

Galaksi'nin Anatomisi

Serap AK¹ 

¹İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul, Türkiye

ORCID: S.A. 0000-0002-0912-6019

ÖZ

Galaksimizin incelenmesinin tarihi çok eskilere dayanmaktadır. Eski çağlarda gökyüzünü bir baştan öbür başa kuşatan puslu şerit “Samanyolu” olarak isimlendirilmiştir. Bugün, bu puslu şeridin Güneş’in de içinde bulunduğu milyarlarca yıldız içeren disk şeklinde bir yapısı olduğu bilinmektedir. Gece gökyüzünde gördüğümüz bu yapı Galaksimizin en basit şeklidir. Oysa içinde bulunduğumuz Galaksi bu puslu şeritten çok daha fazla öge içeren bir sistemdir. 1610 yılında bir teleskop ile Samanyolu’nu ilk inceleyen Galileo’dan bu yana, uzaya gönderilen çeşitli uydular yardımıyla Galaksimizin oluşumu, evrimi ve yapısını hala öğrenmeye çalışıyoruz. Bir galaksi olarak Samanyolu’nun yapısının incelenmesinde hem *galaksi-dışı astronomiden* hem de *yıldız popülasyonlarından* yararlanır. Galaksimizin yapısı araştırılırken karşılaştırma yapmak için astrometrik, tayfsal ve fotometrik yöntemler kullanılır. Samanyolu’nun yapısı ve özellikleri hakkında yıldız popülasyonlarından doğrudan doğruya elde edilen bilgiler ile diğer galaksilerin incelenmesinden elde edilen bilgilerin birleştirilmesi sonucunda Galaksimizin yapısı hakkında ayrıntılı bilgiye ulaşılabilir. Yaklaşık 30 kpc büyüklüğünde olan Samanyolu galaksisi, Yerel Grup adı verilen küçük bir galaksi kümesinin en büyük ikinci üyesidir. İlk başta, Hubble sınıflamasına göre Sb veya Sc türü sarmal bir galaksi olduğu düşünülen Galaksimizin şimdi merkezi bir çubuğa sahip gevşek sarılmış çubuklu bir galaksi (SBb) olduğuna inanılmaktadır. Galaksimizi oluşturan ayırt edilebilir bileşenleri genel olarak disk ve halo olarak verilebilir. Fakat ayrıntı istenirse bileşen sayısı artar ve Galaksimizin başlıca yapısal bileşenleri olarak *Şişkin Bölge/Çubuk*, *İnce ve Kalın Diskler*, *Sarmal Kollar*, *Yıldız Halosu* ve *Karanlık Halo* söylenebilir.

1. Giriş

Şehir ışıklarından uzakta Ay’ın olmadığı açık bir gecede, gökyüzünü bir baştan öbür başa kuşatan, puslu bir şerit görülür. Bu puslu şerit, eski çağlardan bu yana mitolojiden gelen ismiyle ‘*Milky Way (Samanyolu)*’ olarak bilinir. Galaksimizin adının kökeni Eski Yunanca’da ‘*sütlü çember*’ anlamına gelen *galaxies kuklos*, Romalılarda ‘*sütlü yol*’ anlamına gelen *via lactae* kelimelerinden gelir. Doğu Asya’da ‘*Cennetin Gümüş Nehri*’, Kuzey Avrupa’da ise ‘*Kuşların Yolu*’ anlamındadır. Anadolu efsanesine göre ise ‘*Samanyolu*’ adı bir saman hırsızının kaçarken yola döktüğü samanlardan gelir.

Submitted/Başvuru: 27.09.2019 Accepted/Kabul: 31.01.2020

Corresponding author/Sorumlu yazar: Serap Ak (Prof. Dr.), İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul, Türkiye. E-mail: akserap@istanbul.edu.tr

Citation/Atıf: Ak, S. 2021, in: Galaksi'nin Anatomisi, eds. S. Ak & S. Bilir, *Galactic Astronomy Workshop Proceedings Book*, 95. <https://doi.org/10.26650/PB/PS01.2021.001.012>

Bugün, bu puslu şeridin Güneş'in de içinde bulunduğu birkaç yüz milyon yıldız içeren disk şeklinde bir görünüm olduğu biliniyor. Gece gökyüzünde gördüğümüz bu yapı Galaksimizin en basit şeklini verir. Galaksimizin adını aldığı bu puslu şerit ve merkez doğrultusundaki en parlak Sagittarius bölgesi dışında gece gökyüzünün bu yüzeysel görünüşü, içinde bulunulan daha büyük yapı hakkında az bilgi verir. Galaksimiz, bu puslu şeritten çok daha fazla öge içeren bir sistemdir.

Kütleçekimiyle birbirine bağlı milyarlarca yıldızdan, karanlık maddeden, gaz ve tozdan oluşan büyük yapıya galaksi denir. Yaklaşık 30 kpc büyüklüğünde, SBb türü bir sarmal galaksi olan Samanyolu galaksisi, Yerel Grup adı verilen küçük bir galaksi kümesinin en büyük ikinci üyesidir. Yerel Grup, Virgo süper kümesinin dış kenarı yakınında bulunan çok sayıda galaksi kümesinden biridir. Samanyolu galaksisinin içinde bulunduğumuzdan ve dışına çıkmadığımızdan, uzaklık ölçümlerinin zorluğundan ve merkezine doğru görülen yoğun gaz ve tozdan dolayı yapısını belirlemek zordur. Bu nedenle bir galaksi olarak Samanyolu galaksisinin yapısının incelenmesinde hem *galaksi-dışı astronomiden* hem de *yıldız popülasyonlarının* kinematik ve dinamik özellikleri ile uzay dağılımlarından yararlanılır. Bunun için farklı dalgaboyları ve gözlem teknikleri kullanılarak, Galaksi'nin oluşumu ve evrimini açıklayan modeller üreterek diğer galaksilerin oluşum ve evrimine dair ipuçları da elde edilir.

Galaktik astronomi çalışmalarında belli bir türden mümkün olduğunca çok nesnenin farklı tekniklerle yapılmış çok hassas gözlemleri gerektiğinden, özellikle son 20 yılda çok geniş kapsamlı astrometrik, fotometrik ve tayfsal tarama gözlemleri yapan teleskoplar ve gözlem programları geliştirilmiştir. Bu gökyüzü taramaları sayesinde milyonlarca nesnenin çeşitli dalgaboyu bölgelerindeki parlaklıkları ve etkin sıcaklıkları, yüzey çekim ivmeleri, element bollukları ve benzeri parametreleri hesaplanabilmiştir. Öyle ki örneğin, gelinen son noktada *Gaia* uydusu sayesinde milyarlarca nesnenin öz hareketleri, parlaklıkları ve radyal hızları hassas şekilde ölçülmüştür. *Gaia*'nın katkısının başlamasının hemen ardından etkileyici araştırma sonuçları da ortaya çıkmıştır.

2. Galaktik Yapı Araştırmaları

Eski çağlardan beri her açık gecede puslu bir şerit olarak görülen Samanyolu için eski Yunan filozofları sönük olanlarının tek tek ayırt edilemediği büyük bir yıldız topluluğu olduğunu söylemişlerdi. İlk gerçek kanıt, Galileo Galilei'nin 1610'da ilkel teleskobuyla yaptığı gözlemlerden geldi. Galileo, Samanyolu'nun sayılamayacak kadar çok yıldızdan oluştuğunu keşfetti. William Herschel, gökyüzünü 683 bölgeye ayırıp, bu bölgelerin her birindeki yıldızları sayarak Güneş'in Galaksi'deki yerini belirlemeye çalıştı. Fakat Galaksi'nin büyük kısmında var olan gaz ve tozun etkilerini dikkate almadığından ve yıldızlararası tozdan dolayı çok uzağı göremediğinden, Güneş'in göreceli olarak Galaksimizin merkezine yakın olduğu sonucuna ulaştı (Herschel, 1785). Böylece, Herschel Galaksimizin farklı doğrultularındaki alanlarda yaptığı yıldız sayımlarından Samanyolu'nun bir haritasını oluşturarak Galaksimizin yapısı hakkındaki çalışmaları başlatmıştır. 20. yy'ın başlarına gelindiğinde Curtis (1917), sarmal bulutsuların Galaksimizin dışındaki yıldız sistemleri olduğuna dair bir çalışma yayımladı. Shapley (1919), yıldız sayımları yerine küresel kümelerin konumlarını ve uzaklıklarını hesaplayarak Galaksimizin çapının ~100 kpc ve Güneş'in de Galaksi merkezine ~15 kpc uzaklıkta olduğunu hesapladı. Böylece, Galaksimizin düşünülenden çok daha büyük olduğunu, ilk kez, dile getirdi. Shapley'e göre, Samanyolu çok büyük olduğundan bulutsular Samanyolu'na aittir. Hollandalı

