

Yer’e Yakın Yörünge Uyduları ve BİLSAT

Ayşe İnalöz¹, Prof. Dr. Halil Kırbıyık², Prof. Dr. Murat Aşkar³

¹ Telekomünikasyon Kurumu, Elektronik İmza Çalışma Grubu, Yeşil İrmak Sok. No:16- Demirtepe- Ankara
ainaloz@tk.gov.tr

² Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü- Ankara
kirbiyik@newton.physics.metu.edu.tr

³ Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Özet: Türkiye, TÜBİTAK-BİLTEN sorumluluğunda, “Surrey Uydu Teknoloji Şirketi (İngiltere)” ile işbirliği yaparak 129 kg ağırlığında bir uyduyu Yer’e yakın bir yörüngeye (686 km) oturtmuştur. Bu çalışma, sözkonusu BİLSAT uydusunun fırlatılmasından önce ele alınmış ve tamamlanmıştır. Yer’e Yakın Yörüngeye sahip uydular ile ilgili bazı yörünge parametre hesaplamaları yapılmıştır. BİLSAT la ilişkilendirdiğimiz için parametre hesaplamalarında, uydunun Türkiye’yi ne kadar kapsayacağı ön planda tutulmuştur. Hesaplamalarda STK 4.1.b yazılımı kullanıldı. İlk olarak, Türkiye’yi tam kapsamı için uydu yörünge düzlemiyle ekvator düzlemi arasındaki açının (eğim açısı) ne olması gerektiği veya hangi eğim açısında maksimum kapsamı temin edebileceğimiz araştırıldı. Problemi kolaylaştırmak amacıyla dairesel yörünge kabul edildi ve 20 ile 90 derece arasındaki eğim açıları tarandı. Bulunan sonuç; uydunun 52 derecelik eğim açısında en çok kapsadığı olmuştur. 52 derecede Türkiye’nin % 4.8 ini kapsamakta ve bir gündeki kapsama süresi 69.2 dakikayı bulmaktadır. Görüldüğü gibi tek bir uydu ile ilgili coğrafyanın çok az bir kısmı kapsamaktadır. Bu nedenle çoklu uydu sistemi hesapları da yapıldı. Çoklu sistem hesaplamalarında araştırılan şey, Türkiye coğrafyasının tümünü kaç uydu ile görebileceğimizdir. Bu tür çoklu sistemlere “Walker Delta Takımı” adı verilmektedir. Elde edilen sonuca göre Türkiye coğrafyasının tümü, 6 düzlem-5 uydu takımıyla görülebilmektedir (eğim açısı 52 derece olmak kaydıyla) Diğer yandan, Yer’e yakın yörünge aralığında kalmak üzere, yörünge’nin dünyaya uzaklığının kapsamaya etkisi de incelendi. Hesaplamalar sadece bir durum için yapıldı ve 3 düzlem- 3 uydu takımı alındı. Elde edilen sonuca göre, 650 km ile 1500 km arasında kapsama yüzdesi % 30 dan % 60 lara çıkmaktadır. Yörünge yükseldikçe kapsama alanı büyümektedir.

Anahtar Kelimeler: Yer’e Yakın Yörünge, Yörünge Benzetimi, Kapsama Alanı, Uydu Erişimi, Walker Delta Uydu Takımı

Abstract: Turkey was launched a Low Earth Orbit Satellite, Bilsat, having 129 kg mass and 686 km altitude with cooperation Surrey Satellite Technology Company. This study was completed before launch of Bilsat. Some orbital calculations were made for the low earth orbit satellites. In this orbital calculations complete coverage intervals for Turkey was considered briefly. STK 4.1.b software was used for these calculations. Firstly, suitable angles between satellite orbit plane and equator plane, inclination angle, were determined to cover all over Turkey. In order to make easier the case circular orbit was chosen and inclination angles were scanned between 20⁰ to 90⁰. In conclusion, it was found that satellite covers maksimum at 52⁰ inclination angle. Satellite covers Turkey 4.8 % during a day and coverage duration during a day is 69.2 minutes. As it can be seen by this result, this geographic region’s coverage is very low during a day with a satellite. Because of this reason walker delta constellation are also used in these simulations. Investigations regarding this Walker Delta constellations were mainly about how many satellites require to cover Turkey during a day. In conclusion, Turkey can be covered by a Walker Delta Constellation consisting of 6 planes-5 satellites with 52⁰ inclination angle. On the other hand, at low earth orbit, altitude’s effect on coverage also was searched. Calculations were made for a Walker Delta Constellation consisting of 3 planes-3 satellites. In conclusion at altitudes chosen between 650-1500 km, coverage increases 30% to 60%.

