T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

SEÇİLEN GALAKSİLERDEKİ MOLEKÜLER BULUTLARIN MİLİMETRE VE MİLİMETRE ALTI DALGA BOYLARINDA İNCELENMESİ

Hazırlayan
Kerem Osman ÇUBUK

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ferhat Fikri ÖZEREN

II. Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Selçuk TOPAL

Yüksek Lisans Tezi

Temmuz 2018
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

SEÇİLEN GALAKSİLERDEKİ MOLEKÜLER BULUTLARIN MİLİMETRE VE MİLİMETRE ALTI DALGA BOYLARINDA İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Kerem Osman ÇUBUK

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ferhat Fikri ÖZEREN

II. Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Selçuk TOPAL

Temmuz 2018
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Kerem Osman ÇUBUK

"Seçilen Galaksilerdeki Moleküler Bulutların Milimetre ve Milimetre Altı Dalga Boylarında İncelenmesi" adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi' ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan
Kerem Osman ÇUBUK

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ferhat Fikri ÖZEREN

Astronomi ve Uzay Bilimleri ABD Başkanı

Prof. Dr. İbrahim KÜÇÜK

Dr. Öğr. Üyesi Ferhat Fikri ÖZEREN ve **Dr. Öğr. Üyesi Selçuk TOPAL** danışmanlığında **Kerem Osman ÇUBUK** tarafından hazırlanan **"Seçilen Galaksilerdeki Moleküler Bulutların Milimetre ve Milimetre Altı Dalga Boylarında İncelenmesi"** adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Astronomi ve Uzay Bilimleri** Anabilim Dalında **yüksek lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

27 / 07 / 2018

JÜRİ:

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ferhat Fikri ÖZEREN .....

Üye : Prof. Dr. İbrahim KÜÇÜK .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Murat HÜDAVERDİ .....

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 07/08/2018 tarih ve 2018/34-07 ....sayılı kararı ile onaylanmıştır.

07 / 08 / 2018

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Her şeyden önce tüm eğitim hayatım boyunca ellerinden gelenin en iyisini yapan aileme ne kadar teşekkür etsem azdır.

Lisans eğitimimin ilk gününden Yüksek Lisans eğitimimin son gününe kadar danışmanlığımı yapan, her konuda bana elinden gelen desteği veren, çevresindeki herkesi sadece astronomi değil, her konuda eğiten sevgili hocam Dr. Öğr. Üyesi Ferhat Fikri ÖZEREN'e en içten duygularla teşekkürlerimi sunarım.

Ülkemizde alanının öncüsü ve tek uzmanı olan, molekül astrofiziği ve astrokimya ile tanışmamı sağlayan çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Selçuk Topal'a özel olarak teşekkür etmek istiyorum. Kendisinin bilgi birikimi ve desteği yanımda olmasaydı böyle bir çalışmayı ortaya çıkarmam mümkün olmazdı. Bu çalışmanın ilk satırlarından son noktasına kadar sağladığı büyük katkıdan dolayı kendisine çok teşekkür ederim.

Kerem Osman ÇUBUK

Temmuz 2018, KAYSERİ

SEÇİLEN GALAKSİLERDEKİ MOLEKÜLER BULUTLARIN MİLİMETRE VE MİLİMETRE ALTI DALGA BOYLARINDA İNCELENMESİ

Kerem Osman ÇUBUK

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2018
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ferhat Fikri ÖZEREN
II. Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk TOPAL

ÖZET

Yıldız oluşumu moleküler bulutların soğuk ve yoğun bölgelerinde başlar. Optik dalga boylarında görünmez olan bu bölgeler mm ve radyo dalga boylarında detaylı şekilde incelenebilmektedir. Bu tez çalışmasında, yakın evrende bulunan (D < 20 Mpc) ve evrendeki en bol ikinci molekül olan karbonmonoksit (CO) yönünden zengin olan 10 sarmal galaksiye (NGC 2903, 3521, 3627, 4321, 4736, 5055, 5194, 5457, 6946 ve 7331), çoklu moleküler geçişler kullanılarak çizgi oranları analizi yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan moleküler geçişler başta ^{12}CO(1-0) ve ^{12}CO(2-1) olmak üzere ^{12}CO(3-2), ^{13}CO(1-0) ve HCN(1-0) geçişleridir. Bu geçişlerin ve geçişler arasındaki oranların incelenmesiyle gazın sıcaklığı, yoğunluğu, optik derinliği ve yıldız oluşum etkinliği hakkında bilgiler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, seçilen galaksilerin merkezindeki fiziksel koşulların, ve dolayısıyla yıldız oluşum etkinliğinin, birbirleri arasında farklılıklar ve benzerlikler gösterdiğini ortaya koymuştur. Çizgi oranlarının işaret ettiği fiziksel koşullar, galaksiler için hesaplanan yıldız oluşum oranları ile desteklenmektedir. Bu çalışma, incelediği konu bakımından, Türkiye'de yapılan ilk tez çalışmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Moleküler gaz, Yıldız oluşumu, Karbonmonoksit, Çizgi oranı, Galaksiler, Sarmal galaksiler

PROBING MOLECULAR CLOUDS IN SELECTED GALAXIES USING MM AND SUB-MM WAVELENGTHS

Kerem Osman ÇUBUK

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, July 2018
Supervisor: Dr. Ferhat Fikri ÖZEREN
Co-Supervisor: Dr. Selçuk TOPAL

ABSTRACT

Star formation starts in cold and dense parts of the molecular clouds. Although these regions are invisible in optical wavelength regime, their physical conditions could be studied in details using mm and radio wavelengths. In this thesis, multiple line ratio diagnostics were applied to the selected 10 galaxies (NGC 2903, 3521, 3627, 4321, 4736, 5055, 5194, 5457, 6946 and 7331), which are rich in carbon monoxide (CO) and located in the local Universe (D < 20 Mpc). The molecular transitions that used in this research are ^{12}CO(1-0), ^{12}CO(2-1), ^{12}CO(3-2), ^{13}CO(1-0) and HCN(1-0). By studying these transitions and their ratios, information about the gas temperature, density, opacity and star formation activity was obtained. As the results indicate, the physical conditions of the gas, so the star formation activities, in the centre of the galaxies show some similarities and discrepancies. The physical conditions indicated by the line ratios were confirmed by the star formation rates estimated for the selected galaxies. This research, given the subject it focuses on, is the first master's thesis in Turkey.

Keywords: Molecular gas, Star formation, Carbon monoxide, Line ratio, Galaxies, Spiral galaxies

İÇİNDEKİLER

SEÇİLEN GALAKSİLERDEKİ MOLEKÜLER BULUTLARIN MİLİMETRE VE MİLİMETRE ALTI DALGA BOYLARINDA İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK iii
KABUL VE ONAY iv
ÖNSÖZ v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
İÇİNDEKİLER viii
KISALTMALAR x
TABLOLAR LİSTESİ xi
ŞEKİLLER LİSTESİ xii
GİRİŞ 1

1. BÖLÜM
GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Moleküler Bulutlar 3
1.2. Molekül Tayfı Nasıl Oluşur ve Önemi Nedir? 4
1.2.1. Rotasyon Geçişleri 5
1.3. Neden Karbonmonoksit (CO) Molekülü? 6
1.4. Araştırmanın Hedefi ve Önemi 7

2. BÖLÜM
YÖNTEM ve MATERYAL

2.1. Veriler 8
2.2. Kaynak Boyutu Hesabı, Açısal Çözünürlük ve Birim Düzeltmesi 11
2.3. Toplam Akı ve Toplam Gaz Kütlesi Hesabı 12
2.4. Toplam Akı ve Hız Haritaları 13

3. BÖLÜM

BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Toplam Akı, Toplam Gaz Kütlesi ve Çizgi Oranları 15

3.1.1. Sıcaklık Belirteci: R_{12} ve R_{13} Oranları 17

3.1.2. Optik Derinlik Belirteci: R_{11} Oranları 19

3.1.3. Yoğun Gaz Belirteci: R_{D1} Oranları 20

3.2. CO Gazının Galaksi Üzerindeki Dağılımı 22

4. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler 34

KAYNAKLAR 37

EKLER 39

EK A. 40

ÖZGEÇMİŞ 50

KISALTMALAR

ALMA	: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array
BIMA SONG	: The Berkeley-Illinois-Maryland Association Survey Of Nearby Galaxies
CO	: Carbon monoxide (Karbonmonoksit)
DMBr	: Dev Moleküler Bulutlar
FCRAO	: Five College Radio Astronomy Observatory
HCN	: Hydrogen cyanide (Hidrosiyanik asit)
HERACLES	: The Heterodyne Receiver Array CO Line Extragalactic Survey
HHT	: Heinrich Hertz Telescope
IDL	: Interactive Data Language
IRAM	: Institut de Radioastronomie Millimétrique
MIRIAD	: Multichannel Image Reconstruction, Image Analysis and Display
NGC	: New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars
NRAO	: National Radio Astronomy Observatory
PMO	: Purple Mountain Observatory
SAO RAS	: Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences
SDSS	: Sloan Digital Sky Survey
SFR	: Star Formation Rate (Yıldız Oluşum Oranı)
SKA	: Square Kilometer Array

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Bu çalışmada kullanılan galaksilerin genel özellikleri 8
Tablo 2. Seçilen galaksiler için elde edilen verilerin özellikleri 10
Tablo 3. Galaksiler ve hesaplanan toplam akı [K km/s] değerleri 15
Tablo 4. Galaksilerin hesaplanan moleküler hidrojen kütleleri 16
Tablo 5. Galaksilerin merkezi bölgeleri için elde edilen toplam akı oranları ve galaksilerin yıldız oluşum oranları (SFR) 18

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Elektron, titreşim ve rotasyon enerji seviyeleri 5
Şekil 2. Elde edilen çizgi oranlarının karşılıklı grafikleri.....21
Şekil 3.1. NGC 2903 galaksisinin sırasıyla ^{12}CO(1-0) ve ^{12}CO(2-1) geçişlerindeki toplam akı haritaları ve akılara ilişkin eş yükselti çizgileri.....24
Şekil 3.2. NGC 3521 galaksisi için Şekil 3.1.'deki aynı görüntüler.....25
Şekil 3.3. NGC 3627 galaksisi için Şekil 3.1.'deki aynı görüntüler.....26
Şekil 3.4. NGC 4321 galaksisi için Şekil 3.1.'deki aynı görüntüler.....27
Şekil 3.5. NGC 4736 galaksisi için Şekil 3.1.'deki aynı görüntüler.....28
Şekil 3.6. NGC 5055 galaksisi için Şekil 3.1.'deki aynı görüntüler.....29
Şekil 3.7. NGC 5194 galaksisi için Şekil 3.1.'deki aynı görüntüler.....30
Şekil 3.8. NGC 5457 galaksisi için Şekil 3.1.'deki aynı görüntüler.....31
Şekil 3.9. NGC 6946 galaksisi için Şekil 3.1.'deki aynı görüntüler.....32
Şekil 3.10. NGC 7331 galaksisi için Şekil 3.1.'deki aynı görüntüler.....33
Şekil A.1. NGC 2903 galaksisinin merkezinden alınan tayfların görüntüleri.....40
Şekil A.2. NGC 3521 galaksisi için Şekil A.1.'deki aynı görüntüler.....41
Şekil A.3. NGC 3627 galaksisi için Şekil A.1.'deki aynı görüntüler.....42
Şekil A.4. NGC 4321 galaksisi için Şekil A.1.'deki aynı görüntüler.....43
Şekil A.5. NGC 4736 galaksisi için Şekil A.1.'deki aynı görüntüler.....44
Şekil A.6. NGC 5055 galaksisi için Şekil A.1.'deki aynı görüntüler.....45
Şekil A.7. NGC 5194 galaksisi için Şekil A.1.'deki aynı görüntüler.....46
Şekil A.8. NGC 5457 galaksisi için Şekil A.1.'deki aynı görüntüler.....47
Şekil A.9. NGC 6946 galaksisi için Şekil A.1.'deki aynı görüntüler.....48
Şekil A.10. NGC 7331 galaksisi için Şekil A.1.'deki aynı görüntüler.....49

GİRİŞ

İlk insanların gözlerini gökyüzüne çevirmesinden bu yana var olan belki de en eski bilim dalıdır gök bilimi. İlk çağlardan itibaren Güneş'in, gezegenlerin ve yıldızların hareketlerini inceleyen bilim insanları 1609 yılında Galilei'nin teleskobunu uzaya çevirmesiyle bambaşka bir çağa adım atmışlardır (Galilei, 1610). O günden sonra hızla gelişen gök bilimi sanayi devriminin de rüzgarını arkasına alarak 1957 yılında Sputnik'in yörüngeye oturmasıyla yeni bir çağa daha girmiştir (Garber, 2007). Artık teleskoplarımızı atmosfer dışarısında konumlandırıyor, gözle göremediğimiz evreni farklı ölçüm cihazlarıyla inceliyor ve Güneş Sistemi'nin uzak köşelerine uzay araçları gönderiyorduk. Bugün gök bilimciler dünyanın en üst düzey teknolojisini kullanıp her gün yeni keşifler yapmaya devam ediyorlar. Fakat bu bilim dalında ilk insanlardan günümüze kadar değişmeyen tek bir şey vardır: Gök biliminin bilgi kaynağı, fotonlar.

Fotonların henüz ne olduğunu bilmiyorken gözle görebildiğimiz kısmına ışık adını vermiştik. 19. yüzyılın sonlarında gözle göremediğimiz farklı dalga boylarında, dolayısıyla farklı enerji düzeylerinde, fotonların da olduğunun ortaya çıkmasıyla evreni çok daha iyi anlayabilmenin yolu açılmıştır (Hertz, 1893). Bugün gama ışınlarından radyo ışınlarına kadar elektromanyetik tayftaki fotonların büyük bir bölümünü gözlemleyebiliyoruz.

Evrendeki her atom ve molekül belli fiziksel koşullar altında ışıma yapar. Işımayı oluşturan şartlara bağlı olarak ortaya çıkan fotonların enerjisi yani dalga boyu farklılık gösterecektir. Bugün evrenin her bölgesinden 10^{-6} nm ile 10^{12} nm arasında dalga boyuna sahip fotonlar gözlemlemekteyiz. Böyle geniş bir aralıkta gözlerimiz sadece 350 - 750 nm aralığına duyarlıdır. Bu aralığa görsel veya optik bölge adı verilmektedir. Bir başka deyişle görsel bölge tüm elektromanyetik tayfın çok küçük bir kısmına karşılık gelmektedir (10 katrilyonda 4'ü!). Yani evrenin her dalga boyunda yaptığı ışınımın çok küçük bir kısmını gözlerimizle görebilmekteyiz. Bunun yanı sıra, modern kozmolojinin

günümüzde hala yanıt bekleyen en büyük sorularından biri, evrende görebildiğimiz ve direkt olarak ölçebildiğimiz madde miktarının, hesapladığımız madde miktarının sadece %5'i oluşudur (Planck Collaboration, 2014).

Bugüne kadar edinmiş olduğumuz kozmik bilgi göstermiştir ki, evrende her şey birbiriyle bağlantılıdır. Evrenin bir köşesinde keşfedilen bilgi diğer köşesindeki problemi açıklamamıza yardımcı olmaktadır. Bu nedenle evreni farklı dalga boylarında incelemek evrenin farklı kimyasal ve fiziksel süreçlerine ışık tutacaktır. Örneğin, yıldız oluşumunun ve galaksi evriminin doğasını daha iyi anlayabilmek için farklı dalga boylarında yapılan gözlemlerin katkısı büyüktür. Yıldız oluşumunun başladığı soğuk ve yoğun gaz bulutları mm/mm-altı dalga boyunda ışınım yapar. Nitekim, bir moleküler gazın sıkışıp, büzüşmesi ve merkezde yıldız oluşturabilmesi için enerji kaybetmesi gerekir. Bu da moleküler ve atomik ışımalar sayesinde olur. Bu anlamda bakıldığında, evrenin atomik ve moleküler yapısını incelemek çok daha büyük problemlere cevap verilebilecektir.

1. BÖLÜM
GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Moleküler Bulutlar

Moleküler bulutlar yıldız oluşumunun ham maddesidir. Yıldızlar arası gaz ve tozun karışımından oluşurlar. Genel olarak birkaç on Kelvin (K) sıcaklığa sahip olan bu bulutların ana bileşeni ise hidrojen gazı veya bir başka deyişle moleküler hidrojendir (H_2). Galaksimiz Samanyolu'ndaki hidrojen miktarının %1'den daha azı moleküler bulutlarda bulunmaktadır. Geriye kalan hidrojen ise genel olarak atomik formda olup gelecekte yeni moleküler bulutlar oluşturma potansiyeli taşır.

Moleküler bulutların genişliği birkaç ışık yılından yüzlerce ışık yılına kadar ulaşabildiği gibi kütleleri de birkaç Güneş kütlesinden milyonlarca Güneş kütlesine ulaşabilmektedir (Kirk 2011). 15 ışık yılından daha geniş olan moleküler bulutlara Dev Moleküler Bulutlar (DMBr) adı verilir ve bu bulutlar 1000 Güneş kütlesinden daha büyük kütleye sahip olurlar (Williams 2000; Murray 2011).

Gezegenimizde, deniz seviyesinde santimetre küp başına 10^{19} molekül düşmektedir. Laboratuvarlardaki vakum ortamında ise bu sayı 10^{10} mertebesine inmektedir. Yıldızlar arası ortamda santimetre küp başına 10^{0} molekül düşerken moleküler bulutlarda bu sayı santimetre küp başına 10^{3} molekülden fazladır. Moleküler bulutların en yoğun olduğu yıldız oluşum bölgelerinde ise bu sayı 10^{6} mertebelerine çıkmaktadır (Williams 2000). Yıldız oluşumunun gerçekleştiği ve optik dalga boylarında bakıldığında siyah bir silüet gibi görünen bu bölgelere *Karanlık Bulutsu* adı verilmektedir. Yoğunluğundan dolayı arka planındaki yıldızların ışığını bloke ettiği gibi kendi içerisinde henüz oluşmuş veya oluşmakta olan yeni yıldızların ışığını da engellemektedir. Bu nedenle yıldız oluşum bölgelerini, yıldız ile gezegen oluşumunu ve yıldız evrimini daha iyi anlayabilmek için

karanlık bulutsuların görsel dalga boyuna kıyasla daha uzun dalga boylarında da incelenmesi son derece önemlidir.

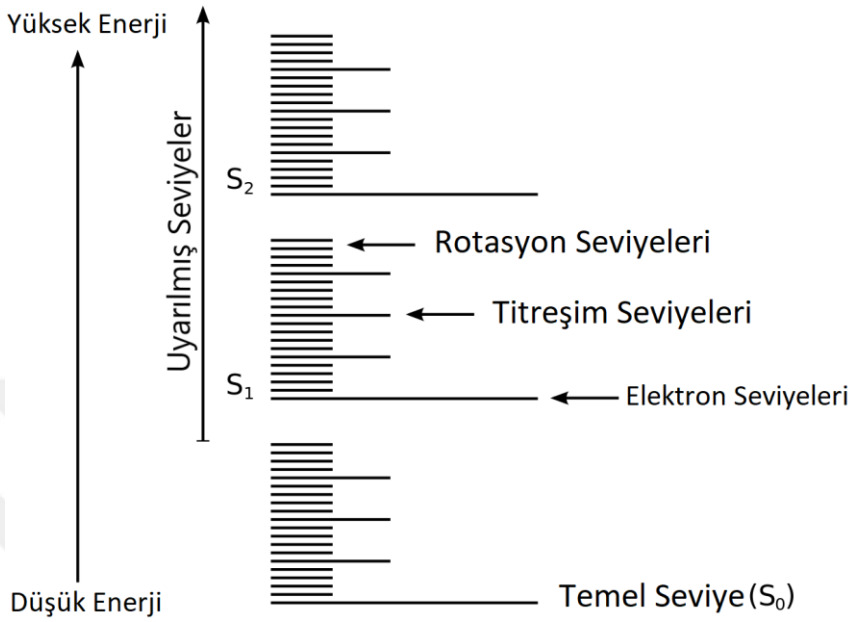
Bileşenlerinin yaklaşık %90'ı hidrojen, %9'u helyum, %1'i toz ve %0.1'i diğer moleküller olmasına rağmen su, amonyak, etil alkol, şeker gibi yüzlerce farklı molekülün tayfı bu bulutlarda gözlemlenmektedir. Bir başka deyişle, moleküler bulutlar yıldızları ve gezegenleri oluşturacak ham maddeye sahip olduğu gibi yaşamın temellerini oluşturacak olan molekül ve aminoasitlere de ev sahipliği yaparlar. Ayrıca moleküler bulutlarda yüksek verimliliğe sahip bir geri dönüşüm mekanizması mevcuttur. Bu sayede aynı malzeme defalarca kullanılabilir ve ölen bir yıldızın artıklarından yeni yıldızlar meydana gelebilir. Örneğin, Güneş benzeri bir yıldız evrimini tamamladığında başlangıç hidrojen kütlesinin büyük bir miktarını tekrar, içinde doğduğu moleküler buluta aktarır. Diğer yandan, yukarıda açıklanan geri dönüşüm mekanizmasının bir sonucu olarak, zaman ilerledikçe hidrojen ve helyuma kıyasla daha ağır elementlerin evrende giderek artış göstereceği ve evrenin bir gün hiçbir yıldızın parlamadığı bir yer haline geleceği aşikardır.

