

YER GÖZLEM UYDULARI: DÜNÜ, BUGÜNÜ, YARINI

M. Erdoğan

Harita Genel Komutanlığı, 06100 Dikimevi Ankara, Türkiye – mustafa.erdogan@hgk.msb.gov.tr

ANAHTAR KELİMELER: Yer Gözlem Uyduları, Uydu Görüntüleri, Çözünürlük

ÖZET:

1946'da Alman V-2 roketleri ile uzaydan fotoğraf alımı ile başlayan yer gözlem uyduları macerası, geçen yaklaşık 80 yılda büyük bir değişim ve gelişim göstermiştir. Yer gözlem uyduları macerası 1958-1972 arasında ABD CORONA programı kapsamında uzaydan film tabanlı fotoğraf alımı, 1960 TIROS-1 meteoroloji uydusu, 1960 sonlarında Gemini ve Apollo uzay mekiklerinden fotoğraf alımı gibi analog sistemlerle başlayarak, 1990'lı yıllardan itibaren bilgisayar ve elektronik teknolojisindeki gelişmelere paralel yerini tamamıyla sayısal sistemlere terk etmiştir. Bu hızlı gelişimin sonucu 31 Temmuz 2014 itibariyle yörüngede 1235 uydu bulunmaktadır ve bunların yaklaşık %10'u yer gözlem uydusudur. Önümüzdeki yıllarda da yörüngeye her sene 100'ün üzerinde uydu yerleştirilmesi beklenmektedir. 2013 yılında 79'u başarılı 82 fırlatma gerçekleştirilmiş ve bir rekora imza atılarak 216 uydu yörüngeye yerleştirilmiştir. Bu makalede öncelikle çok hızlı gelişen bu sektörde, devletlerin ve özel sektörün konumu, uyduların türü ve sektörün parasal büyüklüğü özetlenmiş, geçmiş yıllardaki gerçekleştirmeler ve geleceğe yönelik tahminler incelenmiştir. Daha sonra bilimsel veriler ve geçmişteki gelişim verileri de kullanılarak uyduların gelecekteki çözünürlük ve yeteneklerine yönelik bir inceleme yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu önümüzdeki dönemde, uydu sistemlerinde sürekli ve hızlı gelişimin devam edeceği, daha ucuz mini ve mikro uydulara yönelimin artacağı, LANDSAT ve SPOT gibi uydu serilerinin devam edeceği, zamansal ve spektral çözünürlüklerde daha fazla, yersel ve radyometrik çözünürlüklerde daha kısıtlı olmak üzere çözünürlüklerin artacağı, daha yüksek geometrik doğruluk ve görüntüleme kapasitesi elde edileceği değerlendirilmektedir.

KEY WORDS: Earth Observation Satellites, Satellite Imagery, Resolution

ABSTRACT:

Earth observation satellites beginning with analogue photography from German V-2 rockets in 1946 showed major changes and developments throughout the passing 80 years. Earth observation satellites goes on with film based analogue photography through USA CORONA program between 1958-1972 and Gemini and Apollo space shuttles at the end of 1960s and turn into the digital systems with the developments in computer and electronic technology. As a result of this rapid development, there are 1235 satellites on the orbit as of 31 July 2014 and approximately 10% of these satellites are earth observation satellites. Launches of over 100 satellites per year are expected in coming years too. 79 successful launches of 82 launches are realized in 2013 and 216 satellites were placed into orbit which was a record number. In this paper, firstly the position of the government and the private sector in this very fast growing industry, types of satellites and the financial size of the sector are summarized, realization in the past years and future predictions were examined. After, a review is made for future resolutions and capabilities of satellites by using scientific and historical development data. As a result of the analysis results, it is evaluated that continuous and rapid development of satellite systems will continue, tendency to cheaper mini and micro-satellite will increase, satellite series as LANDSAT and SPOT will continue, temporal and spectral resolution will increase more and increase in spatial and radiometric resolution will be more limited, higher geometric accuracy and image collection capacity will be obtained in the coming period.

1. GİRİŞ

Bilgi çağı olarak adlandırılan günümüzde, bilişim teknolojisindeki gelişmeler, ekonomik, kültürel ve toplumsal yapıları derinden etkilemekte, ticaret, eğitim ve yönetim biçimlerini farklı boyutlara taşımaktadır. Gelişmeler birey, toplum ve yönetim yapılarını değiştirmekte ve örgütleri günümüzün rekabet ortamında, yeni teknolojileri ve yöntemleri kullanmaya zorlamaktadır. Teknolojiler, yöntemler, uygulamalar ve ihtiyaçlardaki gelişim ve değişimler tüm toplumu ve üretim süreçlerini etkilemekte ve yönlendirmektedir. Benzer şekilde 1946'da Alman V-2 roketleri ile uzaydan fotoğraf alımı ile başlayan yer gözlem uyduları macerası, geçen yaklaşık 80 yılda büyük bir değişim ve gelişim göstermiş, ilk başlarda sadece devlet ve askeri amaçlarla kullanılan bu sistemler günümüzde bireylerin günlük hayatına bile girmiştir.

