

# Dev Yıldızların Optik ve Kızılötesi Renk Dönüşümleri

Sabiha Tunçel Güçtekin<sup>1\*</sup>, Serap Ak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul, Türkiye

## Özet

Bu çalışmada, atmosfer model parametreleri tayin edilmiş dev yıldızlar için optik ve yakın kızılötesi bölgedeki parlaklık ve renkler arasında dönüşüm ve ters dönüşüm denklemleri elde edilmiştir. Dönüşüm denklemlerinin elde edilmesinde TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ndeki T100 teleskobuyla yapılan  $BVR_c$  ve  $gri$  gözlemleri kullanılmıştır. Optik verileri elde edilen yıldızların yakın kızılötesi fotometrik verileri 2MASS veri tabanı ile eşleştirilerek belirlenmiştir. Optik ve yakın kızılötesi fotometrik sistemler arası-daki dönüşüm ve ters dönüşüm denklemleri renklerin ikinci dereceden veya iki renge duyarlı doğrusal fonksiyonu olarak bulunmuştur. Bu çalışmada elde edilen dönüşüm formülleri optik ile yakın kızılötesi gökyüzü tarama programlarını arasında bir köprü vazifesi görmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** stars: general, Yıldızlar, Ötegezegenler

## 1 Giriş

Gökyüzü tarama programları sayesinde, gökyüzünün iki farklı yarıkürsünde yer alan teleskoplar ile yaklaşık 42000 derece karelik tüm gökyüzü, seçilen poz sürelerine göre fotometrik bakımdan sığ ya da derin olarak taranmaktadır. Böylece, elektromanyetik tayfin geniş bir bölgesinde sürdürülen geniş alan gökyüzü taramaları Evren anlayışımızın köklü bir şekilde değişmesine neden olmuştur. İlk gözlemler göz ile başlayıp, teknolojinin hızlı gelişimiyle günümüzde yerini çok daha hassas alıcılar olan CCD kameralara bırakmıştır. Bu tarama programları bilimsel amaca göre *sığ* veya *derin* olarak tasarlanmaktadır. İstatistiksel olarak sığ gökyüzü taramaları parlak kadirdeki yakın gök cisimlerini, derin gökyüzü taramaları ise sönük kadirdeki uzak gök cisimlerini içermektedir. Sığ ve derin gökyüzü taramalarının bir arada değerlendirilmesi, incelenen gök cisimlerinin temel yapısal parametrelerini ortaya koymakla beraber Evren'in üç boyutlu haritasının çıkartılmasına yardımcı olur.

Dünya atmosferi elektromanyetik tayfin her bölgesinde geçiren değildir. Bu da, gözlemlerin sadece yer tabanlı değil uçak, balon ve uydular ile de yapılmasını gerektirir. Uzun dalga-bu (kızılötesi) bölgesindeki gözlemler özellikle *IRAS*, *AKARI* ve *WISE* uydularından gelmektedir. En güncel orta kızılötesi veriler, *W1*, *W2*, *W3*, *W4* bantları ile tanımlanan ve 2009 yılında uzaya gönderilen *WISE* (Wide-field Infrared Survey Explorer) uydusundan sağlanmaktadır (Wright et al. 2010). Yakın kızılötesi veriler ise, kuzey ve güney yarımkürelerdeki kızılötesi teleskoplar kullanılarak *J*, *H* ve *K<sub>s</sub>* bantlarıyla tanımlanan 2MASS (Two Micron All Sky Survey) gökyüzü taraması ile gerçekleştirilmiştir (Skrutskie et al. 2006). Tüm gökyüzünü kapsayacak şekilde tasarlanan 2MASS ve *WISE* taramaları astronomların kullanımına açılmıştır (Cutri et al. 2003, 2013). Optik bölgede bilinen en önemli gökyüzü taraması *u*, *g*, *r*, *i* ve *z* bantlarıyla tanımlanan SDSS'tir (Sloan Digital Sky Survey; Abazajian ve diğ. 2004). 2000'li yıllarda başlatılan bu gökyüzü taramasının amacı, kuzey galaktik yarımküredeki tüm gökyüzünün, hem fotometrik hem de tayfsal olarak taranıp Evren'in üç boyutlu haritasının çıkartılmasıdır. Böyle bir harita oluşturulurken sönük gökcisimlerinin incelenmesi gerektiğinden sığ parlaklıklardaki

cisimler dikkate alınmamaktadır. Bu durumda parlak ve sönük nesnelerin bir arada incelenebilmesi mümkün olmaz. Yirminci yüzyılda tüm gökyüzü fotoğrafik olarak Johnson-Morgan sistemiyle taranmış olmasına rağmen, günümüzde CCD alıcılar ile tüm gökyüzünü içeren bir tarama programı tasarlanmamıştır. Bu sebeple, yukarıda sözü geçen gökyüzü taramaları arasında ilişki kurabilmek için fotometrik sistemler arasında geçişleri sağlayan deneysel olarak geliştirilecek dönüşüm denklemlerine ihtiyaç vardır. Bu denklemler fotometrik sistemler arasında bir köprü vazifesi görür.