Astronom [Kapteyn \(1922\)](#), Güneş'ten itibaren çeşitli doğrultularda yıldız yoğunluğunu ve uzaklıkları hesaplayarak Galaksimizin ~ 15 kpc çapında ve ~ 3 kpc kalınlığında ve Güneş'in de merkez civarında olduğunu bulmuştur. Kapteyn de Herschel gibi yıldızlararası tozu dikkate almadığından, Güneş'in Galaksimizin merkezinde olduğu fikrinde yanıldı. Galaksimizin büyüklüğü ve sarmal bulutsuların doğası hakkında iki karşıt görüş oluştu. 1920'de Amerika'da yapılan 'Ulusal Bilimler Akademisi' toplantısında karşıt görüşleri savunan Shapley ve Curtis arasında tarihe geçen bir tartışma yaşandı. Shapley, Samanyolu'nun çok büyük ve bulutsuların Samanyolu'na ait olduğunu, Curtis ise Samanyolu'nun çok daha küçük ve bulutsuların Samanyolu'nun ötesinde ayrı birer galaksi olduklarını söyledi. Kim haklıydı? Shapley mi? Curtis mi? Edwin Hubble, 1923'te Mount Wilson'da 100 inç'lik bir teleskopla Andromeda galaksisindeki sefeidleri gözleyerek Andromeda'nın uzaklığını 300 kpc hesapladı ([Hubble, 1925](#)) ve bu tartışmayı sona erdirdi. Aslında tartışmanın kazananı yoktu. Shapley, Güneş'i Galaksi merkezinden uzaklaştırdığı için Curtis de, büyük uzaklıklarda birçok galaksinin varlığını gösterdiği için, her ikisi de hem haklıydı hem de haksız.

[Trumpler \(1930\)](#), açık yıldız kümelerinin görünen açısal çaplarından hesaplanan uzaklıklarının sistematik olarak fotometrik uzaklıklarından daha küçük olduğunu bularak yıldız ışığını sönmüleyen soğurucu bir ortamın varlığını gösterdi. Yıldızlararası ortamın bu keşfi Herschel, Kapteyn ve Shapley'in sonuçları arasındaki uyuşmazlığı çözdü. Araştırmacıları yanıltan yıldızlararası sönmükleme idi. Galaksimizdeki en yakın yıldızları gözlemişlerdi. Üstelik yıldızların çok büyük bir kısmının Galaksimizin merkezinde bulunduğu fikrine sahip değillerdi. Yıldızlararası toz Galaksimizin düzleminde yoğunlaştığından, yıldızlararası sönmükleme buralarda daha çoktur.

Galaksilerde farklı yıldız popülasyonları olduğu fikri [Baade \(1944\)](#) tarafından ortaya atılmıştır. Baade, Güneş civarındaki yıldızlarla küresel kümelerin yapısında farklılık görerek Güneş civarındaki yıldızlar için popülasyon I (*Pop I*), küresel kümeler için de popülasyon II (*Pop II*) terimini kullanmıştır. Daha sonra M31 galaksisindeki yıldızların fotoğrafik plaklarını elde etmiş ve buradan elde ettiği sonuçlar ile M31 galaksisindeki yıldızları iki farklı gruba ayırmıştır. Böylece, bu durumun sadece Galaksimize ait değil evrensel bir bilgi olduğunu tespit etmiştir.

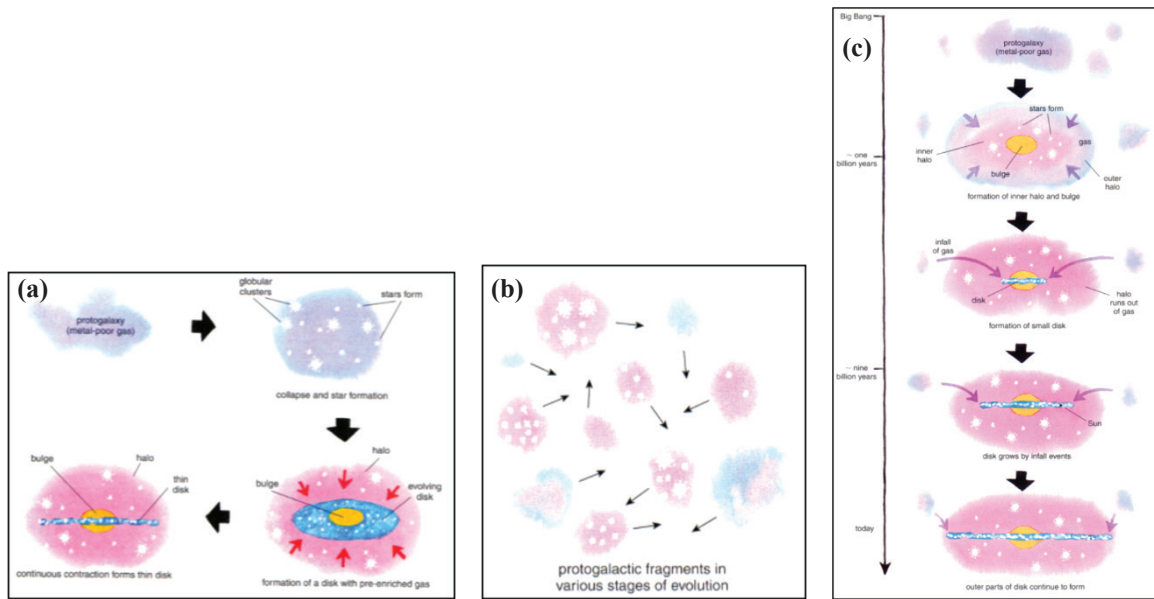
2000'li yıllara kadar geleneksel yıldız sayımları analizi, Galaksimizin temel yapısının ve yıldız popülasyonlarının anlaşılmasını sağlamıştır. Bu analizlere, [Bahcall \(1986\)](#), [Gilmore ve diğ. \(1989\)](#), [Majewski \(1993\)](#), [Robin ve diğ. \(2000\)](#), [Chen ve diğ. \(2001\)](#) ve [Siegel ve diğ.'nin \(2002\)](#) çalışmaları örnek verilebilir. SDSS'den ([York ve diğ., 2000](#)) önceki en geniş gözlemsel çalışmalar, fotoğrafik taramalara aittir. Basel Halo Programı (BHP) Galaksi'nin en geniş sistematik taramasıdır ([Becker, 1965](#); [Fenkart, 1989a-d](#)). BHP, *RGU* fotometrik sisteminin geliştirilmiş kalibrasyonu ile tekrar analiz edilerek güncellenmiştir ([Buser ve Fenkart, 1990](#); [Buser ve diğ., 1998](#); [1999](#)).

2000'li yıllardan itibaren CCD tabanlı, yüksek ayırma güçlü, duyarlı, büyük ölçekte ve sistematik sayısal gökyüzü taramaları devreye girmiştir. SDSS, 2MASS, CADIS, BATC, DENIS, WISE, UKIDSS/VISTA gibi gökyüzü taramaları Galaktik astronomi çalışmaları için daha duyarlı verilerin elde edilmesini sağlayarak Galaksimizin oluşumu, evrimi ve yapısının daha ayrıntılı araştırılmasına olanak sağlamıştır. 2013'te fırlatılan *Gaia* uydusu Galaktik astronomi için köşe taşlarından biri ve astrometrinin altın çağıdır. *Gaia* ile Galaksimizdeki bir milyardan fazla nesne incelenerek Galaksi'nin oluşumu, evrimi ve yapısı hakkında yeni ufuklar açılacaktır.

