

UZAY ARACI YAPILARI

Suat Ontaç¹

1. GİRİŞ

Uzay araçları, Dünya'nın yüzeyi ve atmosferi dışında ya da dış uzayda çalışmak üzere tasarlanmış araçlardır. Bu araçlar haberleşme, yer gözlem, meteoroloji, navigasyon, gezegen ve derin uzay araştırmaları, insan ve kargo taşımacılığı gibi çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Uydular, bilinen ve kullanılan en önemli uzay araçlarıdır.

Uzay araçları, görev yükü ve platform adı verilen iki ana bölümden oluşmaktadır. Görev yükü, her bir uzay aracı için o göreve özgün olarak kullanılmakta, böylece o uzay misyonunun amacını ortaya koymaktadır. Görev yükleri, veri ya da bilgi toplama, işleme, alma, gönderme ya da kaydetme gibi işlevleri yerine getirebilir. Optik kameralar, radarlar, televizyon yayını ve internet aktarıcılar ve navigasyon gibi görev yükleri en çok kullanılan örneklerdir.

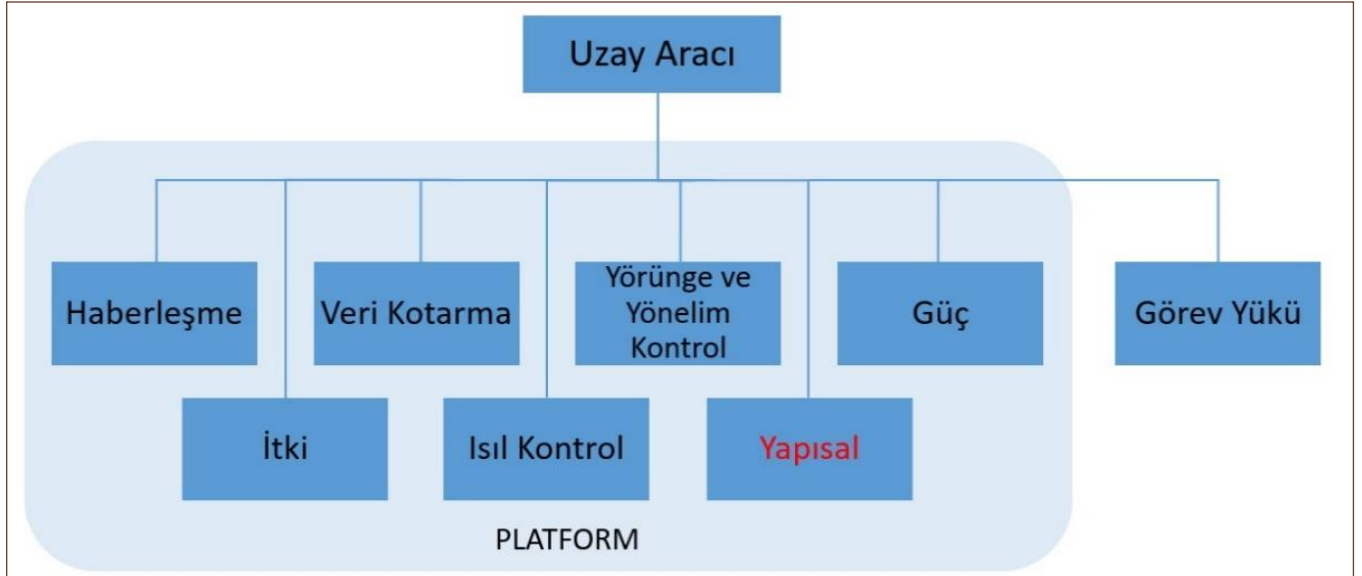
Uzay aracı platform bölümü ise birçok alt sistemin bir

araya gelmesi ile oluşan, görev yükünün ve uzay aracının işlevini yerine getirmesini sağlayan kısımdır. Güç, haberleşme, veri kotarma, yörünge ve yönelim kontrol, itki, yapısal ve ısı kontrol gibi alt sistemler en önemli platform bileşenleridir. Bir uzay aracına yönelik örnek bir alt sistemler ağacı Şekil 1'de verilmektedir.