Key Words: Low Earth Orbit, Orbit Simulation, Coverage Area, Satellite Access, Walker Delta Constellation

1.Giriş :

Yer’e yakın yörünge uyduları (LEO), dairesel ya da eliptik yörüngelerde yer almakta ve yerden 500-1500 km yükseklikte bulunmaktadır. Küresel kapsama çok sayıda uydu ile sağlanabilmektedir. Bu çalışmada “Surrey Uydu Teknoloji Şirketi (İngiltere)” ve TÜBİTAK-BİLTEN işbirliğiyle

Yer’e yakın bir yörüngeye (650 km) oturtulan BİLSAT uydusunun fırlatılmasından önce ele alınmış ve tamamlanmıştır. Uydu ile ilgili bazı yörünge parametre hesaplamaları yapılmıştır.

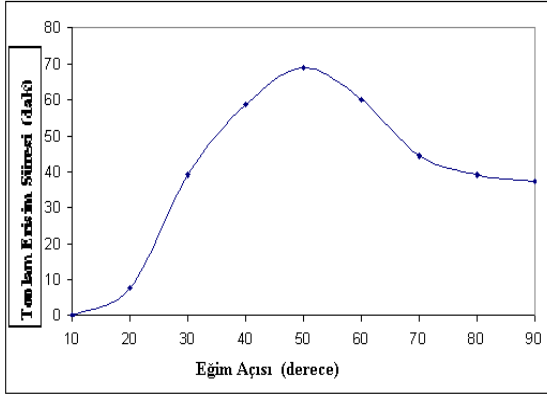
Simülasyonlar 4 adımda gerçekleştirilmiştir.

1. İlk olarak bir LEO uydusu kullanılarak Türkiye için tam kapsama süreleri belirlenmiştir. LEO uydusunun parametreleri aşağıdaki gibi seçilmiştir.

Bildiri tam metni için : Ayşe İNALÖZ
e-mektup: ainaloz@tk.gov.tr

Yörünge : Dairesel
 Yükseklik : 650 km
 Eğim Açıları : 20⁰, 30⁰, 35⁰, 40⁰, 45⁰, 50⁰, 52⁰,
 54⁰, 56⁰, 58⁰, 60⁰, 65⁰,
 70⁰, 80⁰, 90⁰
 Kütle : 100 kg

Tek uydunun 52 derecelik eğim açısında en iyi kapsama süresini verdiği tespit edilmiş olup söz konusu uydunun bir günlük kapsama süresi 69.2 dakikayı bulmaktadır. Sonuçta Türkiye'yi kapsama süresi % 4.8'dir. Söz konusu simülasyonların sonuçları Tablo 1 ve Grafik 1'de verilmiştir.



Grafik 1 Eğim açısıyla toplam erişim süresinin değişimi

2. İkinci olarak; ilk bölümde görüldüğü gibi tek uydunun bir günlük kapsama süresi için ilgili coğrafya çok az bir süre kapsanmaktadır. Bu nedenle çoklu uydunun sistemi hesapları da yapılmıştır. 2-6 arasında değişen N sayısı için N Düzlem-N Uydudan oluşan Walker-Delta Uydunun takımları oluşturulmuştur. Eğim açıları 20⁰-90⁰ arasında değişen her uydunun takımı için bir günlük tam kapsama süreleri, geçiş sayısı ve kapsama süresi belirlenmiştir. Tam sonuçların yer aldığı çizelge ve grafikler Ek-1'de yer almakta olup oluşturulan tüm senaryolar içerisindeki en fazla kapsama yüzdesini veren simülasyon sonuçları Tablo 2 'de gösterilmiştir.