1.2. Molekül Tayfı Nasıl Oluşur ve Önemi Nedir?

Bir fotonun bir atom etrafında dolanan elektronu uyarabilmesi için belirli bir enerjiye sahip olması gerekir. Örneğin hidrojen atomu etrafında temel seviyede (n = 1) yörüngede bulunan bir elektronu bir üst seviyeye (n = 2) çıkarmak için 10,2 eV enerji gerekmektedir. Temel seviyedeki elektron bu enerjiye sahip olan bir foton soğurduğunda bir üst enerji seviyesine çıkacaktır. Aynı şekilde bir üst enerji seviyesine çıkmış olan elektron 10,2 eV enerjiye sahip bir foton salarak tekrar temel seviyeye dönecektir. Fakat bu enerji seviyeleri kuantize olduğundan 10,2 eV enerjiden daha az enerjiye sahip olan bir foton ile elektron etkileşime girmeyecektir.

Moleküller de atomlar gibi soğurma ve salma çizgilerine sahiptir. Enerji seviyeleri atomik enerji seviyelerine benzemekle birlikte çok daha karmaşıktır. Molekül tayfında göz önüne alınması gereken 3 çeşit enerji seviyesi bulunmaktadır. Bunlar yüksek enerjiden düşük enerjiye doğru sırasıyla *elektron seviyeleri, titreşim seviyeleri ve rotasyon seviyeleridir.* Tüm enerji seviyeleri atomik enerji seviyelerinde olduğu gibi

kuantizedir. Yani molekülün bu enerji seviyeleri arasında geçiş yapabilmesi için kendine özgü, belirli miktarda enerji soğurması veya salması gerekmektedir.



Şekil 1. Elektron, titreşim ve rotasyon enerji seviyeleri.

Genel olarak elektron seviyeleri arasındaki geçişler morötesi ve görsel dalga boyuna, titreşim seviyeleri arasındaki geçişler kızılötesi dalga boyuna ve rotasyon seviyeleri arasındaki geçişler de milimetre ile milimetre altı dalga boyuna karşılık gelmektedir. Dolayısıyla uygun şartlar altında bir molekülün morötesinden milimetre altı dalga boyuna kadar tayfını alabilmek mümkündür. Atomik tayf moleküler tayf kadar geniş olmadığından, özellikle de düşük enerjide elektron geçişleri mümkün olmadığından, evrenin soğuk bölgelerinde moleküler tayf çok büyük önem kazanmaktadır. Dolayısıyla molekül tayfı soğuk moleküler bulutlar başta olmak üzere evrenin bütününü daha iyi ve detaylı anlayabilmemizi sağlamaktadır. Bu teze konu olan çalışma elektromanyetik tayfın milimetre ve milimetre altı dalga boylarında yapıldığından, rotasyon geçişlerini daha detaylı incelemek faydalı olacaktır.

1.2.1. Rotasyon Geçişleri

Rotasyon geçişleri molekülün açısal momentumundaki ani değişimlerden kaynaklanır. Molekülün açısal momentumu foton soğurması sonucu artabileceği gibi, foton salması sonucunda da azalabilmektedir. Önceden de belirtildiği gibi rotasyon geçişlerindeki

enerji seviyeleri kuantizedir, rotasyon kuantum rakamları J harfi ile gösterilir ve geçişler belirli enerji aktarımlarıyla mümkün olabilmektedir.

1.3. Neden Karbonmonoksit (CO) Molekülü?

Hidrojen, yüksek yoğunluğa sahip olan yıldız oluşum bölgelerinde moleküler yapıda olmaya eğilimlidir. Hidrojen atomları uzay boşluğunda bir araya gelerek asla hidrojen molekülü (H_2) oluşturmazlar. Bu işlem toz taneciklerinin yüzeyinde meydana gelmektedir ve yıldız oluşum bölgeleri toz tanecikleri bakımından zengindir (Hollenbach 1988). Hidrojeni atomik yapıdayken belirlemek çok kolay olmasına rağmen moleküler yapıda (H_2) olduğunda onu gözlemlemek neredeyse imkansızdır. Çünkü, H_2'nin ilk rotasyon geçişi için (J→2-0) gerekli olan sıcaklık 511 K iken (Krumholz, 2011) yüksek yoğunluğa sahip olan yıldız oluşum bölgelerinde sıcaklık yaklaşık 10 K civarındadır (Ward-Thomson ve Whitworth 2011). Dolayısıyla bu bölgelerde H_2 ışınım halinde gözlenemez. H_2'yi belirlemenin bir diğer yolu da onu salınım olarak değil de soğurma olarak gözlemeye çalışmaktır. Ancak bunun için H_2 gazının arkasında bulunan bir morötesi (UV) kaynağına ihtiyaç vardır. Fakat böyle örneklerin sayısı yok denecek kadar azdır. Bu nedenle H_2 yıldız evriminin ana maddesi ve evrende en çok bulunan molekül olması rağmen onu yıldız oluşum bölgelerinde gözlemek oldukça zordur (Krumholz 2011). Dolayısıyla bu gazı anlayabilmemiz için farklı yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Yıldızlar arası ortam H_2'nin dışında çok daha karmaşık 100'den fazla molekül barındırır. Bunlar arasında karbonmonoksit (CO) H_2'den sonra en bol bulunan moleküldür. Ayrıca CO'nun ilk rotasyon geçişi için sadece 5,5 K sıcaklık gerekmektedir (Ward-Thomson ve Whitworth 2011). Dolayısıyla çok soğuk olan yıldız oluşum bölgelerinde bile CO rahatlıkla gözlenebilir. Böylece CO moleküler bulutların fiziğini anlamak için çok değerli bir araç haline gelmektedir. CO ışınımlarının dalga boyu mm ve mm-altı bölgesinde olduğundan yıldız oluşum bölgelerini saran çevresel tozdan çok fazla etkilenmez ve bu özelliği sayesinde görsel bölgede görülemeyen moleküler bulutların iç yapısının anlaşılmasını sağlar. Moleküler bulutlardaki CO ışınımı incelenerek dolaylı yoldan ortamdaki H_2 miktarı da bulunmuş olur. Böylece, normal şartlarda gözlenmesi imkansız olan H_2 gazının fiziği dolaylı yoldan incelenebilmektedir.

1.4. Araştırmanın Hedefi ve Önemi

Bu tez çalışmasının ana amacı, seçilen 10 sarmal galaksinin merkezindeki moleküler gazın fiziksel doğasının araştırılmasıdır. Galaksiler iki kritere göre seçilmiştir: (1) karbonmonoksit (CO) gazının düşük geçişleri olan ^{12}CO(1-0) ve ^{12}CO(2-1) geçişlerinde parlak olma ve (2) yakın komşulukta (D < 20 Mpc) bulunma. Literatürden ilave olarak elde edilen diğer geçişlerle teze konu olan araştırma derinleştirilmiştir. Teze konu olan çalışmanın tüm verilerine ilişkin detaylı bilgi bu tezin "Veriler" bölümünde bulunabilir. Tezin ilk hedefi seçilen galaksilerin merkezi bölgelerindeki CO moleküllerinin çoklu geçişlerinin oranları incelenerek oradaki moleküler bulutların fiziksel yapısı (sıcaklık ve yoğunluk gibi) hakkında bilgi sahibi olmaktır. Ardından, incelenen bölgelerde elde edilen fiziksel koşulların seçilen galaksiler arasındaki farklarını veya benzerliklerini ortaya koyabilmek için tartışılacaktır. Bu özelliği ile bu çalışma, ülkemizde bu alanda yapılan ilk yüksek lisans tez çalışması olma özelliğine sahiptir.

2. BÖLÜM
YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Veriler

Bu tezin konusu olan 10 farklı galaksiyi seçmek için 50'den fazla galaksi incelendi. Bu galaksileri değerlendirirken belirli kriterler göz önüne alındı. Bir önceki bölümde bahsedilen sebeplerle CO molekülüne ve dolayısıyla yıldız oluşum oranlarına odaklanmak istendiği için sarmal ve hali hazırda kullanımı serbest olan olabildiğince çok CO gözlem verisi bulunan galaksiler seçilip geriye kalanlar elenmiştir. Seçilen galaksiler şunlardır: NGC 2903, NGC 3521, NGC 3627, NGC 4321, NGC 4736, NGC 5055, NGC 5194, NGC 5457, NGC 6946 ve NGC 7331.

Tablo 1. Bu çalışmada kullanılan galaksilerin genel özellikleri.

Galaksi Adı	Galaksi Türü	Uzaklık (Mpc)	Sağ Açıklık (α)	Dik Açıklık (δ)	Yarı-Büyük Eksen Çapı (')	Yarı-Küçük Eksen Çapı (')	Güneş Merkezli Radyal Hız (km/s)
NGC 2903	SAB(rs)bc	7,99	$09^h32^m10{,}1^s$	+21°30'03"	12,6	6,0	550 ± 0
NGC 3521	SAB(rs)bc	11,39	$11^h05^m48{,}6^s$	-00°02'09"	11,0	5,1	801 ± 3
NGC 3627	SAB(s)b	9,59	$11^h20^m14{,}9^s$	+12°59'30"	9,1	4,2	727 ± 3
NGC 4321	SAB(s)bc	16,19	$12^h22^m54{,}8^s$	+15°49'19"	7,4	6,3	1571 ± 1
NGC 4736	(R)SA(r)ab	5,10	$12^h50^m53{,}0^s$	+41°07'14"	11,2	9,1	308 ± 1
NGC 5055	SA(rs)bc	7,72	$13^h15^m49{,}3^s$	+42°01'45"	12,6	7,2	484 ± 1
NGC 5194	SA(s)bc pec	7,19	$13^h29^m52{,}7^s$	+47°11'43"	11,2	6,9	463 ± 1
NGC 5457	SAB(rs)cd	6,86	$14^h03^m12{,}5^s$	+54°20'56"	28,8	26,8	241 ± 2
NGC 6946	SAB(rs)cd	5,55	$20^h34^m52{,}3^s$	+60°09'14"	11,5	9,8	40 ± 0
NGC 7331	SA(s)b	13,44	$22^h37^m04{,}0^s$	+34°24'56"	10,5	3,7	816 ± 1

Not: Bu tablodaki tüm değerler NASA/IPAC Extragalactic Database (NED) kaynağından alınmıştır.

Belirtilen CO gözlem verilerine ulaşmak için yararlanılan veri kaynakları ise şunlardır. ^{12}CO(1-0) verileri The BIMA Survey of Nearby Galaxies (BIMA SONG, Tamara vd. 2003) çalışmasından alınırken, ^{12}CO(2-1) verileri The HERA CO-Line Extragalactic Survey (HERACLES, Leroy vd. 2009) isimli çalışmadan alınmıştır. Tamamlayıcı ^{12}CO(3-2) tayfları için ise Heinrich Hertz Teleskobu (HHT, Mao Rui-Qing vd. 2010) verileri kullanılmıştır. Tablo 2., bu çalışmada incelenen galaksileri, elde edilen CO rotasyon geçişlerini ve bu verilerin kaynaklarını listelemektedir. İlgili makalelerden tayf görüntüsü şeklinde alınan veriler ise, halka açık bir yazılım sayesinde (WebPlotDigitizer), sayısallaştırılmış ve gerekli tayflar toplam akı hesabının yapılabilmesi için dijital ortama aktarılmıştır. Sonuç olarak, seçilen her bir galaksi için (NGC 5457 hariç) CO gazının en az 3 geçişi elde edilmiştir. Seçilen galaksilerin her biri için elde edilen tayflar EK A. Şekil A.1.'de gösterilmektedir.

^{13}CO(1-0) tayfı seçilen 10 galaksinin 7'si için elde edilmiştir. NGC 2903 galaksisinin ^{13}CO(1-0) gözlemleri Nobeyama 45m teleskobu ile yapılmışken, diğer 6 galaksinin (NGC 3627, NGC 4321, NGC 4736, NGC 5055, NGC 5194 ve NGC 6946) bu frekanstaki gözlemleri 13.7 metrelik Purple Mountain Observatory (PMO) ve 14 metrelik Five College Radio Astronomy Observatory (FCRAO) teleskobu ile yapılmıştır. Nobeyama teleskobu ^{13}CO(1-0) frekansında 15"'lik bir açısal çözünürlüğe ulaşırken, Purple Mountain ve FCRAO teleskopları aynı frekansta yaklaşık 50"'lik bir açısal çözünürlüğe sahiptir. ^{12}CO(3-2) tayfı, NGC 5457 hariç, diğer tüm galaksiler için elde edilmiştir (Bkz. Tablo 2.). Veriler 10 metrelik HHT teleskobuyla alındığından, bu gözlemlerin açısal çözünürlüğü 21,8"'ne tekabül etmektedir. HCN(1-0) (HCN, Hidrosiyanik asit) verileri 6 galaksi için elde edilmiştir (NGC 2903, NGC 3627, NGC 5055, NGC 5194, NGC 6946, NGC 7331). Literatürden elde edilen HCN(1-0) tayfları 30 metrelik Institut de Radioastronomie Millimétrique (IRAM), 12 metrelik National Radio Astronomy Observatory (NRAO) ve 45 metrelik Nobeyama teleskopları ile alınmıştır. Bu teleskopların HCN(1-0) frekansındaki çözünürlükleri sırasıyla, 28", 70" ve 19"'dir.

Tablo 2. Seçilen galaksiler için elde edilen verilerin özellikleri.

Galaksi	Işınım	Frekans (GHz)	Teleskop	Çözünürlük (")	Lineer Boyut (kpc)
NGC 2903	^{12}CO(1-0)	115,27	BIMA+12m	6,9 x 5,0	0,33
	^{12}CO(2-1)	230,53	IRAM 30m	13,40	0,51
	^{12}CO(3-2)	345,79	HHT	21,80	0,83
	^{13}CO(1-0)	110,20	Nobeyama	15,00	0,57
	HCN(1-0)	88,63	IRAM 30m	28,00	1,07
NGC 3521	^{12}CO(1-0)	115,27	BIMA+12m	6,9 x 5,0	0,47
	^{12}CO(2-1)	230,53	IRAM 30m	13,40	0,74
	^{12}CO(3-2)	345,79	HHT	21,80	1,20
NGC 3627	^{12}CO(1-0)	115,27	BIMA+12m	6,9 x 5,0	0,40
	^{12}CO(2-1)	230,53	IRAM 30m	13,40	0,62
	^{12}CO(3-2)	345,79	HHT	21,80	1,01
	^{13}CO(1-0)	110,20	PMO	50,00	2,33
	HCN(1-0)	88,63	NRAO	70,00	3,26
NGC 4321	^{12}CO(1-0)	115,27	BIMA+12m	6,9 x 5,0	0,67
	^{12}CO(2-1)	230,53	IRAM 30m	13,40	1,05
	^{12}CO(3-2)	345,79	HHT	21,80	1,71
	^{13}CO(1-0)	110,20	PMO	50,00	3,93
NGC 4736	^{12}CO(1-0)	115,27	BIMA+12m	6,9 x 5,0	0,21
	^{12}CO(2-1)	230,53	IRAM 30m	13,40	0,33
	^{12}CO(3-2)	345,79	HHT	21,80	0,54
	^{13}CO(1-0)	110,20	PMO	50,00	1,24
NGC 5055	^{12}CO(1-0)	115,27	BIMA+12m	6,9 x 5,0	0,32
	^{12}CO(2-1)	230,53	IRAM 30m	13,40	0,50
	^{12}CO(3-2)	345,79	HHT	21,80	0,81
	^{13}CO(1-0)	110,20	FCRAO	50,00	1,87
	HCN(1-0)	88,63	NRAO	70,00	2,61
NGC 5194	^{12}CO(1-0)	115,27	BIMA+12m	6,9 x 5,0	0,30
	^{12}CO(2-1)	230,53	IRAM 30m	13,40	0,47
	^{12}CO(3-2)	345,79	HHT	21,80	0,76
	^{13}CO(1-0)	110,20	FCRAO	50,00	1,75
	HCN(1-0)	88,63	Nobeyama	19,00	0,66
NGC 5457	^{12}CO(1-0)	115,27	BIMA+12m	6,9 x 5,0	0,29
	^{12}CO(2-1)	230,53	IRAM 30m	13,40	0,45
NGC 6946	^{12}CO(1-0)	115,27	BIMA+12m	6,9 x 5,0	0,23
	^{12}CO(2-1)	230,53	IRAM 30m	13,40	0,36
	^{12}CO(3-2)	345,79	HHT	21,80	0,58
	^{13}CO(1-0)	110,20	FCRAO	50,00	1,33
	HCN(1-0)	88,63	IRAM 30m	28,00	0,75
NGC 7331	^{12}CO(1-0)	115,27	BIMA+12m	6,9 x 5,0	0,55
	^{12}CO(2-1)	230,53	IRAM 30m	13,40	0,87
	^{12}CO(3-2)	345,79	HHT	21,80	1,42
	HCN(1-0)	88,63	NRAO	70,00	4,55

Not: Soldan sağa doğru sırasıyla kolonlar şu bilgileri ifade etmektedir: Galaksi adı, literatürden elde edilen moleküler ışınım, gözlem yapılan frekans, gözlemde kullanılan teleskop, teleskobun gözlem yapılan frekanstaki açısal çözünürlüğü ve son kolondaki bilgi ise galaksinin uzaklığına bağlı olarak galaksideki incelenen alanın ilgili açısal çözünürlükteki lineer boyutunu göstermektedir.

2.2. Kaynak Boyutu Hesabı, Açısal Çözünürlük ve Birim Düzeltmesi

BIMA SONG ^{12}CO(1-0) verilerinin açısal çözünürlüğü (beam size) 5" x 7" yöresinde iken, HERACLES ^{12}CO(2-1) verilerinin çözünürlüğü 13.4" yöresindedir. 10m'lik HHT ile yapılan 345 GHz ^{12}CO(3-2) gözlemleri ise 21.8" açısal çözünürlüğe sahiptir. Görüldüğü gibi eldeki verilerin açısal çözünürlükleri farklıdır. Moleküler gaz geçişlerinin oranlarını elde etmeden önce her bir toplam akı değerinin aynı açısal çözünürlük için hesaplanmış olması gerekmektedir. Bu nedenle, ortak açısal çözünürlük değeri olarak 23" belirlenmiş ve ^{12}CO(1-0) ve ^{12}CO(2-1) veri küplerine Multichannel Image Reconstruction, Image Analysis and Display (*MIRIAD*, Sault vd. 1995) paket programı kullanılarak açısal çözünürlük düzeltmesi uygulanmıştır. Böylece, açısal çözünürlük ortak bir değer alınırken en kötü (değeri en büyük olan) açısal çözünürlük dikkate alınmaktadır. Bu durumda HHT ^{12}CO(3-2) gözlemleri göreceli olarak 'en kötü' açısal çözünürlüğe sahiptir.

^{12}CO(1-0) ile ^{13}CO(1-0) ve HCN(1-0) arasındaki oranları elde etmeden önce ^{12}CO(1-0) çözünürlüğü o ışınımların çözünürlüğüne denk hale getirildi. Bunun için ^{12}CO(1-0) veri küpünün çözünürlüğü 50", 28" ve 70" seviyesine çekildi. Elde edilen yeni küpün merkezi bölgelerinden ilgili açısal çözünürlüğe karşılık gelen tayflar alındı ve toplam akı değerleri hesaplanarak çizgi oran hesabı için hazır hale getirildi. Veri küpü olarak literatürden elde edilen ^{12}CO(1-0) ve ^{12}CO(2-1) verileri dışında, incelenen galaksilerin merkezi bölgesinde elde edilen ve 23"'den daha küçük (yani daha yüksek çözünürlüklü) diğer ilave tayflar için bkz. Tablo 2. Tüm ^{12}CO(3-2) gözlemleri, NGC 2903 ^{13}CO(1-0) ve NGC 5194 HCN(1-0) gözlemleri) açısal çözünürlük düzeltmesi aşağıda anlatıldığı gibi yapılmıştır. Elde edilen bu tayflar için öncelikle toplam akı hesabı yapılmış (bkz. Bölüm 2.3.) ve ardından açısal çözünürlük düzeltmesi uygulanmıştır. Bu düzeltme için, her ışımanın tek bir moleküler gaz bulutundan geldiği varsayımı yapılarak, o bulutun boyutu hesaplanmalıdır. Bunun için yüksek çözünürlüklü ve yıldız oluşumuna duyarlı bir ışınım gözlemi gereklidir. Bu çalışmada, Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey (SINGS, Kennicutt vd. 2003) çalışmasıyla elde edilen yüksek çözünürlüklü 24 micron dalga boyundaki ışınım haritaları kullanılmıştır. Her bir galaksinin merkezi bölgesinde, 23" açısal çözünürlük içinde yer alan ışınım kaynağının çapı hesaplanmıştır. Bunun için belirlenen alan içerisindeki görüntü piksellerinden maksimum akının en az %50 sine sahip pikseller güvenilir piksel olarak dikkate alınmış ve bu şarta uyan tüm piksellerin

toplam alanı hesaplanarak bu alana karşılık gelen çap değeri kaynağın açısal boyutu olarak belirlenmiştir (Topal vd. 2014). Aşağıdaki bağıntı kullanılarak açısal çözünürlük düzeltme faktörü, *k*, hesaplanmıştır (Walsh vd. 2002; Bayet vd. 2006; Topal vd. 2014). Daha sonra bu değer orijinal açısal çözünürlük için hesaplanan toplam akı değeri ile çarpılarak, her bir galaksinin merkezi bölgesi için, 23" açısal çözünürlüğe eşdeğer toplam akı değeri belirlenmiştir.

$$k = (\theta^2_{\text{line}} + \theta^2_{\text{source}})/(\theta^2_{\text{common}} + \theta^2_{\text{source}}) \qquad (1)$$

θ_{line} elde edilen verinin orijinal açısal çözünürlüğü (Tablo 2.'de listelenmiştir), θ_{common} ortak açısal çözünürlük (bu durumda 23") ve θ_{source} incelenen ışınım kaynağının boyutudur. Sonuç olarak, ortak açısal çözünürlük olan 23" için tüm galaksilerin merkezi bölgelerindeki toplam akı değerleri tüm geçişler için elde edilmiş ve bir sonraki adım olan çizgi oranları hesabına geçilmiştir. Ancak, yukarıda da anlatıldığı gibi, daha düşük çözünürlüğe sahip bazı geçişlerin ^{12}CO(1-0) ile oranlarını alabilmek için ^{12}CO(1-0) verileri bu düşük açısal çözünürlük seviyesine indirilmiştir.

