

KÜP UYDU YÖNELİMİNİN BELİRLENMESİNDE EŞ ZAMANLI YILDIZ İZLEYİCİ KULLANIMI

Mert Can Arabacı¹, Kürşat Yenidoğan², Tahsin Çağrı Şişman³ ve Nevsan Şengil⁴
Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara

ÖZET

Uydu/uzay araçlarının üstlendikleri görevlerini istenen şekilde yapabilmeleri için sadece konumlarının değil aynı zamanda yönelimlerinin de en doğru şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla farklı algılayıcılar kullanılabilmekle birlikte, mevcut algılayıcılar içinde en doğru sonucu yıldız izlerler vermektedir. Yıldız izlerler genelde bir kamera ve kameradan gelen bilgileri işleyen bilgi işlem biriminden oluşmaktadır. Yıldız izler tasarımı en hassas konu yıldız tanıma doğruluğu ve hesaplama süresidir. Bu çalışmada Hipparcos Yıldız Kataloğundan seçilen en parlak 2274 adet yıldızdan oluşan bir veri tabanı oluşturularak bilgi işlem birimine kaydedilmiştir. Ardından yıldız tanıma çözümleyici yazılımı geliştirilmiştir. Bu yazılım iki farklı yıldız izler üzerinde çalıştırılarak görüş açısı içinde yer alan yıldızlar tanımlanmış ve tanımlanan yıldızlara olan doğrusal vektörler hesaplanarak uydu/uzay aracının yönelimi ECI (eylemsiz çerçevede) belirlenmiştir.

GİRİŞ

Çeşitli gök cisimleri etrafında dönen uydular veya derin uzay görevleri için farklı yörüngelerde dolaşan uzay araçları birçok farklı görev yükleri ile donatılmışlardır. Bu görev yüklerinin önceden belirlenen amaca hizmet etmeleri için, uydu/uzay aracının sadece doğru yörüngede olması yeterli olmamakta, aynı zamanda yönelim bilgisinin de gerçek zamanda hesaplanarak görev yüklerine aktarılması gerekmektedir. Yönelim bilgisini hesaplamak için manyetik alan ölçerler, güneş algılayıcılar, ufuk algılayıcılar gibi farklı aygıtlar kullanılabilmekte ise de, bu aygıtların hiç biri, yıldız algılayıcılar kadar hassas yönelim bilgisi sağlayamamaktadırlar.

Yıldızların seyir amaçları ile kullanılmasının önünü açanlar büyük denizler de/okyanuslar da seyir yapmak zorunda kalan denizciler olmuştur. Kuzey yıldızı (Polaris) sadece kuzey yönünü belirlemek için kullanılmamış, aynı zamanda enlem tayininde de kullanılmıştır [Gürdeniz, 2014]. Bu amaçla ufuktan yıldıza olan düşey açıyı ölçen sekstant aygıtı kullanılmıştır. Kuzey yıldızını görme olanağının olmadığı Güney yarım kürede ise bu amaçla Güney Haçı (Southern Cross) takımyıldızları kullanılmıştır. Bu yıldızlara ait yükseklik ve yan açıları ise Denizci Almanaklarında bulunmaktadır. Boylam hesaplamaları ise daha karmaşık olup, çok hassas saatlere ihtiyaç duyulmaktadır [Aktuğ, 2015].

Yıldızların uzayda yönelim belirleme amaçları için kullanılmaları, denizcilik uygulamalarından biraz daha farklı olmaktadır. Samanyolu gökadasında yaklaşık 250-150 milyar yıldız bulunmaktadır. Bu kadar çok sayıda yıldız çeşitli değişkenler kullanarak sınıflandırmak ve yönelim belirleme amaçları ile kullanmanın imkânı bulunmadığından, sınırlı sayıda yıldız içeren çeşitli Yıldız Kataloqları oluşturulmuştur. Bu kataloglar yıldızlara ait ekvatorial konum değerleri, parlaklık derecesi, spektral değerler ve yıldız numaraları gibi önemli bilgileri içermektedirler.

