sahte şişkin bölgeler galaksi diskinin ya da çubuğunun uzun süreli (seküler) evrimiyle meydana gelir... 10
- Şekil 2.4:** Galaksi merkezinin 500 pc civarındaki toz haritası. Gri bölge Galaktik çubuğun konumunu ifade etmektedir. Büyük elips kesişim olmayan, küçük elips kesişimli x1 yörüngelerini göstermektedir. Koyu bölgeler salma gösteren moleküler yapıların haritasıdır (Bally ve diğ., 2010). 16
- Şekil 2.5:** Galaksinin disk oluşumuna ait çok cisimli sayısal benzetimleri (Sellwood ve Wilkinson, 1993). Panellerin sağ üstünde yazılı birim zamanlarda galaksi diskinin tepeden ve yandan görüntüleri. 17
- Şekil 2.6:** Güneş civarındaki yıldızların renk-parlaklık diyagramı. Dikdörtgen içerisinde kalan bölge KY yıldızlarını göstermektedir (Yaz Gökçe ve diğ., 2013). 26
- Şekil 3.1:** WISE uydusunun temsili bir görüntüsü (NASA/JPL-Caltech, Görüntü kodu: PIA17254). 29
- Şekil 3.2:** WISE fotometrisindeki bantların geçirgenlik eğrileri. 30
- Şekil 3.3:** UKIRT fotometrisindeki J , H , K bantlarının geçirgenlik eğrileri. 32
- Şekil 3.4:** VVV verilerinin dağılımı. Renk skalası K_S bandındaki limit parlaklıkları belirtmektedir. 33
- Şekil 3.5:** $l = 18^\circ$, $b = -2^\circ$ alanı için WISE W1 ve VVV J parlaklıkları kullanılarak oluşturulmuş renk-parlaklık diyagramı a panelinde; J ve W1 bantlarındaki sönmekleştirmeye karşı uzaklık ilişkisi b panelinde; $d-E(J - W1)$ ilişkisi c panelinde gösterilmiştir. 0,665 kadirdeki dikey kesikli çizgi KY yıldızlarının gerçek $(J - W1)_0$ renklerini ifade etmektedir (Yaz Gökçe ve diğ., 2013). a panelindeki noktali çizgiler arasında kalan bölge KY yıldızlarının konumlarıdır. Buradaki büyük noktalar 0,2 kadir görünen parlaklık adımlarındaki KY yıldızlarının ortalama renkleridir. 36

- Şekil 3.6:** Üst panel UKIDSS verileri, alt panel bu bölge için ideal bir Besançon modelinden elde edilen bir renk-parlaklık diyagramını göstermektedir. KY yıldızlarının bulunduğu yeri gösteren noktalar Tablo 3.1’de orta sönükleştirmeli olarak tanımlanmış değerleri ifade etmektedir. Bu noktalarda bulunan KY yıldızlarının uzaklıkları noktaların sağ üstüne yazılmıştır. Renk skalası ilgili pikseldeki yıldız sayısını vermektedir. 38
- Şekil 3.7:** Yapay sinir ağlarının temel yapısı. Her düğüm bir nöronu temsil eder. Oklar ağırlıklardır ve nöronlar arasındaki bağın gücünü belirler. 40
- Şekil 3.8:** Yapay sinir ağlarının eğitiminde kullanılan bazı aktivasyon fonksiyonları. Fonksiyonların matematiksel ifadeleri Tablo 3.2’de verilmiştir. 41
- Şekil 4.1:** Bayes derin öğrenme modelinin öğrenme eğrisi. Üst panel kayıp fonksiyonunun ($-\log L$), alt panel ortalama mutlak hata değerlerinin öğrenme evresine göre değişimini göstermektedir. 45
- Şekil 4.2:** Üst paneller BSA modellerinin eğitiminde kullanılan, Eşitlik 3.9’deki eğitim veri seti $\mathcal{D} = \{(x_i, y_i)\}$ ’nin görüntüsüdür. Sol üst panel sentetik yıldızların RPD’sini, sağ üst panel bu yıldızların HRD’sini göstermektedir. BSA modelini test etmek için üretilmiş yıldızların RPD’leri sol alt panelde, model kullanılarak sönükleştirmelerini ve uzaklıklarını hesaplayarak elde ettiğimiz HRD sağ alt panelde verilmiştir. 46
- Şekil 4.3:** BSA modelinin test veri seti için hesapladığı A_K ve uzaklık değerlerinin gerçek değerlerle karşılaştırmaları. Üst paneller birebir karşılaştırmaları gösterirken alt paneller gerçek ve hesaplanan değerler arasındaki farkların dağılımını göstermektedir. 47
- Şekil 4.4:** Sol panelde $(l, b) = (10^\circ, 2,8^\circ)$ alanı için *WISE* ve *VVV* verilerinin eşleştirilmesiyle oluşturulmuş renk-parlaklık diyagramı görülmektedir. Siyah düz çizgi, KY yıldızlarının gerçek renkleridir $((K_s - W1)_0 = 0,04^m$, Yaz Gökçe ve diğ., 2013). Bu panelde kesikli çizgiler arasında kalan bölgede KY yıldızları bulunmaktadır. Sağ panelde KY yıldızlarının uzaklık modülü dağılımları gösterilmiştir. Siyah kesikli dikey çizgi *WISE* fotometrisinin limit parlaklığını işaret etmektedir. Siyah düz eğri, uzaklık modülü dağılımına uygulanan, Eşitlik 4.1’deki modelin en uygun sonucunu göstermektedir. Model parametreleri panelin sol üstünde listelenmiştir. 48
- Şekil 4.5:** Üst panel Galaksi merkezinin X-Y düzlemindeki gösterimi. İçi dolu daireler çubuk yapıyı, içi dolu kareler şişkin bölgeyi, içi boş kareler KY yıldızlarının yığılmasının gözlenemediği ya da verilerin tam olmadığı bölgeleri temsil etmektedir. Şekil üzerindeki Güneş simgesi Güneş’in Galaksideki konumunu, kesikli gri halkalar Galaksi merkezinden itibaren 2 kpc adımlı mesafeleri, noktalı gri çizgiler de 30° aralıklı Galaktik boylamları göstermektedir. Sol alt panelde, MCMC simülasyonundan belirlenen çubuk yarı uzunluk dağılımı; sağ alt panelde çubuğun Güneş-Galaksi merkezi doğrultusuyla yaptığı eğimi ifade eden dağılım verilmiştir. Ayrıca parametrelere ait Gauss dağılımları da paneller üzerine çizilmiştir. 51

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Galaktik bileşenlerin Robin ve diğ. (2003) tarafından kabul edilen yaş, yerel yoğunluk (ρ_0), eksen oranı (ϵ), ortalama metal bolluğu ($\langle [Fe/H] \rangle$), metal bolluğu gradyenti, BKF ve YOO değerleri.	21
Tablo 2.2: Robin ve diğ. (2003) Besançon modeli için Galaktik bileşenlere ait yoğunluk kanunları. $a^2 = R^2 + \frac{z^2}{\epsilon^2}$; R : Galaksi merkezine olan uzaklık, z : Galaktik düzleme olan dik doğrultudaki mesafe; ϵ : eksen oranı ve ρ_0 bileşenlerin yerel kütle yoğunluklarıdır. d_0 normalizasyon sabitidir. YAM: yıldızlararası madde, KMH: karanlık madde halosu anlamına gelmektedir.	23
Tablo 3.1: Gözlemsel verilerden yola çıkılarak, farklı sönükleştirmeye sahip alanlardaki KY yıldızlarının parlaklık–renk ilişkileri. Bu değerlere uygun bir şekilde Besançon modelleri üretilmiştir.	37
Tablo 3.2: Derin öğrenme modellerinde kullanılan bazı aktivasyon fonksiyonlarının matematiksel ifadeleri.	41
Tablo 5.1: Çubuk yapıya ait fiziksel parametrelerin literatürde verilen değerleri ve bu değerlerin elde edildiği yöntemler.	57

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

$M_{\odot}$	: Güneş kütlesi
ϕ	: Konum açısı
M_{λ}	: İlgili dalgaboyundaki mutlak parlaklık
A_{λ}	: İlgili dalgaboyundaki toplam sönükleştirme
d	: Yıldızın Güneş'e uzaklığı
z	: Yıldızın Galaksi düzlemine dik olan dik uzaklığı
R	: Yıldızın Galaksi merkezine olan uzaklığı
R_0	: Güneş'in Galaksi merkezine olan uzaklığı
ρ_0	: Yıldız / Gaz / Toz'un Güneş civarındaki yoğunluğu
h_z	: Yıldız / Toz'un yükseklik ölçeği

Kısaltmalar

Açıklama

UKIDSS	: United Kingdom Infrared Deep Sky Survey
VVV	: Vista Variables in the Via Lactea
WISE	: Wide-field Infrared Survey Explorer
Gaia	: Global Astrometric Interferometer for Astrophysics
HRD	: Hertzsprung–Russell Diyagramı
RPD	: Renk–Parlaklık Diyagramı
KY	: Kırmızı Yığın
YOO	: Yıldız Oluşum Oranı
BKF	: Başlangıç Kütle Fonksiyonu
BSA	: Bayes Sinir Ağları

ÖZET

DOKTORA TEZİ

GALAKSİMİZDEKİ ÇUBUK YAPININ İNCELENMESİ

Şivan DURAN

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Esmâ YAZ GÖKÇE

İçinde bulunduğumuz Galaksi birçok yapıyı barındırmaktadır. Yarım asır önce bu yapılar keşfedilse de bunların nasıl oluştukları, nasıl evrimleştikleri ve yapısal parametreleri tam olarak bilinmemektedir. Galaksimizin yapısını ortaya koyabilmek için tüm bu yapıların iyi bir şekilde anlaşılması önemlidir. Galaktik çubuk da bu yapılardan biridir. Bu yapının, Galaksi'deki bükülme ve alevlenme gibi yapıların oluşumunda önemli rolü olduğu düşünülmüştür. Çubuk yapının çalışılması Galaksimizin oluşumunu, evrimini anlamamız için önemlidir. Dolayısıyla doktora tezinde, toplam sönükleştirmenin maksimum olduğu Galaktik düzlemde uzak kaynakların gözlenebilmesini sağlayan yeni ve hassas kızılöte fotometrik verilerden (*WISE*, *VVV* ve *UKIDSS*) faydalanılmıştır. Tez çalışmasında kırmızı yığın yıldızlar kullanılarak Güneş'in Galaksi merkezine olan uzaklığı, çubuk yapının konum açısı, çubuğun yarı uzunluğu ve şişkin bölgenin yarı uzunluğu sırasıyla $R_0 = 8,0 \pm 0,5$ kpc, $\phi = 39,4^\circ \pm 0,8^\circ$, $r_{\text{çubuk}} = 4,1 \pm 0,1$ kpc ve $r_{\text{ş.b.}} = 3,0 \pm 0,2$ kpc olarak hesaplanmıştır. Ayrıca tezde çubuk yapıyla şişkin bölge aynı hizada bulunmuştur. Tezde bulunan sonuçlar daha hassas ve büyük verilerden elde edildiği için literatüre önemli bir katkı sağlanmıştır.

Temmuz 2022, 84 sayfa.

Anahtar kelimeler: Galaksi, Kırmızı Yığın Yıldızlar, Galaktik Çubuk, Galaktik Şişkin Bölge, Fotometri.

SUMMARY

Ph.D. THESIS

INVESTIGATION OF THE BAR STRUCTURE IN OUR GALAXY

Şivan DURAN

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Astronomy and Space Sciences

Supervisor: Assoc. Prof. Esma YAZ GÖKÇE

The Galaxy we live in contains many structures. Even if these structures were discovered half a century ago, how they were formed, how they evolve and their structural parameters are not well-known. To reveal the structure of our Galaxy, it is important to have a good understanding of all these structures. The Galactic bar is one of these structures. It was thought that the Galactic bar structure plays an important role in the formation of warping and flaring in the Galaxy. Investigating the bar structure is important for understanding of the formation and evolution of the Milky Way. Therefore, the PhD thesis is made use of the most recent and precise infrared photometric data (*WISE*, *VVV*, and *UKIDSS*) that allow us to observe distant sources in the Galactic plane, where the total extinction is maximum. In the thesis, the distance of the Sun from the center of the Galaxy using the red clump stars, the position angle of the bar structure, the half-length of the bar, half-length of the bulge are estimated $R_0 = 8.0 \pm 0.5$ kpc, $\phi = 39.4^\circ \pm 0.8^\circ$, $r_{\text{bar}} = 4.1 \pm 0.1$ kpc, and $r_{\text{bulge}} = 3.0 \pm 0.2$ kpc, respectively. Since the results found in the thesis were obtained using more accurate and big data, an important contribution has been made to the literature.

July 2022, 84 pages.

Keywords: Galaxy, Red Clump Stars, Galactic Bar, Galactic Bulge, Photometry.

1. GİRİŞ

Samanyolu en temel haliyle merkezinde bir şişkin bölgeden, bunun etrafını saran bir diskten, diski üç boyutta çevreleyen bir halodan oluşan bir galaksidir (Bahcall ve Soneira, 1980). Ancak sonradan yapılan çalışmalar, özellikle yıldız sayımına dayanan araştırmalarla Galaksimizin daha karmaşık bir yapısının olduğunu göstermiştir (Gilmore ve Wyse, 1986, 1985; Gilmore ve Reid, 1983). Gilmore ve Reid (1983) Güney Galaktik kutup doğrultusundaki yıldızların dağılımını incelediklerinde, gözlem verilerini tek bir üstel disk modeliyle ifade edemediklerinden ikinci bir üstel disk modeli daha eklemiştir. Bu çift disk modeli gözlemsel verilerle uyumlu çıkınca diskin, ince ve kalın disk olarak iki bileşenden oluştuğu kabul edilmiştir. Böylelikle kalın disk bileşeninin varlığı keşfedilmiştir. Daha sonra farklı özelliklere sahip bu iki bileşenin birbirlerinden ayrık olup olmadığı araştırma konusu olmuştur (Fuhrmann, 1998; Kawata ve Chiappini, 2016; Prochaska ve diğ., 2000). 2000’li yılların başından itibaren CCD’lerin (Charge-Coupled Device) kullanılmasıyla yüksek kaliteli ve geniş kapsamlı gökyüzü taramaları yapılmıştır. Elde edilen büyük boyutlu veriler Galaksi’nin karmaşık diskinin daha detaylı olarak incelenmesine olanak sağlamıştır. Araştırmacı sayısının artması, yüksek kaliteli büyük verilere ulaşmanın kolaylaşması ve yeni analiz yöntemlerinin kullanılması, Galaksimizde daha önce varlığını bile bilmediğimiz birçok yapının keşfedilmesine olanak sağlamıştır. Bu keşifler beraberlerinde yeni bilimsel problemler ortaya çıkarmıştır.

Doktora tezinin konusu olan ve Galaktik diskin merkezinde uzanan çubuk yapının varlığı, ilk olarak de Vaucouleurs (1964) tarafından, hidrojenin 21 cm dalgaboyundaki ışınım gözlemleriyle ortaya atılmıştır. Son dönemlerde yapılan gökyüzü taramalarıyla da bu yapı daha detaylı olarak incelenmeye başlamıştır (Blitz ve Spergel, 1991; Cabrera-Lavers ve diğ., 2007, 2008; Wegg ve diğ., 2015). Bazı çalışmalarda yarı uzunluğu 2,5 kpc, konum açısı $\phi = 15^\circ - 30^\circ$ olan bir kalın çubuktan (Babusiaux ve Gilmore, 2005; Dwek ve diğ., 1995; López-Corredoira ve diğ., 1997; Stanek ve diğ., 1997), bazılarındaysa 4 kpc yarı uzunluğa ve $\phi = 45^\circ$ konum açısına sahip uzun bir çubuktan bahsedilmektedir (Benjamin ve diğ., 2005; Cabrera-Lavers ve diğ., 2007, 2008; Hammersley ve diğ., 1994; López-Corredoira ve diğ., 2007; Picaud ve diğ., 2003). Ayrıca Wegg ve diğ. (2015) bu yapıyla beraber başka bir “çok ince” çubuk yapının olduğunu da iddia etmiştir. Çalışmada çubuk yapının yarı uzunluğu $5,0 \pm 0,2$ kpc, çok ince çubuğun yarı uzunluğu da $4,6 \pm 0,3$ kpc olarak hesaplanmaktadır.

Fakat Wegg ve diğ. (2015) çubuğun konum açısını $\phi = 28^\circ\text{--}33^\circ$ arasında vermektedir. Uzun zamandır bilinen çubuk yapıyla ilgili yapılan çalışmalarda farklı değerlerin veriliyor olması, yeni verilerle bu konunun çalışılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Galaksi düzlemine yakın bölgeler yıldızlararası sönükleştirmenin en fazla olduğu yerlerdir. Çubuk yapının Galaksi merkezine yakın bölgelerde bulunması, buradaki yıldızların sönükleştirmeden çok fazla etkileneceği anlamı taşır. Bu nedenle, bu çalışmada sönükleştirmeden en az etkilenen kıızılötesi fotometrik veriler kullanılmıştır. Ayrıca anakol yıldızlarına göre daha parlak olan Kırmızı yığın (KY) yıldızları kaynak olarak seçilmiştir.

KY yıldızları, optik ve yakın kıızılötesi verilerden çizilen Hertzsprung–Russell (HR) diyagramının yatay kolunun kırmızı tarafında yığılı şekilde bulunan kırmızı dev yıldızlardır. Bu yıldızlar çekirdeklerindeki hidrojeni tüketmiş olup, kararlı bir biçimde helyum yakmaktadır. Ancak, orta ve küçük kütleli yıldızlar ($0,8 M_\odot < M < 2\text{--}2,5 M_\odot$) bu aşamaya geçebilmektedir ve KY yıldızlarının ömürleri $1\text{--}3 \times 10^8$ yıl'dır (Girardi, 2016). Süreç, diğer kırmızı dev aşamalarına göre daha uzun olduğu için KY yıldızları oldukça fazla sayıda gözlenebilmektedir. KY yıldızlarının parlaklığına, yaş ve metal bolluğunun etkisinin çok küçük oluşu, yıldızların ışıma güçlerinin çok dar bir aralıkta değişmesi, bu yıldızları standart ışık kaynağı yapmaktadır (Girardi, 2016; Salaris ve Girardi, 2002; Stanek ve Garnavich, 1998). KY yıldızlarının gerçek renkleri ve mutlak parlaklıkları birçok araştırmada hesaplanmıştır (Alves, 2000; Laney ve diğ., 2012; Salaris ve Girardi, 2002; Yaz Gökçe ve diğ., 2013). Sabit bir mutlak parlaklık ve renk değeri kabul edilerek, KY yıldızlarının uzaklık ve kızarma değerlerini yeterince hassas bir şekilde hesaplamak mümkündür.

Uzaklık hesabında yıldızlararası sönükleştirme çok önemli bir role sahiptir. Özellikle sönükleştirmenin çok fazla olduğu, Galaksi'nin merkez bölgeleri çalışılırken bu parametrenin uzaklık üzerindeki etkisi çok daha fazladır. Galaktik sönükleştirmenin etkilerini en aza indirmek için yakın ve orta kıızılötesi bölgelerde gözlem yapmış, *WISE* (**W**ide-field **I**nfrared **S**urvey **E**xplorer; Wright ve diğ., 2010), *VVV* (**V**ista **V**ariables in the **V**ia **L**actea; Minniti ve diğ., 2017) ve *UKIDSS GPS DR11* (**U**KIRT **I**nfraRed **D**eep **S**ky **S**urveys **G**alactic **P**lane **S**urvey; Lucas ve diğ., 2008) verileri kullanılmıştır. UKIDSS GPS DR11 veri sürümü diğer bu konuda yapılan araştırmalara göre iki kat daha fazla yıldız sağlamıştır. Ayrıca tez çalışmasında, Cutri ve diğ. (2021) tarafından güncellenen

WISE (AllWISE) tüm gökyüzü taraması verisi kullanılmıştır.

Yukarıda anlatıldığı gibi, çubuk yapının Galaksi evrimi üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılması için çubuk yapının özelliklerinin iyi şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, Galaksimiz için bulunan bu bilgiler diğer galaksilerdeki çubuk yapıları çözebilmeyi sağlayacağı için bu çalışmanın önemi büyüktür. Çubuk yapının güncel bir araştırma konusu olması ve literatürdeki bu yapıya ait fiziksel parametrelerin geniş bir aralıkta verilmesi nedeniyle yeni ve kaynak sayısı artmış (yaklaşık iki kat) verilerle bu araştırmanın yapılması literatüre önemli bir katkı sunmaktadır.

Çubuğun yarı uzunluğu ve konum açısı (ϕ) hesaplanırken Cabrera-Lavers ve diğ. (2007, 2008); López-Corredoira ve diğ. (2007) yöntemleri geliştirilerek kullanılmıştır. Bu çalışmalar, renk-parlaklık diyagramında (RPD) KY yıldızlarının yerlerinin Wainscoat ve diğ. (1992)'nin modeli kullanılarak belirlenmesine dayanmaktadır. Doktora tez çalışmasında da benzer bir yöntem izlenerek KY yıldızları renk-parlaklık diyagramlarında Sharma ve diğ. (2011) modeliyle tesbit edilmiştir. Özellikle şişkin bölge doğrultusunda *WISE* ve VVV fotometrisindeki KY yıldızları kullanılarak analizler yapılmıştır. Çubuğun etkin olduğu alanlarda, UKIDSS verilerinin derin öğrenme modelleriyle analiz edilmesiyle uzaklık ve sönükleştirme belirlenmiştir.

KY yıldızların RPD üzerindeki konumları gözlemsel ve model alanlar için uyumlu olacak şekilde uygun yıldız modelleri (Czekaj ve diğ., 2014; Robin ve diğ., 2003) üretilmiştir. Yıldız modellerinin, derin öğrenme modelleri kullanılarak gözlemsel verilerle karşılaştırılmasıyla yıldızların uzaklıkları ve sönükleştirme değerleri tayf türünden bağımsız bir şekilde hesaplanmıştır. Dolayısıyla tezde yapılan uzaklık ve sönükleştirme hesaplarında sadece KY yıldızlarından faydalanılmamıştır.

Tezin “Genel Kısımlar” bölümünde, Samanyolu ve çubuk yapı, oluşum ve evrim teorileri, gözlemsel ve benzetimler ışığında sentetik galaksi modelleri, çubuğun Galaksi evrimi üzerindeki etkisi hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca tezde kullanılan ve yıldızlararası ortamın olumsuz etkilerinin yüksek olduğu Galaksi diskinin araştırılmasında, kızılötede parlak olması nedeniyle tercih edilen KY yıldızların özellikleri anlatılmıştır. “Malzeme ve Yöntemler” bölümünde yine Galaktik diskte uzaktaki kaynaklara ulaşılmasını sağlayan elektromanyetik bölgenin kızılötedeki önemli gökyüzü tarama programlarından bazıları olan *WISE*, VVV ve UKIDSS hakkında bilgiler sunulmuştur. Ayrıca bu bölümde, kımızı yığın

yıldızların ayıklanması ve Besançon galaksi modelleriyle örnek alanların belirlenmesi, yapay sinir ağıları anlatılmıştır. Ulaşılan sonuçlar “Bulgular” kısmında sunulmuştur. “Tartışma ve Sonuç” bölümünde elde edilen sonuçlar literatürle kıyaslanıp tartışılmıştır.



2. GENEL KISIMLAR

2.1. ÇUBUKLU SARMAL BİR GALAKSİ: SAMANYOLU

Samanyolu, ismini antik Yunan döneminde gökyüzündeki büyüleyici görüntüsünden almıştır. Galaksimizin düzlemi olan bu bölge hem yıldızlarca hem de tozca çok zengin olduğundan Samanyolu puslu bir ışık şeridi gibi göze çarpar (Şekil 2.1). Bu ışıltılı şeridin göz alıcı rengini ve şeklini bir süt yoluna benzeten antik Yunan dönemindeki insanlar, burayı *galaktikos* olarak adlandırmışlardır.



Şekil 2.1: Samanyolu'nun Yuri Beletsky tarafından ESO'nun Paranal Gözlemevindeki VLT (Very Large Telescope) yanından alınmış görüntüsü. (ESO, Y. Beletsky, görüntü kodu: potw1036a).

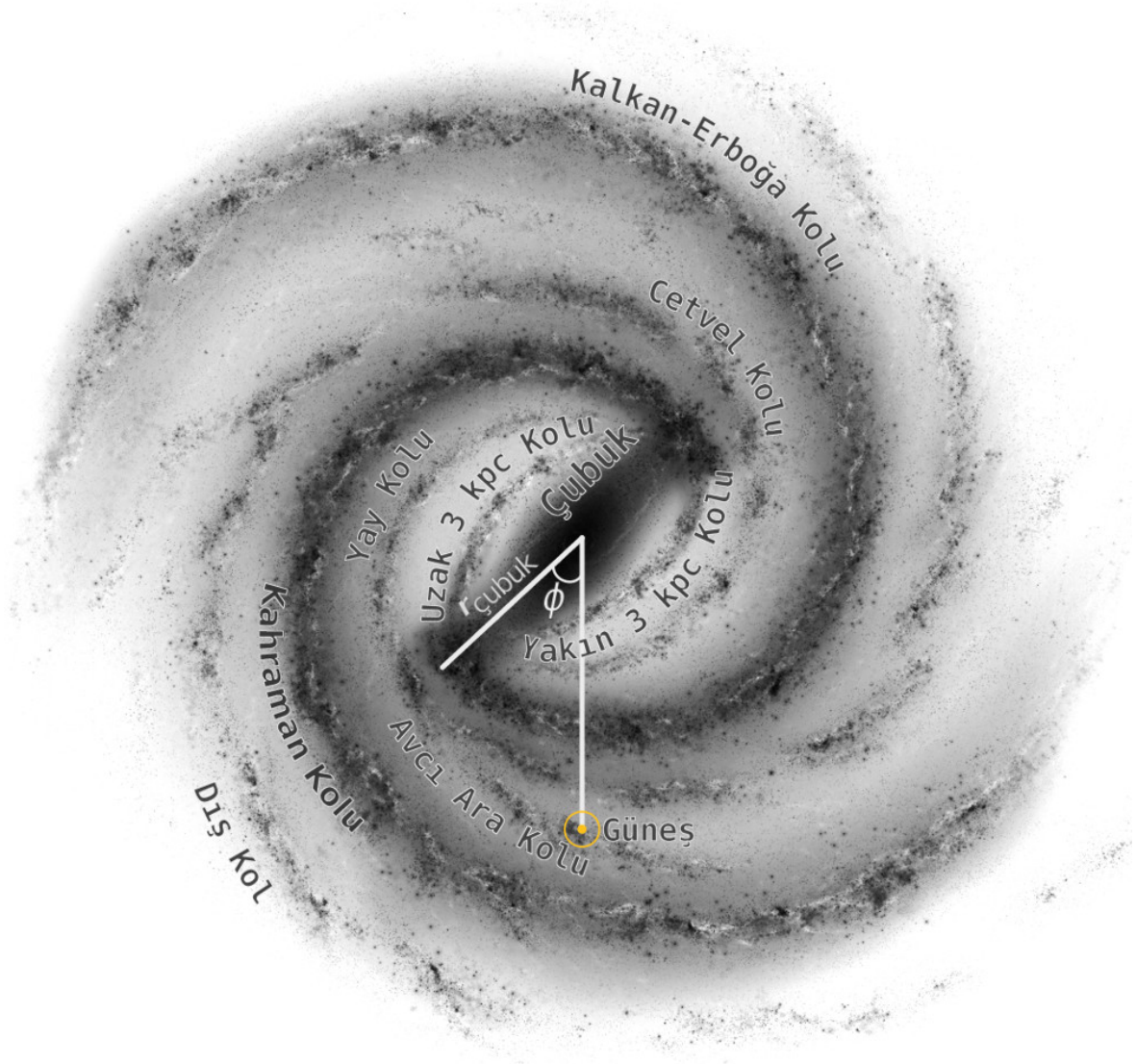
13. yy'da cam endüstrisinin gelişmesiyle birlikte optik alanda da gelişmeler olmuştur. Hans Lipperhey ve Jacom Metius 1608 yılında ilk defa optik teleskop icat etmişlerdir. Bu icattan

sonra gökyüzünün özünde nasıl bir yer olduğu daha net anlaşılmıştır. 17. yy'da Galilei, ilk defa teleskopla Samanyolu'na baktığında bu bölgenin aslında sayısız yıldızla dolu olduğunu keşfetmiştir. Gelişen teknolojiyle birlikte Samanyolu'nun artık çok yüksek çözünürlüklü görüntülerine ulaşabilmekteyiz. Bu görüntülerin analizleriyle Galaksimizin yapısı eskiye nazaran daha hassas bir şekilde incelenabilmektedir.

Samanyolu sarmal bir galaksidir. Ancak Galaksimizin kaç sarmal kola sahip olduğu uzun zamandır bir soru işareti olmuştur. Bunun en büyük nedeni, Galaksimizin diskinde yaşıyor olmamızdır. Bu nedenle sarmal kolların çeşitli doğrultularda uzaklıklarını hesaplamak oldukça zordur. Dolayısıyla bir çok araştırmacı Samanyolu'nun sarmal kol sayısı için farklı sonuçlar vermektedir (Vallée, 2002, 2005, 2008). Şekil 2.2'de Galaksimizin kollarının gösterildiği temsili bir görüntüsü verilmiştir. Bu şekilde çubuk yapının bir uzantısı olarak iki tane büyük kol bulunmaktadır.

