

# Sloan Fotometrisi Yardımı ile Metal Gradiyenti Tayini

S. Güngör Ak, S. Karaali, S. Bilir, Y. Karataş

Istanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü  
34452 Üniversite-Istanbul  
akserap@istanbul.edu.tr

**Özet.** Galaksinin kuzey ve güney yarıkürelerinde, toplam  $0.8 \text{ derece}^2$  büyüklüğünde bulunan 20 alan içindeki 1619 yıldız kullanılarak Sloan fotometrisi yardımı ile metal gradiyenti araştırılmıştır. Yıldızlar  $g'-r'$  renk indekslerine göre üç popülasyona ayrılarak her biri için ayrı bir renk-kadir diyagramı kullanılmış ve  $M(g')$  mutlak kadirleri elde edilmiştir.  $g'$  görünen kadiri ile  $M(g')$  mutlak kadirinin birlikte kullanılmasından Güneş'e olan  $r$  uzaklığı hesaplanmış ve yıldızların galaktik enlemleri yardımı ile de Galaksi düzlemine olan  $z = r \sin b$  uzaklıkları bulunmuştur. Metal bollukları ise, Carney'in (1979) kalibrasyonunun Sloan sistemine uyarlanmasından elde edilen  $[Fe/H] = 0.11 - 2.10\delta_{0.4} - 9.82\delta_{0.4}^2$  formülü yardımı ile hesaplanmıştır.  $0 < z \leq 1.0$  ve  $0.5 < z \leq 1.5$  kpc. aralıklarında kuzey ve güney yarıkürelerdeki yıldız alanlarında sırası ile  $-0.51 \text{ dex/kpc.}$ ,  $-0.15 \text{ dex/kpc.}$  ve  $-0.49 \text{ dex/kpc.}$ ,  $-0.27 \text{ dex/kpc.}$  lik metal gradiyenleri bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** yıldız: metal bolluğu-yıldız: metal gradiyenti-fotometri: Sloan

## 1. Giriş

Fotometri sistemlerinin yapısı ve uygulama alanı büyük gelişmeler göstermiştir. Şimdiye kadar kullanılan fotoelektrik ve fotografik fotometri sistemlerinin hepsinin de ayrı ayrı önemi ve uygulama alanları vardır. Ancak, Galaksimizin uzak bölgelerine ait bilgi, çok sönük yıldızların incelenmesi ile sağlanabilir. Bu da hem daha geniş bant hem de daha iyi bir tekniği gerektirmektedir. Böyle bir fotometri sistemine en iyi örnek Sloan fotometri sistemidir. Bu fotometri sistemi CCD verilerine göre tanımlanmış olup bununla çok sönük yıldızlara, yani büyük uzaklıklara gidilebilir.

Sloan fotometri sistemi, literatürde "Sloan Sayısal Gökyüzü Araştırması" anlamına gelen "The Sloan Digital Sky Survey:SDSS" olarak geçmekte olup birçok uluslararası kurumun ortaklaşa yürüttükleri bir projedir. Araştırmalar hem fotometrik hem de spektroskopik teknikler kullanılarak yapılmaktadır. Projenin iki temel amacı vardır:

- 1) Galaksinin yapısını, oluşumunu ve evrimini anlamak,
- 2) Galaksi dışı kaynakları (kuazar, galaksi v.b. cisimleri) inceleyerek evrenin geniş ölçekte yapısını, oluşumunu ve evrimini anlamak.

Sloan fotometrisi, elektromanyetik spektrumun  $3000 - 11000 \text{ Å}$  dalgaboyu aralığında tanımlı ve  $u'$ ,  $g'$ ,  $r'$ ,  $i'$  ve  $z'$  sembolleri ile gösterilen 5 geniş banttan oluşur.

Bu çalışmada, Sloan fotometri sistemi yardımı ile Galaksimizde metal gradiyenti olup olmadığı araştırılmıştır. Galaksi düzlemine dik veya radyal doğrultuda metal gradiyentinin olup olmaması, Galaksimiz için farklı oluşum senaryolarını düşündürmektedir. Metal gradiyenti varsa Galaksimizin çökerek oluştuğu, yoksa birtakım cüce galaksilerle birleşerek oluştuğu şeklindeki senaryonun kabul edilmesi gerekir.