3. Üçüncü olarak 1-6 arasında değişen N ve S'ye sahip N Düzlem S Uydudan oluşan, Walker-Delta Uydunun takımları oluşturulmuştur. Eğim açıları 20⁰-80⁰ arasında değişen her uydunun takımı için bir günlük tam kapsama süreleri, geçiş sayısı ve kapsama süresi belirlenmiştir.

Tablo 1 650 km yükseklikteki 10⁰ - 90⁰ değişen eğim açılarına sahip bir LEO uydusunun simülasyon sonuçları

Eğim Açısı (derece)	Toplam kapsama süresi (dakika)	Toplam kapsama süresi (%)
10	0.0	0.0
20	7.7	0.5
30	39.2	2.7
35	47.7	3.3
40	58.7	4.1
45	62.8	4.4
50	68.9	4.8
52	69.2	4.8
54	68.5	4.7
56	66.8	4.6
58	64.1	4.4
60	60.1	4.2
70	44.4	3.1
80	39.2	2.7
90	37.2	2.6

Tablo 2 N Düzlem-N Uydudan oluşan Walker-Delta Uydunun takımlarının tüm senaryolar içerisindeki en fazla kapsama yüzdesini veren simülasyon sonuçları

Walker Delta Uydunun Takımı (N Düzlem - N Uydunun)	Yörüngesel Eğim Açısı	Toplam Kapsama Süresi (Dakika)	Toplam Kapsama Yüzdesi (%)
2P-2S	52 ⁰	264.5	18.4
3P-3S	52 ⁰	439.9	30.5
4P-4S	70 ⁰	660.7	45.9
5P-5S	60 ⁰	934.0	64.9
6S-6S	60 ⁰	1434.6	99.6

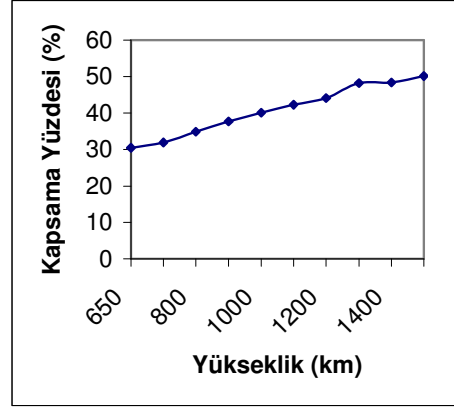
4. Dördüncü olarak 650-1500 km arasında değişen yükseklikteki 3 Düzlem- 3 Uydudan oluşan, 52⁰ eğimdeki Walker Delta Uydunun Takımı simülasyonda kullanılmış ve Türkiye için Tam Kapsama süreleri Tablo 4'te, kapsama yüzdesinin yükseklikle değişimi, Grafik 2'de verilmiştir.

Tablo 3 1-6 arasında değişen N ve S'ye sahip ve eğim açıları 20⁰-80⁰ arasında değişen N Düzlem S Uydu'dan oluşan, Walker-Delta Uydu takımlarının Türkiye'yi günlük kapsama sürelerinin yüzdeleri