¹ Lisans Öğrencisi, Uzay Müh. Böl., E-posta: mert.can.arabaci@stu.thk.edu.tr

² Lisans Öğrencisi, Uzay Müh. Böl., E-posta: s150222007@stu.thk.edu.tr

³ Doç.Dr., Uzay Müh. Böl., E-posta: tcsisman@thk.edu.tr

⁴ Prof.Dr., Uzay Müh. Böl., E-posta: nsengil@thk.edu.tr

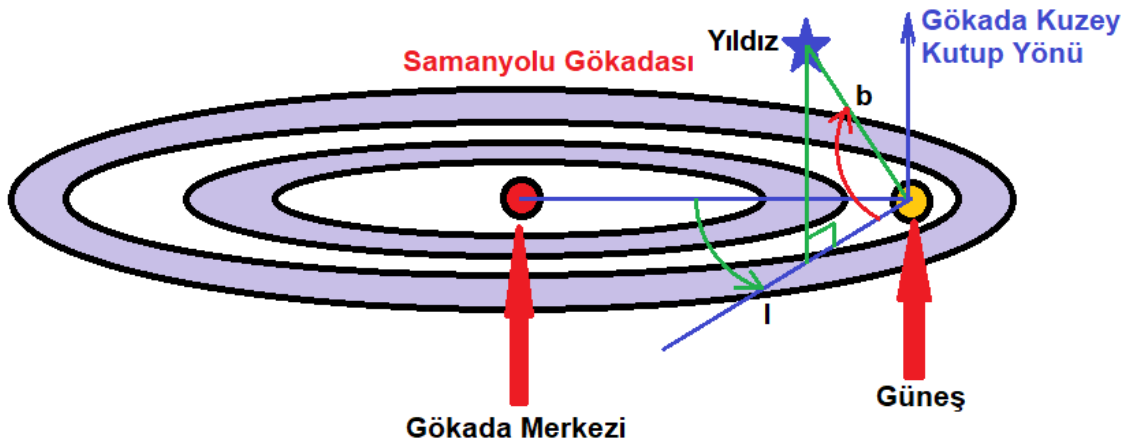
Yıldızlar çok uzakta olduğu için yıldız kataloglarında yer alan yıldız konum bilgilerinin uydu/uzay aracı veya yıldız konum değıştirse bile, kısa zaman aralıklarında değışiklik göstermedikleri varsayılmaktadır. Yıldız izler çözümleyicisinin yönelim belirlemek için en az 2 yıldız tanınması gerekmektedir. Bu yıldızlara ait yıldız kataloğu yön bilgileri ve yıldız izlerden gelen yön bilgileri karşılaştırılarak, uydu/uzay aracının yönelimi saptanır. Bu amaç için kullanılan birçok yöntem olmakla birlikte TRIAD ve QUEST yöntemleri en tercih edilen yöntemler arasındadır.

Yıldız tanıma yöntemleri yıldız izler aygıtının en önemli parçasıdır. Son 30 yıldır, çok sayıda yıldız tanıma yöntemi geliştirilmiştir. Bu yıldız tanıma yöntemlerinin her birinin karmaşıklık, kullanılan yıldız veri tabanı büyüklüğü, sağlamlığı, doğruluğu ve hesaplama hızı farklı olmaktadır. Genelde bu yöntemler açısal mesafe ve örgü yöntemi temel alınarak geliştirilmiştir [Pham, Low, Shoushun ve Xing, 2012]. Açısal mesafe temelli yöntemlerde yıldızları tanımak için en parlak yıldız ile etrafında yer alan diğer komşu yıldızlar arasındaki açısal mesafeler kullanılmaktadır. Bu yöntemin en bilinenleri Liebe çözümleyicisi [Liebe, 1995], Piramid çözümleyicisi [Mortari, Junkins, Samaan, 2001], düzlemsel üçgen çözümleyicisi [Cole, 2006] ve geometric oy çözümleyicisidir [Kolomenkin, Polak, Shimshoni ve Lindenbaum, 2008]. Örgü yönteminde yıldızları tanımak için bit deseni kullanılmaktadır [Padgett, Delgado, 1997]. Takiben kutupsal örgü [Lee, Bang, 2007] ve elastik gri örgü yöntemleri [Na, Zheng, ve Jia, 2009] geliştirilmiştir. Tüm bu çalışmalar tek bir yıldız izleyici olduğu varsayılarak yapılmıştır. Güvenirliği arttırmak için genelde birden fazla yıldız izleyiciye ihtiyaç vardır. Bu izleyicilerin gerektiğinde eş zamanlı olarak kullanılmasının getireceği yararlar bu çalışmanın konusunu oluşturacaktır.