3. Galaksi'nin Oluşumu

Galaksi'nin oluşumu ve evrimi gözlemlerle desteklenerek, ilk kez, [Eggen, Lynden-Bell ve Sandage \(ELS, 1962\)](#) tarafından modellenmiştir. ELS, Güneş civarındaki anakol yıldızlarını inceleyerek metal bollukları ile yörüngelerinin dış merkezlikleri ve W uzay hızı bileşenleri arasında ilişki bulmuştur. Bu ilişkileri kullanarak yaşlı yıldızların metalce fakir ve W değerlerinin büyük, genç yıldızların metalce zengin ve W değerlerinin küçük olduğu sonucuna ulaşmışlar ve Galaksi'nin oluşum modelini ortaya koymuşlardır. ELS modeli, Galaksimizin çok büyük bir gaz bulutunun içe doğru hızlı çökmesiyle ve çöktükçe metal bakımından zenginleştiğini, bu sürecin de 10^8 yılın birkaç katı zaman aldığını öne sürer (Şekil 1a). Yekpare çöküş olarak bilinen bu model, Galaksi'nin oluşumu ve evrimi ile ilgili çalışmalara temel oluşturmuş ve Galaksimizin geçmişinin araştırılmasında yıldızların dinamik, kinematik ve kimyasal özelliklerinin önemine dikkat çekmiştir.

Galaksimizin oluşumuna dair ELS modelinden farklı diğer bir çalışma [Searle ve Zinn \(SZ, 1978\)](#) tarafından ortaya konmuştur. SZ, Galaksi merkezinden ~ 10 kpc'ten daha büyük uzaklıklara kadar bulunan küresel kümeleri incelediğinde iç ve dış bölgelerde bulunanların yaşlarının farklı olduğunu ve bir metal bolluğu gradyentinin olmadığını tesbit etmiş ve bu sonuç ELS modeli ile uyum sağlamadığından, Galaksi'nin oluşumu için hiyerarşik modeli önermiştir. SZ modeli, tek bir bulutun çöküşü yerine birkaç bulutun kendi içinde çöküp hiyerarşik olarak yığılıp birleşmeleri sonucunda Galaksimizin yavaş (~ 1 Gyıl) oluştuğunu söyler (Şekil 1b).



Şekil 1. ELS (a), SZ (b) ve ikili çökme (c) modellerine ait çizimler¹.

Galaksi'nin oluşumu için öne sürülen her iki model de tek başına Galaksimizde gözlenen olayları açıklamaya yetmez. Günümüzde, [Chiappini ve diğ.'nin \(1997\)](#) Galaksimizin oluşumu için önerdiği 'İkili Çökme Modeli' gözlemlerin çoğu ile uyum sağlamaktadır (Şekil 1c). Bu modelde, Galaksimizin biri hızlı, diğeri yavaş ve hala devam eden iki çökme dönemi geçirdiği varsayılır. İlk çökme döneminde halo, şişkin bölge ve kalın diskin büyük bir kısmı oluşurken yavaş süren ve devam eden ikinci çökme döneminde ince disk oluşur. İkili çökme modelinde ilk dönem 0.8 –

1 American Scientist, November/December 2001, 89, 506-515.

1 Gyl'da ELS'nin önerdiği gibi ilkel Galaktik gaz bulutunun yekpare çökmesiyle oluşur. Haloda yıldız oluşumu buluttaki gaz yoğunluğu belli bir değerin altına düşene kadar devam etmiştir. Halo tarafından kaybedilen gaz merkezde birikir ve böylece şişkin bölge oluşur. Oluşan büyük kütleli yıldızlar hızla evrimleşerek süpernova patlamalarıyla yıldızlararası ortamı metalce zenginleştirir. Halo ile şişkin bölge oluştuktan ve yıldız oluşumu durduktan sonra başlayan ve yavaş süren ikinci çökme dönemi ince diski oluşturur. Bu dönem ya cüce galaksilerle birleşme sonucu veya daha uzun zaman gerektiren yüksek açısal momentuma sahip gazın diske doğru akışı sonucu tetiklenmiştir. Diske doğru gaz akışları ve şişkin bölgedeki yıldızların evrimiyle gerçekleşen süpernovaların neden olduğu şok dalgaları, ince diskin içten dışa doğru genişlemesine yol açar. Bu da Galaksimizin diskine ait kimyasal evrimin 'içten dışa doğru' şeklinde ifade edilebileceğini gösterir. Bu senaryo geniş bir araştırmacı çevresi tarafından kabul edilmesine ve Galaksimizdeki yapısal bileşenlerin oluşumu ile ilgili çoğu gözlemsel bulgu ile uyuşmasına rağmen, kalın diskin oluşumunu tatmin edici şekilde açıklayamamaktadır.

Kalın diskin oluşumu ile ilgili yığılma (Abadi ve diğ., 2003), ısınma (Quinn ve diğ., 1993), birleşme (Brooks ve diğ., 2004; Brook ve diğ., 2005) ve radyal göç (Sellwood ve Binney, 2002) gibi birçok senaryo bulunmaktadır. Galaksi diskinin oluşumuna dair en yeni senaryo ise Haywood ve diğ. (2019) tarafından yayımlanmıştır. Bu çalışmada, yıldızların [Fe/H] ve [α /Fe] bollukları ile yaş arasındaki bağıntılardan yola çıkılarak disk, iç ve dış disk şeklinde ikiye ayrılarak oluşum modeli sunulmaktadır. İç diskin evrimi gazın erken zamanlarda yığılması ve homojen bir şekilde gerçekleşmiştir ve Galaktik merkezden 6 kpc uzaklığa kadar geçerlidir. Dış disk ise kalın diskin oluşumundan kalan gazın metalce fakir gazla karışması sonucu oluşmuştur.

4. Galaksi Modelleri

Becker'in (1965) başlattığı BHP ile gözlemsel olarak Galaksi'nin yıldız yoğunluğu bakımından yapısı ve yıldızların popülasyon ayırımı elde edilse de bu çalışmaların Galaksi'nin yapısını ortaya koymak için yeterli olup olmadığına karar vermek zordur. Gözlemsel sonuçlar teorik sonuçlarla bağdaşmadığı sürece ikisinin de fazla bir anlamı yoktur. Bu nedenle, gözlemlerden elde edilen sonuçların matematik formüllerle ifade edilmesi ve bu formüllerin de bir fizik anlamı olması gerekir. O halde, Galaksi'nin bütünü hakkında bilgi sahibi olabilmek için birtakım matematiksel formüllere ihtiyaç vardır ki bunlara 'galaksi modelleri' denir ve galaksi modelleri, Galaksimizdeki uzay yoğunluklarını galaksi koordinatlarının bir fonksiyonu olarak ifade eden bağıntılardır.

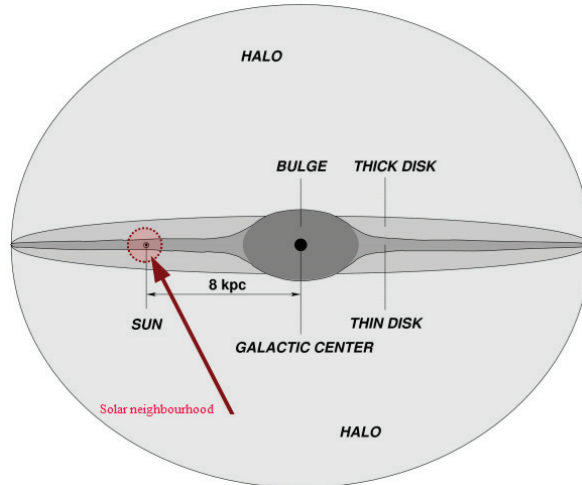
Galaksi modelleri oluşturulurken hem Galaksimize hem de Galaksimize benzer tipteki galaksilere ait verilerden yararlanır. Galaksimizde yapılan gözlemler Güneş civarındaki ışınma gücü fonksiyonunu elde etmede kullanılır. Galaksimiz dışındaki gözlemler bir galaksinin parlaklığının bu galaksinin merkezinden radyal ve dönme düzleminde dikey doğrultuda nasıl değiştiğini belirlemek için kullanılır. Galaksimizdeki ve onun dışındaki gözlemler birleştirilerek ve galaksi modelleri kullanılarak, Güneş'ten büyük uzaklıklara kadar yıldız yoğunlukları elde edilir. Modellerdeki parametreler gözlemler yardımıyla belirlenir.

Galaksimizin yapısını ortaya koyabilmek için çeşitli modeller oluşturulmuştur. Galaksimiz için oluşturulan ilk model, Bahcall ve Soneira'ya (1980; 1984) ait disk ve halodan ibaret iki bileşenli modeldir. Gilmore ve Reid (1983), yıldız sayımlarını iki bileşenli modelle uyuşturamayınca Galaksimizde disk ve halo bileşenlerine ilaveten üçüncü bir bileşenin olması gerektiğini önerdiler ve kalın disk bileşenini Galaksi modellerine eklediler (Gilmore ve Wyse, 1985; Gilmore ve diğ., 1985).

