

# KUZEY YARIKÜREDEKİ SEÇİLMİŞ GEZEENİMSİ BULUTSULARIN TFOSC İLE TAYFSAL GÖZLEMLERİ

Nazım AKSAKER<sup>1</sup>, Eda SONBAŞ<sup>2</sup>, Murat PARMAKSIZOĞLU<sup>3</sup>

## Özet

Bu çalışmada küçük ( $>3''$ ) ve kuzey yarıküreden seçilmiş ( $17 > RA > 07$ ) M1–5 ve K3–65 gezegenimsi bulutsuların orta çözünürlüklü tayflarının sonuçları sunulmuştur. Orta çözünürlüklü tayflardan ışınım çizgilerinin akı ve yarı genişlik değerleri yüksek sinyal gürültü oranı ( $S/N > 100$ ) ile belirlenmiştir. Tayflar TUG’ da bulunan TFOSC tayfölçeri RTT150 ile kullanılarak Haziran 2007’ de alınmıştır. Veri analizleri IRAF ve IDL programları ile yapılmıştır. Bu çalışmanın devamında bir gözlem projesiyle 76 gezegenimsi bulutsu gözlemlenecek ve ışınım akı standartları güney yarı küreden sonra kuzey yarı küre içinde hassas olarak ilk kez belirlenmiş olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** *Gezegenimsi bulutsu, tfosc, tayf, radyal*

*hız*

## Abstract

In this study, medium resolution spectra of M1–5 and K3–65 planetary nebulae, selected with the criteria of small size ( $>3''$ ) and in northern hemisphere ( $17 > RA > 07$ ), have been presented.

---

<sup>1</sup> Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, 01360, Adana,

Tel:05054864033, e-posta:aknazim@yahoo.com

<sup>2</sup> Special Astrophysical Observatory, Tel:--, e-posta: edasonbas@yahoo.com

<sup>3</sup> TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Akdeniz Üniversitesi Yerleşkesi, 07058 Antalya,

Tel: 242–2278401, Faks: 242–2278400, e-posta: murat@tu.tug.tubitak.gov.tr

Flux and line widths of emission lines from medium resolution spectra were obtained with high signal-to-noise ratio ( $S/N > 100$ ). Spectra have been taken using TFOSC spectrometer coupled of RTT150 at TUG in June, 2007. Data analysis has been made using IRAF and IDL programs. Next to this research 76 planetary nebulae will be observed and flux standards of emission lines will be obtained for the first time after the southern sphere with an observation project.

**Keywords:** *Planetary Nebula, tfosc, spectra, radial velocity*

## 1.Giriş

Gezegenimsi bulutsular çok güçlü [OIII],  $H\alpha$ , [SII] ve [NII] ışınım çizgileri gösterirler. Bu nedenle 1960 ve 1970' li yıllarda foton toplama algılayıcılar (foto katlandırıcı) ile akı standardı olarak kullanılan gezegenimsi bulutsuların ışınım çizgi akıları belirlenmiştir. 90' lı yıllarda CCD teknolojisinin gelişimi ile astronomik çalışmalar oldukça hassas olarak yapılabilmektedir.

Gezegenimsi bulutsuların hassas ışınım çizgi akılarını ölçülmesi birkaç nedenden dolayı yapılmaktadır. Birincil olarak hassas akı değerleri bulutsu ve merkez yıldızlarının kütleleri ışınım güçleri gibi temel özellikleri ile ilişkilidir ve bunlar fizikokimyasal özelliklerin belirlenmesini sağlar. Eğer bir gezegenimsi bulutsunun hassas akı değerleri belirlenir ve uzun yıllar boyunca gözlemlenir ise ışınım güçleri veya kütlelerinin değişimleri incelenebilir. Bunlara ek olarak gezegenimsi bulutsuların hassas ışınım çizgi akıları dar bantlı fotometrik gözlemler için standart olarak kullanılabilirler. Aslında yüksek hassasiyetli fotometrik [1], [2] ve tayfsal [3], [4], [5] standartlar bulunmaktadır. Bu standartlar gezegenimsi bulutsu, HII bölgeleri süpernova kalıntıları gibi kaynakların gözlenmesinde yetersiz kalmaktadır. Geçmişte foto katlandırıcı tüpler kullanılarak ışınım çizgi standartları belirlenmiştir [6], [7]. Ancak burada oldukça büyük hatalar bulunmaktadır. Kuzey yarı küre için gezegenimsi bulutsuların H-Beta akıları foto katlandırıcı tüpler ile gözlemlenmiştir [8], [9], [10], [11]. Son zamanlarda güney yarıküredeki gezegenimsi bulutsuların ışınım çizgileri geniş açıklıklı tayfölçer ile belirlenmiştir [12]. Benzer ışınım çizgi akı standartları kuzey yarı küre için hala yoktur [13]. Bu amaçla Wright ve ark. 2005