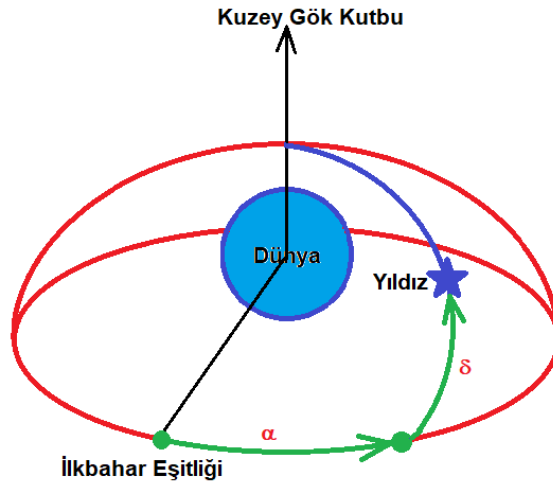
Bu çalışmanın ikinci bölümünde farklı yıldız katalogları ve içerikleri incelenecektir. Bu çalışmada ESA (Avrupa Uzay Ajansı) tarafından geliştirilen gökadasal koordinat sistem temelli Hipparcos Yıldız kataloğu kullanılacaktır. Takiben bu katalogta yer alan gökadasal koordinat sistemleri ile tarif edilen yıldız koordinatları, koordinat dönüşümü ile ekvatoryal koordinat sistemine dönüştürülecektir. Üçüncü bölümde yıldız izler tasarımına geçilecektir. 118322 adet yıldız içeren Hipparcos kataloğu içinden belirli bir parlaklık derecesinden daha parlak yıldızlar seçilerek yeni bir veri tabanı oluşturulacaktır. Seçilen bu yıldızların ekvatoryal koordinat sisteminde dağılımına bakılarak, yıldız izlerin görüş açısı belirlenecektir. Dördüncü bölümde tasarlanan yıldız izler ile çeşitli benzetimler yapılarak, yıldız tanıma hızı ve doğruluğu hesaplanacaktır. Son sonuç bölümünde ise yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar özetlenerek, eş zamanlı çalışan yıldız izlerin doğruluk ve hesaplama avantajları sayısal olarak raporlanacaktır.

YILDIZ KATALOGLARI

Yıldız izleyiciler uydu/uzay aracının yönelimini belirlemek için yıldızların ECI (Dünya merkezli eylemsiz) çerçevesinde hesaplanan koordinatlarına ihtiyaç duyarlar. Yıldız kataloglarında yıldız koordinatları genelde gökada koordinat sisteminde (Şekil-1) veya ekvatoryal koordinat sisteminde (Şekil-2) verilmektedir. Gökada koordinat sisteminde yıldızların konumları için boylam (l) ve enlem (b) değerleri kullanılmakta iken, ekvatoryal koordinat sisteminde yıldız koordinatları sağ açıklık (α) ve yükselim açıları (δ) ile belirlenirler.



Şekil 1: Gökada Koordinat Sistemi



Şekil 2: Ekvatoryal Koordinat Sistemi

Bu çalışmada Hipparcos Yıldız Kataloğundan yararlanılarak, Lunds-İsveç üniversitesi tarafından geliştirilen Yıldız Kataloğu kullanılmıştır. Bu katalog 116812 adet yıldız içermekte olup, bu yıldızlara ait 12 adet bilgi içeren sütun bulunmaktadır. Bu sütunlarda yer alan bilgiler aşağıda yer alan Tablo-1’de sunulmuştur.

Tablo-1: Yıldız kataloğu

Sütun No	Kısaltma	Birim	Açıklama
1	HIP	---	Hipparcos Sayısı
2	l	derece	Yıldız boylamı
3	b	derece	Yıldız enlemi
4	p	mas	İrakklık açısı (mili-saniye ark)
5	ul	mas/yr	l- yönünde özdevinim (mili-saniye ark/yıl)
6	ub	mas/yr	b-yönünde özdevinim (mili-saniye ark/yıl)
7	e_p	mas	İrakklık açısı standart hata
8	e_ul	mas/yr	ul standart hata
9	e_ub	mas/yr	ub standart hata
10	V	mag	Görsel büyüklük
11	col	mag	B-V renk dizini
12	mult	---	Yıldız çarpanı

Gökada koordinat sisteminden ekvatoryal koordinat sistemine geçmek için kullanılan dönüşüm bağıntıları aşağıda verilmiştir.

$$\alpha = \text{atan2}\left(\left(\cos(b) \times \cos(l - \gamma_p)\right), \left(\sin(b) \times \cos(\delta_p) - \cos(b) \times \sin(l - \gamma_p)\right)\right) + \alpha_p \quad (1)$$

$$\delta = \text{asin}\left(\cos(b) \times \cos(\delta_p) \times \sin(l - \gamma_p) + \sin(b) \times \sin(\delta_p)\right) \quad (2)$$

