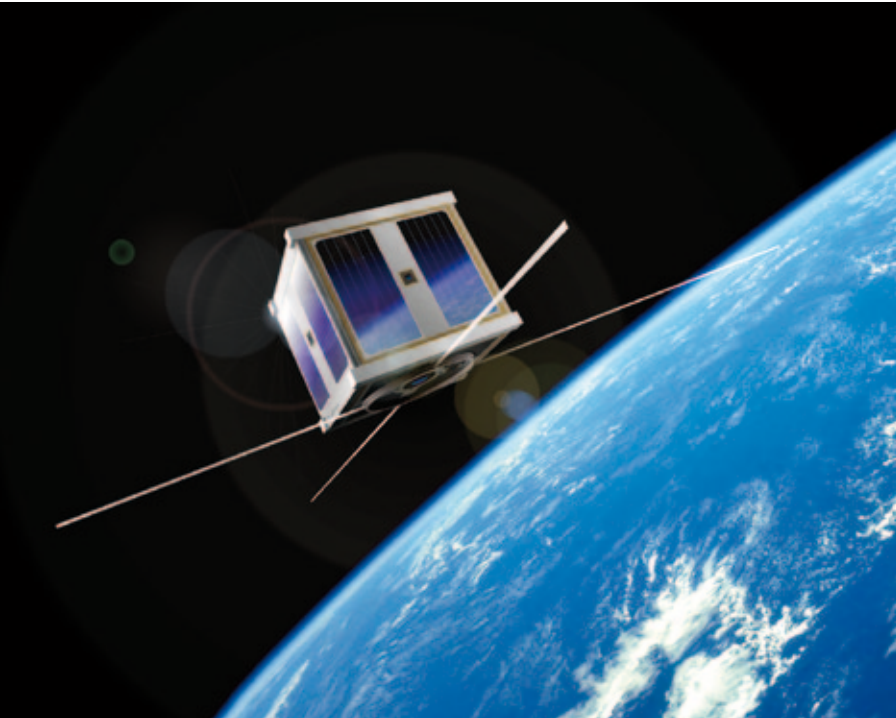


# Küçük Uydu Teknolojileri ve Küp Uydular

Yeryüzünden yaklaşık 720 km yukarıdaki (İstanbul-Antalya arası mesafe) yörüngesinde dolaşan T1 uydusu çok önemli bir gözlemi gerçekleştirmeye hazırlanıyordu. Metre altı düzeyde çözünürlüğü olan son teknoloji ürünü kamerasıyla yerin altındaki gizli ve tehlikeli bir etkinliği kaydederek ilgili yer istasyonuna aktaracaktı. T1 uydusu ile eşzamanlı hareket eden ve yakın bir alt yörüngede bulunan T1 küp uydusu T1 uydusuna doğru yaklaşan bir cisim saptadı. Hemen tehlike kaynağına yönelerek T1 uydusunu hedef alan saldırının önüne geçti. T1 küp uydusu T1 gözlem uydusunu koruyan bir nöbetçi uyduydu. Aslında T1 uydusunu çevreleyen çok sayıdaki küp uydudan yalnızca biriydi. Bu küp uyduların tümü birbirleriyle ilişkili olarak görevlerini yerine getiriyordu.



<http://cubesat.aai.csi.cmu.edu>

Günümüz teknolojiyle mümkün olmasa da, yukarıdaki senaryonun gerçekleşmesi için çok fazla beklemeyeceğiz. Uydularla ilgili çalışmalar günümüz uzay teknolojilerinde önemli bir yer tutuyor. İlk uydunun 1957'de Dünya yörüngesine fırlatılmasından bu yana sadece 52 yıl geçti; ama uyduların yetenekleri ve günlük yaşamımıza etkileri hayallerimizin ötesine geçti. Uydular sayesinde yeryüzünde herhangi iki nokta arasında ses, görüntü ve hemen her türlü bilgiyi çok hızlı iletebiliyoruz. Okyanuslarda, karalardan çok uzaklarda seyreden deniz araçlarıyla sürekli bağlantı kurulabiliyor. Hubble Uzay Teleskobu gibi uydular Dünya yörüngesinde uzaya bakan gözlerimiz haline geldi.