kuzey yarıkürede parlak 6 gezegenimsi bulutsunun ışınım çizgi akıları foto metrik olarak belirlenmiştir.

Bu bilgiler ışığında kuzey yarıkürede ışınım çizgi çalışmalarında standart olarak kullanılması için, gezegenimsi bulutsuların hassas ışınım çizgi akı standartları TUG da bulunan TFOSC (TUG Faint Object Spectrograph and Camera)<sup>4</sup> tayfölçeri kullanılarak 76 kaynağın ışınım çizgi akı standartları belirlenecektir. Bu çalışmada 2 gezegenimsi bulutsunun araştırma sonuçları verilmektedir.

## 2.Gözlemler ve Veri Analizi

Tayfsal gözlemler TUG’ da bulunan TFOSC tayfölçeri 1.5m ayna çaplı RTT150 ile birlikte kullanılarak yapılmıştır. Gözlemler sırasında görüş çoğunlukla 1" ve bazen 3" civarında hesaplanmıştır. Tayflarda 5860–8275 Å arasını kapsayan TFOSC’ un 8. optik ağı kullanılmıştır. Gözlemlerde 600 ve 1200 s poz süresi kullanılmıştır. Gözlemlenen kaynakların genel özellikleri tablo 1’ de verilmiştir.

**Tablo 1.** İncelenen kaynakların gözlemsel özellikleri.

Kaynak Adı	PNG Numarası	Sağ Açıklık ( $\alpha_{2000}$ )	Dik Açıklık ( $\delta_{2000}$ )	Çap (")
M 1-5	184.0-02.1	05 46 50.01	+24 22 02.7	2x2.3
K 3-65	184.0-02.1	04 15 54.57	+48 49 40.8	2x5

Gözlemlerde TFOSC’ un 8. Optik ağı fazla foton toplamak amacıyla en büyük yarık açıklığı 3.42" kullanılmıştır. Her gözlemden önce ve sonra FeAr arc lamba tayfları alınmıştır. Veri analizleri için IRAF<sup>5</sup> programı ve IDL<sup>6</sup> programı altında yazılan programlar kullanılmıştır. Veri analizleri; bias çıkarımı, flat düzeltilmesi ve FeAr lambasıyla alınan karşılaştırma spektrumu kullanılarak yapılan dalga boyu ayarlaması. Akı ayarlaması için her gözlem gecesinde fotometrik [1], [2] ve tayfsal [3], [4], [5] standart yıldızlar kullanılmıştır. Tayfların çizgi akıları ve eşdeğer genişlik değerleri IRAF da *plot* rutini kullanılarak ölçülmüştür.

<sup>4</sup> [http://www.tug.tubitak.gov.tr/rtt150\\_tfosc.php](http://www.tug.tubitak.gov.tr/rtt150_tfosc.php)

<sup>5</sup> <http://iraf.noao.edu/>

<sup>6</sup> <http://rsinc.com/idl/>

Kaynakların tayfların alınabilmesi ve kaynağın yarık pozisyonuna getirilmesi amacıyla herhangi bir süzgeç kullanmadan 5 s poz süreli CCD görüntüleri alınmış ve şekil 1a ve 1b’ de sırasıyla M1–5 ve K3–65 olarak verilmiştir. Şekil 1a ve 1b’ de ayrıca sağ üst tarafta incelenen bölgenin ayrıntılı görüntüsü bulunmaktadır. Şekil 1a ve 1b’ de kaynakların şekilleri küresel olarak görülmektedir ancak ayrıntılı yapıları daha yüksek çözünürlüklü görüntüleme çalışmalarına ihtiyaç bulunmaktadır.

