

FOTOMETRİK KIRMIZIYA KAYMA YÖNTEMİ VE UYGULAMALARI

Şebnem SEZEN¹, Füsun LİMBOZ¹, Sinan ALİŞ¹

Özet

Galaksilerin kırmızıya kaymalarının spektroskopik yöntemle bulunması oldukça zahmetlidir. Özellikle uzaklıklarından dolayı, spektroskopi için oldukça sönüktürler ve büyük teleskoplardan uzun gözlem zamanları elde etmek çok zordur. Bu nedenle, geniş ölçekli evren çalışmaları için gereken çok sayıda galaksi ve galaksi kümelerinin kırmızıya kayma değerlerini hesaplamak için fotometrik yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada, fotometrik kırmızıya kayma yöntemi tanıtılacak ve bu yöntemle elde edilen sonuçlar kullanılarak hesaplanabilecek kozmolojik büyüklükler tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Galaksiler, kırmızıya kayma, geniş ölçekte yapı.

1. Giriş

Galaksilerin kırmızıya kaymaları klasik yöntemle yani spektroskopi ile elde edilmesi gözlemsel çalışmaların en çok zaman gerektiren işlerinden biridir. Bu özellikle galaksiler için doğrudur çünkü galaksilerin spektrumlarında onların şüphesiz ve hızlı bir şekilde kırmızıya kayma değerlerinin ölçülmesine izin veren baskın spektral yapılar yoktur. Bununla beraber çok fazla sayıda galaksinin kırmızıya kayma değerlerine ihtiyaç oldukça fazladır. Bu nedenle galaksilerin düşük spektral çözünürlükte kırmızıya kaymalarını doğru olarak elde etmek için fotometrik kırmızıya kayma yöntemi geliştirilmiştir.

Fotometrik kırmızıya kayma yöntemi, galaksilerin belirli dalgaboylarındaki parlaklıklarının ölçülmesine dayanan bir yöntemdir. Bu yöntemde, galaksilerin farklı filtrelerle elde edilen parlaklık değerlerinden itibaren oluşturulan “spektral enerji dağılımları” (SED) ile farklı Hubble tipleri için oluşturulmuş olan SED’ler karşılaştırılarak galaksilerin kırmızıya kayma değerleri bulunur.

2. Tarihçe

Fotometrik kırmızıya kayma yönteminin tarihçesi oldukça eskilere dayanmakla birlikte ancak 1990’ların sonlarına doğru yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır.

Yöntemi ilk olarak öneren ve uygulayan Baum’dur [1, 2]. Baum 9 farklı filtreden oluşan fotometrik sisteminde 3730 Å’den 9875 Å’e kadar bir bölgede elde ettiği parlaklıkları kullanmıştır. Virgo kümesinde ve Abell 0801 kümesindeki galaksilere uyguladığı yöntem ile spektroskopik kırmızıya kaymalarla oldukça uyumlu sonuçlar elde etmiştir.

Koo [3], Baum’dan daha değişik bir yaklaşım sergilemiş ve fotoelektrik yöntem yerine Baum’un çalışmasından 23 yıl sonra fotoğraf plaklarını kullanmıştır. Ancak bu şekilde aynı anda çok sayıda galaksinin kırmızıya kayma değerlerini ölçebilmiştir. 100 galaksiye uyguladığı yöntemde Koo, gözlemsel ve teorik SED’leri karşılaştırmak yerine renk-renk

¹ İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34119, Üniversite-İstanbul.
E-Postalar: sebnem_sezen@yahoo.com, limboz@istanbul.edu.tr, salis@istanbul.edu.tr

diyagramları kullanmıştır. Buna göre çeşitli Hubble tiplerinde ve kırmızıya kaymalarda galaksilerin renk-renk diyagramlarını oluşturmuş ve gözlediği galaksilerin renk değerlerine en iyi uyan eğriyi bulmuştur.

Loh ve Spillar [4], 4000 Å ve 9500 Å aralığını kapsayan 6 filtre ve CCD alıcı kullanarak 1000 galaksinin fotometrik kırmızıya kaymasını bulmuşlardır. Baum'un ortaya attığı yöntem en yakın olan bu yöntem, günümüzde kullanılan SED'lerin çıkarılması yönteminin temelini oluşturmuştur.

Connolly ve ark.'nın [5] uyguladığı fotometrik kırmızıya kayma yöntemi ise en basit olan yöntemdir. Buna göre kırmızıya kayma ile fotometrik parlaklıklar arasında lineer veya kuadratik bir ilişki vardır. Bu çalışmayı spektroskopik kırmızıya kaymaları bilinen 370 galaksi ile yapmışlardır.

3. Yöntemin Uygulanması

Galaksilerin kırmızıya kaymaları için kullanılan fotometrik yöntem, üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama galaksilerin parlaklıklarının elde edilmesi, ikinci aşama farklı Hubble tipinden ve farklı kırmızıya kayma değerlerinden model spektrumların elde edilmesi ve üçüncü aşama da galaksilerin parlaklıklarından itibaren bulunan spektral enerji dağılımları ile model spektrumların karşılaştırılmasından ibarettir.