Sarmal kollar geç tip disk galaksilerinin büyük bir kısmında gözlenen yapılardır. Yerel hacimdeki parlak disk galaksilerinin $\sim 70\%$ 'inde bulunmaktadır (Grand ve diğ., 2016). Bu yapı, gazca ve tozca zengin, genç disk galaksileri dışında ayrıca yaşlı popülasyonlara sahip galaksilerde de gözlenmiştir (Rix ve Zaritsky, 1995). 50 yılı aşkın süredir yapılan kuramsal modeller bu yapıların yoğunluk dalgası modeli (Lin ve Shu, 1964) ya da salınım güçlendirmesi modeli (Julian ve Toomre, 1966) ile oluştuğu üzerinde durmaktadır. Sarmal yoğunluk dalgaları, disk üzerinde yıldızların belirli bir bölgede yoğunlaşmasına neden olur ve yıldız yoğunluğu belirli bir eğim açısı ("*pitch angle*") altında artar (Baba ve diğ., 2013; Grand ve diğ., 2013; Michikoshi ve Kokubo, 2014).

Sellwood (2011) yaptığı sayısal benzetimlerde bu yapıların geçici olduğunu göstermiştir, galaksi evrimi boyunca sarmal kollar çeşitli etkilerle başlangıçtaki şekillerini kaybetmektedirler. Bu tür geçici kollar eş dönme çapı içerisinde (sarmal kol hızının dönme eğrisindeki hıza eşit olduğu çap) yıldızların açısal momentumunun değişmesine, böylelikle yıldızların diskte yarıçap doğrultusu boyunca birbirlerine karışmalarına neden olur (Sellwood ve Binney, 2002). Grand ve diğ. (2012) geçici kolların tüm mesafelerde disk ile aynı hızda dönmesiyle kapandığını göstermiştir. Bu da sarmal kolun başındaki ve sonundaki yıldızların hızlarını etkiler (Grand ve diğ., 2014; Kawata ve diğ., 2014) ve bu durum diskteki metal bolluğu dağılımını değiştirmektedir (Grand ve diğ., 2015).



Şekil 2.2: Samanyolu diskinin tepeden görünüşü. Sarmal kolların isimleri, çubuk ve Güneş'in konumu görsel üzerinde belirtilmiştir. Ayrıca çubuğun yarı uzunluğu ($r_{\text{çubuk}}$ ve konum açısı (ϕ) şekil üzerinde gösterilmiştir.) (NASA/JPL-Caltech/ESO, R. Hurt, görüntü kodu: eso1339g).

Ancak, Vallée (2002) çalışmasında da belirttiği gibi, Galaksimizin temelde dört sarmal kolunun olduğu üzerinde durulmaktadır. Vallée (2008) yaptığı konum ve kinematik modellerle Galaksinin Kahraman, Cetvel, Kalkan-Erboğa, Yay olmak üzere dört ana sarmal kolunun olduğunu göstermiştir.

Sarmal kollar galaksi disklerinin evrimi üzerinde önemli etkilere sahiptir. Örneğin, yıldız oluşumunun gerçekleştiği devasa gaz-toz bulutları sarmal kollar sayesinde birarada

bulunmakta, bu da gaz bulutları dinamiğini ve yıldız oluşumunu etkilemektedir (Dobbs ve diğ., 2011). Yıldız yörüngeleri, sarmal kollar nedeniyle tedirgin olmaktadır (Contopoulos ve Grosbol, 1986). Ayrıca sarmal kollar galaksi morfolojisini değiştiren yapılardır (Elmegreen ve Elmegreen, 1990; Lépine ve diğ., 2011). Bunun yanı sıra sarmal kollar galaksilerdeki yıldız ya da molekül bulutlarının hızlarını da etkilemektedir (Erroz-Ferrer ve diğ., 2016). Sarmal yapı, yıldız oluşum bölgelerinin kinematiğini değiştirmektedir (Reid ve diğ., 2014) ve galaksilerdeki yıldız kümeleri üzerinde dağıtıcı etkileri de bulunmaktadır (Fujii ve Baba, 2012; Gieles ve diğ., 2007; Martínez-Barbosa ve diğ., 2016). Tüm bunlara ek olarak sarmal kollar radyal göçe de neden olmaktadır (Minchev ve Famaey, 2010; Sellwood ve Binney, 2002). Böylece Galaktik disklerdeki yaş-metal bolluğu ve radyal (Galaksi merkezli çap doğrultusundan) ya da dikey kimyasal bolluk değişimlerini de etkilemektedir. Hatta, galaksi kalın diskleri dahi sarmal kollardan etkilenmektedir (Solway ve diğ., 2012).

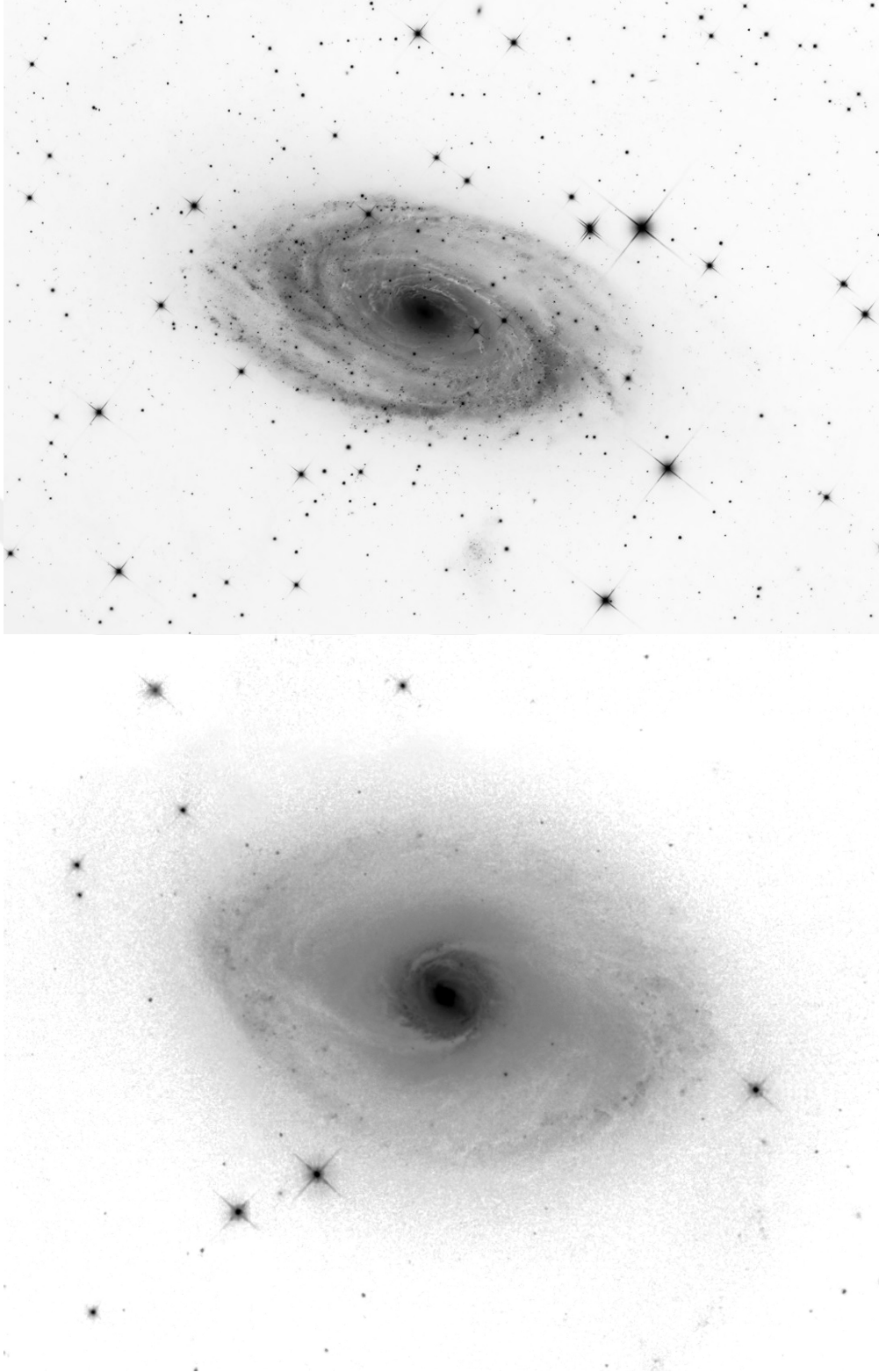
2.2. GALAKTİK ŞİŞKİN BÖLGE VE ÇUBUK

Şişkin bölge, disk galaksilerinde ortak bir bileşen olarak göze çarpmaktadır. Galaksilerin merkezinde çok yoğun bir yapı olarak görülen bu yapı klasik ve sahte (*pseudo*) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Şekil 2.3). Klasik şişkin bölgeler, Galaksiler oluşurken gerçekleşen birleşmeler sırasında meydana gelen yapılar; sahte şişkin bölgeler disk yıldızlarının evrimiyle meydana gelmiştir (Kormendy ve Kennicutt, 2004).

Galaksimizin şişkin bölgesinin yaşlı olması (Ortolani ve diğ., 1995) ve dikey doğrultuda metal bolluğu gradyenti göstermesi (Friedli ve diğ., 1994) bu yapının klasik şişkin bölge olarak düşünülmesine neden olmuştur. Bazı çalışmalar Galaksimizin şişkin bölgesinin büyük ölçüde sahte şişkin bölgeye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu araştırmalardan bazıları bu durumu, *HI* ve *CO* molekül bulutlarının Galaksi merkezine doğru olan gaz akışlarındaki eksenel simetrik olmamasıyla (Binney ve diğ., 1991; Englmaier ve Gerhard, 1999); bazıları şişkin bölgeden gelen kızılöte ışınımını modelleyerek (Binney ve diğ., 1997; Blitz ve Spergel, 1991); bazıları da Galaktik merkez civarında yaptıkları yıldız sayımlarının değişiminden (López-Corredoira ve diğ., 2005; Stanek ve diğ., 1997) yola çıkarak ortaya koymuştur.

Nataf ve diğ. (2010) ve McWilliam ve Zoccali (2010) Galaktik şişkin bölgede seçtikleri bazı yıldız alanlarındaki KY yıldızların renk-parlaklık diyagramında iki ayrı yoğunlaşmaya

sahip olduklarını göstermiştir. Galaktik enlemi -5° civarında şişkin bölgeki KY yıldızlarının yoğunluk dağılımları da buna bağlı olarak çift tepe yapmaktadır. Bu çift tepeli yapı çok cisimli sayısal benzetimlerde de görülmüştür (Athanassoula, 2005a; Combes ve Sanders, 1981; Debattista ve Sellwood, 2000). Bu çalışmalarda yapılan benzetimler, başlangıçta kararsız olan galaksi diskinin dönen bir çubuk yapı oluşturduğunu ve bu çubuk yapının zamanla karanlık madde halosuna açısal momentum transfer ederek evrimleştiğini ortaya koymuştur. Evrimleşen çubuk, galaksi düzleminden dik doğrultuda ince kalırken zamanla uzamaktadır. Bu da çubuğun dikey doğrultularda kararsızlaşmasına ve bükülme kararsızlığı (*buckling instability*) adı verilen bir sürece girmesine neden olmaktadır. Bu süreçte, çubuğun merkez kısımları dikey olarak genişlemeye başlar ve çubuk merkezi kutu ya da fıstık (*boxy/peanut*) benzeri bir şekil alarak şişkin bölgeye dönüşmektedir. Lütticke ve diğ. (2000) bu türden şişkin bölgelere disk galaksilerinde sıklıkla raslandığını ortaya koymuştur. Yukarıda bahsedilen sayısal benzetimler ve gözlemsel sonuçlar dikkate alındığında kutu/fıstık şeklindeki şişkin bölgelerin çubuk yapının evrimin bir sonucu olarak meydana geldiği öne sürülebilir.



Şekil 2.3: Klasik ve sahte şişkin bölgelere örnek görüntüler. Üstte M81, altta NGC 6782 galaksisi görülmektedir (Görüntüler Hubble Uzay Teleskobu arşivinden alınmıştır). M81 klasik bir şişkin bölgeye sahipken NGC 6782 merkezinde sahte şişkin bölge barındırır. Klasik şişkin bölgeler daha çok birleşmelerle oluşan daha küresel yapılardır. Sahte şişkin bölgeler galaksi diskinin ya da çubuğunun uzun süreli (seküler) evrimiyle meydana gelir.

Çubuk yapı, sarmal galaksilerin büyük bir kısmının merkezinde çeşitli boyutlarda doğrusal bir yapı olarak göze çarpmaktadır. Bu yapı, disk galaksilerinin yaklaşık üçte ikisinde bulunur (Aguerre ve diğ., 2009; Jarrett ve diğ., 2003; Lee ve diğ., 2012; Marinova ve Jogee, 2007; Mulchaey ve Regan, 1997). Çubuk, galaksilerin çeşitli bileşenleri arasında madde ve açısal momentum transfer etme yeteneğine sahip olduğundan, galaksilerin evrimi üzerinde önemli bir role sahiptir (Combes ve Sanders, 1981; Debattista ve Sellwood, 2000; Weinberg, 1992). Bu nedenle, Galaksimizin oluşumu, yapısı ve kinematığının incelenmesini amaçlayan çalışmalarda çubuk yapının hesaba katılması gerekir.

Bazı yazarlar Galaksimizde konum açısı $15^\circ - 30^\circ$, yarı uzunluğu 2,5 kpc olan kalın bir çubuk yapıdan bahsederken (Babusiaux ve Gilmore, 2005; Dwek ve diğ., 1995; Stanek ve diğ., 1997), bazılarıysa konum açısı $\sim 45^\circ$, yarı uzunluğu ~ 4 kpc olan uzun bir çubuğun var olduğunu iddia etmektedir (Benjamin ve diğ., 2005; Cabrera-Lavers ve diğ., 2008; Hammersley ve diğ., 1994; López-Corredoira ve diğ., 2007; Picaud ve diğ., 2003; Weinberg, 1992).

Cabrera-Lavers ve diğ. (2008), McWilliam ve Zoccali (2010) ve Wegg ve diğ. (2015) tarafından yapılan ve bu çalışmalarda referans verilen birçok araştırmada Galaksimizin kabuklu fıstık şeklinde bir merkezi şişkin bölgeye sahip olduğu söylenmiştir. Bu fikir, disk galaksileri üzerinde sayısal benzetimler yapan Athanassoula (2005a) tarafından da ortaya koyulmuştur.

Galaksi merkez doğrultusunda KY yıldızlarıyla çalışan birçok araştırmacı, bu yıldızların iki farklı parlaklık değerinde yığıldıklarını göstermişlerdir (McWilliam ve Zoccali, 2010; Nataf ve diğ., 2010). Bunun nedeni, kabuklu fıstık benzeri bir yapıda olmasıdır. kabuklu fıstık şeklinde şişkin bölgeye sahip olan Samanyolu'nda, Galaktik çubuk için farklı konum açıları bulunması beklendik bir durumdur.

Son dönemde Wegg ve diğ. (2015) tarafından yapılan detaylı bir araştırmayla, Galaksinin merkez bölgesi ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Araştırmada UKIDSS (Lucas ve diğ., 2008), 2MASS (Skrutskie ve diğ., 2006), VVV (Saito ve diğ., 2012), GLIMPSE (Benjamin ve diğ., 2005) verilerinden seçilen KY yıldızları kullanılmıştır. Wegg ve diğ. (2015) Galaktik çubuğun $l \sim 25^\circ$, $|b| \sim 5^\circ$ koordinatlarına uzandığını göstermiştir. Wegg ve diğ. (2015), uzun çubuğun Güneş-Galaksi merkezi doğrultusuyla $28^\circ - 33^\circ$ açı yaptığı, bu değer de Wegg ve Gerhard (2013) ile uyumlu olduğunu söylemektedir. Bu çalışmada KY yıldızlarıyla yapılan

yoğunluk modelleri çubuk yapının esasında iki bileşenli olduğunu göstermiştir (bkz. Wegg ve diğ., 2015 Şekil 7). Bunlardan biri *ince* diğeri de *çok ince* çubuk olarak isimlendirilmiştir. Ayrıca, bu yapıların varlığı çok cisimli sayısal benzetimler ile doğrulanmıştır.

Wegg ve diğ. (2015) çubuğun yarı uzunluğunu $5,0 \pm 0,2$ kpc, ince çubuğun yarı uzunluğunu $4,6 \pm 0,3$ kpc olarak hesaplamıştır. Uzun çubuğun aslında iki farklı bileşenden meydana geldiğini belirten yazarlar bu yapıyı oluşturan *ince* bileşenin yükseklik ölçeğinin ~ 180 pc, *çok ince* bileşenin yükseklik ölçeğini de ~ 45 pc olarak hesaplamışlardır.

Benzetimler, bükülme kararsızlığının çubuğun sadece iç kısımlarını kalınlaştırdığını göstermektedir (Martinez-Valpuesta ve diğ., 2006). Çubuğun, şişkin bölge dışında kalan kısmında ince ya da uzun olarak adlandırılabilir bir kısmının da olması gerekmektedir. Hammersley ve diğ. (1994) böyle bir yapının var olduğunu ilk defa ortaya koymuştur (bu uzun çubuk yapı Şekil 2.2’de gösterilmiştir). Bazı çalışmalar bu uzun çubuğun şişkin bölgeyle aynı hizada olmadığını söylemektedir (Benjamin ve diğ., 2005; Cabrera-Lavers ve diğ., 2008; Hammersley ve diğ., 1994). Ancak Wegg ve diğ. (2015) şişkin bölgenin uzun çubukla aynı hizada olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, Galaktik şişkin bölgeyle uzun çubuğun tek bir “çubuk” yapı olduğunu göstermektedir. Ayrıca Erwin (2004) ve Bittner ve diğ. (2021) sahte şişkin bölgelerin iç kısımlarında nükleer bir çubuğun varlığına işaret etmişlerdir.

2.3. ÇUBUK OLUŞUMU VE EVRİMİ

2.3.1. ÇUBUK OLUŞUM SENARYOLARI

Galaksi çubuklarının ortaya çıkmasına yol açtığı düşünülen galaksi disklerindeki kararsızlıklar ilk olarak 50 yıl önce, dönen galaksi diskleri üzerinde yapılan çok cisimli sayısal benzetimler sayesinde keşfedilmiştir (Hohl ve Hockney, 1969; Miller ve diğ., 1970). Daha sonra, birçok araştırmacı bu kararsızlıkları dikkate alıp, galaksi diskleri üzerinde yaptıkları benzetimlerde bu disklerde bir çubuğun oluştuğunu göstermiştir (Athanassoula, 2005a; Scannapieco ve Athanassoula, 2012; Sellwood ve Athanassoula, 1986; Toomre, 1977). Toomre (1981) çubuk yapının galaksi merkezinden zıt yönlerde çıkan sarmal kolların süper pozisyonuyla oluştuğunu göstermiştir. Bu çalışmada yapılan benzetimler, sarmal yoğunluk dalgalarının diskteki yıldız, gaz ve toz bileşenlerini belirli bir açıyla bir araya

toplayarak, çubuk yapıyı güçlendirdiğini göstermiştir.

Galaksilerdeki yıldız disklerinin oluşumunun incelendiği ilk sayısal benzetimler, kararsız olarak dönen bu disklerin büyük ölçekli çubuklar oluşturduğunu ortaya çıkarmıştır (Hockney ve Hohl, 1969; Miller ve diğ., 1970). Çubuğun oluşumu disk kararsızlıklarıyla açıklanabilirken çubuk yapıya sahip olmayan galaksiler için kararlı modellemeler yapmak çok zor olmaktadır (Sellwood ve Wilkinson, 1993). Dolayısıyla düşük bir oranda olsalar da çubuk yapı göstermeyen galaksilerin bu tür disk kararsızlıklarından nasıl kurtuldukları bilinmemektedir.

Galaksilerin merkez bölgeleri çok yoğun oldukları için çubuk eş dönme (*corotation*) göstermektedir. Başka bir deyişle çubuk katı bir cisim gibi dönmektedir. Toomre (1981) çubuğun galaksi merkeziyle eş dönme arasında sıkışan kalıcı bir dalga olduğunu iddia etmektedir. Galaksi merkezinden çıkan yoğunluk dalgaları eş dönmeden geri yansımakta ve ardıl yoğunluk dalgasıyla süper pozisyon yaparak bir çubuk oluşturmaktadır.

Etkileşim içerisinde olmayan galaksiler için yukarıda bahsedilen çubuk oluşum senaryosu oldukça ideal görünse de özellikle yoğun galaksi kümelerindeki birbirleriyle etkileşen galaksilerin büyük bir kısmında çubuk yapı bulunmaktadır (Elmegreen ve Elmegreen, 1990). Galaksilerdeki etkileşimler, disk şeklinin kütle çekim altında bozulmasına neden olmaktadır. Bu bozulmalar, asimetrik olmayan kararsızlıklara sebep olarak çubuk oluşumunu tetikleyebilmektedir (Noguchi, 1987). Oluşan çubukların fiziksel özellikleri etkileşen galaksilerin, şişkin bölgelerin ve haloların kütle oranına bağlı olduğu görülmüştür (Noguchi, 1987).

Peirani ve diğ. (2009) ve Lotz ve diğ. (2010) galaksi birleşmelerinin yıkımsal doğasına rağmen bu olayların bir çubuk oluşturabildiklerini göstermiştir. Birbirleriyle etkileşime giren galaksilerin sarmal kollarının şekilleri bozulur. Bozulan sarmal kollar düzleşerek bir çubuk oluşturabilir (Peirani ve diğ., 2009). Cavanagh ve Bekki (2020) galaksi birleşmelerini birleşmenin zaman ölçeğine bağlı olarak iki ayrı süreçte tanımlamıştır. Bunlardan biri, büyük birleşmedir ve bu süreçte galaksiler yok edici bir şekilde birleşirler. Büyük birleşmeler 0,84 ile 1,12 milyar yıl sürmektedir. Diğeri, küçük birleşme olarak tanımlanmıştır ve bu durumda galaksiler 1,68 ile 1,96 milyar yıl arasındaki bir sürede birleşmektedir. Cavanagh ve Bekki (2020) büyük birleşmelerde bir çubuk yapının meydana gelmediğini ancak küçük birleşmeler sırasında çubuk oluştuğunu sayısal benzetimlerde göstermişlerdir.

Çok cisimli sayısal benzetimlerin çoğu, galaksi disklerinin gazdan oluşan bileşenini dikkate almamıştır. Ancak gaz bileşeninin şok etkileri yıldızların yörüngelerini etkilemektedir (Athanassoula, 1992). Yıldızlararası gazın, çubuk oluşumu üzerinde değişik etkileri vardır: Athanassoula ve diğ. (2013) gazca zengin galaksilerde çubuğun yavaş geliştiğini, Wozniak ve Michel-Dansac (2009) ise galaksideki gaz oranının çok yüksek olduğu durumlarda çubuk oluşumunun engellendiğini göstermiştir. Robichaud ve diğ. (2017) disk oluşumunun erken dönemlerinde, aktif galaksi çekirdekleri geribesleme durumundayken çubuk oluşabileceğini söylemektedir. Berentzen ve diğ. (2007) ise çubuk oluşum süresiyle galaksi gaz miktarı arasında bir ilişki olmadığını iddia etmektedir. Bunların yanısıra bazı çalışmalar, galaksideki gaz oranına bağlı olarak çubuk yapının boyutlarının küçülüp büyüyebileceğini tartışmıştır (Athanassoula, 2003a, 2013; Berentzen ve diğ., 2007; Cheung ve diğ., 2013).

Tüm galaksilerin, kendilerini çevreleyen ve kütlelerinin büyük bir kısmını oluşturan karanlık madde halolarının olduğu düşünülmektedir. Efstathiou ve diğ. (1982) çok cisimli benzetimlerle, dönmeyen ve çok büyük kütleli bir karanlık madde halosuna sahip galaksilerin bir çubuk oluşturmadıklarını ancak dinamik olarak sıcak (araştırmadaki 19. denklem ile verilen ifadenin $\gtrsim 1,1$ olduğu durumlar) bir bileşenin varlığında çubuğun meydana geldiğini göstermiştir. Diskle ters yönde dönen bir halonun varlığında çubuk oluşumu engellenmekteyken diskle aynı yönde dönen karanlık madde halosu çubuğun gelişmesine neden olmaktadır (Saha ve Naab, 2013). Çubuğun büyümesi galaksideki açısal momentum transferine önemli ölçüde bağlıdır (Athanassoula, 2003a). Karanlık madde halosunun katı olduğu varsayımı altında çubuk yapıya açısal momentum transferi yapılamaz ve çubuktaki yıldızların açısal momentumları dış Lindbland rezonansına aktarılmaktadır. Böylelikle çubuk, katı karanlık halosu olan galaksilerde daha yavaş gelişmektedir ve düşük yoğunluğa sahip haloların yüksek hızlarla dönmesine olanak sağlamaktadır (Debattista ve Sellwood, 1998). Büyük kütleli haloya sahip galaksilerde hızlı dönen çubuk, açısal momentumunu haloya transfer etmektedir. Bu, açısal momentumun dış Lindbland rezonansına aktarıldığı duruma göre daha az etkili olsa da çubuğun daha hızlı evrimleşip daha büyük bir boyuta sahip olmasına neden olmaktadır (Athanassoula ve Misiriotis, 2002; Debattista ve Sellwood, 1998; Saha ve diğ., 2012). Eğer halo, galaksi merkezi üzerinde kütle çekimsel olarak önemli bir etkiye sahipse çubuk oluşumu gecikebilir. Buna karşın galaksi merkezi üzerinde disk kütlesi baskınsa çubuk erken ve hızlı bir şekilde oluşacaktır. Ayrıca halo şeklinin de çubuk oluşumu ve evrimi üzerinde etkisi vardır (Athanassoula, 2003a). Athanassoula (2003a)

dinamik olarak sıcak olan yani hızlı hareket eden cisimlere sahip disklerdeki çok sayıda rastgele hareket, çubuk yapının oluşumunu geciktirip bu yapının hızlı bir şekilde oluşmasını engellediğini göstermiştir. Rastgele hareketlerin çok fazla olduğu durumlardaysa çubuk oluşumu engellenebilir (Sheth ve diğ., 2012).

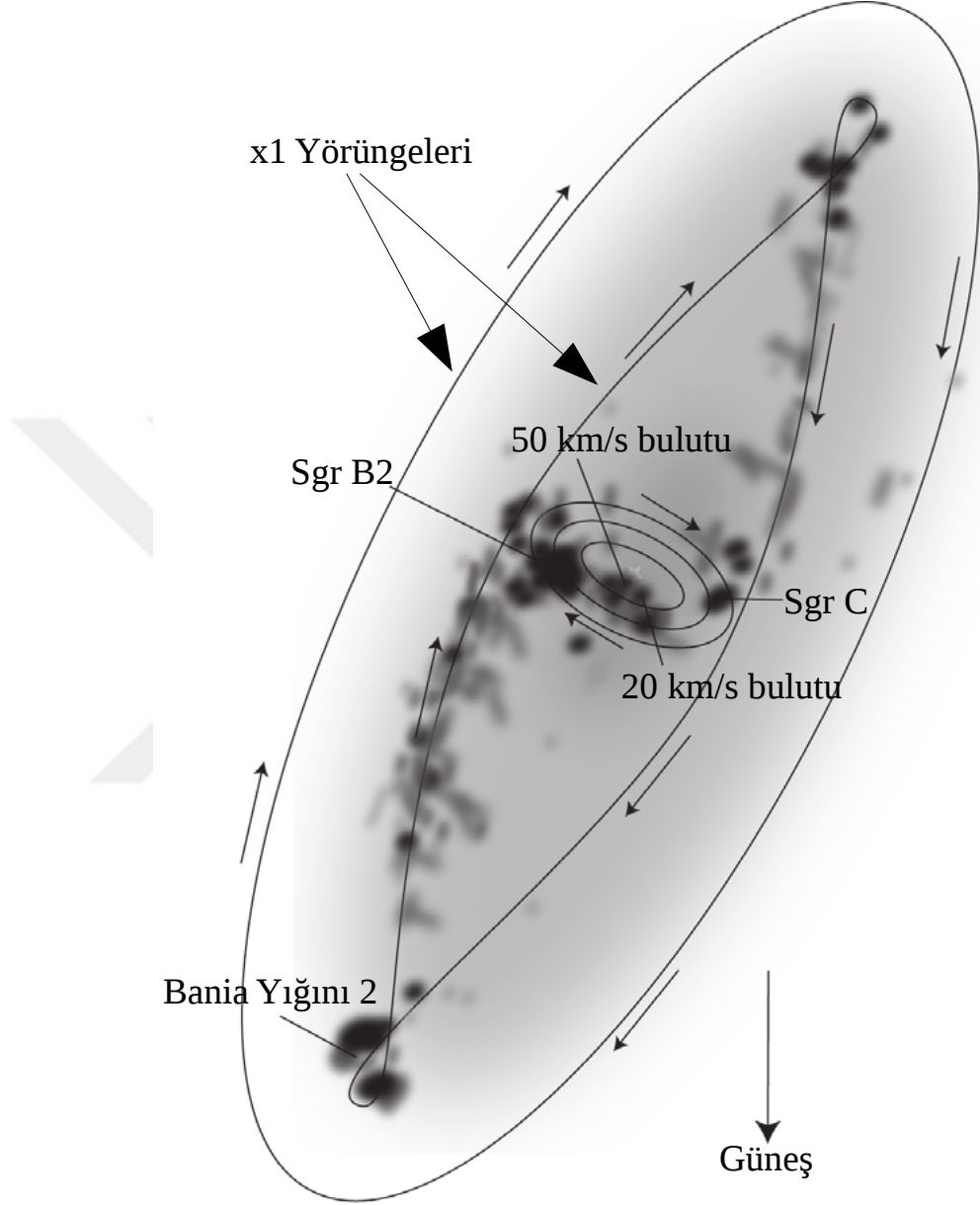
2.3.2. ÇUBUK YAPININ EVRİMİ

Çubuk ve disk arasındaki açısal momentum transferi çubuğun dönme hızını yavaşlatmaktadır. Çubuk uzunluğu eş dönme çapıyla sınırlı olduğundan dönme hızındaki yavaşlama eş dönme çapının büyümesine neden olmaktadır. Dolayısıyla, çubuk diskten daha çok materyal almakta ve böylelikle çubuk zamanla uzamaktadır (Lynden-Bell, 1979; Sellwood, 1981; Solway ve diğ., 2012). Bazı sayısal benzetimlerde çubuk ile halo arasındaki dinamik sürtünme yüzünden çubuk diskle aynı uzunluğa ulaşmıştır (Athanassoula ve Misiriotis, 2002; Martinez-Valpuesta ve diğ., 2006; Villa-Vargas ve diğ., 2009). Bu kadar büyük çubukların gözlenememiş olması bahsi geçen dinamik sürtünmenin aslında durumu tam olarak açıklayamadığı anlamına gelmektedir (Erwin, 2005). Diskin gaz bileşeni ya da çubuğun merkezi bölgelerinin bükülme kararsızlığı yüzünden kalınlaşması, çubukların bu denli büyümesine engel olabilir.