Uzaydan yeryüzünün izlenmesi ilk olarak film tabanlı fotoğraf alımı ile başlamıştır. 1958-1972 arasında ABD CORONA programı kapsamında özellikle Rusya ve Çin'in uzaydan fotoğraflarını almış, bu tarih aralığında 144 CORONA uydusu fırlatılmış ve bunların 102'sinden başarılı şekilde faydalanılmıştır. 1960 yılında fırlatılan TIROS-1 meteoroloji uydusu ile uydular sadece askeri amaçlar dışında günlük ihtiyaçlar içinde kullanılmaya başlamıştır. 1960 sonlarında Gemini ve Apollo uzay mekiklerinden fotoğraf alımı analog sistemlerle devam ettirilmiştir. 1990'lı yıllardan itibaren bilgisayar ve elektronik teknolojisindeki gelişmelere paralel analog sistemler yerini tamamıyla sayısal sistemlere terk etmiş ve bu sistemlerden elde edilen görüntülerin kullanımı hızla artmıştır. Bu hızlı gelişimin sonucu İlgili Bilim Adamları Birliğinin (Union of Concerned Scientists – UCS) 31 Temmuz 2014 tarihli veritabanına göre yörüngede 1235 uydu bulunmaktadır (UCS, 2015) ve bunların yaklaşık %10'u yer gözlem uydusudur. Önümüzdeki yıllarda da yörüngeye her sene

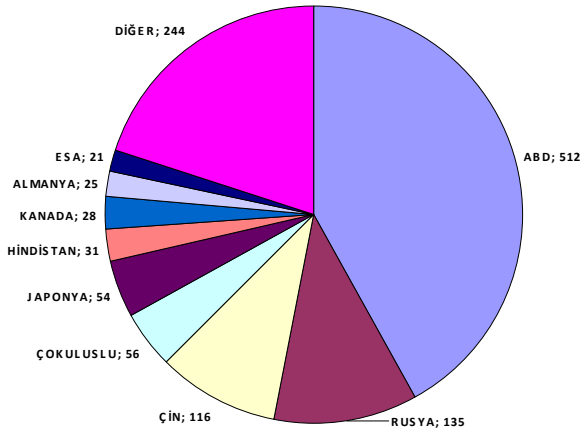
100'ün üzerinde uydu yerleştirilmesi beklenmektedir. 2013 yılında 79'u başarılı 82 fırlatma gerçekleştirilmiş ve bir rekora imza atılarak 216 uydu yörüngeye yerleştirilmiştir (Todd, 2014).

Son yıllarda değişik geometrik özelliklerde yüksek çözünürlüklü birçok uydu sistemi kullanıma girmiştir. Özellikle gelişmekte olan ülkeler tarafından yoğun ilgi gösterilen ve kullanılan düşük maliyetli ve özel amaçlı küçük uydu sistemlerinin sayısının arttığı gözlenmektedir. Bu makalede öncelikle çok hızlı gelişen bu sektörde, devletlerin ve özel sektörün konumu, uyduların türü ve sektörün parasal büyüklüğü özetlenmiş ve mevcut uydu sistemleri ülkeleri, kullanıcıları, yörüngeleri ve amaçlarına göre sınıflandırılarak incelenmiştir. Geçmiş yıllardaki gerçekleştirmeler ve geleceğe yönelik tahminler ortaya konmuştur. Daha sonra bilimsel veriler ve kısıtlar ile geçmişteki gelişim verileri de kullanılarak uyduların gelecekteki çözünürlük ve yeteneklerine yönelik bir inceleme yapılmıştır.

2. MEVCUT UYDU SİSTEMLERİ

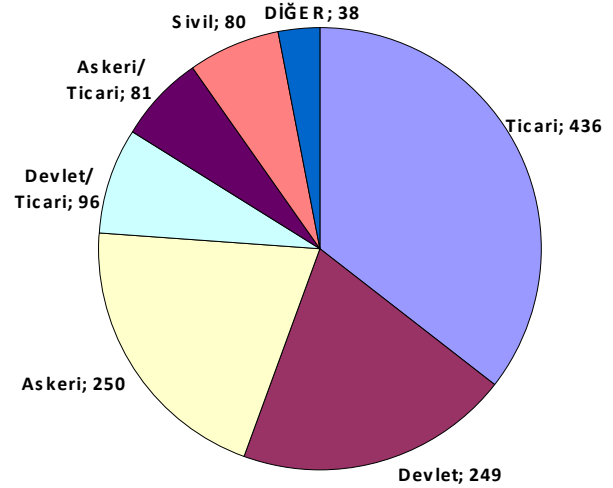
Uzay faaliyetlerinde hızlı artışın sonucu uydu sayıları büyük bir hızla artmaktadır. UCS uydu veritabanına göre 31 Ağustos 2013'de 1084 olan uydu sayısı 31 Temmuz 2014'de 1235'e ve 31 Ocak 2015'de 1265'e çıkmıştır. Bu çalışmada 31 Temmuz 2014 tarihli uydu veritabanına göre uydular sınıflandırılmış ve sınıflandırma sonuçları yorumlanmıştır.