Metal gradiyentinin tespiti ise, duyarlı metal bolluğu tayini gerektirir. Bu çalışmada metal bollukları, Carney'in (1979) kalibrasyonunun Sloan sistemine uyarlanmasından elde edilen  $[Fe/H] = 0.11 - 2.10\delta_{0.4} - 9.82\delta_{0.4}^2$  formülü yardımı ile hesaplanmıştır.

## 2. Veriler

Veriler, Newberg ve ark.'nın (1999) yayınladığı SDSS bantlarını kullanarak elde edilen dört renk fotometrisi kataloğundan alınmıştır. Bu katalogta, Galaksinin kuzey ve güney yarıkürelerinde olmak üzere toplam  $0.8 \text{ derece}^2$  büyüklüğünde bulunan 20 alan içinde 1932 adet cisime ait veri bulunuyor. Bu cisimlerin 301'i galaksi, 12'si kuazar ve 1619'u yıldızdır. İncelenen alanlara ait veriler, Cetvel 1 de

verilmiştir. Gözlemler, Flagstaff'ta Naval Gözlemevi'ndeki 1.0m'lik teleskopun odak düzlemine yerleştirilmiş 1024×1028 CCD ile u', g', r', i' ve z' filtrelerinde yapılmıştır.

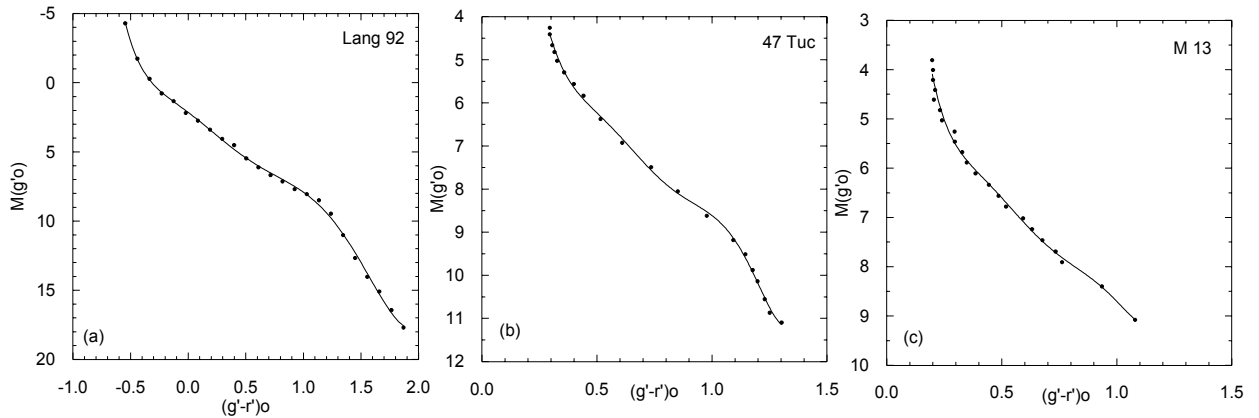
**Cetvel 1.** İncelenen 20 alana ait veriler ( $l$ ,  $b$  sırası ile galaktik boylam ve enlem,  $E(B-V)$  ise UBV sisteminde, kızarmanın sebep olduğu renk artışıdır).

Alan	$l$	$b$	$E(B-V)$	Yıldız Sayısı
UM 673	161.616	-68.485	0.032	37
[HB89] 0201+365	138.934	-23.753	0.071	121
[HB89] 0207-003	160.996	-57.046	0.026	36
[HB89] 0216+080	156.904	-48.721	0.111	42
LBQS 0256-0000	176.504	-48.937	0.077	50
[HB89] 0308+190	162.981	-32.517	0.119	72
ASTROM C	186.312	-41.242	0.076	58
[HB89] 0636+680	147.175	24.138	0.060	129
[HB89] 0642+449	171.088	17.939	0.112	212
[HB89] 0731+653	151.003	29.125	0.041	115
ASTROM F	221.666	16.451	0.033	233
[HB89] 0836+710	143.543	34.420	0.031	70
[HB89] 0933+733	138.889	37.484	0.038	59
[HB89] 0953+549	159.605	48.156	0.007	47
LBQS 2231-0015	66.663	-47.302	0.058	63
SA 92-342	124.917	-62.133	0.027	18
SA 94-242/251	175.990	-49.137	0.071	20
SA 95-149	189.124	-38.010	0.338	22
RU 149G/D	217.168	7.045	0.097	199
Feige 34	173.307	58.967	0.013	16

İncelenen 20 alan içinde bulunan 1619 yıldızdan 545 tanesi u'-g' veya g'-r' renk indeksleri olmadığından, 131 tanesi  $g'-r' < 0.138$  veya  $g'-r' > 0.925$  değerlerine sahip olduğundan ve 95 tanesi de  $g_o' > 19^m$  olduğu için değerlendirme dışı bırakılmıştır. Geriye kalan 848 yıldız kullanılarak Sloan fotometrisi yardımı ile metal gradyenti araştırılmıştır.