Bu çalışmanın amacı, atmosfer model parametreleri duyarlı şekilde tayin edilmiş dev yıldızlar için optik ve kızılötesi bölgedeki parlaklıklar ve renkler arasındaki dönüşüm denklemlerini ortaya koymaktır. Çalışmada dönüşüm denklemleriyle beraber TUG'un gecelik ve mevsimsel ortalama sönümlenme katsayıları da elde edilmiştir. Bu da gözlemevi atmosferinin fotometrik kalitesinin belirlenmesine ve dolayısıyla gözlem yapacak astronomların veri indirgemelerinde faydalı olacaktır.

## 2 Veri Analizi

Çalışmadaki yıldızlar pastel kataloğundan seçilmiştir (Soubiran ve diğ. 2010). Katalogdaki yıldızlar literatürde tayfsal verileri bulunan ve atmosferik model parametreleri iyi bilinen kaynaklardır. Bu tür çalışmalar genellikle arşivlerden ve literatürden derlenen veriler kullanılarak veya sentetik veriler ile (Smith ve diğ. 2002; Yaz ve diğ. 2010) yapılmaktadır. Bununla birlikte bu çalışmada hedeflenen yıldızlar parlak oldukları için SDSS fotometrik sisteminde gözlenemediklerinden arşivlerde ve literatürde verileri yoktur. Sentetik verilerden üretilmiş dönüşüm denklemlerine ise deneysel verilerden yapılmış olanlar kadar güvenilmez. Bu çalışmada kullanılan veriler tarafımızdan yapılan gözlemler ile elde edilmiştir.

### 2.1 Gözlemler

Gözlemler TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde kurulmuş 100 cm çaplı ACE marka T100 teleskobu, bu teleskobun odak düzlemindeki Spectral Instruments 1100 CCD kamerayla Bessell  $BVR_c$  ve Asahi SDSS  $g'r'i$  filtreleri kullanılarak yapılmıştır. 4096 × 4096 piksel formatlı bu kameradaki UV verimi artırılmış 15 mikron kare pikseli Fairchild 486 BI CCD yongası, 400-700 nm dalga boyu aralığında nispeten düz bir kuvantum verimliliği

\* sabihatuncel@gmail.com

eğrisine sahiptir. Bu yonganın çalışmamız açısından en önemli özelliği, kısa ve uzun dalga boylarında yüksek kuvantum verimliliği göstermesidir. Kameranın gözlemlerimiz için diğer faydaları, geniş görüş alanı sayesinde standart yıldız alanlarında bir seferde çok sayıda yıldızın gözlenebilmesi ve gelişmiş shutter'ı sayesinde çok kısa poz sürelerinin verilebilmesidir. Bu sayede çok parlak yıldızlar gözlenebilmiştir.

Program yıldızlarının kaliteli gözlemleri toplam 23 gecede, 21-22 Temmuz 2011, 9-11 Eylül 2011, 31 Ekim 2011, 1 Kasım 2011, 21-22 Kasım 2011, 29 Aralık 2011, 19 Şubat 2012, 29 Mart 2012, 1 Nisan 2012, 12 Nisan 2012, 16-17 Mayıs 2012, 28-29 Temmuz 2012, 18-19 Ağustos 2012, 16-18 Eylül 2012 tarihlerinde yapılmıştır. Veri kalibrasyonları ve tüm ölçümler için IRAF görüntü indirgeme ve fotometri paketleri kullanılmıştır.

Çalışmamızda program yıldızlarının aletsel parlaklıklarının standart fotometrik sistemdeki parlaklıklara dönüştürülmesi için hem sönümleme katsayılarının hem de standart fotometrik sisteme dönüşüm katsayılarının hesaplanması gereklidir. Bu nedenle standart alanlardaki yıldızlar gözlenmiştir. Bu çalışmada gözlenen standart yıldız alanları Landolt (2009) ve Smith ve diğ. (2002) tarafından verilen listelerden seçilmiş ve her gözlem gecesinde değişik renklerden mümkün olduğunca çok sayıda standart yıldız farklı zenit uzaklıklarında gözlenmiştir.