Uydu Sayısı (s)	Düzlem Sayısı (p)						Eğim Açısı (derece)
	1p (%)	2p (%)	3p (%)	4p (%)	5p (%)	6p (%)	
1s	0.5	0.8	1.6	1.9	2.9	3.1	20
	4.8	7.9	14.0	16.5	21.9	27.0	52
	4.0	8.0	12.4	16.4	19.5	24.7	60
	2.9	5.8	9.1	12.1	14.6	17.7	70
	2.8	5.4	8.6	11.1	14.2	16.7	80
2s	1.2	2.5	3.4	4.7	5.7	7.14	20
	9.0	18.4	26.6	36.1	40.9	53.7	52
	8.2	17.2	23.6	34.3	34.2	50.7	60
	5.8	11.5	18.2	23.3	22.5	35.2	70
	5.4	8.3	17.5	17.1	22.6	27.3	80
3s	1.7	3.4	5.2	6.79	8.7	10.2	20
	13.5	26.9	30.5	47.0	72.9	61.2	52
	12.2	24.4	23.4	45.3	62.0	47.0	60
	9.0	18.0	19.4	38.6	35.8	38.7	70
	8.3	16.5	23.2	32.8	35.0	46.9	80
4s	2.2	4.6	6.8	9.1	11.3	13.6	20
	17.9	36.0	50.6	42.4	71.0	96.2	52
	16.3	33.2	42.6	43.0	76.1	98.4	60
	12.0	23.8	31.4	45.9	63.7	62.4	70
	10.6	20.5	32.1	41.3	56.5	62.4	80
5s	2.8	5.6	8.5	11.3	15.9	17.0	20
	22.2	46.6	68.5	60.9	61.2	100.0	52
	20.4	41.4	60.5	55.7	64.9	100.0	60
	14.8	27.4	45.6	52.6	64.8	84.34	70
	13.6	20.3	43.1	40.5	3.1	67.6	80
6s	3.4	7.0	10.2	13.8	23.2	20.8	20
	26.8	53.9	71.5	90.5	66.9	89.1	52
	24.4	51.3	61.7	87.5	64.3	99.6	60
	18.0	34.7	46.2	73.9	56.0	93.3	70
	16.3	25.6	49.6	51.3	62.7	78.3	80

Tablo 4 650-1500 km arasında değişen 3 Düzlem- 3 Uydu'dan oluşan, 52⁰ eğimdeki Walker Delta Uydu Takımı için simülasyon sonuçları

Yükseklik (km)	Toplam kapsama süresi (dakika)	Toplam kapsama yüzdesi (%)
650	439.9	30.5
700	459.6	31.9
800	502.6	34.9
900	543.1	37.7
1000	578.2	40.1
1100	608.9	42.3
1200	635.8	44.1
1300	665.2	48.2
1400	696.8	48.4
1500	721.5	50.1



2.Sonuçlar:

Bu projede temel olarak Türkiye'nin coğrafi alanını kapsayabilen LEO uydularının yörünge parametrelerinin hesaplanması amaçlanmış ve sözkonusu amacı gerçekleştirmek üzere "STK 4.1.1b" adı verilen paket programının kapsama modülü kullanılarak Türkiye için tam kapsama süreleri hesaplanmıştır.

Yörünge ve Dünya'nın ekvator düzlemi arasındaki açı olan "eğim açısı"nın tam kapsama üzerindeki etkisinin bulunmaya çalışıldığı ilk bölümde hesaplamalar 650 km yükseklikte yer alan uydular için yapılmış, basitlik sağlama açısından yörüngeler dairesel seçilmiş ve 20⁰ ile 90⁰ arasındaki eğim açıları baz alınmıştır.

İlk hesaplamalar 650 km yükseklikte yer alan tek bir LEO uydusu için yapılmış, kapsama süreleri, geçiş aralıkları ve kapsama yüzdeleri bir gün süresi için yapılmıştır.

Sözkonusu simülasyonlar için aşağıda yer alan sonuçlar elde edilmiştir.

-Türkiye'nin coğrafi alanını kapsayan bir LEO uydusu için bir gün süresince geçiş sayısı ve kapsama yüzdesi 20^0 to 52^0 aralığındaki eğim açıları için artmaktadır.

- 52^0 to 90^0 aralığındaki eğim açılarında geçiş sayısı ve kapsama yüzdesinde dramatik bir düşüş yaşanmaktadır.

- 52^0 eğim açısındaki bir LEO uydusu bir gün süresince Türkiye'yi zaman olarak % 4.8'ini tam olarak kapsamaktadır. Toplam kapsama süresi ise bir gün süresince 69.2 dakikadır.