## Uzay Teknolojileri ve Uydular

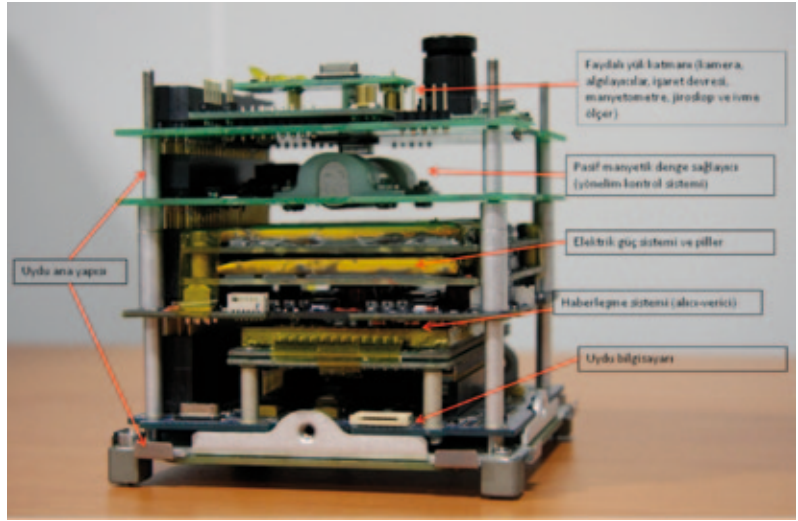
Uzay teknolojileri küresel topluma her geçen gün daha fazla hizmet sunuyor. Haberleşme amaçlı sabit ve hareketli terminaller, ses ve televiz-

yon programlarının yayınlanması, uzaktan eğitim ve sağlık hizmetleri, çevresel veri toplama, arama ve kurtarma işleri, yönlendirme ve konuşlandırma, hava tahminleri, deniz ve okyanusların gözlenmesi, harita ve yüzey izleme çalışmaları, tarım, orman ve su kaynaklarının gözlenmesi ve yönetilmesi bu hizmetler arasında sayılabilir. Uzay bilgi ve teknolojileri gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin itici gücü ve zenginliği haline geldi. Aralarından ABD, Fransa, İtalya, Avusturya, Kanada gibi gelişmiş ülkelerin yanı sıra Hindistan, Macaristan, Şili, Cezayir, Kolombiya, Nijerya'yı sayabileceğimiz pek çok ülke Birleşmiş Milletler Uzayın Barışçıl Amaçlarla Kullanılması Komitesi'ne önemli katkılarda bulunuyor. Uzay teknolojileri araştırma ve test altyapısının oluşturulması ile araştırmacı ve insan kaynağı bu alanda söz sahibi olmanın temel koşulları. Uzay teknolojileriyle ilgili toplumsal algıyı geliştirmek ve gerekli insan kaynağını oluşturmak, ihtiyaç duyulan altyapı yanı sıra konunun orta öğretimden başlayarak müfredata da girmesini gerektiriyor. Ülkemizde de uzay çalışmalarının önemi kavranmış ve bu alana önemli bir kaynak aktarılmış bulunuyor. Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu'nun (BTYK) 2005 yılı 11. toplantısında belirlediği Öncelikli Teknolojik Faaliyetler'den biri, "Uzay ve Savunma Teknolojileri Geliştirmede Yetkinleşme" konusu. Bu kapsamda 2015 yılına kadar 1,1 Milyar TL'lik bir bütçenin Uzay Teknolojileri için kullanılması öngörüldü ve ilgili proje çalışmaları başladı.