Çizgi oranları belirlenmeden önce elde edilen verilerin akı birimlerinin de aynı olması gerekmektedir. ^{12}CO(2-1), ^{12}CO(3-2) ve literatürden elde edilen diğer veriler (^{13}CO(1-0) ve HCN(1-0)) için akı birimi Kelvin (K) iken ^{12}CO(1-0) verisi için akı birimi Jy/beam olarak verilmiştir. Bu nedenle, yine *MIRIAD* yardımıyla ^{12}CO(1-0) veri küplerine birim dönüşümü uygulanmış ve tüm verilerin birimleri ortak birim olan K birimine dönüştürülmüştür.

2.3. Toplam Akı ve Hidrojen Kütlesi Hesabı

Açısal çözünürlük düzeltmesi yapılmış ^{12}CO(1-0) ve ^{12}CO(2-1) veri küplerini kullanarak, *MIRIAD* programı yardımıyla, galaksilerin merkezi bölgelerinde 23" açısal çözünürlüğe eşdeğer bir alandan tayflar çıkarılmıştır. Literatürden elde edilen diğer tayflar ise ücretsiz bir yazılım kullanılarak sayısallaştırılmış (Bölüm 2.1.'e bakınız) ve toplam akı hesabı için uygun formata dönüştürülmüştür. Her bir galaksi için tüm ışınımların tayfları elde edildikten sonra, toplam akıyı elde edebilmek için tayflara Gauss fiti yapılmıştır. Gauss fitinin optimizasyonu için *MPFIT* (Markwardt 2009) kodu kullanılmıştır. *MPFIT* kodu Interactive Data Language (IDL) ortamında çalıştırılmıştır. Yapılan Gauss fitinin genel formu aşağıda verilmektedir.

$$f(v) = A\, e^{\left(\frac{-(v-v_0)^2}{2\sigma^2}\right)} \qquad (2)$$

Bu denklemde *A* Gauss fitinin tepe noktasındaki akı değerini temsil ederken, *v* tayfın hız değerlerini [km/s], v_0 tepe noktasının x-ekseni üzerindeki hız değerine karşılık gelmektedir. Denklemde yer alan σ sembolü ise Gauss profilinin genişliğini göstermektedir ve eğrinin yarı yükseklikteki tam genişlik değerine (FWHM) şu şekilde bağlıdır: FWHM = 2.354 x σ. Bu üç parametrenin optimizasyonu *MPFIT* kodu yardımıyla yapılmış ve en küçük Ki-kare değerine sahip fit en iyi fit olarak belirlenmiştir. Belirlenen en iyi Gauss fiti altında kalan alan, yani toplam akı [K km/s], aşağıdaki nümerik form kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\int f(v)\, dv = \mathrm{A}\,\sigma\,\sqrt{2\pi}\ [\mathrm{K\,km/s}] \qquad (3)$$

Bu denklemde yer alan *A* ve σ değerlerinin ne olduğu denklem (2)'de verilmiştir. Hesaplanan toplam akı değeri üzerindeki hata stardart hata yayılım fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır. Seçilen galaksilerin merkezi bölgeleri için elde edilen tüm ışınımların toplam akı değerleri ve hataları Tablo 3.'te listelenmiştir.

Her galaksinin merkezi 23"'lik bölgesindeki toplam hidrojen kütlesinin hesabı ^{12}CO(1-0) toplam akı değerleri, galaksilerin uzaklıkları ve H_2 – CO dönüşüm faktörü kullanılarak hesaplanmıştır. H_2 – CO dönüşüm faktörü, X_{CO}, için X_{CO} = 1.2 x 10^{20} cm^{-2} (K km s^{-1})$^{-1}$ değeri alınmıştır (Donovan vd. 2012; Rebolledo vd. 2012; Sandstrom vd. 2013). Elde edilen hidrojen kütlesi değerleri Güneş kütlesi cinsinden Tablo 4.'te listelenmiştir.

2.4. Toplam Akı ve Hız Haritaları

Seçilen galaksilerin literatürden elde edilen ^{12}CO(1-0) ve ^{12}CO(2-1) veri küpleri kullanılarak galaksilerin bu frekanslardaki toplam akı haritaları ve hız haritaları oluşturulmuştur. Ayrıca, toplam akı galaksilerin optik görüntülerinin üzerine ölçekli şekilde yerleştirilerek incelenen gazın, galaksinin diski üzerinde nasıl bir yayılım gösterdiğinin de incelenmesi amaçlanmaktadır. Galaksilerin elde edilen toplam akı ve hız haritaları ve toplam akı ile optik görüntü eşleştirmeleri Şekil 3.'te gösterilmiştir.

Seçilen galaksiler için toplam akı ve hız haritaları aşağıda anlatıldığı şekilde elde edilmiştir. Bu amaçla *MIRIAD* yazılımı kullanılmıştır. Veri küpleri üç eksenden oluşmaktadır. Sağ açıklık ve dik açıklık değerleri x-eksenini ve y-eksenini oluştururken, z-ekseni hız değerlerini (ya da bir başka ifadeyle frekans değerlerini) içerir. Veri küpünün her bir pikseli ise gözlem yapılan kaynağın akı değerini muhafaza eder (K biriminde). 3-boyutlu bir veri küpünü, z-ekseni boyunca hız dilimlerine ayrılmış olarak düşünebiliriz. *MIRIAD* kullanılarak her bir hız diliminde yer alan her bir piksel için (ve dolayısıyla tüm küp için) akı çarpı hız değerleri ($\sum(I\ x\ v)$, burada I akıyı temsil ederken *v* hızı temsil eder) hesaplanmış ve Şekil 3.'te panel a ve b'de gösterilen toplam akı haritaları bu şekilde elde edilmiştir. Hız haritaları ise, yine *MIRIAD* kullanılarak, her bir hız dilimindeki akı çarpı hız toplamlarının akılar toplamına bölünmesiyle ($\sum(I\ x\ v)$ / $\sum(I)$) elde edilmiştir (bkz. Şekil 3. Panel c ve d). Küp içerisindeki ışınım içermeyen pikseller kullanılarak küpün hatası (standart sapma, σ) belirlenmiş ve akı ve hız haritaları oluşturulurken bu hata değerinin 3 katından (3 σ) daha yüksek değere sahip pikseller dikkate alınmıştır.

Bu sayede toplam akı ve hız haritaları oluşturulduktan sonra bu haritalarda süreklilik gösteren ışınım alanları aşağıda anlatıldığı şekilde belirlenmiştir. Daha temiz bir görüntü elde etmek için galaksinin asıl ışınımı verdiği pikseller dışındaki diğer pikseller elimine edilmiştir. Bunun için IDL *label_region* algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma, süreklilik gösteren pikselleri (belirlenen hata değerinin 3 katından daha yüksek akı değerine sahip ve uzay koordinatlarına göre bağlantılı bulunan pikselleri) gerçek ışınım kaynağının maksimum genişliği olarak dikkate alır. Sonuçta elde edilen toplam akı ve hız haritaları ve toplam akı haritasının optik görüntü üzerine izdüşümü Şekil 3.'te gösterilmektedir.

3. BÖLÜM

BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Toplam Akı, Toplam Gaz Kütlesi ve Çizgi Oranları

NGC 2903, NGC 3627, NGC 5055, NGC 5194 ve NGC 6946 galaksilerinde 5 farklı moleküler geçiş için, NGC 4321 ve NGC 4736 galaksilerinde 4 farklı moleküler geçiş için, NGC 3521 ve NGC 7331 galaksilerinde 3 farklı moleküler geçiş için ve son olarak NGC 5457 galaksisinde ise 2 farklı moleküler geçiş için toplam akı değeri hesaplanmıştır. Seçilen 10 galaksi için hesaplanan toplam akı değerleri Tablo 3.'te listelenmiştir.

Tablo 3. Galaksiler ve hesaplanan toplam akı [K km/s] değerleri.

Galaksi	^{12}CO(1-0) [K km/s]	^{12}CO(2-1) [K km/s]	^{12}CO(3-2) [K km/s]	^{13}CO(1-0) [K km/s]	HCN(1-0) [K km/s]
NGC 2903	58,34 ± 5,19	41,90 ± 1,98	58,14 ± 5,13	5,75 ± 1,30	3,21 ± 0,65
NGC 3521	30,36 ± 3,25	17,81 ± 0,63	14,19 ± 2,33	-	-
NGC 3627	59,64 ± 2,76	24,34 ± 1,38	33,81 ± 2,44	2,79 ± 0,40	0,82 ± 0,25
NGC 4321	63,02 ± 5,79	41,42 ± 2,61	57,12 ± 6,64	3,90 ± 0,92	-
NGC 4736	36,95 ± 3,63	30,82 ± 1,79	21,95 ± 2,19	8,09 ± 0,90	-
NGC 5055	50,71 ± 5,35	38,18 ± 2,52	31,44 ± 6,99	2,02 ± 0,18	1,33 ± 0,28
NGC 5194	47,89 ± 6,46	43,16 ± 2,75	43,96 ± 4,52	4,17 ± 0,27	5,08 ± 0,79
NGC 5457	18,03 ± 1,87	12,14 ± 0,62	-	-	-
NGC 6946	199,55 ± 15,74	130,76 ± 6,28	134,60 ± 5,08	9,02 ± 0,51	11,23 ± 1,51
NGC 7331	23,31 ± 1,48	17,43 ± 0,51	7,74 ± 0,86	-	1,50 ± 0,47

Tablo 3.'te listelenen toplam akı değerleri, ^{12}CO(1-0) ve ^{12}CO(2-1) geçişleri için 23" ve Tablo 2.'de listelenen diğer geçişler için, kullanılan teleskopların orijinal açısal çözünürlüklerinde elde edilmiştir.

Tablo 3.'ten görüldüğü gibi seçilen her galaksinin merkezindeki ^{12}CO(1-0) ışınımı ^{12}CO(2-1) ve ^{12}CO(3-2) ışınımlarından daha parlaktır. Yine Tablo 3.'ten görüldüğü gibi, NGC 6946 galaksisi diğer galaksilere göre açık bir fark göstermekte ve en az 3 kat daha parlak bir CO ışınımı sergilemektedir. Birkaç bariz istisna dışında (NGC 2903, NGC 3627, NGC 4321 ve NGC 6946), seçilen galaksilerdeki ^{12}CO(2-1) ışınımı da ^{12}CO(3-2) ışınımından daha parlaktır. Bu da, ilk tahmin olarak, seçilen galaksilerin merkezi bölgelerinde, 5,5 K gibi düşük bir sıcaklıkta bile ışınım verebilen ^{12}CO(1-0) gazının baskın olduğunu göstermektedir. Tablo 2.'de listelendiği gibi, gözlenen bölgelerin lineer boyutlarına bakıldığında, galaksi merkezlerinde incelenen bölgelerin boyutlarının 0,2 – 4,5 kpc arasında değiştiği görülmektedir. Fakat, yine aynı tablodan görüldüğü gibi, gözlenen bölgelerin büyük bir çoğunluğu kpc-altı boyutlara sahiptir. Bu nedenle, bireysel moleküler bulutlar değil de birçok DMBr içeren gaz komplekslerine bakıldığı aşikardır. Bunun sonucu olarak, çizgi oranlarına dayanarak yapılacak fiziksel çıkarımlar o bölge için ortalama değerler olacaktır.

Her galaksinin merkezi bölgesi için hesaplanan toplam moleküler gaz kütleleri (bkz. Bölüm 2.3.) Tablo 4.'te listelenmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi NGC 4321 galaksi merkezinde hesaplanan gaz kütlesi, bir başka deyişle yıldız oluşumunun ham maddesinin kütlesi, diğer galaksilerden en az 2,5 kat daha fazladır. NGC 4321 galaksisini, diğer galaksilere kıyasla daha yüksek moleküler gaz kütlesine sahip olan NGC 6946 ve NGC 3627 izlemektedir. En düşük gaz kütlesi ise NGC 5457 ve NGC 4736 galaksilerinin merkezinde bulunmaktadır.

Tablo 4. Galaksilerin hesaplanan moleküler hidrojen kütleleri.

Galaksi	**H_2 Kütlesi (10^7 $M_\odot$)**
NGC 2903	2,46 ± 0,11
NGC 3521	2,67 ± 0,07
NGC 3627	3,71 ± 0,06
NGC 4321	11,17 ± 0,12
NGC 4736	0,65 ± 0,07
NGC 5055	2,03 ± 0,11
NGC 5194	1,68 ± 0,13
NGC 5457	0,58 ± 0,04
NGC 6946	4,08 ± 0,32
NGC 7331	2,83 ± 0,03

Galaksilerin merkezi bölgeleri için elde edilen çizgi oranları Tablo 5.'te listelenmiştir. Bu noktadan sonra, tez boyunca bu oranlardan aşağıdaki isimlendirmelere uyularak bahsedilecektir: ^{12}CO(1-0) / ^{13}CO(1-0) oranı R_{11}, ^{12}CO(1-0) / ^{12}CO(2-1) oranı R_{12}, ^{12}CO(1-0) / ^{12}CO(3-2) oranı R_{13} ve ^{12}CO(1-0) / HCN(1-0) oranı R_{D1}. Tablo 5.'te listelenen toplam akı oranları Bölüm 2.2.'de anlatılan açısal çözünürlük düzeltmeleri uygulandıktan sonra elde edilen toplam akı değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

3.1.1. Sıcaklık Belirteci: R_{12} ve R_{13} Oranları

R_{12} ve R_{13} oranlarının 1'den küçük olması, ^{12}CO(1-0) gazına kıyasla daha sıcak ortamlarda ışınım veren ^{12}CO(2-1) ve ^{12}CO(3-2) gazının, ^{12}CO(1-0) gazına kıyasla göreli olarak daha baskın olması, yani bir başka deyişle incelenen gaz kompleksinin ortalama sıcaklığının daha yüksek olması anlamına gelir. Tablo 5.'ten açıkça görüldüğü gibi, R_{12} ve R_{13} oranları her galaksi için 1'den büyüktür. Ancak, NGC 5194 bu duruma bir istisnadır. Hata payları dikkate alındığında NGC 5194 için elde edilen R_{12} oranı 1'in altına bir miktar da olsa düşmektedir (bkz. Tablo 5. ve Şekil 2. panel *a*, *b* ve *c*). Her ne kadar seçilen hiçbir galaksi için bu oranlar 1'den düşük olmasa da bazı galaksilerin merkezindeki gaz kompleksi diğer galaksilere kıyasla daha yüksek ortalama sıcaklığa işaret etmektedir.

Tablo 5.'ten görüldüğü gibi (hata payları dikkate alındığında) NGC 5194 ve NGC 4736 galaksileri en düşük R_{12} oranına ($< 1{,}3$) sahiptir (ayrıca bkz. Şekil 2. panel *a* ve *b*). NGC 5194 aynı zamanda en düşük R_{13} oranına ($< 1{,}4$) sahip üç galaksiden biridir (diğerleri NGC 2903 ve NGC 4321. Tablo 5. ve Şekil 2. panel *a*'ya bakınız). R_{12} oranlarına bakıldığında NGC 2903, NGC 6946, NGC 5457 ve NGC 4321 galaksileri benzer değerlere sahiptir. NGC 7331 ve NGC 5055 ise biraz daha düşük R_{12} oranına sahipken (ancak NGC 5194 ve NGC 4736 galaksi merkezlerinde gözlenen R_{12} oranından yine de biraz daha yüksektir), NGC 3521 galaksisi biraz daha yüksek bir orana sahiptir ($1{,}5 < R_{12} < 1{,}9$). Diğer yandan, NGC 3627 galaksi merkezinde gözlenen R_{12} oranı açık bir şekilde diğer tüm galaksilerden daha yüksektir (bkz. Tablo 5. ve Şekil 2. panel *a*, *b* ve *c*). Bunun sonucu olarak, sadece R_{12} oranına bakılarak gözlenen galaksi merkezlerindeki DMBr'ın ortalama sıcaklık sıralaması, en sıcaktan en soğuğa doğru, şu şekilde olur (benzer sıcaklık grubunda olanlar [] içine alınmıştır): NGC 5194, NGC

4736, [NGC 7331 ve NGC 5055], [NGC 2903, NGC 6946, NGC 5457 ve NGC 4321], NGC 3521, NGC 3627 (bkz. Şekil 2. panel *a*).

R_{13} oranının en düşük (R_{13} < 1,4) olduğu galaksiler NGC 2903, NGC 4321 ve NGC 5194 galaksileridir (bkz. Tablo 5. ve Şekil 2. panel *a*). NGC 6946 galaksi merkezinde gözlenen R_{13} oranı biraz daha yüksektir (1,5 < R_{13} < 1,8). NGC 3521, NGC 3627, NGC 4736 ve NGC 5055 galaksi merkezlerinde gözlenen DMBr daha yüksek bir R_{13} oranına işaret etmektedir ve R_{13} oranı 2'ye yaklaşmaktadır. NGC 7331 galaksisi ise sahip olduğu en yüksek R_{13} oranıyla diğer galaksilerden açık bir şekilde ayrılmaktadır (bkz. Tablo 5. ve Şekil 2. panel *a*). NGC 5457 galaksisi için ^{12}CO(3-2) verisi olmadığından R_{13} oranı mevcut değildir. Bu durumda, sadece R_{13} oranına bakılarak incelenen DMBr'ın sıcaklık sıralaması, en sıcaktan en soğuğa doğru, şu şekilde olur (benzer sıcaklık grubunda olanlar [] içine alınmıştır): [NGC 5194, NGC 2903, NGC 4321], NGC 6946, [NGC 3521, NGC 3627, NGC 4736, NGC 5055], NGC 7331 (bkz. Tablo 5. ve Şekil 2. panel *a*).

Tablo 5. Galaksilerin merkezi bölgeleri için elde edilen toplam akı oranları ve galaksilerin yıldız oluşum oranları (SFR).

Galaksi	**R_{12}**	**R_{13}**	**R_{11}**	**R_{D1}**	**SFR ($M_\odot$ yr^{-1})**
NGC 2903	1,39 ± 0,14	1,10 ± 0,14	20,54 ± 4,98	13,68 ± 3,04	1,9
NGC 3521	1,70 ± 0,19	2,25 ± 0,44	-	-	3,2
NGC 3627	2,45 ± 0,18	1,95 ± 0,17	9,44 ± 1,49	24,87 ± 7,64	1,5
NGC 4321	1,52 ± 0,17	1,18 ± 0,17	5,76 ± 1,44	-	-
NGC 4736	1,20 ± 0,14	1,85 ± 0,26	2,35 ± 0,47	-	0,4
NGC 5055	1,33 ± 0,17	1,71 ± 0,42	11,91 ± 1,55	12,73 ± 2,94	1,6
NGC 5194	1,11 ± 0,17	1,20 ± 0,20	9,15 ± 1,30	13,30 ± 2,75	2,9
NGC 5457	1,49 ± 0,17	-	-	-	2,9
NGC 6946	1,53 ± 0,14	1,64 ± 0,14	6,31 ± 0,58	13,63 ± 2,12	2,5
NGC 7331	1,34 ± 0,09	3,20 ± 0,41	-	7,29 ± 2,45	-

Not: Hα emisyonuna göre hesaplanan yıldız oluşum oranı (SFR) değerleri SAO RAS veri tabanından alınmıştır.