Ülkelere göre uyduların dağılımı Şekil 1'de gösterilmiştir. 512 uydu ile ABD uydu sayısında liderliği elinde tutmaktadır. Tek bir ülkeye ait uyduların yanında büyük miktarda uydu da çokuluslu ajanslar, birkaç ülkenin ortaklığı ile veya doğrudan çokuluslu olarak da üretilmektedir.



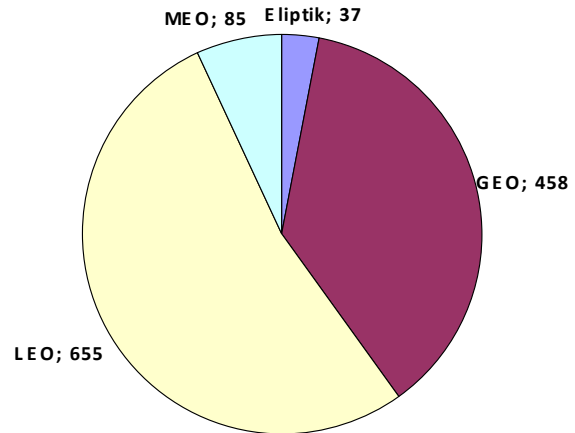
Şekil 1. Ülkelere göre uyduların dağılımı

Kullanıcılarına göre uydu sistemleri Şekil 2'de gösterilmiştir. İlk yıllarda askeri ve devlet amaçlı uydular çoğunlukta iken zamanla ticari amaçlı uydular öne geçmiştir. Bu durum aynı zamanda uyduların ve uydulardan sağlanan hizmetlerin günlük hayatımıza da girmesini sağlamıştır. Özellikle Google Earth gibi uygulamalar bu süreci daha da hızlandırmış, insanlar uydu görüntülerinden evlerine bakmaya, görüntüleri incelemeye ve hatta bahçelerindeki köpekleri bu görüntülerden teşhis etmeye başlamıştır (Daily Mail, 2008).



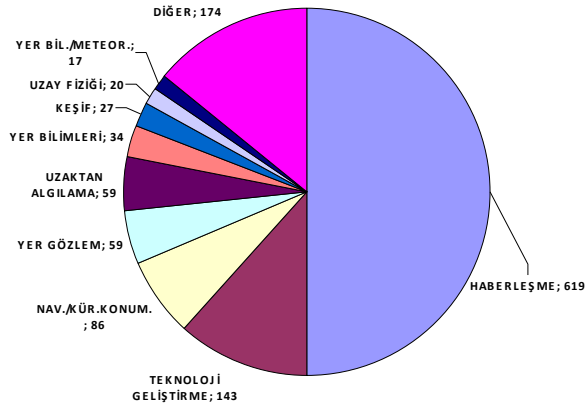
Şekil 2. Kullanıcılarına göre uyduların dağılımı

Yörüngelerine göre uydu sistemleri Şekil 3'de gösterilmiştir. Yaklaşık 36.000 km yükseklikteki yer uyumlu yörüngelerde (Geostationary Earth Orbit - GEO) genelde haberleşme ve meteoroloji uyduları bulunmaktadır. Yerden yaklaşık 10.000 km yükseklikteki orta yörüngelerde (Medium Earth Orbit - MEO) küresel konumlama sistemleri bulunmaktadır. En çok uyduya sahip yerden yaklaşık 700 km yükseklikteki alçak yörüngelerde (Low Earth Orbit - LEO) ise genelde yer gözlem, bilimsel, bölgesel haberleşme ve bölgesel navigasyon uyduları bulunmaktadır.



Şekil 3. Yörüngelerine göre uyduların dağılımı

Amaçlarına göre uydu sistemleri Şekil 4'de gösterilmiştir. Uzaktan algılama ve yer gözlem amaçlı uydular tüm uyduların yaklaşık %10'unu oluşturmaktadır. Uydular başlarda sadece yer gözlem amaçlı kullanılırken küresel iletişim ve haberleşme ihtiyaçlarındaki büyük artış nedeniyle haberleşme uydularının sayısı zaman içinde hızla artmıştır. Mevcut uyduların yaklaşık %50'sini haberleşme uyduları oluşturmaktadır.



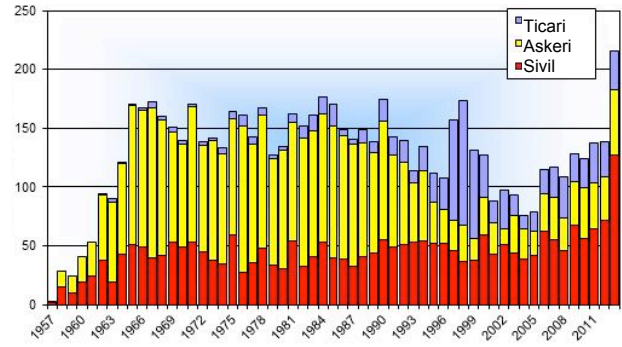
Şekil 3. Amaçlarına göre uyduların dağılımı