### 3. Yöntem

Yıldızlar g'-r' renk indekslerine göre üç popülasyona ayrılarak her biri için ayrı bir renk-kadir diyagramı kullanılmış ve  $M(g')$  mutlak kadirleri elde edilmiştir. Popülasyon I yıldızları için kullanılan renk-kadir diyagramı verileri Lang'e (1992) aittir. Ara Popülasyon II ve Popülasyon II yıldızları için ise sırası ile, 47 Tuc. ve M 13 kümelerine ait renk-kadir diyagramları kullanılmıştır (Şekil 1). g' görünen kadiri ile  $M(g')$  mutlak kadirinin birlikte kullanılmasından ( $g-M(g) = 5 \log r - 5 + A(g)$ ) Güneş'e olan r uzaklığı hesaplanmış ve yıldızların galaktik enlemleri yardımı ile de Galaksi düzlemine olan  $z = r \sin b$  uzaklıkları bulunmuştur.



**Şekil 1a-c.** Mutlak kadir hesabında kullanılan renk-kadir diyagramları. (a) Pop I, (b) Ara Pop II, (c) Pop II için.

Yıldızların metal bolluğu, Fukugita ve ark. (1996) tarafından tanımlanmış olan Sloan fotometrisinin renk eşitlikleri,

$$\begin{aligned} u'-g' &= 1.38(U-B) + 1.14 \\ g'-r' &= 1.05(B-V) - 0.23 \end{aligned}$$

ve Carney'in (1979)  $[Fe/H] = 0.11 - 2.90\delta_{0.6} - 18.68\delta_{0.6}^2$  denklemi kullanılarak oluşturulan yeni bir metal bolluğu bağıntısından hesaplanmıştır.

Hyades kümesine göre morötesi farkları,

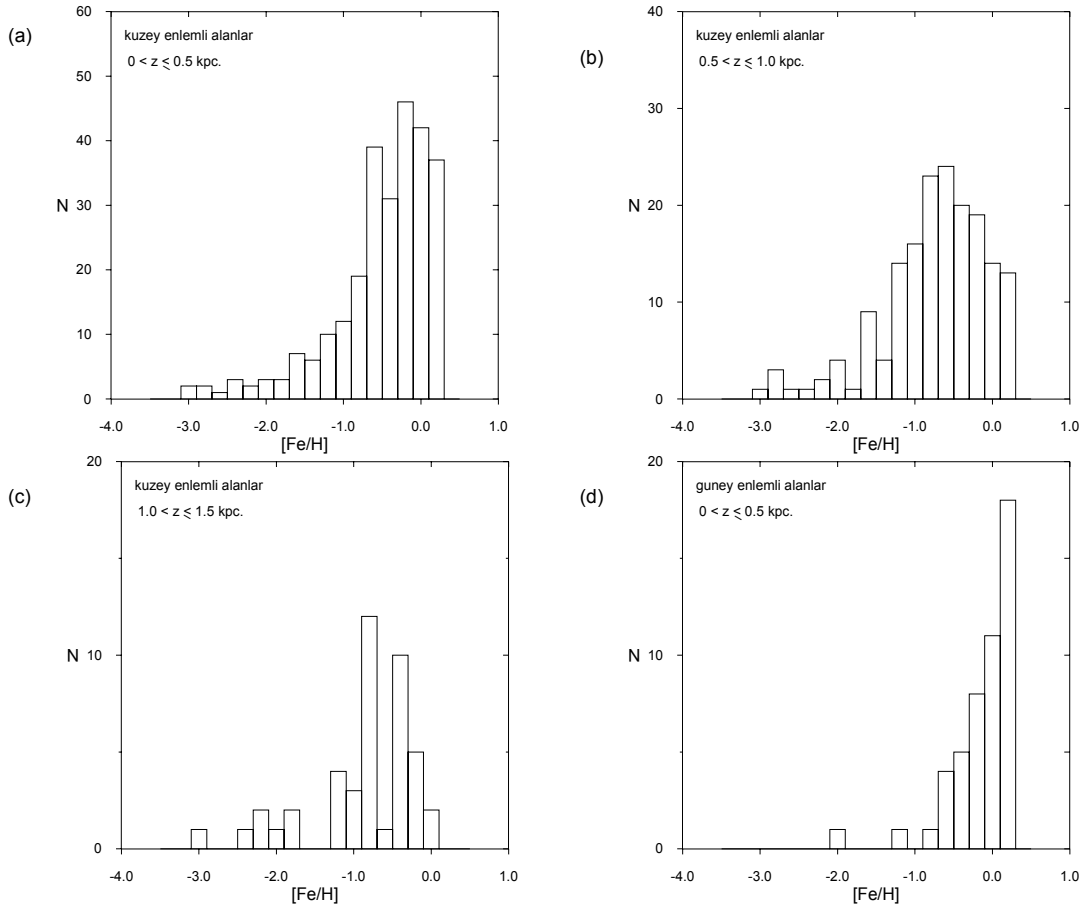
$$u'-g' = 1.38(U-B) + 1.14 \text{ denklemi kullanılarak}$$