3.1.2. Optik Derinlik Belirteci: R_{11} Oranları

Seçilen 10 galaksinin 7'si için literatürden ^{13}CO(1-0) ışınım verisine ulaşılmıştır. ^{13}CO, ana molekülü olan ^{12}CO gazına kıyasla daha az bolluğa sahiptir ve genellikle optik olarak ince kabul edilen bir gazdır. Bu nedenle, R_{11} oranındaki değişim ^{12}CO gazının optik derinliği hakkında bilgi verir. R_{11} oranı ne kadar büyükse ^{12}CO gazı o kadar incedir. R_{11} oranı galaksilerde seyrelmiş gazın bir belirtecidir ve bu da gazın seyrelmesini gerektirecek yıldız oluşumu kaynaklı dış etkilerin tartışılmasına olanak sağlar. Gazın seyrelmesine neden olacak yıldız oluşum süreçleri dikkate alındığında dev yıldızlardan gelen yıldız rüzgarları, güçlü mor-ötesi ışınımlar ve/veya yakın çevredeki süpernova patlaması gazın o bölgede seyrelmesine neden olabilir. Ancak unutulmamalıdır ki, bir süpernova patlaması yakın komşuluktaki gazı seyreltse de şok bölgelerinde gazın sıkışmasına neden olabilir ve bu da o bölgede yeni bir yıldız oluşumunu tetikleyebilir.

Tablo 5.'ten ve Şekil 2. panel *b*'den görüldüğü gibi, NGC 2903 galaksisi en yüksek R_{11} değerine sahip olması nedeniyle diğer galaksilere kıyasla optik olarak daha ince bir ^{12}CO gazı kompleksine sahiptir denilebilir. NGC 2903 galaksi merkezinde elde edilen R_{13} ve R_{11} oranları (bkz. Tablo 5. ve Şekil 2. panel *a* ve *b*), yıldız oluşum süreçlerinin çevresine yaptığı etkiler dikkate alındığında, beklenen bir senaryoyu ortaya koymaktadır: NGC 2903 galaksisinin merkezindeki DMBr içindeki dev yıldızların rüzgarları, genç dev yıldızlardan gelen yoğun mor-ötesi ışınım ve/veya süpernova patlamaları bu bölgedeki yıldızlararası ortamın ortalama sıcaklığını arttırırken gazın da seyrelmesine neden oluyor olabilir. Öyle görünüyor ki, NGC 2903 galaksisinin merkezindeki yıldız oluşumu diğer galaksilere kıyasla daha şiddetli gerçekleşmektedir. NGC 5055, NGC 3627 ve NGC 5194 galaksilerinin merkezinde belirlenen R_{11} oranı, NGC 2903 galaksi merkezinde gözlenen oranın yarısı kadar olsa da, diğer galaksilere kıyasla yüksek ama tüm galaksiler dikkate alındığında ortalama bir R_{11} değerine sahiptir (bkz. Tablo 5. ve Şekil 2. panel *b*). Benzer R_{11} oranına sahip bu üç galaksi içinde NGC 5194 galaksisi sahip olduğu en düşük R_{12} ve R_{13} oranıyla (göreceli olarak daha yüksek ortalama sıcaklık) dikkat çekmektedir (bkz. Şekil 2. panel *a* ve *b*). Tablo 5.'te galaksilerin yıldız oluşum oranı (SFR) değerleri de listelenmektedir. Tablodan görüldüğü gibi NGC 5194 galaksisi için hesaplanan SFR değeri ortalama SFR değerinden (ortalama SFR = 2,1 $M_{\odot}$ yr^{-1}) daha yüksektir ve bu R_{11}, R_{12} ve R_{13} çizgi

oranlarının işaret ettiği fiziksel koşullar ile uyumludur. Tablo 5.'ten görüldüğü gibi, NGC 5055 diğer galaksilere kıyasla ortalamanın biraz altında bir SFR değerine sahiptir. Bu galaksinin sahip olduğu ortalama R_{12}, R_{13} ve R_{11} oranları, galaksinin sahip olduğu SFR değeri ile uyum içerisindedir. NGC 4321 ve NGC 6946 galaksileri benzer R_{11}, ve aynı zamanda benzer R_{12} ve R_{13} oranlarına sahip olduğu için bu galaksilerin merkezlerinde benzer fiziksel koşullar olması beklenmelidir.

Sarmal disk galaksilere bakıldığında R_{11} genellikle 5'ten büyüktür (Young ve Sanders 1986; Paglione vd. 2001; Schinnerer vd. 2010). NGC 4736 dışındaki tüm galaksiler için $R_{11} \geq 5$'tir (bkz. Şekil 2. panel *b*). Bu anlamda bakıldığında, NGC 4736 en düşük R_{11} oranına sahip olduğu için, bu galaksinin merkezi bölgesinde incelenen DMBr'de genç yıldızların şiddetli rüzgarları ve/veya süpernova patlamaları ya yoktur ya da bu olaylar gazın fiziğinin incelendiği ölçeklerde baskın olacak kadar şiddetli gerçekleşmemektedir. NGC 4736 galaksisi için, çizgi oranlarına dayanarak ulaşılan bu senaryo, galaksinin SFR değeri ile tam anlamıyla bir uyum içerisindedir: Tablo 5.'ten görüldüğü gibi incelenen galaksiler içerisinde NGC 4736 en düşük SFR değerine sahip olan galaksidir.

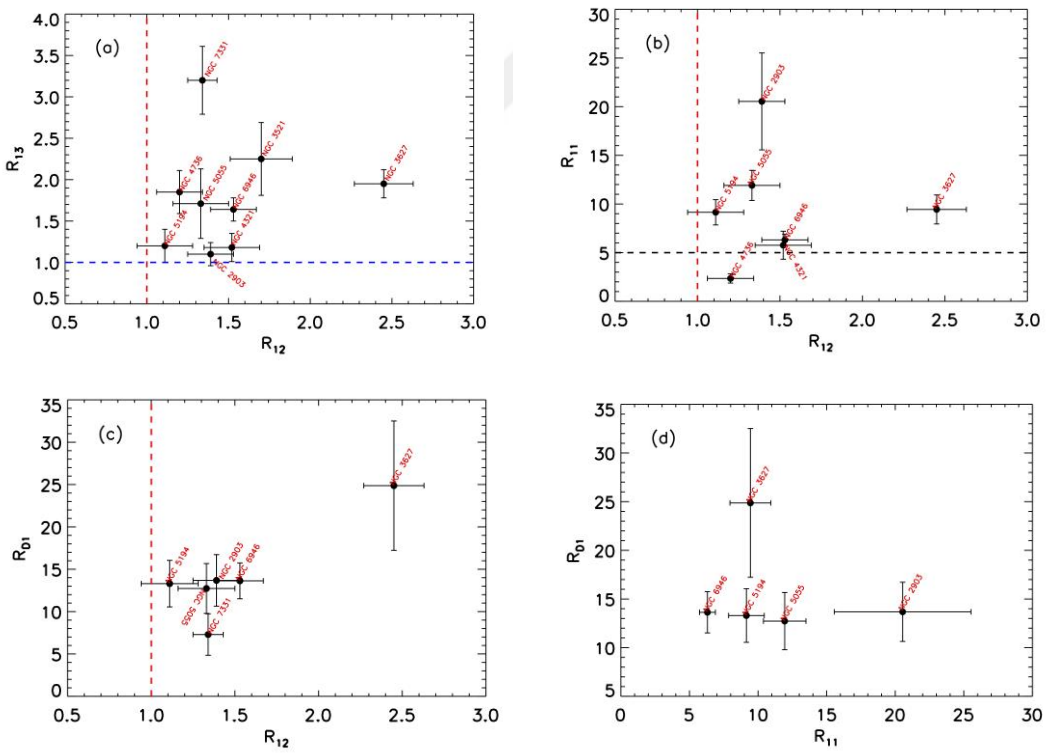
NGC 3521, NGC 5457 ve NGC 7331 galaksi merkezlerinde gözlenen DMBr için belirlenen R_{12} ve R_{13} oranları, diğer galaksilere kıyasla, ortalama sıcaklıkları işaret etse de, CO gazının optik derinliği hakkında bilgi sahip olabilmek için gerekli olan ^{13}CO(1-0) gözlemleri bu galaksiler için mevcut değildir. Ancak, Tablo 5.'ten görüldüğü gibi NGC 3521 ve NGC 5457 en yüksek SFR değerine sahip olan galaksilerdir (NGC 3521, seçilen tüm galaksiler içerisinde en yüksek SFR değerine sahiptir). Bu nedenle bu galaksilerde yüksek R_{11} oranının elde edilmesi beklenebilir.

3.1.3. Yoğun Gaz Belirteci: R_{D1} Oranları

HCN ışınım yapabilmek için CO gazına kıyasla ortalama 1000 kat daha yoğun bir ortama gereksinim duyar. Yıldız oluşumunun yoğun gaz bulutlarında başladığı dikkate alınırsa, HCN yıldız oluşumunun başladığı bu bölgeler hakkında daha yararlı bilgiler verebilir. Bu nedenle R_{D1} incelenen bölgede, daha seyrek yoğunluğa sahip CO gazına kıyasla, daha yoğun olan gazın oranı hakkında bilgi verir. R_{D1} değerinin düşük olması yüksek yoğunluklu gaz oranının göreceli olarak yüksek olduğu anlamına gelirken tersi durumda o bölgede yüksek yoğunluklu gaz oranının düşük olduğu söylenebilir.

Bu bilgiler ışığında tekrar Tablo 5. ve Şekil 2. panel *c* ve *d*'ye bakılırsa; R_{D1} oranının en düşük olduğu NGC 7331 galaksisi (bkz. Şekil 2. panel *c*) diğer galaksilere kıyasla,

merkezinde daha yüksek yoğunluklu gaz oranına sahip bir gaz kompleksini ihtiva ediyor olabilir. Ancak, tam tersi bir durum NGC 3627 galaksisinde gözlenmektedir (bkz. Tablo 5. ve Şekil 2. panel *c* ve *d*). NGC 3627 galaksisinde gözlenen R_{D1} oranı diğer galaksilere kıyasla en az 2 kat daha yüksek olduğu için bu galaksinin merkezi bölgesinde yüksek yoğunluklu gaz oranının daha düşük olması beklenmektedir. Ancak ilginçtir ki, NGC 3627 için belirlenen R_{12} (NGC 3627'de belirlenen R_{13} oranı da diğer galaksilere kıyasla yüksektir) ve NGC 7331 için belirlenen R_{13} oranları diğer galaksilere kıyasla daha yüksektir (yani gaz göreceli olarak daha soğuktur). Buradan yola çıkarak, NGC 3627 ve NGC 7331 galaksisinin merkezi bölgesinde gözlenen DMBr'da, diğer galaksilere kıyasla, yıldız oluşum süreçlerinin gazın fiziği üzerindeki etkisinin daha ılıman geçiyor olduğu veya başlangıç aşamasında olduğunu söylenebilir. NGC 3627 galaksisinin, diğer galaksilere kıyasla ortalamanın biraz altında sahip olduğu SFR değeri bu senaryoyu bu galaksi için desteklemektedir (bkz. Tablo 5.).



Şekil 2. Elde edilen çizgi oranlarının karşılıklı grafikleri. Panel *a*, *b* ve *c*'de bulunan ve x-eksenine dikey olan kesikli kırmızı çizgi R_{12} oranının 1'e eşit olduğu yeri göstermektedir. Panel *a*'da yer alan ve x-eksenine paralel olan kesikli mazi çizgi R_{13} oranının 1'e eşit olduğu yeri göstermektedir. Panel *b*'de yer alan ve x-eksenine paralel olan kesikli siyah çizgi R_{11} oranının 5'e eşit olduğu yeri göstermektedir. Her noktaya karşılık gelen galaksinin adı da ayrıca şekil üzerinde gösterilmiştir.

Diğer yandan, R_{D1} oranları, NGC 7331 ve NGC 3627 dışındaki diğer galaksilerde ortalama bir değer ($R_{D1} \approx 13$) göstermektedir (bkz. Şekil 2. panel *c*). İlginç olarak, R_{D1} oranlarının göreceli olarak ortalama olduğu bu galaksiler içerisinde, R_{12} ve R_{13} oranları dikkate alındığında (bkz. Bölüm 3.1.1.) NGC 2903 ve NGC 5194 galaksileri merkezlerinde en yüksek sıcaklığa sahip gazı barındırırken, oranlar NGC 5055 ve NGC 6946 merkezlerinde daha ılıman sıcaklıkta DMBr varlığını işaret etmektedir. Bölüm 3.1.2.'de bahsedildiği gibi, bu durum, NGC 5055 galaksisinin merkezi bölgesindeki koşulların göreceli olarak ortalama düzeylerde seyrettiğini bir kez daha desteklemektedir (bkz. Bölüm 3.1.2.).

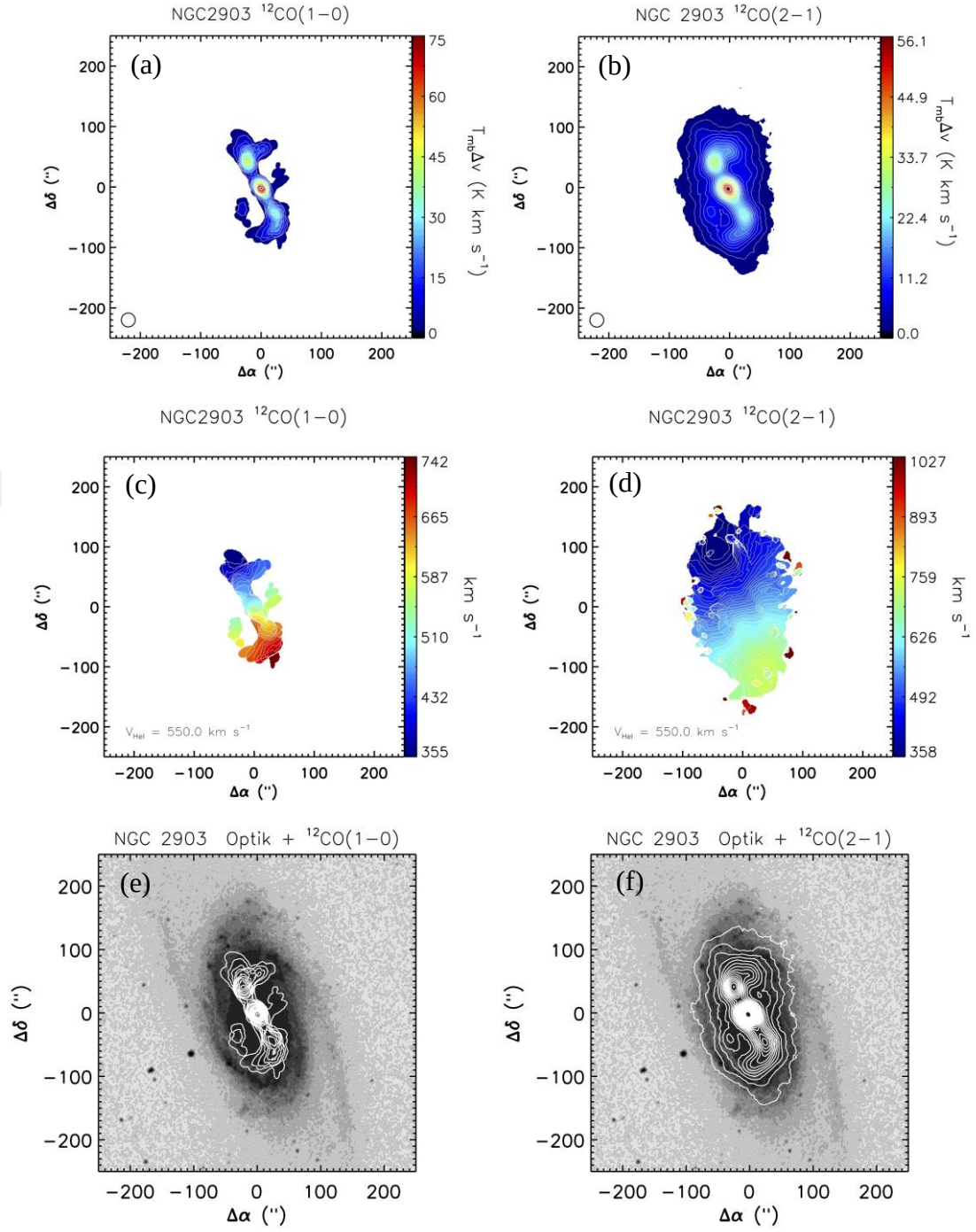
Sonuç olarak, NGC 7331 galaksi merkezi yoğun gaz oranı en yüksek DMBr'a ev sahipliği yaparken (ortalama sıcaklıklarda), NGC 3627 galaksi merkezi yoğun gaz oranı en düşük DMBr içermektedir (yüksek R_{12} ve R_{13} oranlarının her ikisinin de desteklediği gibi göreli olarak düşük sıcaklıklarda). Bu nedenle NGC 7331 galaksi merkezinde yıldız oluşum süreçlerinin NGC 3627 galaksi merkezine kıyasla daha ileri bir seviyede olduğu söylenebilir. Diğer yandan R_{D1} oranının göreceli olarak ortalama değerde olduğu diğer dört galaksi içinde NGC 2903 (bu galaksi aynı zamanda en yüksek R_{11} oranına sahiptir. Bkz. Şekil 2. panel *d*) ve NGC 5194 sahip oldukları yüksek sıcaklıktaki merkezi DMBr ile daha şiddetli yıldız oluşum süreçlerine ev sahipliği yaparken, NGC 5055 ve NGC 6946 galaksilerinin merkezindeki yıldız oluşum koşulları NGC 7331 ile NGC 3627 galaksilerinde gözlenen yıldız oluşum düzeylerinin arasında bir seviyede faaliyet gösteriyor olabilir.

3.2. CO Gazının Galaksi Üzerindeki Dağılımı

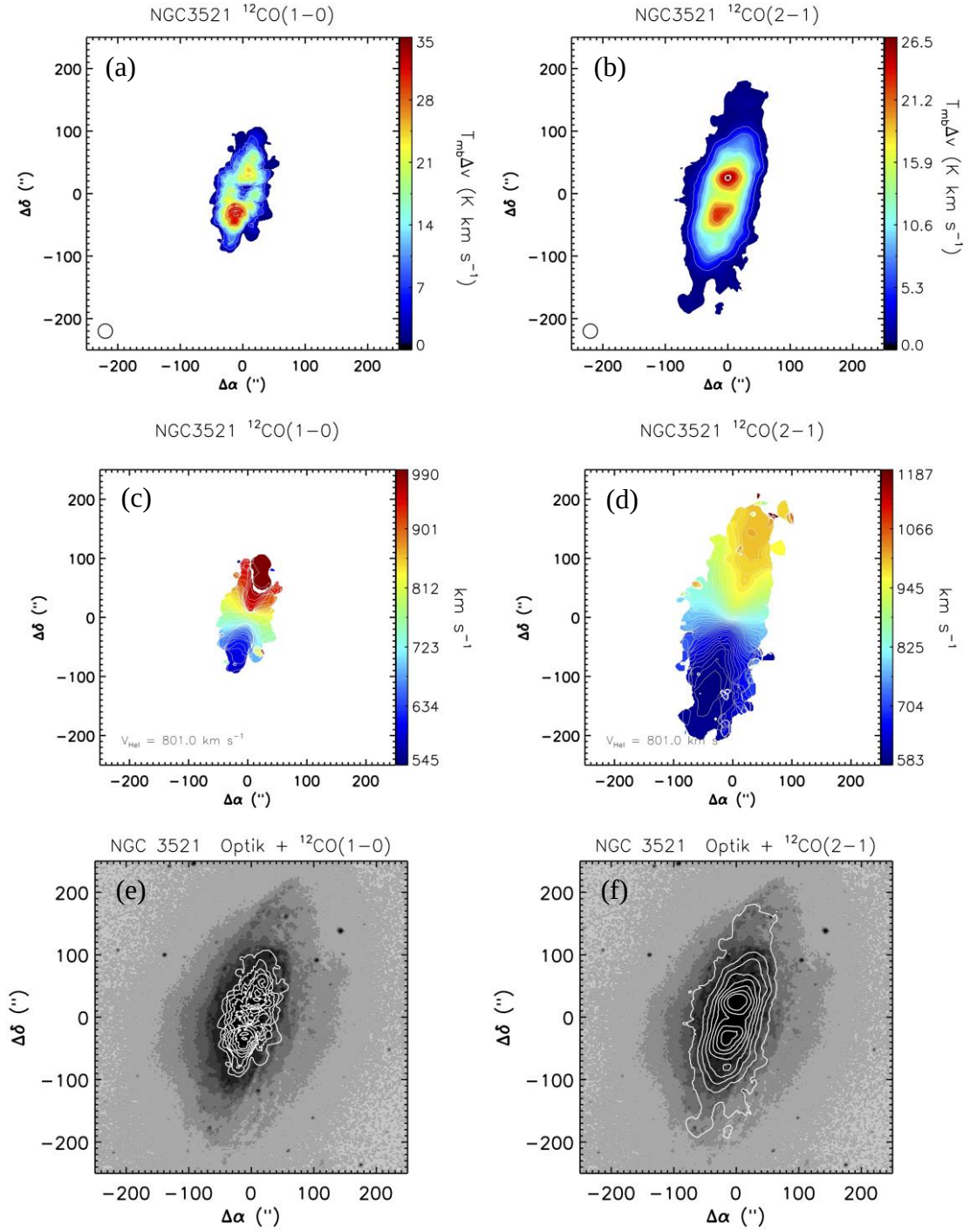
Galaksilerde gözlenen CO gazının, galaksi diski üzerinde nasıl bir dağılım gösterdiği Şekil 3.'te gösterilmiştir. Tüm galaksiler için CO gazının galaksi üzerindeki dağılımına bakıldığında, beklendiği gibi gazın galaksilerin sarmal kolları boyunca yoğunluk gösterdiği görülmektedir (bkz. Şekil 3. panel e ve f). Nitekim, sarmal galaksilerde gazın sıkışarak yıldız oluşumunun yüksek düzeyde meydana geldiği yerler galaksilerin sarmal kollarıdır. ^{12}CO(1-0) gözlemlerinin hata düzeyi $\sigma \approx 0.05$ K yöresindeyken, ^{12}CO(2-1) gözlemleri ise neredeyse on kat daha derindir. Yani ^{12}CO(2-1) gözleminin gürültü düzeyi ^{12}CO(1-0) gözleminin gürültü düzeyinin neredeyse 10'da 1'idir, $\sigma \approx 0.005$ K. Bunun sonucu olarak, galaksi üzerinde ^{12}CO(1-0) gazına kıyasla daha geniş bir biçimde

yayılmış ^{12}CO(2-1) gazı görülmektedir (bkz. Şekil 3. panel a, b, e ve f). Daha derin ^{12}CO(1-0) gözlemleri yapılsaydı, galaksi üzerinde daha geniş bir alana yayılmış ^{12}CO(1-0) gazı görülebilirdi. Şekil 3. a, b, e ve f panellerinden görüldüğü gibi gazın daha yoğun olduğu bölgeler (kırmızı renk ölçeği) merkezi bölgeler olsa da bazı galaksilerin sarmal kolları da merkeze kıyasla hatırı sayılır derecede moleküler gaz içermektedir (NGC 2903, NGC 5194, NGC 3627 ve NGC 7331 gibi).