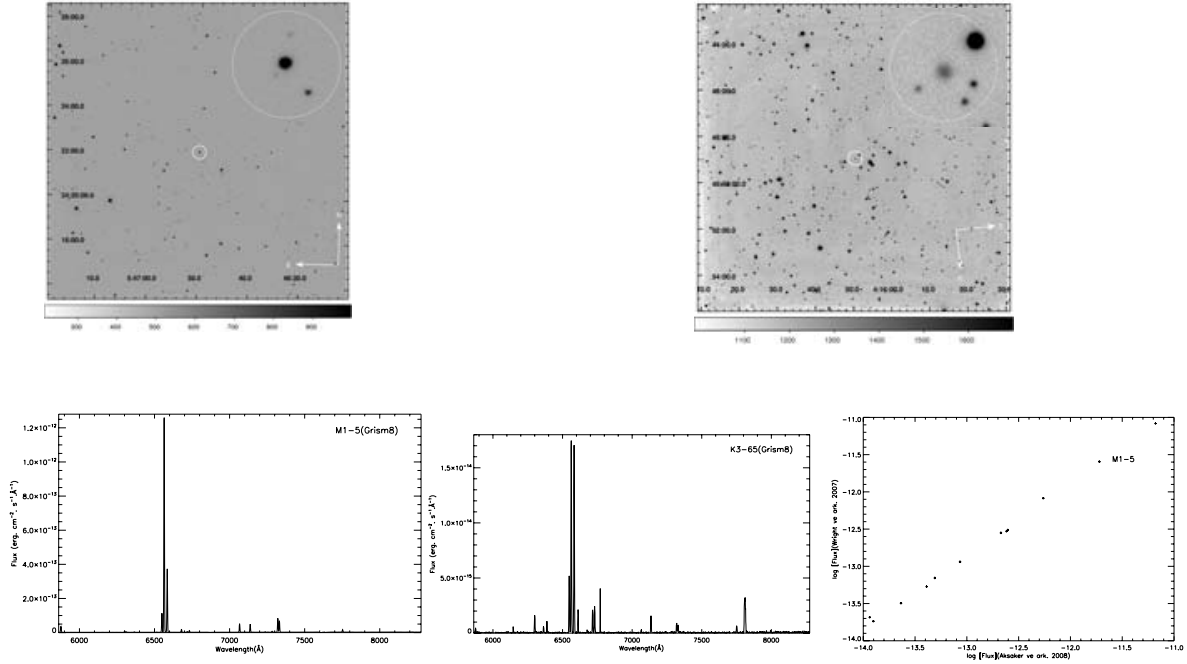
### 3. Sonuçlar ve Tartışmalar

Dalgaboyu (Å)	Işınım Çizgisi	Log[Ak1] (ergs cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Log[Çizgi Genişliği] (Å)	Log[Ak1] (ergs cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Log[Çizgi Genişliği] (Å)Kaynak	Log[Ak1] (ergs cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Log[Çizgi Genişliği] (Å)
5754.59	[NII]	--	--	-	1.228±0.102	--	--
5875.97	HeI	-	2.070	-	2.029±0.062	-	1.620
6300.30	[OI]	12,672±0.018	±0.033	12,551±0.007	8	14,664±0.007	±0.200
6312.10	[SIII]	-	1.300	-	1.265±0.038	-	2.080
6363.77	[OI]	13,389±0.013	±0.240	13,273±0.032	8	13,963±0.040	±0.050
6548.05	[NII]	-	0.900	-	0.819±0.048	-	0.900
6562.85	Hα	13,938±0.045	±0.430	13,685±0.034	8	14,848±0.240	±0.340
6583.45	[NII]	-	0.792	-	0.779±0.060	-	2.046
6678.15	HeI	13,903±0.009	±0.500	13,738±0.080	0	14,543±0.048	±0.040
6716.47	[SII]	-	1.850	-	1.793±0.076	-	2.615
6730.85	[SII]	12,263±0.022	±0.120	12,086±0.002	6	13,527±0.008	±0.033
7065.71	HeI	-	2.958	-	2.817±0.029	-	2.810
7135.80	[ArIII]	11,179±0.004	±0.013	11,082±0.002	9	13,022±0.008	±0.029
		-	2.580	-	2.498±0.063	-	2.975
		11,721±0.018	±0.057	11,595±0.001	3	13,026±0.005	±0.040
		-	1.589	-	1.572±0.032	--	--
		13,067±0.030	±0.100	12,940±0.002	2	--	--
		-	0.990	-	1.008±0.026	-	2.430
		13,636±0.008	±0.370	13,497±0.005	6	13,896±0.017	±0.080
		-	1.340	-	1.332±0.016	-	2.520
		13,310±0.008	±0.170	13,157±0.001	6	13,815±0.009	±0.004
		-	1.960	-	1.942±0.031	--	--
		12,606±0.013	±0.053	12,513±0.002	1	--	--
		-	1.982	-	1.919±0.045	--	--
		12,618±0.008	±0.029	12,530±0.010	5	--	--