Tek bir uydu kısıtlı bir kapsama süresi sağlamaktadır. Kapsama süresini arttırmak için birden fazla uydu kullanmak gerekmektedir. Böylece bu amaç için ikinci ve üçüncü bölümlerde uydu takımları yaratılmıştır.

Bu tip takımlardan ilki ikinci bölümde 2-6 arasında değişmekte olan N sayısı için N Düzlem- ve her düzlemde N uydu olarak oluşturulmuştur. Her takım için tam kapsama süreleri, geçiş sayısı, geçiş süresi ve bir gün süresindeki tam kapsama süreleri 20^0 - 90^0 arasında değişen eğim açıları için hesaplanmıştır. Tam sonuçların yer aldığı çizelge ve grafikler Ek-1'de yer almakta olup oluşturulan tüm senaryolar içerisindeki en fazla kapsama yüzdeleri verenler Tablo 2 'de gösterilmiştir.

S ve N sayıları 1-6 arasında değişen N Düzlem-S Uydu'dan oluşan ve 20^0 to 80^0 arasında değişmekte olan eğim açıları için yaratılan Walker-Delta Uydu Takımları için bir gün boyunca kapsama yüzdelerinin hesaplandığı üçüncü bölümden elde edilen önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

-6 Düzlem- 5 Uydu'dan oluşan Walker Delta Uydu takımı için 24 saat süresince 52^0 ve 60^0 'lık eğim açıları için %100'lük bir kapsama sağlanmıştır. Bunun anlamı olarak 30 LEO uydusuyla Türkiye'nin bir gün süresince tam olarak kapsandığı bulunmuştur.

-6 Düzlem- 4 Uydu'dan oluşan Walker-Delta Uydu Takımı için bir gün süresince 60^0 eğim açısında % 98.4'lük bir kapsama yüzdesi elde edilmiştir.

Her Uydu Takımı içerisindeki Türkiye için en yüksek kapsama yüzdeleri sağlayan 20^0 - 80^0 arasında değişen eğim açıları belirlenmiştir. Sonuçlar Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5 En yüksek kapsama sürelerinin kapsayan Walker Delta Uydu takımları ve eğim açıları

Walker Delta Uydu Takımı (N Düzlem - N Uydu)	Yörüngesel Eğim (derece)
1P-1S, 1P-2S, 1P-3S, 1P-4S, 1P-5S, 1P-6S, 2P-2S, 2P-3S, 2P-4S, 2P-6S, 3P-1S, 3P-2S, 3P-3S, 3P-4S, 3P-5S, 3P-6S, 4P-1S, 4P-2S, 4P-3S, 4P-5S, 4P-6S, 5P-1S, 5P-2S, 5P-3S, 5P-6S, 6P-1S, 6P-2S, 6P-3S, 6P-5S,	52
2P-1S, 5P-4S, 5P-5S, 6P-4S, 6P-5S, 6P-6S	60
4P-4S	70

S ve N sayılarının 1-6 arasında değiştiği N Düzlem-S Uydu'dan oluşan Walker Delta Uydu Takımı ile yaratılmış olan 36 senaryo içerisindeki 30 tanesinde maksimum kapsama süresi 52^0 eğim açısında gözlenmiştir.

Yüksekliğin kapsama yüzdesine etkisinin araştırıldığı dördüncü bölümde 3 Düzlem- 3 Uydu'dan oluşan, 52^0 eğimdeki Walker Delta Uydu Takımı simülasyonda kullanılmış ve Türkiye için Tam Kapsama süreleri belirlenmiştir. Söz konusu simülasyonlar için aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