Galaksi modellerinde bileşenlere ait yoğunluk fonksiyonları ince ve kalın disk bileşenleri için $D_i^d(x, z) = n_i e^{-(x-R_o)/h} e^{-z/H_i}$ bağıntısıyla hesaplanır. i , bileşenleri göstermek üzere x ve z Galaktik merkezli silindirik koordinatlar, n_i Güneş civarındaki yoğunluk, R_o Güneş'in galaksi merkezine uzaklığı, H_i yükseklik ölçeği, h uzunluk ölçeğidir. Halo bileşeni için yoğunluk $D^h(R) = n(R/R_o)^{-7/8} e^{10.093(1-(R/R_o)^{1/4})}$ bağıntısıyla hesaplanır. R gözönüne alınan noktanın Galaksi merkezine uzaklığı, n halonun Güneş civarındaki yoğunluğu, $\chi = c/a$ yassılaştırma katsayısı olmak üzere $R = (x^2 + z^2/\chi^2)^{1/2}$ dir. Standart galaksi modelinde ince disk bileşenine ait yoğunluk kanununun, Galaksi merkezinden radyal ve Galaksi düzlemine dik doğrultularda çift ekspanansiyelli bir fonksiyon ile değiştiği kabul ediliyordu. Sonraki yıllarda ise galaksi modellerinde ince diskin yükseklik ölçeğini içeren matematiksel ifadenin $M_g \leq 8$ olan mutlak parlaklıklarda ekspanansiyel, $M_g > 8$ olanlarda ise sekanthiperbolik kare fonksiyonu ile uyumlu olduğu gösterilmiştir (Karaali ve diğ., 2004; Bilir ve diğ., 2006a,b).

5. Galaksi'nin Yapısal Bileşenleri

Galaksimiz, merkezinde süper kütleli bir karadeliğin bulunduğu, çubuk ve sarmal kollu, normal büyüklükte bir galaksidir. Uzay dağılımları, yaş, kimyasal bolluk, kinematik ve dinamik özellikleri bakımından farklılık gösteren şişkin bölge, disk ve halodan oluşan üç temel bileşeni vardır. Fakat ayrıntılı verilmek istenirse bileşen sayısı artar. O halde Galaksimizin başlıca yapısal bileşenleri: Şişkin Bölge, İnce Disk, Kalın Disk ve Halodur (Şekil 2).



Şekil 2. Galaksimizin başlıca yapısal bileşenlerinin şematik gösterimi².

5.1. Galaksi Merkezi

Galaktik merkez doğrultusunda oldukça fazla toz ve gaz bulunduğu için, bu bölgeyi optik dalgaboylarında gözlemek zordur. Optik dalgaboylarında sönükleşme miktarı ~ 30 kadardır. Bu nedenle, Galaksi merkezi hakkındaki çoğu bilgi X-ışını, kızılötesi ve radyo dalgaboylarında yapılan gözlemlerden elde edilir. Galaksi merkezi Güneş'ten 26000 ışık yılı uzaklıkta ve Sagittarius takımyıldızı doğrultusundadır. Galaksimizin merkezinde 1970'lerin başında termal olmayan radyo kaynağı, Sgr A*, keşfedildi (Balick ve Brown, 1974). Bu kaynakla aynı konumda bulunan bir süper kütleli kara deliğin (SKKD) var olma olasılığı keşfinden kısa bir süre sonra değerlendirilmeye başlandı ve Galaksimizin merkezindeki bir SKKD'nin varlığı

2 <https://www.ast.cam.ac.uk/iaa/meetings/IAUGP/prog/assets/bensby.pdf>

Sgr A* etrafındaki yıldız hareketlerinden deneysel olarak kanıtlandı (Eckart ve Genzel, 1996, 1997; Schödel ve diğ., 2002; Ghez ve diğ., 2003). Sgr A* ile ilişkilendirilen SKKD'nin kütlesi $\sim 4.3 \times 10^6 M_{\odot}$ 'tir (Boehle ve diğ., 2016; Gillessen ve diğ., 2017). Galaksi merkezi, uzunluk ölçeği ~ 2 kpc olan Galaktik şişkin bölgenin merkezidir. Yaşlı (~ 10 Gyl) yıldız popülasyonundan oluşur. SKKD'nin etkin yarıçapının dışında, yıldız oluşum bölgesi de (100-200 pc) bulunur. Yıldız oluşumu, ~ 200 pc'teki moleküler bölgede oldukça fazla olan moleküler gaz ile beslenir. Bu nedenle, Galaktik merkezdeki yıldız popülasyonu yaşlı şişkin bölge yıldızlarının dışında, orta yaşlı ve genç yıldızları da barındıran bir karışımdır. Genç yıldızların yarısı üç genç kümede (≤ 5 Myıl) bulunur: Merkezden ~ 30 pc uzaklıktaki *Quintuplet* ve *Arches* kümeleri ile SKKD'nin çevresindeki merkezi küme (Figer, 2003). Galaksi merkezinde SKKD'nin etki alanının yarıçapı 3-5 pc kadardır (Alexander, 2005), içinde çok az gaz vardır. Sgr A*'nın etkinliğinin ötesinde, 10-100 pc alındığında birkaç 10^8 yıldız, dev molekül bulutları ve genç çift yıldızlar vardır. (Perets ve diğ. 2007). SKKD'nin etki alanının sınırında ($\sim 1.5-4$ pc) merkezi çevreleyen yoğun molekül bulutu halkası vardır. 0.5 pc'lik iç kısımda küçük kütleli kırmızı ve kütleli mavi devler ile küçük kütleli anakol yıldızları bulunur. Burada daha sönük anakol yıldızları, beyaz cüceler, nötron yıldızları ve yıldız kara delikleri de bulunmaktadır.

5.2. Galaksi'nin Şişkin Bölgesi ve Çubuklu Yapısı

Galaksimiz de dahil olmak üzere kütleli disk galaksilerinin çoğunda, kutu/yer fıstığı (K/Y) şekilli, yandan görüldüğünde iç kısımları dik doğrultularda daha kalın olan ve şişkin bölgeler olarak adlandırılan yıldızlardan oluşan çubuklar da bulunur. K/Y şişkin bölgelerinin oluşumu için önerilen en yaygın mekanizma yirmi yılı aşkın bir süredir N-cisim simülasyonlarında görülen çubuktaki bükülme kararsızlığıdır (Erwin ve Debattista, 2016).

İlk kez de Vaucouleurs (1964) tarafından önerilen Galaksimizin çubuklu bir yapıya sahip olabileceği fikri yaklaşık yirmi yıldır yapılan çalışmalarla netleşmiş ve yakın kızılötesi fotometrisi (Dwek ve diğ., 1995; Binney ve diğ., 1997), yıldız sayımları (Stanek ve diğ., 1997; Lopez-Corredoira ve diğ., 2005), gaz kinematiki (Englmaier ve Gerhard, 1999; Fux 1999), mikromerceklemeye (Hamadache ve diğ., 2006) ve Güneş çemberine yakın dinamik etkiler (Häfner ve diğ., 2000; Minchev ve diğ., 2007) gibi yöntemler kullanılarak kanıtlar elde edilmiştir. Bu çalışmaların birçoğu kutu şeklindeki şişkin bölgenin ~ 1.5 kpc yarıçap içinde bittiğini ifade etse de bazı modeller için gözlemsel veriler çubuğun Galaktik düzlemde daha da uzun olduğunu gösterir. Düz bir çubuk uzantısı ve kutu şeklindeki bir şişkin bölgeden oluşan böyle bir yapı çubuğun bükülüp kutu şeklinde şişkin bölgeyi oluşturduğu çubuklu galaksilerin seküler evriminin karakteristik bir sonucudur (Athanasoula, 2005). Bükülmeden sonra çubuk evrimini sürdürür ve çubuk, disk ve karanlık madde halosu arasında açısal momentum değişimi ile yavaşça büyümeye devam eder. Galaksimizin şişkin bölgesi ve çubuğu birinci Galaktik çeyrekte ($0^{\circ} \leq l \leq 90^{\circ}$) Güneş-Galaksi merkezi doğrultusuna göre $\sim 15^{\circ} - 30^{\circ}$ açıyla yönlenmiş uzun eksene sahiptir (Gerhard, 2002). Ancak daha büyük Galaktik boylamlarda yapılan yıldız sayımı gözlemleri (Benjamin ve diğ., 2005; Cabrera-Lavers ve diğ., 2007; 2008; Churchwell ve diğ., 2009) daha önce Hammersley ve diğ. (2000) tarafından ifade edilen $\sim 43^{\circ}$ açıyla yönlenmiş ayrı bir uzun çubuğu göstermiştir ve bu geleneksel kutu şeklindeki Galaktik şişkin bölge ve uzun çubuk 1.5-4.5 kpc yarıçap içinde bulunur. Bu doğru ise, en fazla birkaç dönme periyodu içinde dinamik olarak bağlı olan ve dönen iki ayrı çubuk birbiri ile hizalanmalıdır. Ayrıca yapı bakımından şişkin bölgenin daha dış kısımları X-şekilli bir morfoloji ile de uyumludur (Ness ve Lang, 2016; López-Corredoira ve diğ., 2019).