3. 2013-2022 TAHMİNLERİ

Uzay pazarı konusunda uzmanlaşan Euroconsult firmasının hazırlanan 2013 raporunda uydu sektörüne ilişkin 2013–2022 dönemine yönelik tahminlerde bulunulmuştur. Bu dönem içinde yılda ortalama 115 uydunun fırlatılacağı tahmin edilmektedir. Bu sayının 2015–2017 döneminde 140'lara çıkacağı, 2018 sonrası dönemde ise 100'lere düşeceği beklenmektedir. 2013–2022 döneminde 1150 uydunun fırlatılması beklenmekte olup pazarın büyüklüğü yaklaşık 236 milyar dolar olarak tahmin edilmektedir. 2003–2012 döneminde 810 uydu fırlatılmış olup pazar büyüklüğü 297 milyar dolardır. Küçük uyduların sayısındaki artış, daha kısa geliştirme zamanı, teknolojinin ucuzlaması ve daha düşük fırlatma maliyetleri sonucu uydu sayısındaki artışa rağmen toplam maliyet düşmüştür. Fırlatılması planlanan 1150 uydunun yaklaşık 2/3'ü ve 236 milyar dolarlık pazarın yaklaşık 3/4'ü devletlere aittir. 236 milyar dolarlık pazarın %90'ının kurulu uzay sanayi bulunan 15 ülke arasında paylaşılması ve uzay sanayi gelişen 30 ülkenin yıllık 1 milyar dolarlık pazara ulaşması beklenmektedir (Euroconsult, 2014). Euroconsult'ın 2014 raporunda ise 2014–2023 dönemi için uydu sayısı 1155, toplam pazar ise 248 milyar dolar olarak güncellenmiştir (Euroconsult, 2015).

1957–2013 döneminde fırlatılan uyduların sayısı ve ticari, sivil, askeri olarak tasnifi Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekil 4'de zaman içinde askeri uyduların sayısının hızla düşerken, sivil ve ticari uyduların sayısının ise çok fazla arttığı görülmektedir. Son yıllarda ABD dâhil birçok ordunun ihtiyaçları için ticari uydulardan faydalandığı görülmektedir.

2012 yılında 78 fırlatma gerçekleştirilmiş, 139 uydu yörüngeye yerleştirilmiştir. 2013 yılında ise 79'u başarılı 82 fırlatma gerçekleştirilmiş ve rekor sayıda (216) uydu yörüngeye yerleştirilmiştir. Bu artışın önemli sebebi düşük maliyetli nano uydular ve küp uydulardır. Yörüngeye yerleştirilen 216 uydunun 84'ü 5 kg'nin altındadır (Todd, 2014). Örneğin sadece Fransa'nın MYRIADE projesi kapsamında 2004'den itibaren onlarca uydu uzaya fırlatılmıştır (Landiech, 2009).



Şekil 4. 1957–2013 döneminde fırlatılan uyduların sayısı

4. YER GÖZLEM UYDULARI

Bu çalışmada uyduların özellikleri ve çözünürlükleri analiz edilmiş ve geleceğe yönelik tahminlerde bulunulmuştur. Bu tahminlerde hem geçmiş dönemin analizinden, hem de bilimsel ve teknik değerlendirmelerden faydalanılmıştır. Ayrıca RADAR sistemleri ve uçaklara takılı sistemler de kısaca incelenmiştir.

4.1 Tarihi Gelişim

Yer gözlem uydularının tarihsel gelişimi Tablo 1'de gösterilmiştir. Tabloda özellikle geçmişteki tüm uydular gösterilmemiş, tarihsel gelişimi göstermek için örnekleme yapılmıştır. Son 15 yıl ise daha ayrıntılı olarak ifade edilmiştir. Tablo incelendiğinde uyduların özellikle yersel çözünürlüklerinin ve yer kontrol noktasız yöneltme doğruluklarının büyük oranda arttığı görülmektedir.

	Gör.Kapas. (km ² /gün)	Yersel Çözün. (m)	Kaplama (km)	Doğruluk (m)	Radyo. Çözün. (bit)
LANDSAT1 (1972)	-	80	185	500	6
LANDSAT4 (1982)	-	30	185	500	8
SPOT1 (1986)	-	10	60	500	8
IKONOS (1999)	150000	0,82	11,30	9,00	11
Quickbird (2001)	135000	0,61	16,50	23,00	11
Cartosat 2 (2007)	528000	1,00	9,60	100,00	10
WorldView-1 (2007)	750000	0,50	17,60	4,50	11
WorldView-2 (2009)	975000	0,46	16,40	4,50	11
Geoeye-1 (2008)	700000	0,41	15,20	2,50	11
Pleiades 1A (2011)	1000000	0,70	-	3,00	11
Pleiades 1B (2012)	1000000	0,70	-	3,00	11
SPOT6 (2012)	6000000	1,50	60,00	10,00	11
WorldView-3 (2014)	680000	0,31	13,10	3,50	11
Geoeye-2 (?)	-	0,34	-	3,00	11
SPOT7 (2014)	6000000	1,50	60,00	10,00	11