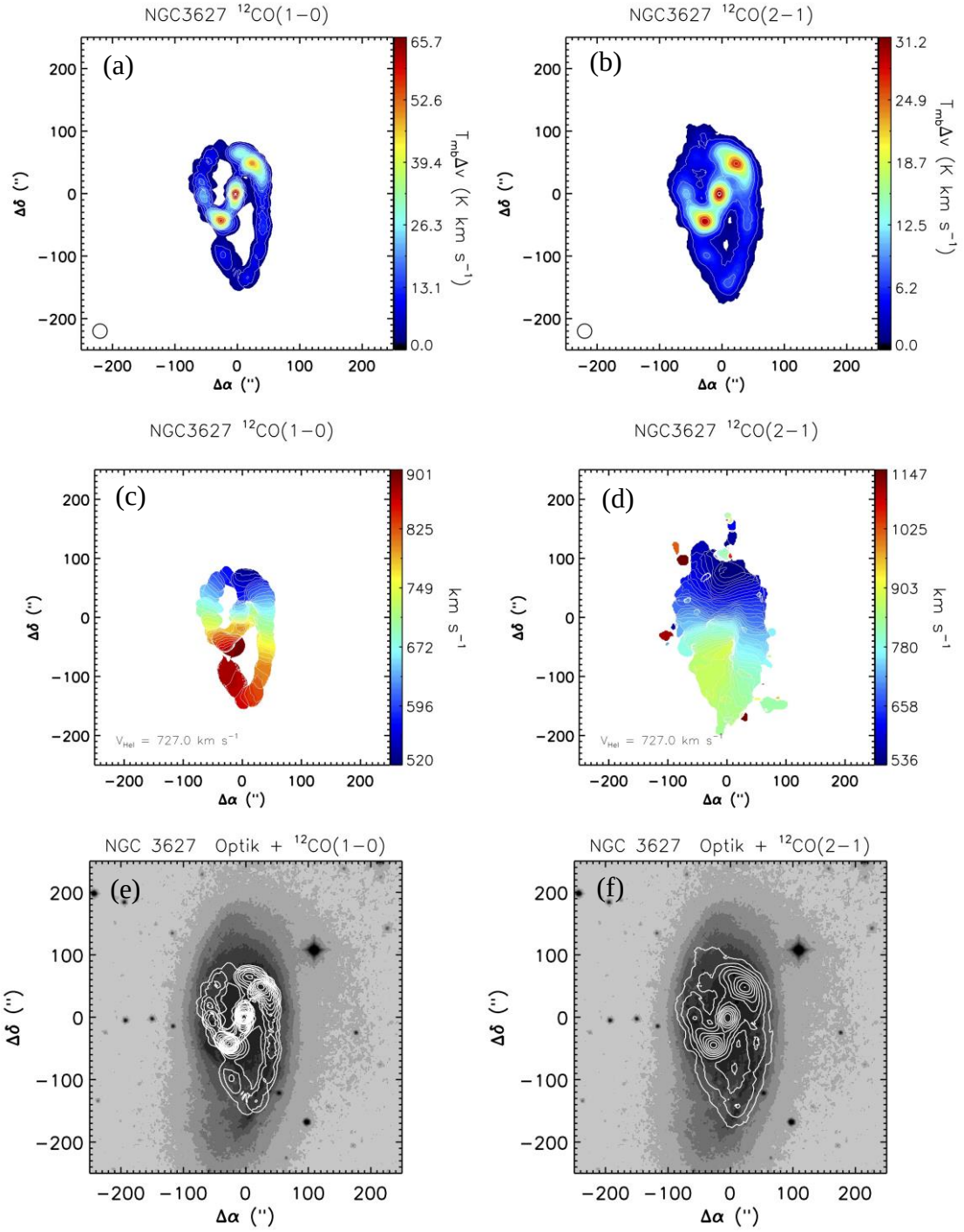
CO gazının galaksi üzerinde hız dağılımına, yani gazın kinematiğine bakıldığında (bkz. Şekil 3. panel c ve d) düzenli bir hız dağılım haritası görülmektedir; Gaz düzenli bir hızla galaksi merkezi etrafında dolanmaktadır. Kırmızı bölgeler galaksi diskinin, dolayısıyla gazın, bizden uzaklaştığı kısımları gösterirken, mavi bölgeler galaksi diskinin bize yaklaşan kısımlarını göstermektedir. Sonuç itibarıyla gaz, galaksi merkezi etrafında düzenli bir rotasyon izlemektedir. Bu bulgu şunu işaret etmektedir: Galaksiler yakın bir zamanda (son birkaç milyar yıl içinde) büyük bir merkezi çarpışma geçirmemiş ve/veya etkileşim içinde oldukları galaksiler gazın kinematiğini ciddi bir şekilde etkilememektedir. Eğer, bir başka galaksi ile gerçekleşen çarpışma veya etkileşim incelenen galaksilerdeki gazı ciddi bir şekilde etkiliyor olsaydı, bunun izleri hız dağılımında görülmeliydi (hız dağılımı daha düzensiz olmalıydı).



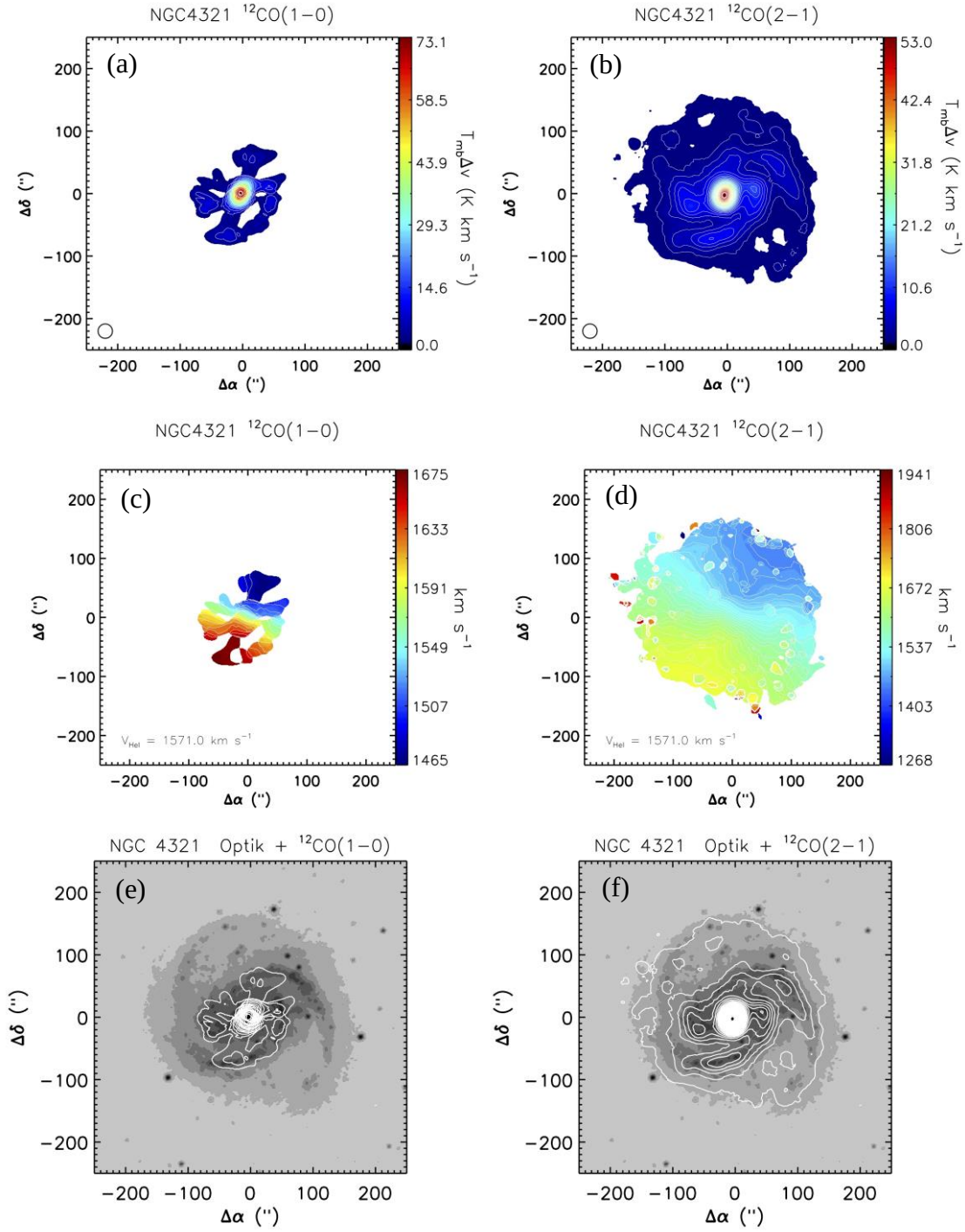
Şekil 3.1. Panel (a) ve (b): NGC 2903 galaksinin sırasıyla ^{12}CO(1-0) ve ^{12}CO(2-1) geçişlerindeki toplam akı haritaları ve akılara ilişkin eş yükselti çizgileri. Panellerin sol altında görülen küçük daireler görüntünün açısal çözünürlüğünü ölçekli olarak göstermektedir. Açısal çözünürlük 23"'dir. Akı skalasını gösterir renk barı her bir panelin sağında bulunmaktadır ve akı mavi renkten kırmızı renge doğru artış göstermektedir. Panel (c) ve (d): Galaksinin aynı geçişlerdeki hız grafikleri. Beyaz renkle gösterilen eşit hız çizgilerinin her biri arasında 10 km/s'lik hız farkı bulunmaktadır. Panellerin sol altında verilen hız değerleri galaksinin Güneş merkezli (V_{hel}) hız değerleridir. Hız aralığını gösterir renk skalası panellerin sağında bulunmaktadır. Panel (e) ve (f): Galaksinin ^{12}CO(1-0) ve ^{12}CO(2-1) toplam akı haritaları, galaksinin optik görüntüsünün (fonda yer alan gri-siyah renk ölçekli görüntü) üzerine ölçekli olarak yerleştirilmiştir. Optik görüntüler SDSS çalışmasından alınmıştır. Işınımın eşit olduğu bölgeleri gösteren eş yükselti çizgileri beyaz renkle gösterilmiştir. Eş yükselti çizgileri minimum akı düzeyinden başlar ve her eş yükselti çizgisi arasındaki akı farkı minimum akının 3 katı olacak şekilde, akı 3 kat artarak maksimum akı düzeyine ulaşır. Her panelde üst taraf Kuzey yönünü gösterirken, sol taraf Batı yönünü göstermektedir.



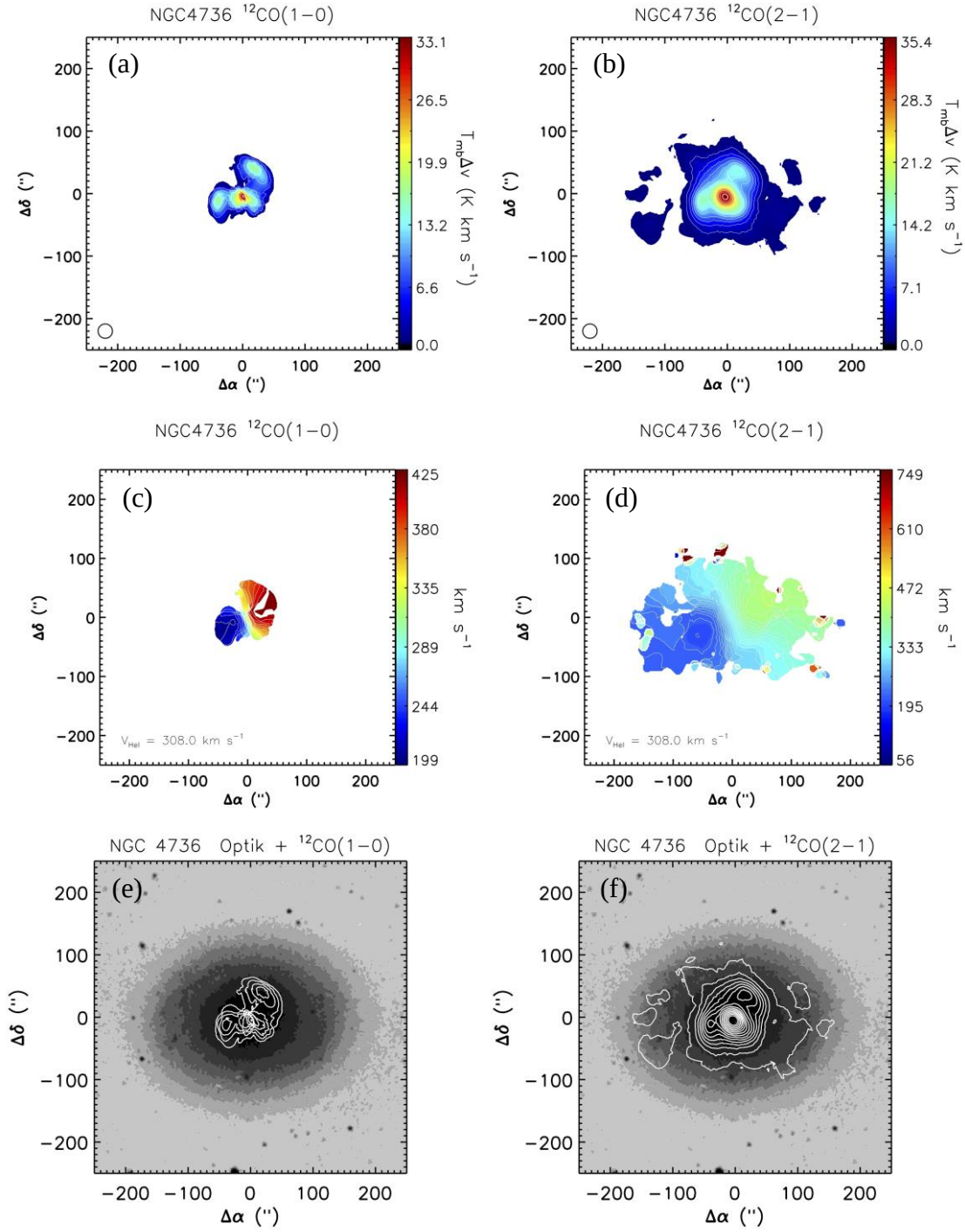
Şekil 3.2. NGC 3521 galaksisi için Şekil 3.1.'deki aynı görüntüler.



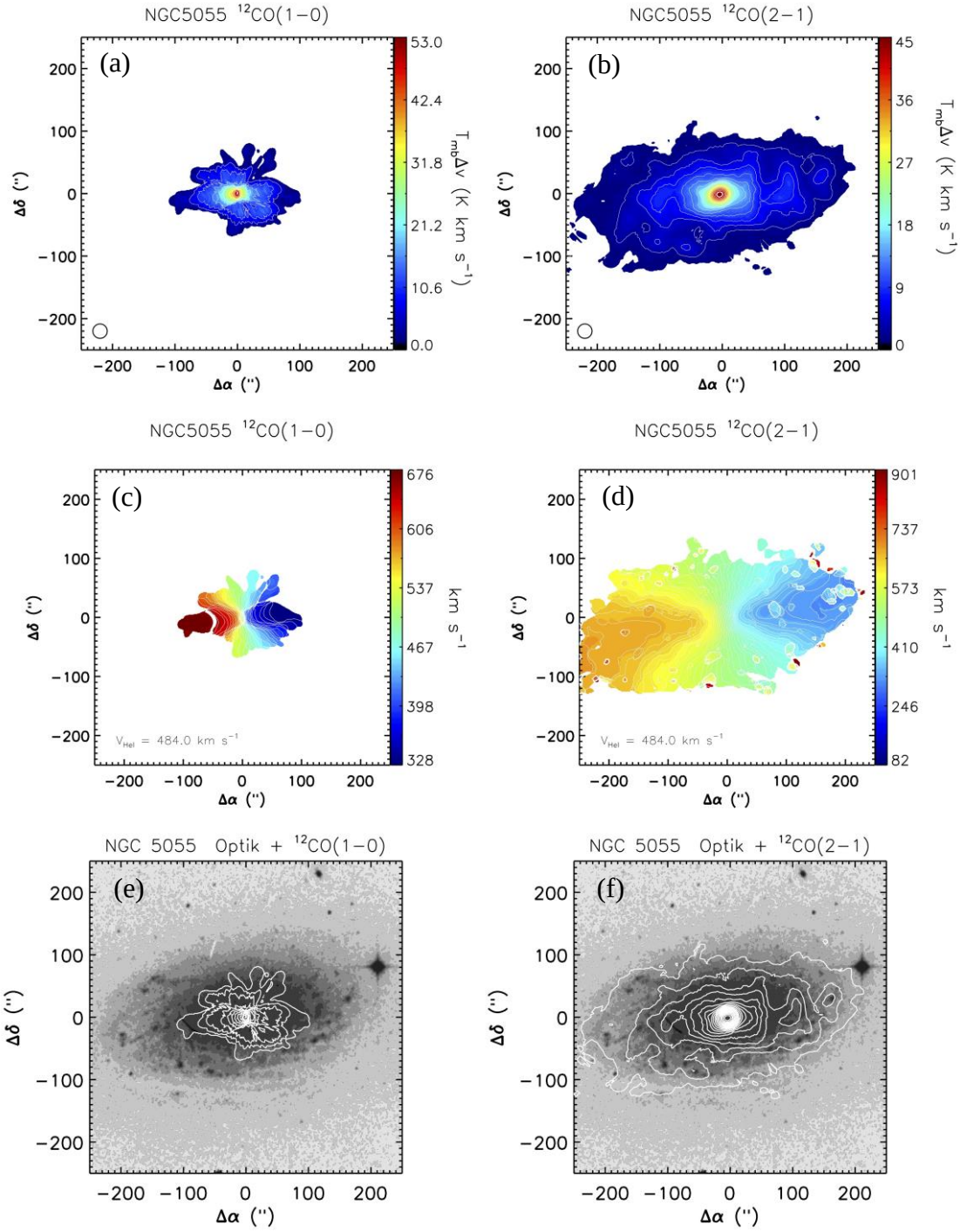
Şekil 3.3. NGC 3627 galaksisi için Şekil 3.1.'deki aynı görüntüler.