3.1. Galaksilerin Parlaklıkları ve Spektral Enerji Dağılımları

İlk olarak çalışacağımız galaksilere ait fotometrik veriler (parlaklıklar) spektral enerji dağılımlarına (akılara) dönüştürülmelidir.

Fotometrik kırmızıya kaymaların hesabında kullanılacak olan gözlemsel spektral enerji dağılımlarını belirleyebilmek için mümkün olduğunca geniş bir dalgaboyu aralığında parlaklıklar ölçülür. Geniş bant bir fotometrik sistemde elde edilen gözlemler kullanılır. Bu çalışmada Sloan fotometrik sistemi kullanılacağından ilgili filtreler u, g, r, i ve z olmaktadır. Sloan fotometrisindeki ugriz filtrelerinin merkezi dalgaboyları, yarı geçirgenlikleri ve F_0 değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Sloan ugriz filtrelerinin merkezi dalgaboyları ve geçirgenlik değerleri.

FİLTRE	λ_{cen} (Å°)	FWHM (Å°)	F_0 ($10^{-12} \text{ W Å}^{-1} \text{ m}^{-2}$)
u	3543	567	3.67
g	4770	1387	5.11
r	6231	1373	2.40
i	7625	1526	1.28
z	9134	950	0.783

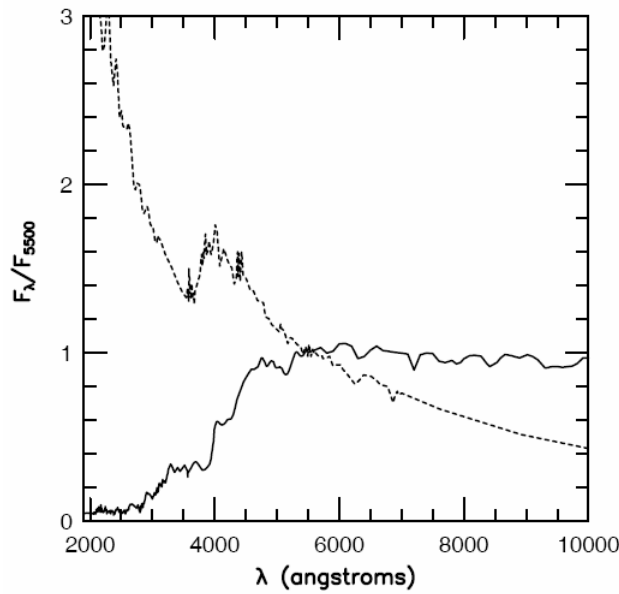
Gözlemsel parlaklık değerleri $m = -2,5 \log (F/F_0)$ formülüyle akı değerlerine dönüştürülür. Sloan fotometrisi için geçerli olan F_0 değerleri Gwyn [6]'den alınmıştır. Sonuçta elde edilen akı değerleri dalgaboyuna göre çizdirilerek galaksinin spektral enerji dağılımı bulunmuş olur.

3.2. Model Spektrumlar

Galaksilere ait model spektrumlar Bruzual [7] ve Pence [8] çalışmalarından bulunabilir. Ayrıca Kennicutt [9] oldukça geniş bir gözlemsel atlas vermiştir. Farklı kaynaklardan elde edilen model spektrumlar arasında pek fark olmadığı görülmüştür.

Şekil 1’de Bruzual [7]’den alınan iki galaksi tipine ait (eliptik ve düzensiz) model spektrumlar verilmiştir. Model spektrumlar çizgilerden arındırılmış olarak kullanılmaktadır.

Galaksilerin model spektrumlarını oluşturmada esas alınan bir yaklaşım da; bir galaksinin temel olarak bulge ve diskten oluştuğunu kabul etmektir. Bütün galaksiler uygun oranlarda bulge ve diskin birleşiminden elde edilebilir. Bulge; yaşlı, kırmızı yıldızları içerir ve yıldız oluşumu gözlenmez. Disk ise genç ve mavi yıldızlardan meydana gelmektedir ve yeni yıldız oluşumu sürekli devam eder. Eliptik galaksiler sadece bulge’den ibaretken, düzensiz galaksiler de sadece diskten ibarettirler. Spiral galaksiler de belirttiğimiz gibi bulge ve diskin uygun oranları kabul edilerek oluşturulabilir. Yani bütün tipteki galaksilerin spektrumlarını oluşturmak için bir eliptik ve bir düzensiz galaksi spektrumu karıştırmak yeterlidir. Connolly ve ark. [16], bu şekilde oluşturulan galaksi spektrumlarının %1 hata ile elde edileceğini göstermiştir.