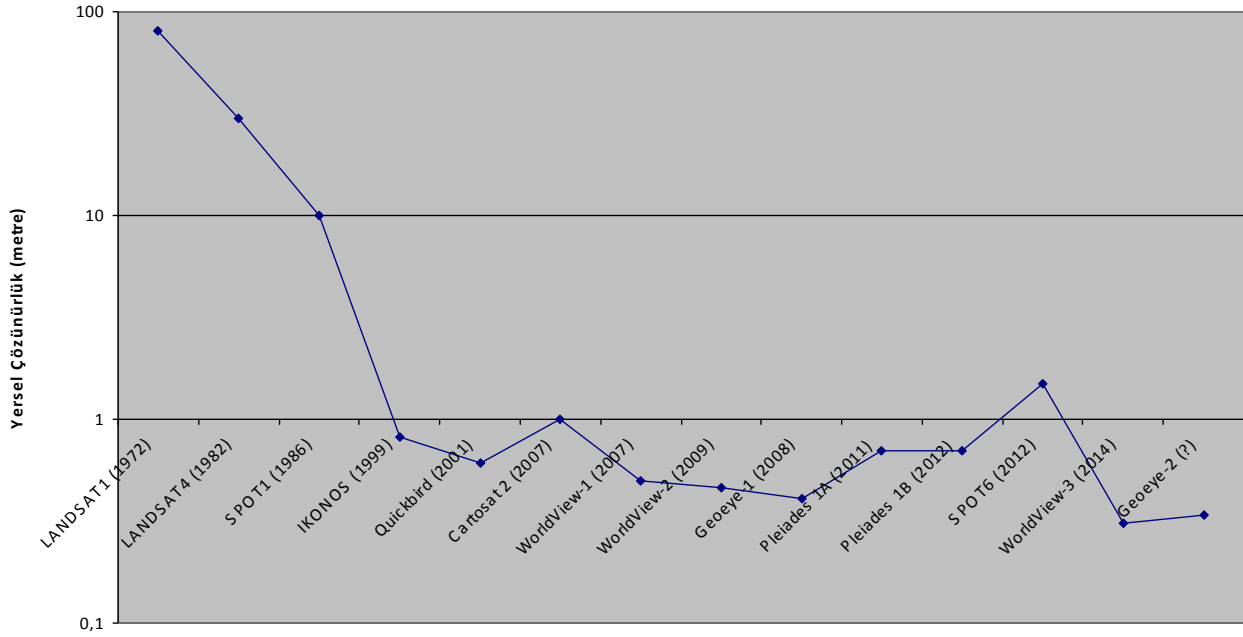
Tablo 1. Yer gözlem uydularının tarihsel gelişimi

4.2 Yersel Çözünürlük

Rayleigh kriteri ile bir lensin mümkün olan en yüksek açısal çözünürlüğü (radyan) $= 1.22 \cdot \text{dalga boyu} / d$ (lens çapı) olarak ifade edilmektedir. Bu formülle hesaplandığında 600 kilometreden 10 cm yersel çözünürlük elde edebilmek için 3.7 metre çapında bir merceğe ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çözünürlük ve mercek çapı, mükemmel bir mercek ve atmosferik bozulmalar olmadığı varsayımına dayanarak hesaplanmıştır. En önemli uzay projelerinden olan Hubble teleskopunun mercek çapı ise 2.3 metre olduğu düşünüldüğünde uydulardan yüksek çözünürlüklerin elde edilmesinin zorluğu görülecektir.

Fried (1966) tarafından yazılan makalede 10 km ve daha yüksek yörüngelerde atmosfer vb. etkenler nedeniyle yersel çözünürlüğün en fazla 4.6 cm olacağı ifade edilmektedir. Uydulardan elde edilecek görüntüler için bu değer teorik sınır olarak kabul edilebilir.

1972–2014 döneminde uyduların yersel çözünürlüklerindeki değişim Şekil 5’de gösterilmiştir. İlk 30 yılda çözünürlük yaklaşık 100 kat artarken, son 15 yılda bu artış 3 kata düşmüştür. Verilen bilgiler ve son 15 yıldaki gelişmeler ışığında yersel çözünürlükteki artışın gittikçe daha da yavaşlayacağı ve uydulardan en fazla 10 cm civarında bir yersel çözünürlüğe ulaşılabileceği tahmin edilmektedir.



Şekil 5. 1972–2014 döneminde uyduların yersel çözünürlüklerindeki değişim

4.3 Spektral Çözünürlük

Yüksek çözünürlüklü uydularda genelde 4 multispektral bant (RGBI) kullanılırken 2009 yılında fırlatılan Worldview-2 uydusunda bant sayısı 8’e çıkarılmıştır. 2014 yılında fırlatılan Worldview-3 uydusunda 16 yüksek çözünürlüklü, 12 orta çözünürlüklü multispektral bant bulunmaktadır. Çok farklı disiplinlerce çok farklı uygulamalarda kullanılan multispektral bantların sayısının artmaya devam etmesi ve gelecekte yüksek çözünürlüklü hiperspektral uyduların kullanıma girmesi beklenebilir.

