

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TİK 1

Holografik Karanlık Enerjili Evren Modelleri

Mutlu BATTALOĞLU
22414950003

Danışman: Doç. Dr. Can AKTAŞ

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi Einstein 1916 yılında Genel Rölativite teorisi sunmuştur. Bu teori uzay-zaman geometrisi ile madde arasındaki ilişkiyi açıklamaya çalışsa da karanlık madde ve karanlık enerjiyi açıklamada yetersiz kalır. Çünkü Einstein'ın bu teoriyi ortaya sunduğu zamanlar evrenin durağan olduğu düşünülüyordu.

Evrenin oluşumunu açıklamak için Big Bang yani büyük patlama teorisini 1920 li yıllarda bilim adamları tarafından büyük çoğunlukla kabul edilmiştir.

Normalde evren genişlese bile patlama şiddeti azaldıkça genişleme hızının da zaman içinde azalması ve son bulması gerekirdi. Ancak yapılan gözlemlerin sonuçları bizlere evrenin genişleme hızının azalmak yerine, ivmelenerek arttığını göstermektedir.

Evrenin ivmelenerek genişlemesi, Einstein'ın Genel Rölativite teorisinin yetersiz kaldığını göstermiştir. Çünkü Einstein'ın Genel Rölativite teorisi bize karanlık madde ve karanlık enerji gibi konuları açıklamakta yetersiz kalmıştır. Einstein alan denklemlerine ilave terimler eklenerek modifiye edilmiştir. $f(R,T)$ teorisinde Einstein alan denklemlerinin hem geometri hem de madde ile ilgili olan kısımlarına ekleme yapılmıştır.

Ayrıca genel olarak karanlık enerji adaylarının kozmik rastlantı problemine çözüm bulamadığı göz önüne alınarak holografi ilkesine dayanan Holografik Karanlık Enerji ortaya atılmıştır. Böylece Holografik Karanlık Enerjili evren modelleri incelenmelidir.

Bu tez çalışmasının konusu evrenin ivmelenerek genişlemesine % 73 oranında sebep olduğu düşünülen Holografik Karanlık Enerjili evren modellerini alternatif gravitasyon teorilerinde incelemektir. ($f(R,T)$, $f(R)$, $f(G)$, $f(Q)$, vb.)

2. AMAÇ

Bu çalışmada evrenin yaklaşık %73'ünü oluşturan ve ivmelenmeye sebep olduğu düşünülen maddeden, yani karanlık enerjiden bahsedilecektir.

Karanlık enerji adayları arasından Holografik Karanlık Enerji, evrenin geometrik yapıları tarafından belirlenen bir enerji yoğunluğunu ortaya koyan etkili bir teori olduğu için benzersiz bir konuma sahiptir. Holografik Karanlık Enerji de son yıllarda önerilen bir karanlık enerji adaydır. Bunun yanı sıra Genel Rölativite teorisinin karanlık enerji ve

karanlık madde gibi konuları açıklayamaması bazı alternatif teorilerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

Böylece bu çalışmanın temel amacı evrenin ivmelenerek genişlemesinden sorumlu tutulan karanlık enerjinin Einstein'ın Genel Rölativite Teorisi'nin modifiye edilmiş bir şekli olan Holografik Karanlık Enerjili evren modellerini alternatif gravitasyon teorilerinde incelemektir.

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bilim adamlarının son yıllarda yaptıkları gözlemler evrenin ivmelenerek genişlediğini ve buna %73 lük sebebin karanlık enerjinin sebep olduğu düşünülmektedir. Einstein tarafından 1916 yılında ortaya atılan Genel Rölativite teorisi evrenin genişlemesinde karanlık enerjiyi tam olarak açıklamakta yetersiz kalmıştır. Bundan dolayı bu teoriye alternatif olarak ortaya çıkan teorilerden biride 2011 yılında Harko vd. (Harko vd., 2011) tarafından ortaya atılan $f(R,T)$ teoridir. Burada $f(R,T)$ R Ricci skaleri, T ise Enerji momentum tensörünün izini belirtir. $f(R,T)$ teorisinde Einstein alan denklemlerinin hem madde hem de geometri kısmına ilave terimler eklenmiştir.