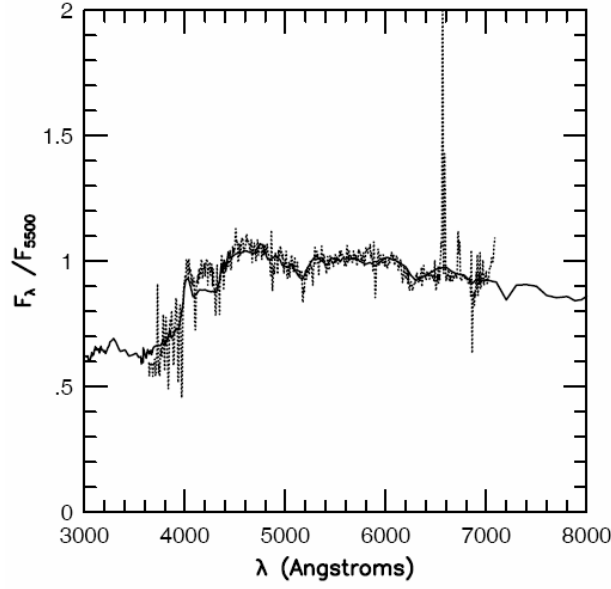
Şekil 1. Bruzual (1985)’ten alınan iki galaksi için model spektrum. Düz çizgi eliptik galaksinin spektrumunu, kesikli çizgi ise düzensiz galaksinin spektrumunu belirtmektedir.

Bu yaklaşımı ifade etmek için bir m parametresi tanımlanmaktadır ve galaksinin bulge bölgesinden gelen görelî ışık miktarı f_e ’ye eşit kabul edilmektedir. f_s de diskten gelen görelî ışık miktarı olmak üzere $f_e + f_s = 1$ olsun. Buna göre eliptik galaksiler için $f_e = 1$ ($m = 1$) ve $f_s = 0$ iken düzensiz galaksiler için $f_s = 1$ ve $f_e = 0$ ($m = 0$) olmaktadır. Bir spiral galaksi için, örneğin $m = 0,3$ olsun. $f_e = 0,3$ ve $f_s = 0,7$ olacaktır. **Tablo 2**’de Gwyn [10] tarafından verilen galaksilerin Hubble tiplerine karşılık gelen m , f_e ve f_s parametreleri yer almaktadır.

Tablo 2. Galaksilerin Hubble tiplerine karşılık gelen m , f_e ve f_s parametreleri.

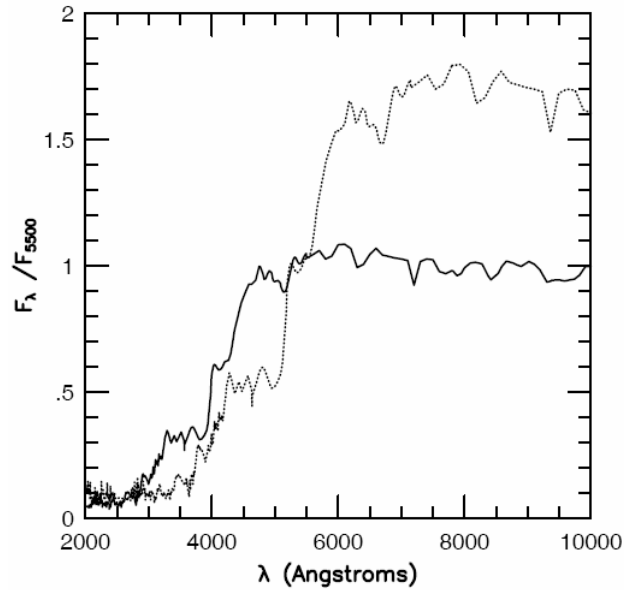
Galaksi tipi	m	f_e	f_s
E / S0	1.0	1.0	0.0
Sa	0.9	0.9	0.1
Sb	0.7	0.7	0.3
Sc	0.4	0.4	0.6
Irr	0.0	0.0	1.0

Şekil 2’de de, Kennicutt [9]’den alınmış Sb galaksisi NGC 3627’nin gözlenen spektrumu ve $f_c = 0,7$ olan bir eliptik ile $f_s = 0,3$ olan bir düzensiz galaksi spektrumunun (Şekil 1’deki spektrumlar) birleşiminden oluşan model spektrum görülmektedir. Bu iyi uyum, bütün galaksi spektrumlarının iki spektrumun kombinasyonu ile oluşturulabileceği düşüncesini desteklemektedir. Bu şekilde E/S0, Sa, Sb, Sc ve Irr galaksileri için model spektrumlar oluşturabilir. Bu yöntemde galaksi spektrumlarındaki çizgiler hesaba katılmamaktadır. Spektrumdaki çizgiler dikkat çekmekle beraber geniş bant yapılan bir çalışmada ortalama akıya katkıları %2 civarındadır [10].



Şekil 2. İki galaksi spektrumunun birleşimi ile oluşturulmuş model spektrum ve Kennicutt [9]’den alınan NGC 3627 galaksisinin spektrumu.

