



UAK 2022

TÜRKSAT 3A ve TÜRKSAT 4A Uydularının Eşzamanlı Astrometrik Gözlem Sonuçları

Seda Aydın
Gökhan Gökay
Naim Bağırın
Sacit Özdemir

08.09.2022

İçindekiler

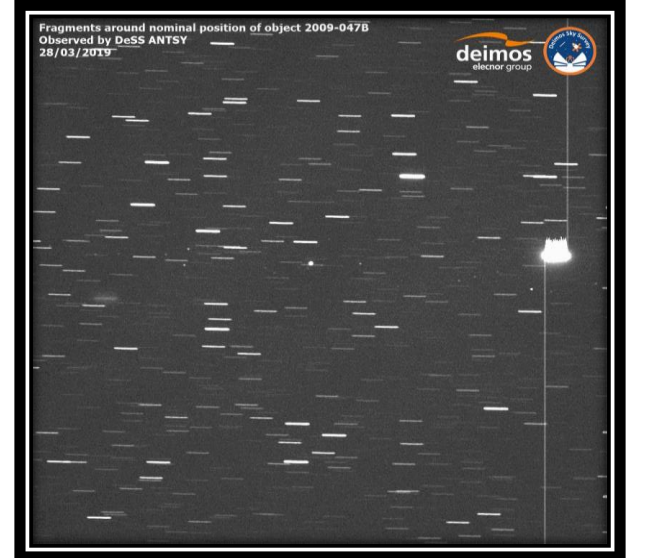


- Optik Sistemler – GEO gözlemi
- TÜRKSAT Uydularının Optik Sistemle Gözlemi
- Yörünge Tespiti ve İyileştirilmesi
- TLE-Gözlem Verisi Karşılaştırma
- Gözlem Verilerinden elde edilen yörünge sentezini TLE parametreleri ile kıyaslama
- Değerlendirme
- İlerleyen Aşamalarda Yapılacak Çalışmalar

Optik Sistemlerle Yapay Uydu Gözlemi - GEO



- Yapay uydu ve uzay çöpü gözlemlerinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.
- Bu cisimlerin gözlemi için aktif olarak **RADAR** (Radio Detecting And Ranging), **LIDAR** (Light Detection and Ranging) ve pasif yöntem olarak optik takip, anten ile dinleme kullanılan sistemlerden başlıcalarıdır.
- **GEO** (Geostationary Orbit) cisimleri için optik sistemlerle de gözlemler yapılabilmektedir.
- Gözlem yöntemi olarak, teleskobun takip modu açık veya kapalı modlarda gözlemler yapılabilir. Bu çalışmada teleskop takibi kapalı mod tercih edilmek suretiyle gözlemler yapılmıştır. Bu sayede uyduların / çöplerin SNR artırılması sağlanmıştır.
- Uydu ve / veya çöpler pasif olarak Güneş'ten gelen ışığın yansıması sonucunda görülebilmektedir. Optik gözlemler gece yapılabilmektedir. Gözlemler takip kapalı modda yapıldığı için yıldızlar çizgi olarak görülür.



TÜRKSAT Uydularının Optik Sistemle Gözlemi

- Astrometrik gözlemler iki ayrı yerleşkede gerçekleştirilmektedir.
 - TUG 1884 Gözlem Projesi : TUG (TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi) - T100, Antalya
 - TUG – TURKSAT işbirliği protokolü çerçevesinde: TÜRKSAT A.Ş. – T50, TÜRKSAT yerleşkesi, Ankara
- Gözlenen Gökçismi: TÜRKSAT 3A ve TÜRKSAT 4A
- Astrometri: Ankara Üniversitesi ve TÜRKSAT A.Ş.
- Yörünge analizleri: TÜBİTAK Uzay Enstitüsü



TURKSAT 50 cm teleskobu



TUG-T100 teleskobu

Yörünge Tespiti ve İyileştirilmesi

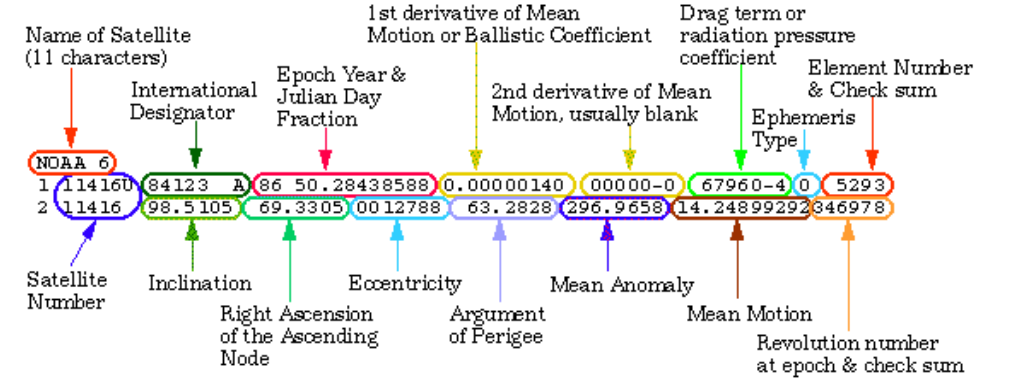
• Başlangıç Yörünge Tespiti (IOD)

- Gauss Metodu
- Double-R Metodu
- Laplace Metodu
- Gooding Metodu
- Gibss Metodu
- Lambert Metodu
- ★ • Seesat-Elfind

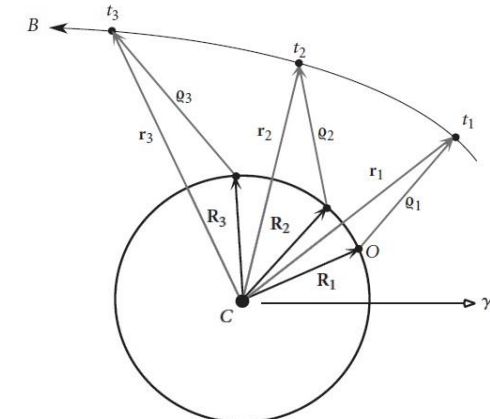
• Yörünge İyileştirme / Filtreleme

- ★ • En Küçük Kareler Yöntemi (LSQ)
- Kalman Filtresi

TLE (Two-Line Element Set)

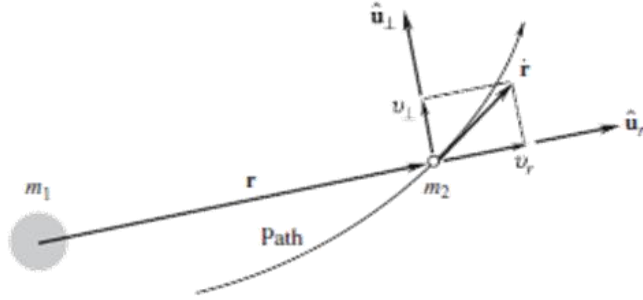


Uydu/Uzay Çöpü Yörünge Bilgileri Yayınlama Formatı



Açılardan Yörünge Tespiti (Curtis 2005)

Seesat-Elfind IOD Çözümü



- 2 veya 3 açısal ölçüm kullanarak Başlangıç Yörünge Tespiti (IOD) ile çözüm üretilebilmektedir.
- f ve g Lagrange katsayılarını kullanarak konum (r) ve hız (v) değerleri hesaplanır.
- Elfind metodunda r dairesel yörünge varsayımı bulunduğundan ölçümler arası açılardan diğer yöntemlere göre az etkilenmektedir.

$$f = 1 - \frac{1}{2}u_0\tau^2 + \frac{1}{2}u_0p_0\tau^3 + \frac{1}{24}u_0(u_0 - p_0^2 + 3q_0)\tau^4 + \dots$$

$$g = \tau - \frac{1}{6}u_0\tau^3 + \frac{1}{4}u_0p_0\tau^4 + \frac{1}{120}u_0(u_0 - 45p_0^2 + 9q_0)\tau^5 + \dots$$

$$u_0 = \frac{\mu}{r_0^3}$$

$$p_0 = \frac{1}{r_0^2}(\mathbf{r}_0 \cdot \mathbf{v}_0)$$

$$q_0 = \frac{1}{r_0^2}(\mathbf{v}_0 \cdot \mathbf{v}_0) - u_0$$

$$\mathbf{r} = f(\mathbf{r}_0, \mathbf{v}_0, t)\mathbf{r}_0 + g(\mathbf{r}_0, \mathbf{v}_0, t)\mathbf{v}_0$$

$$\tau = t - t_0$$

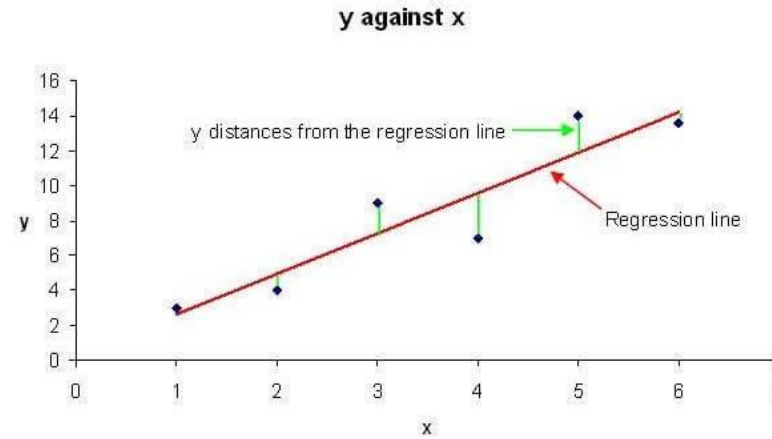
$$\mathbf{r} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(t - t_0)^n}{n!} [F_n \mathbf{r} + G_n \mathbf{v}]_{t=t_0}$$

$$\mathbf{r}^{(n)} = F_n \mathbf{r} + G_n \mathbf{v}$$

$$\mathbf{r} = \left(\sum_{n=0}^{\infty} \frac{\tau^n}{n!} F_n \right) \mathbf{r}_0 + \left(\sum_{n=0}^{\infty} \frac{\tau^n}{n!} G_n \right) \mathbf{v}_0$$