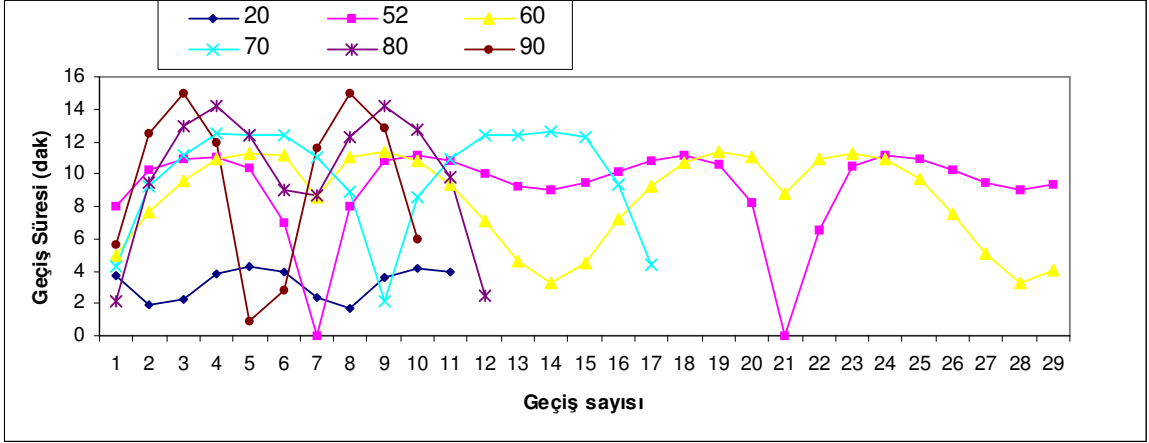
650-1500 km arasında değişen yükseklikler için toplam kapsama süresi 52^0 eğim açısı için %64.5 artmıştır.

3. Kaynaklar

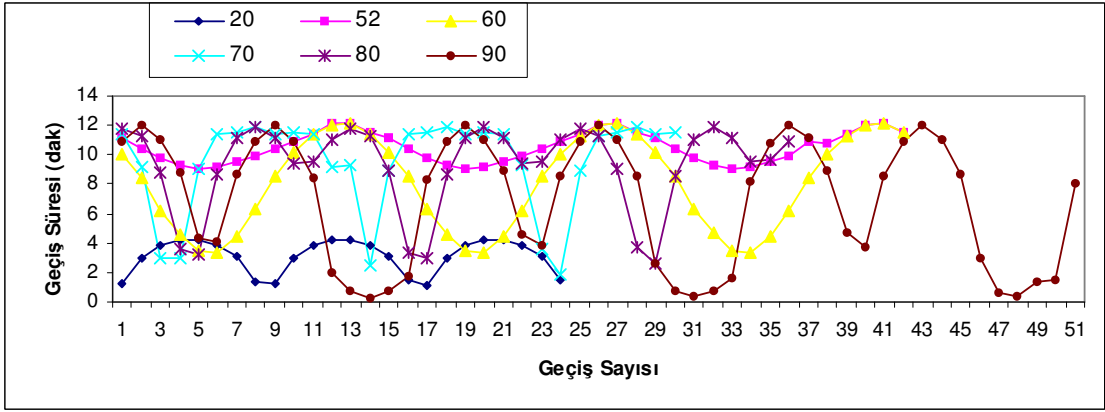
- Hava Kuvvetleri Komutanlığı, Global Space Activities & Potential in Turkey, 1 inci Uluslararası Uzay Sempozyumu, Ankara, 30-31 May 2001.
- Analytical Graphics Inc. , Satellite Tool Kit Software version 4.1.1b (STK 4.1.1b), 2000.
- Satellite Tool Kit 4.1.1b Information Documents, Analytical Graphics Inc, 2000.
- P. R. Escobal, Methods of Orbit Determination, John Wiley & Sons, New York, 1965.
- Cemal Şakacı, Two Simulation Models: Low Altitude Flows and the Türksat Satellite Orbit, Thesis Submitted to the Middle East Technical University, 1996.
- M. Richharia, Satellite Communications Systems Design Principles, Macmillan Press Ltd., 1999.
- Satellite Toolkit 4.1.1b Astronautics Primer, Analytical Graphics Inc., 2000.
- Robert A. Nelson, Satellite Constellation Geometry, Via Satellite Journal, PBI Media, 1995.