Galaksimizin şişkin bölgesi metalce fakir yaşlı yıldızlar ve metalce zengin genç yıldızlar içerir. Çubuğu da göreceli olarak yaşlı ve kırmızı yıldızlardan oluşur.

5.3. Galaksi Diski

Galaksimiz Samanyolu, gözlenen galaksiler arasında tipik bir disk galaksisidir. “*Disk*”, Galaksimizdeki görünür maddenin yaklaşık %80’ini içeren, galaksi oluşum teorisinin en önemli aracı olarak genellikle “*yıldız*” bileşenini ifade eder. Galaksi disk, içinde spiral kolların, çubuğun ve disklerin olduğu bir düzlemdir. Şişkin bölge ve halodakinden daha genç yıldızlar, açık yıldız kümeleri, gaz ve toza sahiptir.

[Gilmore ve Reid \(1983\)](#), güney Galaktik kutup doğrultusundaki yıldızların fotometrik ölçümlerinden hesapladıkları yıldız sayımları iki bileşenli modelle uyuşmayınca Galaksimizde disk ve halo bileşenlerine ilaveten “*kalın disk*” denen üçüncü bir bileşenin olması gerektiğini önerdiler ve böylece, Galaksi disk “*ince disk*” ve “*kalın disk*” olarak iki ayrı bileşene ayrıldı.

Son yıllarda görünür veya yakın kızılötesi dalgaboylarındaki farklı geniş yıldız alanlarında yapılan gökyüzü taramaları Galaksimizi çok daha iyi tanımamıza olanak sağladı. Ancak, Galaksi merkezinin 15 kpc ötesinde diskin dış kısmı gibi iyi bilinmeyen bazı bölgeleri de vardır. Bu bileşenin burulduğu (warp) ve alevlendiği (flare) bilinmektedir ([Moman ve diğ., 2006](#)). Hem Galaksimiz hem de diğer sarmal galaksiler için disklerindeki burulma ve alevlenme mekanizmaları hala tam olarak açıklanamamıştır.

Galaktik disklerin geniş ölçekte eğrilmesi olarak tanımlanan burulma yıldız diskinin kayb olduğu büyük yarıçaplarda ve en iyi HI bileşeninde görünür. Burulmaların kökeni belirsiz olmasına rağmen muhtemelen galaksi etkileşmelerinin bir sonucu oldukları düşünülmektedir. Galaksimizdeki burulma, Galaktik düzlemin I. ile II. çeyreklerinde ($0^\circ \leq l \leq 180^\circ$) yukarı doğru, III. ile IV. çeyreklerinde ($180^\circ \leq l \leq 360^\circ$) ise aşağı doğru kendini göstermektedir. Alevlenme, $R > 5$ kpc uzaklıkta yükseklik ölçeğini dışa doğru artırmaktadır ([Moman ve diğ., 2006](#)).

5.3.1. İnce Disk

Güneş’in de içinde bulunduğu Galaksimizin ince disk Galaktik düzlemden dik doğrultuda ~ 1 kpc uzaklığa kadar yayılmış bir bölgedir ve esas olarak metalce zengin genç yıldızlar ile gaz ve toz bulutlarından oluşmuştur. Samanyolu’nun sarmal kollarındaki molekül bulutlarına, yıldız oluşum bölgelerine ve açık kümelere de ev sahipliği yapmaktadır. Galaktik düzlem civarındaki molekül bulutlarının yoğunlaşarak O-B tayf türünden çok genç yıldızların oluşturduğu en iç kısmına *genç ince disk* adı verilir. Galaksi’nin en son oluşan ve yıldız oluşumu yaklaşık 10 milyar yıldır devam eden bileşenidir. Yükseklik ölçeği 250-400 pc arasında hesaplanmıştır ve radyal doğrultudaki uzunluk ölçeği 2.5 kpc civarındadır. İnce diskteki yıldızlar Galaksi merkezi etrafında çember yörüngelerde dolanırlar ve Güneş civarında ortalama dönme hızları $V \sim 220$ km/sn’dir. Galaktik düzleme dik doğrultudaki uzay hızı dispersiyonları küçüktür, $\sigma_w \sim 20$ km/sn kadardır. Bu nedenle ince disk yıldızları Galaktik düzlemin üst kısımlarına nüfuz edemezler. Galaksimizin bu bileşenindeki yıldızların metal bollukları $-0.5 \leq [M/H] \leq +1$ dex aralığındadır ([Cox, 2000](#)).

5.3.2. Kalın Disk

Gilmore ve Reid (1983) tarafından keşfedilmiş olan kalın disk, Galaktik düzlemde ~ 5 kpc'e kadar uzanır. Galaksi'nin görünen maddesinin %10-15'ini barındırır. Kinematik ve kimyasal özellikleri bakımından değerleri ince disk ve halo bileşenleri arasındadır (Majewski, 1993; Chiba ve Beers, 2000; Gilmore ve diğ., 2002; Soubiran ve diğ., 2003). Bu bileşenin yıldızları genelde 10 milyar yıldan daha yaşlıdır ve ince disk yıldızlarına göre metalce daha fakirdirler. Galaksi merkezi etrafındaki yörüngeleri ise çemberden çok elipse daha yakındır. Kalın diskin Güneş civarındaki ortalama dönme hızı $V \sim 170$ km/sn iken, dik doğrultudaki uzay hızı dispersiyonu $\sigma_w \sim 40$ km/sn'dir. Dik doğrultudaki uzay hızı dispersiyonu ince diskin iki katı kadar olmasına rağmen, literatürdeki yükseklik ölçeği değerleri ince diskin 2-5 katı aralığındadır: 600-1500 pc (Gilmore ve Reid, 1983; Yoshi ve diğ., 1987; Buser ve diğ., 1998, 1999; Siegel ve diğ., 2002; Du ve diğ., 2003; Karaali ve diğ., 2004; Bilir ve diğ., 2006b). Bununla birlikte kalın diskin uzunluk ölçeği ince diskin uzunluk ölçeğine çok yakındır (Juric ve diğ., 2008). Kalın disk yıldızlarının metal bollukları $-1.5 \leq [M/H] \leq 0$ dex aralığında değişir (Bensby ve diğ., 2003). Galaksimizin kalın disk yıldızlarındaki alfa-element bollukları demir bolluklarına göre daha zengindir. Diğer disk galaksilerinde de gözlenen kalın disk bileşeninin oluşumuna yönelik farklı senaryolar oluşturulmuştur. Literatürde kalın diskin oluşumu için önerilen senaryolar: (1) Galaksimizle etkileşen uydu galaksilerden akan gazın yığılması (Abadi ve diğ., 2003), (2) Galaksimizin büyük bir uydu galaksiyle birleşmesi (Villalobos ve Helmi, 2008), (3) Galaksimizin iç bölgelerindeki yıldızların radyal göçü (Selwood ve Binney, 2002; Roskar ve diğ., 2008; Minchev ve Famaey, 2009) ve (4) gazca zengin türbülanslı bir evrede büyük madde yığılması (Brooks ve diğ., 2004; Bournaud ve Elmegreen, 2009). Kalın disk bileşeninde F, G, K ve M tayf türünden anakol yıldızları, Mira ve RR Lyrae türü değişen evrimleşmiş yıldızlar ile gezegenimsi bulutsular ve metalce nispeten zengin küresel kümeler bulunur.