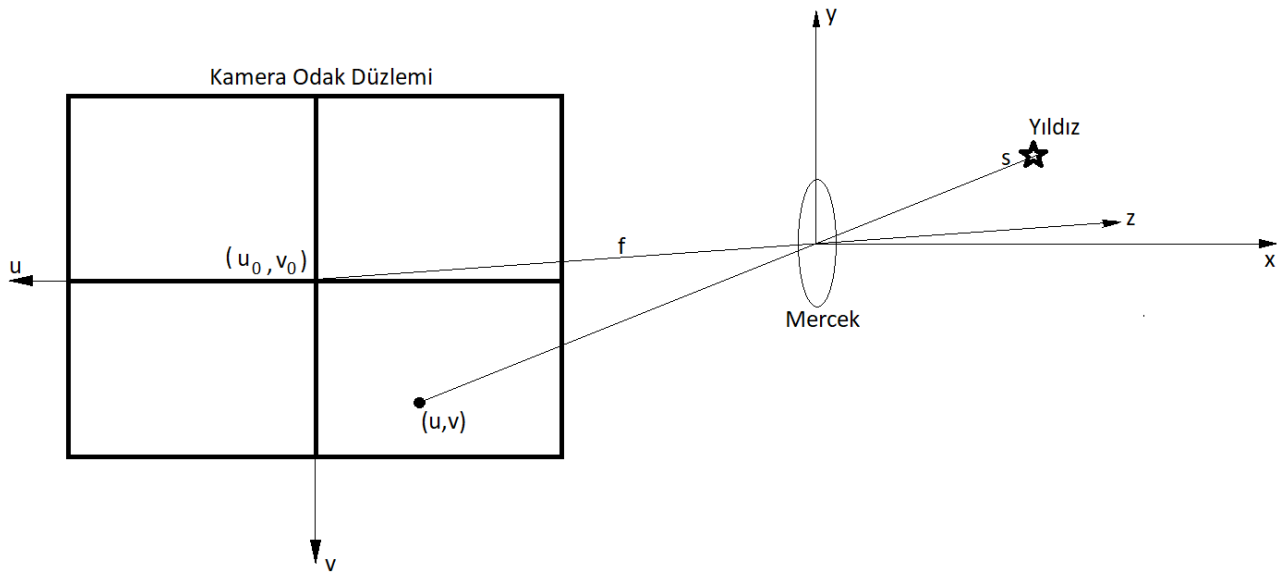
Bu bağıntılarda kullanılan Gökada Kuzey Kutup açısal değerleri J2000 zamanına göre belirlenmiş olup, derece cinsinden $\alpha_p = 192.859508^0$, $\delta_p = 27.128336^0$, $\gamma_p = 22.932^0$ olarak alınmıştır. Yukarıda yer alan bağıntılar kullanılarak Hipparcos Yıldız kataloğunda yer alan 116812 adet yıldızın gökada enlem ve boylam koordinatlarından, ekvatoryal sağ açıklık (α) ve yükselim açıları (δ) hesaplanmıştır. Hipparcos Yıldız kataloğu bu veriler kullanılarak güncellenmiştir. Böylelikle Dünya yörüngesinde veya güneş sistemi içinde hareket eden uydu/uzay araçlarının ECI (Dünya merkezli eylemsiz) çerçevesini kullanma olanağı yaratılmıştır. En parlak 10 yıldız için yapılan hesaplamalar aşağıda yer alan Tablo-2 de sunulmuştur.

Tablo-2: En parlak 10 yıldız

HIP	Yıldız Adı	M_v	RA (α) ⁰	DEC (δ) ⁰	Lat (b) ⁰	Long (l) ⁰
7588	Achernar, Alpha Eridani	0.4500	24,4250	-57,2364	-58.790	290,840
24436	Rigel, Beta Orionis	0.1800	78,6363	-8,2014	-25,250	209,240
24608	Capella, Alpha Aurigae	0.0800	79,1708	45,9989	4,570	162,590
27989	Betelgeuse, Alpha Orionis	0.4500	88,7917	7,4069	-8,960	199,790
30438	Canopus, Alpha Carinae	-0.6200	95,9875	-52,6956	-25,290	261,210
32349	Sirius Alpha Canis Majoris	-1.4400	101,2833	-16,7161	-8,890	227,230
37279	Procyon, Alpha Canis Minoris	0.4000	114,8250	5,2275	13,020	213,700
69673	Arcturus, Alpha Boötis	-0.0500	213,9167	19,1872	69,110	15,070
71683	Rigel Kentaurus, Alpha Centauri	-0.0100	219,9167	-60.8350	-0,680	315,740
91262	Vega, Alpha Lyrae	0.0300	279,2333	38.7828	19,240	67,450

YILDIZ İZLER TASARIMI

Bir yıldız izler basit olarak yıldızların fotoğrafını çeken bir kamera ve bu görüntüleri işleyerek uydu/uzay aracının yönelimini hesaplayan bir bilgi işlem biriminden oluşmaktadır. İçinde bulunduğumuz dijital çağda yaşanan teknolojik gelişmeler neticesinde, mikro işlemciler/bellekler ile donatılmış bilgisayarların boyutları küçülmüş, güç harcamaları azalmış ve sayısal hesaplama hızları artmıştır. İlave olarak dijital teknoloji kullanarak geliştirilen kameralar film temelli kameraların yerini almıştır. CCD (charge-coupled devices) veya CMOS (complementary metal-oxide semiconductor) temelli teknolojiler ile geliştirilen bu aygıtlarda, görüntü çok sayıda minik algılayıcılardan oluşan 2-boyutlu bir düzlem üzerine düşürülmektedir (Şekil-3). Piksel olarak ta adlandırılan bu algılayıcılar, gelen fotonların frekans ve şiddetine göre bir elektronik işaret üretirler. Görüntü işleme birimi bu işareti çözümleyerek koordinat, ışık şiddeti ve spektral bilgiler halinde matematiksel bir formatta belleğe aktarır.



