

HABERLEŞME UYDULARINDA MONTAJ, ENTEGRASYON VE TEST AŞAMA SÜRECİNDE BULGULAR

Rahmi CENAN¹
Türksat A.Ş., Ankara

ÖZET

Haberleşme uydularının uzayda ömrü boyunca herhangi bir sorunla karşılaşmaması ve görevini tam olarak devam ettirebilmesi için uydu montaj, entegrasyon ve test işlemlerinin önemi oldukça büyüktür. Haberleşme Uyduları, üretim alanından fırlatma sahasına taşınmasına kadar geçen sürede ve fırlatma sahasında da uydunun uzay şartlarına uygun tasarım, montaj ve entegrasyon işlemlerinin doğruluğunun sağlanması için test merkezlerinde özel testlere maruz bırakılmaktadır. Tasarım aşamasında seçilen ekipmanların ve üretimi tamamlanan uydunun bu özel testlerden başarı ile geçmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada haberleşme uydularının tasarım aşamasından test süreçlerine ve görev yapacağı yörüngeye oturmasına kadar tüm uydu alt sistemlerinin doğrulanması ile ilgili olarak birebir uygulama ve çalışma ile tarafımdan edinilmiş bilgi, tecrübe ve bir uydu test merkezinde yer alan tesisler ve gerçekleştirilen testler hakkında bulgular aktarılmıştır.

GİRİŞ

Tarih boyunca vazgeçilmez bir ihtiyaç olan iletişim, özellikle son yüzyılda elde edilen gelişmelerle, insanoğlunun değişen gereksinimlerini karşılayacak biçimde şekillenmiştir. Özellikle uydu haberleşme sistemleriyle çok geniş bir yelpazede sunulan telekomünikasyon hizmetleri sayesinde, insanların birbirleriyle kolaylıkla haberleşebildiği, bilgiye kolay ulaşabildiği yeni ve güçlü bir dünya ortaya çıkmıştır. Haberleşme sistemlerinin çeşitlenmesi ve sunulan hizmetlerin, ülke sınırlarını aşmasının yanı sıra modern bir dünyanın gereği olarak bireyler ve toplumlar arasında kesintisiz, çabuk ve güvenilir iletişimin sağlanabilmesi için haberleşme uydularına olan ihtiyaç daha da artmıştır.

Günümüzde ileri teknolojiye sahip ülkelerin hemen hemen hepsi, bilgi toplumuna geçişin anahtar teknolojilerinden biri olarak bilinen, uydu teknolojilerine yatırım yapmaktadır.

Uydu üretebilmenin ilk adımı, uydu teknolojisi gibi çok hassas montaj, entegrasyon ve test faaliyetlerini kapsayan bir çalışmanın gereksinimlerini karşılayacak kapasitede, özel teknik donanım sahip bir üretim merkezin kurulmasıyla başlamaktadır.

Haberleşme Uydularının üretim, montaj, entegrasyon ve test süreçleri, daha önce elde edilen tecrübeler kapsamında, bu çalışmada detaylı olarak irdelenmiştir. Üretim süreci fizibilite ve tasarım ile başlamaktadır. Bu tasarım aşamasından sonra entegrasyon ve testler devam etmektedir. Haberleşme uydularında, alt sistem ekipmanlarının birleştirilmesinden sonra çeşitli testler yapılmaktadır. Uydu entegrasyon ve testlerinin tamamlanması sonrasında, uzay yolculuğu için uydu fırlatma alanına nakledilmektedir. Fırlatma yerinde ise fırlatmaya kadar devam eden hazırlık testleri gibi faaliyet gerçekleştirilmektedir.