Kaynaklardan TFOSC ile elde edilen tayflar şekil 1c ve 1d' de sunulmuştur. Şekil 1c ve 1d' de görülen parlak ışınım çizgileri H $\alpha$  ve [NII] çizgilerine aittir ve her iki gezegenimsi bulutsuda da bulunmaktadır. Şekil 1c ve 1d' deki tayflar IRAF altında incelenerek M1–5 için 12 ışınım çizgileri belirlenmiştir. Belirlenen çizgiler ile ilişkili iyonlar, akıları ve çizgi genişlik değerleri ile kaynak değerler tablo 2' de verilmiştir. K3–65 için ise 9 ışınım çizgisinin akı ve genişlik değerleri hassas olarak ilk kez hassas olarak belirlenmiş ve sonuçlar yine tablo 2' de 7. ve 8. sütunlar olarak sunulmuştur. Tablo 2' de verilen  $\pm$  hata değerleri IRAF ile çıkarılmıştır. Kaynakların toplam akı değerlerindeki potansiyel hata kaynakların bir tanesi de yarık açıklığı olarak düşünülebilir. Ancak kötü görüş durumunda genişlik daha büyük seçilmelidir.

**Tablo 2.** M1–5 ve K3–65 için elde edilen ışınım çizgileri ile ilişkili iyon, akı, genişlik ve sinyal-gürültü oranları ile M1–5 için kaynak sonuçlar.

Tablo 2' de M1–5 için verilen akı değerleri ile kaynak değerler şekil 1e' de logaritmik olarak karşılaştırılmış ve  $\log [Flux](Wright\ ve\ ark.\ 2007) = 0.97x\log [Flux](Aksaker\ ve\ ark.\ 2008) - 0.24$  eşitliği bulmuştur. Burada istatistiksel uyumluluğu gösteren  $R^2$  değeri ise 0.9979 ile verilmektedir. Bu sonuçlar bize yaptığımız çalışmadaki değerlerin tutarlılığını göstermektedir. Bu sonuçlar sonraki çalışmalar için umut vermektedir. Kaynak ve gözlem sayısının artırılması ile daha güvenilir sonuçlar elde edilecektir. Aynı zamanda alınan tayflar bize kaynakların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek için yeterlidir.



**Şekil 1.** a,b) Sırasıyla M1–5 ve K3–65 gezegenimsi bulutsuların TFOSC ile süzgeçsiz olarak 5 sn poz süreli CCD görüntüleri. Görüntülerdeki renk indeksi ADU birimindedir. c,d) a ve b’ de sunulan M1–5 ve K3–65 gezegenimsi bulutsuların TFOSC ile G8 optik ağı kullanılarak alınan tayfları. e) M1–5 için verilen akı değerleri ile kaynak değerlerin logaritmik olarak karşılaştırılması verilmiştir.