2.3.3. BÜKÜLME KARARSIZLIĞI

Çubuğu oluşturan bileşenlerin (yıldız, gaz, toz) yörüngeleri iki boyutlu değildir. Bu bileşenlerin dikey doğrultuda da hareketleri vardır. Dikey doğrultudaki hareketler çubuğun disk düzleminden dikey doğrultularda bükülmesine (ya da genişlemesine) neden olur. Bu bükülmenin doğası henüz net bir şekilde anlaşılamamıştır. Ancak bu durumun açıklanmasında üç farklı mekanizma üzerinde durulmaktadır. Bunlardan birincisi, çubuk büyüdükçe dinamik olarak kararsızlaşıp özellikle yapının merkez bölgelerinin disk düzleminden dikey doğrultularda genişlemesidir (Binney, 1981; Collier, 2020; Portail ve diğ., 2015). Bu kararsızlıklara yangın hortumu (*fire hose*) kararsızlıkları denilmektedir. İkinci olarak, yıldızların dikey doğrultudaki hareket hızları, dikey rezonanslarla etkileşimlerin bir sonucu olarak artmaktadır (Quillen ve diğ., 2014). Son olarak; $x1$ (ya da 2:1) adı verilen, çubuğun büyük eksen boyunca çift osilasyon yaparak hareket eden yıldızların çubuğun dikey rezonansına maruz kalıp düzlemden uzaklaşmalarıyla bu kararsızlık açıklanmaktadır

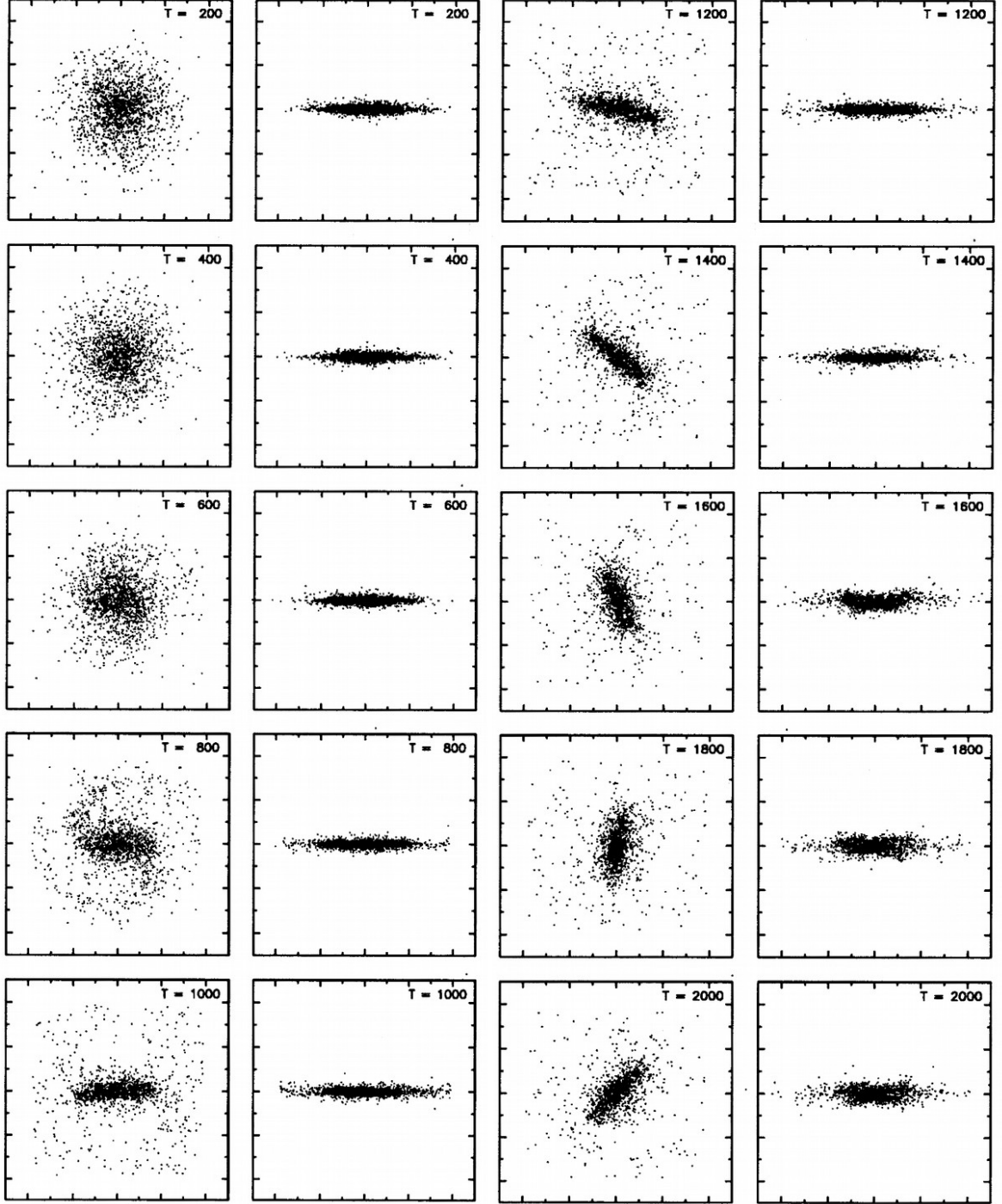
(Quillen, 2002; Sellwood ve Gerhard, 2020). Bally ve diğ. (2010) Galaksi merkezindeki toz haritasını çıkardıkları araştırmalarında x1 yörüngelerine güzel bir örnek vermiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: Galaksi merkezinin 500 pc civarındaki toz haritası. Gri bölge Galaktik çubuğun konumunu ifade etmektedir. Büyük elips kesişim olmayan, küçük elips kesişimli x1 yörüngelerini göstermektedir. Koyu bölgeler salma gösteren moleküler yapıların haritasıdır (Bally ve diğ., 2010).

Şekil 2.5'te Raha ve diğ. (1991) modellerine göre, zamana bağlı olarak çubuk oluşumu gösterilmiştir. Çalışmadaki modellere göre, çubuk zamanla disk düzleminden dışa doğru bükülmektedir. Bükülme çubuk oluşumunun hemen ardından başlamaktadır (Martinez-Valpuesta ve diğ., 2006; Sotnikova ve Rodionov, 2003). Sayısal benzetimler,

bükülen çubuğun belli bir zamandan sonra kalınlaşarak fıstık şeklini aldığını öngörmüştür (Martinez-Valpuesta ve diğ., 2006; Raha ve diğ., 1991).



Şekil 2.5: Galaksinin disk oluşumuna ait çok cisimli sayısal benzetimleri (Sellwood ve Wilkinson, 1993). Panellerin sağ üstünde yazılı birim zamanlarda galaksi diskinin tepeden ve yandan görüntüleri.

2.4. ÇUBUK YAPININ YOK OLMASI

Çubuk, galaksi merkez bölgelerinin yıldız, gaz ve toz ile beslenmesinde önemli rol oynar ve bu yapının kararlı olup olmaması galaksi merkezindeki madde yoğunluğuna bağlıdır. Çünkü, galaksi merkezlerinde sürekli artan madde yoğunluğu çubuk yapının oluşumunu ve evrimini etkilemektedir. Bazı benzetimlere göre merkezi kütle yoğunluğunun artmasıyla çubuk yapı ortadan kaybolmaktadır (Bournaud ve Combes, 2002; Bournaud ve diğ., 2005; Hozumi, 2012). Buna karşın bazı modeller ise çubuk yapının yok olması için merkezi kütle yoğunluğunun çok fazla olması gerektiğini göstermiştir (Athanassoula, 2005b; Debattista ve diğ., 2006; Shen ve Sellwood, 2004). Du ve diğ. (2017) bir galaksideki toplam yıldız kütlelerinin yaklaşık %0.1'ine sahip bir karadeliğin kısa ($< 1,5$ kpc) çubukları tamamen yok edebileceğinin altını çizmiştir.

Friedli ve Benz (1993) gaz bileşeninin olduğu sayısal benzetimlerde çubuğun yok olduğunu iddia ederken Athanassoula ve diğ. (2013) böyle bir durumla karşılaşmamıştır. Athanassoula ve diğ. (2013) gaz yoğunluğu arttıkça çubuğun boyutunun küçüldüğü ancak yok olmadığını söylemektedir. Ancak Bournaud ve diğ. (2005) gazca zengin galaksilerdeki çubukların kısa ömürlü olduğunu, bu yapıların oluşuktan 1-2 milyar yıl sonra yok olduklarını ileri sürmektedir.

2.5. ÇUBUĞUN GALAKSİ EVRİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Çubuk, özellikle galaksilerin merkez bölgelerinden dış bölgelerine doğru açısal momentum taşınmasından ötürü galaksi evrimi üzerinde önemli bir role sahiptir. Çubuk yapı sayesinde galaksi merkezinde sahte şişkin bölge, merkezi halka gibi yapılar oluşabilir. Çubuk yıldız oluşumunu tetikler, galaksi disklerindeki yıldız ve gaz bileşenlerinin dağılımını etkilemektedir. Ayrıca çubuk, aktif galaksi çekirdeklerinde merkezi karadeliğin beslenmesini sağlar (Galloway ve diğ., 2015).

2.5.1. AÇISAL MOMENTUM TRANSFERİ

Çubuk yapı, galaksi diskinin iç ve dış kısımları arasında açısal momentum transferi yapılmasında önemli bir role sahiptir. Çubuk, karanlık madde halosuyla dinamik sürtünme

yaparak açısal momentum transfer edebilmektedir. Çubuk büyüdükçe, madde diskte mahsur kalarak, yörüngelerinin uzamasına neden olmaktadır. Ayrıca bu durumda çubuk içerisindeki maddenin de yörüngeleri uzamaktadır (Athanasoula, 2003b). Bunun olabilmesi için açısal momentumun galaksinin diğer bileşenlerine aktarılması gerekmektedir.

Açısal momentum transfer edildikçe çubuk yavaşlar ve uzar, bu da eş dönme çapının büyümesine neden olmaktadır (Chiba ve diğ., 2021). Chiba ve Schönrich (2021) Galaksimizin eş dönme yarıçapının, Galaktik çubuk oluştuğundan beri 1,6 kpc uzadığını göstermiştir.

2.5.2. SAHTE ŞİŞKİN BÖLGE OLUŞUMU

Bölüm 2.2’de bahsedildiği gibi çubuk, merkez bölgelerindeki maddeyi, bükülme süresizliği yüzünden büyümeye ve klasik şişkin bölgeden farklı bir yapı oluşturmaya neden olmaktadır. Sahte şişkin bölge olarak adlandırılan bu yapı klasik şişkin bölgelerden birkaç yönden farklılık göstermektedir. Bu yapıların yüzey parlaklık profili $I \propto r^{1/n}$ şeklinde azalır. Burada I , merkezden r uzaklığındaki yüzey parlaklığıdır; n , Sérsic indeksidir. Sahte şişkin bölgeler için $n < 2$ iken klasik şişkin bölgeler için $n > 2$ ’dir (Fisher ve Drory, 2008). Sahte şişkin bölgelerde yıldız oluşumu devam ederken (Peletier ve diğ., 2007), klasik şişkin bölgeler galaksinin erken evrelerinde oluştuğu için artık yıldız oluşumu durmuştur. Çubuklu galaksilerin merkezlerindeki ve sahte şişkin bölgelerdeki yıldız oluşum oranlarının uyumlu olması bu yapıların disk gibi yavaş ve kararlı bir şekilde oluştuğunu ortaya koymaktadır (Fisher ve diğ., 2009). Buna karşın, klasik şişkin bölgelerin birleşmelerle oluştuğu düşünülmektedir (Hopkins ve diğ., 2012). Sahte şişkin bölgeler, klasik şişkin bölgelere göre daha düşük hız dağılıtısına (dispersiyonuna) sahiptir (Kormendy ve diğ., 2011). Dolayısıyla, sahte şişkin bölgeler galaksi diskleriyle benzer özellikler gösterirler.

2.6. GALAKSİ MODELLERİ

Galaksimizin yapısını ya da evrimini anlamak için galaksi modelleri uzun süredir kullanılmaktadır (Bahcall ve Soneira, 1980; Czekaj ve diğ., 2014; Girardi ve diğ., 2005; Robin ve diğ., 2003; Sharma ve diğ., 2011; Wainscoat ve diğ., 1992). Bu modellerden bazıları Galaksimize ait yapay yıldız katalogları oluşturulmasına olanak sağlamaktadır (Czekaj

ve diğ., 2014; Girardi ve diğ., 2005; Robin ve diğ., 2003; Sharma ve diğ., 2011). Bu sayede gözlemsel verilerin analizi, kuramsal modellerin test edilmesi ve daha birçok çalışma yapmak mümkün olmaktadır.

Yapay galaksi modelleri oldukça karmaşıktır. Galaksideki tüm yıldız popülasyonları (ince disk, kalın disk, halo, şişkin bölge, çubuk), bileşenler (yıldızlar, yıldızlar arası ortam) çeşitli modellerle ifade edilir. Modeller genellikle üstel ifadelerdir ve dikkate alınan popülasyonun ya da bileşenin uzunluk ve yükseklik ölçeğine bağlıdır.

Literatürde sıklıkla kullanılan modellerden bazıları şöyledir: Trilegal (Girardi ve diğ., 2005), Galaxia (Sharma ve diğ., 2011) ve Besançon (Czekaj ve diğ., 2014; Robin ve diğ., 2003). Bu tezdeki analizlerde, bu modellerden özellikle fotometrik hataları dikkate alabilmesinden ötürü geliştirilmiş Besançon modeli (Czekaj ve diğ., 2014) kullanılmıştır.

2.6.1. BESANÇON GALAKSİ MODELİ

Yapay popülasyon modelleri Galaksideki yıldızların benzetimini yapmak için güzel yaklaşımlar sunmaktadır. Bu modellerle üretilen yapay yıldızlar özellikle gökyüzü tarama verileriyle kıyaslanarak Galaksi oluşum senaryoları test edilebilir, Galaksinin geçmişine oluşumuna ya da evrimleşmesine dair önemli bilgilere ulaşılabilir.

Besançon modelinde yıldız popülasyonlarına ait astrofiziksel özellikler Tablo 2.1'de verilmiştir. Bu tablonun birinci sütununda Galaksi'deki yıldız popülasyonlarının isimleri, diğer sütünlarda sırasıyla, bu popülasyonlara karşılık gelen milyar yıl cinsinden yaş, yerel kütle yoğunluğu, eksen oranı, ortalama metal bolluğu, radyal doğrultudaki metal bolluğu gradyenti, başlangıç kütle fonksiyonu (BKF) ve yıldız oluşum oranları listelenmiştir (Robin ve diğ., 2003). Galaksi diskindeki farklı yaş gruplarının, farklı ortalama metal bolluğu değerlerine sahip olduğu tabloda görülmektedir. Tüm Galaksi bileşenlerine ait BKF'nin eğim (α) değerleri tabloda yer almaktadır. Ayrıca yıldız oluşum oranı (YOO), sabit veya yıldız oluşum patlaması (YOP; starburst) olmak üzere iki farklı durumla ifade edilmiştir.

Belirli bir Galaktik doğrultuda ya da bölgede yıldız sayılarının belirlenebilmesi için Galaktik bileşenlere ait yoğunluk modelleri kullanılır. Bu modeller üstel olarak yıldız sayılarının doğrultuya ve uzaklığa bağlı olarak nasıl değiştiğinin hesaplanılmasını sağlar. Galaksimizin bileşenlerine ait yoğunluk kanunları Tablo 2.2'de verilmiştir. Yıldız yoğunluklarının

Tablo 2.1: Galaktik bileşenlerin Robin ve diğ. (2003) tarafından kabul edilen yaş, yerel yoğunluk (ρ_0), eksen oranı (ϵ), ortalama metal bolluğu ($<[Fe/H]>$), metal bolluğu gradyenti, BKF ve YOO değerleri.

	Yaş (10^9 yıl)	ρ_0 ($10^{-3} M_{\odot} pc^{-3}$)	ϵ	$<[Fe/H]>$ (dex)	$\frac{d[Fe/H]}{dR}$	BKF	YOO
	0-0,15	4,0	0,0140	$0,01 \pm 0,12$			
	0,15-1	7,9	0,0268	$0,03 \pm 0,12$			
	1-2	6,2	0,0375	$0,03 \pm 0,10$			
İnce Disk	2-3	4,0	0,0551	$0,01 \pm 0,11$	-0,07	$dn/dm \propto m^{-\alpha}$	sabit
	3-5	5,8	0,0696	$-0,07 \pm 0,18$		$\alpha = 1,6$ ($m < 1M_{\odot}$)	
	5-7	4,9	0,0785	$-0,14 \pm 0,17$		$\alpha = 3,0$ ($m > 1M_{\odot}$)	
	7-10	6,6	0,0791	$-0,37 \pm 0,20$			
Kalın disk	11	1,34		$-0,78 \pm 0,30$	0,00	$dn/dm \propto m^{-0,5}$	YOP
Halo	14	$9,32 \times 10^{-3}$	0,76	$-1,78 \pm 0,50$	0,00	$dn/dm \propto m^{-0,5}$	YOP
Şişkin Bölge	10			$0,00 \pm 0,40$	0,00	$dn/dm \propto m^{-2,35}$ ($m > 0,7M_{\odot}$)	YOP

hesaplanmasındaki en temel iki parametre yükseklik (h_z) ve uzunluk (h_R) ölçekleridir. h_z , Galaksi düzlemine dik doğrultuda; h_R , Galaksi merkezinden yarıçap doğrultusunda yıldız yoğunluklarının hangi uzaklıklarda e oranında azalacağını ifade eder.

Tablo 2.2’de verilen ince disk modelindeki a parametresi Galaktik diskin alevlenmesiyle burulmasının dikkate alındığı $a^2 = R^2 + \frac{z-z_{\text{warp}}}{k_{\text{flare}} \times \varepsilon}$ şekliyle tanımlanır (Robin ve diğ., 2003). Robin ve diğ. (2003) Galaktik burulma için Porcel ve diğ. (1997) modellerini kullanmıştır. Galaksi merkezli koordinat sisteminde (R, θ, z) burulma yüksekliği şu şekilde tanımlanır:

$$z_{\text{warp}}(R, \phi) = \gamma_{\text{warp}} \times \text{Min}(R_{\text{warp}}, R - R_{\text{warp}}) \times \cos(\phi - \phi_{\text{max}}) \quad (2.1)$$

Burada ϕ_{max} burulmanın maksimum olduğu doğrultudur ve $R_{\text{warp}} = 8.4$ kpc. Alevlenmiş bir diskte $R > R_{\text{flare}}$ mesafesindeki yıldızların yükseklik ölçeği aşağıdaki çarpan kadar artar (Gyuk ve diğ., 1999).

$$k_{\text{flare}}(R) = 1 + \gamma_{\text{flare}} \times \text{Min}(R_{\text{flare}}, R - R_{\text{flare}}) \quad (2.2)$$

Robin ve diğ. (2003) ifadelerde kullanılan parametreleri şu şeklide vermektedir: $\phi_{\text{max}} = 90^\circ$, $\gamma_{\text{warp}} = 180$ pc, $R_{\text{flare}} = 1, 12 \times R_0$ ve $\gamma_{\text{flare}} = 5, 4$ pc.

Yukarıda bahsedildiği gibi tanımlanan Galaktik bileşenler ve popülasyonlar için istenen doğrultularda model yıldız alanları oluşturmak mümkündür. Bu alanlardaki yapay yıldızların yaşları, kütleleri, metal bollukları; ilgili popülasyona ve bileşene ait başlangıç kütle fonksiyonları, yıldız oluşum oranları kullanılarak belirlenir. Yıldızların sayılarıysa ilgili yoğunluk kanununa uygun bir şekilde hesaplanır. Böylelikle herhangi bir doğrultuda uzaklığa bağlı olarak yaşı, kütlesi ve metal bolluğu belli olan bir yapay yıldız örneği oluşturulur. Yaş, kütle ve metal bollukları bilinen bu model yıldızların yarıçap, sıcaklık, mutlak ve görünen parlaklık parametreleri eşyaş eğrileri kullanılarak tayin edilir (Robin ve diğ., 2003). Tüm bunlar dikkate alındığında temel astrofiziksel parametreleri bilinen bir yapay yıldız kataloğu oluşturmak Galaksi modelleri sayesinde mümkündür.

Diğer modellerde olduğu gibi Besançon galaksi modeli birçok farklı fotometrik sistemi desteklemektedir. Tez çalışmasında, kızılöte bölgedeki UKIDSS GPS fotometrik verileri

Tablo 2.2: Robin ve diğ. (2003) Besançon modeli için Galaktik bileşenlere ait yoğunluk kanunları. $a^2 = R^2 + \frac{z^2}{\varepsilon^2}$; R : Galaksi merkezine olan uzaklık, z : Galaktik düzleme olan dik doğrultudaki mesafe; ε : eksen oranı ve ρ_0 bileşenlerin yerel kütle yoğunluklarıdır. d_0 normalizasyon sabitidir. YAM: yıldızlararası madde, KMH: karanlık madde halosu anlamına gelmektedir.

Bileşen	Yoğunluk Modeli	
İnce Disk	$\rho_0/d_0 \times \{\exp(-(a/h_{R+})^2) - \exp(-(a/h_{R-})^2)\}$ $h_{R+} = 5000 \text{ pc}, h_{R-} = 3000 \text{ pc}$ $\rho_0/d_0 \times \{\exp(-(0,5^2 + a^2/h_{R+}^2)^{1/2}) - \exp(-(0,5^2 + a^2/h_{R-}^2)^{1/2})\}$ $h_{R+} = 2530 \text{ pc}, h_{R-} = 1320 \text{ pc}$	$\text{Yaş} \leq 0,15 \times 10^9$ $\text{Yaş} > 0,15 \times 10^9$
Kalın disk	$\rho_0/d_0 \times \exp(-\frac{R-R_0}{h_R}) \times (1 - \frac{1/h_z}{x_l \times (2+x_l/h_z)} \times z^2)$ $\rho_0 \times \exp(-\frac{R-R_0}{h_R}) \times \frac{\exp(x_l/h_z)}{1+x_l/2h_z} \exp(-\frac{ z }{h_z})$ $h_R = 2500 \text{ pc}, h_z = 800 \text{ pc}$	$ z \leq x_l, x_l = 400 \text{ pc}$ $ z > x_l$
Yıldız Halosu	$\rho_0/d_0 \times (\frac{a_c}{R_0})^{-2,44}$ $\rho_0 \times (\frac{a}{R_0})^{-2,44}$	$a \leq a_c, a_c = 500 \text{ pc}$ $a > a_c$
Şişkin Bölge	$13,7 \times \exp(-0,5 \times r_s^2)$ $13,7 \times \exp(-0,5 \times r_s^2) \times \exp(-0,5 (\frac{\sqrt{x^2+y^2-2540}}{0,5})^2)$ $r_s^2 = \sqrt{[(\frac{x}{1590})^2 + (\frac{y}{424})^2]^2 + (\frac{z}{424})^4}$	$\sqrt{x^2+y^2} < R_c$ $\sqrt{x^2+y^2} > R_c$
YAM	$\rho_0 \times \exp(-\frac{R-R_0}{h_R}) \times \exp(-\frac{ z }{h_z})$ $h_R = 4500 \text{ pc}, h_z = 140 \text{ pc}$	
KMH	$\frac{\rho_c}{(1+(a/R_c)^2)}$ $R_c = 2697 \text{ pc}$ ve $\rho_c = 0,1079$	

Not: YAM için $\rho_0 = 2,1 \times 10^{-2}$ dir. KMH için $\rho_0 = 9,9 \times 10^{-3}$, $\varepsilon = 1$. Diğer bileşenlerin yerel kütle yoğunluk ve eksen oranları değerleri Tablo 2.1’de verilmiştir. İnce disk için modellerde alevlenme ve burulma $z = \frac{z_{\text{swarp}} - z_{\text{flare}}}{k_{\text{flare}}}$ şeklinde dikkate alınır. z_{swarp} ve k_{flare} metin içerisinde açıklanmıştır.

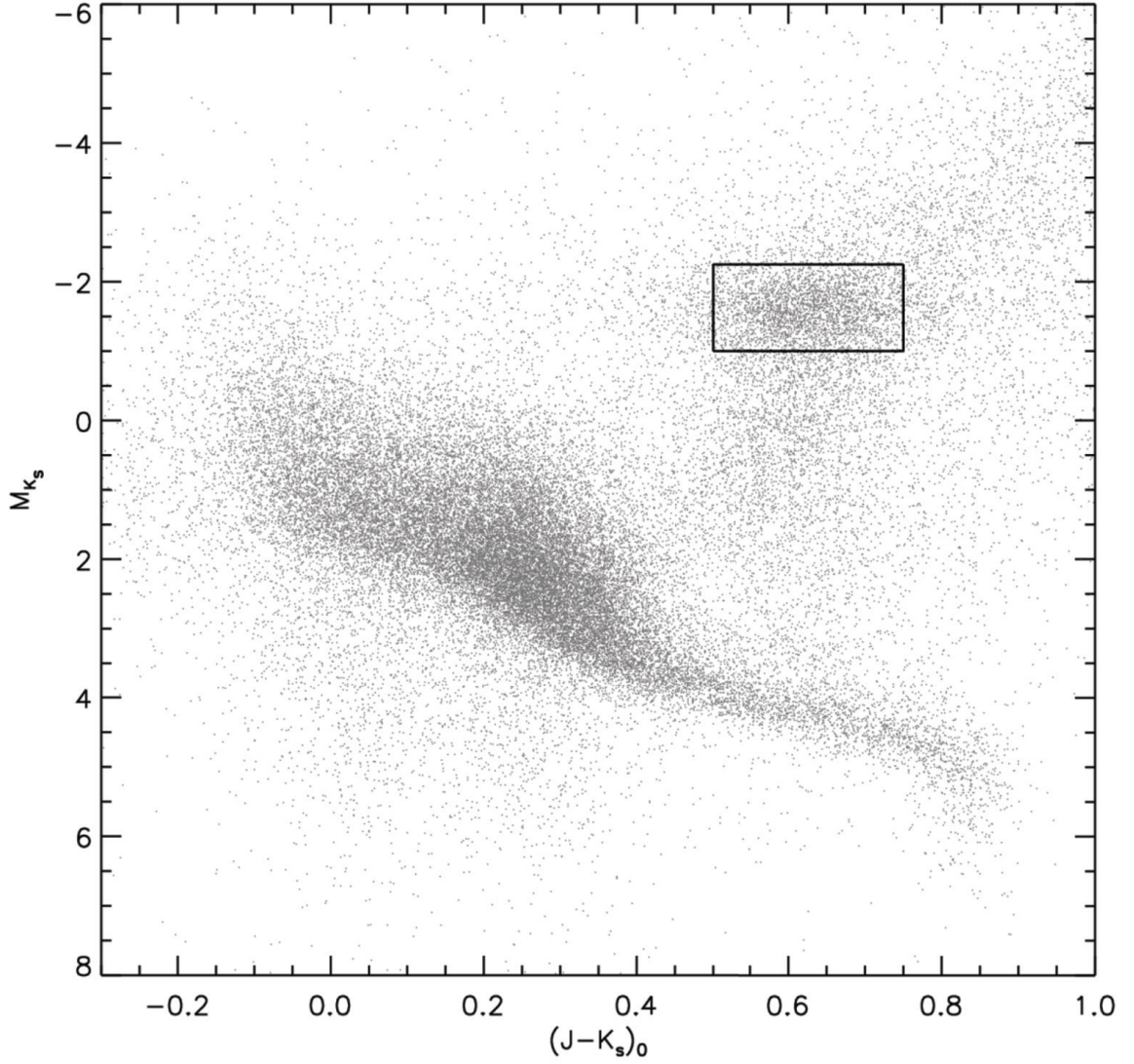
(Lucas ve diğ., 2008) kullanıldığından, bu modeller UKIRT JHK verileriyle K bandındaki limit parlaklık 19,4 kadir olacak şekilde üretilmiştir. Bu veriler bir sonraki bölümde bahsedildiği gibi beş farklı sönükleştirmeye sahip alan için elde edilmiştir. Bu alanlar, Galaksi merkez doğrultularındaki gözlemsel verileri iyi bir şekilde temsil etmektedir.