¹ Teknik Uzman, Uydu Programları Direktörlüğü, E-posta: rcenan@turksat.com.tr

ÇALIŞMANIN BİLİMSEL TEMELLERİ

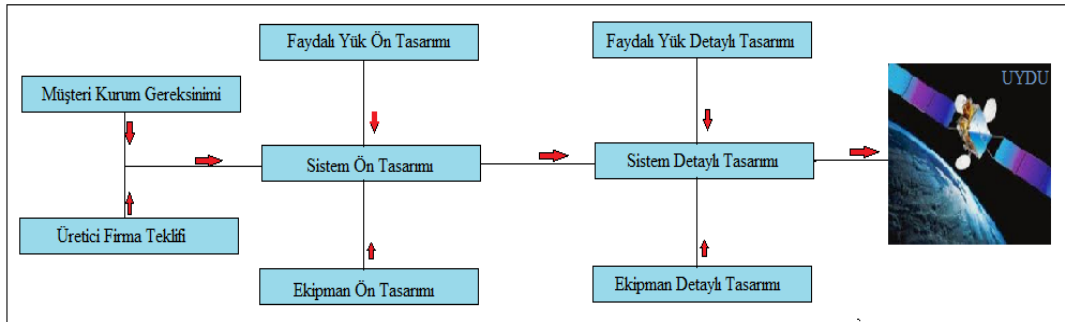
Dünya üzerinde bir yörüngede bulunan uydunun, yer yüzeyinde istenen bir noktaya yönlendirilebilmesi ve kesintisiz iletişimin sağlanabilmesi için uydu ile Yer'in eşzamanlı olması gerekmektedir. Aksi halde iletişimde kesiklik meydana gelecektir.

Uyduları kullanarak küresel haberleşme fikri ilk defa İngiliz bilim adamı ve bilim kurgu yazarı Arthur C. Clarke tarafından Mayıs 1945'te ortaya atılmıştır. Clarke, "Wireless World" isimli dergideki "Extra-Terrestrial Relays" başlıklı yazısı ile 36.000 km. yüksekliğe (Geo-senkron Yörüngeye) yerleştirilecek bir uydunun 24 saatte bir tur atacağını, uydu yerden bakıldığında sabit durduğu izlenimini vereceğini ve yörüngeye 120 derece aralıklarla oturtulmuş üç uydunun küresel radyo bağlantısını sağlayabileceğini öne sürmüştür [Clarke, 1945].

Clarke'ın makalesinin ardından haberleşme alanında büyük imkânlar sağlayabilecek bu fikrin pratik hayata uygulanmasına yönelik çalışmalar başlamıştır.

Haberleşme uyduları, yer eşzamanlı (Geostationary Orbit, GEO) olanlardır. Bu yörüngede uydular yer ekvatoru üzerinde, dairesel bir yörüngede hareket etmektedirler. Üzerindeki uydunun açısız hızı, dünyanın açısız dönüş hızına eşittir. Yer yüzeyinden 35.785 km yüksekte ve yaklaşık 3074 m/s hızla dolanma dönemleri yer ile aynı olan yörüngedir. Bu da demek oluyor ki tüm haberleşme uyduları bu tür yörüngede bulunmaktadır [Yaraşlı, 2009].

Haberleşme uydularında süreç, müşterinin uydu ihtiyacı ile başlar ve üreticinin ön çalışmaları ile devam eder. Firmalar, uydunun amacı, ağırlığı kapsama alanı ve yörünge bilgisi gibi girdileri alarak tasarım aşamasına geçerler. Doğruluğu sağlanan uydu montaj entegrasyon ve test aşamalarını geçerek kabul aşamasıyla sonlandırır. İki aşamalı bir tasarım süreci uygulanır. Bunlar; birincisi ön tasarım gözden geçirme dediğimiz (Preliminary Design Review, PDR), ikincisi ise kritik tasarım gözden geçirme (Critical Design Review, CDR) aşamalarıdır [Gülgönül, Demirel, Bulut ve Sözbir, 2010]. Bu aşamalar, alt sistem ve ekipman ön tasarım ile en son uydunun detaylı sistem tasarımının analizlerinin tamamlanmasıyla sona erer. Tüm bu süreçler Şekil-1' de gösterilmiştir.



Şekil 1: Haberleşme Uydusu Tasarım Süreci.

Öncelikle uydu test aşamalarının gerçekleştirilebilmesi için aşağıda verilen test sistemleri ve ekipmanların üretim merkezine kurulması ve tedarik edilmesi gerekmektedir. Bu sistemler şunlardır [Kahrıman, Bulut, Nefes ve Demirel, 2012; Şahin ve Atak, 2018]:

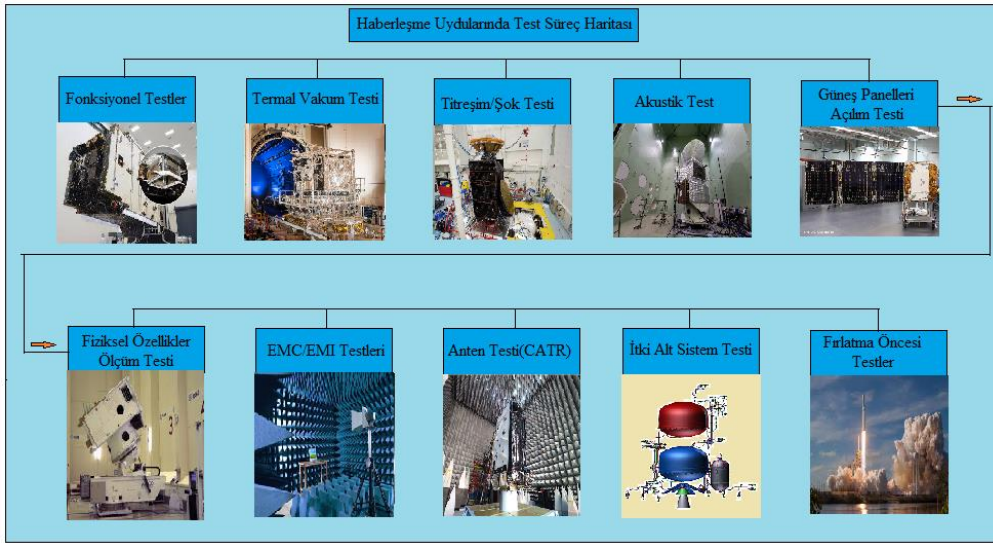
- Termal(Isıl) Vakum Odası
- EMC/EMI Laboratuvarı
- Akustik Test Odası
- Mekanik Laboratuvarlar
- Entegrasyon odası (100000 sınıf)
- Titreşim Test Tesisi
- Fiziksel Özellikler Ölçüm Sistemi
- Kompakt Anten Test Odası
- Mekanik Yer Destek Ekipmanları
- Elektriksel Yer Destek Ekipmanları

Haberleşme uyduları, tasarım ve üretim aşamasından sonra fırlatma ve servis ömrü boyunca başına gelebilecek olumsuzluklara karşı birçok testlere tabi tutulmaktadır. Gerçek senaryolarla oluşturulan bu testlerin süreç haritası, Şekil-2'de gösterilmiştir. Bu testlerin planlanması, gerekli test ekipmanlarının yerleştirilmesi, testlerin yapılması ve test sonuçlarının değerlendirilmesi uydu üretim

açısından çok önemli bir yer tutmaktadır. Uydu üretiminde önemli bir rol oynayan bu aşama için büyük bir zaman ve emek harcanmaktadır.

Bu testler aşağıda listelenmiştir[Knight, Remedya, Aglietti ve Richardson, 2018; Wilson, 1989]:

- Fonksiyonel Testler (FT)
- Termal Vakum Test (TVAC)
- Titreşim ve Şok Testi (Vibration Test)
- Akustik Test (Acoustic Test)
- Güneş Panelleri Açılım Testleri
- Fiziksel Özelliklerin Ölçümü (MCI –Mass, Center of Gravity, Inertia)
- Elektromanyetik Uyumluluk (EMC) / Elektromanyetik Etkileşim (EMI) Testleri
- Anten Testleri (CATR-Compact Antenna Test Range)
- İtke Alt Sistem Testleri
- Fırlatma Öncesi Testler



Şekil 2: Haberleşme Uydularında Test Süreç Haritası.

UZAY UYGULAMALARINDA BULGULAR

Bu kısımda görülen problemler, olumsuzluklar ve bunlar için gerekli çözüm yolları sonucu elde edilen bulgular tartışılacaktır. Örneğin uyduların uzaklığı ve hızlarının bulunması ile ilgili acil durumda kullanılacak bir yazılım programlaması yoktur. Özellikle bunun fırlatma sırasında çok gerekli olduğu görülmüştür. Normalde tasarımcılar bunu kendi sistemlerinde hesaplayıp uygulayıcıya göndermektedir. Fakat fırlatma başka bir ülkede ya da yerde olabilmektedir. Bu durumda sizin ihtiyaç halinde hız ve uzaklık hesaplamanız çok vakit alır. Bunun için yanınızda böyle bir programın hazır olması transfer ve diğer yörünge faaliyetleri için gerekmektedir. Fırlatma ve yerleştirme aşamaları için çok büyük öneme sahip olan bu hizmetin kalitesi ve süresi bakımından güncel ve pratik program dilinin kullanılması gerekmektedir.

Uydunun iskeletini oluşturan ve adına Merkezi Silindir denilen alüminyumdan yapılan ve bal peteğine benzeyen bu yapı tüm uyduyu taşımaktadır. Normal olarak üretilen bu silindirin üç ekseninde dayanım testlerinin yapılması gerekmektedir. Bazı firmaların bu testleri maliyet fazlalığı açısından sadece iki ekseninde yaptığı görülmüştür. Bunun çok riskli olduğu yapılan çalışmalarda anlaşılmıştır. Böylesine önemli bir ekipmanın tüm eksenlerde yapılması sağlanmalıdır.