### Kaynaklar

- [1]Johnson, H.L., & Harris, D.L. 1954, ApJ 120, 196
- [2]Landolt, A.U. 1992, AJ 104, 340
- [3]Stone, R.P.S., & Baldwin, J.A. 1983, MNRAS 204, 347
- [4]Massey, P., Strobel, K., Barner, J.V., & Anderson, E. 1988, ApJ 328, 315
- [5]Oke, J.B. 1990, AJ 99, 1621
- [6]Liller, W. 1955, ApJ 122, 240
- [7]O’Dell, C.R. 1963, ApJ 138, 1018
- [8]Liller, W., & Aller, L.H. 1954, ApJ 120, 48
- [9]Capriotti, E.R., & Daub, C.T. 1960, ApJ 132, 677
- [10]Miller, J.S., & Mathews, W.G. 1972, ApJ 172, 593
- [11]Barker, T. 1978, ApJ 264, 594
- [12]Dopita, M.A., Hua, C.T. 1997 ApJS 108, 515
- [13]Wright, S. A.; Corradi, R. L. M.; Perinotto, M. 2005, A&A, 436, 967-975.

## SİLİNDİRİK SİMETRİK MARDER UZAY-ZAMANINDA ENERJİ- MOMENTUM PROBLEMİNİN ARAŞTIRILMASI

Melis Aygün<sup>1,2</sup>, İhsan Yılmaz<sup>1,2</sup>, Sezgin Aygün<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen- Edeb. Fakültesi, Fizik Bölümü,  
17100 / Çanakkale

<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Astrofizik Araştırma Merkezi, 17020 /  
Çanakkale

### Özet

Bu çalışmada silindirik simetrik Marder metriği için genel relativite teorisinde Einstein, Bergmann-Thomson ve Landau-Lifshitz enerji-momentum dağılımları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan bu üç tür farklı enerji-momentum dağılımları sonuçlarının birbirinden farklı oldukları gösterilmiştir. Silindirik simetrik Marder metriği çeşitli dönüşümler kullanılarak başka metriklere dönüştürülmüş ve bu metriklerden elde edilen sonuçlar araştırılmıştır.

*Anahtar Kelimeler:* Enerji-momentum Problemi, Marder Uzay-zamanı, Genel Relativite Teorisi.

### 1. Giriş

Enerji-momentum problemi genel relativitenin en temel sorunlarından biridir. Halen tutarlı ve fiziksel anlamlı bir enerji- momentum tanımı bulunmamaktadır. Genel relativistik sistemin enerji, momentum ve açısal momentumunu ifade edebilmek için, Einstein kendisi Einstein enerji-momentum tanımını sunmuştur[1]. Einstein'dan sonra Tolman[2], Papapetrou[3], Bergmann-Thomson[4], Møller[5], Weinberg[6], Landau-Lifshitz[7] ve Qadir-Sharif[8] gibi araştırmacılar tarafından çeşitli tanımlar önerilmiştir. Sadece Møller enerji-momentum tanımı tüm koordinat sistemlerinde geçerli, yani koordinat sistemlerinden bağımsızdır[9]. Møller

enerji-momentum tanımı dışındakiler ancak koordinat sisteminin “Kartezyen” koordinatlar seçilmesi durumunda anlamlı ve tutarlı olurlar[9].

Diğer taraftan inhomojen silindirik simetrik Marder metriği [10]

$$ds^2 = A^2(x,t)(dx^2 - dt^2) + B^2(x,t)dy^2 + C^2(x,t)dz^2 \quad (1)$$

Marder modeli anisotropi ve inhomojenlik gibi özelliklere sahip evrenlerin çalışılması açısından bu özellikleri kapsadığından önem taşımaktadır. Inhomojen silindirik simetrik kozmolojik modeller evrenin evrimiyle ilgili erken evrende galaksilerin oluşumu gibi pek çok konunun açıklanmasına yardımcı modellerdir.