## Kütlesine Göre Uydu Sınıflaması

Uydular üstlendikleri görevler ya da kütlelerine göre sınıflandırılır. Genellikle 500 kg altındaki uydulara küçük uydu denir. 500-1000 kg arasında olanlara orta büyüklükte uydu dence de bunlar bazen küçük uydu olarak da değerlendirilebilirler. Ancak, son gelişmeler küçük uydu tanımını 100 kg'lar düzeyine çekecek görünüyor. Aşağıda, kütlelerine göre uydu türlerini parantez içinde ilgili sınıfa ait örnek uydu isimleriyle birlikte görebilirsiniz.

- Büyük uydular: Ağırlığı 1 tondan fazla (Hubble, Türksat 3A)
- Orta boy uydular: 500 kg - 1 ton (THEOS)
- Mini uydular: 100 kg - 500kg (BİLSAT, Göktürk II)
- Mikro uydular: 10 kg - 100 kg (UoSAT-1)
- Nano uydular: 1 kg -- 10 kg (Delfi C3)
- Piko uydular: 0,1kg - 1kg (İTÜpSAT1)
- Femto uydular: Ağırlığı 0,1 kg'dan az



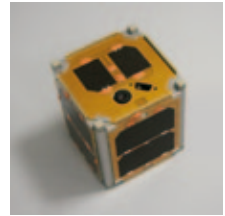
İTÜpSAT1 ana katmanları ve bileşenleri?

Bu sınıflandırmaya göre 1957'de Dünya yörüngesine yerleştirilen ilk uydu Sputnik, 84 kg'lık kütleyle bir küçük uydudur. Sputnik'in görevi radyo sinyallerini yeryüzüne göndermektir. Aslında, üretilen ilk uyduların tamamına yakını 300 kg'ın altındaydı. O sıralar daha büyüklerini gerçekleştirmek için henüz yeterli bilgi ve bunları test etmek için uygun donanım yoktu. Karmaşık görevleri yerine getirebilmek için zaman içinde daha büyük uydular tasarlanmaya başlandı. Uydular büyüdükçe geliştirme ve fırlatma maliyetleri de yükselmeye başladı. Bugün büyük uydu maliyetleri birkaç yüz milyon dolar ile milyar dolarlar arasında değişebiliyor.

Yeni ve yetenekli küçük uyduların ortaya çıkması daha önce çok pahalı ya da teknik olarak olanaksız uzay sistemlerinin geliştirilmesini mümkün kıldı. Geleneksel olarak uyduların üretimi ile yörüngeye yerleştirilmesi askeri, bilimsel ya da ticari kullanıcıları için kendine özgü görevleri yerine getirebilen, birbirinden bağımsız ve uzun geliştirme süreçleri gerektiriyordu. Küçük uydularsa tersine hızlı bir şekilde, topluluk halinde kullanılabilen ya da geliştirme/yerleştirme çevrimlerine sahip yeni görevleri mümkün kılan elemanlar olarak görülüyor.

## Küp Uyduların Önemi ve Gelecekleri

19 Mayıs 2009'da dört adet küp uydu (CubeSat) evrensel saate göre 23:55'de (Türkiye Saati ile 20 Mayıs 2009 sabah 02:55) Minotaur I roketiyle yörüngelerine fırlatıldı. Fırlatma yeri ABD Virjinya eyaletindeki Wallops Adası fırlatma merkeziydi. Bu uydulardan biri de Kaliforniya Politeknik Üniversitesi tarafından geliştirilen CP6 adlı küp uydudur. Fırlatılmasının ardından bu uydu ile kısa zamanda iletişim kuruldu.