Genellikle bazı uydu üreticileri özellikle itke alt sistemlerinin borulama kısımlarında kaynak yaptıktan sonra X-Ray Röntgenini çekerler. Bu olması gereken bir testtir. Fakat bu test sadece bu sistemle kalmamalıdır. Bu testin, Optik Güneş Yansıtıcısına (Optical Solar Reflector, OSR) uygulaması gerekir. OSR, uyduların dış yüzeylerinde bulunan bir ekipman olup, güneşten gelen ısı akısını minimum seviyede tutup uydu içerisinde oluşan ısıyı uzay ortamına atılması için kullanılmaktadır.

Yakıt dolum ve testleri, tehlikeli olduğu için gerçek yakıt kullanılmamaktadır. Bunun yerine ağırlık özelliğini yerine getirecek benzetim sıvıları, gaz veya su kullanılmaktadır. Dolum sırasında çeşitli boru filtre gibi ekipmanlar kullanılmaktadır. Normalde kullanılan filtrelerin sayısı olması gerekenden daha az ve yetersizdir. Dolum yapılırken yakıtın önce yedek bir tanka doldurulması ve dinlendirilmesi gerekmektedir. Aksi halde direkt birkaç filtreden geçen yakıtın içindeki mikron seviyesindeki kirlilik gerçek tanklara geçecek ve hizmet yörüngesinde çeşitli problemlere yol açacaktır.

Uydu üretim sistemlerinde, üretimin sürdürülmesinde temel üretim faktörleri olarak insan, makine ve malzeme kullanılmakta ve bunlar arasındaki etkileşim, insan tarafından sağlanmaktadır. En önemli faktör olan insanı korumak, ancak bu çalışma alanlarının ergonomik yapıya uygun hale getirilmesi ile mümkün olabilmektedir. Yapılan araştırmalarda, çalışma koşullarının kötü olması, aşırı ve uzun çalışma saatleri nedeniyle çalışanlarda oluşan motivasyon azalması ve yorgunluk sonucunda verimlilik düşüşleri gözlemlenmiştir. Bunun yanında sağlıklı çalışma koşullarının olması çalışanların solunum, dolaşım, kas ve sinir sistemini, enerji metabolizmasını ve moral yapısını da etkilediği görülmüştür.

Yörüngeleri üzerindeki hareketlerini üç eksenle yapmakta olan uyduların, ağırlık merkezi ve eylemsizlik gibi fiziksel özelliklerinin hassas olarak ölçülmesi gerekmektedir. Aksi halde ilgili parametrelerin uyumluluğu sağlanamamaktadır. Genellikle bu testler gece yapılmaktadır. Bu testlerin yapılabilmesi için temiz oda şartlarını sağlayan klima sistemlerinin en asgari seviyede çalıştırılması gerekmektedir. Ayrıca testi yapan kişi dışında test merkezinde çalışanların bu ortamda testin hassasiyeti sebebiyle bulunmaması gerekmektedir. Bu durum ise iş kaybına sebep olmaktadır. Bunun ayrı bir test alanının tahsis edilmesi gerekmektedir.

Termal Vakum Testleri, sırasında basınç, sıcaklık ve güneş radyasyonu dâhil olmak üzere yörünge ortamının simülasyonu ile uydu ve ekipmanlar ayrı ayrı test edilmektedir. Test ile tüm ekipmanların doğru bir şekilde çalıştıklarından emin olunmaktadır. Günümüz koşullarında bu testler ısı çubuklar kullanılarak yapılmaktadır. Ama daha hassas ve uzay koşullarına uygun testin yapılabilmesi için güneşi simule eden büyük lambaların kullanıldığı test sisteminin olması gerekmektedir. Üretici firmalar bu test sistemini çok pahalı olmasından dolayı kullanmamayı tercih etmektedirler.

Uydunun maruz kalacağı titreşim yükleri altındaki dayanıklılığını ölçmeye yarayan, titreşim testleri ile ilgili olarak genelde iki eksenli Shaker(titreşim veren alet) kullanılmaktadır. Bu uydu ve müşteriler açısından sıkıntılıdır. Titreşim testleri için uydunun tekrar tekrar adaptörden sökülüp geri takılması gerekmektedir. Bu uydu sağlığı açısından risklidir. Bunun için üç eksenli ve tek seferde montaj edilen Shaker kullanılması gerekmektedir. Bu üç eksenli test sistemi iki eksenliye göre biraz pahalı ama riski daha azdır. Oluşan maliyet farkı, tüm sistemin zarar görmesi açısından önemlidir.