4.4 Radyometrik Çözünürlük

Son 15 yılda fırlatılan yüksek çözünürlüklü uyduların büyük çoğunluğunun radyometrik çözünürlüğü 11 bittir. Ancak daha düşük yersel çözünürlüklü bazı sistemlerde 11 bitten daha yüksek radyometrik çözünürlükler de kullanılabilir. Örneğin Worldview-3 uydusundaki 30 metre yersel çözünürlüklü 8 bantlı multispektral algılayıcı 14 bit radyometrik çözünürlük ile algılama yapmaktadır. Yersel çözünürlüğe benzer şekilde atmosferik vb. etkiler ve mevcut radyometrik çözünürlüğün birçok uygulamada ihtiyacı karşılaması nedeniyle özellikle yüksek yersel çözünürlüklü uydu sistemlerinde radyometrik çözünürlük de çok fazla artış beklenmemektedir.

4.5 Zamansal Çözünürlük

Yeni uydu sistemleri daha yüksek eğik görüntü alım açıları ile çalışabilmekte ve çok daha hızlı 360 derece yönlendirilebilmektedir. Böylece tek bir uydu için dahi zamansal çözünürlükler artmıştır. Daha fazla uydu veya uydu serileri ile bu değer daha da artacaktır. Önümüzdeki yıllarda hem uyduların teknik özelliklerinin iyileşmesi, hem de uydu sayısının artması sonucu zamansal çözünürlüklerde artış beklenebilir.

4.6 Günlük Görüntüleme Kapasitesi

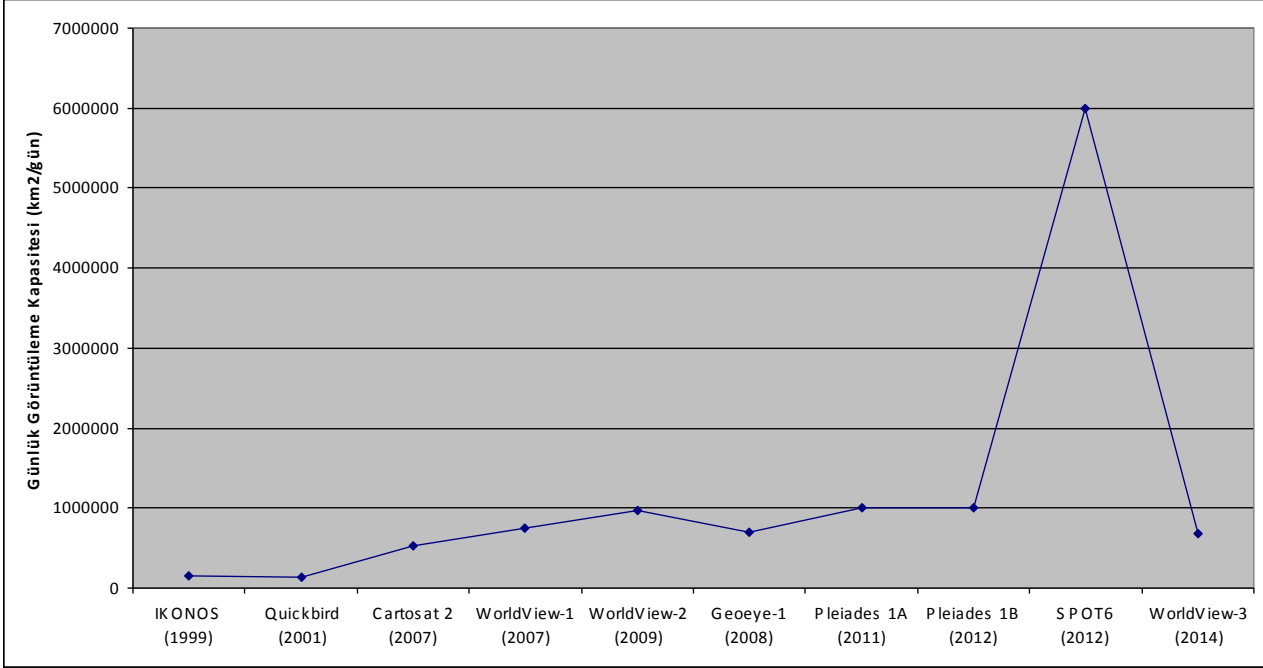
Günümüzde verinin yanında verinin güncelliği de önemlidir. Bu nedenle uydu sistemlerinde de hem verimliliği sağlamak, hem de en güncel görüntüleri sunabilmek için günlük görüntüleme kapasitesinin artırılması için çalışılmaktadır. Bu amaçla, uydulardaki teknolojik gelişmelerin sonucu daha geniş kapsama alanı ve daha hızlı yönlendirme ile kapasiteleri artırılırken, diğer taraftan meteorolojik bilgilerin etkin yönetimi, hızlı planlama gibi yönetsel teknikler de bu kapasitenin artırılması için kullanılmaktadır. Yüksek çözünürlüklü uyduların günlük görüntüleme kapasitesi Şekil 6’da gösterilmektedir. Daha fazla uydu veya uydu serileri ile günlük görüntüleme kapasitesi daha da artacaktır. Önümüzdeki yıllarda hem uyduların teknik

özelliklerinin daha da iyileşmesi, hem kapsama alanlarının büyümesi, hem de uydu sayısının artması sonucu günlük görüntüleme kapasitelerinin artacağı beklenebilir.