İTÜpSAT1 uydusu fırlatılmaya hazır



PSLV fırlatma aracı

## İTÜpSAT1, Türkiye'nin İlk Küp Uydusu

İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi dünyadaki küp uydu çalışmalarının öneminin zamanında farkına vararak bu konuda çalışma kararı aldı. 2005'in sonlarında küp uydu grubu oluşturuldu. İTÜ'nün kaynaklarına ek olarak TÜBİTAK'tan destek almak için bir proje hazırlandı. Önerilen bu projeye,

- üniversitede bir uydu tasarım ve üretim laboratuvarı geliştirmek,
- üniversitede bulunan bilgi birikimini piko ve nano ölçekte uydu tasarımı ve üretimi yönünde genişletmek ve geliştirmek,
- ulusal kurum ve kuruluşlarımızın ileri teknoloji ürünü uydu üretmeleri için gerekli insan kaynağını oluşturmak,
- düşük maliyetli, yüksek teknoloji ve özel amaçlı uzay aracı tasarımı yeteneği kazanmak,

e) uydu üretimi konusunda teknolojik bağımsızlığın kazanılmasına hizmet etmek, hedeflendi.

2006'da TÜBİTAK'tan alınan proje desteğiyle çalışmalar hız kazandı. Geliştirilen uyduya İTÜ birinci piko uydusu anlamında, İTÜpSAT1 adı verildi. Uydunun ana görevi düşük çözünürlüklü görüntü almak olarak belirlendi. Diğer görevleri ise pasif kararlılık sağlanması ve ataletsel veri yakalama olarak tanımlandı.

İTÜpSAT1 Uydusunun Tasarımı ve Üretimi Öncelikle daha önce üretilmiş benzer uydular hakkında yayımlanan belgeler bir araya getirilerek ilgili konularda, bilgisayar ortamında bir kütüphane oluşturuldu. Bu kütüphane ön tasarım sürecindeki çalışmalarda yol gösterici oldu. Daha önce üretilmiş küp uyduların görev yükleri incelendi ve üretilecek uydunun görev yükünün, yeryüzü resimlerini çekecek 640x480 çözünürlüklü sayısal bir kamera olmasına karar verildi. Kenar uzunluğu 100 km olan bir bölgenin fotoğrafini çekmesi durumunda, uydunun ışığa

duyarlı alanında 1024 piksel içeren bir kamerayla elde edilen yersel çözünürlüğün 100 m civarında olacağı hesaplandı. Projede hedeflenen, yüksek yersel çözünürlük elde etmek değil, yörüngede görüntü alan bir uydu üretmek ve bu görüntüleri bir yer istasyonu aracılığıyla almak. Bu nedenle 100 m'lik yersel çözünürlük, hedeflenen kapsam içerisinde yeterli görüldü.

Uydunun önce masa üstü modeli geliştirildi. Bu ön çalışmanın amacı uydu sistemlerinin tanınması, masa üzerinde ön denemelerinin yapılmasıydı. Masa üstü model sadece ilgili işlevi denetlemek için üretilir. Ürünün son halini içermez ve buna benzemesi gerekmez. Sonraki aşamada uydu mühendislik modeli geliştirildi. Mühendislik modeli uydunun son haline benzer, ancak bazı elemanlarının uzay koşulları için yeterli olması gerekmez. Uzay koşullarına yeterlilik uydu üzerindeki tüm bileşenlerin uzay ortamında işlevlerini yerine getirdiklerinin kanıtlanmış olmasıdır. Mühendislik modeli üzerinde tüm geliştir-



1962'de Ankara'da doğan Prof. Dr. A. Rüstem Aslan 1983'te İTÜ'den Uçak Mühendisi olarak mezun olmuştur. Araştırma ve ilgi alanları başta 'uzay araçları tasarımı ve uzay çalışmaları ile dönele kanatlı insanlı-insansız hava araçları' olmak üzere akışkanlar mekaniği ve aerodinamik, hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve uygulamaları, mikro akışlar, savunma teknolojileri ve mühendislik eğitimi konularındadır. Halen İTÜ Uzay Mühendisliği Bölümü Başkanı olan Aslan, ekibi ile Türkiye'nin ilk eğitim-öğrenci uydusu İTÜpSAT1'i uzaya gönderme hazırlıklarını yapmaktadır.