Şok testleri ile ilgili olarak; tüm üreticilerin doğru test yaptığı görülmüştür. Ayrılma testi için fırlatma adaptörünün yere düşme mesafesi ve zarar görmemesi için alt kısma konan kauçuk malzeme çok iyi düşünülmüştür.

Akustik testler ile fırlatma sırasında oluşan, yüksek gürültünün simülasyonu ve uydunun oluşan muazzam strese dayanıp dayanamayacağının kontrolü yapılmaktadır. Bunun için önceden fırlatıcı bilgilerinin alınması gerekmektedir. Bazı üreticilerin tek firma ile çalıştığı ve buna göre tasarım yaptığı görülmüştür. Bu çok riskli bir durumdur. Çünkü müşteri kurum fırlatma için daha uygun fiyat ve kalite sunan fırlatıcıyı seçmek isteyebilmektedir.

Genel olarak test sistemlerinde üç tip boynuz hoparlör kullanılmıştır. Bu durum olumlu bir test sistemidir. Çünkü farklı frekanslarda test etme imkanı sağlamaktadır. Normal olarak bu testlerde iki farklı akışkan kullanılmaktadır. Bunlar, gaz Azot veya kuru havadır. Gerçekte fırlatma rampasında, uydu akustik etkiye hava ile maruz kalmaktadır. Genellikle üretici firmalar bu testleri, maliyeti daha az olan gaz Azot ile yapmaktadır. Daha iyi bir sonuç alınabilmesi için testlerin kuru hava ile yapılması gerekmektedir.

Uydu üzerinde bulunan ekipman veya alt sistemler tarafından üretilen elektromanyetik dalgalar, kullanılan hatlar tarafından dışarı doğru yayılabilmektedir. Bu EMI/EMC testi ile oluşan parazit seviyelerinin ölçülmesi ile ekipman ve alt sistemlerin biraz daha yüksek girişimlere maruz

kaldıklarında verimli çalışıp çalışmadıklarının kontrolü yapılmaktadır. Testler sırasında, test odasında bulunan aydınlatma lambalarının sisteme uygun seçilmediği ve aşırı parlak olduğu görülmüştür. Bunun dalga üzerine olumsuzluğu bulunmaktadır. Özellikle ekipmana giden sinyal ile gelen sinyal arasında önemli fark yapmaktadır.

Kompakt Anten (CATR) Testleri ile üretimi gerçekleştirilen uydunun, üzerinde bulunan antenlerin kapsama alanlarının belirlenmesi ve haberleşme modülünün baştan sona kapsamlı olarak test edilerek uyumluluğu ve doğruluğu sağlanmaktadır. Çoğu üretici firma üretilen uydunun boyutuna göre bir test odası hazırlamaktadır. Bu test odasında bulunan absorbe edici konik destekler ile yansıtıcı metal yüzeyler bulunmaktadır. Bu alanda değişik anten değerleri ve oluşturulan değişik kapsama alanları için farklı örneklerle testler yapılmaktadır. Uyduların çoğunda kapsama alanları farklılık göstermektedir. Daha doğru kapsama alanı ve kaliteli sinyalin alınması için burada kullanılan yansıtıcı plakaların iyi yerleştirilmesi gerekmektedir. Test için uyduların üzerine konulduğu taşıma ayaklarının her test aşamasında sökülüp takılması uydu sağlığı için tehlikeli ve sakıncalıdır. Bu olumsuzluğun giderilmesi için sabit ayaklı ve her boyut uydu için kullanılacak taşıma modülünün bulunması gerekmektedir. Ayrıca burada çalışanların test sırasında radyasyona maruz kalmayı önleyecek kıyafetleri giymesinin gerekliliği fark edilmiştir.