## **2. Bergmann-Thomson, Einstein, Landau-Lifshitz Enerji-Momentum Tanımları ve Inhomojen Silindirik Simetrik Uzay-Zamanın Enerji-Momentum Dağılımları**

Bergmann-Thomson enerji-momentumu

$${}_{GR} B^{\mu\nu} = \frac{1}{16\pi} \Pi^{\mu\nu\alpha}$$

olarak tanımlanmaktadır[4]. Burada  $\Pi^{\mu\nu\alpha}$  Bergmann-Thomson süperpotansiyeli

$$\Pi^{\mu\nu\beta} = g^{\mu\alpha} V_{\alpha}^{\nu\beta} \quad \text{ve}$$

$$V_{\alpha}^{\nu\beta} = -V_{\alpha}^{\beta\nu} = \frac{g_{\alpha\xi}}{\sqrt{-g}} \left[ -g(g^{\nu\xi}g^{\beta\rho} - g^{\beta\xi}g^{\nu\rho}) \right]_{,\rho}$$

$$\Pi^{001} = -\frac{2(BC)_x}{A^2}, \quad \Pi^{101} = \frac{2(BC)_t}{A^2}, \quad \Pi^{202} = \frac{2(AC)_t}{AB},$$

$$\Pi^{303} = \frac{2(AB)_t}{AC}$$



olarak elde edilir. (4) eşitliği (2) denkleminde kullanıldığında ise inhomojen silindirik simetrik Marder metriğinin Bergmann-Thomson enerji ve momentum dağılımları elde edilir ve aşağıdaki şekildedir.

$$B^{00} = -\frac{2AC_x B_x - 2CA_x B_x - 2BA_x C_x + CB_{xx} A + BC_{xx} A}{8\pi A^3} \quad (5)$$

$$B^{10} = \frac{AB_t B_x - 2CA_x B_t - 2BA_x C_t + C_t B_x A + CB_{tx} A + BC_{tx} A}{8\pi A^3} \quad (6)$$

$$B^{20} = B^{30} = 0. \quad (7)$$

Genel relativite teorisi kapsamında Einstein enerji-momentumu

$${}_{\text{GR}} E_{\mu}^{\nu} = \frac{1}{16\pi} H_{\mu, \alpha}^{\nu \alpha} \quad (8)$$

olarak tanımlanmaktadır[1]. Burada Einstein süper-potansiyeli  $H_{\mu}^{\nu \alpha}$  üst iki indisine göre anti-simetrik bir tensördür ve

$$H_{\mu}^{\nu \alpha} = -H_{\mu}^{\alpha \nu} = \frac{g_{\mu \beta}}{\sqrt{-g}} \left[ -g \left( g^{\nu \beta} g^{\alpha \xi} - g^{\alpha \beta} g^{\nu \xi} \right) \right]_{, \xi} \quad (9)$$

şeklinde tanımlanır. (9) eşitliğinde  ${}_{\text{GR}} E_0^0$  enerji yoğunluğunu,  ${}_{\text{GR}} E_{\mu}^0$  momentum yoğunluğu bileşenlerini ve  ${}_{\text{GR}} E_0^{\nu}$  enerji akı yoğunluğu bileşenlerini göstermektedir. (1) metriği ve (9) denkleminin birlikte kullanılmasıyla Einstein süper-potansiyeleri

$$\begin{aligned} H_0^{01} &= -2(BC)_{,x}, & H_1^{01} &= -2(BC)_{,t}, & H_2^{02} &= -\frac{2B(CA)_{,t}}{A}, \\ H_3^{03} &= -\frac{2C(BA)_{,t}}{A} \end{aligned} \quad (10)$$

olarak elde edilir. (10) eşitliği (8) denkleminde kullanıldığında ise inhomojen silindirik simetrik Marder metriğinin Einstein enerji ve momentum dağılımları elde edilir ve aşağıdaki şekildedir.

$$E^{00} = -\frac{2C_x B_x + CB_{xx} + BC_{xx}}{8\pi A^2} \quad (11)$$

(11)

$$E^{10} = \frac{B_t C_x + B_x C_t + CB_{tx} + BC_{tx}}{8\pi A^2} \quad (12)$$

$$E^{20} = E^{30} = 0. \quad (13)$$

Landau-Lifshitz enerji-momentumu aşağıdaki şekilde verilir[7]