Piko uyduların yaygın örneği olan Küp Uydular (CubeSat) uydu teknolojilerinde beklenmeyen gelişmelere yol açmaya başladı. Özellikle çok düşük geliştirme ve üretim maliyetleri, uygun fırlatma seçenekleri yüksek maliyetli uydu üreticilerini bu yönde hareket ettirmeye yöneltti. Artık yakın gelecekte kullanıcıların, sipariş ettikleri uyduları aylar geçmeden teslim alma olanağı bulabilecekleri öngörülmüyor. Hatta yakın bir gelecekte internetten uydu siparişi verilebilecek ve uydular kargo şirketleriyle müşterilere ulaştırılabilecek.

İlk küp uydu kavramı Stanford Üniversitesi profesörlerinden Robert Twigg tarafından ortaya atıldı. Kaliforniya Politeknik Üniversitesi ise 1999'da PolySat projesine kaynak ayırdı. Farklı disiplinlerden lisans ve lisansüstü öğrencilerinin oluşturduğu bir ekip bu projede çalışmaya başladı. Öğrenciler, uydu tasarlama, inşa etme, test etme, fırlatma ve çalıştırma alanlarında görev alıyor. Ekibin amacı uzayda yeni teknolojiler denecek ve çeşitli bilimsel araştırmaları gerçekleştirecek küçük uydular tasarlamak ve bunları üretmek. Yeni kurulan ve yenilik arayışındaki birçok firma da uzay çalışmalarına katkıda bulunmaya başladı. Bu çalışmalar son yıllarda hızla gelişen teknolojilerin de kullanılmasıyla daha hafif ve küçük hacimli uyduların geliştirilmesini olanaklı kıldı. Uzay teknolojilerinde yetkin yeni insan kaynağının yetişmesi de bu projelerle kolaylaşıyor. Proje, fırlatmayla ilgili izin, lisans ve onaylar

konusunda çalışmalarını kapsamıyor; katılımcılarının yalnızca uydu tasarım ve geliştirmeye odaklanmalarına olanak veriyor.

Geliştirilen standart gereği küp uydular boyut olarak 10x10x10 cm büyüklüğünde ve en fazla 1 kg olmak durumunda. Bu tanımlama 1 birim küp uydu için. Bir birim küp uydunun bir yönde uzatılmasıyla 2 birim, 3 birim uydular elde etmek de olanaklı. Artan ihtiyaçlar doğrultusunda bir birim küp uydunun kütlesi Ağustos 2009 itibarı ile 1.33kg olarak değiştirilmiştir. Dolayısı ile 3 birim uydu 4kg olabilecektir.

Günümüzde 100'den fazla üniversite, çeşitli amaçlarla küp uydu üretmek için çalışıyor ve diğer eğitim kurumları ve ticari firmalarla uluslararası işbirliği yapıyor. İlk küp uydular 2003'de fırlatıldı. Küp uydu geliştiricileri aralarındaki bilgi paylaşımından çeşitli yararlar sağlıyor.

Küp uydu (CubeSat) çalışmaları üniversiteler düzeyinde başlamış olmakla birlikte, günümüzde Northrop Grumman, Boeing, ESA, NASA gibi uzayla ilgili önde gelen kurum ve kuruluşlar da küp uydu geliştirme sürecine katılmış durumda. Söz konusu boyutlarda uydu teknolojisindeki şartıcı derecede hızlı gelişme, bilgisayar teknolojisindeki hızlı büyüme gibi kısa sürede beklenmedik etki yaratan, mevcut sistemlerin kullanımını tehdit eden ve ekonomik boyutlarını değiştiren bir teknolojik gelişme olarak değerlendiriliyor. Küp uydular boyut ve kütle kısıtları nedeniyle düşük hacim, dü-