Şekil 3: Yıldız izler geometrisi

Yönelim hesaplarımız için özellikle LIS (uzayda kaybolma) veya ilk yönelim hesaplaması durumunda yıldız izler FOV (görüş alanında) en az 4 yıldız bulunması istenir. Bu değer ve yıldız kataloğunda kullanacağımız yıldız sayısı yıldız izlerin görüş açısının belirlenmesinde önemli bir rol

oynamaktadır. Görüş alanımızda belirli bir olasılıkla bulunması istenen en az yıldız sayısının Poisson dağılımı gösterdiği varsayılmaktadır.

$$P(N) = e^{-\bar{N}} \frac{\bar{N}^N}{N!} \quad (3)$$

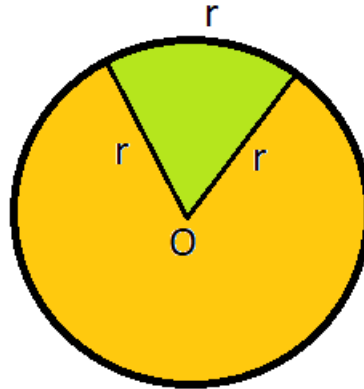
Eğer görüş alanı içinde 90% olasılıkla en az 4 yıldız bulunmasını istenirse, görüş alanı içine bulunması gereken ortalama yıldız sayısı 6.75 olarak hesaplanır.

$$P(4) = 1 - e^{-6.75} \left(\frac{6.75^1}{1!} + \frac{6.75^2}{2!} + \frac{6.75^3}{3!} \right) = 0.9054 \quad (4)$$

Hipparcos Yıldız Kataloğunda görsel büyüklüğü ($M_V < 5.3$) altında olan yıldız sayısı $SCSN=2274$ olarak hesaplanmıştır. Yıldız izleyicimizin görüş alanında (FOV) olması gereken ortalama yıldız sayısı ($\bar{N} = 6.75$) olarak alındığında, FOV açısal büyüklüğü aşağıda belirtilen bağıntı ile hesaplanabilmektedir.

$$FOV^2 = \bar{N} \frac{A_{GK}}{SCSN} \quad (5)$$

Yukarda verilen bağıntıda yer alan A_{GK} sanal gök küre yüzey alanı olup, Şekil-4'te olduğu gibi derece cinsinden hesaplanmaktadır.



Şekil 4: Sanal gök küre

$$\begin{aligned} D &= 2\pi r = 360^\circ \\ r &= \frac{360}{2\pi} \cong 57.3^\circ \\ A_{GK} &= 4\pi r^2 = 4\pi r^2 \cong 41253 \text{ derece}^2 \end{aligned} \quad (6)$$

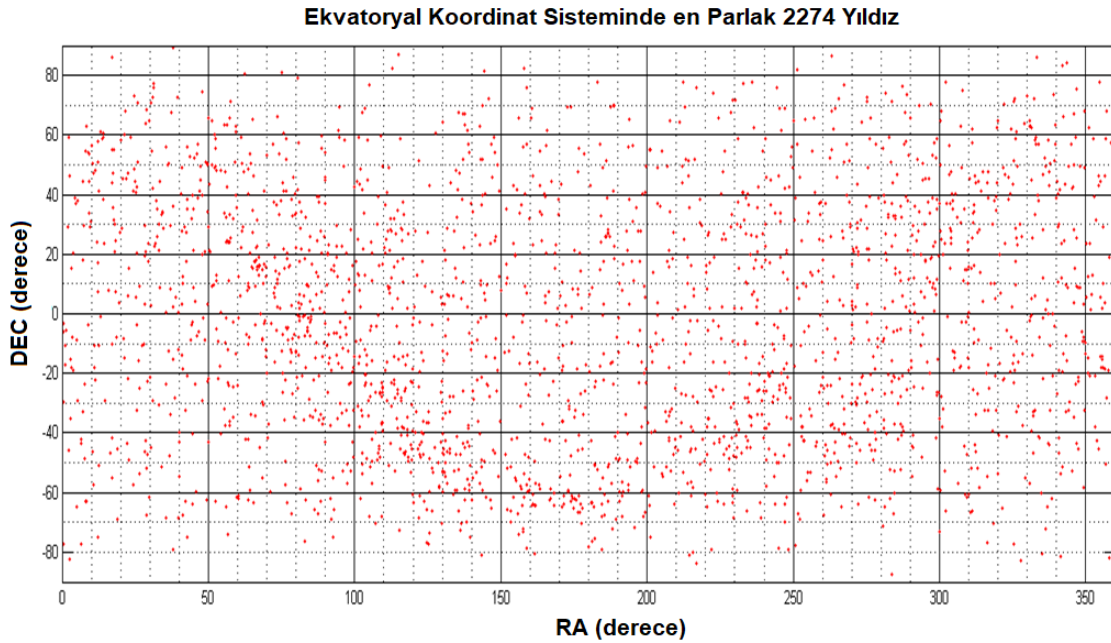
Bu bağıntıdan elde edilen A_{GK} değeri (5) de belirtilen denkleme uygulandığında FOV görüş açısı değerleri hesaplanır.