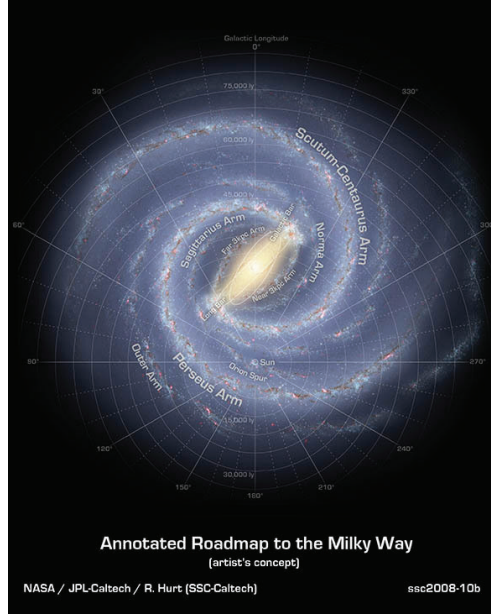
5.4. Sarmal Kollar

Galaksimizin sarmal kolları ince disk bileşeninin bir parçasıdır. Literatürde en çok kabul gören yoğunluk dalgası teorisine (Lindblad, 1942) göre spiral kollar sabit bir açıl hızla hareket eder, yani katı bir cisim gibi döner. Galaksi diski boyunca iç kısımlardan dışa doğru gidildikçe asimetric bir dağılım olduğu görülmektedir. Merkezi kısımlardaki kütlelerin de asimetric bir dağılım göstermesiyle spiral yoğunluk dalgalanmaları oluşur. Yoğunluk dalgalanması zamanla diskin kendi çekimine kapılarak gittikçe büyür ve sonunda sarmal bir kola dönüşür. Galaksi boyunca yayılan yoğunluk dalgasının önüne çıkan gazı yavaşça sıkıştırarak oluşturduğu tedirginlik yıldız oluşumunu da tetikleyerek sarmal kollara bugünkü şeklini verir (Lindblad, 1960; Lin ve Shu, 1964; Lin, 1971). Son zamanlarda farklı nesnelere için yapılan çalışmalara göre Galaksimizin dört büyük sarmal kolu olduğu ifade edilmektedir (Urquhart ve diğ., 2014; Camargo ve diğ., 2015): *Perseus*, *Sagittarius*, *Scutum-Centaurus* ve *Norma-Cygnus*. Güneş ise Orion olarak bilinen küçük bir sarmal kol uzantısındadır (Şekil 3).

5.5. Galaksi'nin Halosu

Halo, Samanyolu'nun en büyük boyutlu ve yıldız içeren son bileşenidir. Galaksimizin en dışında yer alan halo bileşenindeki yıldızların uzay dağılımları ve fiziksel özellikleri dikkate alındığında, halonun iki alt bileşenden oluştuğu söylenebilir: Galaksi merkezinden itibaren ~ 10 kpc içinde kalan kısma iç halo (veya yıldız halosu), bunun dışındaki kısma ise dış halo (karanlık

halo) denir ve 100 kpc'e kadar uzandığı düşünülmektedir (Carollo ve diğ., 2007). O halde, halo bileşeni, gözlemlenebilen yıldız halosu ve varlığını gözlemleyemediğimiz ancak Galaksimizin rotasyon eğrisinden itibaren açıklayabildiğimiz karanlık halodan oluşmaktadır.



Şekil 3. Galaksimizin sarmal kolları³.

5.5.1. Yıldız Halosu

Yıldız haloları, galaksilerin oluşum öykülerinin en korunmuş fosilleri olarak düşünülebilirler. Metalce en fakir ve en yaşlı yıldızlar halo bileşeninde bulduklarından Galaksimizin evriminin erken evreleri hakkında bilgi verirler. Metalce fakir olan iç halonun dış halodan en belirgin farkı, iç halonun dış haloya göre daha basık üç eksenli olması ve dönmesidir. İç halodaki yıldızların metal bollukları $-3 \leq [M/H] \leq -1$ dex aralığındadır ve 13 Gyıl yaşındaki yıldızlardan oluşur (Carney ve diğ., 1990). Pop II türünden olan halo yıldızlarının Galaksi merkezi etrafındaki eliptik yörüngelerde ortalama dönme hızı $V \sim 30$ km/sn iken, dik doğrultudaki uzay hızı dispersiyonları iç haloda $\sigma_W \sim 95$ km/sn, dış haloda ise $\sigma_W \sim 180$ km/sn'dir (Freeman, 2012). Halo bileşeninde G, K ve M tayf türünden metalce fakir anakol yıldızları, RR Lyr yıldızları, sefeid değişenleri, gezegenimsi bulutsular ve küresel kümeler bulunur. Güneş civarındaki yıldızların 1/1000'i haloya aittir. Halo yıldızları, uzay dağılımı bakımından 3 kpc'ten daha büyük uzaklıklarda bir yoğunlaşma gösterirler. Yıldız halolarının cüce galaksilerle birleşmenin doğal ürünü olduğuna inanılmaktadır.

5.5.2. Karanlık Halo

Basık yörüngeler üzerinde hareket eden yıldızların tespiti galaksilerin az ışık gönderen ya da hiç ışık göndermeyen bir bileşeni içermesi gerektiğini göstermiştir. Bu bileşene “karanlık halo” denilmiştir. Karanlık halonun varlığı çekim etkisinden anlaşılır, oldukça yuvarlaktır ve yıldızlardan oluşmadığı hemen hemen kesindir. Cüce galaksilerin dinamik incelemelerinden karanlık halonun 100 kpc'e kadar uzandığı söylenebilir. Galaksi'nin kütlesine hâkim olan bileşendir. Doğası tam olarak bilinmemektedir. Mikromerceklemeye araştırmalarından beyaz

3 <http://www.spitzer.caltech.edu/images/1925-ssc2008-10b-A-Roadmap-to-the-Milky-Way-Annotated->

cüceler veya kahverengi cüceler gibi kompakt cisimler olamayacağı görülmüştür (karanlık maddenin belki küçük bir kısmı kompakt cisim formunda olabilir). Karanlık madde parçacıkların birleşimi, henüz ne olduğunu bilmediğimiz parçacık türleri, karanlık enerji, atom altı parçacıklar veya astronomik cisimlerden oluşabilir.

6. Yıldız Akıntıları ve Cüce Galaksiler

Shapley (1938) tarafından tesadüfi olarak keşfedilen ilk sistem Sculptor'dan bu yana sönük cüce galaksilerin araştırılması için sürekli çaba sarf edilmiştir. Son yıllarda, Galaksimizle etkileşen ve giderek artan sayıda yıldız akıntıları ve cüce galaksiler keşfedilmektedir (Grillmair ve Carlin, 2016). Bu akıntılar Galaksimizle büyük ölçeklerde çekimsel olarak etkileşen cüce galaksiler ve küresel kümelerden kaynaklanmaktadır. Yıldız akıntılarını hem Galaksimizde hem de dış galaksilerde çok yoğun, kinematik ve morfolojik olarak uyumlu yapılar olarak gözleyebiliriz (Pearson, 2018). Yıldız kümeleri Galaksimizin etrafında dönerken, kütleçekimsel gelgit etkileşimi sonucu ayrı morfolojik ve kinematik yapılara ayrılır. Bu yıldız yapılarının dağılımı ve hareketi zaman içinde geriye doğru gitmemizi ve böylece Samanyolu'nun oluşumunu ve evrimini incelememizi sağlar. Ayrıca, yıldız akıntıları yapılarındaki düzensizlikler (örneğin yıldız dağılımlarındaki belirgin düşük yoğunluklar) karanlık madde altyapısını tespit etmek için de umut vericidir.