- G. Pennoli, N. Telespazio, Final Report of COST 227 Action, Chapter 1: Satellite System Architecture, 1995.
- E. D. Casey, T. Cooney, Using Low Earth Orbit Satellite Technology to Enable Pipeline Data Communications, ENTELEC News Magazine, Fall 1999 (Vol. 72, No. 2)
- D. Rody, Satellite Communications, McGraw-Hill Companies Inc., 2001
- E. Lutz, M. Werner, A. Jahn, Satellite Systems for Personal and Broadband Communications, Springer Inc., 2000.
- S. Horan, The Potential for Using LEO Telecommunications Constellations to Support Nanosatellite Formation Flying, Space Internet Workshop, Goddard Space Flight Center, November 2000.
- L. Crouzard, G. Gawinowski, ISA Project Report, Satellite Perspectives for CNS/ATM, Eurocontrol Experimental Centre, 1997.
- M., John, The Orbiting Internet: Fiber in the Sky, Byte Magazine, November 1997.
- ITU-Radio Regulations, International Telecommunications Union Publication, Geneva 1998
- J. Mutai, 21st Century Communications: Global Mobile Personal Communications by Satellite for Africa, ITU Regional Workshop on Introduction, Licensing and Commercialisation of GMPCS Services, Bangkok (Thailand), 27-29 August 2001.
- ITU GMPCS Handbook, International Telecommunications Union Publication, Geneva, 2000.
- Satellite Toolkit 4.1.1b Glossary, Analytical Graphics Inc., 2000
- Fatih Mehmet YURDAL, Coordination Issues Arising From the Use of Highly Inclined Elliptical Orbits, Satellite Communications Engineering MSc. Project Report, University of Surrey, United Kingdom, 1991.

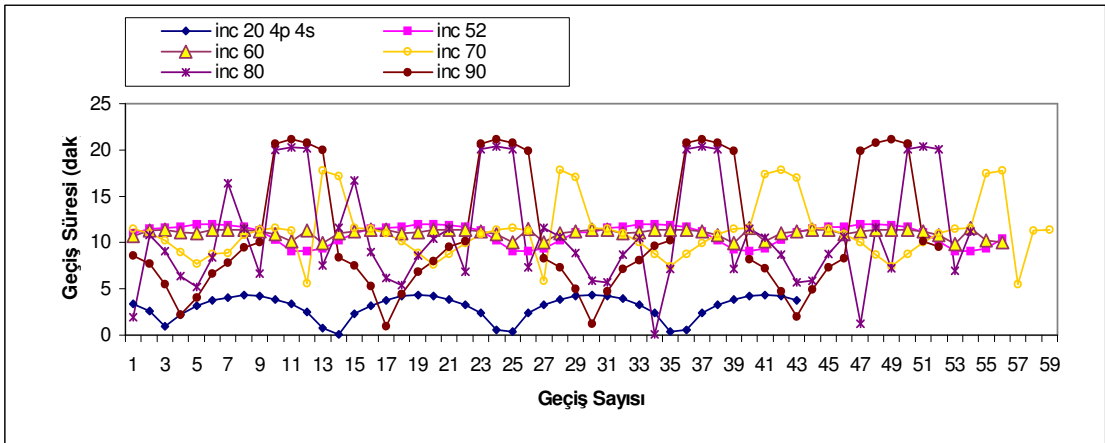
Ek-1 Tam sonuçların yer aldığı çizelge ve grafikler