Yapısal alt sistem, uzay araçlarının en kritik alt sistemlerinden biridir ve genel olarak uzay aracı yapıları ("spacecraft structures") olarak adlandırılır. Bir uzay aracı için yapısal alt sistem, en basit tabiri ile aracın iskeleti olarak tanımlanabilir ve başlıca görevleri şu şekildedir:

- Uzay aracının yer, test, fırlatma ve yörüngede karşılaşacağı tüm yük koşullarına karşı dayanımını sağlamak ve bu yükler altında hasar oluşmasını önlemek,
- Uzay aracı için gerekli olan katılık ve doğal frekans gereksinimlerini sağlamak,

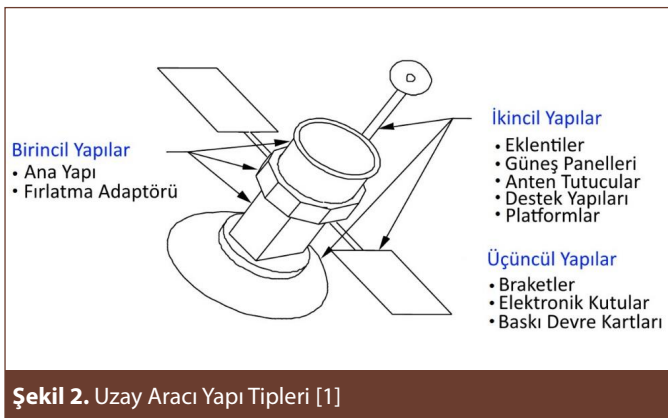
¹ Makine Yük. Müh., Yapısal ve Mekanik Tasarım Grup Lideri, TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü - suat.ontac@tubitak.gov.tr



Şekil 1. Uzay Aracı Alt Sistemleri

- Uzay aracının ana iskeletini oluşturmak, yük yolu ve dağılımını sağlamak,
- Diğer alt sistemleri çevrelemek, korumak ve bir arada tutmak; ısı, radyasyon ve mikro-meteor etkilerine karşı koruyucu bir kalkan oluşturmak,
- Uzay aracının fırlatma aracıyla olan mekanik arayüzünü sağlamak, fırlatma aracından gelen titreşimi izole etmek ve sönmölemek; fırlatma aracından ayrılmayı gerçekleştirmek,
- Sensörlerin ve antenlerin görev boyunca gereksinim duyacağı kararlılığın korunmasını sağlamaktır.

Uzay aracı yapıları, işlev bakımından kendi içinde üç farklı tipe ayrılmaktadır:



Şekil 2. Uzay Aracı Yapı Tipleri [1]

- Birincil Yapılar: Fırlatma aracı ile uzay aracı arasındaki arayüzü sağlayan, ana yük yolunu oluşturan ve bu yükü taşıyan yapılardır.
- İkincil Yapılar: Uzay aracı üzerindeki güneş panelleri, anten destek yapıları, uzatma yapıları gibi tüm eklenti ve destek yapılarıdır.
- Üçüncül Yapılar: Ana işlevi yük taşımak olmayan, elektronik birim kutusu, sensör braketleri, soğutma parçası gibi montaj amaçlı yapılardır.

2. TASARIM

Bir uzay aracının yapı tasarımı üç ana aşamaya ayrılmaktadır: Konfigürasyon belirleme, ön tasarım ve detaylı tasarım. Yapısal tasarım çalışmaları tekrarlamalı - yenilemeli (iteratif) bir süreç olup, tasarımın belli aşamalarında geriye dönük geri bildirimler, düzenlemeler ve güncellemeler yapılabilmektedir.