En Küçük Kareler Yöntemi (Least Square Method)

- Birbirine bağlı olarak değişen iki fiziksel büyüklük arasındaki matematiksel bağlantıyı, mümkün olduğunca gerçeğe uygun bir denklem olarak yazmak için kullanılan, standart bir regresyon yöntemidir.



$$y = a + bx$$

En uygun eğri formu

Hataların karelerinin toplamı

$$q = \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)]^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - a - bx_i]^2$$

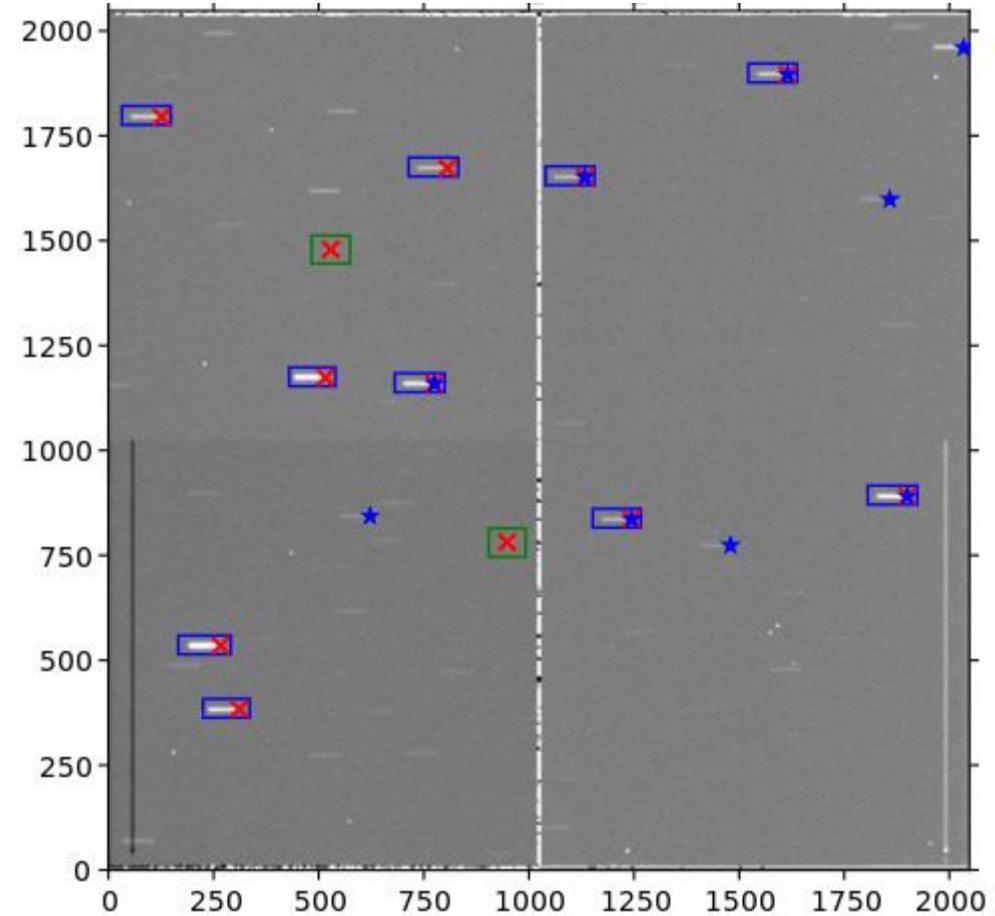
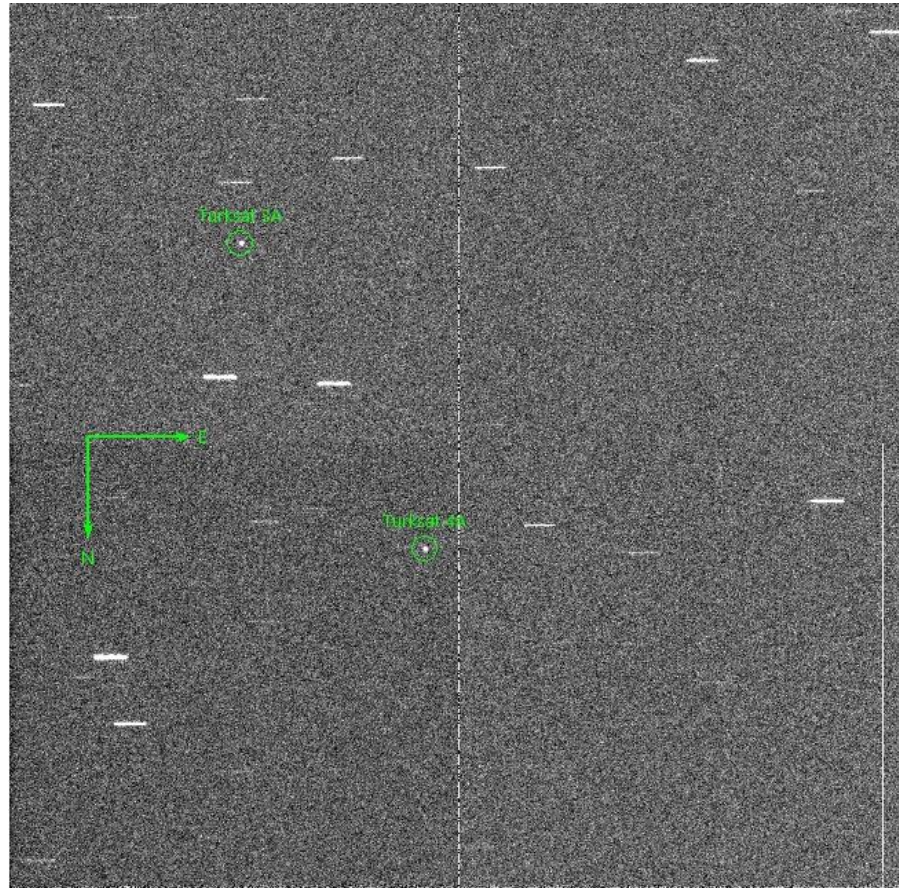
$$\frac{\partial q}{\partial a} = 0 \Rightarrow -2 \sum (y_i - a - bx_i) = 0$$

$$\frac{\partial q}{\partial b} = 0 \Rightarrow -2 \sum x_i (y_i - a - bx_i) = 0$$

