

Doç. Dr. İbrahim KÜÇÜK ve Dr. Tom OOSTERLOO danışmanlığında Nazlı Derya DAĞTEKİN tarafından hazırlanan “Disk Galaksilerin Kinematik Modellemesi: Bükülmüş Spiral Galaksilerde HI Halo Araştırması” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

09.08.2010

JÜRİ:

Başkan :Doç. Dr. Serap AK

Üye :Doç. Dr. İbrahim KÜÇÜK

Üye :Yrd. Doç. Dr. Ferhat F. ÖZEREN

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 31.08/2010 tarih ve 2010/3.1-0.2 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

31.08.2010..


Prof.Dr. Necmettin MARAŞLI

Enstitü Müdürü

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

**DİSK GALAKSİLERİN KİNEMATİK MODELLEMESİ: BÜKÜLMÜŞ
SİRAL GALAKSİLERDE H I HALO ARAŞTIRMASI**

Proje No: FBY.9.1029

Proje Türü: Tez Projesi, Yüksek Lisans

SONUÇ RAPOR

Proje Yürütücüsü: Doç. Dr. İbrahim KÜÇÜK
Fen Fakültesi

Öğrenci: Nazlı Derya DAĞTEKİN

Haziran 2011
KAYSERİ

ÖNSÖZ

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (Proje Numarası: FBY.9.1029) ve Hollanda Radyo Astronomi Enstitüsü (ASTRON) tarafından desteklenmiştir.

Ayrıca Hollanda Radyo Astronomi Enstitüsü (ASTRON) 'nden Dr. Tom A. OOSTERLOO ve Dr. Gyula JOZSA'ya çok teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
Şekil Listesi	v
Özet	vi
Abstract	vii
Giriş	1
Gereç ve Yöntem	2
Bulgular	2
Tartışma ve Sonuç	5
Gelecek Planları	13
Kaynaklar	14

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. NGC4414, optik: HST, radyo: WSRT [4].	1
Şekil 2. Tilted-Ring Modelindeki çemberlere bir örnek [2].	3
Şekil 3. Tirific''teki oryantasyonel parametrelerin tanımları [2].	4
Şekil 4. Sol: Optik ve H I toplam intensite haritası. Kırmızı: gözlem verileri, sarı: iç disk temsil eden model, yeşil: kinematik büyük eksen. Sağ: Oldukça fazla bükülmüş iç diskin sanal olarak opaklaştırılmış modeli.	6
Şekil 5. Mavi: Gözlem verisi, Siyah: İç disk temsil eden model, Pembe: Dış disk temsil eden model. Kontur seviyeleri: 1, 4, 16 mJy/beam.	7
Şekil 6. Elde edilen son modelin parametre değerleri. SBR: Yüzey parlaklığı, PA: Pozisyon Açısı, INC: Eğiklik, VROT: Dönme hızı, DISP: Dispersiyon, VRAD: Radyal Hız, VVER: Dikey hız.	9
Şekil 7. Mavi: Gözlemsel veriler, Pembe: Dış disk temsil eden model.	10
Şekil 8. Mavi: Gözlemsel veriler, Pembe: Dış disk temsil eden model. Hıza karşılık pozisyon görüntüleri.	11

ÖZET

NGC 5204, birbirine bağı fakat yarıçap ile birlikte oryantasyonel parametreleri hızlıca değışen bir iç ve bir dış diske sahip ve böylece oldukça fazla bükülmüş olan bir galaksidir. NGC 5204 galaksisinin H I kinematiğı ile ilgili önceki çalışmalar göstermiştir ki, gaz halo'nun varlığını gösteren, yasak hızlarda yavaşça dönen bir gaz bileşeni vardır. Bükülmeler ve geniş gaz halo yapılarının varlığı sıklıkla gaz aktarımları ve karşılıklı etkileşimler şeklinde kendini gösteren galaksiler arası etkileşim ile ilişkilidir. Bu iki kavramın bir arada gözükmesi ise H I kinematiğı çalışılarak aralarındaki ilişkiyi çalışmak için bir fırsat doğurmuştur. Bu proje çalışmasında, NGC 5204'un H I bileşeninin kinematiğı ve geometrisi, Westerbork Synthesis Radio Telescope, (WSRT) ile yapılmış H I gözlemlerinin sonuçlarından elde edilen veri küplerine çok bileşenli tilted-ring model fiti uygulanarak modellenmiş ve elde edilen sonuçlar temel alınarak bükülmeler ve gaz halo arasındaki olası ilişki tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Galaksilerde bükülme, Nötral hidrojen, Radyo astronomi

ABSTRACT

NGC 5204 is an extremely warped spiral galaxy: it has an inner disk and an outer disk which are connected but the disk orientation changes rapidly with radius. A former study of the H I kinematics in NGC 5204 shows that in addition a slowly rotating extraplanar gas component is detected at forbidden velocities, indicating the presence of a gaseous halo.

Both phenomena, warping and the presence of extended gasous halos are frequently connected to interactions of galaxies with their surroundings, in form of tidal interactions or gas accretion.