$${}_{GR} L^{\mu\alpha} = \frac{1}{16\pi} S^{\mu\nu\alpha\beta} \quad (14)$$

Landau-Lifshitz süper-potansiyelleri ise

$$S^{\mu\nu\alpha\beta} = -g(g^{\mu\alpha} g^{\nu\beta} - g^{\mu\beta} g^{\nu\alpha}) \quad (15)$$

olarak tanımlanmaktadır.  ${}_{GR} L^{00}$  enerji yoğunluğunu,  ${}_{GR} L^{\mu 0}$  momentum yoğunluğu bileşenlerini ve  ${}_{GR} L^{0\nu}$  enerji akı yoğunluğu bileşenlerini göstermektedir. (1) metriği ve (15) denkleminin birlikte kullanılmasıyla Landau-Lifshitz süper-potansiyelleri

$$S^{0101} = -S^{1001} = -(BC)^2, S^{0202} = -(AC)^2, S^{0303} = -(AB)^2 \quad (16)$$

olarak elde edilir. (16) eşitliği (14) denkleminde kullanıldığında ise inhomojen silindirik simetrik Marder metriğinin Landau-Lifshitz enerji ve momentum dağılımları elde edilir ve aşağıdaki şekildedir.

$$L^{00} = -\frac{C^2 B_x^2 + 4BCB_x C_x + BC^2 B_{xx} + B^2 C_x^2 + B^2 CC_{xx}}{8\pi} \quad (17)$$

$$L^{10} = \frac{C^2 B_x B_t + 2BC(B_t C_x + C_t B_x) + BC^2 B_{tx} + B^2 C_x C_t + B^2 CC_{tx}}{8\pi} \quad (18)$$

$$L^{20} = L^{30} = 0. \quad (19)$$

Bu bölümde  $x, y, z, t$  alt indisleri sırasıyla  $x, y, z, t$ 'ye göre türevleri göstermektedir.

### 3. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada inhomojen silindirik simetrik Marder uzay zamanı ve özelliklerine değinilerek bu evren modeli için yukarıda adı geçen enerji ve momentum dağılımları elde edilmiştir. Burada Marder metriği için hesaplanan Bergmann-Thomson, Einstein ve Landau-Lifshitz dağılımlarının birbirinden farklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Genel Marder metriği çeşitli dönüşümler altında farklı uzay-zaman modellerine dönüşebilmektedir. Elde edilen enerji-momentum değerlerinde bu dönüşümler göz önüne alındığında altı uzay-zaman modelinin de enerji-momentum dağılımları elde edilebilir. Bunlardan homojen silindirik simetrik Marder, Bianchi-I, Minkowski, Bianchi-VI<sub>0</sub> metrikleri için enerji ve momentum dağılımları her noktada sıfırdır ve aynı zamanda birbirleriyle de eşittir. Bianchi-III ve Bianchi-V uzay-zamanları için ise değerler sıfırdan farklıdır. Bu iki uzay-zaman içinde Einstein ve Bergmann-Thomson enerji ve momentum dağılımları birbirleriyle eşitken, Landau-Lifshitz dağılımı bunlardan farklıdır.

### 4. Kaynaklar

- [1] Einstein, A.(1915) *Sitzungsber. Preus. Akad. Wiss. Berlin (Math. Phys.)* 778 , *Addendum-ibid.*, 799
- [2] Tolman, R.C.(1934) *Relativity, Thermodynamics and Cosmology (Oxford Univ. Pres.London)*, 227
- [3] Papapetrou, A.(1948), *Proc. R. Irish. Acad.* A52, 11
- [4] Bergmann, P.G., Thomson, R. (1953) *Phys. Rev.* 89, 400
- [5] Moller, C.(1958), *Ann. Phys. (NY)* 4, 347

- [6] Weinberg, S.(1972), *Principle and Applications of General Theory of Relativity* (John Wiley and Sons, NY)
- [7] Landau, L.D., Lifshitz, E.M.(2002), (Pergamon Press, 4th Edition, Oxford) (Reprinted in 2002).
- [8] Qadir, A., Sharif, M.(1992), *Phys. Lett.* A167, 331
- [9] Radinschi, I.(2000), *Mod. Phys. Lett.* A15, 2171
- [10] Marder, L.(1958), *Proc. Roy. Soc. Lon.* A246, 133