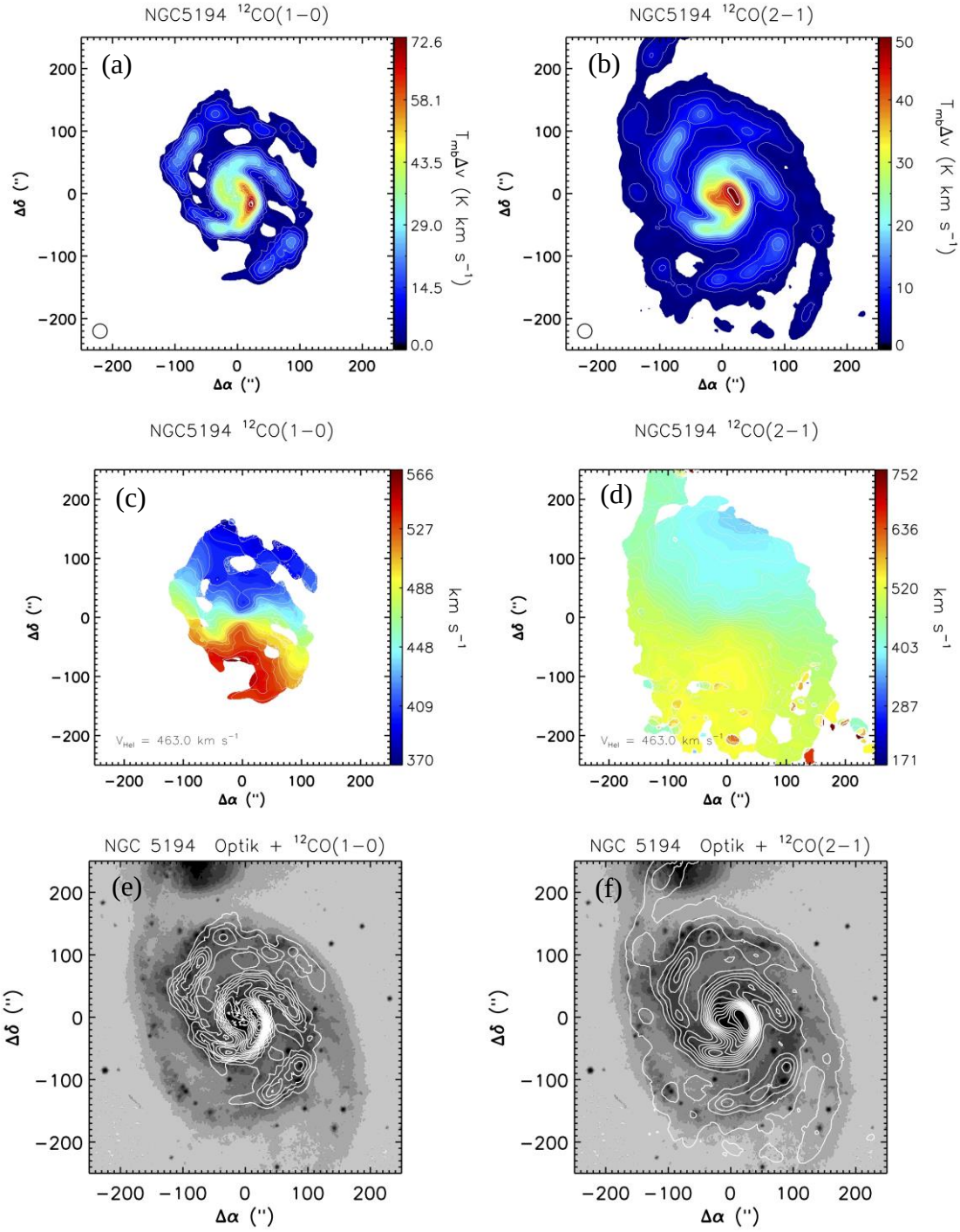
Şekil 3.4. NGC 4321 galaksisi için Şekil 3.1.'deki aynı görüntüler.



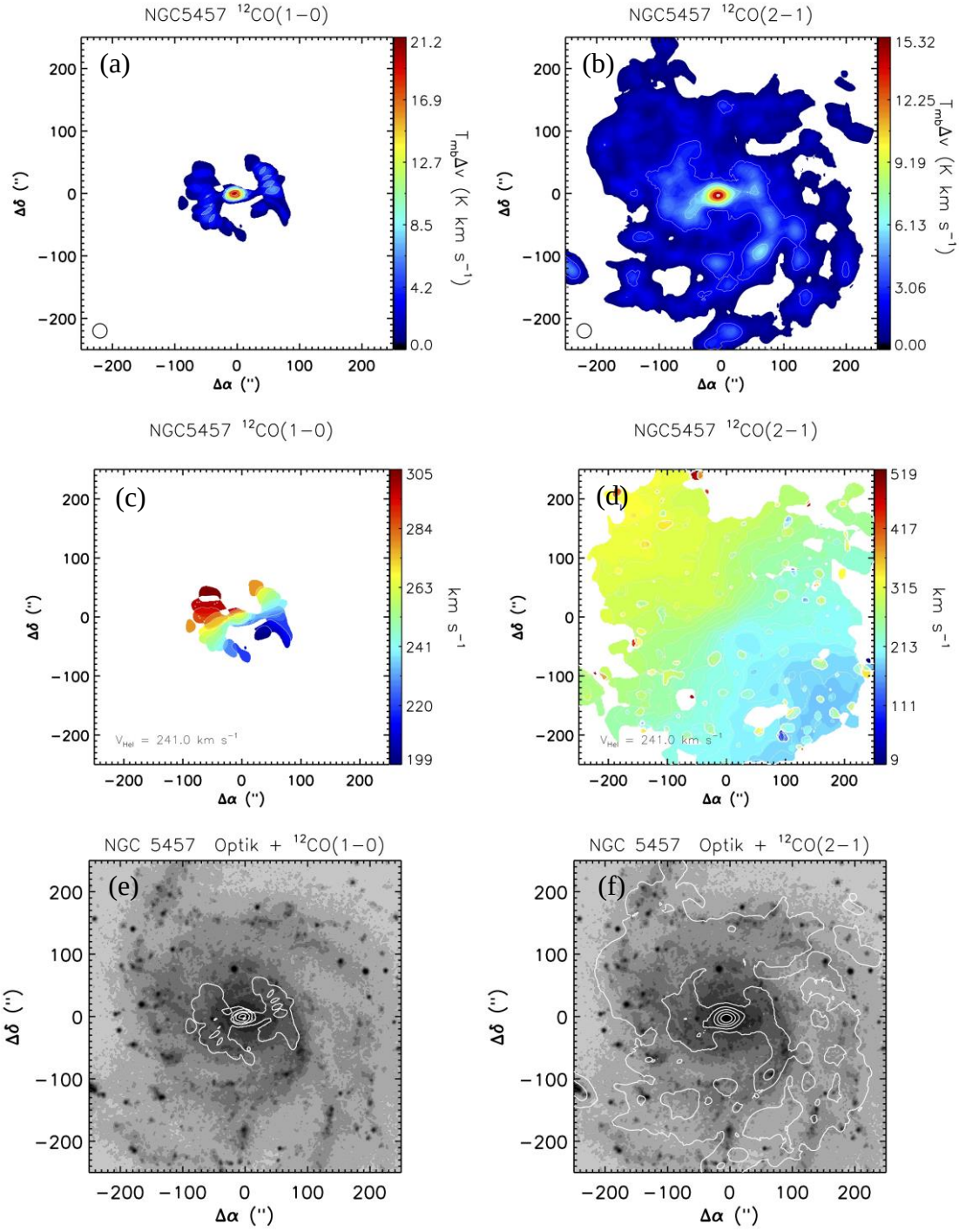
Şekil 3.5. NGC 4736 galaksisi için Şekil 3.1.'deki aynı görüntüler.



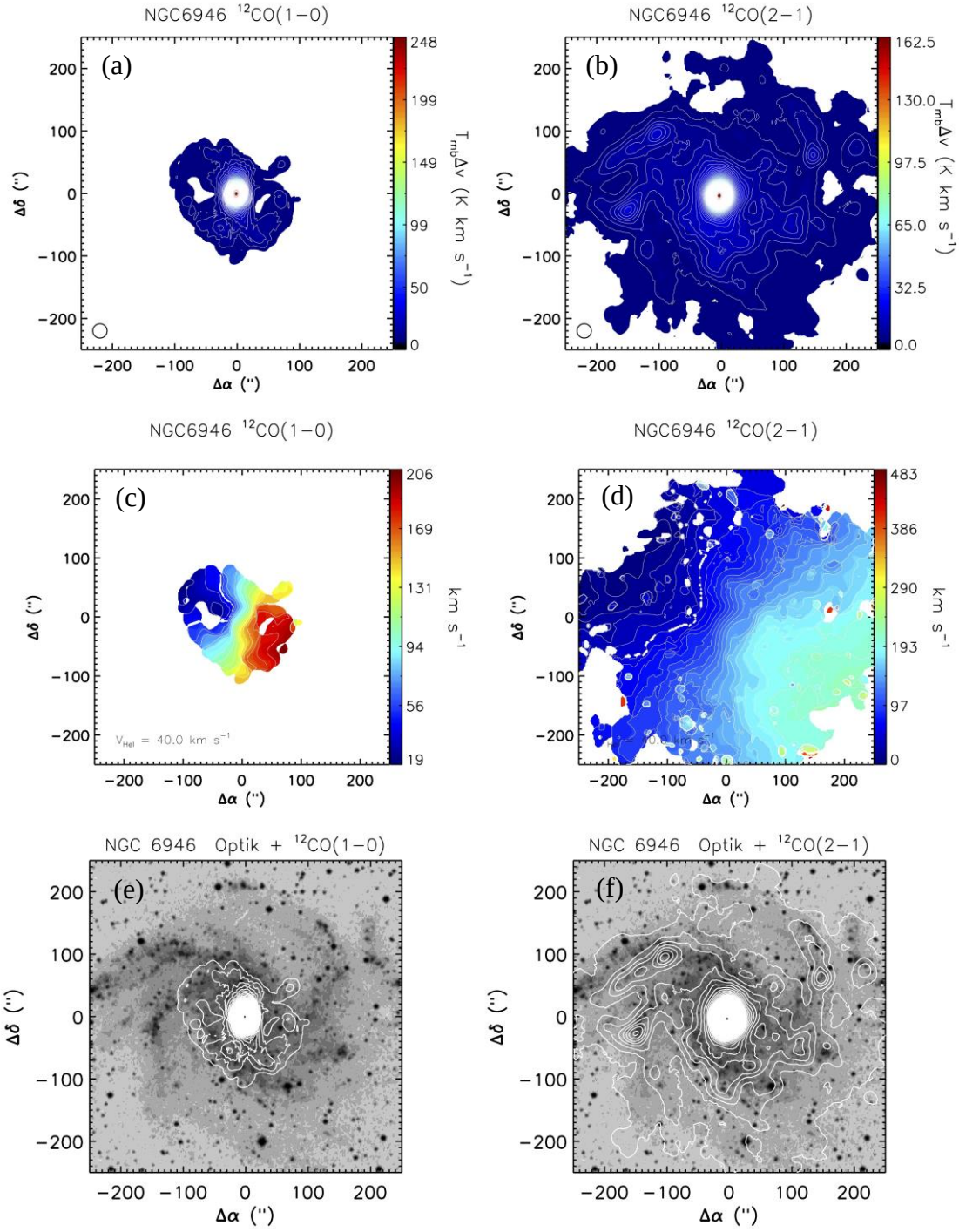
Şekil 3.6. NGC 5055 galaksisi için Şekil 3.1.'deki aynı görüntüler.



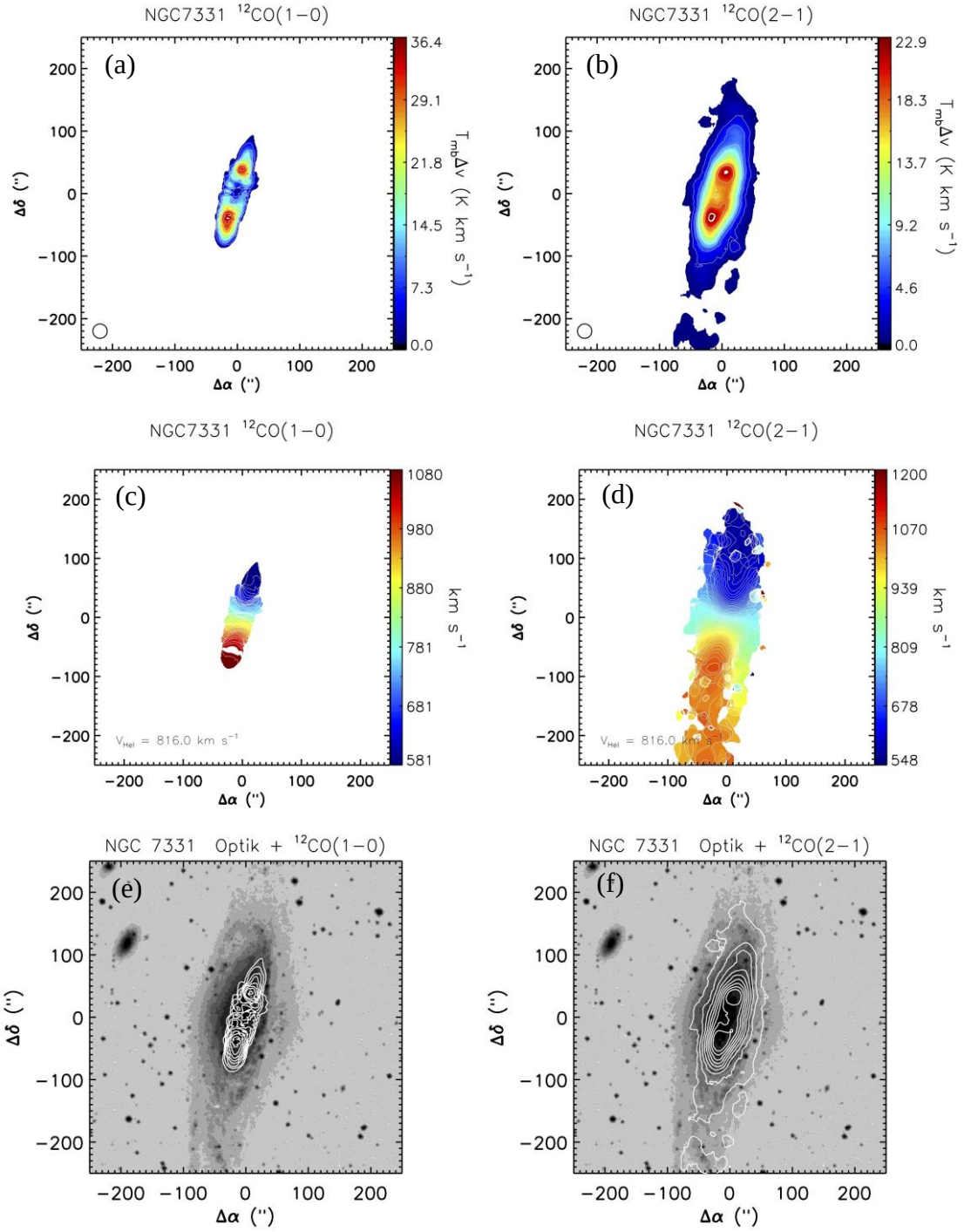
Şekil 3.7. NGC 5194 galaksisi için Şekil 3.1.'deki aynı görüntüler.



Şekil 3.8. NGC 5457 galaksisi için Şekil 3.1.'deki aynı görüntüler.



Şekil 3.9. NGC 6946 galaksisi için Şekil 3.1.'deki aynı görüntüler.



Şekil 3.10. NGC 7331 galaksisi için Şekil 3.1.'deki aynı görüntüler.

4. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler

^{12}CO(1-0) ve ^{12}CO(2-1) geçişlerinde parlak olma ve yakın evrende (D < 20 Mpc) bulunma koşullarına bağlı olarak belirlenen 10 sarmal galaksi için moleküler çizgi oranları çalışması yapılmış ve literatürden toplanan diğer ilave moleküler geçiş tayfalarının da katkısıyla galaksi merkezlerindeki gaz komplekslerinin fiziksel yapısı araştırılmıştır. Bu çalışmanın temel sonuçları aşağıda maddeler halinde listelenmiştir.

1. Literatürden seçilen galaksilerin merkezi bölgelerine ait toplamda 5 farklı moleküler gaz geçişi elde edilmiştir: ^{12}CO(1-0), ^{12}CO(2-1), ^{12}CO(3-2), ^{13}CO(1-0) ve HCN(1-0). Bu sayede gerçekleştirilen çoklu çizgi oranları çalışması vasıtasıyla seçilen galaksilerin merkezlerindeki moleküler gaz komplekslerinin fiziksel özellikleri, sadece ^{12}CO gazının işaret ettiği gibi sıcaklık açısından değil, ^{13}CO ve HCN gazlarının katkısıyla hem optik derinlik hem de yoğun gaz oranı açısından incelenmiştir.

2. Gazın optik derinliği hakkında bilgi veren R_{11} oranı, sıcaklık hakkında bilgi veren R_{12} ve R_{13} oranları ve son olarak yoğun gaz belirteci olan R_{D1} oranlarına bakıldığında NGC 2903 galaksisi merkezinde, göreceli olarak ortalama değerlerde yoğun gaz varlığı göstermesine rağmen, sahip olduğu en yüksek R_{11} (en ince CO gazı) ve en düşük R_{13} (en sıcak CO gazı) oranlarıyla yıldız oluşumunun göreceli olarak daha şiddetli gerçekleştiği bir galaksi profili çizmektedir. Bu galaksiyi, sahip olduğu en düşük R_{12} ve R_{13} ve ortalama R_{11} ve R_{D1} oranlarıyla NGC 5194 galaksisi takip etmektedir. NGC 2903 ve NGC 5194 galaksilerinin, incelenen diğer galaksilere kıyasla, ortalamanın üzerinde bir yıldız oluşum oranına (SFR) sahip olması, moleküler geçişlerin önerdiği fiziksel koşulları desteklemektedir.

3. R_{D1} oranları açısından, NGC 7331 ve NGC 3627 galaksileri iki uç profil çizmekteyken sıcaklık açısından benzer bir tablo ortaya koymaktadır. NGC 7331 en düşük R_{D1} (ve en yüksek R_{13}) oranına sahipken, NGC 3627 galaksi merkezinde gözlenen R_{D1} oranı, incelenen diğer galaksilere kıyasla, en yüksek (ve R_{12} en düşük) değere sahiptir. Bu sonuç, NGC 7331 galaksisinin merkezi bölgesinde çok yüksek oranda yoğun gazın varlığını işaret ederken, NGC 3627 galaksisinin merkezinin göreceli olarak yoğun gaz bakımından fakir olduğunu göstermektedir. Diğer yandan, her iki galaksinin merkezindeki gazın ortalama sıcaklığı, incelenen diğer galaksilere kıyasla daha düşüktür. NGC 3627 galaksisinin sahip olduğu göreceli olarak ortalama olan SFR değeri, çizgi oranlarının işaret ettiği fiziksel koşulları desteklemektedir.

4. NGC 5055 ve NGC 4736 galaksilerinin merkezi bölgeleri için elde ettiğimiz çizgi oranlarının işaret ettiği fiziksel koşullar ile bu galaksiler için elde edilen SFR değerleri uyum içerisindedir: NGC 4736 galaksi merkezi en düşük yıldız oluşum etkinliğine sahipken NGC 5055 galaksi merkezi göreceli olarak ortalama koşullara sahiptir. NGC 4321 ve NGC 6946 galaksileri de sahip oldukları benzer çizgi oranları nedeniyle, bu galaksilerin merkezi bölgelerinden benzer fiziksel koşulların baskın olması muhtemeldir.

5. İki adet çizgi oranının elde edildiği (R_{12} ve R_{13}) NGC 3521 ile sadece bir adet çizgi oranının elde edildiği (R_{12}) NGC 5457 galaksileri, incelenen galaksiler içerisinde, çizgi oranları bilgisine dayanarak en az bilgi elde ettiğimiz galaksilerdir. Ancak, sahip oldukları yüksek SFR değeriyle (NGC 3521 incelenen galaksiler içerisinde en yüksek SFR değerine sahiptir) diğer galaksilere kıyasla merkezlerinde daha aktif yıldız oluşum süreçleri geçirdiklerinin ipuçlarını vermektedirler.

6. Gazın dağılımına bakıldığında, merkezi bölgede (ve bazı galaksilerde sarmal kollarda) yoğunlaşmış ve galaksinin dönüşü ile uyum gösteren düzenli bir hız dağılımına sahip gaz yapısı ortaya çıkmaktadır. Bu durum, incelenen galaksilerin kozmik ölçeklerde yakın zamanda (son birkaç milyar yıl içinde) büyük bir çarpışma (en azından merkezi bölgede) geçirmemiş olduğunu veya etkileşim halinde oldukları diğer galaksilerin onların sahip olduğu moleküler gaz

üzerinde ciddi bir etkisi olmadığına işaret etmektedir. Nitekim, eğer yakın zamanda merkezi bir çarpışma geçirmiş olsalardı veya etkileşim halinde oldukları galaksiler ciddi bir etkiye sahip olsaydı bunun izleri gazın hız dağılımında görülebilirdi (daha düzensiz bir gaz dağılımı).

Özellikle son otuz yılda yapılan çalışmalarda moleküler geçişlerin incelenmesiyle, yıldız oluşumunun farklı evreleri hakkında değerli bilgiler elde edeceğimizi göstermiştir. Bu çalışmanın da ana amacını oluşturan, çoklu moleküler geçişlerin gözlemi ve analizi, gazın farklı evrelerinin bir bütün olarak incelenebilmesine olanak sağladığı için çok avantajlı bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Nitekim, bu çalışma göstermiştir ki, yıldız oluşumuna ev sahipliği yapan moleküler gazın fiziksel koşulları mm/mm-altı ışınımlar vasıtasıyla incelendiğinde, yıldız oluşumunun düzeyi hakkında diğer yöntemlerle uyum gösteren sonuçlara ulaşılabilmektedir. Bu çalışmada seçilen galaksiler kpc altında bir çözünürlükte incelenebilmiştir. Ancak, gözlemin yapıldığı açısal çözünürlüğün daha yüksek olması, yıldız oluşumu ve galaksi evrimi açısından daha net bilgilere ulaşmamızı sağlayacaktır. Özellikle anten dizilerinin son yıllardaki gelişimi ve bu alanda yapılan ciddi yatırımlar sayesinde sadece daha yüksek sinyal / gürültü oranına sahip gözlemler elde etmiyor, aynı zamanda daha uzaktaki galaksileri daha ayrıntılı gözleyebiliyoruz. Özellikle ALMA ve yakında faaliyete geçecek olan SKA teleskopları bu anlamda inanılmaz olanaklar sunuyor. Yeni nesil teleskop veya teleskop dizilerinin kullanılmasıyla, galaksimiz dışındaki galaksileri 100 pc altında bir çözünürlükte incelemek yıldız oluşumu ve galaksi evrimi hakkında bilgi birikimimize ciddi katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Bayet E. vd., 2006. A survey of submillimeter C and CO lines in nearby galaxies. **Astronomy & Astrophysics, (460):** 467.