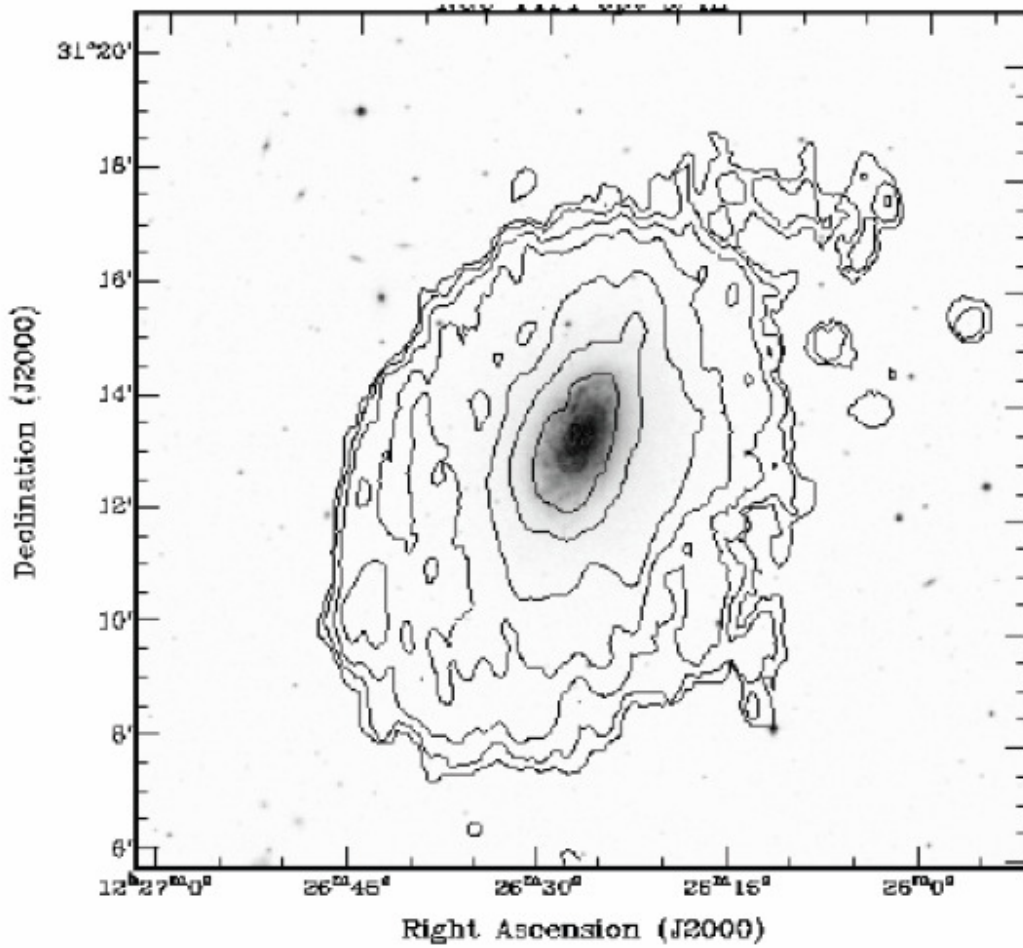
The occurrence of both structures in the same system motivates a more complete study of the H I kinematics, searching for indications of a connection between both phenomena.

In this thesis project the kinematics and the geometry of the H I component in NGC 5204 is modeled by fitting a multi component tilted ring model to an existing data cube resulting from H I observations with Westerbork Synthesis Radio Telescope (WSRT). Based on the results, a possible relation between warps and gaseous halos is discussed in this work.

Key words: Warp in galaxies, Neutral hydrogen, Radio astronomy

1. Giriş

Geniş ölçekte gaz, galaksilerin orijin ve evriminin imzasıdır. Galaksilerdeki gaz, özellikle nötral hidrojen (H I), galaksilerin kinematiğini anlamak için çok önemli bir role sahiptir. 21 cm çizgi gözlemleri, H I dağılımı ve galaksilerdeki gazın kinematiği hakkında bilgi verir. H I ışıması, bir galaksinin neredeyse tüm radyal boyutlarından algılandığı için, veriler o galaksinin kinematiği ve dinamiği hakkında çok güçlü bir kaynak haline gelir. H I, galaksilerde optik diskinde çok ötesine uzandığı için galaksinin sınırlarını, galaksiler arası etkileşim ve gaz aktarımlarını belirlemek içinde çok önemli bir araçtır. Şekil 1’de, H I,ın galaksinin optik diskinin ne kadar ötesinde yer kapladığını görmek için örnek olarak NGC 4414’un optik görüntüsünün üzerine H I gözlem verileri konturlanmış şekli verilmiştir.



Şekil 1. NGC4414, optik: HST, radyo: WSRT [4].

Bu tez projesinde çalışılan NGC 5204, çok fazla bükülmüş spiral bir galaksidir. Disk galaksilerde bükülmeler oldukça sık rastlanan bir durumdur. Bükülmeler esasen H I diskinde gözlenir çünkü bükülmeler optik diskin sönükleştiği yerde ortaya çıkar [3]. Hem bükülmeler hem de geniş gaz halo kavramları sıklıkla galaksilerin çevreleriyle etkileşimi ile ilişkilidir. Bu iki kavramın bir arada bulunması ise, birbirileri ile olan ilişkisine dair bir işaret araştırmak için H I kinematiğini çalışmaya sevk etmiştir. Bu tez projesinin ana hedefi bükülmeler ve H I halosu arasındaki ilişkiyi tartışmaktır. NGC 5204“ün H I bileşeni, WSRT“de yapılan H I gözlemlerinden elde edilen veri küplerine tilted-ring model fiti uygulanarak, modellenerek kinematiği ve geometrisi çalışılmıştır. Sonuçlara dayanarak ta bükülmeler ve gaz halonun arasındaki olası ilişki tartışılmıştır.

2. Gereç ve Yöntem

NGC 5204, birbirine bağlı fakat yarıçap ile birlikte oryantasyonel parametreleri hızlıca değişen bir iç ve bir dış diske sahip ve böylece oldukça fazla bükülmüş olan bir galaksidir. NGC 5204 galaksisinin H I kinematiği ile ilgili önceki çalışmalar göstermiştir ki, gaz halonun varlığını gösteren, yasak hızlarda yavaşça dönen bir gaz bileşeni vardır. Bükülmeler ve geniş gaz halo yapılarının varlığı sıklıkla gaz aktarımları ve karşılıklı etkileşimler şeklinde kendini gösteren galaksiler arası etkileşim ile ilişkilidir. Bu iki kavramın bir arada gözükmesi ise H I kinematiği çalışılarak aralarındaki ilişkiyi çalışmak için bir fırsat doğurmuştur.