Robin ve diğ. (2003) Besançon modelinin geliştirilmiş versiyonunu yapan Czekaj ve diğ. (2014) yıldızlararası ortamı modellerken Drimmel ve Spergel (2001) ve Marshall ve diğ. (2006) çalışmalarından faydalanmıştır. Marshall ve diğ. (2006) $-100^\circ < l < 100^\circ$ ve $-10^\circ < b < 10^\circ$ bölgesinin 3 boyutlu sönükleştirme haritası çıkarmıştır. Tez çalışmasındaki yıldız alanları bu bölgede kaldığı için bu haritaların hassasiyeti araştırmamız için önemlidir. Ancak, Marshall ve diğ. (2006) haritaları bazı doğrultularda kullandıkları verilerin limit parlaklıklarından ötürü yeteri kadar hassas sonuçlar vermemektedir. Bu yüzden modeller için birçok alan denenip renk–parlaklık diyagramları UKIDSS GPS verilerine en çok benzerlik gösterenler dikkate alınmıştır. Besançon alanları seçilirken, bu alanlardaki KY yıldızlarının gözlemsel alanlardakine uyum göstermelerine dikkat edilmiştir. Toplamda 5 farklı sönükleştirmeye sahip alan belirlenmiştir. Bu alanların nasıl seçildiği Bölüm 3.3’te anlatılmıştır. Bölüm 3.4.1’de bahsedilen Bayes sinir ağlarının eğitiminde bu model alanlarından elde edilen veri setinden faydalanılmıştır.

2.7. KIRMIZI YIĞIN YILDIZLAR

Doktora tez çalışmasında Hertzsprung-Russell (HR) diyagramının yatay kolunun kırmızı tarafında yığılı şekilde bulunan KY yıldızları kullanılmıştır. KY yıldızları çoğunlukla çekirdeklerinde He yakan küçük kütleli yıldızlardır. Bu yıldızların dev konvektif He yakan çekirdekleri radyatif hidrojen (H) yakan bir kabuk ve hidrojen zengin konvektif bir zarf ile çevrilidir. Çekirdekte üretilen enerjiyi dengelemek için bu büyük yarıçapa ($\sim 10 R_\odot$, Miglio ve diğ., 2013) karşın yüzey sıcaklıkları düşüktür (Girardi, 2016) ve bu da onların kırmızı olmasına neden olur. Çekirdekteki He yanması sonucu karbon (C) ve oksijen (O) üretilir, oluşan C ve O çekirdek merkezinde toplanırken, He yakan çekirdek H yakan kabuğa doğru ötelenir. KY aşamasında ışıma gücünün temel kaynağı H ve He yakan bölgelerdir. Bu aşamanın sonuna doğru, He yakan bölge çekirdekten uzaklaştıkça kütle çekimsel ışıma (tanecik etkileşimi veya zarf genişlemesinden kaynaklı ışıma) etkin olmaktadır. Bu aşamada yıldız asimptotik dev aşamasının en erken safhasına gelir. KY aşamasının başında

H yakan kabuğun ışıma gücü He yakan çekirdeğin ışımasını bastırır ancak yıldız KY aşamasına geçtikten $0,4-0,6 \times 10^8$ yıl sonra bu durumun tam tersi söz konusu olur (Girardi, 2016). Süreç yeteri kadar uzun olduğu için bu aşamada yıldızlar oldukça fazla miktarda görülebilirler. Öyle ki bu yıldızlar, Güneş civarı için çizilmiş renk-parlaklık diyagramı (RPD) üzerinde (Şekil 2.6'da kesikli çizgilerle gösterilmiş bölgede) yığın halinde görülmektedirler. Bu yıldızların ışıma gücü aralığının çok dar olması onları özellikle kızılöte bölgede standart birer ışıma kaynağı yapmaktadır (Salaris ve Girardi, 2002; Stanek ve Garnavich, 1998). KY yıldızlarının mutlak parlaklıklarının yaşa ve metal bolluğuna bağlılığı Percival ve Salaris (2003) ve Girardi (2016) tarafından gösterilmiştir ve bu yıldızların kızılöte bölgedeki mutlak parlaklıkları bu iki parametreye bağlılığı en azdır. KY yıldızlarının gerçek renkleri ve mutlak parlaklıkları birçok çalışmada hesaplanmıştır (Alves, 2000; Laney ve diğ., 2012; Salaris ve Girardi, 2002; Yaz Gökçe ve diğ., 2013). Ortalama sabit bir mutlak parlaklık ve renk değeri kabul edilerek, KY yıldızlarının uzaklık ve sönükleştirme parametrelerini yeterince hassas bir şekilde hesaplamak mümkündür.



Şekil 2.6: Güneş civarındaki yıldızların renk–parlaklık diyagramı. Dikdörtgen içerisinde kalan bölge KY yıldızlarını göstermektedir (Yaz Gökçe ve diğ., 2013).

KY yıldızları yıldız kümeleri, yerel gruptaki galaksiler, Galaksimiz ile ilgili bir çok çalışmada kullanılmıştır. Gardiner ve Hawkins (1991) Küçük Macellan Bulutsusu’nun geometrik özelliklerini, bu galaksinin halosunun asimetrik olduğunu KY yıldızlarıyla ortaya koyulmuştur. López-Corredoira (2014) Galaksimizin dönme eğrisi bu yıldızlarla belirlenmiştir. Stanek ve diğ. (1994) ise Galaksimizin şişkin bölgesinde çeşitli doğrultularda KY yıldızlarının parlaklık farklarını belirleyerek Galaktik çubuğun varlığını kanıtlamıştır. KY yıldızları, yıldız kümeleri çalışmalarında çokça kullanılmaktadır. Açık kümelerdeki sayıları küresel kümelerdekine göre az da olsa KY yıldızları kullanılarak, eşyaş eğrileriyle

kümelerin uzaklık ve yaş hesabı yapılmaktadır (Grocholski ve Sarajedini, 2002; Leaman ve diğ., 2013). Wozniak ve Stanek (1996) ve Nataf ve diğ. (2013) gibi çalışmalarda KY yıldızları sönükleştirme hesabı için Galaksimizin şişkin bölgesi doğrultusundaki birçok bölgede sönükleştirme haritalarının ve katsayılarının hesabında ölçüt olarak dikkate alınmıştır. Tatton ve diğ. (2013) Büyük Macellan bulutsusundaki 30 bölge için yine sönükleştirme haritalarını bu yıldızlardan yararlanarak elde etmiştir.

KY yıldızlarıyla yapılan bir diğer çalışma da yıldız yoğunlukları ya da sayıları kullanılarak Galaktik bileşenlerin yapılarını araştırmaktır. Belirli bir yıldız alanında birim alandaki ya da birim hacimdeki yıldız sayılar kullanılarak Galaksinin bileşenlerine ait yapısal parametreler hesaplanabilmektedir. Yaz Gökçe ve diğ. (2015) Galaksi diski boyunca $|b| \leq 0,5^\circ$ enlemi için tüm doğrultularda KY yıldızlarını kullanarak Galaktik ince diskin uzunluk ölçeğiyle bu yıldızların yerel yoğunluklarını hesaplamışlardır. López-Corredoira ve diğ. (2007) ve Wegg ve Gerhard (2013) Galaktik çubuğun yapısını ortaya koymak için KY yıldızlarını kullanıp, bu yıldızların yoğunluklarından yararlanmıştır. Yıldızlar diske nazaran şişkin bölge ve çubuk üzerinde daha yoğunlaşmış olduklarından, bu bileşen doğrultularında yıldız yoğunlukları şişkin bölge ve çubuk boyunca artış gösterir. Momany ve diğ. (2006) ise Galaksimizin ince diskinde gözlenen alevlenme (“*flaring*”) ve burulma (“*warping*”) özelliklerini KY yıldızlarıyla araştırmıştır. Canis Major bölgesindeki fazla yıldız yoğunluğunu ince diske ait bu yapıların meydana getirdiğini ileri sürmüştür.

Pavel (2014) Galaksimizin manyetik alanının yapısını belirlerken KY yıldızlarından yararlanmıştır. Araştırmada Galaksimizin diskinde 2MASS’in *H* bandındaki kutuplanmış (polarize) ışık verileri (Clemens ve diğ., 2012) kullanılarak Galaktik manyetik alanı incelenmiştir.

Tayfsal verilerin artmasıyla Galaksimizin bütününe ya da Galaktik bileşenlere ait kimyasal ve kinematik evrim araştırmaları da artmıştır. KY yıldızlarının dev oluşu bu yıldızları Galaksi’nin uzak noktalarından bile anakol yıldızlarına göre daha gözlenebilir kılmaktadır. Bu yüzden, yakın zamanda KY yıldızlarını kullanarak Galaktik kimyasal ya da dinamik evrim araştırmaları artmıştır. Williams ve diğ. (2013) RAVE verilerindeki (Siebert ve diğ., 2011) KY yıldızlarını kullanarak, Güneş civarındaki büyük bir hacim içerisinde Galaksi’nin kuzey ve güney kısımlarında bulunan yıldızların uzay hızlarındaki farklılığı göstermiştir. Galaksi düzleminin üstündeki yıldızların daha kuzeye doğru, düzlemin altındaki yıldızların

güneye doğru hareket ettiğini ortaya koymuştur. Öte yandan, APOGEE verilerini kullanan Bovy ve diğ. (2014), Galaksimizin metal bolluğu dağılımını araştırmıştır. López-Corredoira ve diğ. (2014) KY yıldızlarının kinematik özelliklerini kullanarak, uydu galaksilerin geçişlerinden ya da diskteki rezonanslardan olduğu ileri sürülen disk bükülmesinin uzun ömürlü bir yapı olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla KY yıldızları farklı konularda Galaksinin yapısı, oluşumu ve emrimi anlamamız için önemli bir kaynaktır.



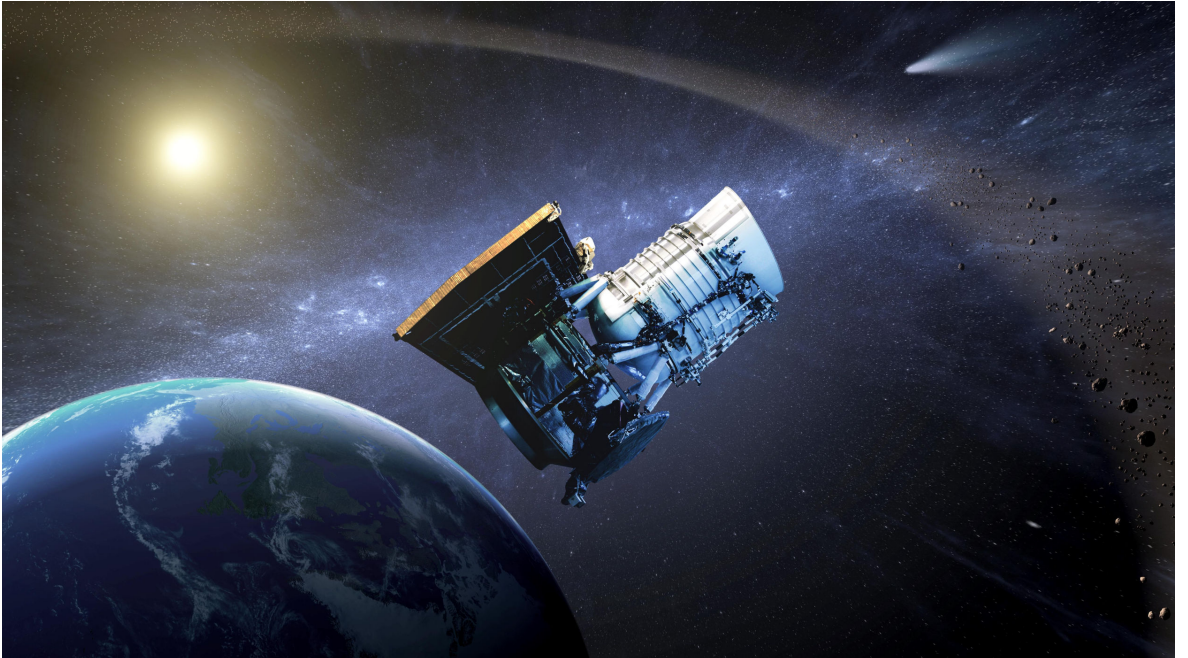
3. MALZEME VE YÖNTEM

Doktora tez araştırmamızda birden fazla gökyüzü tarama programından fotometrik veriler kullanılmıştır. Bu başlık altında; kullanılan yıldızların fotometrik verilerinin özellikleri, KY yıldızların yıldız alanlarından ayıklanması, modelle örnek yıldız alanlarının belirlenmesi ve analizlerde faydalandığımız yapay sinir ağları anlatılmıştır.

3.1. VERİLER

3.1.1. WISE

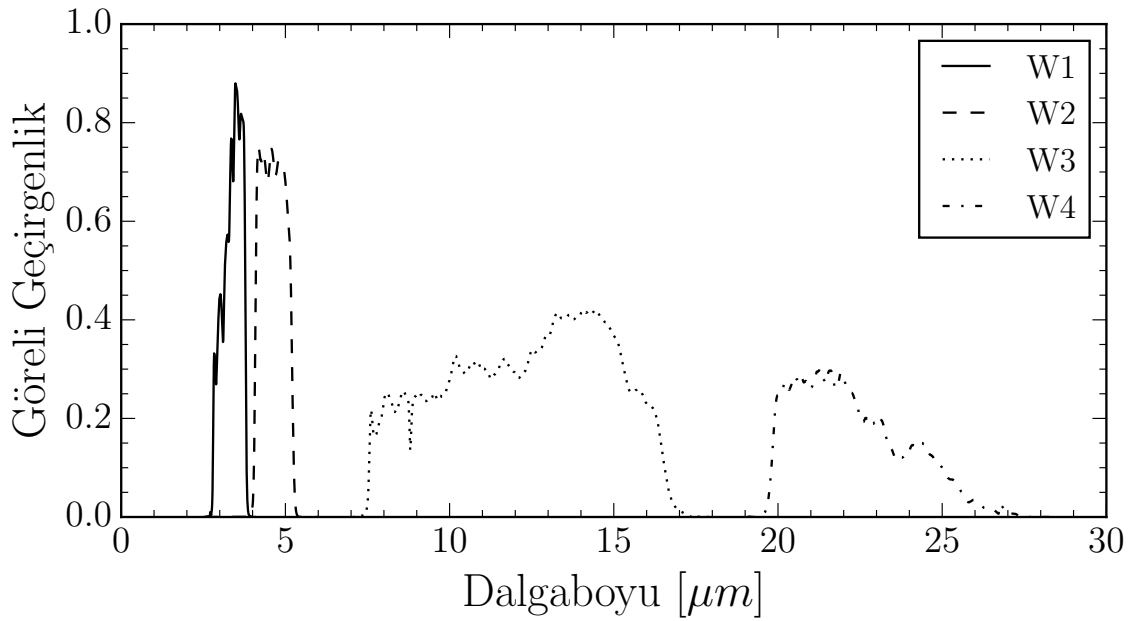
Wide-field Infrared Survey Explorer uydusu orta kızılöte bölgedeki tüm gökyüzünü kapsayan veriler sunmaktadır (Wright ve diğ., 2010). Uydu, 14 Aralık 2009 tarihinde uzaya fırlatılmıştır ve şubat 2011 tarihinde görevini tamamlamıştır. Ancak NEOWISE projesiyle (Mainzer ve diğ., 2014) Eylül 2013'te gözlemler tekrar yapılmaya başlamıştır. şekil 3.1 uydunun temsili bir görüntüsüdür.



şekil 3.1: WISE uydusunun temsili bir görüntüsü (NASA/JPL-Caltech, Görüntü kodu: PIA17254).

WISE uydusu 40 cm çapında bir aynaya sahiptir ve teleskopta *W1*, *W2*, *W3* ve *W4* olmak üzere dört adet fotometrik bant bulunmaktadır. Bu bantların etkin dalgaboyları sırasıyla $3,4\ \mu m$, $4,6\ \mu m$, $12\ \mu m$ ve $22\ \mu m$ 'dir (Şekil 3.2). 2MASS'tan bir kadir daha derine giden bu fotometrik sistem ayrıca çok daha hassas verilere sahiptir.

İlk olarak Cutri ve diğ. (2012) *WISE* verilerini araştırmacıların kullanımına sunmuştur. Şubat 2021'de bu katalog AllWISE olarak güncellenmiştir. Tez çalışmasında bu güncel katalog kullanılmıştır. AllWISE, ~750 milyon kaynak içermektedir (Cutri ve diğ., 2021).



Şekil 3.2: *WISE* fotometrisindeki bantların geçirgenlik eğrileri.

WISE fotometrisi özellikle kızılötede parlak olan asteroid, kuyruklu yıldız, kahverengi cüce, en büyük ışımaya sahip galaksi gibi cisimlerin çalışılması, tüm gökyüzünün orta kızılöte görüntüsünün elde edilmesi amacıyla yapılmıştır. *WISE*, çok sayıda Dünya'ya yakın asteroid (NEOWISE, hala tarama devam etmekte), soğuk kahverengi cüce, ötegezegen ve parlak galaksi (kuazarlar) keşifleri yapmıştır.

Güneş civarındaki yıldızların HR diyagramlarına bakıldığında, anakol ve dev yıldızların $(W1 - W3)_0$ renkleri birbirlerinden çok farklı değildir (Yaz Gökçe ve diğ., 2013). Yani, görsel bölgedeki fotometrik verilerde olduğu gibi anakol ve dev yıldızları orta kızılötesinde oluşturulan renk-parlaklık diyagramında ayırmak çok kolay değildir. Bu sorunun üstesinden gelmek için özellikle şişkin bölge doğrultularında *WISE* verileri sonraki

bölümlerde bahsedilecek olan VVV (VISTA Variable in the Via Lactea; Minniti ve diğ., 2017) eşleştirilip yıldızlara daha duyarlı $J - W1$ ve $K_s - W1$ renkleriyle analizler yapılmıştır.

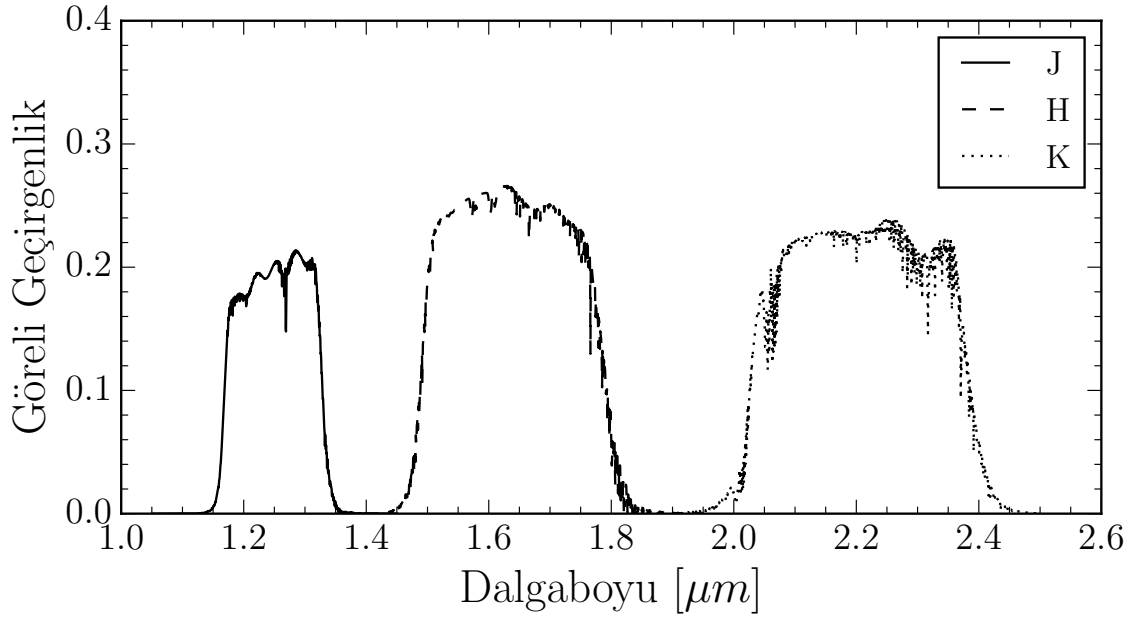
Bu teze başlanırken *WISE* verilerinin bu çalışma için kullanılabilir olduğu düşünülmekteydi ancak bu veriler Galaksi düzlemine yakın bölgelerde $|b| < 1^\circ$ yeterli derinliğe gidemediği için analizlerde UKIDSS GPS DR11 verilerinden de faydalanılmıştır.

3.1.2. UKIDSS GALAKSİ DÜZLEM GÖKYÜZÜ TARAMASI

UKIDSS (The United Kingdom Infrared Deep Sky Survey) Birleşik Krallık kızılötesi teleskobuyla yapılan gözlemlerle, Galaktik boylamı $-5^\circ < b < +5^\circ$ olacak şekilde, 1868 derece^2 lik alanı kapsayan bir *JHK* veri seti sunmaktadır (Lucas ve diğ., 2008). *J*, *H*, *K* bantlarının etkin dalga boyları sırasıyla $1,2483 \mu\text{m}$, $1,6313 \mu\text{m}$, $2,2010 \mu\text{m}$ (Hewett ve diğ., 2006). Katalog, ayrıca $2,12 \mu\text{m}$ - H_2 filtresinde alınmış $\sim 200 \text{ derece}^2$ lik veri de içermektedir. Bu fotometrik sistemin limit parlaklığı 2MASS'tan yaklaşık 4 kadir daha sönüktür. *JHK* bantlarının geçirgenlik eğrileri Şekil 3.3'te çizilmiştir.

UKIDSS Galaksi düzlem verileri Hawaii, Maunakea'daki 3,8 m büyüklüğündeki bir aynaya sahip kızılöte teleskopla alınmıştır. Teleskop 1 ila $30 \mu\text{m}$ genişliğindeki dalga boyu aralığında veri toplayabilen odak düzlemi aletine sahiptir. UKIDSS GPS verileri UKIRT WFCAM yakın kızılöte kamerasıyla alınmıştır. Kamera, her biri $13,6'$ lik alanı gözleyen dört adet 2048×2048 yongaya sahiptir.

Lucas ve diğ. (2008) UKIDSS Galaksi düzlemi verilerinin ilk sürümünü yayımladıktan sonra gözlemler devam etmiştir. Bazı alanlarda özellikle *K* bandında tekrarlayan gözlemler yapılmıştır. Cabrera-Lavers ve diğ. (2008); Wegg ve diğ. (2015) UKIDSS GPS'nin erken dönemde çıkan verileriyle araştırmalarını yapmışlardır. Bu doktora tezinde verilerin Mayıs 2019'da kullanıma açılan son sürümü (DR11) kullanılmıştır. DR11 hem fotometrik hassasiyeti daha yüksek hem de daha fazla veri sunmaktadır. UKIDSS GPS veri sayısı 6. veri sürümünde ~ 500 milyonken, 11. veri sürümünde bu sayı ~ 1 milyar olmuştur.

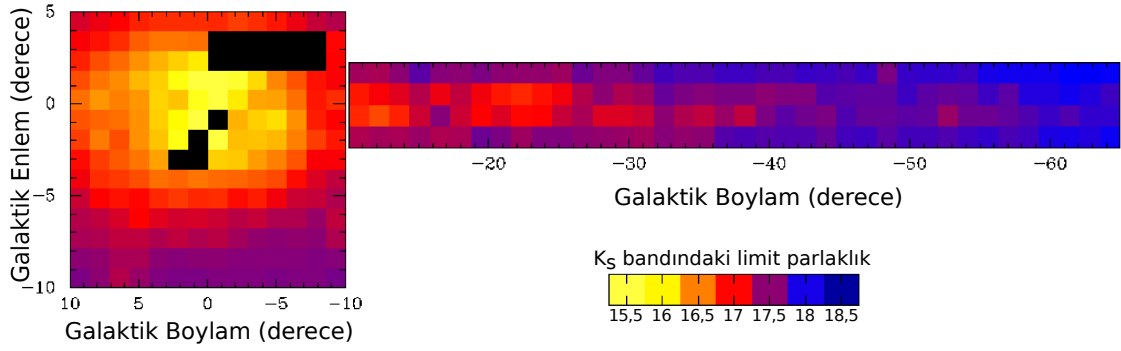


Şekil 3.3: UKIRT fotometrisindeki J , H , K bantlarının geçirgenlik eğrileri.

Galaktik düzleme yakın bölgeler gaz ve toz bakımından zengin olduğu için bu bölgelerde sönükleştirme çok fazladır. Tez çalışmasında yakın kızılöte (near infrared) bölgede fotometrik veri sunan *UKIDSS* Galactic Plane Survey (GPS) DR11 verileri kullanılmaktadır (Lucas ve diğ., 2008). JHK bantlarında atmosferik görüş (seeing), gökyüzü parlaklığı, atmosferik geçirgenlik gibi nedenlere bağlı olarak limit parlaklıklar sırasıyla 19,4–19,65, 18,5–18,75 ve 17,75–18,0 kadir aralıklarında değişmektedir. Bu da sönükleştirmenin az olduğu JHK fotometrisinde oldukça uzak bölgelere gidilmesi anlamına gelmektedir. Galaktik düzlemde Galaksi merkezine yakın bölgelerde optik bantlardaki sönükleştirme oldukça fazla olduğundan *Gaia* (Gaia Collaboration, 2016) bu doğrultularda optik bölgedeki sönükleştirmenin çok fazla olmasından ötürü yeteri kadar derine gidememektedir.

3.1.3. VVV

Vista Variables in the Via Lactea (VVV), Galaksimizin şişkin bölgesi ve $295^\circ \leq l < 360^\circ$, $|b| < 2^\circ$ alanını kapsayan, kızılötedeki Y , Z , J , H , K_S fotometrik bantlarında veriler sunan bir gökyüzü taramasıdır (Saito ve diğ., 2012). VVV verilerinin limit parlaklığı, birçok alanda $K_S \approx 18$ kadir olarak belirlenmiştir. Ancak limit parlaklıklar Galaksinin merkez bölgelerinde 16 kadir civarındadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: VVV verilerinin dağılımı. Renk skalası K_s bandındaki limit parlaklıkları belirtmektedir.

WISE veri seti 2MASS JHK_s verileriyle birlikte gelmektedir ancak *WISE* 2MASS'ten daha sönük limit parlaklığa sahip olduğu için *WISE* örneğindeki tüm yıldızlara ait JHK verileri bulunmamaktadır. VVV verileri *WISE* ile eşleştirilerek hem yıldızlara daha duyarlı renkler ($J - W1$, $K_s - W1$) elde edilmiştir hem de VVV çok sönük parlaklıkları gözlediği için daha derin uzaya gidilmiştir. Böylelikle VVV ve *WISE* eşleştirilmiş kataloğu kullanılarak şişkin bölgenin daha derin incelemesi yapıldı.

3.2. KIRMIZI YIĞIN YILDIZLARIN AYIKLANMASI

KY yıldızları ayıklanırken Galaktik sönükleştirmenin hesaplanması gerekir. Galaktik sönükleştirmeye bağlı olarak, yıldızlar olması gerektiğinden daha kırmızı olarak görünecektir. Şekil 3.5'in b ve c panellerinden de anlaşılacağı gibi sönükleştirme uzaklığa bağlıdır. Çubuk yapının fiziksel özelliklerini ortaya koyabilmek için uzaklığı hesaplamak gerekir ve bu da en basit haliyle aşağıda tanımlanan uzaklık modülü denklemiyle elde edilir:

$$m_\lambda - M_\lambda = 5 \times \log \left(\frac{100 \times d}{\text{kpc}} \right) + A_\lambda. \quad (3.1)$$

Burada m_λ görünen ve M_λ mutlak parlaklığı, d uzaklığı, A_λ sönükleştirmeyi göstermektedir. KY yıldızları daha önce de bahsedildiği gibi sabit ışınım kaynakları oldukları için bu yıldızların birçok fotometrik banttaki mutlak parlaklıkları hesaplanmıştır. Tezde $M_{W1} = -1,635$ kadir, $M_{K_s} = -1,595$ kadir değerleri kullanılmıştır (Yaz Gökçe ve diğ., 2013).