$$FOV^2 = \bar{N} \frac{A_{GK}}{SCSN} = 6.75 \frac{41253}{2274} \quad (7)$$

$$FOV \cong 11^\circ \times 11^\circ \quad (8)$$

KULLANILAN YILDIZ HARİTASI

Bu çalışmada kullanılması planlanan en parlak 2274 adet yıldızın ekvatoryal koordinat sisteminin eksenleri olan RA (sağ açıklık) ve DEC (yükselem) değerleri temel alındığında belirlenen konumları Şekil-5'te verilmiştir.



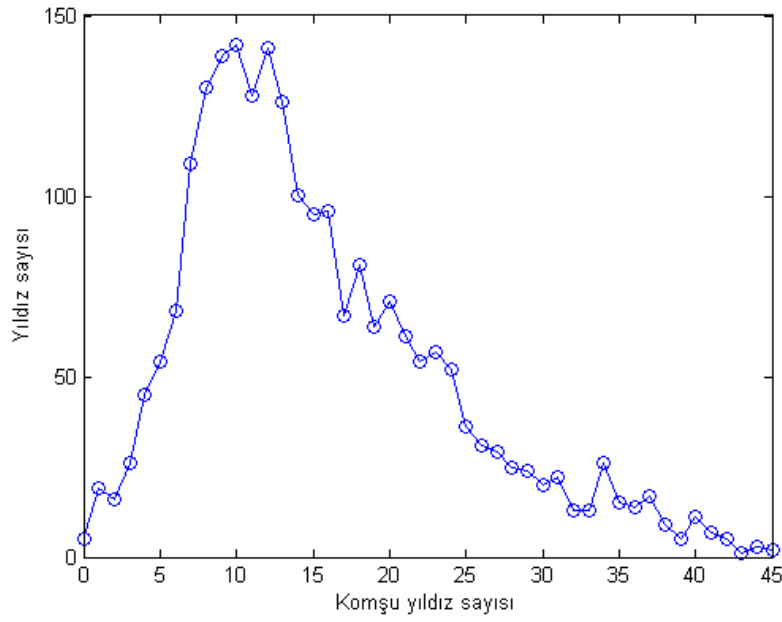
Şekil 5: En parlak 2274 yıldızın konumları

Ekvatoryal koordinat sistemi temel alınarak oluşturulan yıldız haritasında mevcut bulunan 2274 adet yıldızdan yola çıkılarak yeni bir komşu yıldız çizelgesi hazırlanmıştır. Bu çizelge her bir yıldız için 10^0 açısal mesafe içinde kalan komşu yıldız sayılarından ve komşu yıldızların merkezi yıldıza olan uzaklıklarından oluşmaktadır. Komşu yıldız çizelgesine ait örnek sayfa Tablo-3'te verilmiştir.

Tablo-3: Komşu yıldız çizelgesi

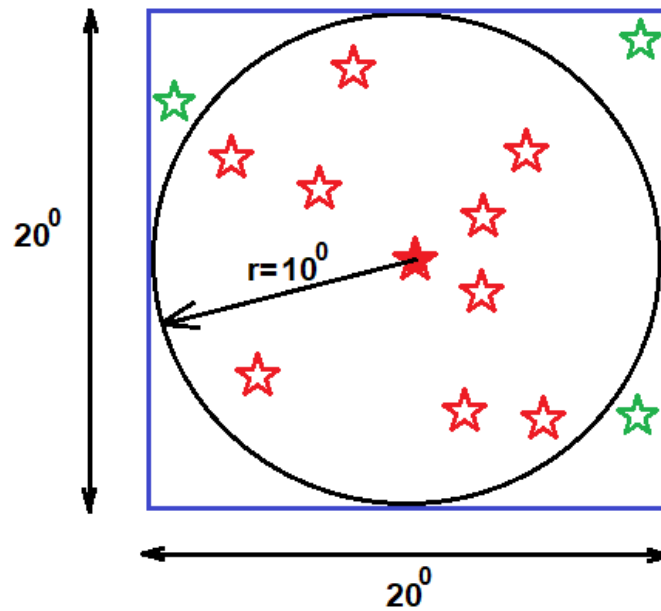
Hipparcos No	Komşu Yıldız Sayısı	D1	D2	D3	D4	D5	D6		D45
5372	0								
11757	1	159							
3781	2	159	233						
814	3	114	142	162					
2021	4	154	159	162	247				
5300	5	114	134	140	206	245			
950	6	117	151	170	206	231	238		

Yıldız kataloğunda mevcut 2274 adet yıldıza ait 10^0 içinde yer alan komşu yıldız sayılarına ait sayılar Şekil-6'da gösterilmiştir.