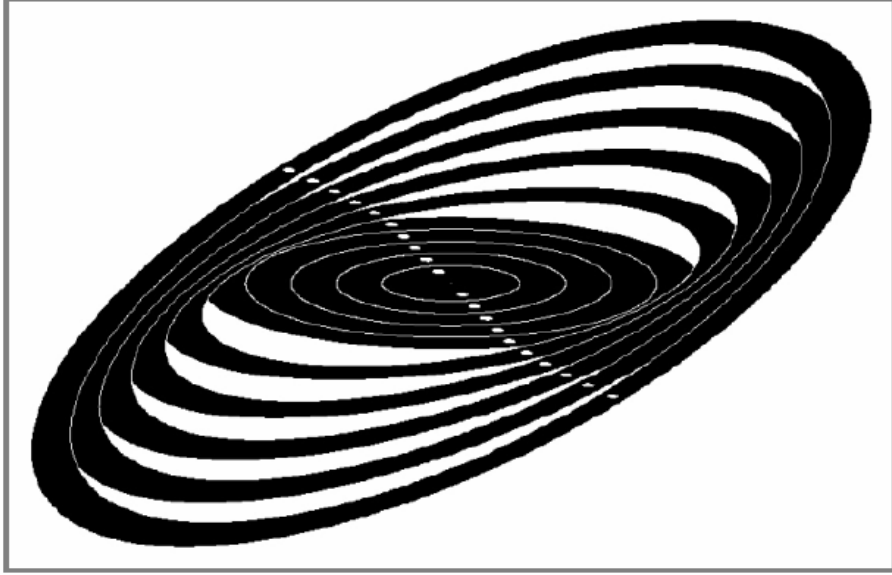
Bu tez projesinde, NGC 5204’ün H I bileşeninin kinematiği ve geometrisi, WSRT ile yapılmış H I gözlemlerinin sonuçlarından elde edilen veri küplerine çok bileşenli tilted-ring model fiti uygulanarak modellenmiş ve elde edilen sonuçlar temel alınarak bükülmeler ve gaz halo arasındaki olası ilişki tartışılmıştır.

3. Bulgular

Tilted-Ring Modeli

Tilted-ring modeli, gözlenen galaksiyi birden fazla birbirinden bağımsız çembere ayırarak (Şekil 2.) daha sonra ayrı ayrı fit etmektedir. Veri küpünü fit etmede ayrı ayrı çemberler kullanmanın avantajı, daha esnek biçimde dönme hızını, yüzey parlaklığını, eğikliği, pozisyon

açısını, sistem hızını, yüksekliği ve her çember için merkezi pozisyonu ayrı ayrı ayarlayabiliyor olmamızdır.



Şekil 2. Tilted-Ring Modelindeki çemberlere bir örnek [2].

Tilted-ring modeli ilk olarak M83 için Rogstad et al. (1974) tarafından yapılandırılmıştır ve artık galaksilerin kinematik modellemesi için bir standart haline gelmiştir. Böylece tilted-ring modeli geliştirilerek çok daha kullanışlı hale getirilmiş ve en fazla kullanılan model olmuştur. Hız alanları veya veri küplerine fit yapılarak spektroskopik verilerin analizinin yapılabildiği birçok rutin vardır. Tilted-ring modeli gözlemsel verilere direkt olarak iki metodla fit edilebilir:

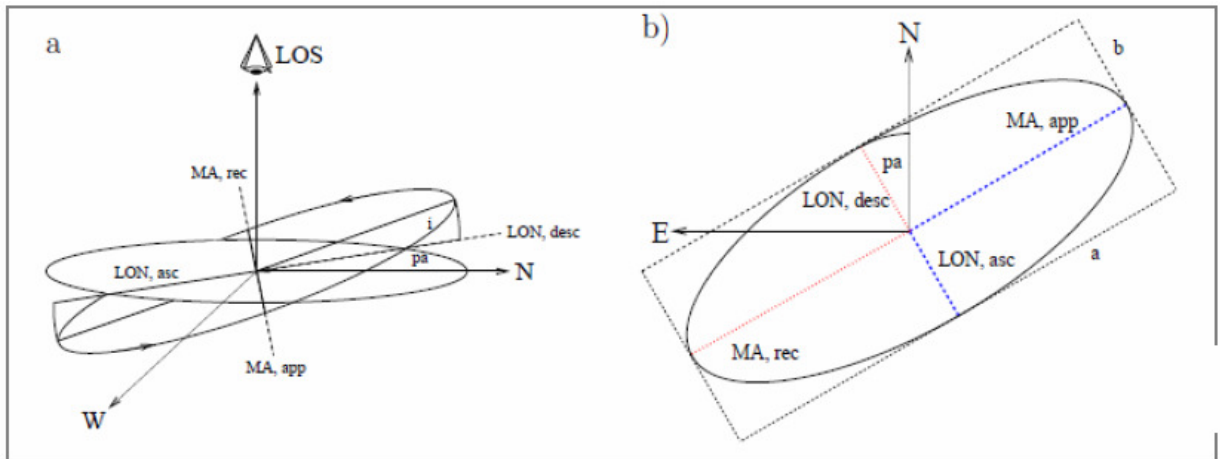
- Hız alanlarına fit (Begemann 1987)
- Direkt olarak veri küplerine fit (Corbelli & Schneider 1997, Jozsa et al. 2007)

Bu yüksek projede ise TiRiFiC [2] kullanılarak direkt olarak veri küplerine fit yapılmıştır. Bundan sonraki kısmın amacı Tirific kullanılarak tilted-ring modelinin nasıl uygulandığını anlatmak ve hem modelleme hem tekniğin içinde kullanılan parametreleri açıklamaktır.