Mutlak ve görünen parlaklığı bilinen cisimlerin RPD üzerindeki konumlarını görünen

parlaklığın bir fonksiyonu olarak belirlemek için uzaklık ve sönükleştirme değerlerine ihtiyaç vardır. Bu iki parametre de birbirlerine bağlı olduklarından çeşitli sönükleştirme kanunları kullanılarak uzaklık ve sönükleştirme hesaplanabilir. Fakat unutulmamalıdır ki, burada yapılacak işlemler KY yıldızlarının RPD üzerindeki olası konumlarının belirlenmesine olanak sağlayacaktır. KY yıldızlarının mutlak parlaklık ve gerçek renklerdeki saçılmadan dolayı, RPD üzerinde bu yıldızlar seçilirken belirli bir bölge dikkate alınmalıdır. Bu bölge Şekil 3.5'in a panelinde noktalı çizgilerle belirtilmiştir. Yıldızların olası konumları belirlenirken, sönükleştirmeye neden olan toz yoğunluğu aşağıdaki gibi Galaktik koordinatların ve uzaklığın fonksiyonu olarak tanımlanır (Sharma ve diğ., 2011):

$$\rho_{\text{toz}}(R, z) = \frac{\rho_0}{k_{\text{flare}}} \exp \left[\frac{R_0 - R}{h_R} - \frac{|z - z_{\text{warp}}|}{k_{\text{flare}} h_z} \right] \quad (3.2)$$

Burada $\rho_{\text{toz}}(R, z)$ tozun yoğunluğu, $R_0 = 8,0$ kpc, $\rho_0 = 0,54$ kadir kpc^{-1} , tozun uzunluk ölçeği $h_R = 4,2$ kpc, tozun yükseklik ölçeği $h_z = 0,088$ kpc. k_{flare} ile z_{warp} alevlenme ile bükülmeyi tanımlayan ifadelerdir. Bu ifadeler matematiksel olarak sırasıyla Eşitlik 2.2 ve Eşitlik 2.1 ile verilmiştir (Robin ve diğ., 2003; Sharma ve diğ., 2011). Bu şekilde tanımlanan toz yoğunluk modeli kullanılarak Schlegel ve diğ. (1998) tarafından verilen sonsuzdaki sönükleştirme değerinin belirli bir r uzaklığına indirgenmesi işlemi aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

$$A_{\lambda, r} = A_{\lambda, \infty}^f \frac{\int_0^r \rho(r) dr}{\int_0^\infty \rho(r) dr} \quad (3.3)$$

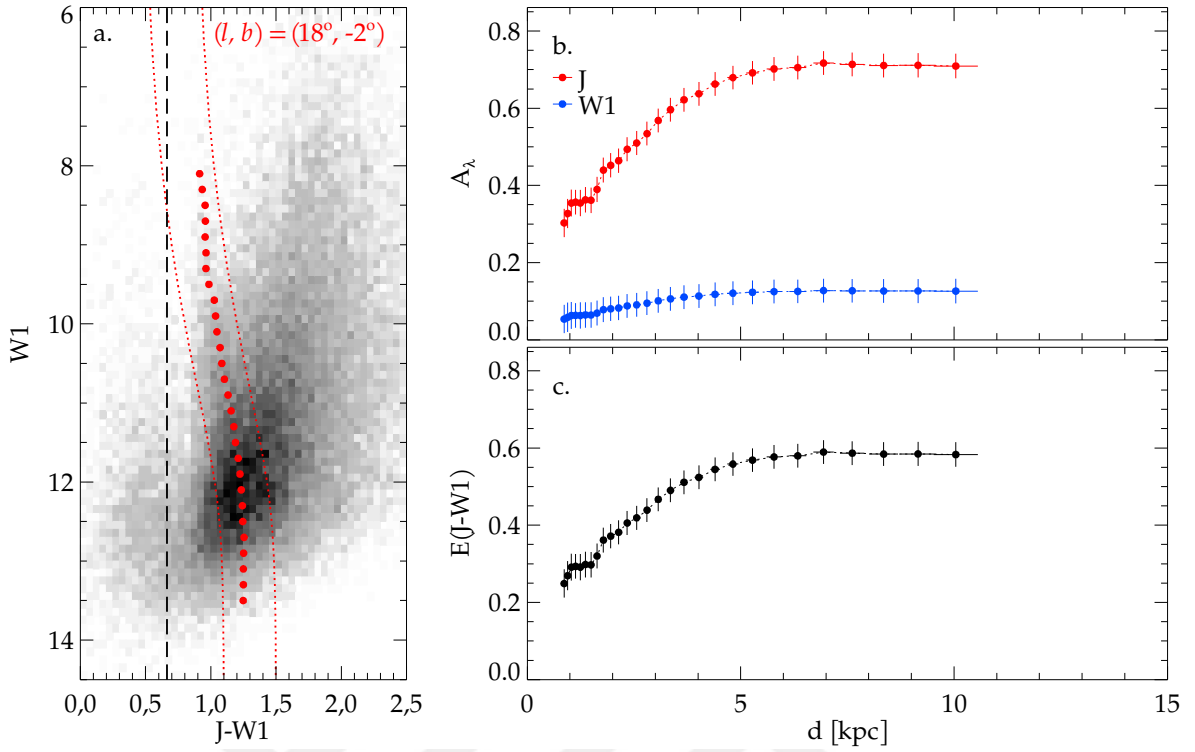
Burada $A_{\lambda, \infty}^f = A_{\lambda, \infty}^i \times C(A_{\lambda, \infty}^i)$ olarak tanımlanmaktadır. Schlegel ve diğ. (1998) tarafından verilen sönükleştirme değerlerinin olması gerekenden daha fazla hesaplandığından (Schlafly ve Finkbeiner, 2011) bu sorunu gidermek için sönükleştirme değeri aşağıda verilen katsayıyla çarpılmıştır (Binney ve diğ., 2014).

$$C(A_{\lambda, \infty}^i) = 0,6 + 0,2 \times \left[1 - \tanh \left(\frac{A_{\lambda, \infty}^i - 0,15}{0,3} \right) \right] \quad (3.4)$$

Bu yöntemle hesaplanan uzaklık ve sönükleştirme değerleri ile KY yıldızlarının mutlak parlaklıkları kullanılarak Eşitlik 3.1 yardımıyla uzaklığa bağlı görünen parlaklık ve renk değerleri elde edilir. Şekil 3.5'te a panelinde noktalı çizgilerle gösterilen eğriler bu şekilde belirlenmiş olup bu eğriler arasında kalan bölge KY yıldızlarının olası yerlerini göstermektedir.

Bu yöntemle şişkin bölge doğrultusunda VVV ve *WISE* birleştirilmiş kataloğundaki KY yıldızları tesbit edilip yıldız uzaklıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu uzaklıklar özellikle şişkin bölgenin haritalanması için kullanılmıştır. Ayrıca KY yıldızlarının gözlemsel RPD üzerindeki konumlarından yola çıkarak, gözlemlerle en uyumlu galaksi modelleri belirlenmiştir.

KY yıldızları sayesinde tez analizleri için dikkate alınan UKIDSS alanlarının sönükleştirmelerini en iyi temsil eden Besançon modelleri üretilmiştir. Bu modeller kullanılarak en düşük, düşük, orta, yüksek ve en yüksek şeklinde tanımladığımız sönükleştirme değerlerine sahip beş ayrı yapay yıldız kataloğu elde edilmiştir. Tanımladığımız sönükleştirme değerlerine sahip KY yıldızlarının m_K ve $(J - K)$ değerleri Tablo 3.1'de listelenmiştir. Örnek bir alan için gözlemsel ve model KY yıldızlarının görüntüsü Şekil 3.6'da verilmiş olup, model KY yıldızlarının gözlemsel verileri ne kadar iyi temsil ettiği, KY yıldızlarının üzerine denk gelen gri noktalardan anlaşılmaktadır.



Şekil 3.5: $l = 18^\circ$, $b = -2^\circ$ alanı için *WISE* W1 ve *VVV* J parlaklıkları kullanılarak oluşturulmuş renk-parlaklık diyagramı a panelinde; J ve W1 bantlarındaki sönükleştirmeye karşı uzaklık ilişkisi b panelinde; $d-E(J-W1)$ ilişkisi c panelinde gösterilmiştir. 0,665 kadirdeki dikey kesikli çizgi KY yıldızlarının gerçek $(J-W1)_0$ renklerini ifade etmektedir (Yaz Gökçe ve diğ., 2013). a panelindeki noktalı çizgiler arasında kalan bölge KY yıldızlarının konumlarıdır. Buradaki büyük noktalar 0,2 kadir görünen parlaklık adımlarındaki KY yıldızlarının ortalama renkleridir.

3.3. BESANÇON MODELİYLE ÖRNEK ALANLARIN BELİRLENMESİ

Besançon galaksi modeli yıldız sayılarını hesaplamakla kalmaz; Galaksi evrim modelleriyle tanımlanan yıldız oluşum oranını (YOO), başlangıç kütle fonksiyonunu (BKF), yıldızlara ait ışımaya gücü fonksiyonlarını dikkate alarak belirli bir bölge ya da büyük bir alan için yapay yıldızlar üretir. Bu yapay yıldızların çeşitli fotometrik sistemlerdeki parlaklıkları, uzaklıkları, sönükleştirmeleri, kütleleri, sıcaklıkları, kinematik verileri bir katalog şeklinde almak mümkündür.¹ Model ilk olarak Robin ve diğ. (2003) tarafından yapılmış olup, Czekaj ve diğ. (2014) tarafından yenilenmiştir.

Czekaj ve diğ. (2014) Besançon modelini, özellikle Galaksi düzleminde gözlemsel verilerle daha uygun hale getirmek için geliştirmiştir. Bu amaçla Galaksi düzlemi için Marshall ve diğ.

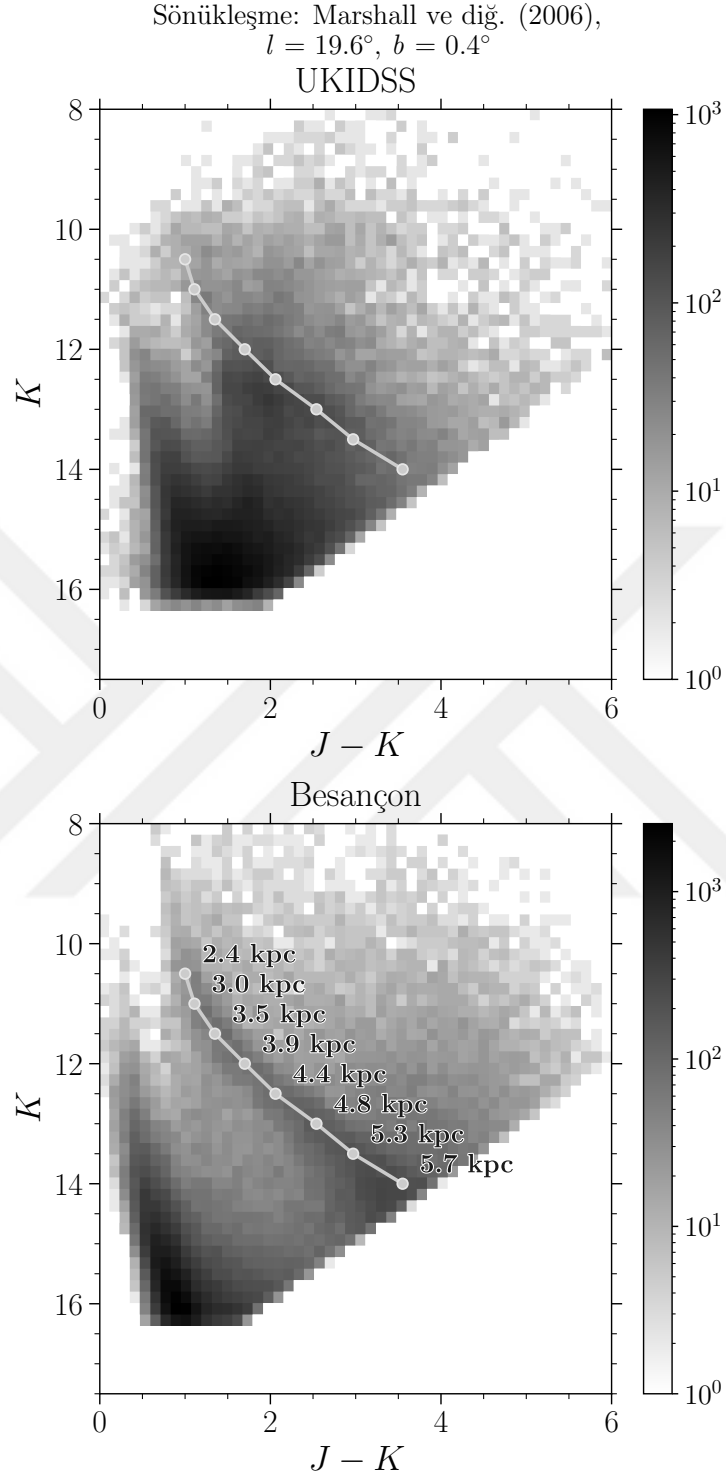
¹ <https://model.obs-besancon.fr/>

(2006) tarafından verilen 3 boyutlu sönükleştirme haritaları, çubuk ve şişkin bölge (Robin ve diğ., 2012) ile burulma ve alevlenme (Reylé ve diğ., 2009) modelleri kullanılmıştır. Şekil 3.6'nın alt panelinde örnek bir Besançon alanı gösterilmiştir. Paneldeki gri noktalar UKIDSS verilerinden, bir önceki bölümde anlatıldığı gibi hesaplanan KY yıldızlarının renk–parlaklık diyagramındaki konumlarını göstermektedir. Bu noktalar Tablo 3.1'de orta sönükleştirmeli bölgeler için elde edilen değerlere tekabül etmektedir.

Tablo 3.1: Gözlemsel verilerden yola çıkılarak, farklı sönükleştirmeye sahip alanlardaki KY yıldızlarının parlaklık–renk ilişkileri. Bu değerlere uygun bir şekilde Besançon modelleri üretilmiştir.

m_K	$(J - K)$				
	En Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	En Yüksek
10,5	0,91	1,00	1,00	1,12	1,08
11,0	1,00	1,10	1,11	1,31	1,32
11,5	1,17	1,35	1,35	1,60	1,72
12,0	1,40	1,56	1,70	2,04	2,14
12,5	1,60	1,78	2,06	2,42	2,64
13,0	1,80	1,90	2,54	2,89	3,25
13,5	2,02	2,20	2,97	3,42	3,80
14,0	2,40	2,61	3,55	3,94	4,35

Tezde incelenen alanların analizi için Tablo 3.1'de verilen sönükleştirmeli alanları kullanmak yeterli olmuştur. Besançon modelinin UKIDSS verileriyle karşılaştırılmasıyla tez alanlarındaki yıldızların uzaklık, K bandındaki toplam sönükleştirme (A_K) ve K bandındaki mutlak parlaklık (M_K) hesabı yapılarak araştırmalarımızda kullandığımız yıldız örneğini genişletilmiştir. Böylelikle KY yıldızlarından daha parlak ve daha uzak olabilen diğer dev yıldızlar yıldız örneğine katılmıştır.



Şekil 3.6: Üst panel UKIDSS verileri, alt panel bu bölge için ideal bir Besançon modelinden elde edilen bir renk–parlaklık diyagramını göstermektedir. KY yıldızlarının bulunduğu yeri gösteren noktalar Tablo 3.1’de orta sönükleştirmeli olarak tanımlanmış değerleri ifade etmektedir. Bu noktalarda bulunan KY yıldızlarının uzaklıkları noktaların sağ üstüne yazılmıştır. Renk skalası ilgili pikseldeki yıldız sayısını vermektedir.

3.4. YAPAY SİNİR AĞLARI

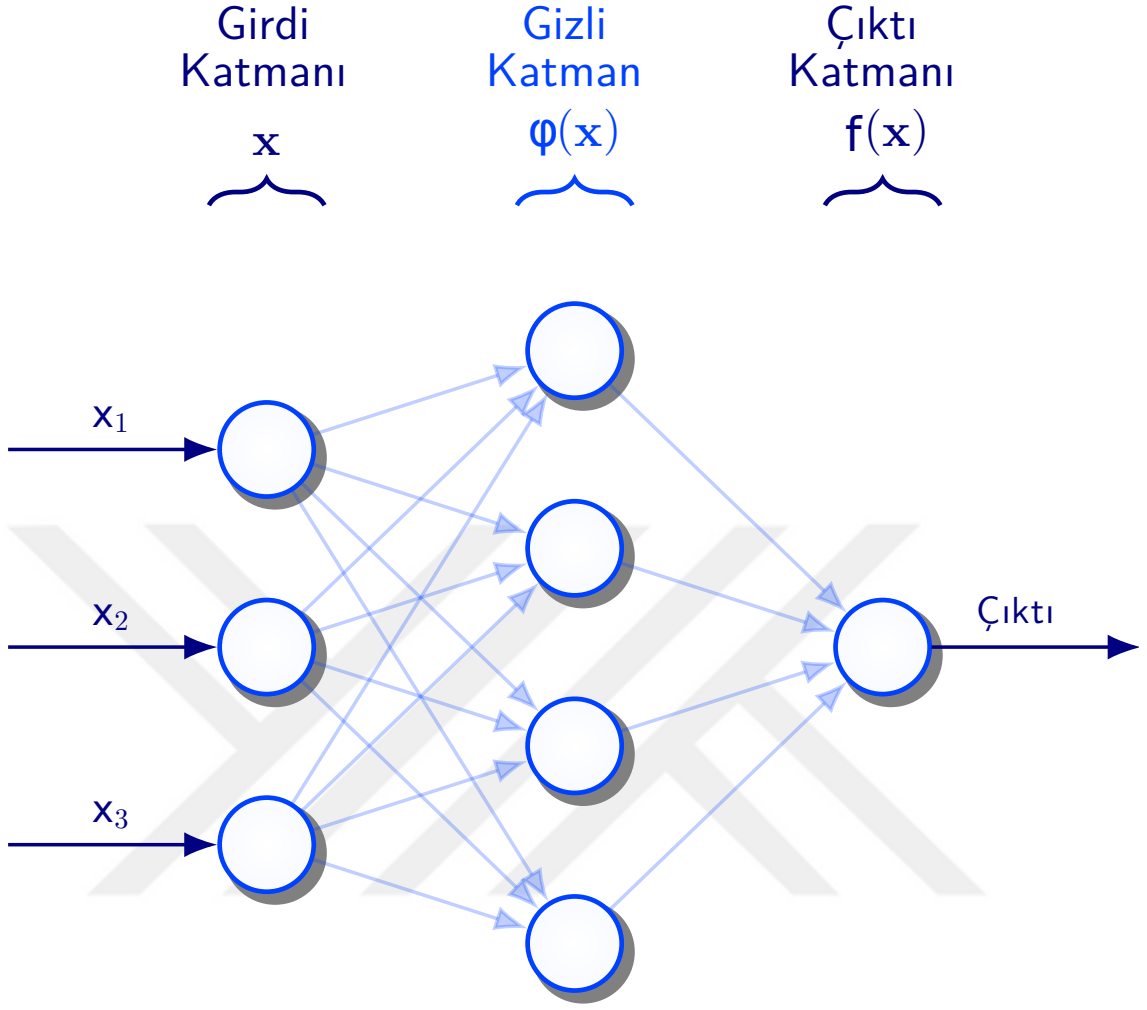
Yapay sinir ağı (YSA), birbirine sinir ağlarıyla bağlı nöronlardan (düğümlerden) oluşan bir yapıdır (Şekil 3.7). Sinir ağları arasındaki iletişimin gücü ağırlık (w) tarafından belirlenir ve $y = wx + b$ şeklindeki doğrusal bir fonksiyonla ifade edilir. Bu eşitlikte w ağırlık, b yanlılık (“*bias*”) olarak tanımlanmaktadır. Bu ifadeyle belirlenen ağırlık ve yanlılık nöronlara, aktivasyon fonksiyonu olarak adlandırılan, doğrusal olmayan fonksiyonlara aktarılır. Bazı aktivasyon fonksiyonları Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Fonksiyonların matematiksel ifadeleri Tablo 3.2’de listelenmiştir. Bir YSA karar verirken ya da çıktı parametresi hesaplarken girdi parametreleriyle ağırlıklara ihtiyaç duyar. Bunun için bir eğitim veri seti gerekir. Bu veri setindeki hesaplanması hedeflenen parametreler YSA’nın tahmin ettiğiyle en iyi uyumu sağlayacak şekilde YSA eğitilir. İlk etapta YSA rastgele ağırlıklarla tahminler yapıp bunları gerçek değerle karşılaştırarak öğrenmeye başlar.

YSA temelde çok katmanlı ağlardan (ÇKA’dan) oluşur. ÇKA üç gruba ayrılır; girdi katmanı, gizli katman, çıktı katmanı. Bu katmanlar Şekil 3.7’de gösterilen bir yapıya sahiptir. Her katmanda nöron adı verilen düğümler vardır. Bu düğümler arasındaki bağlantılar çeşitli aktivasyon fonksiyonları kullanılarak hesaplanan ağırlıklar yardımıyla sağlanır. Şekil 3.7’de örnek olarak verilen modelde N_1 boyutlu x girdisinin, f fonksiyonuyla tanımlanan çıktısı aşağıdaki gibi modellenir (Goan ve Fookes, 2020):

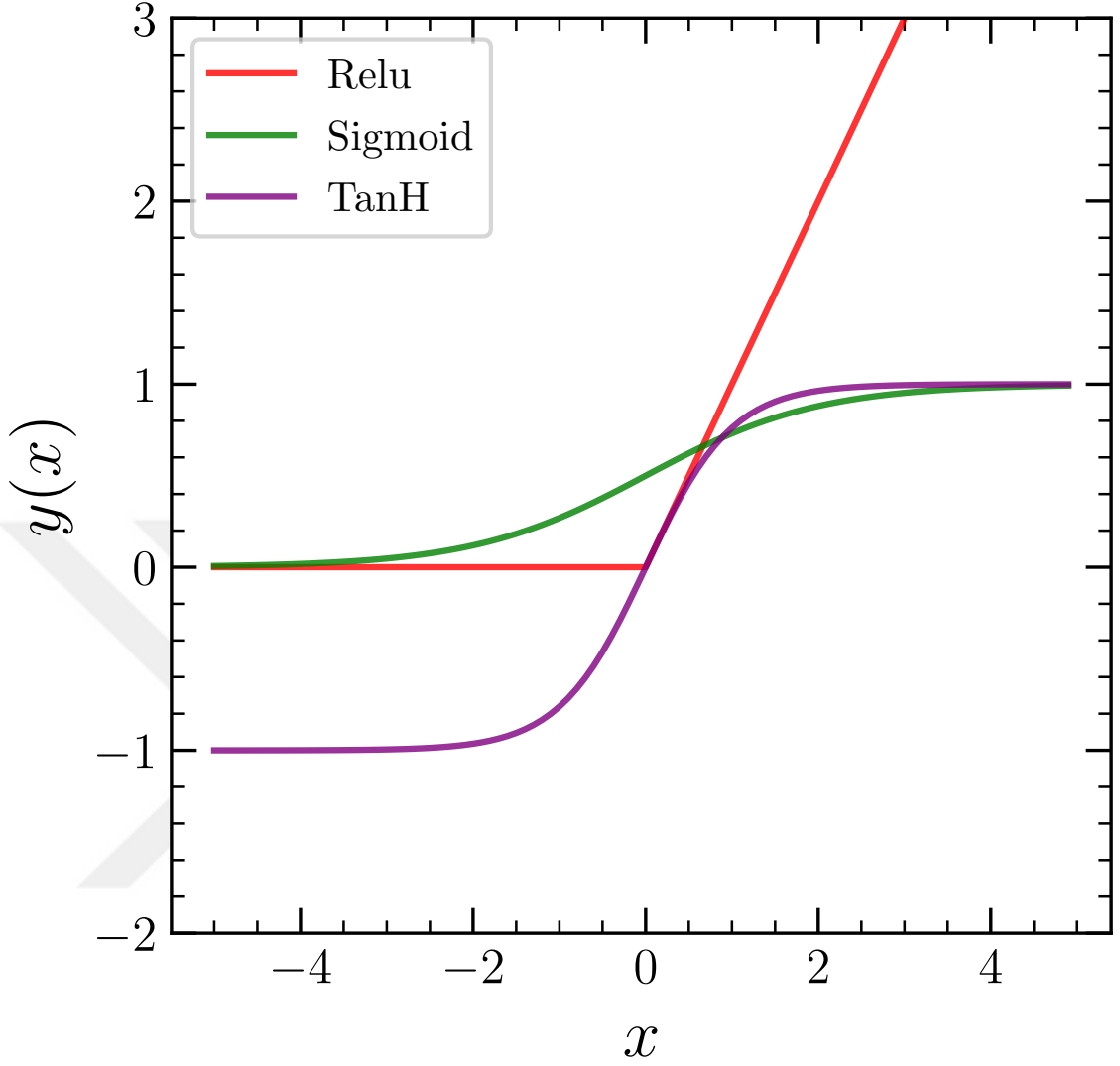
$$\phi_j = \sum_{i=1}^{N_1} a(x_i w_{ij}^1), \quad (3.5)$$

$$f_k = \sum_{j=1}^{N_2} g(\phi_j w_{jk}^2). \quad (3.6)$$

Eşitlik 3.5 gizli katmanın N_2 boyutlu çıktısıdır. ϕ_j , herbir girdi düğümünün (x_i) j adet düğüme sahip gizli katmanla doğrusal olmayan durumlarını ifade eder. a , aktivasyon fonksiyonuyla hesaplanan, N_1 boyutlu girdi katmanındaki parametrelerle ağırlıklar çarpımının toplamı şeklinde ifade edilir. Ağın çıktı katmanındaki k . düğüme ait sonuç, Eşitlik 3.6 ile hesaplanır. Yani çıktı katmanından bir önceki katmandaki (bu durumda gizli katman) N_2 adet düğüm üzerinden yapılan toplamla sonuç belirlenmeye çalışılır. Eşitlikteki g birim fonksiyondur.



Şekil 3.7: Yapay sinir ağlarının temel yapısı. Her düğüm bir nöronu temsil eder. Oklar ağırlıklardır ve nöronlar arasındaki bağın gücünü belirler.



Şekil 3.8: Yapay sinir ağlarının eğitiminde kullanılan bazı aktivasyon fonksiyonları. Fonksiyonların matematiksel ifadeleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2: Derin öğrenme modellerinde kullanılan bazı aktivasyon fonksiyonlarının matematiksel ifadeleri.

Fonksiyon	Matematiksel İfadesi
Sigmoid	$y(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$
TanH	$y(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{-2x}}$
Relu	$y(x) = \max(0, x)$

Son dönemlerde gök biliminin birçok alanında yapay sinir ağları kullanılmaktadır. Büyük veri setleri üzerinde yüksek performansla analiz yapılabilmesi açısından bu tür makine

öğrenmesi modelleri çalışmalarda oldukça kolaylık sağlar. Ayrıca yapay sinir ağları oldukça geniş bir matematiksel yelpazede özelleştirilebilir algoritmalara sahiptirler. Bu araştırmada hesaplanacak parametrelerin hatalarının belirlenmesinde kolaylık sağlaması adına Bayes sinir ağları (BSA) kullanılmıştır.

BSA olasılık hesabı yaptığı için parametrelerin olasılık yoğunluk dağılımını belirler. Bir parametrenin en olası değeri ve bu değere ait standart sapma model tarafından tayin edilir. Diğer derin öğrenme modellerinin çoğu doğrudan parametre değeri tahmin eder, hata hesabı yapmazlar. Bu açıdan bakıldığında BSA modelleri özellikle bilimsel çalışmalarda büyük önem arz ederler.

UKIDSS *JHK* verilerinin analizi için BSA, Robin ve diğ. (2003) ve Czekaj ve diğ. (2014) tarafından verilen Besançon galaksi modeli kullanılarak üretilen veriler ile eğitilmiştir. Besançon modeli, yıldızlara ait temel parametrelerle (kütle, yarıçap, uzaklık, yaş, metal bolluğu, kinematik) beraber birçok fotometrik sistem için yapay Samanyolu Galaksisi üretmektedir. Yapay olarak üretilen yıldızlara ait *JHK*, sönükleştirme ve uzaklık verileri kullanılarak bir eğitim veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setinde Besançon modelinin desteklediği tayf türünden tüm yıldızlar bulunmaktadır.

3.4.1. BAYES SİNİR AĞLARI

Bayes sinir ağları (BSA) modelleri çözüme giderken doğrudan hesaplama yapmaz. Modeli temsil eden parametrelerin çözümleri üzerine bir olasılık dağılımı belirleyerek sonuca gider. Aşağıda verilen Bayes kuralına göre BSA parametrelerin en olası değerlerini hesaplamaktadır.

$$P(\theta|\mathbf{D}) = P(\theta) \frac{P(\mathbf{D}|\theta)}{P(\mathbf{D})} \quad (3.7)$$

Burada $P(\theta|\mathbf{D})$ ardıl, $P(\theta)$ önsel ve $P(\mathbf{D})$ marjinal olasılıkları, $P(\mathbf{D}|\theta)$ olabilirlik fonksiyonunu ifade etmektedir. Bir diğer deyişle son olasılık, eğer D doğruysa θ 'nın; olabilirlik, eğer θ doğruysa D 'nin olasılığını vermektedir.

Önsel olasılık, bir parametreyi herhangi bir kanıt (gözlemsel veri vs.) olmadan hesaplamak; ardıl olasılık bahsi geçen parametrenin, verilecek ekstra bilgilerle (diğer bir deyişle

kanıtlarla) olasılık uzayını daraltmak olarak açıklanabilir. Bayes teoremi belirli bir parametrenin önsel olasılığını çeşitli bilgiler (kanıtlar) ışığında ardıl olasılığa çevirmede kullanılmaktadır. BSA algoritmalarında bir parametreye ait ağırlıkların ($\mathbf{w}$) ardıl olasılığı hesaplanırken Bayes teoremindeki θ ifadesi ağırlık olarak dikkate alınır.

$$P(\mathbf{w}|D) = P(\mathbf{w}) \frac{P(D|\mathbf{w})}{P(D)} \quad (3.8)$$

3.4.2. KAYIP (LOSS) FONKSİYONU

Kayıp, BSA tarafından yapılan her kötü tahmin için bir ceza olarak düşünülebilir. Model, bir parametre için ne kadar iyi tahmin yaparsa kayıp değeri o kadar düşük çıkar. Olasılık hesabı yapmayan derin öğrenme modellerinde mükemmel bir tahmin için kayıp değeri sıfırdır ancak BSA modellerinde durum biraz daha farklıdır. Bu modellerde kayıp hesaplanırken olabilirlik fonksiyonları kullanılmaktadır.

Sinir ağlarının eğitiminde kullanılacak veri seti $\mathcal{D} = \{(x_i, y_i)\}$ için olabilirlik şu şekilde hesaplanır:

$$\mathcal{L}(\mathcal{D}|\mathbf{w}) = \prod_i \mathcal{L}(y_i|\mathbf{x}_i, \mathbf{w}_i) \quad (3.9)$$

burada $\mathbf{w}$ ağırlık olarak tanımlanmaktadır. Olabilirlik ne kadar büyükse modelin yaptığı tahmin o kadar hassastır. Hesaplarda kolaylık açısından bu fonksiyonun logaritmik formu dikkate alınmaktadır. Ancak makine öğrenmesi modellerinde kayıp değerinin optimizasyonu için kayıp fonksiyonunun minimize edilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla BSA modellerinde kayıp fonksiyonu $-\log \mathcal{L}$ şeklinde hesaplanmaktadır.