Model spektrumların üretilmesinde ikinci önemli olan nokta kırmızıya kayma değerleridir. Temel olarak dalgaboyu ve akı şeklinde elimizde olan spektrum verisini herhangi bir kırmızıya kayma değerindeki spektruma dönüştürmek için dalgaboyu değerleri $(1+z)$ ile çarpılır ve daha sonra spektrum yeniden normalize edilir. Şekil 3’te bu yöntemle $z = 0$ ’dan $z = 0,3$ ’e kaydırılmış bir eliptik galaksi spektrumu görülmektedir.

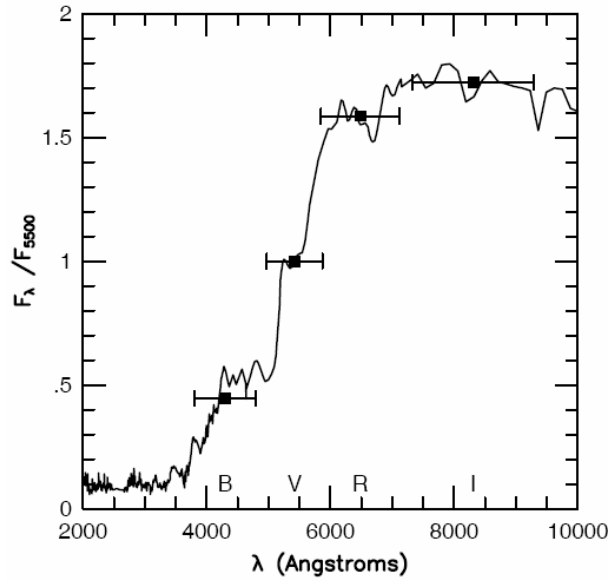


Şekil 3. $z = 0$ ’dan (düz çizgi) $z = 0.3$ ’e (kesikli çizgi) kaydırılmış bir eliptik galaksi spektrumu.

Son olarak galaksilerin gözlemsel SED'leri ile karşılaştırılabilmesi için model spektrumlar gözlemin yapıldığı filtrelerin merkezi dalgalıboylarına indirgenirler. Bunun için model spektrum filtrenin dalgalıboyu boyunca integre edilir ve ortalaması alınır:

$$F_{\lambda} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} T(\lambda) d\lambda}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

Burada F_{λ} herhangi bir filtredeki akı değeridir. λ_1 ve λ_2 ise filtrenin alt ve üst sınırlarıdır. $T(\lambda)$ ise dalgalıboya bağılı olarak değişen model spektrumdaki akıdır. **Şekil 4**'de, bu şekilde BVRI filtrelerine indirgenmiş model spektrum görülmektedir. Yatay hata çubukları sözkonusu filtrelerin geçirgenlik aralıklarıdır.

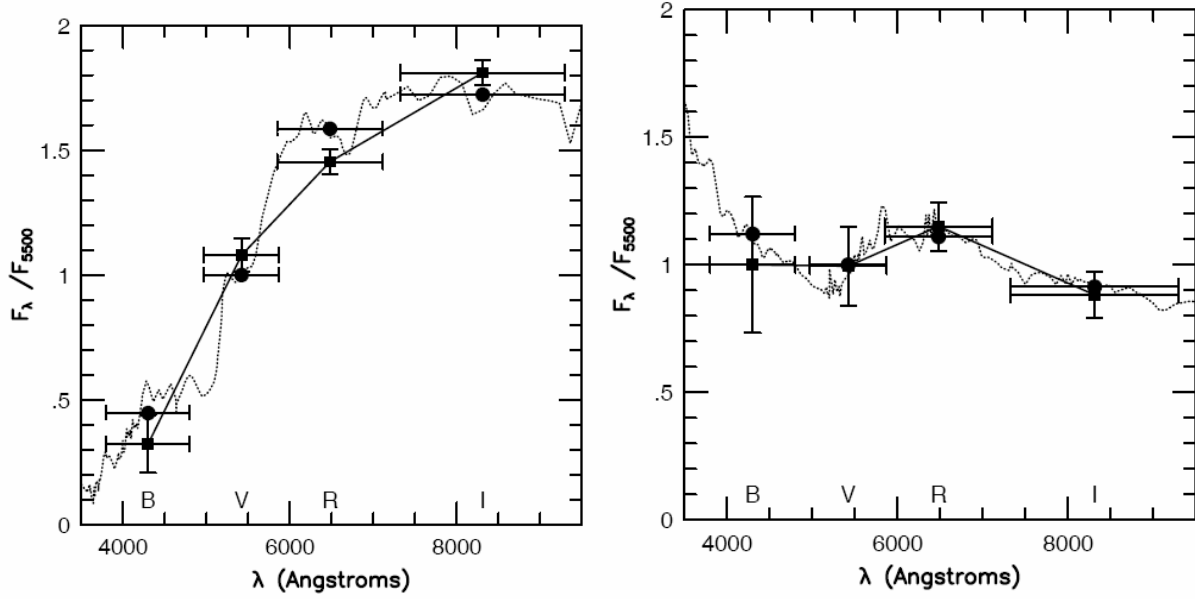


Şekil 4. Filtre merkezi dalgalıboya indirgenmiş model spektrum örneği.