Gözlenen dev yıldızlar pastel kataloğundan geniş bir metal bolluğu aralığı göz önüne alınarak seçilmiştir. Programa dahil edilecek yıldızların belirlenmesinde yıldızların yüzey çekim ivmeleri  $2 < \log g < 3$  aralığında seçilmiştir. Bu şekilde yaklaşık 450 yıldız belirlenmiştir. Fakat bu yıldızlar hemen hemen gökyüzüne homojen dağıldıklarından, ülkemizden tümü gözlenemez. Bu sebeple deklinasyonları  $\delta > -15$  derece olan yıldızlar dikkate alınmış ve gözlenebilecek 200'e yakın yıldız belirlenmiştir. Bu yıldızlardan da 80 tanesi 2011 ve 2012 yıllarında gözlenmiştir.

Program dahilinde bulunan yıldızlar en az üç sefer gözlenerek indirgenmiş ve aletsel parlaklıkları ölçülmüştür. Daha sonra, elde edilen  $bvr_c$  ve  $g'r'i'$  aletsel parlaklıklar standart parlaklıklara dönüştürülmüş ve 80 yıldızın fotometrik verileri listelenmiştir. Gözlemlerin indirgenmesi hakkındaki ayrıntılar Ak ve diğ. (2014)'nin çalışmasında verilmiştir.

### 3 Kızarma ve Mutlak Parlaklık Tayini

80 yıldızın mutlak parlaklıklarının tayininde yıldızların atmosferik model parametrelerinden faydalanılmıştır. Program yıldızlarının etkin sıcaklıkları bilindiği için etkin sıcaklık ile  $M_V$  mutlak parlaklığı arasındaki bir ilişki kurularak yıldızların uzaklıkları belirlenmek istenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, Sung ve diğ. (2013)'nin çalışmasından alınan dev yıldızların yüzey sıcaklıklarıyla mutlak parlaklık verileri arasında bir bağıntı üretilmiştir. Böylelikle listede bulunan ve sıcaklığı bilinen her bir yıldızın  $M_V$  mutlak parlaklığı hesaplanabilmiştir. Yıldızların uzaklıkları Pogson bağıntısıyla belirlenmiştir.

Fotometrik verilerin yıldızlararası ortamın etkilerinden arındırılmasında Schlafly ve Finkbeiner (2011) kızarma haritası kullanılmıştır. Toplam  $A_V$  sönükleme değerleri, yıldızların Galaktik koordinatları NED<sup>1</sup> servisinde bulunan kızarma hesabına girilerek elde edilmiştir. Bu doğrultulardan belirlenen sönükleme değerleri, Galaksinin sınırına kadar olan bölge için geçerli olduğundan Bahcall ve Soneira (1980)'nin verdiği bağıntı kullanılarak Güneş ile yıldız arasındaki uzaklığa indirgenmiştir.

<sup>1</sup> <https://ned.ipac.caltech.edu/forms/calculator.html>

Eş zamanlı olarak yıldızların kızarmaları ve uzaklıkları bu yöntem ile tayin edilmiştir (Ak ve diğ. 2014).

### 4 Dönüşüm Formülleri

Program yıldızlarının kızarmadan arındırılmış parlaklık ve renkleri kullanılarak  $BVR_c$  ve  $g'r'i'$  fotometrik sistemleri arasında dönüşüm denklemlerini elde etmek için aşağıdaki bağıntılar tercih edilmiştir ( $i = 1, \dots, 9$ ). Bu bağıntıların katsayıları ve katsayılarla ait belirsizliklerin hesaplanmasında regresyon analizi kullanılmıştır. Katsayılar ve belirsizlikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