Kozmik rastlantı problemiyle ortaya atılan ve holografi ilkesine dayanan Holografik Karanlık Enerji deki Holografi ilkesine göre fiziksel sistemlerin serbestlik derecelerinin sayısı, hacimleriyle değil sınırladıkları alan ile orantılıdır. Holografik ilke herhangi bir olay ufku içindeki tüm bilgilerin sınırları içerisinde tanımlanabileceğini söyler. Cohen ve arkadaşları karanlık enerjinin holografi ilkesine uyması ve kızılötesi-infrared (IR) tarafından sınırlandırılması gerektiğini öne sürmüştür (Cohen et al 1999).

Evrenin hızlanan bir genişleme fazından geçtiğini açıklamak üzere yeni bir HDE modeli olan Tsallis Holografik Karanlık Enerji ortaya atılmıştır. THDE modeli genelleştirilmiş Tsallis entropisi $S_\delta = \gamma A^\delta$ kullanır (Burada γ bilinmeyen sabit ve δ toplamsal olmayan parametredir).

4. $f(R,T)$ TEORİSİ

Genel Rölativite teorisi kütle çekimin geometrik kuramıdır ve kütle çekimin 4 boyutlu uzay-zamanda (x,y,z uzay, t zaman) tanımlanmasını sağlar.

Gravitasyonel etkileşimleri ve büyük ölçekte evrenin yapısını açıklayan Einstein alan denklemlerinin tensörel formdaki ifadesi:

$$R_{ik} - \frac{1}{2}Rg_{ik} + \Lambda g_{ik} = -\chi T_{ik} \quad (1)$$

Bu denklemlerde R_{ik} Ricci tensörü, g_{ik} metrik tensör, R Ricci skaleri, T_{ik} enerji – momentum tensörü, Λ kozmolojik sabit, $\chi = \frac{8\pi G}{c^4}$ G, Gravitasyonel sabit ve c , ışık hızıdır.

Einstein alan denklemlerinin sol tarafı uzay-zaman geometrisiyle, sağ tarafı ise madde dağılımıyla ilgilidir.

2011 yılında Harko vd. Einstein alan denklemlerinin hem geometri ile ilgili kısmını hem de madde ile ilgili kısmını değiştirerek bir $f(R,T)$ fonksiyonu yardımıyla yeniden ifade etmişlerdir. (Harko vd., 2011) Burada $f(R,T)$ fonksiyonu Ricci skaleri R 'nin ve enerji-momentum tensörünün izi olan T 'nin keyfi fonksiyonudur. $f(R,T)$ teorisinin etkisi aşağıdaki şekilde önerilmiştir;

$$S = \frac{1}{16\pi} \int f(R,T) \sqrt{-g} d^4x + \int L_m \sqrt{-g} d^4x \quad (2)$$

Burada R Ricci skaleri, T enerji momentum tensörünün izi, g metrik tensörün (g_{ij}) determinantı, ayrıca $f(R,T)$ R ve T 'ye bağlı keyfi fonksiyonudur. L_m Lagrangian yoğunluğunu ifade etmek üzere enerji momentum tensörü

$$T_{ij} = g_{ij}L_m - 2 \frac{\partial L_m}{\partial g^{ij}} \quad (3)$$

şeklinde tanımlıdır. (2) denkleminin varyasyonu alınırsa

$$f_R(R,T)R_{ij} - \frac{1}{2}f(R,T)g_{ij} + (g_{ij}\square - \nabla_i \nabla_j)f_R(R,T) = 8\pi T_{ij} - f_T(R,T)T_{ij} - f_T(R,T)\theta_{ij} + \Lambda g_{ij} \quad (4)$$

elde edilir. Burada $f_R(R,T)$, $f(R,T)$ fonksiyonunun R 'ye göre türevi ve $f_T(R,T)$, $f(R,T)$ fonksiyonunun T 'ye göre türevini göstermektedir [4]. ∇_i kovaryant türev, $\square = \nabla_i \nabla^i$ ve θ_{ij} aşağıdaki şekilde tanımlıdır.

