

# Re-ionization Dönemi Galaksilerin Kozmolojik Simülasyonları

H. Aziz Kayihan<sup>1,2,\*</sup>, Ferhat Fikri Özeren<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Kayseri.

<sup>2</sup>Antalya Sınava Koleji

<sup>3</sup>TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi

## Özet

Bu bildiriye, evrenin ilk milyar yılındaki galaksilerin karanlık madde halolarında nasıl oluştuklarını ve kümelenme özelliklerini incelemek amacı ile oluşturduğumuz kozmolojik simülasyonu ele alıyoruz.

**Anahtar Kelimeler:** (cosmology:) early Universe, Samanyolu, Galaksiler, Kozmoloji

## 1 Kozmolojik Simülasyonlar

Günümüzde galaksi oluşumu ve galaksi - karanlık madde halo bağlantılarını anlamak ve detaylandırabilmek için kozmolojik simülasyonlar kullanılmaktadır. Şu anki teknoloji çerçevesinde  $z = 8$  civarı ve daha öte galaksileri çözümlenebilmek Hubble Uzay Teleskobu ile çok zor. Bu da görüntüye düşen galaksilerin, kümelenmiş olarak mı orada bulunduğunu, yoksa bakış doğrultumuza mı denk geldiğini açıklığa kavuşturamamaktadır. Belirli bir kozmoloji çerçevesinde tasarlanan bu simülasyonlar, yaptığımız gözlemleri anlamlandırabilmek için faydalı olmaktadır.

Kozmolojik simülasyonlar son 4 sene içerisinde çok hızlı bir şekilde gelişti ve bu alanda çok fazla veri üretilmeye başlandı. Bu simülasyonlardan en büyük ve en kapsamlısı olanı Alman Astrofizik Sanal Gözlemevi tarafından yürütülen Virgo-Millennium simülasyonlarıdır. Bu tez çalışması içerisinde olduğu gibi, daha küçük kapsamlı yapılan spesifik çalışmaları için en çok kullanılan veritabanı da bu simülasyonlardır. Python dili kullanarak bizim bu çalışma için hazırlanmış olduğumuz simülasyon kutusunun detayları takip eden bölümlerde sunulmuştur.

## 2 Millennium Run

Millennium Run olarak adlandırılan Millennium Simülasyonu, Lambda CDM kozmolojisi dahilinde şimdiye kadar yapılmış en geniş kapsamlı simülasyondur. Millennium simülasyonu 500  $Mpc/h^3$  lik bir alanda karanlık madde dağılımını oluşturabilmek için  $10^{10}$  parçacık kullanılmaktadır. Simülasyon 5 kpc/h çözünürlüğe sahiptir.

Garching'de bulunan Max Planck Society'nin süper bilgisayar merkezinde Virgo Konsorsiyumuna bağlı olarak 2004 yılında tamamlanan Millennium simülasyonunun kullandığı  $10^{10}$  parçacık  $8.6 \times 10^8$   $M_{sun}/h$  toplam kütleyle karşılık gelmektedir.  $Z = 0$ 'dan  $z = 127$ 'ya kadar oluşturulan simülasyon aşağıdaki kozmoloji değerlerini kullanmaktadır.

$$\Omega_m = 0.25, \Omega_b = 0.045, \Omega_\Lambda = 0.75, h = 0.73, n_s = 1, \sigma_8 = 0.9$$

Millennium simülasyonu halka açık olan GADGET-2 (Springel 2005) kodunun geliştirilmiş bir sürümü ile oluşturulmuştur.

\* azizkayihan@gmail.com

## 2.1 Snapshot

Matematik ve Fizikte kullanılan simülasyonlarda verilerin saklandığı simülasyon aralıklarına snapshot adı verilir. Yani snapshot kavramı belirli bir  $t$  anında simülasyonun dondurulmuş hali denebilir. Bir simülasyon içerisinde, simülasyon çalıştırıldığı müddetçe, belli aralıklarla simülasyonun snapshotları alınır ve tüm simülasyon verisi saklanması yerine bu snapshotlar saklanır. Bunun belli amaçları mevcuttur. Bunlardan en önemlisi, herhangi bir  $t$  anında gerek duyulduğunda simülasyon, baştan başlatılmak yerine, söz konusu snapshottan başlayarak çalıştırılabilir. Bir diğeri, bir model çalışılmak istendiği zaman daha fazla çalışma alanına ve kesime hitap edilmektedir. Kıstlı sonuçlara sahip bir simülasyon oluşturmak çok da mantıklı olmazdı, o yüzden kozmolojik simülasyonlar ele alındığında her bir snapshot, o veriyi çalışmak isteyenler için çalışmaları için istedikleri dönemi (istedikleri  $z$  değerini) çalışma olanağı sunmaktadır. Bu bağlamda Millennium simülasyonunun,  $z = 127$ 'den başlayıp  $z = 0$  değerine kadar çalıştırılmış bir simülasyon olduğunu düşünürseniz, bu aralıkta, farklı  $z$  değerlerinde snapshot, yani dolayısı farklı  $z$  değerlerine sahip karanlık madde halo ve galaksi verisi sunabilmektedir. Millennium simülasyonu toplamda 64 adet snapshottan oluşmaktadır (0 ile 63 arasında).