4. BULGULAR

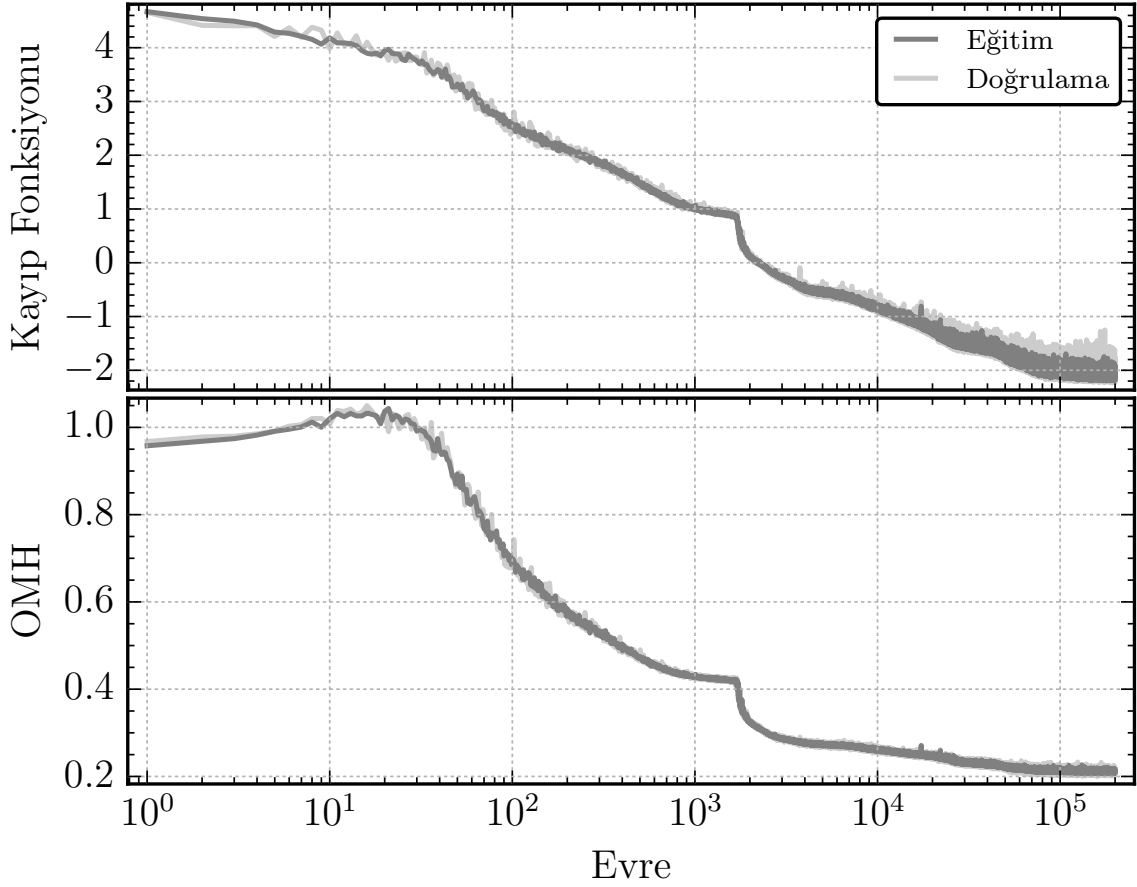
Kırmızı yığın (KY) yıldızlarının kızılötesi fotometrik sistemlerdeki renk-parlaklık diyagramları (RPD) üzerinden ayıklanması oldukça zor bir iştir (Cabrera-Lavers ve diğ., 2007). Belirli bir parlaklıktan sonra KY yıldızları %40'a varan bir oranda diğer yıldızlarla karışmaktadır. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için çalışmamızda RPD'yi öğrenerek, yıldızların tayf türünden bağımsız olarak uzaklık ve sönükleştirme hesaplayabilmemizi sağlayan Bayes sinir ağı (BSA) algoritması kullanılmıştır. BSA sayesinde yıldızların sönükleştirme ve uzaklık değerleri oldukça hassas belirlenmiştir. Ancak sönükleştirmenin Galaksi düzlemine göre nispeten daha az olduğu enlemlerde ($|b| > 2^\circ$), UKIDSS verilerinin olmayışı ve BSA'nın eğitimi için kullanılan Besançon modellerinin *WISE* fotometrisi için üretilmemesi gibi nedenlerden ötürü KY yıldızlarından faydalanılarak uzaklıklar hesaplanmıştır.

Çubuk ve şişkin bölge, özellikle sarmal galasilerin evriminde büyük önem taşır ve bu türden galaksilerin oluşumunun ve evriminin anlaşılabilmesi için bu yapıların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Galaksimizin oluşumunun ve evriminin anlaşılması için yapılan çok cisimli sayısal benzetimlerin test edilebilmesi için Galaktik çubuk ve şişkin bölgeye ait fiziksel parametrelerin belirlenmesi önemlidir. Çubuk yapının Galaksi disk çapına oranla büyük ya da küçük, şişkin bölgenin klasik ya da sahte oluşu Galaksi evrimiyle ilgili önemli bilgiler sunmaktadır. Özellikle Galaksimizin uzun süreli (seküler) bir evrim süreciyle mi yoksa çok sayıda birleşmeyle mi oluştuğunun anlaşılmasını sağlamaktadır.

4.1. BAYES SİNİR AĞLARININ EĞİTİMİ

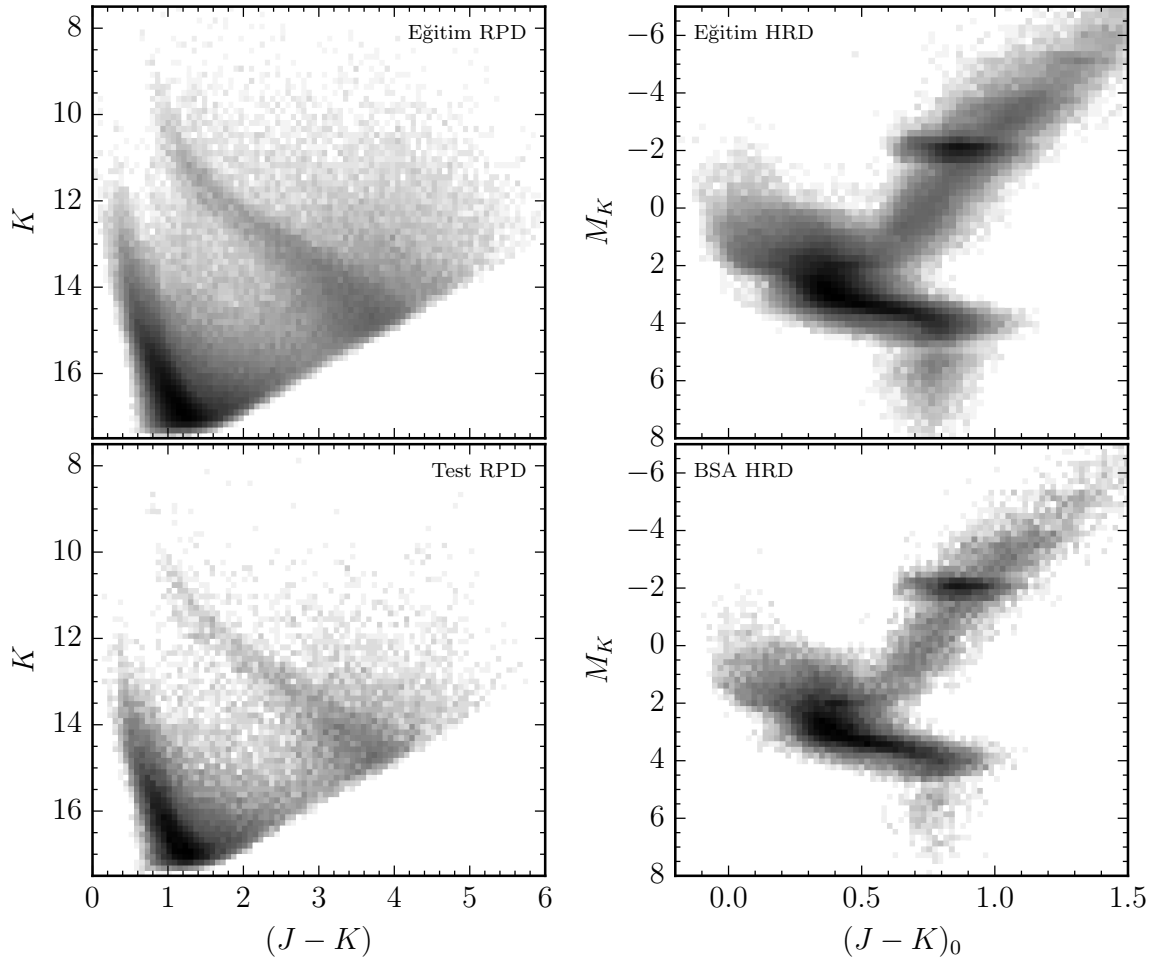
UKIDSS verilerinin uzaklık ve sönükleştirme (A_K) değerlerini hesaplanmak için Besançon modelinden faydalanılmıştır (Robin ve diğ., 2003). Yapay yıldızlar UKIDSS ile benzer Galaktik alanlarda olduğu için gözlemsel verilerle aynı sönükleştirme değerine sahip olacak şekilde üretilmiştir. Bir önceki bölümde bahsedilen, Bayes sinir ağlarının (BSA'nın) eğitilmesinde kullanılacak $\mathcal{D} = \{(x_i, y_i)\}$ ifadesindeki x , JHK parlaklıkları ve $J - H$, $J - K$, $H - K$ renklerinden; y , uzaklık ve sönükleştirme (A_K) değerlerinden oluşmaktadır. Bu veriler, Besançon modeli kullanılarak oluşturulmuştur ve $\sim 1.000.000$ sentetik yıldız içermektedir. Tezde, BSA modeli eğitilirken elde edilen kayıp fonksiyonu değerleriyle ve ortalama mutlak

hata dağılımının evrenin bir fonksiyonu olarak değişimi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



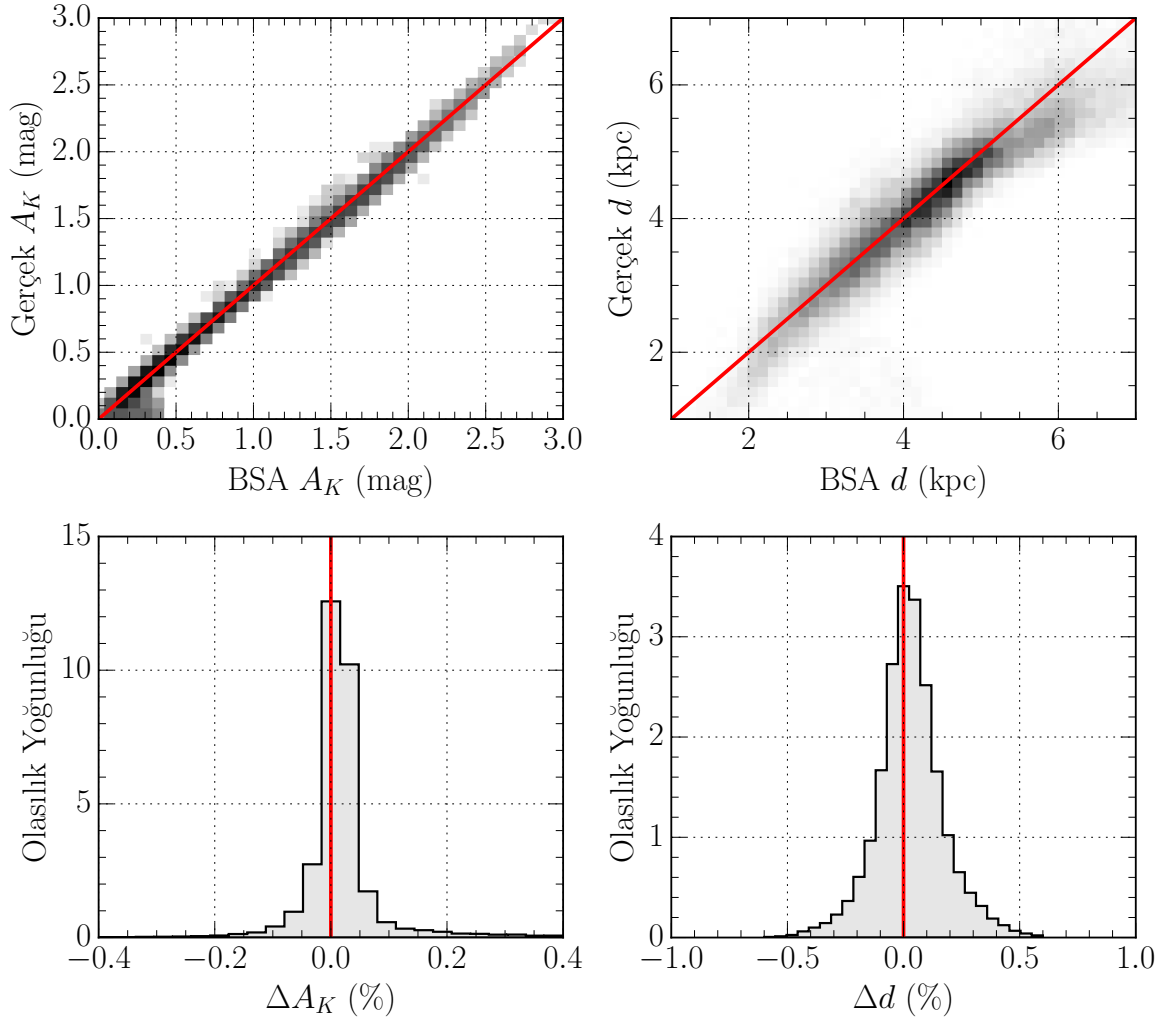
Şekil 4.1: Bayes derin öğrenme modelinin öğrenme eğrisi. Üst panel kayıp fonksiyonunun ($-\log L$), alt panel ortalama mutlak hata değerlerinin öğrenme evresine göre değişimini göstermektedir.

Besaçon modeli kullanılarak üretilen eğitim veri seti Şekil 4.2’nin üst panelinde gösterilmiştir. Şekilde sol üst panel renk–parlaklık diyagramı (RPD), sağ üst panel bu model yıldızların Hertzsprung–Russell diyagramı (HRD) çizilmiştir. En basit haliyle, BSA modeli RPD verilerini kullanarak HRD bulmaya çalışmaktadır. Ancak şunu eklemek gerekir ki, yukarıdaki paragrafta da bahsedildiği üzere eğitim veri setinin girdi (x) verilerinde görünen parlaklıklar ile birlikte kırmızılaşmış renkler de bulunmaktadır. Şekil 4.2’nin alt panellerinde modelin nasıl sonuçlar verdiğini anlamak adına bir test veri seti oluşturulup, bu test verilerinin RPD’leriyle BSA modelinin tahmin ettiği HRD gösterilmiştir. Test veri setinde ~ 100.000 sentetik yıldız bulunmaktadır. Şekilden de anlaşılacağı üzere, herhangi bir doğrultu için verilen RPD için model HRD’yi oldukça hassas bir şekilde tayin edebilmektedir.



Şekil 4.2: Üst paneller BSA modellerinin eğitiminde kullanılan, Eşitlik 3.9'deki eğitim veri seti $\mathcal{D} = \{(x_i, y_i)\}$ 'nin görüntüsüdür. Sol üst panel sentetik yıldızların RPD'sini, sağ üst panel bu yıldızların HRD'sini göstermektedir. BSA modelini test etmek için üretilmiş yıldızların RPD'leri sol alt panelde, model kullanılarak sönükleştirmelerini ve uzaklıklarını hesaplayarak elde ettiğimiz HRD sağ alt panelde verilmiştir.

Yıldızların BSA tarafından tahmin edilen K bandındaki toplam sönükleştirme (A_K) ve uzaklık değerleri gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar Şekil 4.3'ün üst panellerinde verilmiştir. Özellikle tayin edilen A_K sönükleştirme değeri gerçek değerlerle çok büyük bir hassasiyetle uyum göstermektedir. Şekil 4.3'ün sol alt panelinde hesaplanan ve gerçek sönükleştirme, sağ alt panelde de hesaplanan ve gerçek uzaklık değerlerinin fark dağılımı gösterilmiştir. sönükleştirmedeki ve uzaklıktaki farkların standart sapmaları sırasıyla $\sim\%5$ ve $\sim\%15$ 'tir.



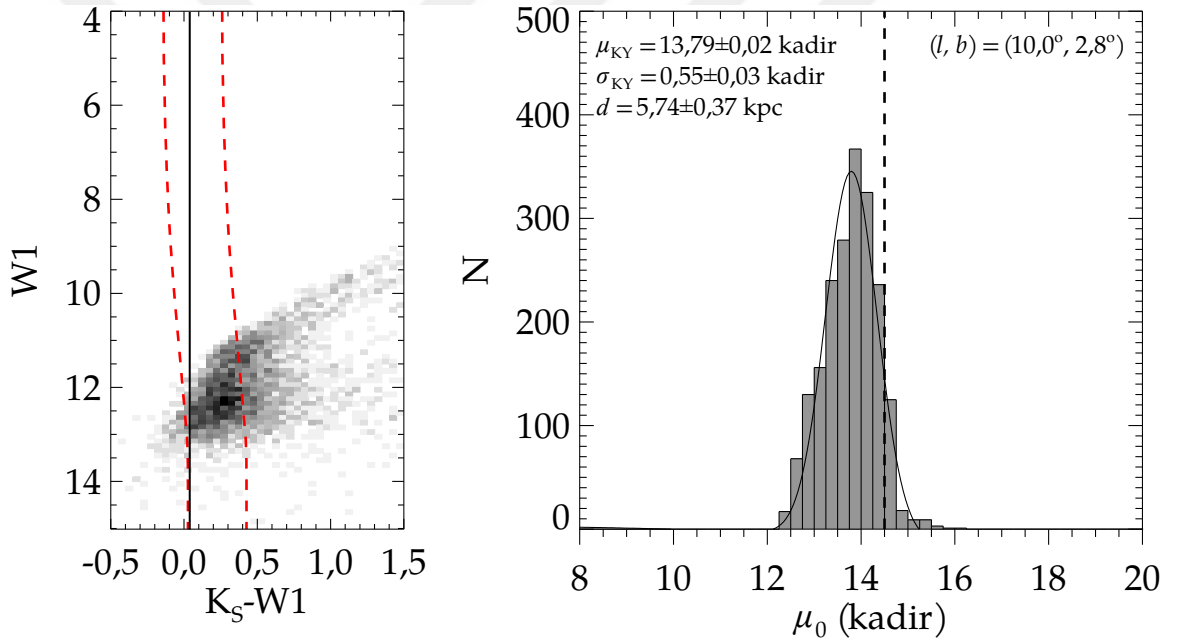
Şekil 4.3: BSA modelinin test veri seti için hesapladığı A_K ve uzaklık değerlerinin gerçek değerlerle karşılaştırmaları. Üst paneller birebir karşılaştırmaları gösterirken alt paneller gerçek ve hesaplanan değerler arasındaki farkların dağılımını göstermektedir.

Şekil 4.3'ten görüldüğü gibi BSA modeli özellikle sönmükleştirme (A_K) hesabında oldukça hassas sonuç vermektedir. Uzaklıktaki hassasiyet biraz daha düşük olmasına rağmen sonuçlar UKIDSS verilerinin maksimum uzaklığı olan 8 kpc için makul seviyededir.

Bu yöntemin avantajı, sönmükleştirme ve uzaklık değerlerinin tayf türünden bağımsız olarak hesaplanmasını sağlayabilmesidir. Tezde analizler yapılırken örneğimiz KY yıldızlarıyla kısıtlanmamıştır. Yöntem sayesinde dev kolundaki tüm yıldızlar kullanılmıştır. BSA eğitiminde kullanılan veri seti, Besançon modelinin fotometrik sistem kısıtlamalarından ötürü *WISE* fotometrisini kapsamamaktadır. Dolayısıyla bu yöntem şimdilik sadece *JHK* verileri için çalışmaktadır.

4.2. ÇUBUK VE ŞİŞKİN BÖLGENİN FİZİKSEL YAPISININ BELİRLENMESİ

Tezin amacı Galaktik çubuğun fiziksel parametrelerini hassas bir şekilde tayin etmektir. Bu amaçla UKIDSS, *WISE* ve VVV verileri kullanılmıştır. Şişkin bölgenin etkisinin çubuğa göre daha fazla olduğu bölgelerde ($|l| < 10^\circ$, $|b| > 1^\circ$) analizler KY yıldızlarıyla yapılmıştır. UKIDSS Galaksi düzlem taramasının, bu bölgede yeterli gözlem verilerine sahip olmaması nedeniyle *WISE* ve VVV verilerinden faydalanılmıştır. Bunun için en güncel *WISE* (Cutri ve diğ., 2021) ve VVV (Minniti ve diğ., 2017) verileri kullanılmıştır. Tez çalışmamızda kullandığımız örnek oluşturulurken seçilen alanlarda her iki veri seti eşleştirilerek herbir yıldızın $W1$ ve K_s parlaklıkları belirlenmiştir. Örnek bir alan için renk–parlaklık diyagramı Şekil 4.4’te verilmiştir.



Şekil 4.4: Sol panelde $(l, b) = (10^\circ, 2.8^\circ)$ alanı için *WISE* ve VVV verilerinin eşleştirilmesiyle oluşturulmuş renk–parlaklık diyagramı görülmektedir. Siyah düz çizgi, KY yıldızlarının gerçek renkleridir $((K_s - W1)_0 = 0.04^m$, Yaz Gökçe ve diğ., 2013). Bu panelde kesikli çizgiler arasında kalan bölgede KY yıldızları bulunmaktadır. Sağ panelde KY yıldızlarının uzaklık modülü dağılımları gösterilmiştir. Siyah kesikli dikey çizgi *WISE* fotometrisinin limit parlaklığını işaret etmektedir. Siyah düz eğri, uzaklık modülü dağılımına uygulanan, Eşitlik 4.1’deki modelin en uygun sonucunu göstermektedir. Model parametreleri panelin sol üstünde listelenmiştir.

Herbir alan için seçilmiş KY yıldızlarının uzaklık modülleri hesaplanarak, uzaklık modülü dağılımlarına aşağıda verilen model (Stanek ve Garnavich, 1998), Babusiaux ve Gilmore (2005), Cabrera-Lavers ve diğ. (2007) fit edilerek çubuk yapıya ait olduğu düşünülen KY

yıldızlarının uzaklıkları belirlenmiştir.

$$N(\mu) = c_1 + c_2\mu + c_3\mu^2 + c_3 \exp \left[\frac{(\mu_{KY} - \mu)^2}{2\sigma_{KY}^2} \right] \quad (4.1)$$

Buradaki ilk üç terim alan kirlenmesini, üstel ifadeyse çubuk yapıdaki KY yıldızlarının uzaklık modülü dağılımını temsil etmektedir. Eşitlikte μ_{RC} , Şekil 4.4'te gösterilen Gauss eğrisinin tepe yaptığı uzaklık modülü değerini, σ_{RC} de bu Gauss dağılımının standart sapmasını veren parametrelerdir. Örnek bir alan için hesaplanan uzaklık modülü dağılımı ve bu dağılama uygulanmış model Şekil 4.4'ün sağ panelinde düz çizgi olarak verilmiştir.

Hesaplanan uzaklıklar aşağıdaki model kullanılarak Markov zinciri Monte Carlo (MCMC) benzetimi yardımıyla çubuk ve şişkin bölge için Güneş–Galaksi merkezi doğrultusuyla yaptığı açı (ϕ , konum açısı) ve yapıların yarı uzunlukları hesaplanmıştır. MCMC benzetimi Algoritma 4.1'de gösterilmiştir.

$$Y = r \times \sin \phi + \tan \phi \times (X - r_x) \quad (4.2)$$

Burada r , çubuk ya da şişkin bölge yarı uzunluğu; ϕ , konum açısı ve $r_x = -R_0 + d \times \cos l$ olmak üzere, R_0 Güneş'in Galaksi merkezine olan uzaklığı; d , bileşenlerin Güneş'e en yakın uç kısımlarının uzaklıkları; l , bu bölgelerin Galaktik boylamlarını göstermektedir ve çubuk ile şişkin bölge için sırasıyla $l = 27^\circ, 12^\circ$ dir (Cabrera-Lavers ve diğ., 2007). Çubuk yapının X – Y düzlemindeki izdüşümü Şekil 4.5 üst panelde verilmiştir, diğer paneller MCMC simülasyonunun sonuçlarını ifade etmektedir. Şeklin üst panelinde yer alan kesikli çizgiler Galaksi merkezinden $((X, Y) = (0, 0) \text{ kpc})$ 2 kpc'lik adımlı uzaklıkları, Güneş $((X, Y) = (-8, 0) \text{ kpc})$ merkezli noktalı çizgiler 30° aralıklı boylamları ifade etmektedir.

Tez çalışmasında Güneş'in Galaksi merkezine olan uzaklığı $R_0 = 8,0 \pm 0,5 \text{ kpc}$, çubuk yapının konum açısı $\phi = 39,4^\circ \pm 0,8^\circ$, çubuğun yarı uzunluğu $4,1 \pm 0,1 \text{ kpc}$, şişkin bölgenin yarı uzunluğu $3,0 \pm 0,2 \text{ kpc}$ olarak hesaplanmıştır.

Galaksi düzlemine çok yakın bölgelerde UKIDSS verileri yeterli derinliğe gitmektedir. Bu verilerin analizinde Bayes sinir ağları (BSA) kullanılmıştır. Bu yöntem yukarıda bahsedilen, KY yıldızlarının kullanıldığı yöntemle kıyasla çok önemli avantajlara sahiptir. Özellikle BSA'nın hesapladığı uzaklık ve sönükleştirme değerlerinin tayf türünden bağımsız olması, analizlerin KY yıldızlarıyla kısıtlanmasını ortadan kaldırmıştır.

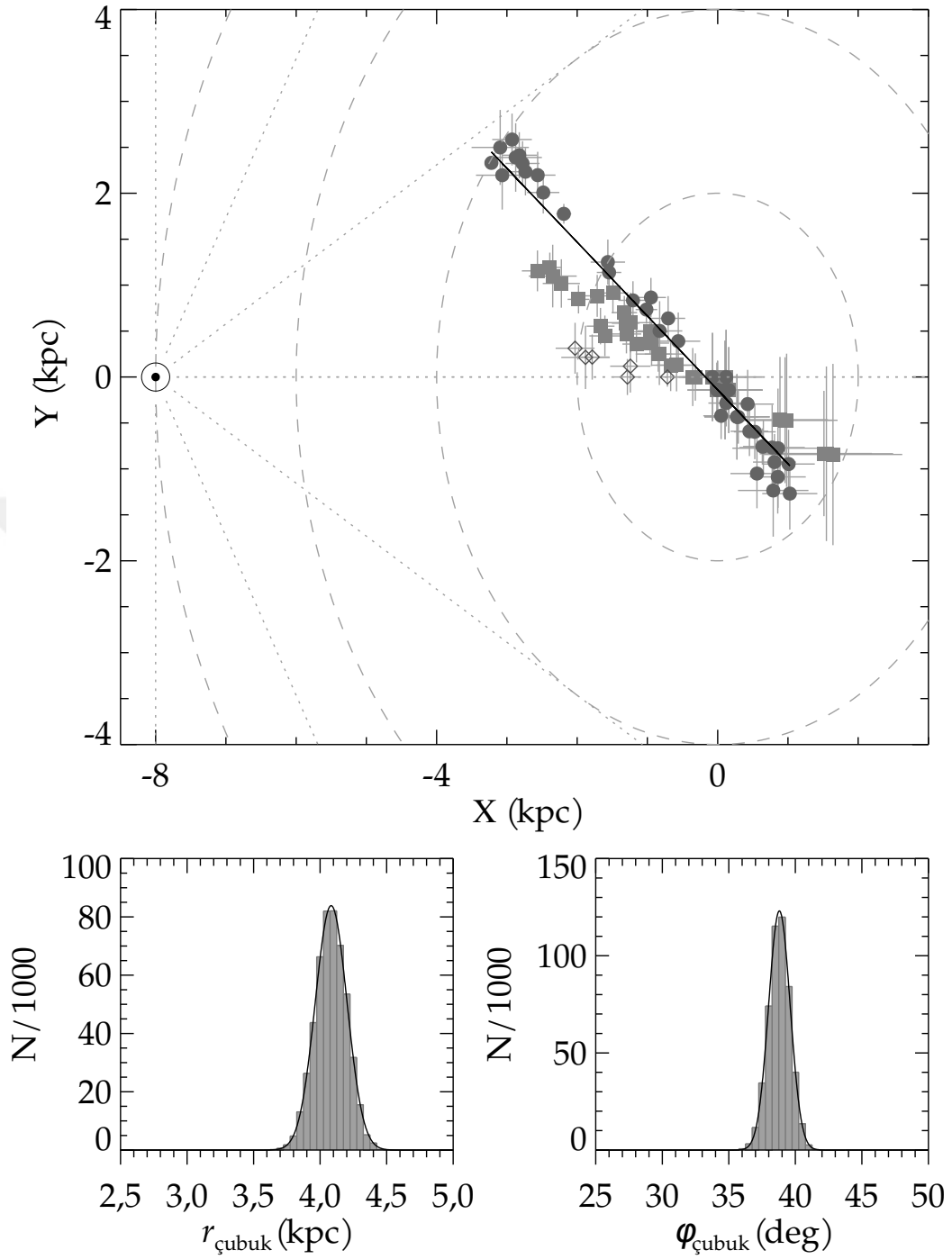
- 1: $n \leftarrow$ toplam MCMC adım sayısı
- 2: $\theta = \{r_{\text{çubuk}}, \varphi_{\text{çubuk}}\}$ parametre uzayında rastgele başlangıç değeri seç (θ^0)
- 3: Eşitlik 4.2’de $\theta^0 = \{r_{\text{çubuk}}^0, \varphi_{\text{çubuk}}^0\}$ yerine yazarak aşağıdaki gibi olabilirlik hesapla

$$\ln(L(\theta, \sigma)) = -\frac{1}{2} \sum_i \left[\frac{(G_i - B_i)^2}{\sigma_i^2} + \ln(2\pi\sigma_i^2) \right]$$

Burada G , Eşitlik 4.2’nin θ için çözümü; B , Galaktik çubuk ve şişkin bölge için elde ettiğimiz uzaklık değerleridir. σ , bu uzaklıkların hatalarıdır.