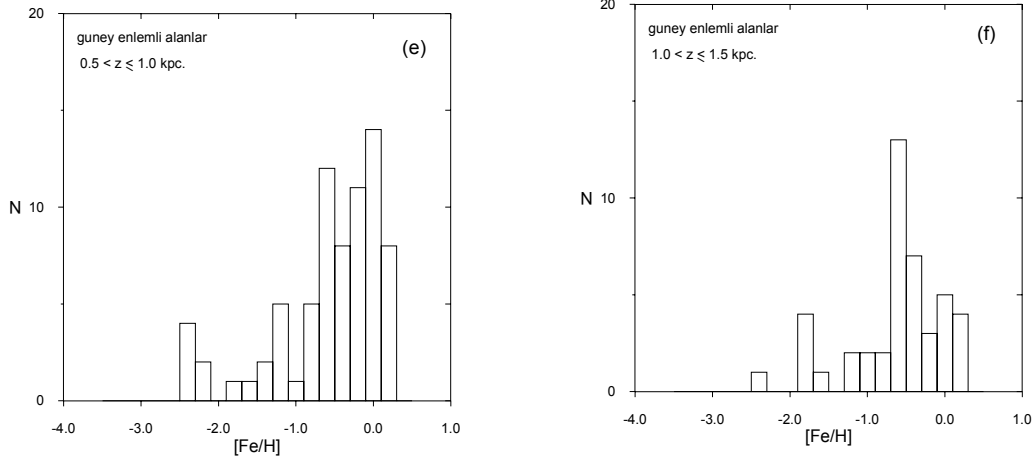
$\delta(u'-g') = 1.38 \delta(U-B)$  şeklinde elde edilmiştir. Sandage (1969), morötesi artıklarını  $(B-V)_o = 0.6$  renk indeksine normalleştirmişti. Bunun Sloan sistemindeki karşılığı ise  $(g'-r')_o = 0.4$  tür. O halde normalleştirilmiş morötesi farkları arasındaki ifade,

$\delta_{0.4} = 1.38 \delta_{0.6}$  şeklinde yazılabilir. Buradan  $\delta_{0.6} = 0.725 \delta_{0.4}$  elde edilir ve bu ifade Carney'in (1979) denkleminde yerine yazılırsa, yeni metal bolluğu bağıntısı

$$[Fe/H] = 0.11 - 2.10\delta_{0.4} - 9.82\delta_{0.4}^2 \text{ bulunur.}$$

Yıldızların Galaksi düzlemine olan  $z$  uzaklıkları ve metal bollukları hesaplandıktan sonra yıldızların belirli  $z$  aralıklarına göre metal bolluğu dağılımları elde edildi. Bu dağılımlar, Galaksinin kuzey ve güney yarıkürelerindeki yıldız alanlarına göre Şekil 2'de gösterilmiştir.





**Şekil 2a-f.** Galaksinin kuzey (a, b, c) ve güney (d, e, f) yarıkürelerindeki yıldız alanlarında bulunan yıldızların metal bolluğu dağılımı.