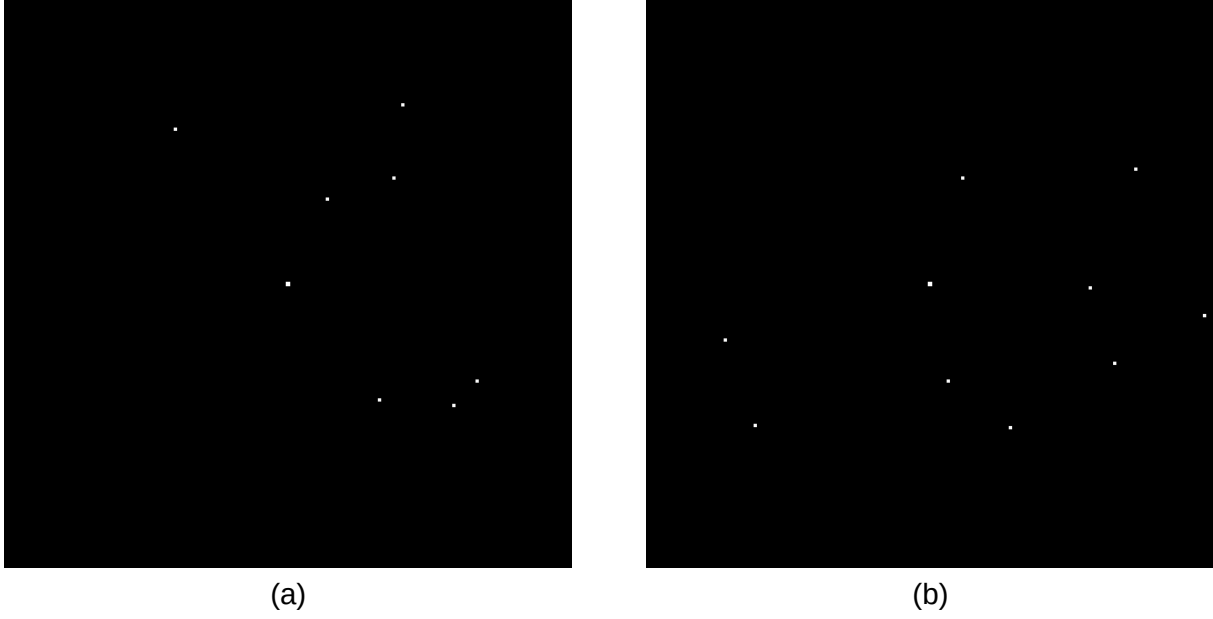


Şekil 6: Merkezi yıldızlara komşu olan yıldız sayıları.

Şekil-6'dan da görüleceği üzere 2274 adet en parlak yıldız 10^0 den daha yakın komşu yıldız sayıları 0 ile 45 arasında değişmekte olup, oransal olarak komşu yıldız sayısı 10'da tepe değere ulaşmaktadır. Bu çalışmada uzay aracında birbirlerinden 90^0 açı farkı ile uzaya bakan 2 ayrı yıldız izler tasarlanmıştır. Bu yıldız izlerinin görüş açısı (FOV) $20^0 \times 20^0$ seçilmiştir. Böylelikle hem büyük bir olasılıkla görüş açısı içinde 4'ten fazla yıldız bulunması hem de tanımlanmak istenip merkeze konumlandırılan yıldızdan 10^0 uzaklıkta bulunan tüm komşu yıldızları saptama olanağı sağlanmaktadır (Şekil-7).



Şekil 7: Merkez yıldız seçilen mesafede yer alan komşu yıldızların konumları.



Şekil 8: Yıldız izler kamera görüntüsü-Merkezde (a) Hipparcos 18543 (b) Hipparcos 55084

Kameradan alınan yıldız görüntüleri, görüntü işleme birimi tarafından analiz edilir Merkez yıldızı tanımlamak için, merkez yıldız ve komşu yıldız arasındaki açısal mesafeler hesaplanarak, daha önceden oluşturulan yıldız kataloğunda bu özelliklere uygun yıldızlar arasında en yüksek olasılığı veren yıldız seçilir. Şekil-8(a)'da merkezde konumlanan ve Hipparcos numarası bilinmeyen yıldızın 10^0 açısal mesafeden daha yakın 7 yıldız olduğu ve bu yıldızların, merkez yıldızına olan açısal uzaklıklarının tam sayıya yuvarlanmış olarak 84-134-135-172-186-191-192 olduğu hesaplanmıştır. Bu değerler yıldız izler sistemine tanımlandığında, daha önceden oluşturulan katalog araştırılarak merkezi yıldızın 100% olasılıkla 18543 Hipparcos numaralı yıldız olduğu belirlenir. Eğer bu 7 adet yıldızın açısal mesafe ölçümlerine $\pm$ birer piksel hata eklersek 83,135, 135, 171, 187, 190 ve 193 değerleri bulunur. Bu hata eklenmiş yeni değerler sisteme girildiğinde ise merkezi yıldızın yine 95.98% olasılıkla Hipparcos 18543 numaralı yıldız olduğu görülmektedir. Aynı işlemler Şekil-8(b)'de merkezde bulunan yıldızın uyarlandığında ise 9 komşu yıldız olduğu ve açısal uzaklıkların 89-99-145-149-182-191-203-213-250 olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu değerler yıldız izler sistemine tanımlandığında, merkezi yıldızın 100% olasılıkla Hipparcos 55084 numaralı yıldız olduğu belirlenir.