$$\theta_{ij} = -2T_{ij} + g_{ij}L_m - 2g^{ik} \frac{\partial^2 L_m}{\partial g^{ij} \partial g^{ik}} \quad (5)$$

(4) denkleminde

$$f_R(R, T)R - 3\Box f_R(R, T) + 2f(R, T) = 8\pi T - f_T(R, T)T - f_T(R, T)\theta + \Lambda g_{ij} \quad (6)$$

elde edilir. (6) denklemi (4) denkleminde yerine yazılırsa

$$\begin{aligned} f_R(R, T)(R_{ij} - \frac{1}{3}Rg_{ij}) + \frac{1}{6}f(R, T)g_{ij} \\ = 8\pi(T_{ij} - \frac{1}{3}Tg_{ij}) - f_T(R, T)(T_{ij} - \frac{1}{3}Tg_{ij}) - f_T(R, T)(\theta_{ij} - \frac{1}{3}\theta g_{ij}) \\ + \nabla_i \nabla_j f_R(R, T) + \Lambda g_{ij} \end{aligned}$$

bulunur. $f(R, T)$ teori çerçevesinde incelenecek olan HDE'nin özellikleri aşağıdaki şekilde tanımlıdır. Holografik karanlık enerji durumunda, karanlık madde ve karanlık enerji ikili akışkan olarak dikkate alınır $T = T_{dm} + T_{de}$. HDE modeli Genelleştirilmiş Tsallis Entropisi kullanır.

$$S_\delta = \gamma A^\delta \quad (7)$$

Bu denklemde γ bilinmeyen sabit ve δ toplamsal olmayan parametredir.

Kozmolojik ilke ve kızılötesi (IR) sınırını göz önüne alarak Cohen et al (1999) entropi (S) ile Ultraviyole sınır olan Λ ve olay ufku yarıçapı (L) arasında aşağıdaki ilişkiyi önermiştir.

$$\Lambda^3 L^3 \leq S^{\frac{3}{4}} \quad (8)$$

Bu eşitsizlik Tsallis Entropisi ile birleştirilince THDE'nin enerji yoğunluğu D sabit olmak üzere

$$\rho_{THDE} = DL^{2\delta-4} \quad (9)$$

şeklinde bulunur. Açıkça THDE modeli HDE'ye kıyasla ek olarak bir δ parametresi içerir.

$\delta=1$ için THDE modeli HDE'ye indirgenir. $\rho_{DE} = 3c^2 M_p^2 L^{-2}$ ve $D = 3c^2 M_p^2$

$\delta=2$ için ρ_{THDE} de kozmik sabit olur.

$L = H^{-1}$ sisteminin IR kesimi olarak Hubble küresini dikkate alırsak THDE enerji yoğunluğu,

$$\rho_{THDE} = DH^{4-2\delta} \quad (10)$$

Birbirinden farklı karanlık enerji modelleri bilim insanları tarafından bulunmuştur.

Alan denklemleri tarafından türetilen denklem (4) de bahsettiğimiz Einstein – Hilbert eylem prensibi,

$$f_R(R, T)R_{ij} - \frac{1}{2}f(R, T)g_{ij} + (g_{ij}\square - \nabla_i \nabla_j)f_R(R, T) \\ = 8\pi T_{ij} - f_T(R, T)T_{ij} - f_T(R, T)\theta_{ij} + \Lambda g_{ij}$$

idi. Burada $f_R = \frac{\partial f}{\partial R}$, $f_T = \frac{\partial f}{\partial T}$, ∇_i kovaryant türev ve $\square = \nabla_i \nabla^i$, $\theta_{ij} = -2T_{ij} + g_{ij}L_m - 2g^{ik} \frac{\partial^2 L_m}{\partial g^{ij} \partial g^{ik}}$ dir.