$$(g' - V)_0 = a_i(B - V)_0^2 + b_i(B - V)_0 + c_i \quad (1)$$

$$(g' - V)_0 = a_i(V - R_c)_0^2 + b_i(V - R_c)_0 + c_i \quad (2)$$

$$(g' - V)_0 = a_i(B - V)_0 + b_i(V - R_c)_0 + c_i \quad (3)$$

$$(g' - r')_0 = a_i(B - V)_0^2 + b_i(B - V)_0 + c_i \quad (4)$$

$$(g' - r')_0 = a_i(V - R_c)_0^2 + b_i(V - R_c)_0 + c_i \quad (5)$$

$$(g' - r')_0 = a_i(B - V)_0 + b_i(V - R_c)_0 + c_i \quad (6)$$

$$(r' - i')_0 = a_i(B - V)_0^2 + b_i(B - V)_0 + c_i \quad (7)$$

$$(r' - i')_0 = a_i(V - R_c)_0^2 + b_i(V - R_c)_0 + c_i \quad (8)$$

$$(r' - i')_0 = a_i(B - V)_0 + b_i(V - R_c)_0 + c_i \quad (9)$$

Ayrıca yukarıdaki dönüşüm denklemlerinin ters dönüşümleri de aşağıdaki gibi elde edilmiş ( $i = 10, \dots, 18$ ) ve bağıntıların katsayılarıyla belirsizlikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

$$(V - g')_0 = d_i(g' - r')_0^2 + e_i(g' - r')_0 + f_i \quad (10)$$

$$(V - g')_0 = d_i(r' - i')_0^2 + e_i(r' - i')_0 + f_i \quad (11)$$

$$(V - g')_0 = d_i(g' - r')_0 + e_i(r' - i')_0 + f_i \quad (12)$$

$$(B - V)_0 = d_i(g' - r')_0^2 + e_i(g' - r')_0 + f_i \quad (13)$$

$$(B - V)_0 = d_i(r' - i')_0^2 + e_i(r' - i')_0 + f_i \quad (14)$$

$$(B - V)_0 = d_i(g' - r')_0 + e_i(r' - i')_0 + f_i \quad (15)$$

$$(V - R_c)_0 = d_i(g' - r')_0^2 + e_i(g' - r')_0 + f_i \quad (16)$$

$$(V - R_c)_0 = d_i(r' - i')_0^2 + e_i(r' - i')_0 + f_i \quad (17)$$

$$(V - R_c)_0 = d_i(g' - r')_0 + e_i(r' - i')_0 + f_i \quad (18)$$

### 5 Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmadaki dönüşüm denklemleri araştırmacıların ihtiyaçları doğrultusunda farklı formlarda üretilmiştir. Tek renge bağlı olan dönüşümler ikinci dereceden fonksiyonlar ile, iki renge bağlı olanlar doğrusal denklem takımlarıyla ifade edilmiştir.  $BVR_c$ , fotometrik sisteminden  $g'r'i'$  fotometrik sistemine renk dönüşümleri için  $(g' - V)_o$ ,  $(g' - r')_o$  ve  $(r' - i')_o$  renkleri sadece  $(B - V)_o$  veya  $(V - R_c)_o$  renginin ikinci dereceden bir fonksiyonu ya da her iki  $(B - V)_o$  ve  $(V - R_c)_o$  renginin doğrusal bir fonksiyonu olarak elde edilmiştir. Buna karşın dönüşümlerin tersleri için de  $(V - g')_o$ ,  $(B - V)_o$  ve  $(V - R_c)_o$  renklerine sadece  $(g' - r')_o$  veya  $(r' - i')_o$  renginin ikinci dereceden bir fonksiyonu ya da her iki  $(g' - r')_o$  ve  $(r' - i')_o$  renginin doğrusal bir fonksiyonu olarak uygulanmıştır. Farklı biçimlerde oluşturulan denklemlerin katsayıları ve belirsizlikleri regresyon analiziyle hesaplanmış ve parametreleri çizelgelere verilmiştir. Çizelgelerden de görüleceği gibi parametrelerin belirsizlikleri ve dönüşümlerden hesaplanan renkler ile gözlemsel renklere ait ortalama belirsizlikler genelde küçüktür. Bu da çalışmada hesaplanan fotometrik dönüşümlerin oldukça duyarlı parlaklık ve renklerin elde edilmesini sağladığını göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen dönüşüm denklemleri optik ve yakın kızılötesi gökyüzü tarama programlarındaki veriler arasında bir köprü vazifesi görmektedir.