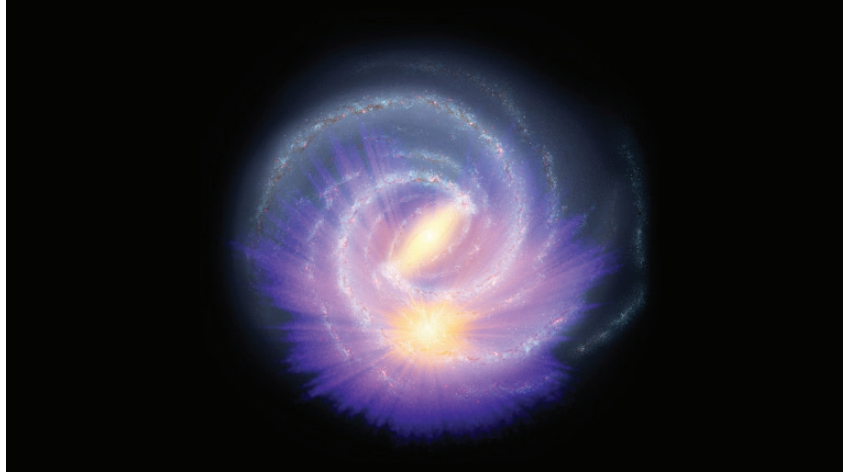
7. Galaktik Yapı Araştırmalarına Katkı

İstanbul Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü Galaktik Yapı Çalışma Grubu Galaksimizin oluşumu, evrimi ve yapısı ile ilgili birçok çalışma yapıp literatüre katkıda bulunmaktadır. Galaksimizdeki ışımaya güçleri farklı (dev ve cüce) yıldızlar, açık kümeler, çift yıldızlar gibi çeşitli nesnelere fotometrik, astrometrik, kinematik, dinamik ve uzay dağılımları açısından inceleyerek Galaksi model parametrelerini (Karaali ve diğ., 2003a; 2004; Bilir ve diğ., 2006a,b,c; Ak ve diğ., 2007a; Karaali ve diğ., 2007; Ak ve diğ., 2008; Bilir ve diğ., 2008a; Özdönmez ve diğ., 2015), fotometrik sistemler arasında dönüşüm bağıntılarını (Karaali ve diğ., 2005; Bilir ve diğ., 2008b; Yaz ve diğ., 2010; Bilir ve diğ., 2011; Bilir ve diğ., 2012; Ak ve diğ., 2014), alfa-element ve metal bolluğu kalibrasyonları (Karaali ve diğ., 2003b; Karaali ve diğ., 2011; Tunçel Güçtekin ve diğ., 2016; Tunçel Güçtekin ve diğ., 2017; Yaz Gökçe ve diğ., 2017) ile mutlak parlaklık kalibrasyonlarını elde etmişlerdir (Ak ve diğ., 2007b; Bilir ve diğ., 2008c; Eker ve diğ., 2009; Karaali ve diğ., 2012; 2013a, b, c, 2014; 2016; Bilir ve diğ., 2013; Çelebi ve diğ., 2019). Elde edilen dönüşüm formülleri ve kalibrasyonlar Galaksimizdeki farklı nesnelere uygulanarak Galaksimizin yapısı, oluşum ve evrimi araştırılmıştır (Ak ve diğ., 2015; Plevne ve diğ., 2015; Önal Taş ve diğ., 2018; Yontan ve diğ., 2019).

8. Sonuç

Hem Galaksimizdeki hem de galaksi-dışı nesnelere kullanılarak yapılan araştırmalardan Galaksimizin oluşumu, evrimi ve yapısı hakkında hala görüş birliğine varılamamıştır. 2013'te fırlatılan *Gaia* uydusu ile bir milyardan fazla yıldızın yüksek duyarlılıkta ölçümleri yapılmış ve günümüzün en zengin yıldız kataloğu oluşturulmuştur. *Gaia* uydusundan elde edilen verilerle, en iyi incelendiğini düşündüğümüz Güneş civarı için bile yeni ve heyecan verici bilgilere ulaşılabilecektir. Son çalışmalara göre Samanyolu Galaksisi'nin temsili bir görüntüsü Şekil 4'teki gibidir. 150 milyon yıldızın dağılımını gösteren bu şekil, ESA'nın *Gaia* DR2 verileri

ile kızılötesi ve optik verilerin birleştirilmesinden elde edilmiştir. Turuncu/sarı tonlar çoğu kırmızı dev olan yıldız yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerdir. Şekilde turuncu/sarı tondaki daha yoğun yuvarlak bölge Güneş civarını gösterirken Galaksi'nin merkezi bölgesinde birçok yıldızın oluşturduğu büyük ve uzun bir yapı da dikkati çekmektedir: bu, Galaktik çubuğun ilk geometrik göstergesidir.



Şekil 4. Son çalışmalara göre Samanyolu'nun temsili bir görüntüsü⁴.

Kaynaklar

- Abadi, M. G., Navarro, J.F., Steinmetz, M., Eke, V.R., 2003, ApJ, 597, 21
Ak, S., Bilir, S., Karaali, S., Buser, R., 2007a, AN, 328, 169
Ak, S., Ak, T., Karaali, S. ve diğ., 2014, PASA, 31, 14
Ak, T., Bilir, S., Ak, S., Retter, A., 2007b, NewA, 12, 446
Ak, T., Bilir, S., Ak, S., Eker, Z., 2008, NewA, 13, 133
Ak, T., Bilir, S., Özdönmez, A., Soyduğan, F., Soyduğan, E., Püsküllü, Ç., Ak, S., Eker, Z., 2015, Ap&SS, 357, 72
Alexander, T., 2005, PhR, 419, 65
Athanassoula E., 2005, MNRAS, 358, 1477
Baade, W., 1944, ApJ, 100, 137
Bahcall, J.N., 1986, ARA&A, 24, 577
Bahcall, J.N., Soneira, R.M., 1980, ApJS, 44, 73
Bahcall, J.N., Soneira, R.M., 1984, ApJS, 55, 67
Balick, R., Brown, R.L., 1974, ApJ, 194, 265
Becker, W., 1965, ZA, 62, 54
Benjamin, R.A., Churchwell, E., Babler, B.L. ve diğ., 2005, ApJ, 630, L149
Bensby, T., Feltzing, S., Lundstrom, I., 2003, A&A, 410, 527
Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Yaz, E., Hamzaoglu, E., 2006a, NewA, 12, 234
Bilir, S., Karaali, S., Gilmore, G., 2006b, MNRAS, 366, 1295
Bilir, S., Karaali, S., Güver, T., Karataş, Y., Ak, S.G., 2006c, AN, 327, 72
Bilir, S., Cabrera-Lavers, A., Karaali, S., Ak, S., Yaz, E., López-Corredoira, M., 2008a, PASA, 25, 69
Bilir, S., Ak, S., Karaali, S., Cabrera-Lavers, A., Chonis, T.S., Gaskell, C.M., 2008b, MNRAS, 384, 1178
Bilir, S., Ak, T., Soyduğan, E. ve diğ., 2008c, AN, 329, 835
Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Dağtekin, N.D., Önal, Ö., Yaz, E., Coşkunoglu, B., Cabrera-Lavers, A., 2011, MNRAS, 417, 2230
Bilir, S., Karaali, S., Dağtekin, N.D., Önal, Ö., Ak, S., Ak, T., Cabrera-Lavers, A., 2012, PASA, 29, 121
Bilir, S., Ak, T., Ak, S., Yontan, T., Bostancı, Z.F., 2013, NewA, 23, 88
Binney, J., Gerhard, O., Spergel, D., 1997, MNRAS, 288, 365
Boehle, A., Ghez, A.M., Schödel, R. ve diğ., 2016, ApJ, 830, id. 17, 23

4 [https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Missions/Gaia/\(result_type\)/images](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Missions/Gaia/(result_type)/images)