Donovan Meyer J. vd., 2012. Resolved measurements of X_{co} in NGC 6946. **The Astrophysical Journal, (744):** 42.

Galilei, G., 1610. Sidereus Nuncius. Venedik Cumhuriyeti (İtalya), 66 sayfa.

Garber, S., 2007. Sputnik and the dawn of the new space age. (Web sayfası: **https://history.nasa.gov/sputnik/**), (Erişim tarihi: Haziran 2018).

Hertz, H., 1893. Electric Waves: Being Researches on The Propagation of Electric Action with Finite Velocity Through Space. Royal College of Physicians of Edinburgh, 310 sayfa.

Hollenbach, D., 1988. Heating and cooling of molecular clouds and their surfaces, 191-205. 2nd Haystack Observatory Meeting on Interstellar Matter, 10-12 June 1987, Westford, MA, MIT, 15.

Kennicutt R. C. vd., 2003. SINGS: The SIRTF nearby galaxies survey. **Astronomy Society of the Pasific, (115):** 928.

Kirk H., 2011. The Plaskett Lecture: Star formation in the Perseus molecular cloud. **Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, (115):** 51-60.

Krumholz M. R., 2011. Star formation in molecular clouds. XVth Special Courses of the National Observatory of Rio de Janeiro, 18-22 October 2010, Rio de Janeiro, 49.

Leroy, A. K. vd., 2009. Heracles: The HERA CO line extragalactic survey. **The Astronomical Journal, (137):** 4670-4694.

Markwardt C. B. vd., 2009. Astronomical data analysis software and systems xviii. **Astronomical Society of the Pacific, (411):** 251.

Mao Rui-Qing vd., 2010. An Extragalactic ^{12}CO J = 3-2 survey with the Heinrich Hertz Telescope. **The Astrophysical Journal, (724):** 1336-1356.

Murray, N., 2011. Star formation efficiencies and lifetimes of giant moleular clouds in the Milky Way. **The Astrophysical Journal, (729):** 133.

Paglione T. A. D. vd., 2001. A mapping survey of the ^{13}CO and ^{12}CO emission in galaxies. **The Astrophysical Journal, (135):** 183.

Planck Collaboration, 2014. Planck 2013 results: I. overview of products and scientific results. **Astronomy and Astrophysics**, manuscript PlanckMission2013.

Rebolledo D. vd., 2012. Giant molecular clouds and star formation in the non-grand design spiral galaxy NGC 6946. **The Astrophysical Journal, (757):** 155.

Sandstrom K. M. Vd., 2013. The CO-to-H_2 conversion factor and dust-to-gas ratio on kiloparsec scales in nearby galaxies. **The Astrophysical Journal, (777):** 33.

Sault R. J., Teuben P. J., Wright M. C. H., 1995. A retrospective view of MIRIAD, 433-436. Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Astronomical Data Analysis Software and Systems IV. Astron. Soc. Pac., San Francisco, 433.

Schinnerer E. vd., 2010. Multi-transition study of M51's molecular gas spiral arms. **The Astrophysical Journal, (719):** 1588-1601.

Tamara T. H. vd., 2003. The BIMA survey of nearby galaxies (BIMA SONG) II. the CO data. **The Astrophysical Journal, (145):** 259–327.

Topal S. vd., 2014. Molecular gas properties of the giant molecular cloud complexes in the arms and inter-arms of the spiral galaxy NGC 6946. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, (437):** 1434-1455.

Walsh W. vd., 2002. Molecular gas in NGC 6946. **Astronomy and Astrophysics, (388):** 7.

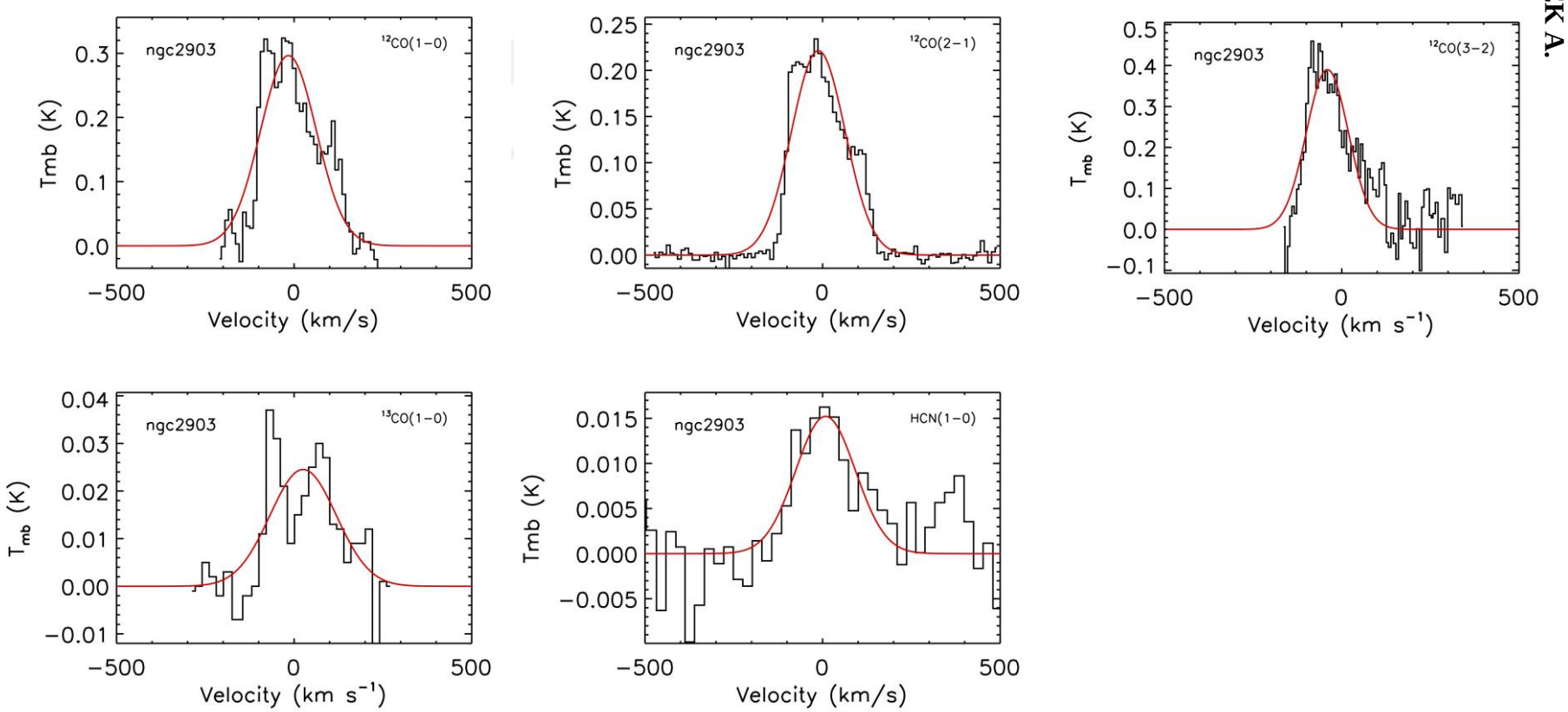
Ward-Thomson, D., Whitworth, A. P., 2011. An Introduction to Star Formation, Cambridge University Press, 208 sayfa, 48.

Williams J. P., 2000. The Structure and Evolution Of Molecular Clouds: from Clumps to Cores to the IMF. In: Protostars and Planets IV (Eds: V. Mannings, A. Boss, S. S. Russell). University of Arizone Press.

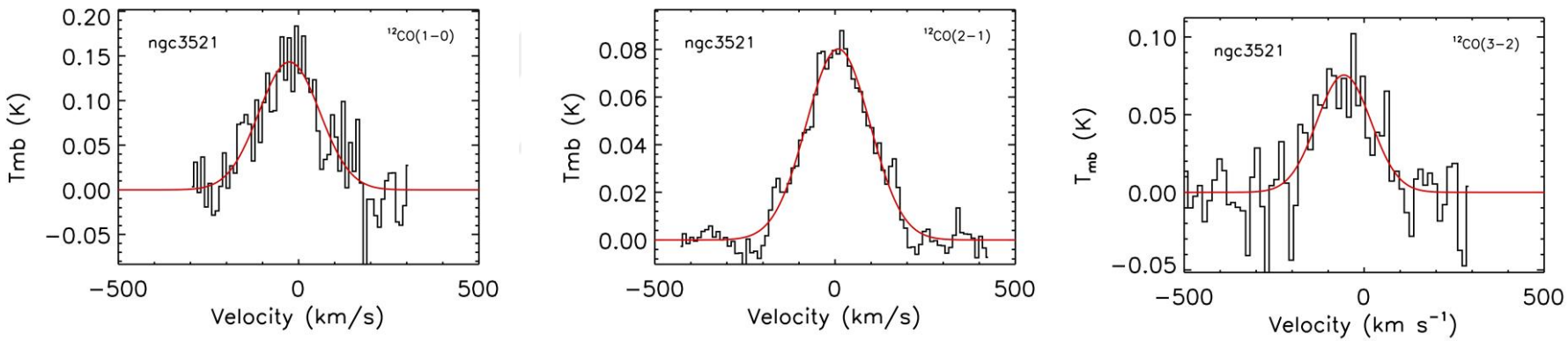
Young J. S., Sanders D. B., 1986. Distributions of (C-13)O emission in the disks of late-type spiral galaxies. **The Astrophysical Journal, (145):** 680-692.

EKLER

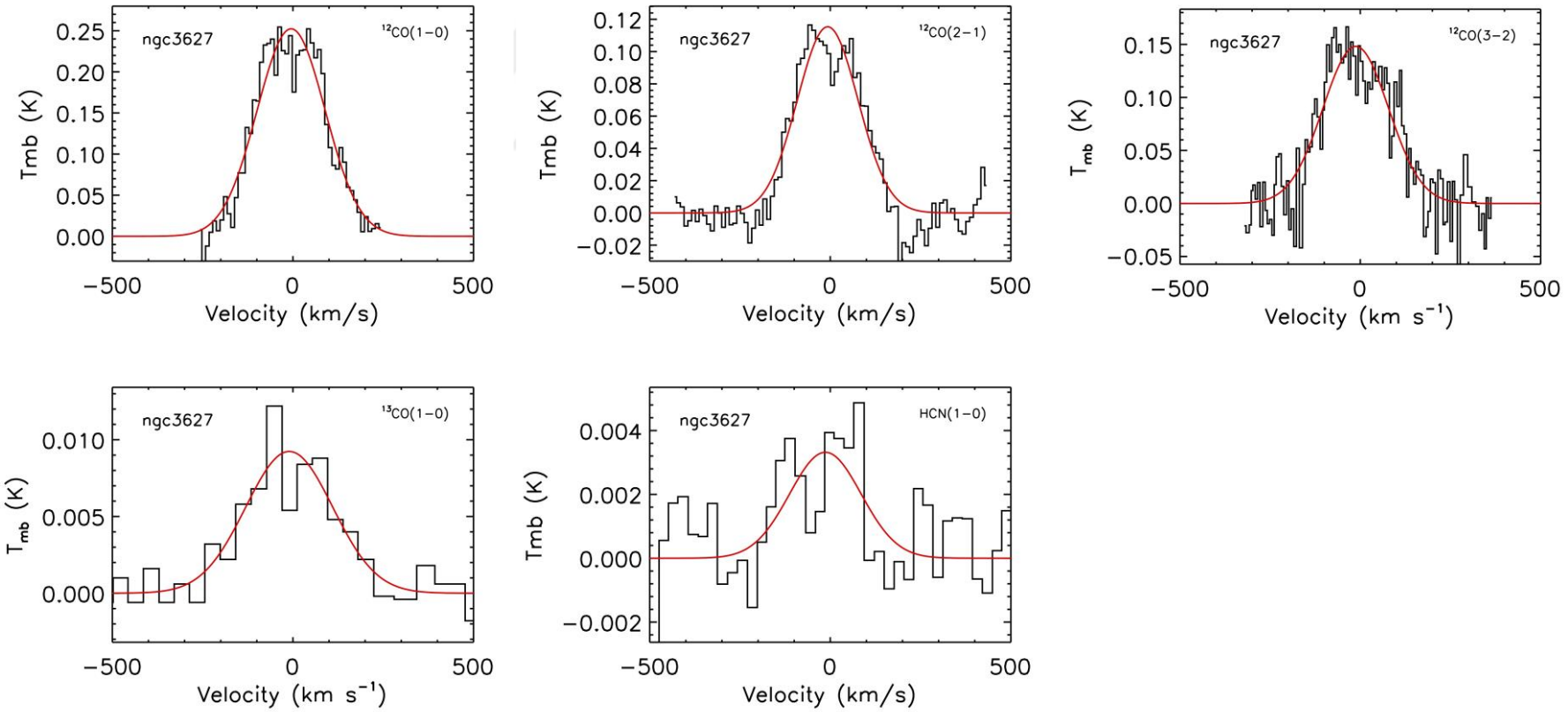
EK A. Galaksilerin Merkezlerinde Elde Edilen Moleküler Geçiş Tayfları



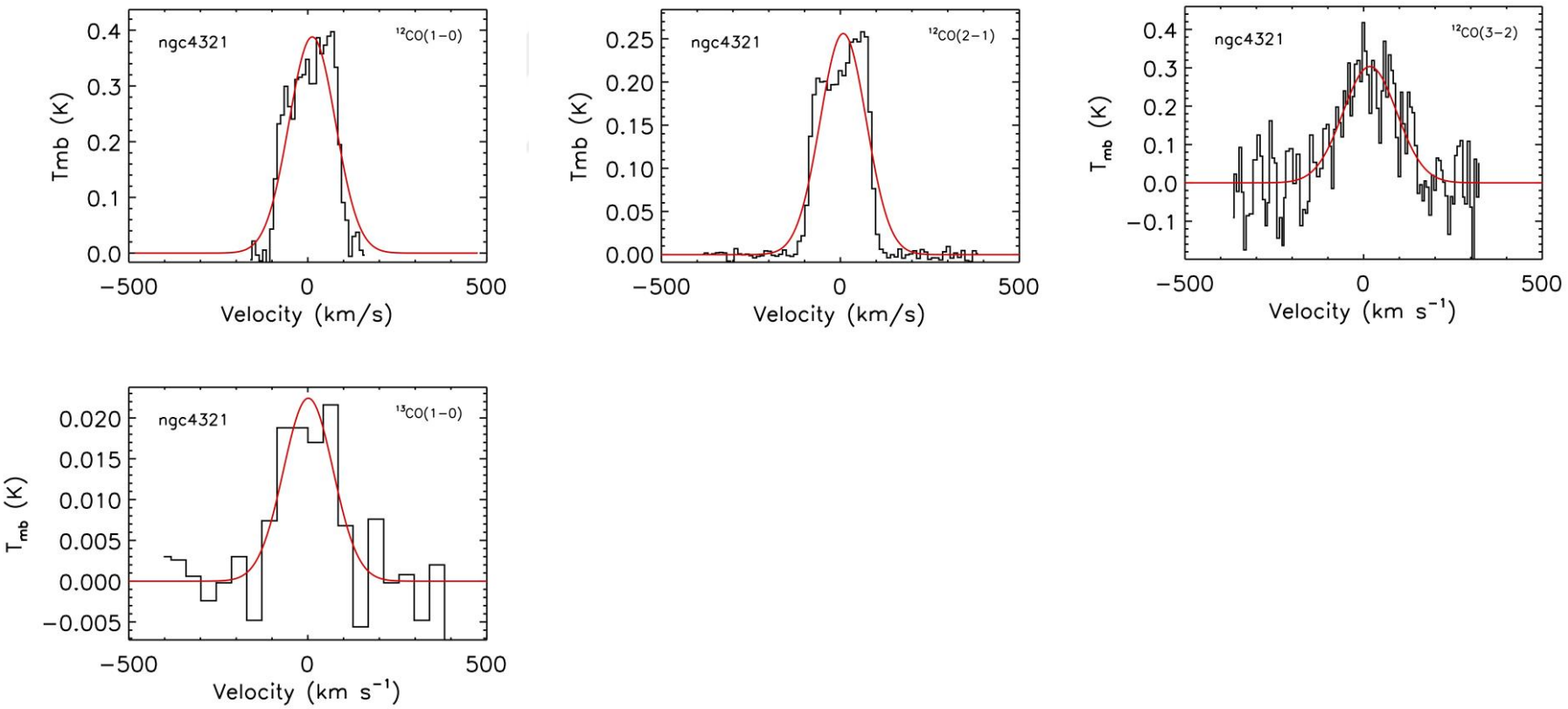
Şekil A.1. Galaksilerin merkezinden alınan tayfların görüntüleri. Sırasıyla ^{12}CO(1-0), ^{12}CO(2-1), ^{12}CO(3-2), ^{13}CO(1-0) ve HCN(1-0) geçişleri. Tayfların hangi galaksiye ve hangi moleküler geçişe ait olduğu her bir panelin sırasıyla sol ve sağ üstünde belirtilmiştir. Kırmızı çizgi yapılan Gauss fitini göstermektedir.



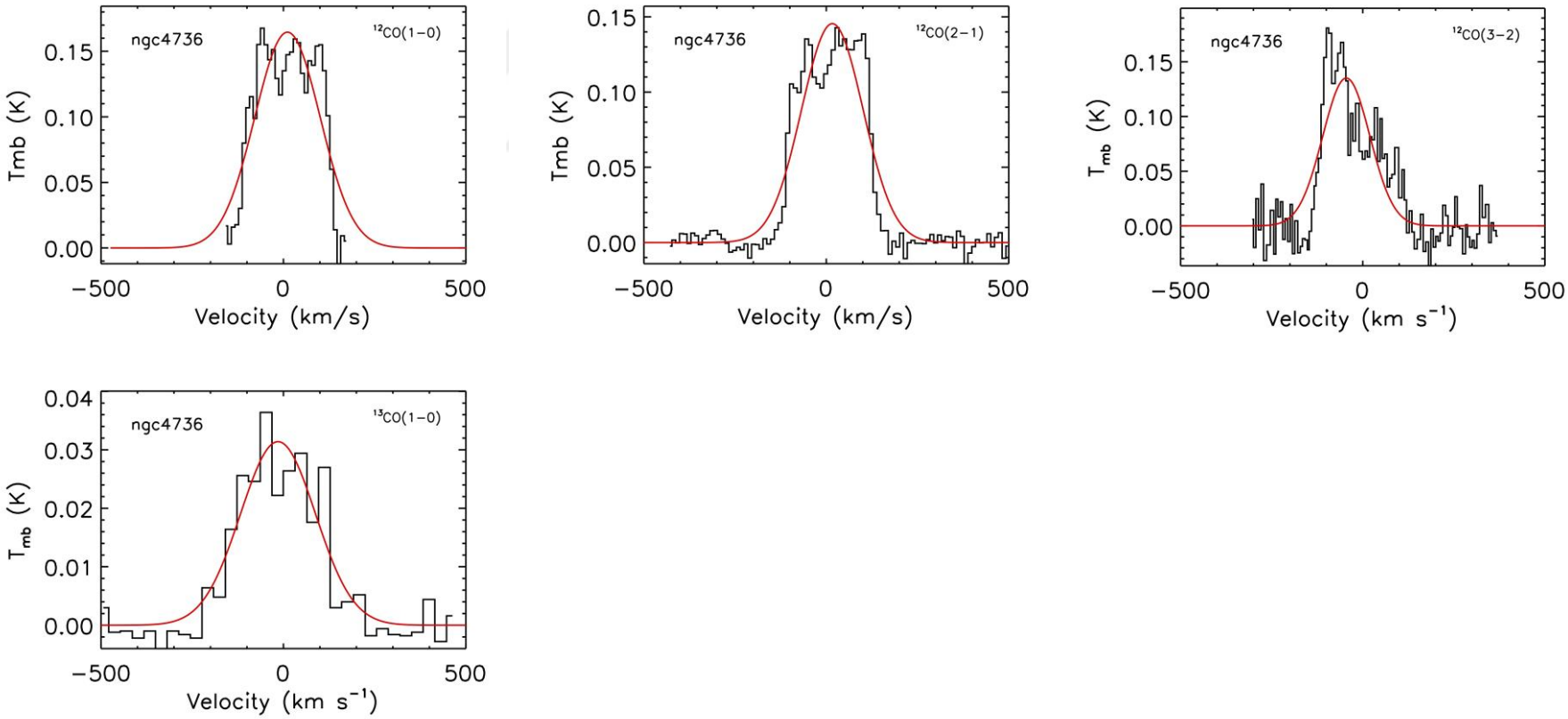
Şekil A.2. NGC 3521 galaksisi için Şekil A.1.'deki aynı görüntüler.