Model spektrum oluşturmada yapılan tüm bu işlemler yani, galaksilerin morfolojilerinin interpolate edilmesi, spektrumların kırmızıya kaydırılması ve sonuç spektrumunun filtrelerin merkezine indirgenmesi işlemleri geniş bir morfoloji ve kırmızıya kayma aralığında yapılmaktadır. m parametresi $m = 0$ ile $m = 1$ arasında $\Delta m = 0,01$ 'lik adımlarla ve z değerleri de $z = 0$ ile $z = 1$ arasında $\Delta z = 0,01$ 'lik değerlerle interpolate edilmektedir. Bu şekilde model spektrumları için 10201 kombinasyon oluşmaktadır.

3.3. Model Spektrumlar ile Gözlemsel SED'lerin Çakıştırılması

Gözlemlerden itibaren elde edilen SED'ler ile oluşturulan model spektrumlar karşılaştırılarak, χ^2 yöntemine göre en iyi uyum sağlayan model spektrum, verisi kullanılan galaksinin model spektrumu olarak kabul edilir. Buna göre model spektrumu belirleyen m ve z parametreleri de elde edilmiş olur. Bu şekilde karşılaştırılıp, en iyi uyumun sağlandığı iki galaksi için örnek Şekil 5'de verilmiştir.



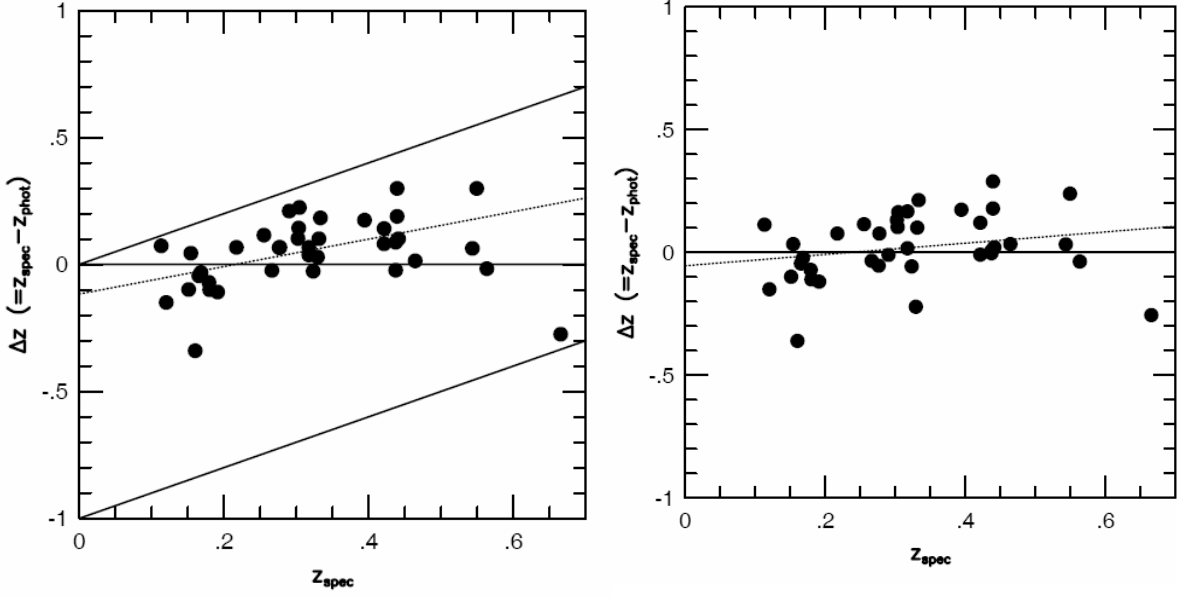
Şekil 5. Model spektrum ile gözlemsel spektrumun karşılaştırıldığı iki galaksi örneği. Dikine hata çubukları fotometrik hataları, yatay hata çubukları da filtrelerin geçirgenlik aralıklarını temsil etmektedir.

4. Fotometrik Kırmızıya Kayma Yönteminin Değerlendirilmesi

Fotometrik kırmızıya kayma yöntemi ile bulunan galaksi kırmızıya kaymaları ile spektroskopik kırmızıya kaymalar arasındaki farklar tolere edilebilir mertebelere $\Delta z = 0,052$ ve $\sigma(\Delta z) = 0,127$ [10].

Bu yöntemin tek tek galaksilerin kırmızıya kaymalarını bulmak için değil çok sayıda galaksinin kırmızıya kaymalarını bulmak için uygun olduğu hatırlanırsa bu Δz farkları önemini yitirecektir. Çok sayıda galaksinin kırmızıya kaymalarını elde etmek birçok kozmolojik bilgiye ulaşılmasını sağlamaktadır.