TiRiFiC (Tilted-Ring-Fitting-Code)

Tirific χ^2 yaklaşımı kullanarak tilted-ring modelini direkt olarak veri küplerine uygulayan bir programdır [2]. Bir galaksinin diski kalınlığında olan ve gözlemciye göre değişen yüzey yoğunluğu ve oryantasyona sahip bir set dönen çembere ayrılır. Daha sonra programın algoritması χ^2 küçültme metodu kullanarak gözlem verilerinden elde edilen veri küplerine en uygun olan model veri küpleri oluşturur. Bu yazılım, H I çizgi gözlemi yapılmış çok fazla bükülmüş galaksilere tilted-ring modeli fiti yapmak için yazılmıştır. Fakat elbette diğer tüm spektroskopik verilere tilted-ring modeli uygulamak için kullanılabilir. Tirific'in tilted-ring modeli farklı yarıçaplarda bir set parametreye sahiptir. Kullanıcı bir dizi çember tanımlar ve her çember için aşağıdaki parametrelere değerler verir.

- ☐ Yarıçap (arc sec)
- ☐ Dönme hızı (km s-1)
- ☐ Yükseklik
- ☐ Yüzey parlaklığı (Jy km s-1 arc sec-2)
- ☐ Eğiklik
- ☐ Pozisyon açısı
- ☐ Çemberlerin merkezi pozisyonunun sağ açıklığı
- ☐ Çemberlerin merkezi pozisyonunun dik açıklığı
- ☐ Sistemik hız (km s-1).



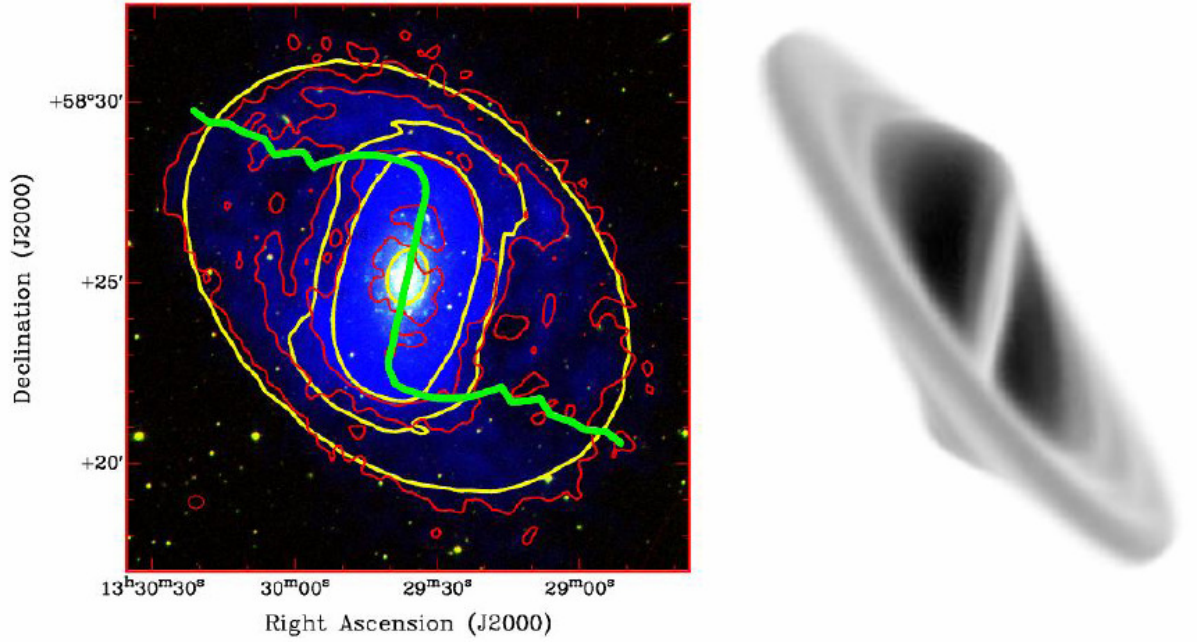
Şekil 3. Tirific'teki oryantasyonel parametrelerin tanımları [2].

Tüm bu parametreler editlenebilir ve GIPSY altında çalıştırılabilmektedir. Ve aynen veri indirgeme adımlarında olduğu gibi görüntüleme için KARMA kullanılabilir. Tirific, sonuçların görülmesinde birkaç görüntüleme seçeneğine sahiptir [2]. Çalışılan galaksinin parametreleri için başlangıç değer tahminleri genellikle literatürden elde edilir. Galaksinin merkezi pozisyonu ve oryantasyonel parametreler olan eğiklik ve pozisyon açısı optik verilerden de alınabileceği gibi galaksinin H I diskinin oryantasyonundanda elde edilebilir. Tam burada vurgulanması gereken birkaç nokta vardır. Literatürden sistem hızı ve merkezi pozisyon değerlerini aldıktan sonra tilted-ring algoritması yarıçap ile değişen diğer parametreleri ortalama değerleri ile sabit tutarak çözer. Benzer bir yolla büyük eksenin pozisyon açısı fit edilmeye çalışılabilir. Eğer her bir çemberin farklı eğikliğe sahip olduğu görülürse bunun bükülme yarattığı açıkça fark edilecektir. Bu durumda kpvslice uç hızlar ve için ilk tahmin yapılarak dönem hızını, , hesaplamak için kullanılabilir.

$$\begin{aligned}\Delta V &= V_+ - V_- \\ \Delta V &= 2V_{rot} \cdot \sin i\end{aligned}\tag{1}$$

4. Tartışma ve Sonuç

NGC 5204 galaksisinin H I kinematiki ile ilgili önceki çalışmalar göstermiştir ki, gaz halonun varlığını gösteren, yasak hızlarda yavaşça dönen bir gaz bileşeni vardır [1]. NGC 5204, birbirine bağlı fakat yarıçap ile birlikte oryantasyonel parametreleri hızlıca değişen bir iç ve bir dış diske sahip ve böylece oldukça fazla bükülmüş olan bir galaksidir.