- 4: $i = 1$ ’den $i = n$ ’e kadar
- 5: θ ’nın bir önceki değerini dikkate alarak rastgele yeni değerler üret
 $\theta^r = \theta^{i-1} + \delta\theta$
 Burada $\delta\theta$, parametre uzayındaki her değer için rastgele bir adımdır.
- 6: Eğer $\ln(L(\theta^r, \sigma)) < \ln(L(\theta^{i-1}, \sigma))$
- 7: $\theta^i = \theta^{i-1}$
- 8: Eğer $\ln(L(\theta^r, \sigma)) \geq \ln(L(\theta^{i-1}, \sigma))$
- 9: $\theta^i = \theta^r$

Algoritma 4.1: Galaktik çubuğa ait fiziksel parametreler hesaplanırken kullanılan MCMC algoritması.



Şekil 4.5: Üst panel Galaksi merkezinin X - Y düzlemindeki gösterimi. İçi dolu daireler çubuk yapıyı, içi dolu kareler şişkin bölgeyi, içi boş karolar KY yıldızlarının yığılmasının gözlenemediği ya da verilerin tam olmadığı bölgeleri temsil etmektedir. Şekil üzerindeki Güneş simgesi Güneş'in Galaksideki konumunu, kesikli gri halkalar Galaksi merkezinden itibaren 2 kpc adımlı mesafeleri, noktalı gri çizgiler de 30° aralıklı Galaktik boylamları göstermektedir. Sol alt panelde, MCMC simülasyonundan belirlenen çubuk yarı uzunluk dağılımı; sağ alt panelde çubuğun Güneş-Galaksi merkezi doğrultusuyla yaptığı eğimi ifade eden dağılım verilmiştir. Ayrıca parametrelere ait Gauss dağılımları da paneller üzerine çizilmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tez çalışması, hem hassas verilerin hem de yeni yöntemlerin kullanılması bakımından özgündür. UKIDSS GPS, 11. veri sürümüyle hem yeni alanları hem de bazı alanları tekrar tekrar gözlediği için Galaksi merkez doğrultusunda çok sayıda yıldızın daha düşük hataya sahip kızılötesi (*JHK*) fotometrik verileri sunmaktadır. Çalışmamızda 2019 yılında kullanıma açılan bu yeni veriler analiz edilmiştir. Böylelikle (Cabrera-Lavers ve diğ., 2008; Wegg ve diğ., 2015) aksine daha yeni ve hassas fotometrik veriler kullanılmıştır. UKIDSS GPS DR11 veri setinde ~ 1 milyar yıldız bulunmaktayken, DR6'da bu sayı ~ 500 milyondur. Kaynak sayısının artmış olması, sonuçların daha yüksek doğrulukla hesaplanmasına olanak sağlamıştır. Ayrıca, şişkin bölge doğrultusundaki üst enlemlerde ($|l| < 10^\circ$, $|b| > 1^\circ$) UKIDSS GPS gözlem verileri bulunmadığı için VVV ile eşleştirilen *WISE* fotometrik verileri incelenmiştir. Böylece şişkin bölgenin analizleri farklı veri seti kullanılarak yapılmıştır.

5.1. BAYES SINIR AĞLARININ SONUÇLARI

Çubuk yapıyla alakalı olarak yapılan çalışmaların çoğu KY yıldızlarından faydalanılarak yapılmıştır (Babusiaux ve Gilmore, 2005; Cabrera-Lavers ve diğ., 2007, 2008; López-Corredoira ve diğ., 2007; Wegg ve diğ., 2015). Ancak bu yıldızları fotometrik olarak hassas bir şekilde diğer yıldızlardan ayırmak çok kolay değildir. Anakol yıldızlarının KY yıldızlarına karışımı $m_K > 13$ kadirde sonra %40'lara varmaktadır. Bu problem, sonuçlarda yanlışlıklara neden olmaktadır. Diğer bir problem ise yıldız uzaklıklarının hesabı ve parlaklıkların sönükleştirmeden arındırılmasıdır. Tezde, Bayes derin öğrenme modelleri kullanılarak UKIDSS GPS verilerinin uzaklık ve sönükleştirme değerleri hesaplanmıştır. Bu amaçla modellerin eğitilmesinde Besançon galaksi modeli kullanılmıştır. Besançon modeli yıldızların UKIRT *JHK* parlaklıklarıyla birlikte uzaklık ve sönükleştirme değerlerini vermektedir. Model parlaklık ve bu parlaklıklardan elde edilen renkler Bayes sınır ağları (BSA) için girdi parametreleri, uzaklıklar ve sönükleştirme değerleri de çıktı parametreleri olarak verilerek BSA eğitilmiştir. Bu sayede yıldızların tayf türlerinden bağımsız olarak uzaklık ve sönükleştirme hesaplanmıştır. Şekil 4.2'nin sağ alt paneli BSA'nın sonuçlarını vermektedir. Şekildeki üst paneller BSA'nın eğitim veri setidir. Sol üst paneldeki RPD girdi, sağ üst paneldeki HRD ise çıktı verileridir. Sol alt panel BSA'nın sonuçlarını test etmek için

kullandığımız RPD, sağ alt panel ise modelin ürettiği HRD'dir. Şekil incelendiğinde, eğitim HRD'siyle modelin ürettiği HRD arasında büyük bir benzerlik olduğu görülmektedir.

Sonuçlar Şekil 4.3'te sayısal olarak karşılaştırılmaktadır. Üst paneller BSA'nın tahmin ettiği ve gerçek sönmükleştirme (A_K) ile uzaklık karşılaştırmasını göstermektedir. Alt paneller, gerçek ve hesaplanan değerlerin farklarının yüzdelik dağılımıdır. Şekilden de görüleceği gibi sonuçlar oldukça hassastır. Ayrıca buradaki en büyük avantaj sonuçların tayf türünden bağımsız bir şekilde belirlenmiş olmasıdır. Diğer araştırmaların aksine örneğimiz KY yıldızlarıyla sınırlı kalmamıştır. Dolayısıyla KY yıldızlarının yeteri kadar uzağa gidemediği yıldız alanlarında KY yıldızlarından daha parlak dev yıldızların kullanılması mümkün olmuştur.

5.2. ÇUBUK VE ŞİŞKİN BÖLGE ARASINDAKİ İLİŞKİ

Wegg ve diğ. (2015), Galaksimizdeki çubuk ile kutu/fıstık (K/F) şekilli şişkin bölgenin aynı hizada olması; KY yıldızlarının Galaktik boylama bağlı yükseklik ölçeğinin Galaktik çubuktan şişkin bölgeye doğru düzgün bir şekilde değişmesi gibi sonuçlardan yola çıkarak bu iki yapının bağlantılı olduğunu ifade etmiştir. Aynı çalışmada çubuğun konum açısı $\phi = 28^\circ - 33^\circ$ arasında bulunmuştur. Bu tez çalışmasındaysa $\phi = 39,4^\circ \pm 0,8^\circ$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer, Wegg ve Gerhard (2013) ve Wegg ve diğ. (2015) tarafından hesaplanandan değerlerden biraz büyüktür. Hatalar dikkate alındığında, tezde bulunan çubuk ile şişkin bölge benzer konum açısına sahip görünmektedir (bkz. Şekil 4.5).

López-Corredoira ve diğ. (2007) ve Cabrera-Lavers ve diğ. (2008) K/F şişkin bögenin çubuk ile aynı hizada olmadığını bulmuştur. Cabrera-Lavers ve diğ. (2008) çubuk ve şişkin bölgenin konum açılarını sırasıyla $43,0^\circ \pm 1,8^\circ$ ve $12,6^\circ \pm 3,2^\circ$ olarak vermektedir. Benjamin ve diğ. (2005) ise GLIMPSE verilerini kullanarak çubuğun konum açısını $\phi = 44^\circ \pm 10^\circ$ bulmuştur. Zasowski ve diğ. (2012) GLIMPSE ve 2MASS verileriyle yaptığı çalışmada KY yıldızlarını kullanarak bu açıyı 35° hesaplamıştır. Çalışmalar incelendiğinde literatürde bu kadar büyük açıların veriliyor olmasının nedeni saf KY yıldızlarının seçilememesi olabilir.

Cabrera-Lavers ve diğ. (2007), $m_K < 12,5$ görünen parlaklıklarında KY yıldızlarının anakol yıldızlarıyla % 2,5-5 oranında, $13 < m_K < 14$ aralığındaysa %10-40 arasında karıştığını belirtmiştir. Çubuğa ait KY yıldızlarının, $l < 25^\circ$ boylamındaki görünen parlaklıkları ($m_K >$

13 kadir) dikkate alındığında bu karışım oldukça fazladır. Bu durumda çubuğun Galaksi merkezinden olan doğrultusu yanlış belirlenerek, yapının konum açısı ve yarı uzunluğu yanlış hesaplanabilir.

Bükülme kararsızlığı gösteren çubuk yapının şişkin bölgeyle aynı doğrultuda uzanması hem çok cisimli sayısal benzetimlerde (Athanassoula, 2005a; Martinez-Valpuesta ve diğ., 2006) hem de diğer galaksiler için yapılan çalışmalarda (Erwin ve Debattista, 2013) görülmektedir. Martinez-Valpuesta ve Gerhard (2011) aynı durumun Galaksimiz için de geçerli olduğunu ifade etmiştir. Wegg ve diğ. (2015) gözlemsel verilere yaptığı modellemelerde Galaksi merkezinde çubukla aynı hizada fıstık şekilli bir şişkin bölge olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlar Athanassoula (2005a) çok cisimli benzetimleriyle çok benzemektedir.

Tez çalışmasında çubuk ile şişkin bölgenin aynı hizada olduğu bulunmuştur. Hatalar dikkate alındığında her iki yapı $\phi = 39,4^\circ \pm 0,8^\circ$ konum açısına sahiptir. Tezdeki bulunan sonuçlar, yukarıda bahsedilen çok cisimli sayısal benzetimlerle uyumlu olarak, çubuk yapının evrimleşerek sahte bir K/F şekilli şişkin bölge oluşturduğu fikrini desteklemektedir.

5.3. ÇUBUK UZUNLUĞU VE KONUM AÇISI

Uzun çubuk yapının varlığı ilk olarak Hammersley ve diğ. (1994) tarafından ortaya atılmıştır ve araştırmada bu yapının yarı uzunluğu ~ 4 kpc hesaplanmıştır. Bu keşfin ardından bu yapının K/F şekilli şişkin bölgeden farklı bir yapı olup olmadığı tartışmaları ortaya çıkmıştır (Cabrera-Lavers ve diğ., 2007, 2008; Hammersley ve diğ., 2000; López-Corredoira ve diğ., 2007; Martinez-Valpuesta ve Gerhard, 2011). Wegg ve diğ. (2015) bu iki yapının temelinde aynı oldukları sonucuna varmıştır. Çalışmada her iki yapının Güneş–Galaksi merkezi doğrultusuyla yaptığı açığı 28° – 33° hesaplamışlardır.

Lucey ve diğ. (2022) yaptıkları analizlerde çubuğun $\approx 3,5$ kpc uzunluğunda olduğunu ancak 4,8 kpc mesafeye kadar yıldız yoğunluğunun sarmal kol yüzünden devam ettiğini ifade etmiştir. López-Corredoira ve diğ. (2007) çubuğun yarı uzun eksenini 3,9 kpc, Cabrera-Lavers ve diğ. (2008) 4,5 kpc, Wegg ve diğ. (2015) bu uzunluğu $5,0 \pm 0,2$ kpc hesaplamıştır. Wegg ve diğ. (2015) yarı uzunluğu diğer araştırmalara kıyasla çok büyük bulmalarını kullandıkları modele bağlamaktadır. Araştırmada Galaksinin üstten görünüm modellerinin Besançon disk modelleriyle karşılaştırılmasından çubuk yarı uzunluğu elde

edilmiştir. Ayrıca, Wegg ve diğ. (2015) Besançon modelinin verdiği disk yoğunluklarının, Galaksi merkez doğrultularında hassas olmaması durumunda çubuk yarı uzunluğunun yanlış hesaplanabileceğini belirtmiştir. Literatürde çubuk yarı uzunluğu $\sim 3,5\text{--}5,0$ kpc arasında verilmektedir.

Tez çalışmasında çubuk yarı eksen uzunluğu $4,1 \pm 0,1$ kpc bulunmuştur (bkz. Şekil 4.5). Bu değer, López-Corredoira ve diğ. (2007) tarafından verilen (3,9 kpc) ile uyumludur. Lucey ve diğ. (2022) tarafından elde edilen çubuğun yarı uzunluğu için öngördüğü değerden ise daha büyüktür. Örneğe karışan muhtemel sarmal kol yıldızları yüzünden çubuk yarı uzunluğu etkilenmiş olabilir. Zira Gonzalez ve Gadotti (2016) ve Hilmi ve diğ. (2020) çubuk yapının uzunluğunun, sarmal kolların çubuğa bağlı olup olmaması durumuna göre değişebileceğini belirtmişlerdir. Kolların bağlı olduğu durum için çubuk uzunluğu 1–1,5 kpc daha fazla olabilmektedir. Bununla birlikte Wegg ve diğ. (2015) çalışmasında da bahsedildiği üzere yıldız uzaklıkları hesaplanırken kullanılan Besançon modeli Galaksi merkez doğrultuları için yıldız yoğunluklarını yeteri kadar hassas veremiyor olabilir. Ayrıca model V bandındaki sönmüştürmeyi vermektedir. Bu değer K bandındaki sönmüştürmeyi $A_K = R_K \times A_V$ formülü kullanılarak çevrilmiştir. Burada $R_K = 0,103$ 'tür (Decleir ve diğ., 2022). Bu katsayı gaz ve toz yoğunluğuna bağlı değişebilmektedir. Wang ve Chen (2019) $R_K = 0,078$ hesaplamıştır. Sönmüştürmenin fazla ya da az hesaplanmasına yol açacak bu durum, uzaklıkları dolayısıyla hesaplanan parametreleri etkilemektedir.

5.4. SONUÇ

Araştırmamızda UKIDSS, *WISE* ve VVV verilerinin son sürümleri kullanılmıştır. Özellikle tekrarlanan gözlemler, yeni bölgelerin gözlenmesi tezimizde kullandığımız verilerin, diğer çalışmalara kıyasla daha hassas ve daha fazla olmasına olanak sağlamıştır. Fotometrik olarak daha hassas veriler sayesinde, hesaplanan uzaklık ve sönmüştürme değerleri daha düşük hatalarla belirlenmiştir.

Tez çalışmamızda Galaktik çubuk ve şişkin bölgenin fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan biri, standart parlaklık kaynağı olarak bilinen kırmızı yığın (KY) yıldızların uzaklıklarının hesaplanmasıdır. Bu yöntem, KY yıldızlarının renk–parlaklık diyagramı (RPD) üzerindeki yerlerinin hassas bir şekilde belirlenmesine dayanır. Galaksimizin diskindeki gaz ve toz bileşeninin yoğunlukları

hesaplanarak, herhangi bir doğrultu için uzaklığa bağlı olan sönükleştirme değerleri elde edilmiştir. Bu sönükleştirme değerleri ve KY yıldızlarının K bandındaki mutlak parlaklıkları kullanılmasıyla KY yıldızlarının incelediğimiz her doğrultuda görünen parlaklıkları belirlenmiştir. KY yıldızlarının kendilerine ait mutlak parlaklık ve gerçek renk saçılmalarının hesaplanan görünen parlaklıklar üzerindeki etkileri dikkate alınarak, KY yıldızlarının RPD üzerinde olmaları gereken bölge tayin edilmiştir (bkz. Şekil 4.4 sol paneldeki kesikli çizgiler). Böylelikle çubuk ve şişkin bölgeye ait KY yıldızlarının uzaklıkları kullanılarak, bu yapıların fiziksel özellikleri incelenmiştir.

Bir diğer yöntem Bayes sinir ağlarından (BSA) yararlanılarak yıldız uzaklıklarının hesaplanmasıdır. BSA, Galaksimizin yapay bir halini oluşturabildiğimiz Besançon modelleriyle eğitilmiştir. Besançon modeliyle, farklı sönükleştirmeye sahip yapay yıldız alanları gözlemsel verilerle uyumlu olacak şekilde üretilmiştir. Böylelikle uzaklıktaki ve sönükleştirmedeki model kaynaklı belirsizlikler en düşük seviyede tutulmuştur. BSA'nın hesapladığı uzaklık ve sönükleştirme değerleri gerçek değerlerle oldukça uyumludur (bkz. Şekil 4.3). BSA, uzaklık ve sönükleştirme parametrelerini yıldızların tayf türlerinden bağımsız olarak hesaplama yeteneğine sahiptir. Dolayısıyla bu yöntemle KY yıldızlarıyla sınırlı kalınmadan uzaklık ve sönükleştirme hesabı yapılmıştır. KY yıldızlarının parlaklıkları, bazı doğrultularda gözlemsel verilerin limit kadirleri dikkate alındığında yeterince uzağa gidilememesine neden olabilmektedir. Bu durumlarda KY yıldızlarından daha parlak olan, diğer dev yıldızların uzaklıklarından faydalanılmıştır.

Galaktik çubuk doğrultusundaki yıldızların uzaklıkları kullanılarak, Bölüm 4.2'de anlatıldığı gibi çubuğa ait fiziksel parametreler bir Markov zinciri Monte Carlo benzetimi yardımıyla hesaplanmıştır. Galaktik çubuk ve şişkin bölgeye ait yıldızların uzaklıkları Şekil 4.5'te verilmiştir. Çubuk ve şişkin bölge doğrultularını temsil eden uzaklıklar farklı sembollerle gösterilmiştir. Şişkin bölgenin fıstık şekline sahip olması, bu doğrultulardaki uzaklıkların daha büyük saçılma göstermesine neden olmaktadır. Şekil 4.5'te Galaksi merkezinden 2 kpc yarıçaplı bölgedeki uzaklıkların saçılması, şişkin bölgenin kabuklu fıstığa benzeyen yapısından kaynaklanabilmektedir.

Tez çalışmamızda Galaktik çubuğun yarı uzunluğu $4,1 \pm 0,1$ kpc olarak hesaplanmıştır, şişkin bölge yarı uzunluğuysa 2–3 kpc'tir. Galaktik çubuk Galaksi düzleminde, $l \approx 22^\circ$ boylamına kadar uzanmaktadır. Çubuk ile şişkin bölge aynı hizadadır ve bu yapıların konum

açıları $\phi = 39,4^\circ \pm 0,8^\circ$ dir. Hesapladığımız parametrelerin literatürle kıyaslaması Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1: Çubuk yapıya ait fiziksel parametrelerin literatürde verilen değerleri ve bu değerlerin elde edildiği yöntemler.

	$r_{\text{çubuk}}$	$\phi_{\text{çubuk}}$	Yöntem
Babusiaux ve Gilmore (2005)	2,5–3 kpc	$22^\circ \pm 5,5^\circ$	KY yıldızları
Benjamin ve diğ. (2005)	$4,4 \pm 0,5$ kpc	$44^\circ \pm 10^\circ$	Yıldız sayı yoğunlukları
Bovy ve diğ. (2019)	~ 5 kpc	$\sim 25^\circ$	Tayfsal ve astrometrik veriler
Cabrera-Lavers ve diğ. (2007)	~ 4 kpc	$43,0^\circ \pm 1,8^\circ$	KY yıldızları
Cabrera-Lavers ve diğ. (2008)	~ 4 kpc	$42,44^\circ \pm 2,14^\circ$	KY yıldızları
González-Fernández ve diğ. (2012)	$4,1 \pm 0,3$ kpc	$41^\circ \pm 5^\circ$	KY yıldızları
López-Corredoira ve diğ. (2007)	3,9 kpc	43°	Yıldız sayıları ve KY yıldızları
Wegg ve diğ. (2015)	$5,0 \pm 0,2$ kpc	$28^\circ - 33^\circ$	KY yıldızları
Tez çalışmamız	$4,1 \pm 0,1$ kpc	$39,4^\circ \pm 0,8^\circ$	KY yıldızları ve BSA uzaklıkları

Çubuk ve şişkin bölgenin fiziksel yapısı, Galaksi oluşum ve evrim modellerinin test edilmesi açısından önemlidir. Çeşitli disk ve halo yapılarının, merkezi kütle yoğunluklarının, galaksi etkileşimlerinin dikkate alındığı çok cisimli sayısal benzetimlerde farklı boyutlara sahip çubuk ve şişkin bölge olduğu görülmüştür. Galaksi evrimini anlamamızı sağlayacak en ideal modelin ya da benzetimin belirlenebilmesi açısından bu yapılara ait en hassas parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Tezimizde gerek kullanılan verilerin gerekse yöntemlerin hassasiyeti sayesinde, bu parametreler duyarlı bir şekilde belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Aguerri, J. A. L., Méndez-Abreu, J., Corsini, E. M., 2009, The population of barred galaxies in the local universe. I. Detection and characterisation of bars, *Astronomy and Astrophysics*, 495, 491.
- Alves, D. R., 2000, K-Band Calibration of the Red Clump Luminosity, *The Astrophysical Journal*, 539, 732.
- Athanassoula, E., 1992, The existence and shapes of dust lanes in galactic bars., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 259, 345.
- Athanassoula, E., Misiriotis, A., 2002, Morphology, photometry and kinematics of N -body bars - I. Three models with different halo central concentrations, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 330, 35.
- Athanassoula, E., 2003a, What determines the strength and the slowdown rate of bars?, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 341, 1179.
- Athanassoula, L., 2003b, *Angular Momentum Redistribution and the Evolution and Morphology of Bars*, Galaxies and Chaos, In: G. Contopoulos, G., Voglis, N., 626, Springer, Berlin, Heidelberg, 978-3-540-45040-5, 313.
- Athanassoula, E., 2005a, On the nature of bulges in general and of box/peanut bulges in particular: input from N-body simulations, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 358, 1477.
- Athanassoula, E., 2005b, Dynamical Evolution of Barred Galaxies, *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 91, 9.
- Athanassoula, E., Machado, R. E. G., Rodionov, S. A., 2013, Bar formation and evolution in disc galaxies with gas and a triaxial halo: morphology, bar strength and halo properties, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 429, 1949.
- Athanassoula, E., 2013, Bars and secular evolution in disk galaxies: Theoretical input, *Secular Evolution of Galaxies*, 305.
- Baba, J., Saitoh, T. R., Wada, K., 2013, Dynamics of Non-steady Spiral Arms in Disk Galaxies, *The Astrophysical Journal*, 763, 46.
- Babusiaux, C., Gilmore, G., 2005, The structure of the Galactic bar, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 358, 1309.
- Bahcall, J. N., Soneira, R. M., 1980, The universe at faint magnitudes. I - Models for the galaxy and the predicted star counts, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 44, 73.

- Bally, J., Aguirre, J., Battersby, C., ve diğ., 2010, The Bolocam Galactic Plane Survey: $\lambda = 1.1$ and 0.35 mm Dust Continuum Emission in the Galactic Center Region, *The Astrophysical Journal*, 721, 137.
- Benjamin, R. A., Churchwell, E., Babler, B. L., ve diğ., 2005, First GLIMPSE Results on the Stellar Structure of the Galaxy, *The Astrophysical Journal*, 630, L149.
- Berentzen, I., Shlosman, I., Martinez-Valpuesta, I., Heller, C. H., 2007, Gas Feedback on Stellar Bar Evolution, *The Astrophysical Journal*, 666, 189.
- Binney, J., Gerhard, O. E., Stark, A. A., Bally, J., Uchida, K. I., 1991, Understanding the kinematics of Galactic Centre gas., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 252, 210.
- Binney, J., Gerhard, O., Spergel, D., 1997, The photometric structure of the inner Galaxy, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 288, 365.
- Binney, J., 1981, Resonant excitation of motion perpendicular to galactic planes., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 196, 455.
- Binney, J., Burnett, B., Kordopatis, G., ve diğ., 2014, New distances to RAVE stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 437, 351.
- Bittner, A., de Lorenzo-Cáceres, A., Gadotti, D. A., ve diğ., 2021, Galaxies within galaxies in the TIMER survey: stellar populations of inner bars are scaled replicas of main bars, *Astronomy and Astrophysics*, 646, A42.
- Blitz, L., Spergel, D. N., 1991, Direct evidence for a bar at the Galactic center, *The Astrophysical Journal*, 379, 631.
- Bournaud, F., Combes, F., 2002, Gas accretion on spiral galaxies: Bar formation and renewal, *Astronomy and Astrophysics*, 392, 83.
- Bournaud, F., Combes, F., Semelin, B., 2005, The lifetime of galactic bars: central mass concentrations and gravity torques, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 364, L18.
- Bovy, J., Nidever, D. L., Rix, H.-W., ve diğ., 2014, The APOGEE Red-clump Catalog: Precise Distances, Velocities, and High-resolution Elemental Abundances over a Large Area of the Milky Way's Disk, *The Astrophysical Journal*, 790, 127.
- Bovy, J., Leung, H. W., Hunt, J. A. S., Mackereth, J. T., García-Hernández, D. A., Roman-Lopes, A., 2019, Life in the fast lane: a direct view of the dynamics, formation, and evolution of the Milky Way's bar, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 490, 4740.
- Cabrera-Lavers, A., Hammersley, P. L., González-Fernández, C., López-Corredoira, M., Garzón, F., Mahoney, T. J., 2007, Tracing the long bar with red-clump giants, *Astronomy and Astrophysics*, 465, 825.

- Cabrera-Lavers, A., González-Fernández, C., Garzón, F., Hammersley, P. L., López-Corredoira, M., 2008, The long Galactic bar as seen by UKIDSS Galactic plane survey, *Astronomy and Astrophysics*, 491, 781.
- Cavanagh, M. K., Bekki, K., 2020, Bars formed in galaxy merging and their classification with deep learning, *Astronomy and Astrophysics*, 641, A77.
- Cheung, E., Athanassoula, E., Masters, K. L., ve diğ., 2013, Galaxy Zoo: Observing Secular Evolution through Bars, *The Astrophysical Journal*, 779, 162.
- Chiba, R., Friske, J. K. S., Schönrich, R., 2021, Resonance sweeping by a decelerating Galactic bar, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 500, 4710.
- Chiba, R., Schönrich, R., 2021, Tree-ring structure of Galactic bar resonance, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 505, 2412.
- Clemens, D. P., Pavel, M. D., Cashman, L. R., 2012, The Galactic Plane Infrared Polarization Survey (GPIPS): Data Release 1, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 200, 21.
- Cutri, R. M., Skrutskie, M. F., van Dyk, S., ve diğ., 2003, 2MASS All Sky Catalog of point sources., "The IRSA 2MASS All-Sky Point Source Catalog, NASA/IPAC Infrared Science Archive.
- Cutri, R. M., Wright, E. L., Conrow, T., ve diğ., 2012, VizieR Online Data Catalog: WISEAll-Sky Data Release (Cutri+ 2012), *VizieR Online Data Catalog*, 2311.
- Cutri, R. M., Wright, E. L., Conrow, T., ve diğ., 2021, VizieR Online Data Catalog: AllWISE Data Release (Cutri+ 2013), *VizieR Online Data Catalog*, II/328.
- Cohen, M., Wheaton, W. A., Megeath, S. T., 2003, Spectral Irradiance Calibration in the Infrared. XIV. The Absolute Calibration of 2MASS, *The Astronomical Journal*, 126, 1090.
- Collier, A., 2020, Violent buckling benefits galactic bars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 492, 2241.
- Combes, F., Sanders, R. H., 1981, Formation and properties of persisting stellar bars, *Astronomy and Astrophysics*, 96, 164.
- Contopoulos, G., Grosbol, P., 1986, Stellar dynamics of spiral galaxies - Nonlinear effects at the 4/1 resonance, *Astronomy and Astrophysics*, 155, 11.
- Czekaj, M. A., Robin, A. C., Figueras, F., Luri, X., Haywood, M., 2014, The Besançon Galaxy model renewed. I. Constraints on the local star formation history from Tycho data, *Astronomy and Astrophysics*, 564, A102.
- Debattista, V. P., Sellwood, J. A., 1998, Dynamical Friction and the Distribution of Dark Matter in Barred Galaxies, *The Astrophysical Journal*, 493, L5.
- Debattista, V. P., Sellwood, J. A., 2000, Constraints from Dynamical Friction on the Dark Matter Content of Barred Galaxies, *The Astrophysical Journal*, 543, 704.