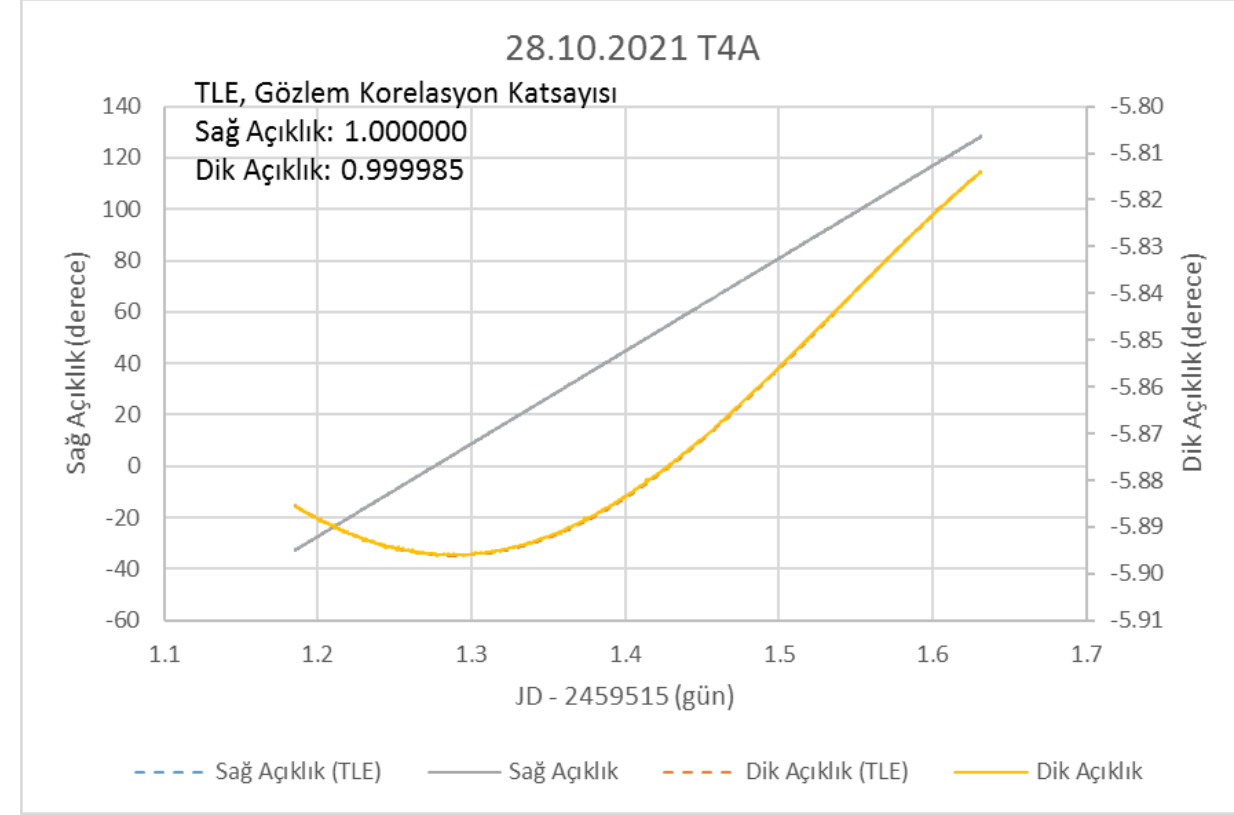
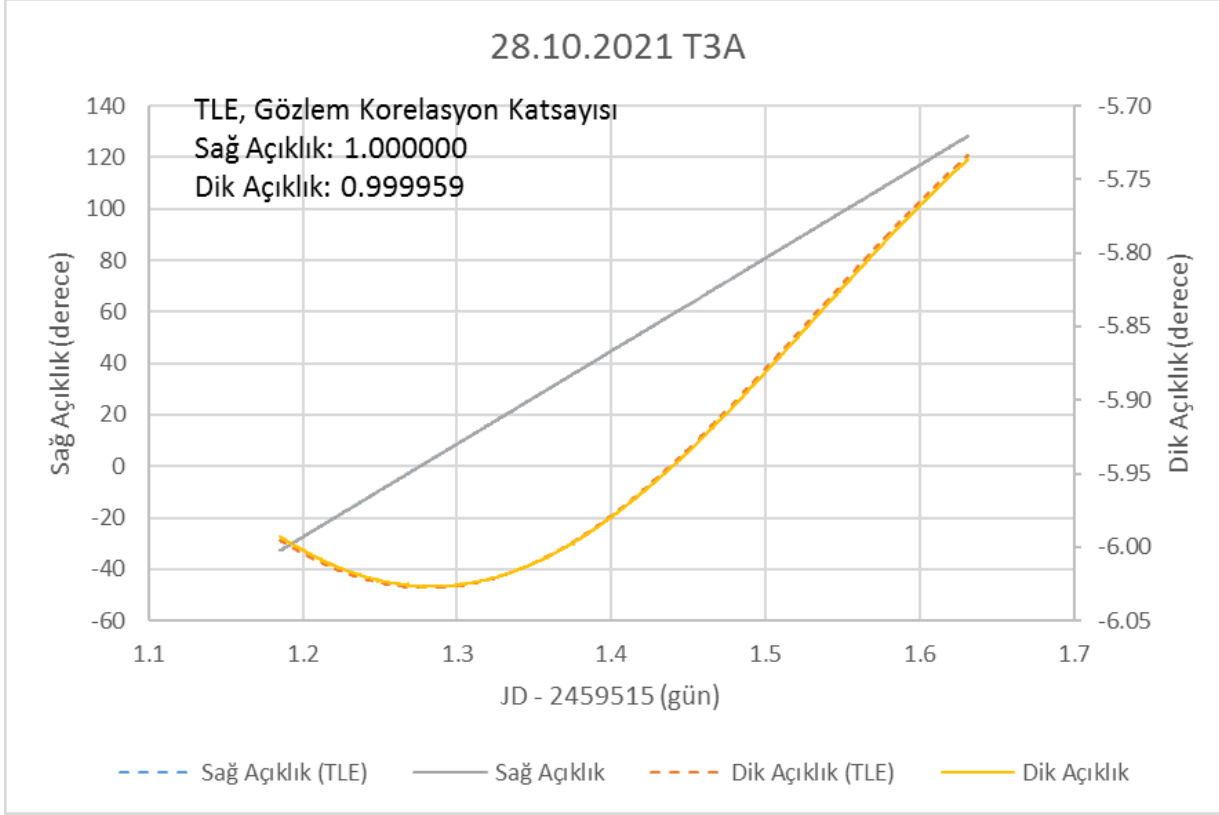
$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \end{Bmatrix}$$

- $n \{1, \dots, N\}$ olmak üzere $(x_n; y_n)$ veri çiftlerine en iyi uyan $y = a + bx$ olarak verilen doğruyu bulmayı hedeflemektedir.

T3A-T4A- Astrometri



Gözlemler ve TLE Verileri Karşılaştırma



TLE-Gözlem Verisi Ortalama Farkları

	Gözlem Tarihi	Gözlem Yeri	Uydu Adı	Gözlem Sayısı	Sağ Açıklık Fark Ort. (°)	Dik Açıklık Fark Ort.(°)
• T3A ve T4A uydularının yayınlanan TLE verileri, gözlem zamanlarına ilerletilerek, gözlem verilerinden çıkan açısal ölçümlerle karşılaştırma yapılmıştır.	26-27/10/2021	TÜRKSAT	T4A	5978	0.0020	0.0381
	26-27/10/2021	TÜRKSAT	T3A	5978	0.0048	0.0146
	28-29/10/2021	TÜRKSAT	T4A	4576	0.0737	0.0756
	28-29/10/2021	TÜRKSAT	T3A	4576	0.0835	0.1055
	24-25/12/2021	TÜRKSAT	T4A	5258	0.0275	0.0172
	24-25/12/2021	TÜRKSAT	T3A	5258	0.0053	0.0172
• Ortalama açısal (RaDec) fark yaklaşık 0.02 derece civarındadır.	27/10/2021	TUG	T4A	218	0.0148	0.0018
	27/10/2021	TUG	T3A	218	0.0149	0.0057
	28-29/10/2021	TUG	T4A	1952	0.0053	0.0018
	28-29/10/2021	TUG	T3A	1952	0.0042	0.0027
	24-25/12/2021	TUG	T4A	566	0.0388	0.0008
	24-25/12/2021	TUG	T3A	566	0.0060	0.0010

TLE-Gözlem Verisi Açık Farkları

Gözlem Tarihi:

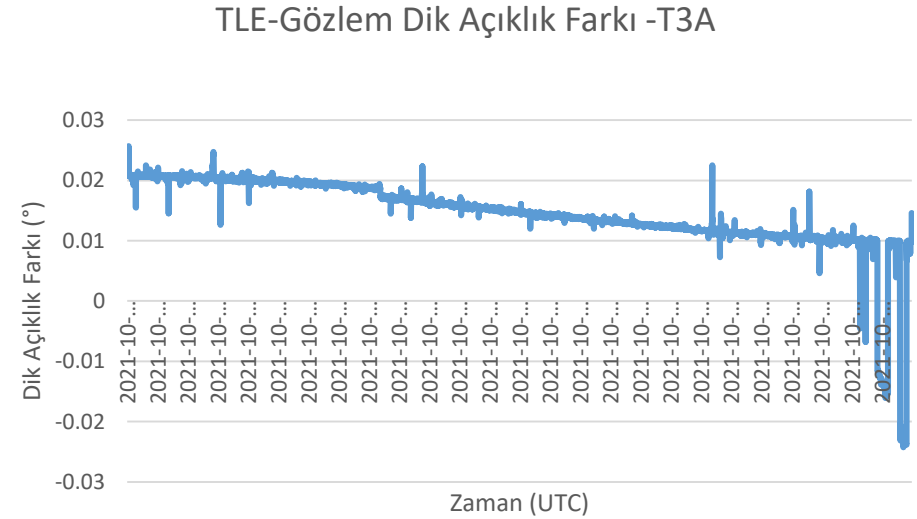
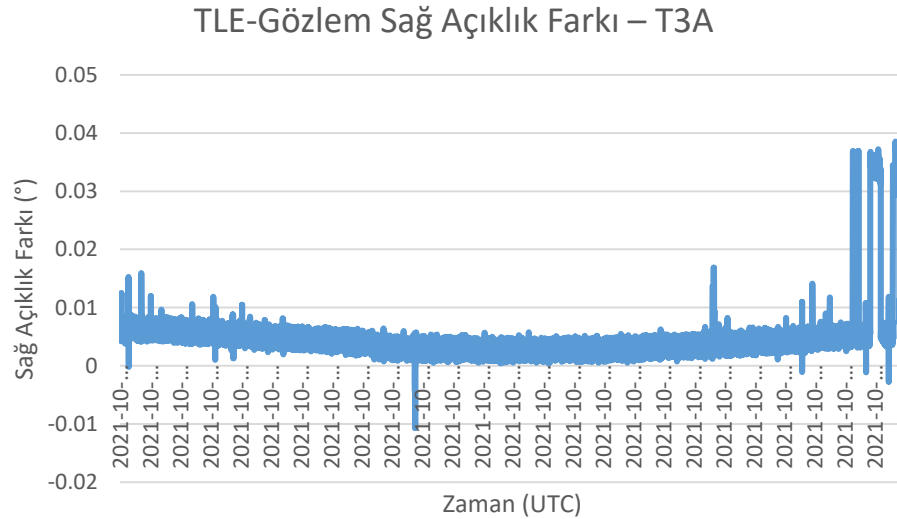
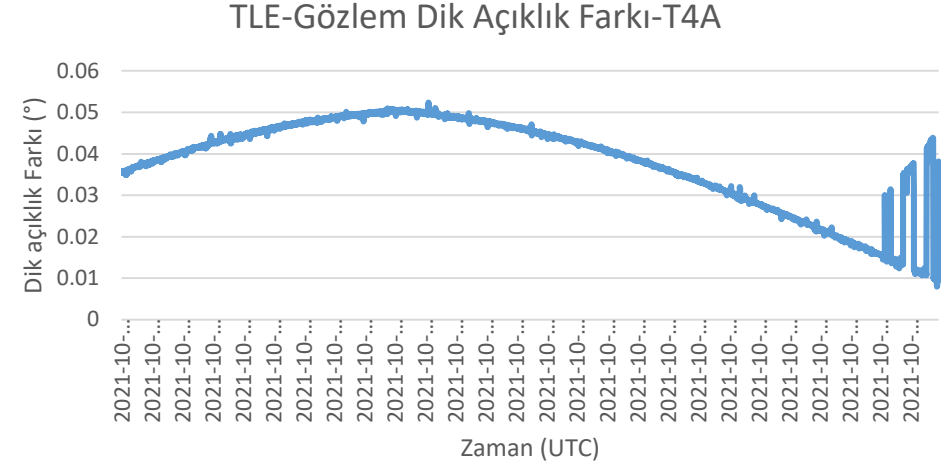
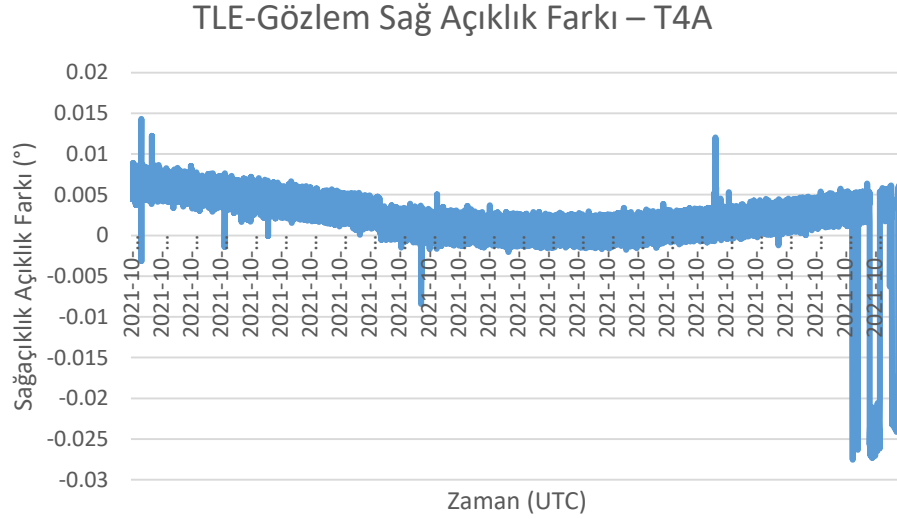
26-27/10/2021

Gözlem Yeri:

TÜRKSAT

Gözlenen Cisim:

T3A, T4A



TLE-Gözlem Verisi Açık Farkları

Gözlem Tarihi:

28-29/10/2021

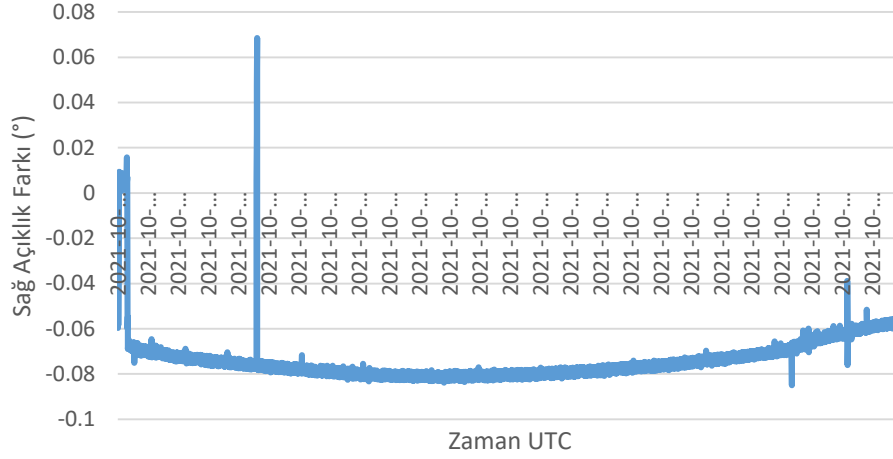
Gözlem Yeri:

TÜRKSAT

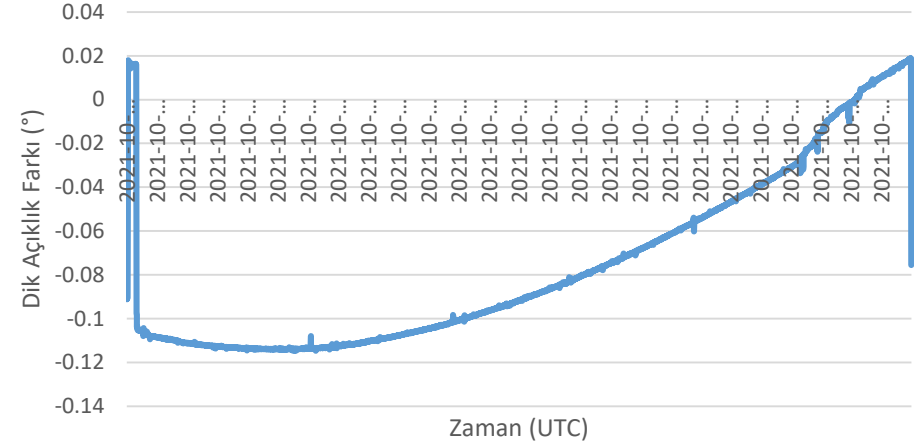
Gözlenen Cisim:

T3A, T4A

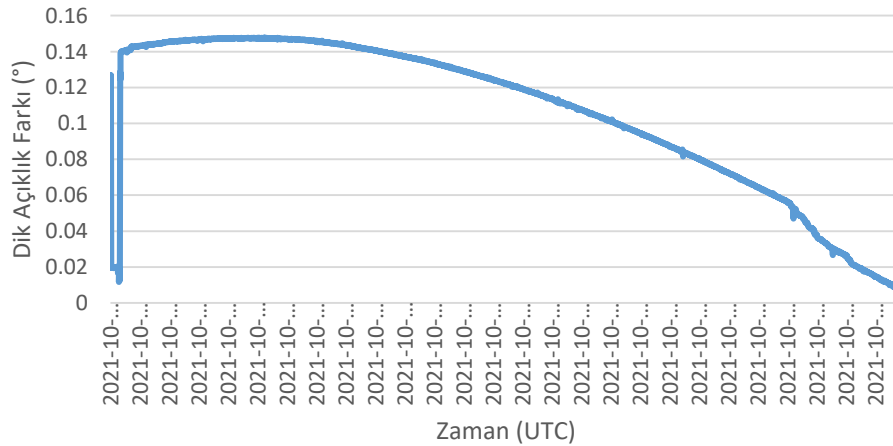
TLE-Gözlem Sağ Açıklık Farkı - T4A



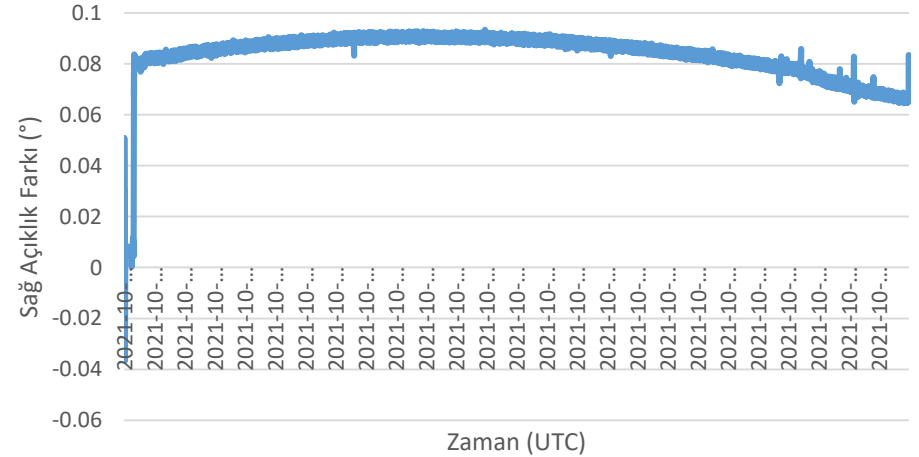
TLE-Gözlem Dik Açıklık Farkı - T4A



TLE-Gözlem Dik Açıklık Farkı - T3A



TLE-Gözlem Sağ Açıklık Farkı - T3A



TLE-Gözlem Verisi Açık Farkları

Gözlem Tarihi:

24-25/12/2021

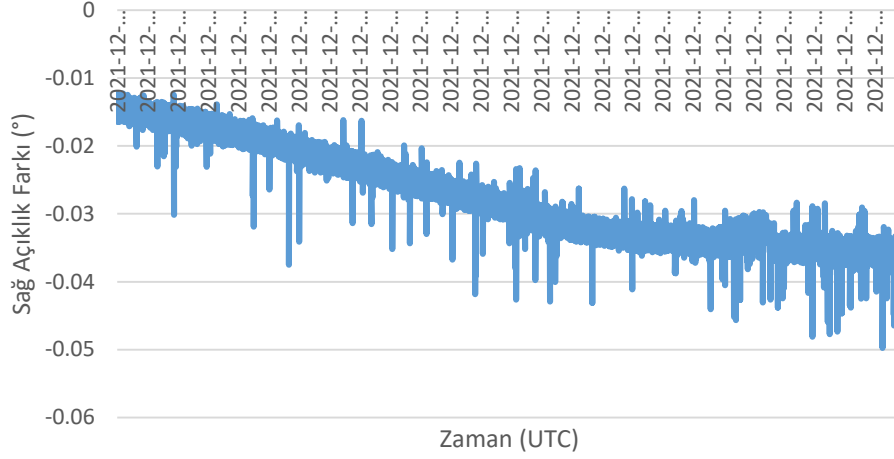
Gözlem Yeri:

TÜRKSAT

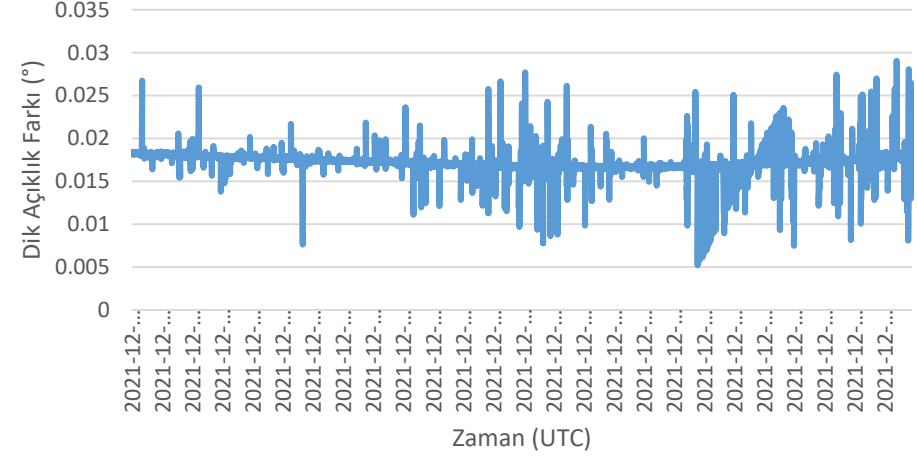
Gözlenen Cisim:

T3A, T4A

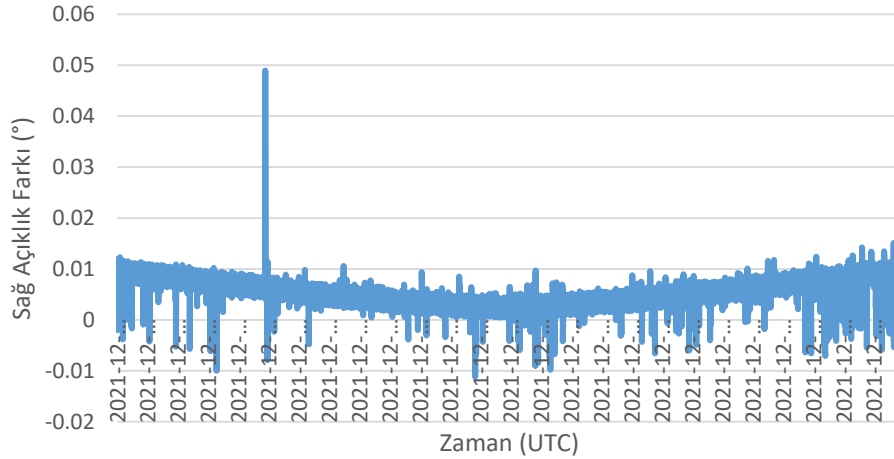
TLE-Gözlem Sağ Açıklık Farkı - T4A



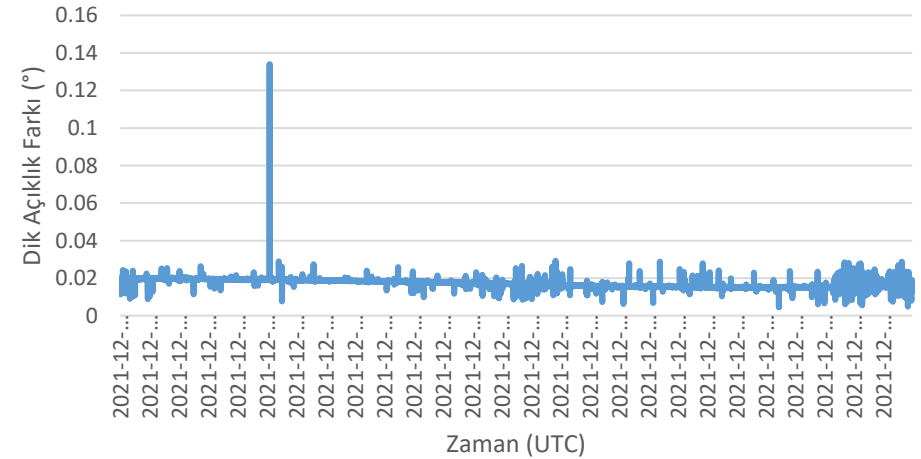
TLE-Gözlem Dik Açıklık Farkı - T4A



TLE-Gözlem Sağ Açıklık Farkı - T3A



TLE-Gözlem Dik Açıklık Farkı - T3A



TLE-Gözlem Verisi Açık Farkları

Gözlem Tarihi:

27/10/2021

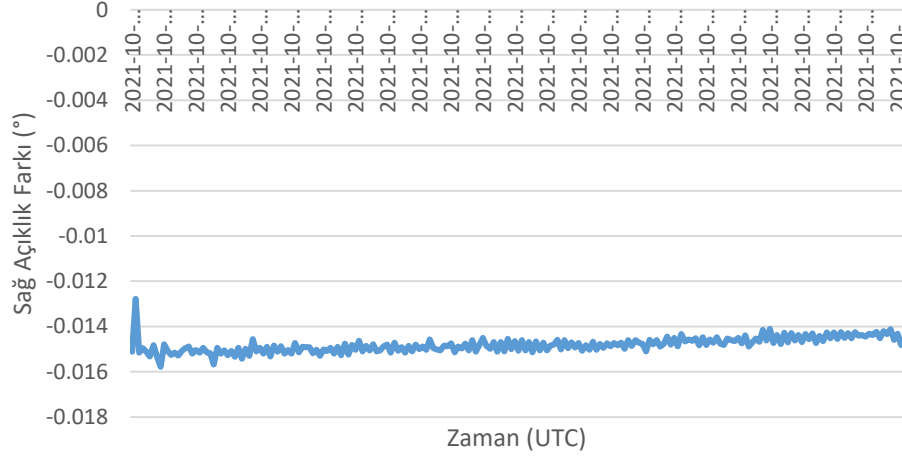
Gözlem Yeri:

TUG

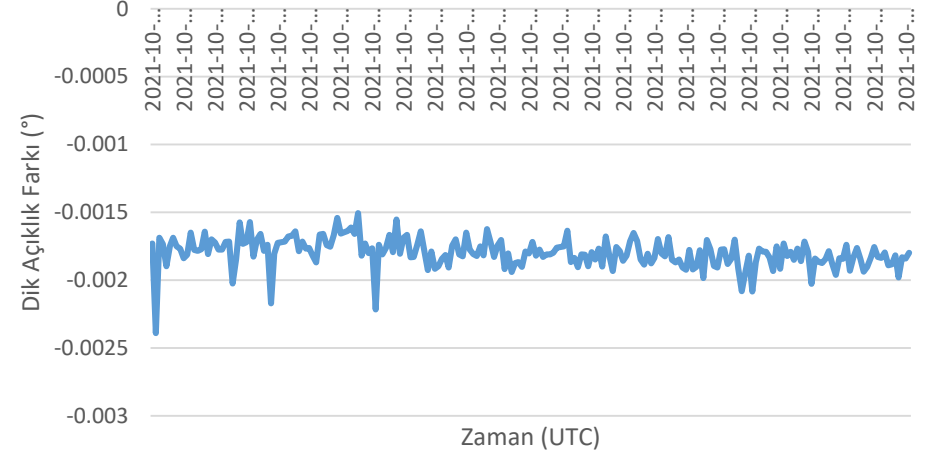
Gözlenen Cisim:

T3A, T4A

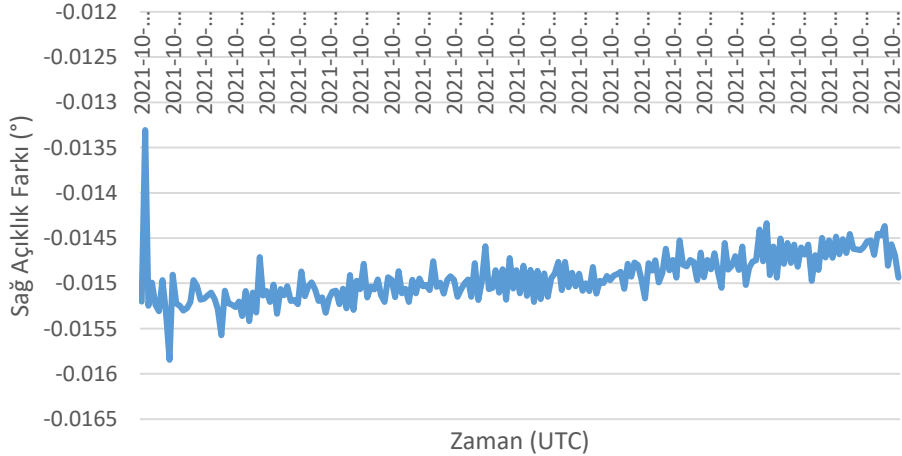
TLE-Gözlem Sağ Açıklık Farkı - T4A



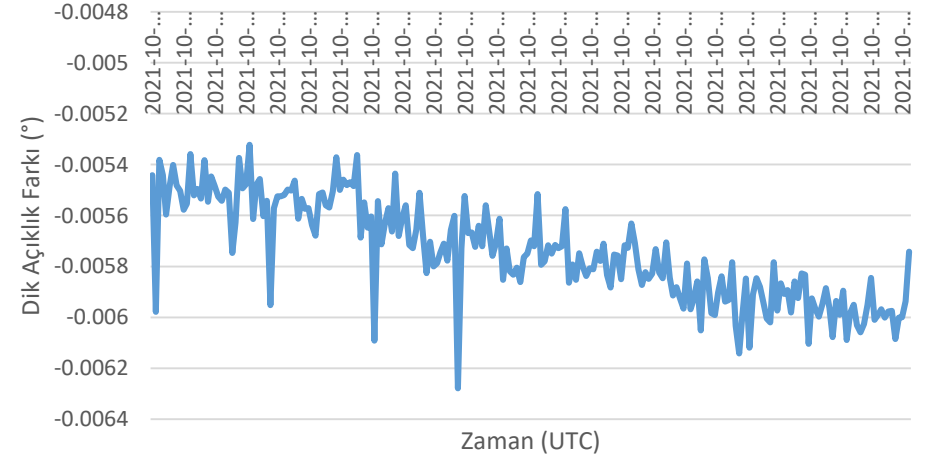
TLE-Gözlem Dik Açıklık Farkı - T4A



TLE-Gözlem Sağ Açıklık Farkı - T3A



TLE-Gözlem Dik Açıklık Farkı - T3A



TLE-Gözlem Verisi Açık Farkları

Gözlem Tarihi:

28-29/10/2021

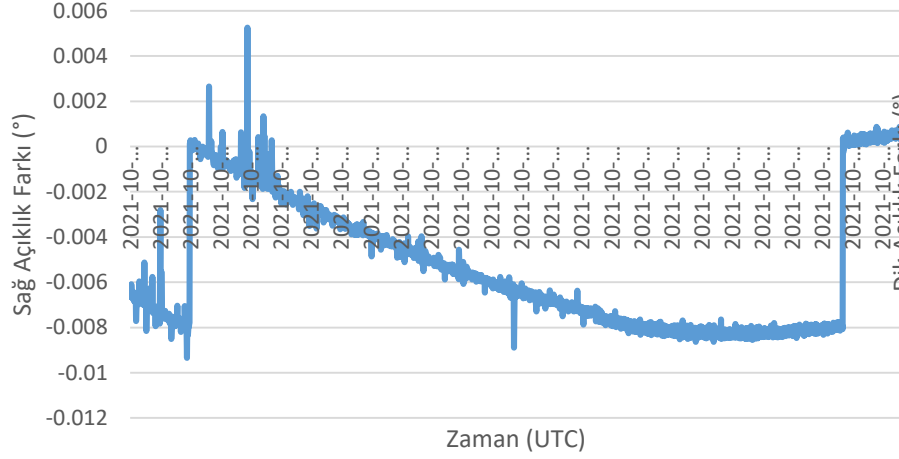
Gözlem Yeri:

TUG

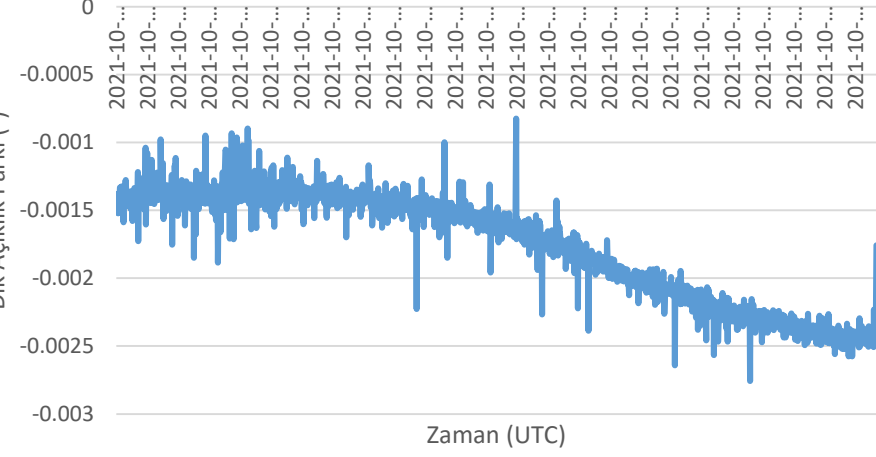
Gözlenen Cisim:

T3A, T4A

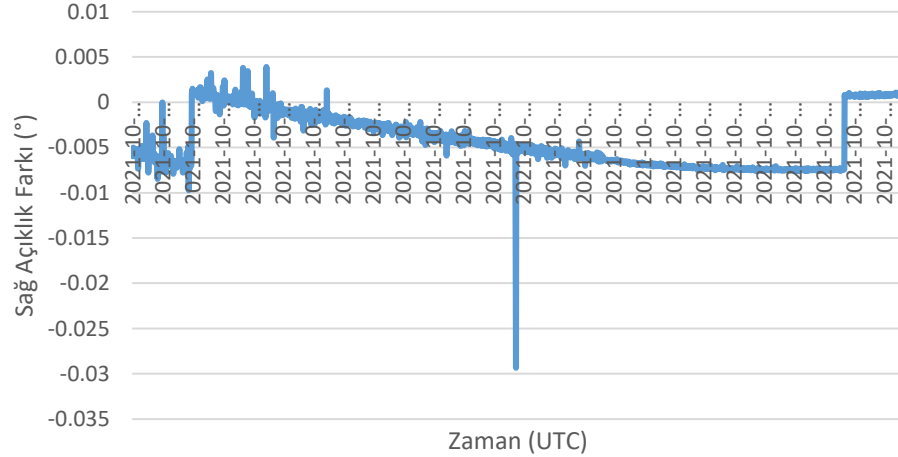
TLE-Gözlem Sağ Açıklık Farkı - T4A



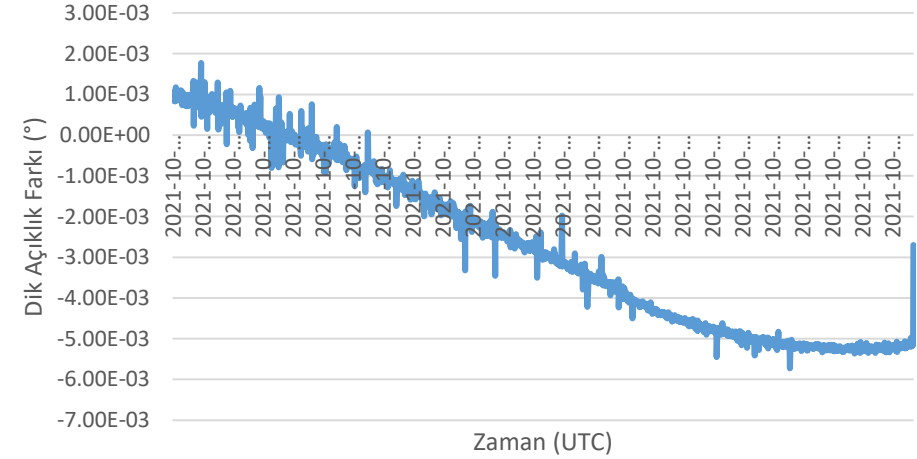
TLE-Gözlem Dik Açıklık Farkı - T4A



TLE-Gözlem Sağ Açıklık Farkı - T3A



TLE-Gözlem Dik Açıklık Farkı - T3A



TLE-Gözlem Verisi Açık Farkları

Gözlem Tarihi:

24-25/12/2021

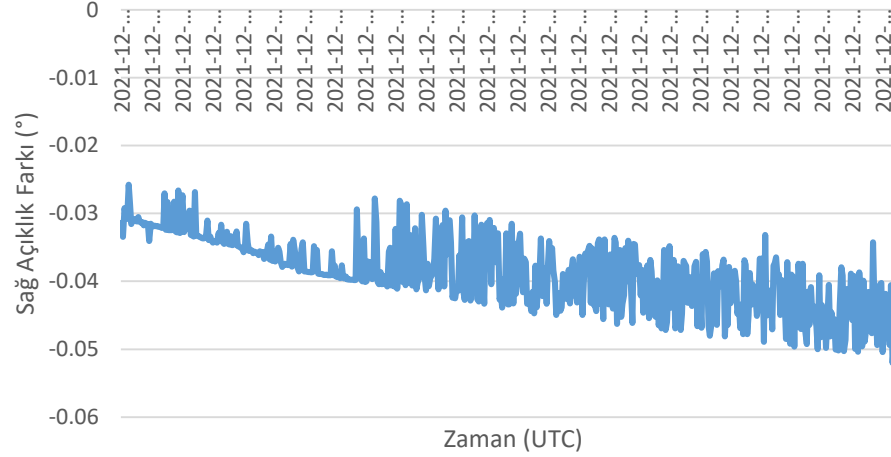
Gözlem Yeri:

TUG

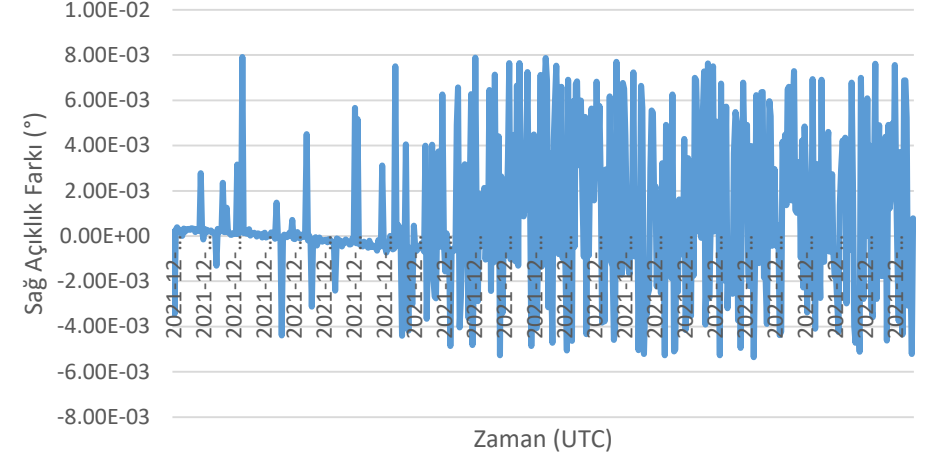
Gözlenen Cisim:

T3A, T4A

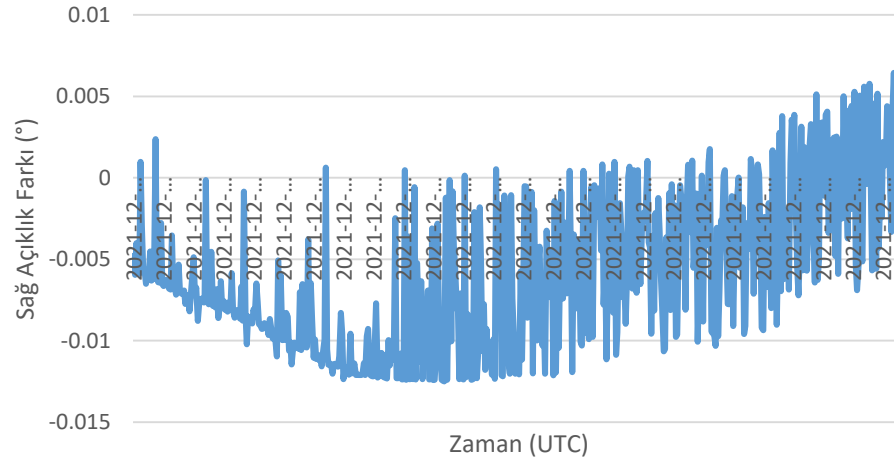
TLE-Gözlem Sağ Açıklık Farkı - T4A



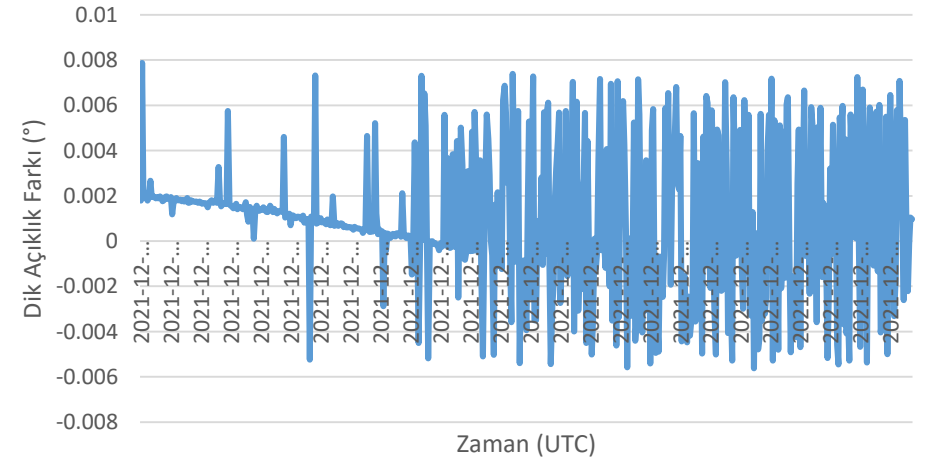
TLE-Gözlem Dik Açıklık Farkı - T4A



TLE-Gözlem Sağ Açıklık Farkı - T3A



TLE-Gözlem Dik Açıklık Farkı - T3A



Gözlem İstatistiği

Gözlem Tarihi	Gözlem Yeri	Uydu Adı	Gözlem Sayısı	Gözlem Gürültüsü Bulunamayan Gözlem Sayısı	Ortalama Gürültü Ra (arcsec)	Ortalama Gürültü Dec (arcsec)	LSQ Filtreye Giren Gözlem Sayısı*
26-27/10/2021	TÜRKSAT	T4A	5978	110	1.217	0.935	4672
26-27/10/2021	TÜRKSAT	T3A	5978	110	1.218	0.936	4681
28-29/10/2021	TÜRKSAT	T4A	4576	71	1.004	0.546	3737
28-29/10/2021	TÜRKSAT	T3A	4576	71	1.004	0.547	3736
24-25/12/2021	TÜRKSAT	T4A	5258	11	1.048	0.652	5249
24-25/12/2021	TÜRKSAT	T3A	5258	11	1.052	0.658	4582
27/10/2021	TUG	T4A	218	3	0.324	0.169	145
27/10/2021	TUG	T3A	218	3	0.324	0.168	152
28-29/10/2021	TUG	T4A	1952	34	0.381	0.174	1511
28-29/10/2021	TUG	T3A	1952	34	0.381	0.174	1510
24-25/12/2021	TUG	T4A	566	453	3.203	0.375	65
24-25/12/2021	TUG	T3A	566	453	3.142	0.368	67