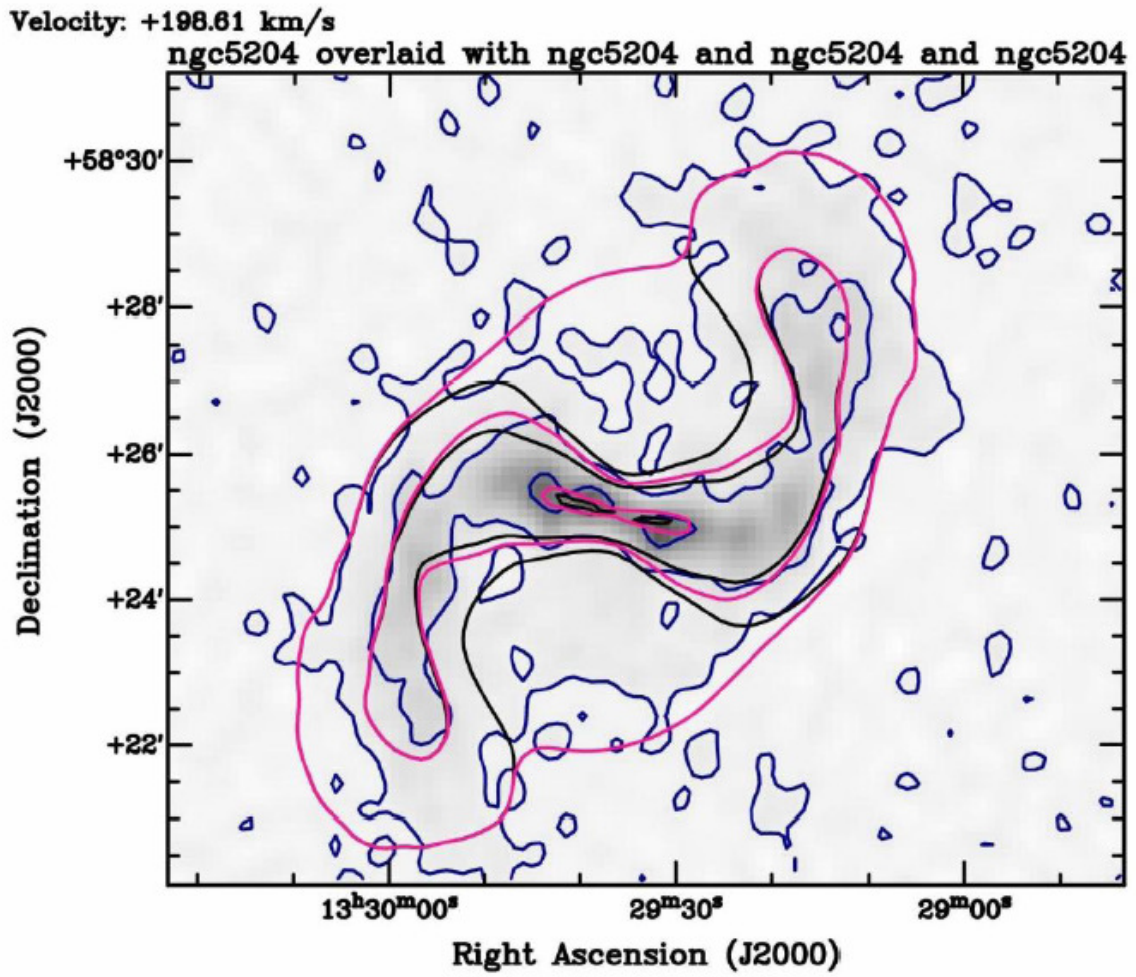
Şekil 4. Sol: Optik ve H I toplam intensite haritası. Kırmızı: gözlem verileri, sarı: iç diski temsil eden model, yeşil: kinematik büyük eksen. Sağ: Oldukça fazla bükülmüş iç diskin sanal olarak opaklaştırılmış modeli.

Nötral gaz halo sadece fountain modeli ile açıklanamamaktadır [5]. Aktarım olaylarından kaynaklanan düşük açıl momentumu sahip gazda hesaba katmak gerekmektedir. Peki, bu galakside halodaki gaz anomaliliğinin kaynağı ve bükülmeler ile ilişkisi nedir?

Bu tez projesinde halodaki H I'nın diskteki bükülme ile olası ilişkisini araştırmak için dış diskin kinematik modellemesi, WSRT ile yapılan H I spektral çizgi gözlemlerinden elde edilen veri küplerine, TiRiFiC kullanılarak direkt olarak tilted-ring model fiti uygulanarak yapılmıştır. Tilted-ring modeli için 7 tane çember tanımlanmış ve her bir çember için yukarıda bahsedilen parametrelere değerler atanmıştır. Elbette sistem hızı, merkezi pozisyon gibi değerler literatürden alınmış ve modelleme için iki yaklaşım yapılarak başlangıç tahminleri ve hesaplamalar yapılmıştır. Bu iki yaklaşımdan biri iç diskin iç çemberlerinin değerlerine yakın değerler kullanmak diğeri ise iç diskin dış çemberlerinin değerlerine yakın değerler kullanmaktır. Bu iki

yaklaşımın uygulamanın amacı çok fazla bir bükülmeye sahip iç diskin, dış H I bileşeni ile benzer oryantasyona sahip olup olmadığını araştırmaktır.