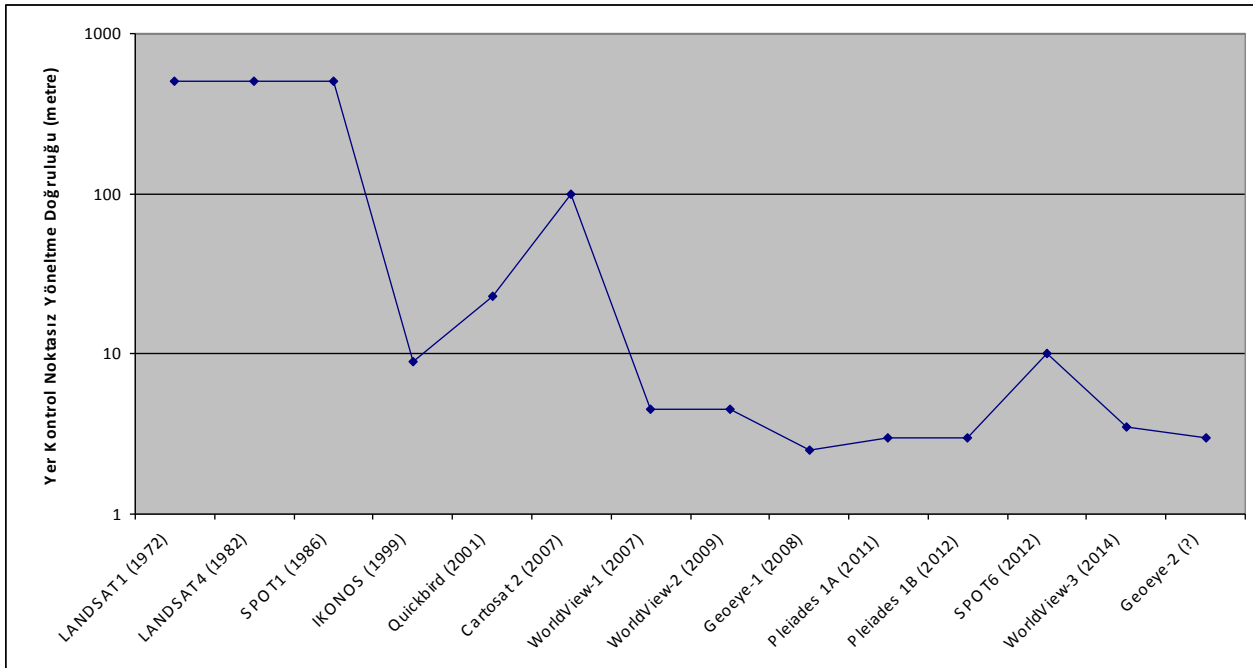
4.7 Doğruluk

Sınırlar olmadan küresel olarak elde edilebilen uydu görüntülerinin kullanımındaki en önemli konulardan bir tanesi görüntülerin yöneltilmesidir. Yüksek çözünürlüklü uyduların yer kontrol noktasız yöneltilme doğrulukları Şekil 7'de

gösterilmektedir. GNSS, IMU ve yıldız ölçer sistemlerdeki gelişmeler sonucu yer kontrol noktasız yöneltilme doğrulukları kilometrelerden birkaç metrelere düşmüştür. Bu doğruluğun artırılması yönündeki ihtiyaç ve talepler ise devam etmektedir. Halen bazı radar sistemleriyle çoklu görüntüleme ve uydu yörünge bilgileri kullanılarak metre altı doğruluklar elde edilebilmektedir. Gelecekte optik uydu sistemlerinde de yer kontrol noktası kullanılmadan yöneltilme doğruluklarının metre altı seviyelere düşmesi beklenebilir.



Şekil 6. Yüksek çözünürlüklü uyduların günlük görüntüleme kapasitesi



Şekil 7. Yüksek çözünürlüklü uyduların günlük görüntüleme kapasitesi

4.8 Radar

Gece-gündüz görüntü alma, hava koşullarından az etkilenme, yüksek doğruluklu ve hızlı sayısal yükseklik modeli (SYM) üretim imkânı ve yüksek doğruluklu koordinat elde edilebilmesi gibi özellikleriyle radar sistemleri bilim dünyasının ilgisini çekmiş ve optik sistemlere paralel radar sistemlerinde de hızlı bir gelişim görülmüştür. Dünya çapındaki güncel 3 SYM üretim projesinden biri optik (Aster GDEM), ikisi ise radar sistemleri (SRTM, TANDEM-x) ile gerçekleştirilmiştir. TerraSar-X uydu sistemi ile çoklu görüntüleme yapılarak ve uydu yörünge bilgileri kullanılarak bir metreden daha yüksek doğrulukla detay noktalarının koordinatları hesaplanabilmektedir. Bu özellikleri sayesinde radar sistemlerinin gelişmeye devam edeceği ve gelecekte de popülerliğini koruyacağı beklenmektedir.