## 3 Simülasyon Kutusu

Bu çalışma kapsamında her bir boyutu 62.5 Mpc olan bir simülasyon kutusu kodlanmıştır. Bu simülasyon kutusunun detayları aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

### 3.1 Kod

Bu çalışma için oluşturduğumuz simülasyon kodu Python kullanılarak hazırlanmıştır. Kod genel olarak 3 parçaya bölünmüştür. Kodun bir bölümü Millennium veritabanından alınan veriyi hazırlanan kutu için daha anlamlı hale getirerek kutuya sunmaktadır. Bir diğeri bölüm kutu için periyodik sınır koşulunu belirtmektedir. Diğeri kod bölümü ise kutunun kendisini tanımlamaktadır.

### 3.2 Kutu Büyüklüğü

Bu çalışma için oluşturduğumuz simülasyon kutusunun her boyutu 62.5 Mpc büyüklüğündedir. Bu mesafe yaklaşık olarak 203.75 milyon ışık yılı genişliğinde bir kutuya denk gelmektedir. Benzer çalışmalar için oluşturulmuş simülasyonlarda kutu büyüklükleri daha fazla olabilmektedir. Virgo-

Millennium simülasyonundaki tam kutu büyüklüğü 500 Mpc büyüklüğündedir. Bu sınırla Virgo-Millennium projesi aynı zamanda şimdiye kadar yapılmış en büyük simülasyon olma özelliğini taşımaktadır.

Simülasyon kutusunun büyüklüğü ve küçüklüğü farklı faktörle değerlendirilmektedir. Örneğin, Millennium simülasyonu en büyük simülasyon olmasına karşın yüksek çözünürlüklü veya görsel sonuçlar elde etmeyi amaçlayan bir simülasyon değildir. Buna karşılık Vogelsberger ve arkadaşları (2014) tarafından hazırlanan simülasyon ise sadece 128 Mpc boyutunda olmasına karşın yapılmış en yüksek çözünürlüklü simülasyondur. Bizim simülasyon kutusu boyutu olarak 62.5 Mpc seçmemizin arkasındaki iki temel sebep, milli-Millennium simülasyon verisini kullandığımız için kutumuzu milli-Millennium boyutlarına uydurmak ve simülasyonu çalıştırmak için bir cluster'a ihtiyaç duyma gereksinimimizi azaltmaktır.

### 3.3 Periyodik Sınır Koşulu

Periyodik Sınır Koşulu (PBC) birim hücreleri veya küçük sistemleri kullanarak bunları daha geniş hatta sonsuz sistemlere yakınlaştırmak için uygulanan bir takım sınır koşullarıdır. PBC çoğunlukla bilgisayar simülasyonlarında ve matematiksel modellerde kullanılabilir. İki boyutta ele aldığımızda PBC, içeriğinde veri bulunan bir karenin sonsuza uyarlanması (yani bittiği noktada tekrar etmesi) olarak anlatılabilir.

Pratik olarak PBC, bir simülasyon kutusuna giren bir cismin (bizim çalışmamızda pencil beam) kutu bittiği noktada karşı tarafından kutuya tekrar girmesi demektir.

## 4 Sonuç

Çalışmanın ilk sonuçlarına göre üretilen galaksi sayı dağılımı normalize edilmiş olarak Şekil 1'de verilmiştir. Kutu içerisinde üretilen 100000 farklı noktadan başlayan 100000 farklı pencil-beam üzerinde bulunan Samanyolu'ndan daha parlak galaksiler kaydedilmiştir. Çalışılan bölgede  $z=8$  ile  $z=10$  aralığında Samanyolu'ndan daha parlak olması beklenen galaksilerin ortalama sayısı 243'dür. Kırmızı eğri, galaksi sayı dağılımı ile aynı ortalamaya sahip Poisson dağılımıdır. Galaksi dağılımının Poisson dağılımından daha geniş olması, bize galaksilerin o bölgede rasgele bir dağılım içerisinde olmadığını göstermektedir.

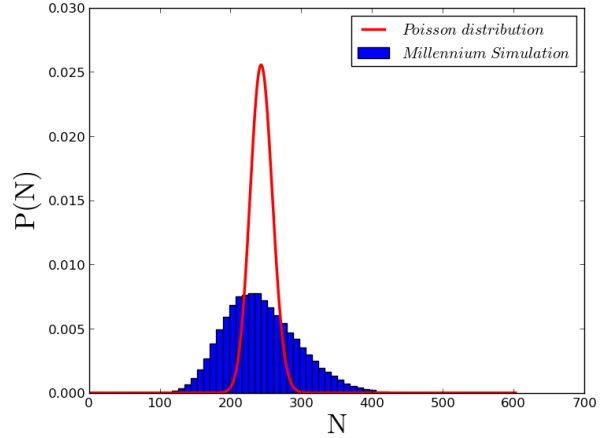
## 5 Kaynaklar

### Kaynaklar

- Planck Collaboration Ade P. A. R., Aghanim N., et al. 2013  
 Spergel D. N., et al., 2003, ApJS, 148, 175  
 Springel V., et al. 2005, Nature, 435, 629  
 Trenti M., et al. 2011, ApJ, 727, L39  
 Trenti M., Perna R., Tacchella S., 2013, ApJ, 773, L22  
 Taylor M.B. 2005, 2005ASPC..347...29T.  
 Sheth Ravi K. et al. 2001, 2001MNRAS.323....1S.

### Erişim:

O44-1650: [UAK-2018 Program](#) — [UAK Bildiri](#) — [Turkish J.A&A](#).



Şekil 1. Pencil-beam üzerine denk gelen Samanyolu'ndan parlak galaksiler sayı dağılımları ve Poisson dağılımı.