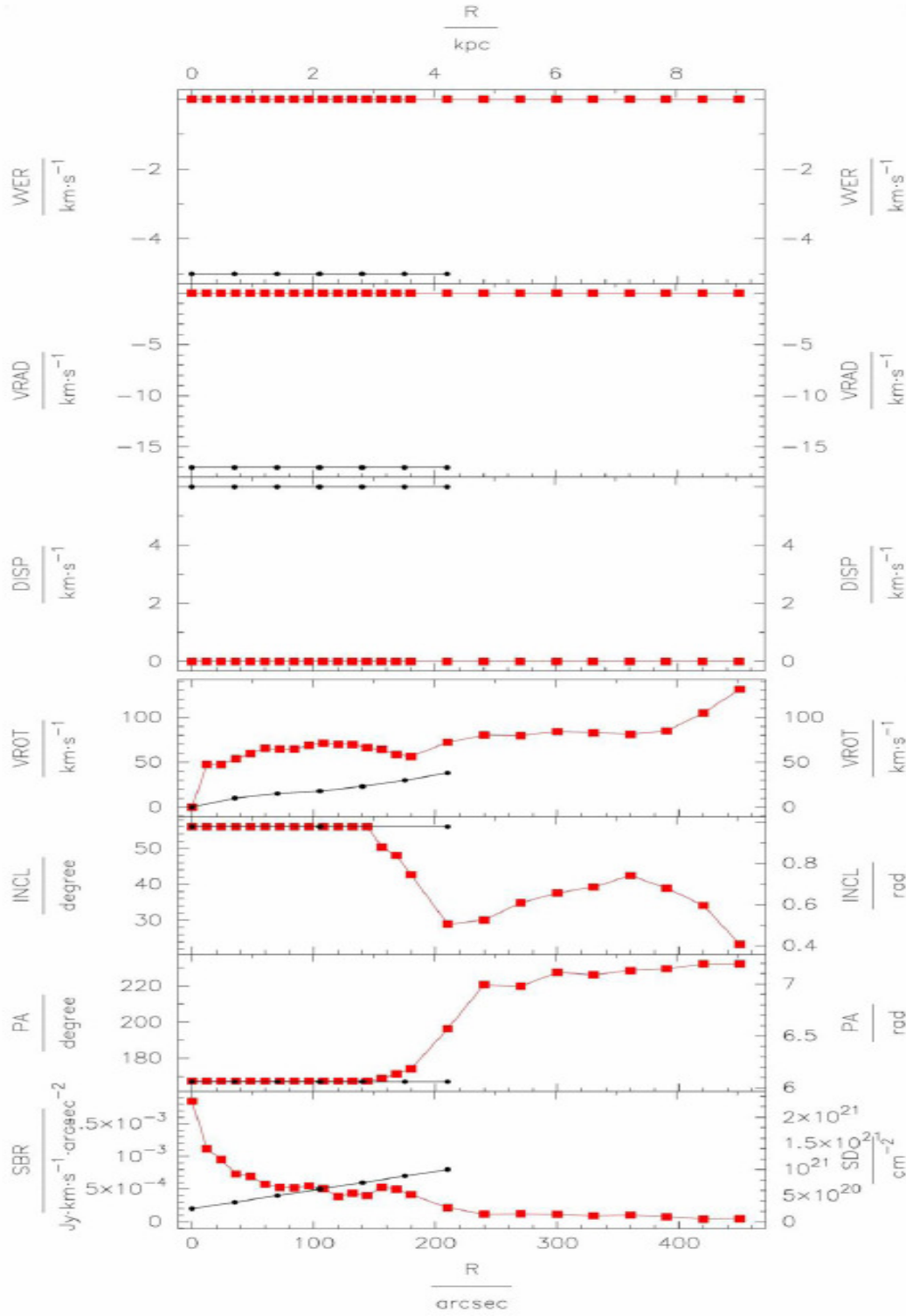
Şekil 5.'te çok fazla bükülmeye sahip iç diski ve dış diski gösteren modeller ve gözlemsel veri küpü bir arada gösterilmektedir.



Şekil 5. Mavi: Gözlem verisi, Siyah: İç diski temsil eden model, Pembe: Dış diski temsil eden model. Kontur seviyeleri: 1, 4, 16 mJy/beam.