#### 4. Metal Gradiyenti

Galaksimizin kuzey ve güney yarıkürelerindeki yıldız alanlarında  $0 < z \leq 0.5$ ,  $0.5 < z \leq 1.0$  ve  $1.0 < z \leq 1.5$  aralıkları için metal bolluğu  $[Fe/H] \geq -1.4$  dex'e kadar olan yıldızların ortalama metal bolluğu ve  $z$  uzaklığı dikkate alınarak  $d[Fe/H]/dz$  metal gradiyenti hesaplanmıştır.  $[Fe/H] \geq -1.4$  dex'e kadar olan yıldızlar alınmıştır. Çünkü bu metal bolluğundan daha fakir olan yıldızların sayısı çok azdır.

Kuzey yarıkürede  $0 < z \leq 0.5$ ,  $0.5 < z \leq 1.0$  ve  $1.0 < z \leq 1.5$  aralıkları için ortalama metal bolluğu  $\langle Fe/H \rangle$  ve ortalama  $z$  uzaklığı sırası ile  $-0.33$  dex. ve  $0.29$  kpc.,  $-0.54$  dex. ve  $0.70$  kpc.,  $-0.61$  dex. ve  $1.17$  kpc. tir. Buradan kuzey yarıküre için,  $0 < z \leq 1.0$  ve  $0.5 < z \leq 1.5$  kpc. aralıklarında sırası ile  $d[Fe/H]/dz = (-0.54) - (-0.33)/0.70 - 0.29 = -0.51$  ve  $d[Fe/H]/dz = (-0.61) - (-0.54)/1.17 - 0.70 = -0.15$  dex./kpc. lik metal gradiyenti bulunmuştur.

Güney yarıkürede  $0 < z \leq 0.5$ ,  $0.5 < z \leq 1.0$  ve  $1.0 < z \leq 1.5$  aralıkları için ortalama metal bolluğu  $\langle Fe/H \rangle$  ve ortalama  $z$  uzaklığı sırası ile  $-0.08$  dex. ve  $0.36$  kpc.,  $-0.26$  dex. ve  $0.73$  kpc.,  $-0.38$  dex. ve  $1.18$  kpc. tir. Buradan güney yarıküre için,  $0 < z \leq 1.0$  ve  $0.5 < z \leq 1.5$  kpc. aralıklarında sırası ile  $d[Fe/H]/dz = (-0.26) - (-0.08)/0.73 - 0.36 = -0.49$  ve  $d[Fe/H]/dz = (-0.38) - (-0.26)/1.18 - 0.73 = -0.27$  dex./kpc. lik metal gradiyenti bulunmuştur.

#### 5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma, Newberg ve ark.'nın (1999) kataloğundaki veriler yardımı ile yapılmıştır. Bu yazarlar, çalışmalarında farklı bir yöntem kullanarak değeri verilmeyen bir metal gradiyenti bulmuşlardır. Biz ise klasik yöntemi kullanarak  $0 < z \leq 1.0$  ve  $0.5 < z \leq 1.5$  kpc. aralıklarında kuzey ve güney yarıkürelerdeki yıldız alanlarında sırası ile  $-0.51$  dex/kpc.,  $-0.15$  dex/kpc. ve  $-0.49$  dex/kpc.,  $-0.27$  dex/kpc. lik metal gradiyentleri bulduk.

Küçük  $z$  uzaklıklarındaki gradiyent daha fazladır. O halde bu uzaklıklarda galaksinin çökerek oluştuğu şeklindeki senaryo geçerlidir. Daha büyük uzaklıklarda ise gradiyent daha azdır. Bu uzaklıklarda ise Galaksimizin birtakım çüce galaksilerle birleşmesi sonucu bir karışım oluşabilir.

#### 6. Kaynaklar

- Carney, B.W. 1979, ApJ, 233, 211  
 Fukugita, M., Ichikawa, T., Gunn, J.E., Doi, M., Shimasaku, K., Schneider, D.P. 1996, AJ, 111, 1748  
 Karaali, S., Bilir, S. İ.Ü. Araştırma Fonu Projesi, Proje No: 1417/05052000.  
 Lang, K.R. 1992, Astrophysical Data I. Planets and Stars, Berlin, Springer-Verlag  
 Newberg, H.J., Richards, G.T., Richmond, M., Fan, X. 1999, ApJS, 123, 377  
 Sandage, A. 1969, ApJ, 158, 1115