Haberleşme uydusu, ihtiyaç duyduğu tüm elektrik enerjisini Güneş'ten sağlayabilmek için güneş panellerini kullanmaktadır. Bu panellerinin uyduya ve uzay ortamına uygunluğunun sağlanması için Güneş Paneli Açılım testi yapılmaktadır. Güneş Panelleri açılım Testleri ve Flaş Patlatma Testleri, uydu gövdesine sabitlenmiş kapalı panellerin açılımının kontrolü için yapılmaktadır. Üretici ve müşteri kurum bu panellerin tamamen açıldığını ve sorun olmadığını görmek ister. Bu panellerin boyutu ihtiyaç duyulan enerji miktarına göre değişmektedir. Bağlantı mekanizmalarını serbest bırakmak için kullanılan piro valflerin yedekleri ile beraber doğru çalıştığının doğrulanması gerekmektedir. Yedek ancak ve ancak asıl çalışmadığı zaman harekete geçecektir. Fakat uzayda bunu görmek mümkün değildir. Ya açılmazsa ne olur? Bunun cevabını almak için en azından bir piro valf için bunun test edilmesi gerekmektedir.

SONUÇ

Uydunun uzaya fırlatılmasından sonra ortaya çıkacak problemlerin giderilmesi için yerden bir fiziksel müdahale olmayacağından dolayı uydu üretim, montaj, entegrasyon ve test süreci, gerek uzay ortamının şartları nedeniyle gerekse uydu sisteminin çok çeşitli disiplinler arası bilgi ve kaynak paylaşımı gerektirmesi nedeniyle standart üretim ve test süreçlerinden farklılıklar göstermektedir. Haberleşme uydularının bulunduğu, Dünya ile eşzamanlı olan GEO yörüngede, görevlerini sorunsuz bir şekilde tamamlayabilmesi için kusursuz tasarım ile beraber hatasız uydu entegrasyon ve test süreçleri büyük önem taşımaktadır.

Bu süreç uydunun tasarımı ile başlamakta ve yörüngeye yerleştirilmesi ile son bulan yoğun ve yorucu bir dönemdir. Tasarım ve tedarik aşamasını geçtikten sonra tüm alt sistem ve modüllerinin montajı ve entegrasyonu tamamlanmış olan her uydu, tüm sistem seviyesinde hassas ve kapsamlı testlere tabii tutulmaktadır. Böylece her test sürecini başarı ile tamamlayan uydular, ömrü boyunca maruz kalacağı çevresel etki ve ortamlardan korunmuş olacaklardır. GEO yörüngede sağlıklı bir şekilde görevini sürdürebilmesi açısından en önemli kriter olan montaj, entegrasyon ve test süreçlerini başarı ile geçmesi gerekmektedir.

Uydu sistemi, kendine özgü ve temelde uydunun beklenen görev ömrü süresince sürdürülebilirliğini sağlamaya odaklı kendine has metotları barındırır. Dolayısıyla, tasarım, üretim ve test aşamalarının her yönden gereksinimleri sağlaması ayrıca optimuma en yakın değerlerin üretilmesi gereklidir. Uydu üretim maliyetlerini belirleyen en önemli unsur olan test süreçlerinin iyi yönetilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, haberleşme uydularında montaj, entegrasyon ve testler ile bu test merkezlerinde yer alan ekipmanlar ve yapılan testlere ilişkin süreç bulguları verilmiştir. Ayrıca burada haberleşme uydularında entegrasyon ve test süreçleri ile ilgili olarak birebir uygulama ve çalışma ile edinilmiş bilgi ve tecrübeler aktarılmıştır.

Kaynaklar

Clarke, A. C., 1945. Extra-Terrestrial Relays., Wireless World Magazine, sayfa: 305-308.

Gülgönül, Ş., Demirel, S., Bulut, M., ve Sözbir, N., 2010. Haberleşme Uydularında Entegrasyon ve Test Süreçleri., III. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, Eskişehir, 16-18 Eylül.

Kahriman, A., Bulut, M., Nefes, M., ve Demirel, S., 2012. Uydu Test Merkezi ve Testler., IV. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, İstanbul, 12-14 Ekim.

Knight, C., Remedia, M., Aglietti, G.S., Richardson, G., 2018. Satellite Vibration Testing: Angle Optimisation Method to Reduce Overtesting., Acta Astronautica, Sayı: 147, Haziran 2018, Sayfa: 205-218.

Şahin, M., ve Atak, A., 2018. Uzay Araçları ve Uydularda Titreşim Testleri ve Test Süreçleri., VII. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, Kayseri, 12-14 Eylül.

Wilson, D., 1989. Vibration Testing for Small Satellites., Proceedings of the Third Annual AIAA/Utah State University Conference on Small Satellites: Center for Space Engineering, Utah State University, Logan, Utah, 26-28 Eylül.

Yaraşlı, A. F., 2009. Geniş Band Vsat Uydu Sistemleri ve Uydu Bant Genişliğinin Verimli Kullanılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.