Fotometrik ve spektroskopik z değerleri arasındaki farklar büyük ölçekli çalışmalarda, taramalarda çok önemli olmamakla beraber, Δz ile ilgili şöyle bir bulgu vardır: $\Delta z (z_{\text{spek}} - z_{\text{foto}})$ değerlerini spektroskopik kırmızıya kayma değerlerine göre çizdirirsek, artan z ile Δz değerinin de artma eğiliminde olduğu görülür. Bunun nedeni artan z ile birlikte galaksilerin evriminin de işin içine girmesidir. **Şekil 6**'da $z_{\text{spek}} - \Delta z$ grafiğinin orjinal halini (soldaki grafik) ve evrimsel etkilerin hesaba katılması ile düzeltilmiş hali (sağdaki grafik) görülmektedir. Düzeltilmiş haldeki grafikte Yoshii ve Takahara [11]'in çalışmasından alınan sonuçlar yer almaktadır.



Şekil 6. Spektroskopik ve fotometrik kırmızıya kaymalar arasındaki fark (Δz) ile spektroskopik kırmızıya kayma arasındaki grafik. Soldaki grafik evrimsel etkilerin hesaba katılmadığı hali, sağdaki ise Yoshii ve Takahara [11] tarafından düzeltilen hali göstermektedir.

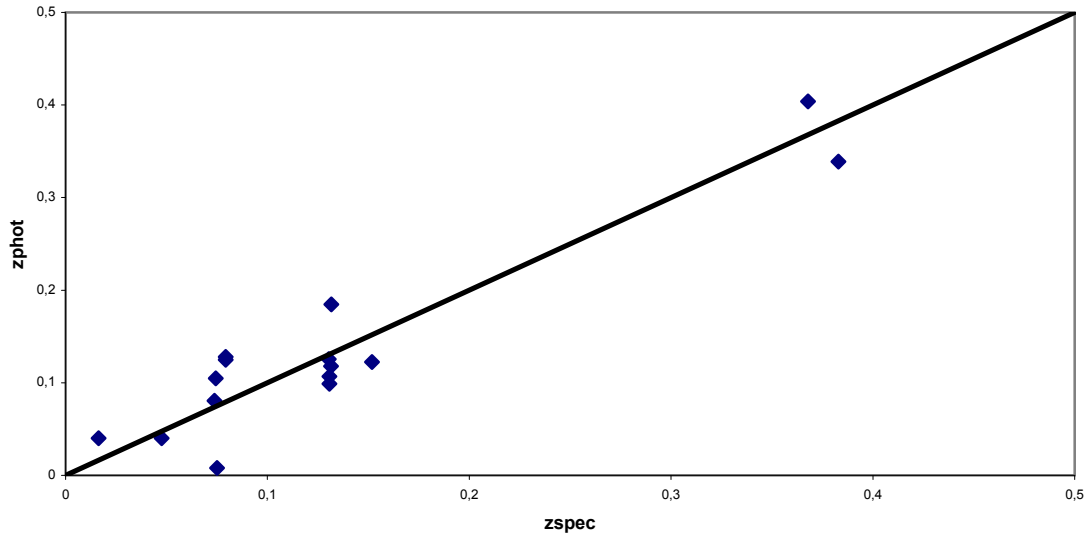
5. Fotometrik Kırmızıya Kayma Hesabı İçin Bir Örnek: Le Phare Programının Kullanılması

Yukarıda anlatılan fotometrik kırmızıya kayma yöntemi bugün birçok bilgisayar programı kullanılarak hesaplanabilmektedir. Bu programlar içinde en önemli olanlarından biri olan Le Phare programı kullanılarak bir örnek hesap yapılmıştır. Le Phare programı Marsilya Astrofizik Laboratuvarı'ndan Stephane Arnouts ve Olivier Ilbert tarafından yazılmıştır ve Fransız tabanlı büyük projelerin hepsinde kullanılmaktadır.

Sloan Digital Sky Survey (SDSS) günümüzde en hassas bir şekilde ve oldukça geniş bir gökyüzü bölgesini içeren önemli bir tarama projesidir. Fotometrik kırmızıya kayma yöntemini uygulayabilmek için gereken çok renk parlaklıklarının elde edilmesi için de erişimi en uygun veritabanıdır. Bu nedenle sözkonusu örnek hesaplama için SDSS veritabanından rastgele seçilen galaksilerin fotometrik verileri alınmıştır. Bu galaksiler, spektroskopik kırmızıya kayma değerleri ve bu çalışmada hesaplanan fotometrik kırmızıya kayma değerleri ile birlikte Tablo 3'te listelenmiştir.

Tablo 3. SDSS’den seçilen galaksiler, spektroskopik kırmızıya kaymaları ile bu çalışmada hesaplanan fotometrik kırmızıya kaymaları.