İTÜpSAT1 mühendisleri uydu ana yapısını ısıl vakum odasında teste hazırlıyorlar

me, deneme ve testlerin yapılmasının ardından uydunun uçuş modeli üretildi. Uydunun uçuş modeli temiz oda ortamında hazırlanarak test edildi. Uygulanan başlıca testler, uzay ortamının benzetildiği 'ısıl-vakum odası testleri' ve fırlatma sırasında karşılaşılan yüklerin sınındığı titreşim testleriydi. Ayrıca uydunun 24 saat 50 oC'ta bırakıldığı pişirme testi gerçekleştirildi. Bu testlerde

şük güç, daha az yetenek ve ucuz yeni teknolojilerin, uydu bileşenlerinin uzay koşullarına yeterlilik denemelerinin gerçekleştirilmesi için kullanılıyor. İlkel açıdan, anında düşük çözünürlüklü bilginin, zamanı geçmiş yüksek çözünürlüklü olandan daha değerli olduğu söylenebilir.

Küçük boyutlu uydular (piko-nano-mikro) gerek üretim gerekse yörüngeye yerleştirme bakımından ve özellikle ekonomik olmaları nedeniyle günümüz büyük uydularının yerini almaya adaylar. Küçük boyutlu uyduların kümeler halinde, uydu grupları olarak kullanılmaları planlanıyor.

Piko uydular; radyo alıcı-vericisi olarak çalışmaları, geliştirilmiş alt sistemlerin denenmesi, GPS sinyallerinin incelenmesi, düşük maliyetli iletişim, resim çekmek, uzayda çalıştırılması planlanan yeni sistemlerin denenmesi gibi uygulamalı ve yere yakın uzaydaki radyasyon ölçümleri, plazma yoğunluğu ile manyetik alan ölçümü gibi bilimsel amaçlar için kullanılabilirler.

Tek uyduların yanı sıra, gelecekte çoğu gereksinimi bağımsız olarak karşılayacak piko, nano ve mikro uydu gruplarının (satellite constellations) yer bilimlerinde de uzay bilimlerinde de önemli uygulama ve araştırma alanlarında kullanılmaları bekleniyor. Yörüngede grup halinde çalışacak uydu sistemlerinin çok düşük maliyetli küresel iletişimin gerçekleştirilmesi hedefine ve yer manyetik alanındaki değişimlerin ölçümüne yönelik kullanılması da planlanıyor.

uydunun görevlerini başarıyla yerine getirdiğinin görülmesi, uydunun fırlatılmaya hazır olduğunu gösterir. Uydunun fırlatılması için piko uydu fırlatıcısı (SPL-Single Picosatellite Launcher) denilen özel bir kutu kullanılmaktadır. Bu kutunun uzaya yeterliliği daha önce sınanmış olduğundan, fırlatıcı kurum ve birlikte fırlatılacağı diğer uydular için risk oluşturmamaktadır.

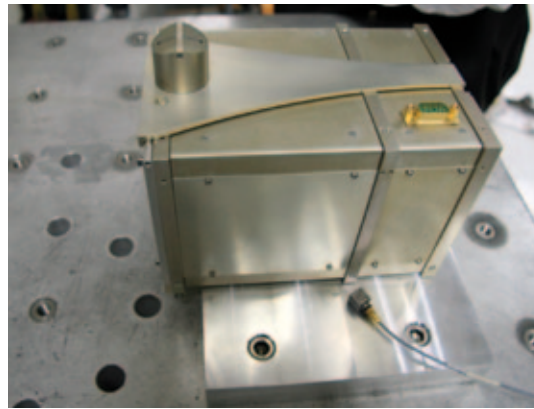
Uydunun uçuş modelinin testlerinin yapıp fırlatılması ve yörüngeye yerleştirilmesinden sonra, uydu kamerasının çektiği resimler proje kapsamında geliştirilen yer istasyonuna aktarılacak. Bu resimler ayrıca, topluma bilgi aktarma amacıyla hazırlanan internet sitesinde yayınlanacak (usl.itu.edu.tr). İTÜpSAT1'in Eylül 2009'da sonunda fırlatılması planlanıyor. Fırlatma işlemi Hindistan'da yapılacak. İTÜpSAT1 uydusu şu an Hindistan'ın Sriharikota kentindeki Satish Dhawan Uzay Merkezinde fırlatılmayı beklemektedir. Fırlatmayı üstlenen Antrix firması, PSLV adı verilen uzay fırlatma aracıyla küp uyduları bü-