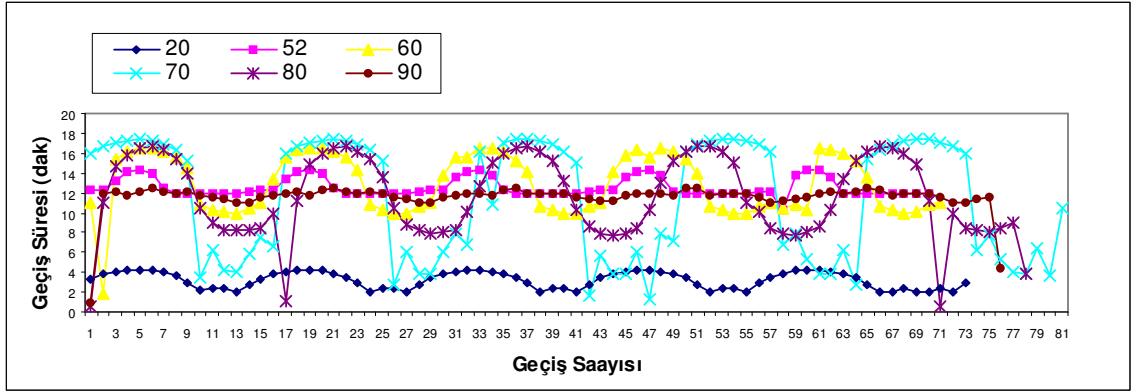
Grafik 3 2 Düzlem -2 Uydudan oluşan bir Walker Delta Uydu takımında 20° - 90° arasında değişen eğim açıları için Türkiye üzerindeki günlük toplam geçiş süresi ve geçiş sayısı



Grafik 4 3 Düzlem -3 Uydudan oluşan bir Walker Delta Uydu takımında 20° - 90° arasında değişen eğim açıları için Türkiye üzerindeki günlük toplam geçiş süresi ve geçiş sayısı



Grafik 5 4 Düzlem -4 Uydudan oluşan bir Walker Delta Uydu takımında 20° - 90° arasında değişen eğim açıları için Türkiye üzerindeki günlük toplam geçiş süresi ve geçiş sayısı



Grafik 6 5 Düzlem –5 Uydudan oluşan bir Walker Delta Uydu takımında 20^0 - 90^0 arasında değişen eğim açıları için Türkiye üzerindeki günlük toplam geçiş süresi ve geçiş sayısı

Tablo 6: 2 Düzlem –2 Uydudan oluşan bir Walker Delta Uydu takımında Yörüngesel eğim açısının Türkiye'nin kapsanması üzerindeki etkisinin özetlenmesi

Yörüngesel Eğim Açısı (derece)	Toplam kapsama süresi (dakika)	Toplam kapsama yüzdesi (%)
20	36.5	2.5
52	264.5	18.4
60	247.3	17.2
70	165.9	11.5
80	120.3	8.3
90	94.1	6.5

Tablo 7: 3 Düzlem –3 Uydudan oluşan bir Walker Delta Uydu takımında Yörüngesel eğim açısının Türkiye'nin kapsanması üzerindeki etkisinin özetlenmesi

Yörüngesel Eğim Açısı (derece)	Toplam kapsama süresi (dakika)	Toplam kapsama yüzdesi (%)
20	74.8	5.2
52	439.9	30.5
60	337.6	23.4
70	279.0	19.4
80	333.6	23.2
90	349.1	24.2

Tablo 8: 4 Düzlem –4 Uydudan oluşan bir Walker Delta Uydu takımında Yörüngesel eğim açısının Türkiye'nin kapsanması üzerindeki etkisinin özetlenmesi

Yörüngesel Eğim Açısı (derece)	Toplam kapsama süresi (dakika)	Toplam kapsama yüzdesi (%)
20^0	131.1	9.1
52^0	610.2	42.4
60^0	619.7	43.0
70^0	660.7	45.9
80^0	595.3	41.3
90^0	577.7	40.1

Tablo 9: 5 Düzlem –5 Uydudan oluşan bir Walker Delta Uydu takımında Yörüngesel eğim açısının Türkiye'nin kapsanması üzerindeki etkisinin özetlenmesi

Yörüngesel Eğim Açısı (derece)	Toplam kapsama süresi (dakika)	Toplam kapsama yüzdesi (%)
20^0	229.1	15.9
52^0	882.0	61.2
60^0	934.0	64.9
70^0	932.7	64.8
80^0	908.7	63.1
90^0	878.7	61.0