4.9 Hava Fotoğrafları ve Uydu Görüntüleri

Uydu sistemlerine paralel olarak uçaklara takılı algılayıcı sistemleri de hızla gelişmektedir. Çok yüksek çözünürlük ve doğruluk gerektiren projelerde uçaklara takılı sistemler hala tek alternatiftir. Uçaklarda geçmişte yoğun olarak analog hava kameraları kullanılırken, günümüzde sayısal hava kameraları, LIDAR, SAR, hiperspektral algılayıcılar, termal algılayıcılar vb. sistemler de uçaklara takılı olarak yoğunlukla kullanılmaktadır. Yörüngeleri nedeniyle uydular meteorolojik koşullara oldukça bağımlıyken, uçaklar bir bölgede ki bulutsuz hava için bekleyebilir ve hava koşulları uygun olduğunda hızla görüntü alımı gerçekleştirebilir. Uydu sistemlerinin en büyük avantajı ülke sınırları ve çeşitli yasal kısıtlardan etkilenmeden dünyanın her yerinin görüntüsünü alabilmeleridir. Uydu sayılarının artması, gelişen teknoloji ve uydu üretim maliyetlerinin düşmesi sonucu uydu görüntüsü fiyatları da düşmektedir. Bu da uydu görüntülerinin gelecekte daha da yaygın kullanımını sağlayacaktır. Ancak tüm bu koşullara rağmen en azından yakın gelecekte uydu sistemlerinin uçaklara takılı sistemlerin yerini tamamiyle alması beklenmemektedir.

5. SONUÇLAR

Uydu sistemlerinde sürekli ve hızlı bir gelişim görülmektedir. 10 yıl önce metre ve metre altı yalnızca iki uydu varken, günümüzde çok sayıda metre altı çözünürlüklü uydu bulunmaktadır. SAR sistemleri de hızla gelişmekte ve kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Geçmişte uydu sanayi birkaç ülkenin tekelindeyken günümüzde teknoloji sahibi ülkelerde büyük bir artış olmuştur. Bu gelişime en büyük destek ülke güvenliği ve çevre olarak görülmektedir.

Teknolojinin ucuzlaması ile uydu üretim maliyetleri düşmüş, özellikle çok daha ucuz olan mikro ve küp uyduların sayısı artmıştır. LANDSAT, SPOT ve benzeri uydu serileri ise devam etmektedir ve bunlara yeni seri uydular eklenmektedir. Özellikle uyduların yörüngelerinden kaynaklanan zamansal görüntüleme kısıtlarına karşı uydu serilerinin sayısının artması beklenmektedir.

Gelecekte uyduların özellikle zamansal ve spektral çözünürlüklerinde daha fazla artış gerçekleşeceği, yersel ve radyometrik çözünürlüklerindeki artışın ise daha kısıtlı olacağı değerlendirilmektedir.

Uydu yörünge ve yönelme bilgilerinden faydalanılarak yer kontrol noktası kullanılmadan doğrudan yönelme doğruluklarının ve görüntü alma kapasitelerinin de artması beklenmektedir.

Maliyetlerinin düşmesi, kapasitelerinin ve özelliklerinin iyileşmesi ile ulaşılabilirliğinin kolaylaşması sonucu uydu görüntüleri gelecekte daha da yoğun ve yaygın olarak kullanılacaktır.

KAYNAKLAR

Daily Mail, 2008. "Meet Boris, the bull mastiff so large you can see him from SPACE", <http://www.dailymail.co.uk/news/article-1025176/Meet-Boris-bull-mastiff-large-SPACE.html> (05 April 2015).

Euroconsult, 2014. "Satellites to Be Built & Launched By 2022 World Market Survey", <http://www.euroconsult-ec.com/shop/space-industry/20-satellites-to-be-built-launched-by-2022-world-market-survey.html> (07 March 2014).

Euroconsult, 2015. "Satellites to Be Built & Launched By 2023 World Market Survey", <http://www.euroconsult-ec.com/shop/space-industry/21-satellites-to-be-built-launched-by-2023-world-market-survey.html> (05 April 2015).

Fried, D. L., 1966, "Limiting Resolution Looking Down Through the Atmosphere", Journal of the Optical Society of America, Volume 56.

Landiech, P., Rodrigues, P., 2009, Overview on CNES Micro Satellites Missions: In Flight, Under Development and Next, 7th IAA (International Academy of Astronautics) Symposium on Small Satellites for Earth Observation, May 4-8, 2009, Berlin, pp. 3-18.

Tood, D., 2014. "Analysis and Data: 2013 was a record year for number of satellites launched but only because of the tiddlers", SERADATA Space Intelligence, <http://seradata.com/SSI/2014/01/analysis-data-2013-record-year-satellites-launched-tiddlers/> (05 April 2015).

UCS, 2015. "Union of Concerned Scientists Satellite Database for 1 August 2014", http://www.ucsusa.org/nuclear_weapons_and_global_security/solutions/space-weapons/ucs-satellite-database.html (21 Jan. 2015).