- Debattista, V. P., Mayer, L., Carollo, C. M., Moore, B., Wadsley, J., Quinn, T., 2006, The Secular Evolution of Disk Structural Parameters, *The Astrophysical Journal*, 645, 209.
- Decleir, M., Gordon, K. D., Andrews, J. E., ve diğ., 2022, SpeX Near-infrared Spectroscopic Extinction Curves in the Milky Way, *The Astrophysical Journal*, 930, 15.
- Dobbs, C. L., Burkert, A., Pringle, J. E., 2011, The properties of the interstellar medium in disc galaxies with stellar feedback, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 417, 1318.
- Drimmel, R., Spergel, D. N., 2001, Three-dimensional Structure of the Milky Way Disk: The Distribution of Stars and Dust beyond $0.35 R_{\text{solar}}$, *The Astrophysical Journal*, 556, 181.
- Du, M., Debattista, V. P., Shen, J., Ho, L. C., Erwin, P., 2017, Black Hole Growth in Disk Galaxies Mediated by the Secular Evolution of Short Bars, *The Astrophysical Journal*, 844, L15.
- Dwek, E., Arendt, R. G., Hauser, M. G., Kelsall, T., Lisse, C. M., Moseley, S. H., Silverberg, R. F., Sodroski, T. J., Weiland, J. L., 1995, Morphology, near-infrared luminosity, and mass of the Galactic bulge from COBE DIRBE observations, *The Astrophysical Journal*, 445, 716.
- Efstathiou, G., Lake, G., Negroponte, J., 1982, The stability and masses of disc galaxies., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 199, 1069.
- Elmegreen, B. G., Elmegreen, D. M., 1990, Optical tracers of spiral wave resonances in galaxies - Applications to NGC 1566, *The Astrophysical Journal*, 355, 52.
- Englmaier, P., Gerhard, O., 1999, Gas dynamics and large-scale morphology of the Milky Way galaxy, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 304, 512.
- Erroz-Ferrer, S., ve diğ., 2016, $H\alpha$; kinematics of S⁴G spiral galaxies - III. Inner rotation curves, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 458, 1199.
- Erwin, P., 2004, Double-barred galaxies. I. A catalog of barred galaxies with stellar secondary bars and inner disks, *Astronomy and Astrophysics*, 415, 941.
- Erwin, P., 2005, How large are the bars in barred galaxies?, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 364, 283.
- Erwin, P., Debattista, V. P., 2013, Peanuts at an angle: detecting and measuring the three-dimensional structure of bars in moderately inclined galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 431, 3060.
- Foyle, K., Rix, H.-W., Walter, F., Leroy, A. K., 2010, Arm and Interarm Star Formation in Spiral Galaxies, *The Astrophysical Journal*, 725, 534.
- Fisher, D. B., Drory, N., 2008, The Structure of Classical Bulges and Pseudobulges: the Link Between Pseudobulges and SÉRSIC Index, *The Astronomical Journal*, 136, 773.

- Fisher, D. B., Drory, N., Fabricius, M. H., 2009, Bulges of Nearby Galaxies with Spitzer: The Growth of Pseudobulges in Disk Galaxies and its Connection to Outer Disks, *The Astrophysical Journal*, 697, 630.
- Friedli, D., Benz, W., 1993, Secular evolution of isolated barred galaxies. I. Gravitational coupling between stellar bars and interstellar medium., *Astronomy and Astrophysics*, 268, 65.
- Friedli, D., Benz, W., Kennicutt, R., 1994, On the Influence of Bars and Star Formation on Galactic Abundance Gradients, *The Astrophysical Journal*, 430, L105.
- Fuhrmann, K., 1998, Nearby stars of the Galactic disk and halo, *Astronomy and Astrophysics*, 338, 161.
- Fujii, M. S., Baba J., 2012, Destruction of star clusters due to the radial migration in spiral galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427, L16.
- Gaia Collaboration, Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, ve diğ., 2016, Gaia Data Release 1. Summary of the astrometric, photometric, and survey properties, *Astronomy and Astrophysics*, 595, A2.
- Galloway, M. A., Willett, K. W., Fortson, L. F., ve diğ., 2015, Galaxy Zoo: the effect of bar-driven fuelling on the presence of an active galactic nucleus in disc galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 448, 3442.
- Gardiner, L. T., Hawkins, M. R. S., 1991, Stellar populations and large-scale structure of the SMC. III - The geometry of the northern and north-western outlying regions, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 251, 174.
- Gieles, M., Athanassoula, E., Portegies Zwart S. F., 2007, The effect of spiral arm passages on the evolution of stellar clusters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 376, 809.
- Gilmore, G., Wyse, R. F. G., 1986, The chemical evolution of the Galaxy, *Nature*, 322, 806.
- Gilmore, G., Wyse, R. F. G., 1985, The abundance distribution in the inner spheroid, *The Astronomical Journal*, 90, 2015.
- Gilmore, G., Reid, N., 1983, New light on faint stars. III - Galactic structure towards the South Pole and the Galactic thick disc, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 202, 1025.
- Girardi, L., 1999, A secondary clump of red giant stars: why and where, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 308, 818.
- Girardi, L., Groenewegen, M. A. T., Hatziminaoglou, E., da Costa, L., 2005, Star counts in the Galaxy. Simulating from very deep to very shallow photometric surveys with the TRILEGAL code, *Astronomy and Astrophysics*, 436, 895.
- Girardi, L., 2016, Red Clump Stars, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 54, 95.

- Goan, E., Fookes, C., 2020, *Bayesian Neural Networks: An Introduction and Survey*, Case Studies in Applied Bayesian Data Science, In: Mengersen, K., Pudlo, P., Robert, C. (eds), 2259, Springer, Cham, 978-3-030-42552-4, 45.
- González-Fernández, C., López-Corredoira, M., Amôres, E. B., Minniti, D., Lucas, P., Toledo, I., 2012, The long bar as seen by the VVV survey. I. Colour-magnitude diagrams, *Astronomy and Astrophysics*, 546, A107.
- Gonzalez, O. A., Gadotti, D., 2016, *The Milky Way Bulge: Observed Properties and a Comparison to External Galaxies*, Galactic Bulges, In: Laurikainen, E., Peletier, R., Gadotti, D. (eds), 418, Astrophysics and Space Science Library, Springer, 978-3-319-19378-6, 199.
- Grand, R. J. J., Kawata, D., Cropper, M., 2012, The dynamics of stars around spiral arms, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 421, 1529.
- Grand, R. J. J., Kawata, D., Cropper, M., 2013, Spiral arm pitch angle and galactic shear rate in N-body simulations of disc galaxies, *Astronomy and Astrophysics*, 553, A77.
- Grand, R. J. J., Kawata, D., Cropper, M., 2014, Orbits of radial migrators and non-migrators around a spiral arm in N-body simulations, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 439, 623.
- Grand, R. J. J., Kawata, D., Cropper, M., 2015, Impact of radial migration on stellar and gas radial metallicity distribution, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 447, 4018.
- Grand, R. J. J., Springel, V., Kawata, D., Minchev, I., Sánchez-Blázquez, P., Gómez, F. A., Marinacci, F., Pakmor, R., Campbell, D. J. R., 2016, Spiral-induced velocity and metallicity patterns in a cosmological zoom simulation of a Milky Way-sized galaxy, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 460, L94.
- Grocholski, A. J., Sarajedini, A., 2002, WIYN Open Cluster Study. X. The K-Band Magnitude of the Red Clump as a Distance Indicator, *The Astronomical Journal*, 123, 1603.
- Gyuk, G., Flynn, C., Evans, N. W., 1999, Star Counts and the Warped and Flaring Milky Way Disk, *The Astrophysical Journal*, 521, 190.
- Hammersley, P. L., Garzon, F., Mahoney, T., Calbet, X., 1994, Infrared Signatures of the Inner Spiral Arms and Bar, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 269, 753.
- Hammersley, P. L., Garzón, F., Mahoney, T. J., López-Corredoira, M., Torres, M. A. P., 2000, Detection of the old stellar component of the major Galactic bar, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 317, L45.
- Hewett, P. C., Warren, S. J., Leggett, S. K., Hodgkin, S. T., 2006, The UKIRT Infrared Deep Sky Survey ZY JHK photometric system: passbands and synthetic colours, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 367, 454.

- Hilmi, T., Minchev, I., Buck, T., ve diğ., 2020, Fluctuations in galactic bar parameters due to bar-spiral interaction, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 497, 933.
- Hockney, R. W., Hohl, F., 1969, Effects of Velocity Dispersion on the Evolution of a Disk of Stars, *The Astronomical Journal*, 74, 1102.
- Hohl, F., Hockney, R. W., 1969, A Computer Model of Disks of Stars, *Journal of Computational Physics*, 4, 306.
- Hopkins, P. F., Kereš, D., Murray, N., Quataert, E., Hernquist, L., 2012, Stellar feedback and bulge formation in clumpy discs, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427, 968.
- Hozumi, S., 2012, Destructible Bars in Disk Galaxies under the Dynamical Influence of a Massive Central Black Hole, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 64, 5.
- Jarrett, T. H., Chester, T., Cutri, R., Schneider, S. E., Huchra, J. P., 2003, The 2MASS Large Galaxy Atlas, *The Astronomical Journal*, 125, 525.
- Julian, W. H., Toomre, A., 1966, Non-Axisymmetric Responses of Differentially Rotating Disks of Stars, *The Astrophysical Journal*, 146, 810.
- Kawata, D., Hunt, J. A. S., Grand, R. J. J., Pasetto, S., Cropper, M., 2014, Gas and stellar motions and observational signatures of corotating spiral arms, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 443, 2757.
- Kawata, D., Chiappini, C., 2016, Milky Way's thick and thin disk: Is there a distinct thick disk?, *Astronomische Nachrichten*, 337, 976.
- Kormendy, J., Kennicutt, R. C., 2004, Secular Evolution and the Formation of Pseudobulges in Disk Galaxies, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 42, 603.
- Kormendy, J., Bender, R., Cornell, M. E., 2011, Supermassive black holes do not correlate with galaxy disks or pseudobulges, *Nature*, 469, 374.
- Laney, C. D., Joner, M. D., Pietrzyński, G., 2012, A new Large Magellanic Cloud K-band distance from precision measurements of nearby red clump stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 419, 1637.
- Leaman, R., VandenBerg, D. A., Mendel, J. T., 2013, The bifurcated age-metallicity relation of Milky Way globular clusters and its implications for the accretion history of the galaxy, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 436, 122.
- Lee, G.-H., Park, C., Lee, M. G., Choi, Y.-Y., 2012, Dependence of Barred Galaxy Fraction on Galaxy Properties and Environment, *The Astrophysical Journal*, 745, 125.
- Lépine, J. R. D., Roman-Lopes, A., Abraham, Z., Junqueira, T. C., Mishurov, Y. N., 2011, The spiral structure of the Galaxy revealed by CS sources and evidence for the 4:1 resonance, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 414, 1607.
- Lin, C. C., Shu, F. H., 1964, On the Spiral Structure of Disk Galaxies., *The Astrophysical Journal*, 140, 646.

- López-Corredoira, M., Garzon, F., Hammersley, P., Mahoney, T., Calbet, X., 1997, The morphology and luminosity function of the Galactic bulge from TMGS star counts, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 292, L15.
- López-Corredoira, M., Cabrera-Lavers, A., Gerhard, O. E., 2005, A boxy bulge in the Milky Way. Inversion of the stellar statistics equation with 2MASS data, *Astronomy and Astrophysics*, 439, 107.
- López-Corredoira, M., Cabrera-Lavers, A., Mahoney, T. J., Hammersley, P. L., Garzón, F., González-Fernández, C., 2007, The Long Bar in the Milky Way: Corroboration of an Old Hypothesis, *The Astronomical Journal*, 133, 154.
- López-Corredoira, M., 2014, Milky Way rotation curve from proper motions of red clump giants, *Astronomy and Astrophysics*, 563, A128.
- López-Corredoira, M., Abedi, H., Garzón, F., Figueras, F., 2014, Vertical velocities from proper motions of red clump giants, *Astronomy and Astrophysics*, 572, A101.
- Lotz, J. M., Jonsson, P., Cox, T. J., Primack, J. R., 2010, The effect of mass ratio on the morphology and time-scales of disc galaxy mergers, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 404, 575.
- Lucas, P. W. ve diğ., 2008, The UKIDSS Galactic Plane Survey, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 391, 136.
- Lucey, M., Pearson, S., Hunt, J. A. S., Hawkins, K., Ness, M., Petersen, M. S., Price-Whelan, A. M., Weinberg, M. D., 2022, Constraining the length and pattern speed of the Milky Way bar from direct orbit integration of APOGEE and *Gaia* data, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* dergisine yollanmıştır, arXiv:2206.01798.
- Lütticke, R., Dettmar, R.-J., Pohlen, M., 2000, Box- and peanut-shaped bulges. I. Statistics, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 145, 405.
- Lynden-Bell, D., Kalnajs, A. J., 1972, On the generating mechanism of spiral structure, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 157, 1.
- Lynden-Bell, D., 1979, On a mechanism that structures galaxies., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 187, 101.
- Mainzer, A., Bauer, J., Cutri, R. M., ve diğ., 2014, Initial Performance of the NEOWISE Reactivation Mission, *The Astrophysical Journal*, 792, 30.
- Marinova, I., Jogee, S., 2007, Characterizing Bars at $z = 0$ in the Optical and NIR: Implications for the Evolution of Barred Disks with Redshift, *The Astrophysical Journal*, 659, 1176.
- Marshall, D. J., Robin, A. C., Reylé, C., Schultheis, M., Picaud, S., 2006, Modelling the Galactic interstellar extinction distribution in three dimensions, *Astronomy and Astrophysics*, 453, 635.

- Martinez-Valpuesta, I., Shlosman, I., Heller, C., 2006, Evolution of Stellar Bars in Live Axisymmetric Halos: Recurrent Buckling and Secular Growth, *The Astrophysical Journal*, 637, 214.
- Martinez-Valpuesta, I., Gerhard, O., 2011, Unifying A Boxy Bulge and Planar Long Bar in the Milky Way, *The Astrophysical Journal*, 734, L20.
- Martínez-Barbosa, C. A., Brown, A. G. A., Boekholt, T., Portegies Zwart, S., Antiche, E., Antoja, T., 2016, The evolution of the Sun's birth cluster and the search for the solar siblings with Gaia, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 457, 1062.
- McWilliam, A., Zoccali, M., 2010, Two Red Clumps and the X-shaped Milky Way Bulge, *The Astrophysical Journal*, 724, 1491.
- Michikoshi, S., Kokubo, E., 2014, Pitch Angle of Galactic Spiral Arms, *The Astrophysical Journal*, 787, 174.
- Miglio, A., Chiappini, C., Morel, T., ve diğ., 2013, Galactic archaeology: mapping and dating stellar populations with asteroseismology of red-giant stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 429, 423.
- Miller, R. H., Prendergast, K. H., Quirk, W. J., 1970, Numerical Experiments on Spiral Structure, *The Astrophysical Journal*, 161, 903.
- Minchev, I., Famaey, B., 2010, A New Mechanism for Radial Migration in Galactic Disks: Spiral-Bar Resonance Overlap, *The Astrophysical Journal*, 722, 112.
- Minniti, D., Lucas, P., VVV Team, 2017, VizieR Online Data Catalog: VISTA Variable in the Via Lactea Survey DR2 (Minniti+, 2017), *VizieR Online Data Catalog*, II/348.
- Momany, Y., Zaggia, S., Gilmore, G., Piotto, G., Carraro, G., Bedin, L. R., de Angeli, F., 2006, Outer structure of the Galactic warp and flare: explaining the Canis Major over-density, *Astronomy and Astrophysics*, 451, 515.
- Mulchaey, J. S., Regan, M. W., 1997, The Fueling of Nuclear Activity: The Bar Properties of Seyfert and Normal Galaxies, *The Astrophysical Journal*, 482, L135.
- Nataf, D. M., Udalski, A., Gould, A., Fouqué, P., Stanek, K. Z., 2010, The Split Red Clump of the Galactic Bulge from OGLE-III, *The Astrophysical Journal*, 721, L28.
- Nataf, D. M., Gould, A., Fouqué, P., ve diğ., 2013, Reddening and Extinction toward the Galactic Bulge from OGLE-III: The Inner Milky Way's $R_V \sim 2.5$ Extinction Curve, *The Astrophysical Journal*, 769, 88.
- Noguchi, M., 1987, Close encounter between galaxies - II. Tidal deformation of a disc galaxy stabilized by massive halo., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 228, 635.
- Ortolani, S., Renzini, A., Gilmozzi, R., Marconi, G., Barbuy, B., Bica, E., Rich, R. M., 1995, Near-coeval formation of the Galactic bulge and halo inferred from globular cluster ages, *Nature*, 377, 701.

- Pavel, M. D., 2014, Using Red Clump Stars to Decompose the Galactic Magnetic Field with Distance, *The Astronomical Journal*, 148, 49.
- Peirani, S., Hammer, F., Flores, H., Yang, Y., Athanassoula, E., 2009, A giant bar induced by a merger event at $z=0.4$?, *Astronomy and Astrophysics*, 496, 51.
- Peletier, R. F., Falcón-Barroso, J., Bacon, R., ve diğ., 2007, The SAURON project - XI. Stellar populations from absorption-line strength maps of 24 early-type spirals, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 379, 445.
- Percival, S. M., Salaris, M., 2003, An empirical test of the theoretical population corrections to the red clump absolute magnitude, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 343, 539.
- Picaud, S., Cabrera-Lavers, A., Garzón, F., 2003, Stellar density distribution in the NIR on the Galactic plane at longitudes 15-27 deg. Clues for the Galactic bar?, *Astronomy and Astrophysics*, 408, 141.
- Portail, M., Wegg, C., Gerhard, O., 2015, Peanuts, brezels and bananas: food for thought on the orbital structure of the Galactic bulge., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 450, L66.
- Prochaska, J. X., Naumov, S. O., Carney, B. W., McWilliam, A., Wolfe, A. M., 2000, The Galactic Thick Disk Stellar Abundances, *The Astronomical Journal*, 120, 2513.
- Quillen, A. C., 2002, Growth of a Peanut-shaped Bulge via Resonant Trapping of Stellar Orbits in the Vertical Inner Lindblad Resonances, *The Astronomical Journal*, 124, 722.
- Quillen, A. C., Minchev, I., Sharma, S., Qin, Y.-J., Di Matteo, P., 2014, A vertical resonance heating model for X- or peanut-shaped galactic bulges, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 437, 1284.
- Porcel, C., Battaner, E., Jimenez-Vicente, J., 1997, Geometric differences between the gaseous and stellar WARPS in the Milky Way., *Astronomy and Astrophysics*, 322, 103.
- Raha, N., Sellwood, J. A., James, R. A., Kahn, F. D., 1991, A dynamical instability of bars in disk galaxies, *Nature*, 352, 411.
- Reid, M. J., Menten, K. M., Brunthaler, A., ve diğ., 2014, Trigonometric Parallaxes of High Mass Star Forming Regions: The Structure and Kinematics of the Milky Way, *The Astrophysical Journal*, 783, 130.
- Reylé, C., Marshall, D. J., Robin, A. C., Schultheis, M., 2009, The Milky Way's external disc constrained by 2MASS star counts, *Astronomy and Astrophysics*, 495, 819.
- Rix, H.-W., Zaritsky, D., 1995, Nonaxisymmetric Structures in the Stellar Disks of Galaxies, *The Astrophysical Journal*, 447, 82.
- Robichaud, F., Williamson, D., Martel, H., Kawata, D., Ellison, S. L., 2017, Star formation history in barred spiral galaxies - active galactic nucleus feedback, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 469, 3722.

- Robin, A. C., Reyl  , C., Derri  re, S., Picaud, S., 2003, A synthetic view on structure and evolution of the Milky Way, *Astronomy and Astrophysics*, 409, 523.
- Robin, A. C., Marshall, D. J., Schultheis, M., Reyl  , C., 2012, Stellar populations in the Milky Way bulge region: towards solving the Galactic bulge and bar shapes using 2MASS data, *Astronomy and Astrophysics*, 538, A106.
- Saha, K., Martinez-Valpuesta, I., Gerhard, O., 2012, Spin-up of low-mass classical bulges in barred galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 421, 333.
- Saha, K., Naab, T., 2013, Spinning dark matter haloes promote bar formation, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 434, 1287.
- Saito, R. K. ve di  ., 2012, VVV DR1: The first data release of the Milky Way bulge and southern plane from the near-infrared ESO public survey VISTA variables in the V  a L  ctea, *Astronomy and Astrophysics*, 537, A107.
- Salaris, M., Girardi, L., 2002, Population effects on the red giant clump absolute magnitude: the K band, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 337, 332.
- Scannapieco, C., Athanassoula, E., 2012, Bars in hydrodynamical cosmological simulations, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 425, L10.
- Schlafly, E. F., Finkbeiner, D. P., 2011, Measuring Reddening with Sloan Digital Sky Survey Stellar Spectra and Recalibrating SFD, *The Astrophysical Journal*, 737, 103.
- Schlegel, D. J., Finkbeiner, D. P., Davis, M., 1998, Maps of Dust Infrared Emission for Use in Estimation of Reddening and Cosmic Microwave Background Radiation Foregrounds, *The Astrophysical Journal*, 500, 525.
- Sellwood, J. A., 1981, Bar instability and rotation curves, *Astronomy and Astrophysics*, 99, 362.
- Sellwood, J. A., Athanassoula, E., 1986, Unstable modes from galaxy simulations, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 221, 195.
- Sellwood, J. A., Wilkinson, A., 1993, Dynamics of barred galaxies, *Reports on Progress in Physics*, 56, 173.
- Sellwood, J. A., 1996, Bar Formation, Evolution and Destruction, *IAU Colloq. 157: Barred Galaxies*, 30 Mayıs - 3 Haziran 1995, Alabama, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 91, 259
- Sellwood, J. A., Binney, J. J., 2002, Radial mixing in galactic discs, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 336, 785.
- Sellwood, J. A., 2011, The lifetimes of spiral patterns in disc galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 410, 1637.
- Sellwood, J. A., Gerhard, O., 2020, Three mechanisms for bar thickening, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 495, 3175.

- Sharma, S., Bland-Hawthorn, J., Johnston, K. V., Binney, J., 2011, Galaxia: A Code to Generate a Synthetic Survey of the Milky Way, *The Astrophysical Journal*, 730, 3.
- Shen, J., Sellwood, J. A., 2004, The Destruction of Bars by Central Mass Concentrations, *The Astrophysical Journal*, 604, 614.
- Sheth, K., Melbourne, J., Elmegreen, D. M., Elmegreen, B. G., Athanassoula, E., Abraham, R. G., Weiner, B. J., 2012, Hot Disks and Delayed Bar Formation, *The Astrophysical Journal*, 758, 136.
- Siebert, A., Williams, M. E. K., Siviero, A., ve diğ., 2011, The RADial Velocity Experiment (RAVE): Third Data Release, *The Astronomical Journal*, 141, 187.
- Skrutskie, M. F., Cutri, R. M., Stiening, R., ve diğ., 2006, The Two Micron All Sky Survey (2MASS), *The Astronomical Journal*, 131, 1163.
- Solway, M., Sellwood, J. A., Schönrich R., 2012, Radial migration in galactic thick discs, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 422, 1363.
- Sotnikova, N. Y., Rodionov, S. A., 2003, Mechanisms of the Vertical Secular Heating of a Stellar Disk, *Astronomy Letters*, 29, 321.
- Stanek, K. Z., Mateo, M., Udalski, A., Szymanski, M., Kaluzny, J., Kubiak, M., 1994, Color-magnitude diagram distribution of the bulge red clump stars: Evidence for the galactic bar, *The Astrophysical Journal*, 429, L73.
- Stanek, K. Z., Udalski, A., Szymański, M., Kałużny, J., Kubiak, Z. M., Mateo, M., Krzemiński, W., 1997, Modeling the Galactic Bar Using Red Clump Giants, *The Astrophysical Journal*, 477, 163.
- Stanek, K. Z., Garnavich, P. M., 1998, Distance to M31 with the Hubble Space Telescope and HIPPARCOS Red Clump Stars, *The Astrophysical Journal*, 503, L131.
- Tatton, B. L., van Loon, J. Th., Cioni, M. R., ve diğ., 2013, The VMC survey. VII. Reddening map of the 30 Doradus field and the structure of the cold interstellar medium, *Astronomy and Astrophysics*, 554, A33.
- Toomre, A., 1977, Theories of spiral structure, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 15, 437.
- Toomre, A., 1981, What amplifies the spirals, *Structure and Evolution of Normal Galaxies*, 3-15 Ağustos 1980 İngiltere, Cambridge ve New York, Cambridge University Press, 111-136.
- de Vaucouleurs, G., 1964, Interpretation of velocity distribution of the inner regions of the Galaxy, *The Galaxy and the Magellanic Clouds*, 18-28 Mart 1963 Canberra, Australian Academy of Science, International Astronomical Union., 195.
- Vallée, J. P., 2002, Metastudy of the Spiral Structure of Our Home Galaxy, *The Astrophysical Journal*, 566, 261.

- Vallée, J. P., 2005, The Spiral Arms and Interarm Separation of the Milky Way: An Updated Statistical Study, *The Astronomical Journal*, 130, 569.
- Vallée, J. P., 2008, New Velocimetry and Revised Cartography of the Spiral Arms in the Milky Way; A Consistent Symbiosis, *The Astronomical Journal*, 135, 1301-1310.
- Wainscoat, R. J., Cohen, M., Volk, K., Walker, H. J., Schwartz, D. E., 1992, A Model of the 8–25 Micron Point Source Infrared Sky, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 83, 111.
- Wang, S., Chen, X., 2019, The Optical to Mid-infrared Extinction Law Based on the APOGEE, Gaia DR2, Pan-STARRS1, SDSS, APASS, 2MASS, and WISE Surveys, *The Astrophysical Journal*, 877, 116.
- Wegg, C., Gerhard, O., 2013, Mapping the three-dimensional density of the Galactic bulge with VVV red clump stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 435, 1874.
- Wegg, C., Gerhard, O., Portail, M., 2015, The structure of the Milky Way's bar outside the bulge, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 450, 4050.
- Weinberg, M. D., 1992, Detection of a large-scale stellar bar in the Milky Way, *The Astrophysical Journal*, 384, 81.
- Villa-Vargas, J., Shlosman, I., Heller, C., 2009, Dark Matter Halos and Evolution of Bars in Disk Galaxies: Collisionless Models Revisited, *The Astrophysical Journal*, 707, 218.
- Williams, M. E. K., Steinmetz, M., Binney, J., ve diğ., 2013, The wobbly Galaxy: kinematics north and south with RAVE red-clump giants, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 436, 101.
- Wozniak, P. R., Stanek, K. Z., 1996, Variations of the Selective Extinction across the Galactic Bulge: Implications for the Galactic Bar, *The Astrophysical Journal*, 464, 233.
- Wozniak, H., Michel-Dansac, L., 2009, Formation of young boxy/peanut bulges in ringed barred galaxies, *Astronomy and Astrophysics*, 494, 11.
- Wright, E. L., Eisenhardt, Peter R. M., Mainzer, Amy K., ve diğ., 2010, The Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE): Mission Description and Initial On-orbit Performance, *The Astronomical Journal*, 140, 1868-1881.
- Yaz Gökçe, E., Bilir, S., Öztürkmen, N. D., Duran, Ş., Ak, T., Ak, S., Karaali, S., 2013, First identification and absolute magnitudes of the red clump stars in the Solar neighbourhood for WISE, *New Astronomy*, 25, 19.
- Yaz Gökçe, E., Karaali, S., Duran, Ş., Bilir, S., Yalçinkaya, A., Ak, S., Ak, T., López-Corredoira, M., Cabrera-Lavers, A., 2015, Solar Space Density of the Red Clump Stars and the Scale-Length of the Thin Disc, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 32, e012.
- Zasowski, G., Benjamin, R. A., Majewski, S. R., 2012, A new perspective on mapping the inner Galaxy, *European Physical Journal Web of Conferences*, 19, 06006.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Şivan DURAN
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
E-Posta Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü
Mezuniyet Yılı	2009

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri
Anabilim Dalı	Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı
Programı	Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı
Mezuniyet Tarihi	2012

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri
Anabilim Dalı	Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı
Programı	Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı
Mezuniyet Tarihi	2022

Makale ve Bildiriler	
Makaleler	
Erkut, M. H., Duran, Ş., Çatmabacak, Ö., Çatmabacak, O., 2016, A New Correlation with Lower Kilohertz Quasi-periodic Oscillation Frequency in the Ensemble of Low-mass X-Ray Binaries, <i>The Astrophysical Journal</i> , 831, 25.	
Yaz Gökçe, E., Karaali, S., Duran, Ş., Bilir, S., Yalçinkaya, A., Ak, S., Ak, T., López-Corredoira, M., Cabrera-Lavers, A., 2015, Solar Space Density of the Red Clump Stars and the Scale-Length of the Thin Disc, <i>Publications of the Astronomical Society of Australia</i> , 32, e012.	
Yontan, T., Bilir, S., Bostancı, Z. F., Ak, T., Karaali, S., Güver, T., Ak, S., Duran, Ş., Paunzen, E., 2015, CCD UBVR photometry of NGC 6811, <i>Astrophysics and</i>	

Space Science, 355, 267.

Ak, S., Ak, T., Karaali, S., et al., 2014, Colour Transformations between BVR_c and $g'r'i'$ Photometric Systems for Giant Stars, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 31, e014.

Yaz Gökçe, E., Bilir, S., Öztürkmen, N. D., Duran, Ş., Ak, T., Ak, S., Karaali, S., 2013, First identification and absolute magnitudes of the red clump stars in the Solar neighbourhood for WISE, *New Astronomy*, 25, 19.

Duran, Ş., Ak, S., Bilir, S., Karaali, S., Ak, T., Bostancı, Z. F., Coşkunoğlu, B., 2013, Local Stellar Kinematics from RAVE Data: IV. Solar Neighbourhood Age-Metallicity Relation, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 30, e043.

Bildiriler

Yaz E., Bilir S., Öztürkmen N. D., Duran Ş., AK T., AK S., ve diğ., 2013, *First Determination of Absolute Magnitudes for Red Clump Stars with WISE Photometry*, Dig Sites of Stellar Archeology: Giant Stars in the Milky Way, İzmir, Turkey, 4–6 September, 38, 12

Duran Ş. ve diğ., 2012, *Galaktik Diskteki Yaş-Metal Bollluğu ve Yaş-Hız Dispersiyonu ilişkileri*, XVIII. Ulusal Astronomi Kongresi, 1, 369-376, Malatya, Turkey.

Duran Ş. ve Yaz Gökçe E. 19–23 September 2016, *Searching for the Galactic Bar with Near- and Mid-Infrared*, The Milky Way and its environment: gaining insights into the drivers of galaxy formation and evolution, Institut d'Astrophysique de Paris, France.

Alan N. ve Duran Ş., 2–6 November 2013, *Relationship Between Host Galaxy Morphology and Host Galaxy Mass*, Host Galaxy Morphology and Host Galaxy Mass, Black Hole (g)Astronomy-Exploring the different flavours of accretion, Brindisi, Italy.