yük uyduların yanında ikinci ya da üçüncü yük olarak fırlatıyor. Bu sayede, küp uydu üreticileri ucuza uydu fırlatma olanağı buluyor.

Her sınıf uyduda olduğu gibi küp uyduların da alt sistemleri var. Bunlar, uydu ana taşıyıcı yapısı, uydu ya da uçuş bilgisayar, yönetim belirleme ve kontrol sistemi, faydalı yük sistemi, elektrik güç sistemi ile haberleşme sisteminden oluşur. İTÜpSAT1'in büyüklüğü, yörünge ve işlevi nedeniyle ayrı bir ısı kontrol sistemine gerek duyulmadı.

İTÜpSAT1 uydusu şimdiden dünya küp uydu listesinde yerini almış bulunuyor. Küp uydu geliştiricileri arasında Türkiye'nin adı ilgili hemen her konferansta sunulan bildirimlerde geçiyor. İlgili internet sitelerinde de sıkça rastlanıyor. Bu projede yetişmiş insan gücü ilgili ulusal endüstride yerlerini almaya da başladı. Ayrıca, küp uydu çalışmalarına yeni başlayan ülkelere küp uydu geliştirme ve test etme konularında destek de verilmeye başlandı.

Gerçekleştirilmesi beklenen görevin büyük bir uydu yerine küçük uydulardan oluşan bir uydu grubuyla yerine getirilmesi, riski dağıtma, hedef bölgenin daha sık üzerinden geçme ve yedekleme açısından üstünlükler sunduğu için günümüz uydu teknolojisi bu tür çalışmalara yönelmektedir.



İTÜpSAT1 SPL içinde titreşim test masasında

#### Kaynaklar

Bournes, P., "CubeSat Experiments," 2009 CubeSat Developers' Workshop, Cal Poly, San Luis Obispo, Nisan 22-25 2009. (<http://cubesat.atl.calpoly.edu/pages/workshops/developers-workshop-2009.php>)  
MacGillivray, S., "Advanced CubeSat Capabilities," 2009 CubeSat Developers' Workshop, Cal Poly, San Luis Obispo, Nisan 22-25 2009.  
Puig-Suari, J., "Status of the Standards and Integration Service within the US," 2009 CubeSat Developers' Workshop, Cal Poly, San Luis Obispo, Nisan 22-25 2009.  
Kurtuluş, C., Baltacı, T., Toktamış, B., Akbulut, I., O. Haktanır, O., Inalhan, G., Ünal, M. F. ve A. R. Aslan "İTÜ pSAT I: Getting Ready For Launch," International Workshop on Small Satellites ,

New Missions and New Technologies, 5-7 Haziran 2008, İstanbul.  
Küp Uydu Topluluğu WEB sayfası: <http://cubesat.atl.calpoly.edu/>, Haziran 2009.  
Gelişmelere İlişkin Kararlar ve Değerlendirmeler, Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu Onbirinci Toplantısı 10 Mart 2005, TÜBİTAK, ANKARA.  
KRAMER, H. J. ve A. P. CRACKNELL, "An overview of small satellites in remote sensing," *International Journal of Remote Sensing*, Cilt. 29, No. 15, 10 Ağustos 2008, ss. 4285-4337.  
Konecny, G., "Small Satellites-A Tool for Earth Observation?" XX. ISPRS Congress, İstanbul, 2004. (<http://www.isprs.org/congresses/istanbul2004/comm4/comm4.aspx>)