Buradaki L_m Langrange yoğunluğu, T_{ij} enerji momentum tensörü, ρ enerji yoğunluğu, p basınç olmak üzere

$$T_{ij} = (\rho + p)u_i u_j - p g_{ij} \quad (11)$$

Buradaki $u_i u^i = 1$ ve $u_i \nabla_k u^i = 0$ dır ve bunun izi $T = g^{ij} T_{ij}$ dir. Lagrange $L_m = -p$ alınırsa denklem (5)

$$\theta_{ij} = -2T_{ij} - p g_{ij} \quad (12)$$

olur.

Harko ve diğerleri üç farklı tip $f(R, T)$ fonksiyonu önermişlerdir. Mevcut çalışmada bu fonksiyon $f(R, T) = R + 2f(T)$ olarak ele alınmıştır. (12) deklemini ve (4) denklemleri dikkate alınarak,

$$R_{ij} - \frac{1}{2}R g_{ij} = 8\pi T_{ij} + 2f'(T)T_{ij} + (2pf'(T) + f(T))g_{ij} \quad (13)$$

Yukarıdaki türevde $f(T) = \mu T$, μ de sabit olarak alınmıştır. $\mu = 0$ alındığı zaman denklem genel rölativite denklemi olur. Bu bir anizotropik model varlığına işarettir. Evrenin oluşumunu anlamak için homojen ve anizotropik modeller gereklidir. Biz homojen ve anizotropik Bianchi tip-1 uzay zaman kullanarak THDE bulunacaktır.

Bianchi tip-1 uzay zamanın tanımı,

$$ds^2 = dt^2 - A^2 dx^2 - B^2 dy^2 - C^2 dz^2 \quad (14)$$

Buradaki A, B, C kozmik zaman t nin fonksiyonlarıdır. Bu metrik Kartezyen koordinatlarda (x, y, z, t) olarak verilmiştir. Hubble parametresini H , genişleme skalerini θ , hacim V alınırsa,

$$H = \frac{1}{3} \left(\frac{\dot{A}}{A} + \frac{\dot{B}}{B} + \frac{\dot{C}}{C} \right) \quad (15)$$

$$\theta = \frac{\dot{A}}{A} + \frac{\dot{B}}{B} + \frac{\dot{C}}{C} \quad (16)$$

$$V = a^3 = ABC \quad (17)$$

Buradaki nokta kozmik zamanın t ye göre türevini gösterir. Bilindiği gibi evren holografik karanlık enerji olarak bilinen varsayımsal bir sıvı ile doludur. Bunun enerji momentum tensörü,

$$T_{ij}^m = \rho_m u_i u_j \quad (18)$$

Formüldeki maddenin yoğunluğu ρ_m dir. THDE için enerji momentum tensörü T_{ij}^T ,

$$T_{ij}^T = (\rho_T + p)u_i u_j - p g_{ij} \quad (19)$$

Formüldeki ρ_T enerji yoğunluğunu, p de basıncı gösterir. Böylece toplam enerji momentum tensörü,

$$T_{ij} = T_{ij}^m + T_{ij}^T \quad (20)$$

olur. Denklem (14) ve (20) yi alan denklemi (13) de kullanırsak, $f(R, T)$,

$$\frac{\ddot{B}}{B} + \frac{\ddot{C}}{C} + \frac{\dot{B}\dot{C}}{BC} = -(3\mu + 8\pi)p + \mu\rho_m + \mu\rho_T \quad (21)$$

$$\frac{\ddot{A}}{A} + \frac{\ddot{C}}{C} + \frac{\dot{A}\dot{C}}{AC} = -(3\mu + 8\pi)p + \mu\rho_m + \mu\rho_T \quad (22)$$

$$\frac{\ddot{A}}{A} + \frac{\ddot{B}}{B} + \frac{\dot{A}\dot{B}}{AB} = -(3\mu + 8\pi)p + \mu\rho_m + \mu\rho_T \quad (23)$$

$$\frac{\dot{A}\dot{B}}{AB} + \frac{\dot{B}\dot{C}}{BC} + \frac{\dot{A}\dot{C}}{AC} = (3\mu + 8\pi)(\rho_m + \rho_T) - p\mu \quad (24)$$

Buradaki nokta kozmik zamanın t ye göre türevini gösterir.