Eş zamanlı çalışan 2 adet yıldız izler kullanmanın bir avantajı bir yıldız izlerin arıza yapması durumunda diğer yıldız izlerin anında kullanıma sokulması olmaktadır. Diğer avantaj ise bazı yıldızların, görüş açısı (FOV) $20^0 \times 20^0$ olan yıldız izler tarafından yeteri sayıda komşu yıldız bulunmaması nedeniyle tanımlanma olanağı olmamasıdır. Toplam 2274 adet yıldızdan 66 adet yıldızın 4'ten az komşusu olduğu görülmektedir. Dolayısı ile 3% olasılıkla olsa bile merkezi yıldızı tanımlamak için yeteri kadar komşu yıldız bulunmayabilir. İkinci bir yıldız izler kullanıldığında bu oran 8.42×10^{-4} gibi düşük bir değere inecektir. Son olarak ta aynı anda 2 yıldız tanımlanabilecek ve hesaplama süresinde ekonomi sağlanabilecektir.

SONUÇ

Bu çalışmada ilk aşama olarak Hipparcos yıldız kataloğundan seçilen en parlak 2274 adet yıldız kullanılarak ekvatoryal yıldız kataloğu oluşturulmuştur. Takiben 2274 adet yıldız 10^0 açısal mesafe içinde kalan tüm komşu yıldızlar tespit edilerek ikinci bir katalog oluşturulmuştur. 2 adet yıldız izler eş zamanlı olarak kullanılarak en az 2 adet yıldızın tanımlanması için gereken yazılımlar Matlab ortamında geliştirilmiştir. Komşu yıldızların merkezi yıldızına olan açısal mesafelerinin hatalı olması durumunda yazılım test edilmiş ve doğru bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Bu çalışmada uydudan alınmış gerçek yıldız görüntülerine erişilemediğinden, yıldız kataloğundan alınan değerler ile oluşturulan yapay görüntüler kullanılmıştır. Yıldız görüntüleri 3×3 piksel içine alınmış ve merkezi piksele maksimum değer atanmıştır. Uydudan alınmış gerçek yıldız kümeleri görüntülerine

erişilmesi durumunda, görüntü işleme yazılımlarında küme tespit tekniklerinin kullanıldığı güncellemeler yapılacaktır.

Kaynaklar

- Aktug, M.Ş., 2015. *Art of Celestial Navigation*, Pirireis Üniversitesi Yayınevi, Tuzla-İstanbul.
- Cole, C.L., 2006. *Fast star pattern recognition using planar triangle*, J. of Guidance, Control and Dynamics, Cilt 29, Sayı 1, s.
- Gürdeniz, C., 2014, *Amatör Denizcilikte Acil Durum Seyri*, Kırmızı Kedi Yayınevi, Gümüşsuyu-İstanbul.
- Kolomenkin, M., Polak, S., Shimshoni, I., ve Lindenbaum, M., 2008. *A geometric voting algorithm for star trackers*, IEEE Trans. Aerosp. Electron. Sys., Cilt 44, Sayı 2, s.
- Lee, H., ve Bang, H., 2007. *Star pattern identification techniques by modified grid algorithm*, IEEE Trans. Aerosp. Electron. Sys., Cilt 43, Sayı 3, s.
- Liebe, C.C., 1995. *Star trackers for altitude determination*, IEEE Trans. Aerosp. Electron. Sys., Cilt 10, Sayı 6, s.10-16.
- Mortari, D., Junkins, J.L., ve Satman, M.A., 2001. *Lost-in-space pyramid algorithm for robust star pattern recognition*, Advances in the Astronautical Sciences, Guidance, and Control, Cilt 107, s.49-68.
- Na, M., Zheng, D., ve Jia, P., 2009. *Modified grid algorithm for noisy all-sky autonomous star identification*, IEEE Trans. Aerosp. Electron. Sys., Cilt 45, Sayı 2, s.516-522.
- Pham, M.D., Low, K.S., Shoushun, C., ve Xing, Y.T., 2012. *A Star Pattern Recognition Algorithm for Satellite Altitude Determination*, 2012 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications, Bandung, 2012, pp. 236-241.