Galaksi Adı	Z_{spec}	Z_{phot}
SDSS J080200.01+442907.3	0.130782	0,1069
SDSS J080227.29+443539.3	0.074460	0,1046
SDSS J080233.81+443506.5	0.074957	0,008
SDSS J080200.91+442746.0	0.131625	0,1848
SDSS J080035.27+450059.0	0.130375	0,1254
SDSS J080243.09+443814.7	0.073698	0,0805
SDSS J080104.37+444828.4	0.151882	0,1224
SDSS J080144.61+443901.9	0.367786	0,4037
SDSS J075956.47+443519.2	0.016379	0,040
SDSS J080208.24+444834.6	0.130679	0,099
SDSS J080110.59+445656.1	0.047668	0,040
SDSS J080037.80+442752.6	0.382893	0,339
SDSS J080057.51+445803.1	0.131473	0,118
SDSS J080143.27+441922.3	0.079374	0,1248
SDSS J080059.13+444234.2	0.079278	0,1281



Şekil 7. Bu çalışmada kullanılan galaksiler için hesaplanan fotometrik kırmızıya kayma değerlerinin ve spektroskopik kırmızıya kayma değerlerine göre grafiği.

6. Fotometrik Kırmızıya Kayma Yöntemi Kullanılan Önemli Projeler

1996 yılında Hubble Derin Alan (Hubble Deep Field) Kuzey ve Güney görüntülerinin (HDFN, HDFS) kullanıma açılması ile fotometrik kırmızıya kayma yöntemi önemli bir şekilde öne çıktı. HDFN ve HDFS'deki galaksilerin kırmızıya kaymaları üzerine bir çok çalışma yayınlandı. [12, 13, 14].

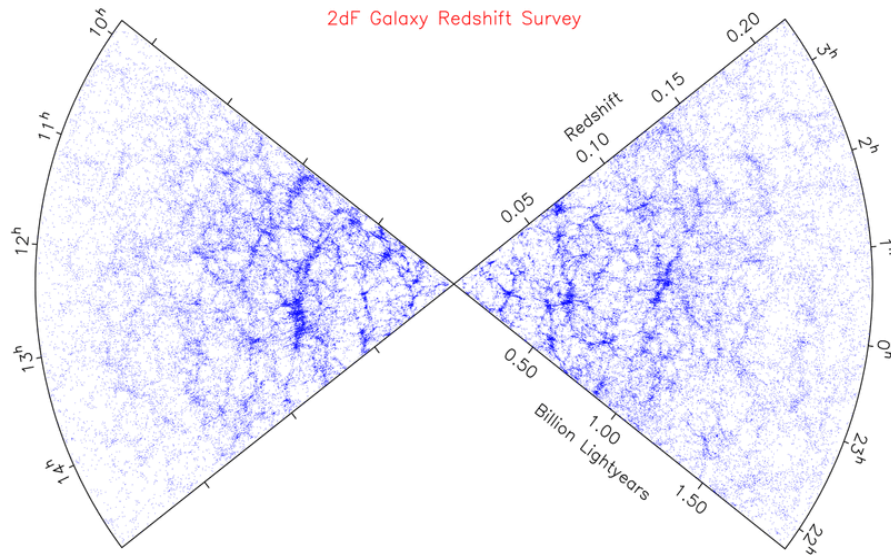
Hubble Derin Alan görüntülerinin yanısıra, yaygınlaşmaya başlayan büyük tarama projeleri de fotometrik kırmızıya kayma yöntemi ile yapılacak çalışmalar için ideal bir ortamdılar. Bu tarama projeleri çok renk fotometrik verileri topladıklarından bu veriler fotometrik kırmızıya kaymaların hesaplanmasında kullanılmaktadırlar. Dolayısıyla “survey” niteliğinde olan bütün projeler kapsamında alınan veriler mutlaka bu amaçla kullanılmaktadırlar.

Bu tip tarama projelerinden en ünlüsü ve günümüzde en çok kullanılanı, Sloan Digital Sky Survey (SDSS)'tir. Beş geniş bant filtre ile fotometrik ve ayrıca spektroskopik veriler toplamaktadır. Yaklaşık 23. kadire kadar ulaşan limitiyle kırmızıya kayma çalışmaları için oldukça uygundur.

SDSS projesinin dışında, ESO Imaging Survey, Garching-Bonn Deep Survey (GABODS), ESO NTT Deep Field, 2MASS Survey, Canada France Hawaii Telescope Legacy Survey (CFHTLS), Large Synoptic Survey Telescope (LSST), Hubble NICMOS Deep Field, Red-Sequence Cluster Survey (RCS), Chandra Deep Field (CDF), Canada-France Deep Fields, Las Campanas Infrared Survey, Subaru Deep Survey gibi projelerde de fotometrik kırmızıya kayma yöntemi ile kırmızıya kaymalar hesaplanmaktadır.