Yörünge Analiz Sonuçları

Gözlem Yeri	Uydu Adı	Veri Çözümü	Tarih (UTC)	X(km)	Y(km)	Z(km)	Vx (km/s)	Vy (km/s)	Vz (km/s)	Konum Farkı (km)	Hız Farkı (km/s)	SMA* (km)	SMA Fark (km)	Enlem (°)	Enlem Fark (°)	Boylam (°)	Boylam Fark (°)
TÜRKSAT	T4A	TLE	2021-10-26T06:14:42.620928017	27965.789	-31548.334	-23.142	2.302	2.039	-0.002			42165.123		0.047		42.047	
		Filtresiz	2021-10-26T15:38:13	27983.630	-31599.451	-5.004	2.300	2.041	-0.001	57.099	0.003	42259.090	-93.967	0.072	-0.025	42.019	0.028
		Filtreli	2021-10-26T15:38:13	27965.789	-31548.334	-23.142	2.302	2.039	-0.002	21.651	0.002	42187.165	-22.042	0.051	-0.003	42.060	-0.013
TÜRKSAT	T3A	TLE	2021-10-26T06:14:42.620928017	27972.079	-31560.837	-83.232	2.301	2.038	-0.007			42166.056		-0.034		42.021	
		Filtresiz	2021-10-26T15:38:18	27988.860	-31613.334	-50.725	2.299	2.041	-0.006	63.987	0.004	42261.445	-95.389	0.010	-0.044	41.991	0.030
		Filtreli	2021-10-26T15:38:18	27981.092	-31561.706	-76.923	2.301	2.039	-0.006	11.036	0.001	42169.895	-3.840	-0.026	-0.009	42.030	-0.008
TÜRKSAT	T4A	TLE	2021-10-27T06:22:42.883104093	34943.188	-23594.615	-34.581	1.722	2.547	-0.002			42164.841		0.052		42.071	
		Filtresiz	2021-10-28T16:27:46	35353.188	-23895.533	-63.641	1.682	2.573	-0.007	509.407	0.047	43171.570	-1006.729	0.013	0.039	42.044	0.027
		Filtreli	2021-10-28T16:27:46	34991.863	-23644.584	-100.512	1.717	2.548	-0.005	95.985	0.005	42238.644	-73.804	-0.038	0.089	42.052	0.019
TÜRKSAT	T3A	TLE	2021-10-28T20:30:57.351744070	34927.918	-23637.352	-107.114	1.724	2.545	-0.006			42165.839		-0.047		42.011	
		Filtresiz	2021-10-28T16:27:46	34935.482	-23650.987	-12.704	1.722	2.549	-0.002	95.689	0.006	42257.865	-92.026	0.081	-0.128	42.002	0.010
		Filtreli	2021-10-28T16:27:46	34905.254	-23586.909	-30.517	1.725	2.546	-0.001	94.474	0.005	42118.329	47.510	0.057	-0.104	42.051	-0.039
TÜRKSAT	T4A	TLE	2021-12-24T02:59:03.458976026	42059.016	3043.882	-42.947	-0.220	3.066	0.002			42166.532		0.062		42.075	
		Filtresiz	2021-12-24T15:15:53.999424004	42116.542	3048.825	-38.755	-0.226	3.066	0.003	57.889	0.006	42275.754	-109.223	0.068	-0.006	42.076	-0.001
		Filtreli	2021-12-24T15:15:53.999424004	42092.122	3064.469	-59.916	-0.223	3.065	0.008	42.518	0.007	42190.965	-24.433	0.039	0.023	42.099	-0.025
TÜRKSAT	T3A	TLE	2021-12-24T01:11:42.444383909	42058.264	2999.894	-139.234	-0.218	3.067	0.002			42165.859		-0.069		42.015	
		Filtresiz	2021-12-24T15:15:53.999424004	42086.844	3003.209	-132.239	-0.221	3.067	0.003	29.610	0.003	42233.830	-67.971	-0.059	-0.010	42.017	-0.002
		Filtreli	2021-12-24T15:15:53.999424004	42068.475	3011.471	-140.770	-0.219	3.066	0.003	15.513	0.002	42173.874	-8.015	-0.071	0.002	42.030	-0.015
TUG	T4A	TLE	2021-10-26T06:14:42.620928017	889.795	42169.906	-5.406	-3.073	0.064	0.003			42165.073		-0.004		41.972	
		Filtresiz	2021-10-27T00:45:57.718570	926.623	42119.404	-5.989	-3.069	0.067	0.002	62.507	0.005	41963.393	201.680	-0.005	0.001	41.920	0.052
		Filtreli	2021-10-27T00:45:57.718570	899.753	42163.872	-5.605	-3.073	0.065	0.003	11.646	0.001	42142.469	22.603	-0.004	0.000	41.958	0.014
TUG	T3A	TLE	2021-10-26T06:14:42.620928017	913.486	42158.000	-4.164	-3.074	0.065	0.009			42166.005		-0.002		41.939	
		Filtresiz	2021-10-27T00:45:57.718570	948.927	42175.676	-19.036	-3.075	0.068	0.008	42.305	0.003	42240.555	-74.550	-0.022	0.020	41.892	0.048
		Filtreli	2021-10-27T00:45:57.718570	923.508	42150.526	-6.644	-3.073	0.066	0.009	12.746	0.001	42137.933	28.073	-0.005	0.003	41.926	0.014
TUG	T4A	TLE	2021-10-28T20:30:57.351744070	34811.882	-23787.310	-34.185	1.736	2.538	-0.002			42164.882		0.052		42.070	
		Filtresiz	2021-10-28T16:26:30.419240	34788.889	-23808.028	-20.609	1.738	2.536	-0.002	33.797	0.003	42152.288	12.594	0.070	-0.018	42.029	0.041
		Filtreli	2021-10-28T16:26:30.419240	34803.847	-23786.526	-34.540	1.737	2.537	-0.002	8.081	0.001	42154.691	10.191	0.051	0.000	42.065	0.005
TUG	T3A	TLE	2021-10-28T20:30:57.351744070	34797.125	-23829.366	-106.689	1.738	2.536	-0.006			42165.839		-0.047		42.012	
		Filtresiz	2021-10-28T16:26:30.419240	34774.649	-23850.263	-88.484	1.740	2.534	-0.006	35.683	0.003	42154.156	11.684	-0.022	-0.025	41.971	0.041
		Filtreli	2021-10-28T16:26:30.419240	34789.171	-23828.592	-106.083	1.738	2.535	-0.006	8.015	0.001	42155.782	10.058	-0.046	-0.001	42.006	0.005
TUG	T4A	TLE	2021-12-24T02:59:03.458976026	36580.146	20997.339	-29.889	-1.529	2.666	0.003			42166.522		0.065		42.063	
		Filtresiz	2021-12-24T16:58:31.918367981	36579.567	20990.489	-25.663	-1.528	2.665	0.004	8.070	0.002	42102.115	64.407	0.070	-0.006	42.056	0.008
		Filtreli	2021-12-24T16:58:31.918367981	36572.291	20986.992	-26.165	-1.527	2.666	0.003	13.514	0.002	42108.250	58.272	0.070	-0.005	42.056	0.007
TUG	T3A	TLE	2021-12-24T01:11:42.444383909	36592.519	20959.843	-114.724	-1.527	2.668	0.006			42165.849		-0.051		42.011	
		Filtresiz	2021-12-24T16:58:31.918367981	36593.424	20955.425	-108.034	-1.526	2.668	0.007	8.068	0.001	42153.913	11.936	-0.042	-0.009	42.005	0.006
		Filtreli	2021-12-24T16:58:31.918367981	36626.350	20979.557	-116.911	-1.530	2.666	0.006	39.216	0.004	42239.154	-73.304	-0.053	0.003	42.011	0.000

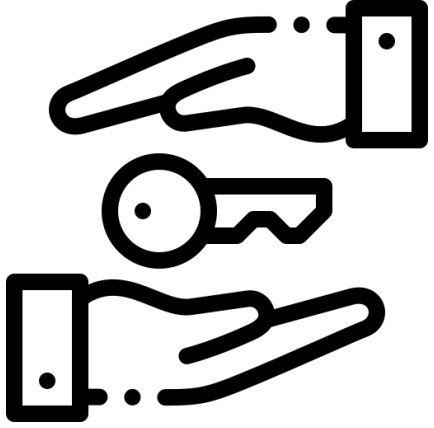
*SMA: Semi Major Axis

Değerlendirme



- TLE ile gözlenen açısal ölçümler, oldukça tutarlıdır.
- T3A ve T4A uyduları için hiç bilgisi olmadığı varsayılarak IOD (Initial Orbit Determination) uygulanmıştır.
- 3 açı ölçümünden elde edilen sonuçlara, gözlem hatası ortalamasının altındaki ölçümlerle yörünge iyileştirilmesi (LSQ yöntemiyle) yapılmıştır.
- Yörünge analiz sonuçlarından, TUG'da yapılan 24 Aralık'21 gözlemleri hariç, yörünge iyileştirmelerinin iyi sonuç verdiği görülmüştür.
- TUG'da 24 Aralık '21 tarihinde yapılan gözlemlerde, hava koşullarından dolayı astrometrik hatanın ölçülememesi nedeniyle yörünge iyileştirmesi iyi sonuç vermemiştir.

İlerleyen Aşamalarda Yapılacak Çalışmalar



- Aynı gözlem gününe ait TUG ve TURKSAT eşzamanlı verileri kullanarak yörünge analizi
- Optik ve anten verilerini birlikte kullanarak yörünge analizi
- TLE, ortalama yörünge parametreleri içerdiğinden bilinmeyen hata oranı bulunmaktadır. TURKSAT, antenlerden alınan range verilerini referans alarak, gözlem verileri ve TLE ile karşılaştırma

Referanslar

- Seesat – Elfind Yöntemi: Erişim Tarihi: 02.09.2022

<http://sat.belastro.net/satelliteorbitdetermination.com/>

- TLE Verilerini Alma: Erişim Tarihi: 31.08.2022

<https://www.space-track.org/auth/login>



TEŞEKKÜR EDERİZ..