- Bournaud, F., Elmegreen, B.G., 2009, ApJ, 694, L158
Brook, C.B., Gibson, B.K., Martel, H., Kawata, D., 2005, ApJ, 630, 298
Brooks, R.S., Wilson, C.D., Harris, W.E., 2004, AJ, 128, 237
Buser, R., Fenkart, R., 1990, A&A, 239, 243
Buser, R., Rong, J., Karaali, S., 1998, A&A, 331, 934
Buser, R., Rong, J., Karaali, S., 1999, A&A, 348, 98
Cabrera-Lavers, A., Hammersley, P. L., González-Fernández, C., López-Corredoira, M., Garzón, F., Mahoney, T.J., 2007, A&A, 465, 825
Cabrera-Lavers, A., González-Fernández, C., Garzón, F., Hammersley, P.L., López-Corredoira, M., 2008, A&A, 491, 781
Camargo, D., Bonatto, C., Bica, E., 2015, MNRAS, 450, 4150
Carney, B.W., Aguilar, L., Latham, D.W., Laird, J.B., 1990, AJ, 99, 201
Carollo, D., Beers, T.C., Lee, Y.S. ve diğ., 2007, Nature, 450, 1020
Chen, B., Stoughton, C., Smith, J.A. ve diğ., 2001, ApJ, 553, 184
Chiappini, C., Matteucci, F., Gratton, R., 1997, ApJ, 477, 765
Chiba, M., Beers, T. C., 2000, AJ, 119, 2843
Churchwell, E., Babler, B.L., Meade, M.R. ve diğ., 2009, PASP, 121, 213
Cox, A.N., 2000, Allen's Astrophysical Quantities, ISBN: 0387987460
Curtis, H.D., 1917, PASP, 29, 206
Çelebi, M., Bilir, S., Ak, S., Ak, T., Bostancı, Z.F., Yontan, T., 2019, Ap&SS, 364, 172
de Vaucouleurs, G., 1964, The Galaxy and the Magellanic Clouds, ed. F. J. Kerr, 20, 195
Du, C., Zhou, X., Ma, J. ve diğ., 2003, A&A, 407, 541
Dwek, E., Arendt, R.G., Hauser, M. G. ve diğ., 1995, ApJ, 445, 716
Eckart, A., Genzel, R., 1996, Nature, 383, 415
Eckart, A., Genzel, R., 1997, MNRAS, 284, 576
Eggen, O.J., Lynden-Bell, D., Sandage, A.R., 1962, ApJ, 136, 748
Eker, Z., Bilir, S., Yaz, E., Demircan, O., Helvacı, M., 2009, AN, 330, 68
Englmaier, P., Gerhard, O., 1999, MNRAS, 304, 512
Erwin, P., Debattista, V.P., 2016, ApJ, 825L, id. L30, 6
Fenkart, R., 1989a, A&AS, 78, 217
Fenkart, R., 1989b, A&AS, 79, 51
Fenkart, R., 1989c, A&AS, 80, 89
Fenkart, R., 1989d, A&AS, 81, 187
Figer, D.F., 2003, AN, 324, 255
Freeman, K., 2012, ASSP, ISBN 978-3-642-18417-8, 26, 137
Fux, R., 1999, A&A, 345, 787
Gerhard, O., 2002, ASPC, ISBN: 1-58381-114-1, 273, 73
Ghez, A.M., Duchêne, G., Matthews, K. ve diğ., 2003, ApJ, 586, L127
Gillissen, S., Plewa, P.M., Eisenhauer, F. ve diğ., 2017, ApJ, 837, id. 30, 19
Gilmore, G., Reid, N., 1983, MNRAS, 202, 1025
Gilmore, G., Reid, N., Hewett, P., 1985, MNRAS, 213, 257
Gilmore, G., Wyse, R.F.G., 1985, AJ, 90, 2015
Gilmore, G., Wyse, R.F.G., Kuijken, K., 1989, ARA&A, 27, 555
Gilmore, G., Wyse, R.F.G., Norris, J. E., 2002, ApJ, 574, 39
Grillmair, C.J., Carlin, J.F., 2016, ASSL, ISBN: 978-3-319-19335-9, 420, 87
Häfner, R., Evans, N.W., Dehnen, W. Binney, J., 2000, MNRAS, 314, 433
Hamadache, C., Le G. L., Tisserand, P. ve diğ., 2006, A&A, 454, 185
Hammersley, P. L., Garzón, F., Mahoney, T.J., López-Corredoira, M., Torres, M.A.P., 2000, MNRAS, 317, L45
Haywood, M., Snaith, O., Lehnert, M.D., Di Matteo, P., Khoperskov, S., 2019, A&A, 625, id.A105, 13
Herschel, W., 1785, RSPT, 75, 213
Hubble, E.P., 1925, Obs, 48, 139
Jurić, M., Ivezić, Ž., Brooks, A. ve diğ., 2008, ApJ, 673, 864
Kapteyn, J.C., 1922, ApJ, 55, 302
Karaali, S., Ak, S.G., Bilir, S., Karataş, Y., Gilmore, G., 2003a, MNRAS, 343, 1013
Karaali, S., Bilir, S., Karataş, Y., Ak, S.G., 2003b, PASA, 20, 165
Karaali, S., Bilir, S., Hamzaoglu, E., 2004, MNRAS, 355, 307

- Karaali, S., Bilir, S., Tunçel, S., 2005, PASA, 22, 24
Karaali, S., Bilir, S., Yaz, E., Hamzaoğlu, E., Buser, R., 2007, PASA, 24, 208
Karaali, S., Bilir, S., Ak, S., Yaz, E., Coşkunoğlu, B., 2011, PASA, 28, 95
Karaali, S., Bilir, S., Gökçe, E.Y., 2012, PASA, 29, 509
Karaali, S., Bilir, S., Gökçe, E.Y., 2013a, PASA, 30, 8
Karaali, S., Bilir, S., Gökçe, E.Y., 2013b, PASA, 30, 11
Karaali, S., Bilir, S., Gökçe, E.Y., 2013c, Ap&SS, 346, 89
Karaali, S., Gökçe, E.Y., Bilir, S., Güçtekin, S.T., 2014, PASA, 31, 27
Karaali, S., Gökçe, E.Y., Bilir, S., 2016, Ap&SS, 361,354
Lin, C.C., Shu, F.H., 1964, ApJ, 140, 646
Lin, C.C., 1971, HiA, 2, 88
Lindblad, B., 1942, StoAn, 14, 1
Lindblad, P.O., 1960, StoAn, 21, 63
López-Corredoira, M., Cabrera-Lavers, A., Gerhard, O. E., 2005, A&A, 439, 107
López-Corredoira, M., Lee, Y. -W., Garzón, F., Lim, D., 2019, A&A, 627, id.A3, 5
Majewski S.R., 1993, ARA&A, 31, 575
Minchev, I., Nordhaus, J., Quillen, A.C., 2007, ApJ, 664, L31
Minchev, I., Famaey, B., 2009, ApJ, 722, 112
Momany, Y., Zaggia, S., Gilmore, G., Piotto, G., Carraro, G., Bedin, L.R., de Angeli, F., 2006, A&A, 451, 515
Ness, M., Lang, D., 2016, AJ, 152, id. 14, 4
Önal Taş, Ö., Bilir, S., Plevne, O., 2018, Ap&SS, 363, 35
Özdönmez, A., Ak, T., Bilir, S., 2015, NewA, 34, 234
Pearson, S., 2018, Thesis (Ph.D.), “Stellar Streams, Dwarf Galaxy Pairs, and the Halos in Which They Reside”, ISBN: 9780438159884
Perets, H.B., Hopman, C., Alexander, T., 2007, ApJ, 656, 709
Plevne, O., Ak, T., Karaali, S., Bilir, S., Ak, S., Bostancı, Z.F., 2015, PASA, 32, 43
Quinn P. J., Hernquist L., Fullagar D.P., 1993, ApJ, 403, 74
Robin, A.C., Reylé, C., Crézé, M., 2000, A&A, 359, 103
Roškar, R., Debattista, V. P., Quinn, T. R., Stinson, G. S., Wadsley, J., 2008, ApJ, 684, 79
Schödel, R., Ott, T., Genzel, R. ve diğ., 2002, Nature, 419, 694
Searle, L., Zinn, R., 1978, ApJ, 225, 357
Sellwood, J.A., Binney, J.J., 2002, MNRAS, 336, 785
Shapley, H., 1919, ApJ, 49, 311
Shapley, H., 1938, Nature, 142, 715
Siegel, M.H., Majewski, S.R., Reid, I.N., Thompson, I.B., 2002, ApJ, 578, 151
Soubiran, C., Bienayme, O., Siebert, A., 2003, A&A, 398, 141
Stanek, K.Z., Udalski, A., Szymański, M., KaŁuŻny, J., Kubiak, Z.M., Mateo, M., Krzemiński, W., 1997, ApJ, 477, 163
Trumpler, R.J., 1930, PASP, 42, 214
Tunçel Güçtekin, S., Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Ak, T., Bostancı, Z.F., 2016, Ap&SS, 361, 186
Tunçel Güçtekin, S., Bilir, S., Karaali, S., Plevne, O., Ak, S., Ak, T., Bostancı, Z.F., 2017, Ap&SS, 362, 17
Urquhart, J.S., Figura, C.C., Moore, T.J.T., Hoare, M.G., Lumsden, S.L., Mottram, J. C., Thompson, M.A., Oudmaijer, R.D., 2014, MNRAS, 437, 1791
Villalobos, A., Helmi, A., 2008, MNRAS, 391, 1806
Yaz, E., Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Coşkunoğlu, B., Cabrera-Lavers, A., 2010, AN, 331, 807
Yaz Gökçe, E., Bilir, S., Karaali, S., Plevne, O., 2017, Ap&SS, 362, 185
Yontan, T., Bilir, S., Bostancı, Z. F. ve diğ., 2019, Ap&SS, 364, 152
York, Donald G., Adelman, J., Anderson, John E., Jr. ve diğ., 2000, ApJ, 120, 1579
Yoshii, Y., Ishida, K., Stobie, R.S., 1987, AJ, 93, 323