7. Tartışma ve Sonuç

Galaksilerin kırmızıya kayma değerlerinin elde edilmesi, geniş ölçekli evren çalışmalarının en önemli gereksinimidir. Kırmızıya kaymalardan itibaren oluşturulacak kırmızıya kayma dağılımları evrendeki kümeleşme ve yapı oluşumu hakkındaki bilgilerimizi arttırmaktadır. Özellikle galaksi kümelerinin tanımlanması ve keşfedilmesi açısından kırmızıya kayma dağılımları hayati önem taşımaktadırlar. Bu sayede gökyüzünde gördüğümüz 2-boyutlu yapıdan 3-boyutlu evren haritasına geçiş mümkün olmaktadır. Bu aynı zamanda galaksilerin evrimi ve oluşumu çalışmaları açısından da önemlidir. Kırmızıya kayması büyük olan galaksiler daha yaşlı olacaklarından, kırmızıya kayması küçük olan galaksilerle karşılaştırılmaları sonucunda galaksilerin evrimi konusunda bilgimiz artacaktır.



Şekil 8. Evrenin “2dF Galaxy Redshift Survey” ile elde edilen geniş ölçekteki yapısı.

Kırmızıya kayma değerlerinden itibaren oluşturulan bu geniş ölçekli evren haritalarından aynı zamanda evrendeki madde yoğunluğu da hesaplanabilir ve bu sayede baryonik (Ω_m) ve baryonik olmayan (Ω_Λ) madde oranları hakkında bilgi elde edilebilir [15]. Bunun yanında, yine önemli bir büyüklük olan ışınımgücü fonksiyonu da kırmızıya kayma çalışmalarından elde edilecek bilgiler ışığında oluşturulabiliyor.

Ancak daha önce de belirtildiği gibi, spektroskopik yöntemlerle elde edilebilecek kırmızıya kayma sayısı geniş ölçek çalışmalarına katkıda bulunmak için istatistik olarak azdır. Bu nedenle sözü edilen kozmolojik bilgilere ulaşmada, büyük tarama projeleri ile elde edilen fotometrik değerler yardımıyla bulunan kırmızıya kaymalar kullanılmaktadır.

Bu konuda yapılabilecek iyileştirmeler, kullanılan fotometrik verilerdeki hataların azaltılması, galaksilerin evrimsel etkilerinin model spektrumlar oluşturulurken hesaba katılması ve geliştirilen fotometrik kırmızıya kayma yöntemlerinin kaliteli spektroskopik verilerle kalibre edilmesi olacaktır. Sözü edilen bu düzenlemeler yapıldığı takdirde, araştırmacılar önlerindeki yığınla veriyi kullanarak evrenin geniş ölçekteki yapısı hakkında önemli katkılar yapabileceklerdir.

Kaynaklar

- [1] Baum, W. A., 1957, Photoelectric determinations of redshifts beyond 0.2 c, AJ, 62, 6.
- [2] Baum, W. A., 1962, Photoelectric Magnitudes and Red-Shifts, IAUS, 15,390.
- [3] Koo, D. C., 1985, Optical multicolors - A poor person's Z machine for galaxies, AJ, 90, 418.
- [4] Loh, E. D ve Spillar, E. J., 1986a, Photometric redshifts of galaxies, ApJ, 303,154.
- [5] Connolly, A. J. ve ark., 1995a, Spectral Classification of Galaxies: an Orthogonal Approach, AJ, 110, 1071.
- [6] Gwyn, S. D. J., 2001, The evolution of galaxies in the Hubble deep fields.
- [7] Bruzual, B., 1985, Spectral Evolution of Galaxies - Current Views, RMxAA, 10, 55.
- [8] Pence, W., 1976, K-corrections for galaxies of different morphological types, ApJ, 203, 39.
- [9] Kennicutt, R. C., 1992, A spectrophotometric atlas of galaxies, ApJS, 79, 255.
- [10] Gwyn, S. D. J., 1995, Photometric Redshifts of Galaxies.
- [11] Yoshii, Y. ve Takahara, F., 1988, Galactic evolution and cosmology - Probing the cosmological deceleration parameter, ApJ, 326, 1.
- [12] Gwyn, S. D. J. ve Hartwick, F. D. A., 1996, The Redshift Distribution and Luminosity Functions of Galaxies in the Hubble Deep Field, ApJ, 468, 77.
- [13] Fernandez-Soto, A., Lanzetta, K. M., Yahil, A., 1999, A New Catalog of Photometric Redshifts in the Hubble Deep Field, ApJ, 513, 34.
- [14] Fontana, A. ve ark., 2000, Photometric Redshifts and Selection of High-Redshift Galaxies in the NTT and Hubble Deep Fields, AJ, 120, 2206.
- [15] Loh, E. D. ve Spillar, E. J., 1986b, A measurement of the mass density of the universe, ApJ, 307, 1
- [16] Connolly, A. J. ve ark., 1995b, Slicing Through Multicolor Space: Galaxy Redshifts from Broadband Photometry, AJ, 110, 2655.