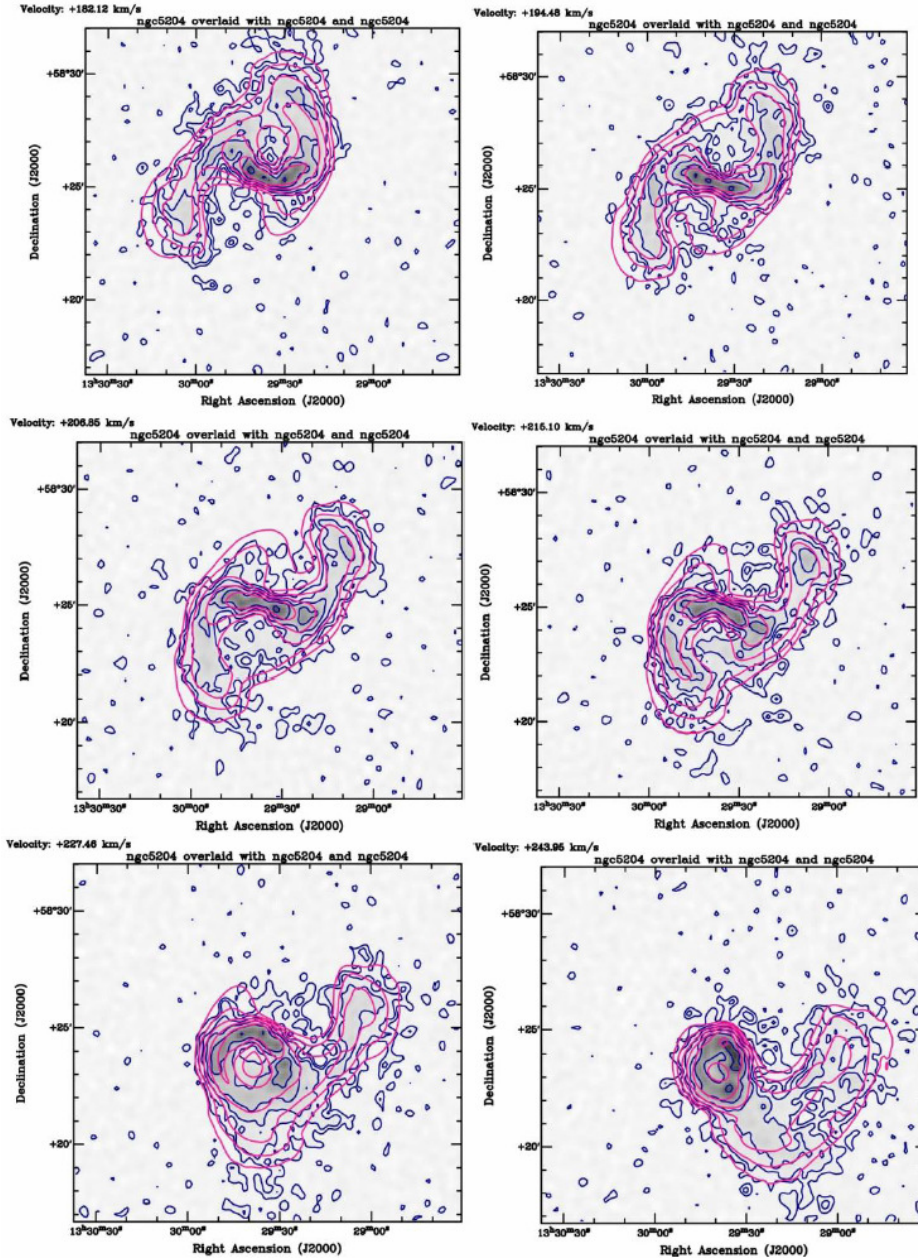
Elde edilen bu son model göstermiştir ki dış disk, iç diskin dış çemberlerinin oryantasyonel parametrelerine uyum göstermekte ve bükülmenin çok fazla olduğu kısımlar ile kinematik olarak benzerlik göstermemektedir. Buda NGC 5204 galaksisinde ki bükülme ile halodaki H I arasında gözlemsel olarak bir iz olmadığını göstermiştir. İç disk ile dış disk arasında sadece oryantasyonel farklılıklar yoktur. Şekil 6.'da verildiği gibi bu iki diskin yarıçapı, yükseklik ölçeği, dispersiyon gibi global parametrelerin değerlerinde de farklılıklar görünmekte ayrıca iç diskte olmayan dikey hız, radyal hız gibi değerlerde eklenme gereği duyulmaktadır.

Bu bize halodaki H I'nın radyal ve dikey doğrultuda bir hıza sahip olduğunu ve modellemede ortaya konulduğu gibi bu gazın galaksiler arası ortamdan içe akan gaz olduğunu göstermektedir.