**Çizelge 1.** (1)-(9) eşitlikleriyle verilen dönüşüm denklemlerinin katsayıları ve belirsizlikleri.  $R$ , korelasyon katsayısı;  $\sigma$ , standart sapma ve  $o.f.$ , ortalama farktır.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Katsayı	$(g' - V)_0$	$(g' - V)_0$	$(g' - V)_0$	$(g' - r')_0$	$(g' - r')_0$
$a_i$	-0.122±0.051	-0.155±0.227	0.404±0.083	-0.045±0.031	0.381±0.120
$b_i$	0.651±0.074	1.044±0.160	0.168±0.166	1.006±0.055	1.528±0.055
$c_i$	-0.069±0.028	-0.056±0.032	-0.035±0.024	-0.197±0.024	-0.170±0.009
$R$	0.912	0.876	0.907	0.986	0.992
$\sigma$	0.068	0.080	0.070	0.059	0.059
$o.f.$	0.000	0.000	0.000	-0.006	-0.002
	(6)	(7)	(8)	(9)	
Katsayı	$(g' - r')_0$	$(r' - i')_0$	$(r' - i')_0$	$(r' - i')_0$	
$a_i$	0.464±0.063	-0.243±0.035	-0.420±0.064	-0.026±0.049	
$b_i$	0.931±0.128	0.730±0.051	1.111±0.030	0.897±0.099	
$c_i$	-0.205±0.018	-0.224±0.019	-0.209±0.005	-0.185±0.014	
$R$	0.982	0.940	0.993	0.953	
$\sigma$	0.054	0.047	0.031	0.042	
$o.f.$	0.000	0.000	-0.001	0.000	

**Çizelge 2.** (10)-(18) eşitlikleriyle verilen dönüşüm denklemlerinin katsayıları ve belirsizlikleri.  $R$ , korelasyon katsayısı;  $\sigma$ , standart sapma ve  $o.f.$ , ortalama farktır.

	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Katsayı	$(V - g')_0$	$(V - g')_0$	$(V - g')_0$	$(B - V)_0$	$(B - V)_0$
$d_i$	0.041±0.016	-0.104±0.165	-0.460±0.059	0.022±0.018	0.466±0.117
$e_i$	-0.615±0.013	-1.096±0.029	-0.243±0.111	1.028±0.014	1.947±0.028
$f_i$	-0.030±0.007	-0.156±0.014	-0.052±0.015	0.205±0.007	0.418±0.015
$R$	0.989	0.977	0.989	0.996	0.987
$\sigma$	0.049	0.067	0.050	0.055	0.098
$o.f.$	0.001	-0.001	-0.005	0.002	0.005
	(15)	(16)	(17)	(18)	
Katsayı	$(B - V)_0$	$(V - R_c)_0$	$(V - R_c)_0$	$(V - R_c)_0$	
$d_i$	1.321±0.092	-0.002±0.016	0.102±0.097	0.335±0.037	
$e_i$	-0.616±0.193	0.552±0.009	1.085±0.017	0.449±0.068	
$f_i$	0.162±0.023	0.112±0.004	0.229±0.009	0.158±0.009	
$R$	0.974	0.992	0.991	0.995	
$\sigma$	0.071	0.033	0.039	0.030	
$o.f.$	0.000	0.007	0.001	0.002	

### Teşekkür

Bu araştırma 212T214 numaralı TÜBİTAK projesiyle, gözlemler de TUG T100 teleskobunda 11BT100-184-2 numaralı gözlem projesiyle gerçekleştirilmiştir.

### Kaynaklar

Abazajian, K., Adelman-McCarthy, J. K., ve diğ., 2004, AJ, 128, 502  
 Ak, S., Ak, T., ve diğ., 2014, PASA, 31, 14  
 Bahcall, J. N., Soneira, R. M., 1980, ApJS, 44, 73  
 Cutri, R. M., ve diğ., 2003, 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources, CDS/ADC Electronic Catalogues, 2246  
 Cutri, R. M., ve diğ., 2013, WISE All-Sky Data Release, CDS/ADC Catalogues, 2328  
 Landolt, A. U., 2009, AJ, 137, 4186  
 Schlafly, E. F., Finkbeiner, D. P., 2011, ApJ, 737, 103  
 Skrutskie, M. F., Cutri, R. M., ve diğ., 2006, AJ, 131, 1163  
 Soubiran, C., Le Campion, J.-F., Cayrel de Strobel, G., Caillo, A., 2010, A&A, 515, A111

Smith, J. A., Tucker, D. L., ve diğ., 2002, AJ, 123, 2121  
 Sung, H., Lim, B., ve diğ., 2013, JKAS, 46, 103  
 Wright, E. L., Eisenhardt, P. R. M., ve diğ., 2010, AJ, 140, 1868  
 Yaz, E., Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Coşkunoglu, B., Cabrera-Lavers, A., 2010, AN, 331, 807

### Erişim:

033-1445: UAK-2015 Program --- UAK Bildiri --- Turkish J.A&A.