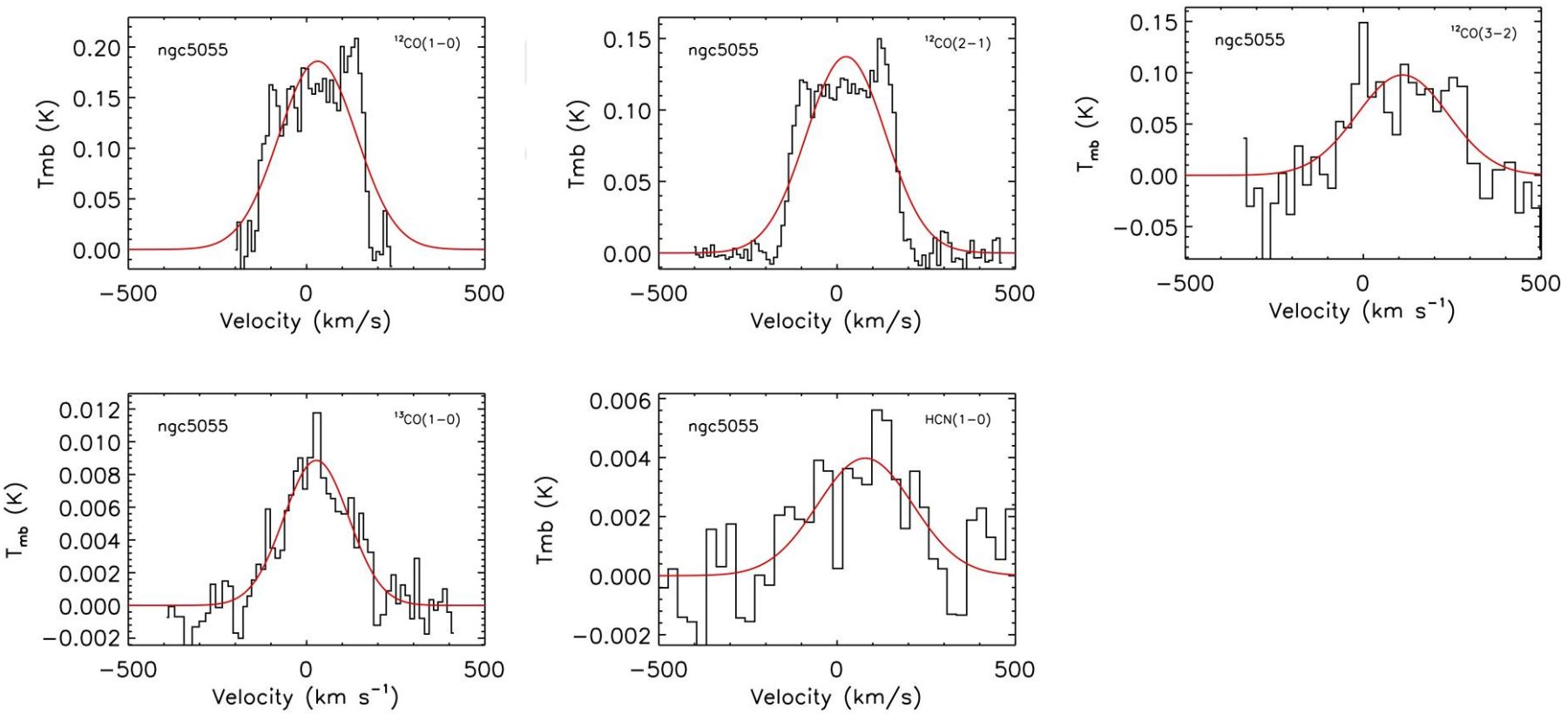
Şekil A.3. NGC 3627 galaksisi için Şekil A.1.'deki aynı görüntüler.



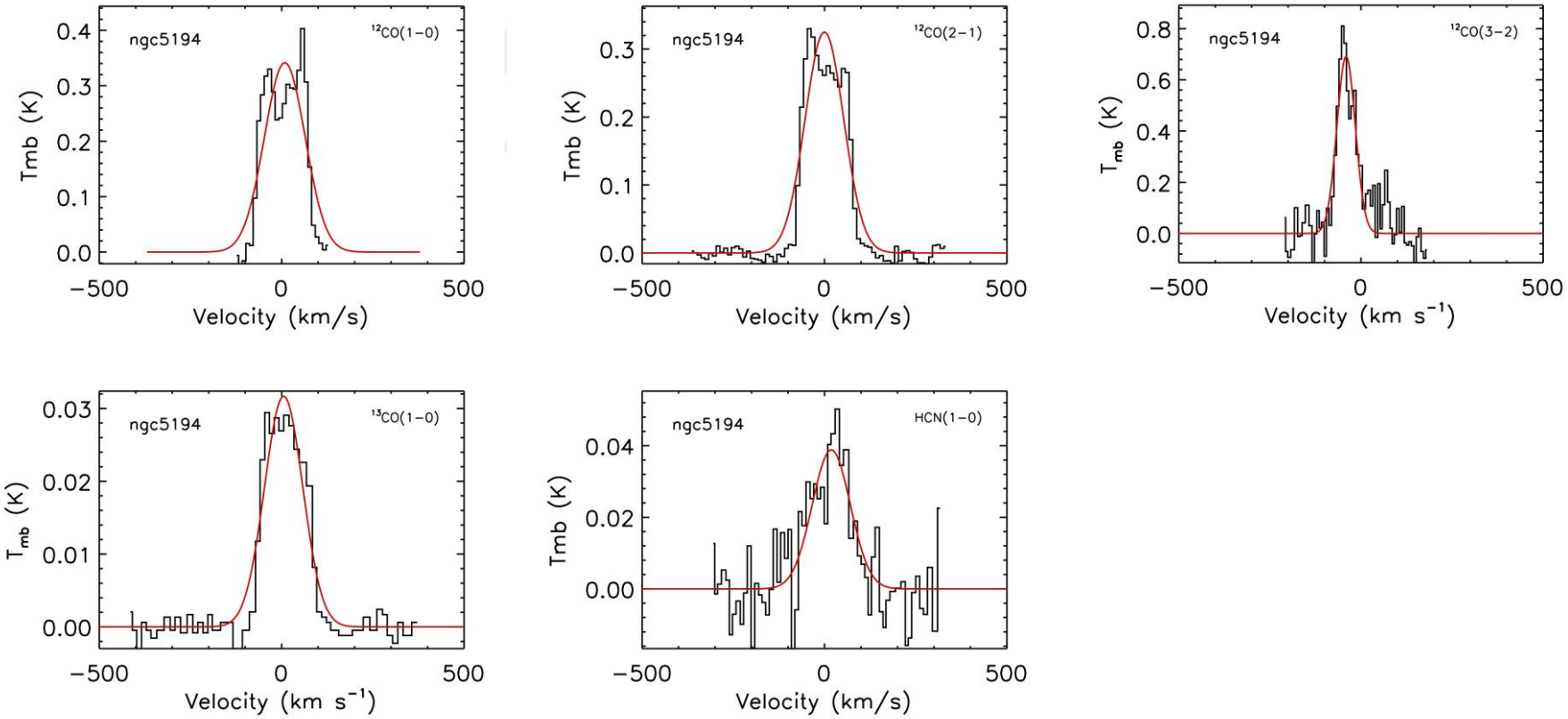
Şekil A.4. NGC 4321 galaksisi için Şekil A.1.'deki aynı görüntüler.



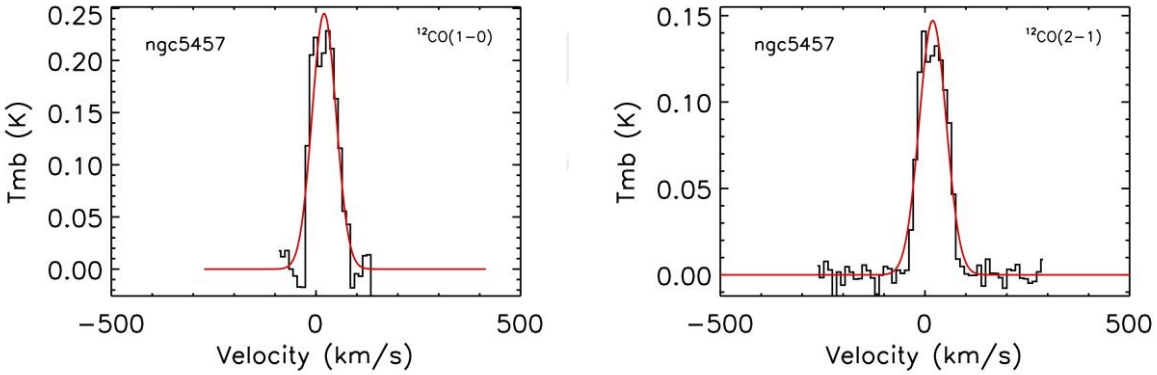
Şekil A.5. NGC 4736 galaksisi için Şekil A.1.'deki aynı görüntüler.



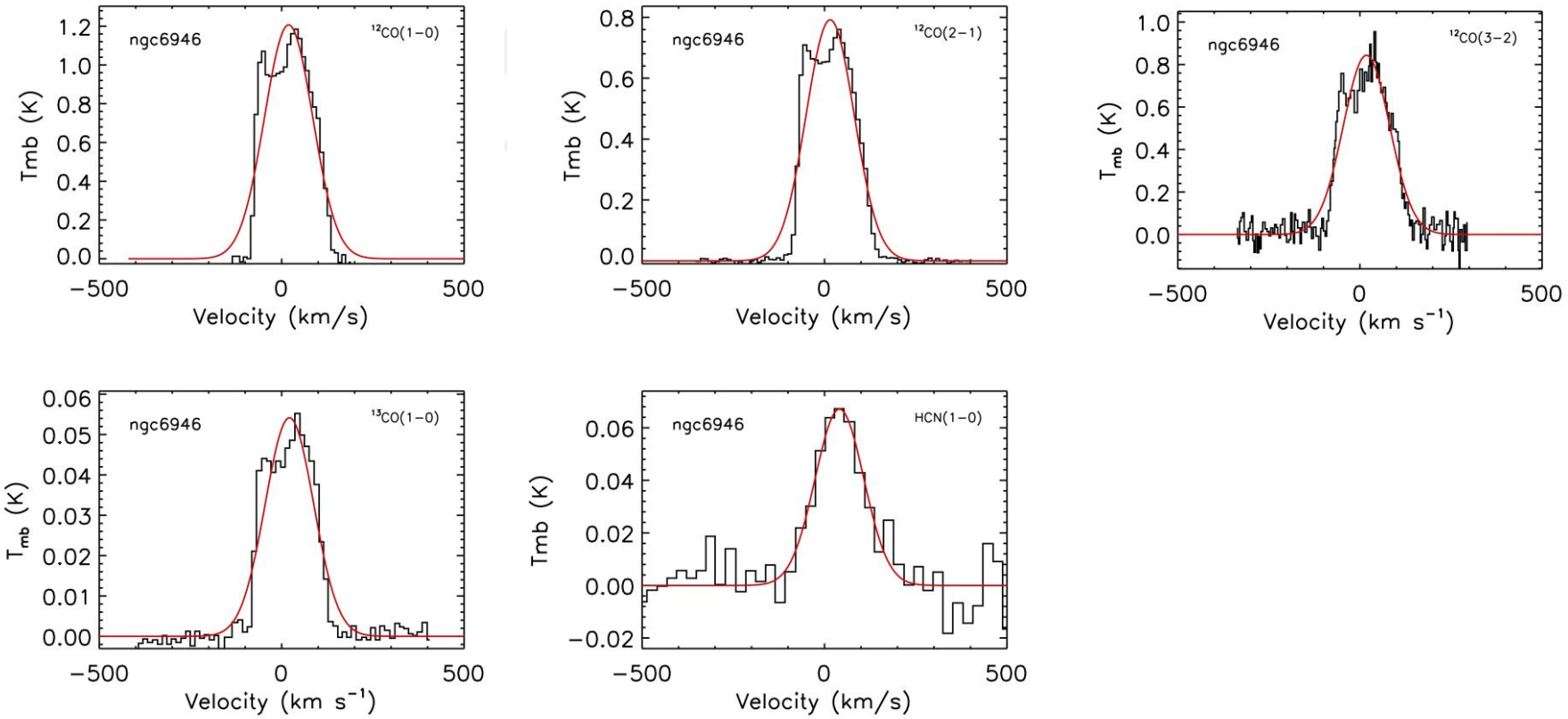
Şekil A.6. NGC 5055 galaksisi için Şekil A.1.'deki aynı görüntüler.



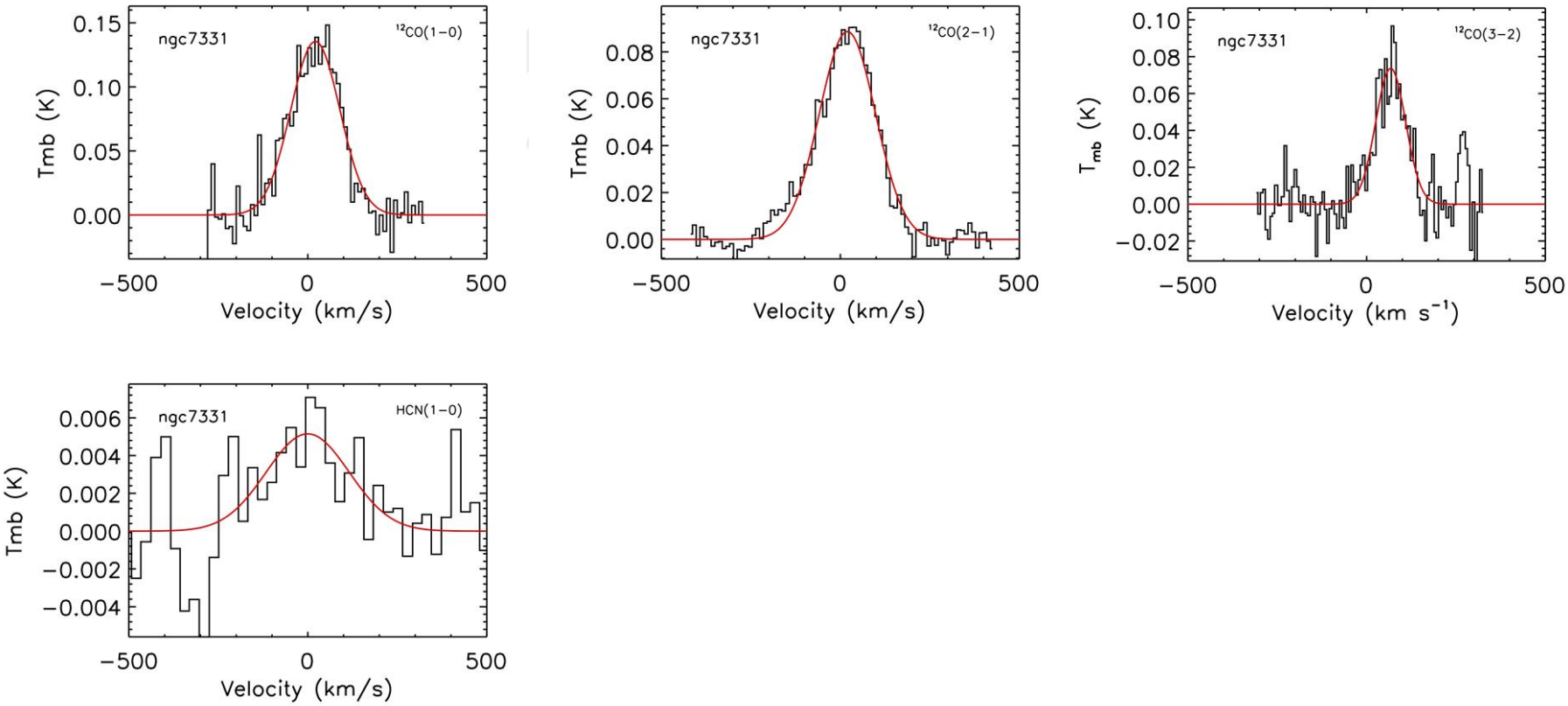
Şekil A.7. NGC 5194 galaksisi için Şekil A.1.'deki aynı görüntüler.



Şekil A.8. NGC 5457 galaksisi için Şekil A.1.'deki aynı görüntüler.



Şekil A.9. NGC 6946 galaksisi için Şekil A.1.'deki aynı görüntüler.



Şekil A.10. NGC 3627 galaksisi için Şekil A.1.'deki aynı görüntüler.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Kerem Osman ÇUBUK
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri: 04.03.1988 - Ankara
Medeni Durum: Bekar
e-mail: keremcubuk@gmail.com
Yazışma Adresi: Prof. Dr. Ahmet Taner Kışlalı Mahallesi, 2893. Sokak, Mutlu Kervan Sitesi, 4/12, Çayyolu, Çankaya, Ankara

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü	2018
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü	2014
Lise	Çankaya Anadolu Lisesi, Ankara	2006

Doktora eğitimi için **Armagh Observatory and Planetarium**, Queen's University Belfast'tan kabul yazısı alındı. **1 Ekim 2018** tarihinde tam burslu eğitimime başlamak üzere Armagh, Kuzey İrlanda'da olacağım.

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2016-2017	Kayseri Bilim Merkezi	Astronom

YABANCI DİL

İngilizce – C1

Almanca – B1

YAYINLAR

1. ÇUBUK K.O. vd., "Radio Observations and Evaluation of the Meteor Showers Between May 4 and August 25, 2012", Proceedings of the Meteor Conference, La Palma, Canary Islands, Spain, 20-23 September 2012, International Meteor Organization, ISBN 978-2-87355-024-4, p. 221-223, Poster.

2. ÇUBUK K.O. vd., " Türkiye'de Öğrenci Katkılarıyla Yapılabilecek Temel Radyo Çalışmaları ve Yöntemleri ", 18. Ulusal Astronomi Kongresi, 27 Ağustos – 1 Eylül 2012, İnönü Üniversitesi, Malatya, TÜRKİYE: s. 233-237.

KATILINAN ETKİNLİKLER

Katılımcı "**35. Uluslararası Meteor Konferansı**", Egmond/HOLLANDA, Haziran 2016

Katılımcı "**8. IRAM 30m Yaz Okulu**", Granada/İSPANYA, Eylül-2015 (Karşı ödemeli tam burslu)

Katılımcı "**6. Avrupa Radyo İnterferometre Okulu**", ESO Garching/ALMANYA, Eylül-2015 (Karşı ödemeli burslu)

Katılımcı "**34. Uluslararası Meteor Konferansı**", Mistelbach/AVUSTURYA, Ağustos 2015

Katılımcı "**19. Ulusal Astronomi Kongresi**", ODTÜ, Ankara/TÜRKİYE, Şubat 2015

Katılımcı "**8. Ulusal Astronomi Öğrenci Kongresi**", ODTÜ, Ankara/TÜRKİYE, Şubat 2015

Katılımcı "**33. Uluslararası Meteor Konferansı**", Giron/FRANSA, Eylül 2014

Planetaryum Sorumlusu "**1. Kars Uluslararası Kültür ve Turizm Günleri**", Kars/TÜRKİYE, Haziran 2014

Katılımcı "**32. Uluslararası Meteor Konferansı**", Poznan/POLONYA, Ağustos 2013

Organizatör "**5. Astronomi Günleri**" – Kayseri/TÜRKİYE, November 2012

Katılımcı "**31. Uluslararası Meteor Konferansı**", La Palma Adası/Kanarya/İSPANYA, Eylül 2012

Poster Sunum "**18. Ulusal Astronomi Kongresi**" Malatya/ TÜRKİYE, Ağustos 2012

Sözlü Sunum "**7. Ulusal Astronomi Öğrenci Kongresi** " Malatya/TÜRKİYE, Ağustos 2012

Uzman Astronom "**Gölhisar Astronomi Şenliği**", Burdur/TÜRKİYE, Haziran 2012

Uzman Astronom "**Uzayın Derinliklerinden Tarihin Geçmişine GAP Astronomi Yolculuğu**", Güneydoğu Anadolu/TÜRKİYE, Ekim 2010

Organizatör "**Yuri's Night WSP '10**" - Kayseri/TÜRKİYE, Nisan 2010

Organizatör "**Yuri's Night WSP '09**" - Kayseri/TÜRKİYE, Nisan 2009

Organizatör "**Yuri's Night WSP '08**" - Kayseri/TÜRKİYE, Nisan 2008

BİLGİSAYAR BİLGİLERİ

Windows (95, 98, Me, XP, 7, 8.1, 10)

Linux (Pardus, Ubuntu)

Digistar 5

Office (Open Office, MS Office, Libre Office)

Veri / Görüntü İşleme (IRAF, Gildas, CASA)

Programlama (FORTRAN, Python)

Web (Html, Php)

ÜYELİKLER

Uluslararası Meteor Orgazinasyonu Uluslararası 2012-....(devam ediyor), Oylayan Üye

Radio Wave Hunters Ulusal 2011-....(devam ediyor), Kurucu Üye

Aster Astronomi Kulübü Kayseri 2011-2014, Yönetim Kurulu Danışmanı

Aster Astronomi Kulübü Kayseri 2008-2011, Kulüp Başkanı