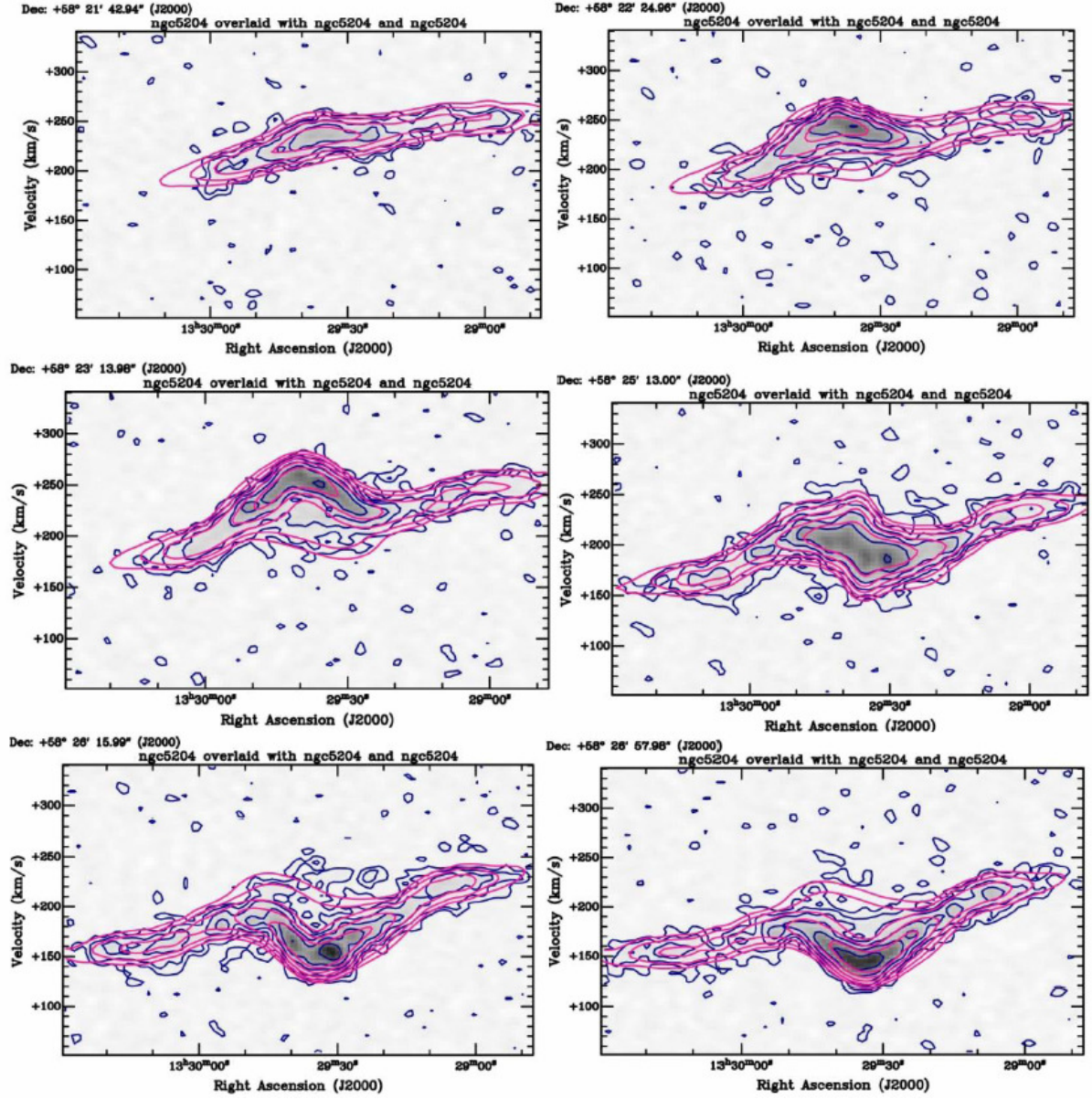
Şekil 6. Elde edilen son modelin parametre değerleri. SBR: Yüzey parlaklığı, PA: Pozisyon Açısı, INC: Eğiklik, VROT: Dönme hızı, DISP: Dispersiyon, VRAD: Radyal Hız, VVER: Dikey hız.

Şekil 7.'de elde edilen son modelin farklı hız kanallarından görüntüler verilmektedir. Kanalların hangi hıza karşılık geldiği sol üst köşede görülmektedir.



Şekil 7. Mavi: Gözlemsel veriler, Pembe: Dış diski temsil eden model.

Şekil 8’de ise aynı modelin pozisyona karşılık hız görüntüleri verilmiştir.



Şekil 8. Mavi: Gözlemsel veriler, Pembe: Dış disk temsil eden model. Hıza karşılık pozisyon görüntüleri.

Son söz olarak belirtilmesinde fayda görülen husus ise şudur: Daha önceki H I kinematiği çalışmaları göstermiştir ki yükseklik ölçeği, dikey hız parametresi ve dispersiyon, spektrumda benzer etkiler yaratmakta ve modellerde de etkileri benzer olmaktadır. Bu yüzden dikey hız bileşeni için kesin kanıt olmadığını belirtmekte fayda vardır. Bunun için ek modeller yapılacak ve gaz aktarımlarının kaynaklarına da kesin vurgular yapılacaktır.

5. Gelecek Planları

Magellan tipinde küçük bir galaksi olan NGC 5204'ün WSRT ile yapılmış 2 x 12 saatlik H I salma çizgi gözlemlerinden elde edilmiş veri küplerine, direkt olarak tilted-ring model fiti yapılarak, H I halosunun kinematik modellemesi yapılmış ve galaksinin sıra dışı bükülmesi ile halodaki bu nötral gaz arasındaki olası ilişki araştırılmıştır. NGC 5204, birbirine geçiş yarıçapında bağlı fakat yarıçap ile birlikte oryantasyonel parametreleri hızlıca değişen bir iç ve bir dış diske sahip bir galaksidir. Oldukça fazla bükülme gösteren iç disk ile yasak hızlarda yavaşça dönen gaz bileşen arasındaki gözlemsel olarak ortaya konulabilecek izler araştırılmış ve iç diskin iç kısımları ile benzer oryantasyonel parametre değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Buda, bu galakside bükülme ile H I halo arasında gözlemsel olarak bir ilişki olmadığını göstermiş fakat sadece bu galaksi çalışıldığı için bu konuda genelleme yapılmamıştır. Bu çalışma için ileride yapılması hedeflenenler dikey doğrultuda gaz hareketi ve radyal hıza sahip bileşene odaklanarak gaz aktarımlarının kaynaklarını kesinleştirmek ve bu galakside olduğu gibi haloda gaz anomaliliğine sahip bükülmüş diğer disk galaksilerde kinematik modellemeler yaparak bu iki kavram arasındaki olası ilişkiyi tespit etmektir.

KAYNAKLAR

1. Józsa, G. I. G., Kinematic Modelling of Disk Galaxies II. A Case-Study of Symmetrically Warped Galaxy Disks, *A&A*, **468**, 903, 2007.
2. Józsa, G. I. G., Grand-Design Warps in Galactic Disks, Ph.D. Thesis, Rheinischen Friedrich–Wilhelms–Universität Bonn, Bonn, 2005.
3. Briggs, F.H., Rules of Behavior for Galactic Warps, *ApJ*, **352**, 15-29, 1990.
4. <http://www.jive.nl/iac06/>
5. Fraternali, F.; Binney, J. J., A dynamical model for the extraplanar gas in spiral galaxies, *MNRAS*, Volume **366**, Issue 2, pp. 449-466, 2006.