Konfigürasyon belirlenirken öncelikle görev gereksinimleri ele alınır. Daha sonra fırlatma aracının sınır koşulları göz önüne alınmalıdır. Bu sınır koşulları (uzay aracı kütlesi, uzay aracı hacmi, uzay aracı ayrılma adaptörü arayüz bilgisi, çevresel yükler, güvenlik faktörleri) fırlatma araçlarının kullanıcı el kitaplarında verilmektedir.

2.1 Genel Tasarım Gereksinimleri

2.1.1 Kütle Özellikleri

Uzay aracı, fırlatma aracı tarafından verilen kütle ve kütle merkezi gereksinimlerini karşılamak durumundadır. Fırlatma araçlarının, uzay aracı için farklı yörüngelere özgü maksimum kütle kısıtları mevcuttur. Ayrıca, aşırı yüklenmeyi önlemek amacıyla uzay aracının kütle merkezinin belli bir hacim içinde bulunması istenmektedir.

2.1.2 Katılık ("Stiffness")

Fırlatma araçlarının katılık gereksinimleri mevcuttur ve bu değerler fırlatma aracını kullanacak uzay araçları için fırlatıcı kullanıcı el kitaplarında belirtilmektedir. Burada amaç, fırlatma aracı ile uzay aracının doğal frekans değerlerinin eşleşmesini ve dolayısıyla rezonans oluşmasını engellemektir. Fırlatıcı el kitaplarında, uzay araçlarından hem yanal hem de dikey yönlerde istenen en az ya da en yüksek doğal frekans gereksinimleri yer almaktadır. Uzay aracı yapısal tasarımında bu değerler dikkate alınmalı ve bu gereksinimler karşılanmalıdır.

Ayrıca, uzay aracı üzerinde yer alan ekipman ve bileşenlerin tasarımında da katılık gereksinimleri önem arz etmektedir. Burada amaç ise bu bileşenlerin uzay aracı yapısı ile bir dinamik eşleşme yaşamasını ve rezonansa girmesini engellemektir. Bunu gerçekleştirmek için bir bileşenin ya da ekipmanın doğal frekans değerini, bağlanacağı uzay aracı yapısının doğal frekansından uzak tutmak gerekir. Genel bir kural olarak, her bir ekipman ya da bileşenin doğal frekans değeri, bağlı olduğu sistemin doğal frekans değerinin en az $\sqrt{2}$ katı kadar olmalıdır. Pratikte ise, güvenli tarafta kalmak amacıyla, bileşen doğal frekans değerinin monte edildiği sistemin frekansının 2 katı olacak şekilde tasarım yapılması uygun olacaktır.

2.1.3 Yük Koşulları

Uzay aracı, tüm ömür çevrimi (üretim, entegrasyon, test, fırlatma ve yörüngedeki görev) boyunca maruz kalacağı çevresel yüklere ve koşullara dayanabilmelidir. Bu nedenle, uzay aracının tüm yapısı ve bileşenleri bu yük koşullarına dayanabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Yapısal tasarım sürecinde, yük koşulları, yapının davranışı ve bu davranış sonucu oluşacak mekanik gerilmeler belirlenmeli ve hesap edilmelidir. Bu bilgiyi kullanarak da sorunsuz ve olabildiğince hafif bir yapı tasarlanmalıdır.

Çevresel koşullar doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal koşullar iklimsel, ısı, kimyasal ve vakum, radyas-

yon ve uzay çöpü ortamı olarak tanımlanabilir. Yapay koşullar ise yer operasyonlarından kaynaklı mekanik yükler, fırlatma kaynaklı yükler, yörüngedeki manevra kaynaklı yükler, termo-elastik yükler, atmosferden giriş yükleri ve yere iniş yükleri olarak tanımlanabilir.

Yapısal tasarım bakımından fırlatma yükleri en önemli tasarım kriteri olarak kabul edilir. Bu dinamik yüklerin oluşum kaynakları ve tanımlamaları şu şekildedir [2]:

Durağan ivmelenme (Sanki-statik) yükleri: Bu yükler fırlatma aracının hareketi boyunca uzay aracının kütle merkezi üzerinde oluşan eşlenik statik yükleme olarak tanımlanabilir.

Sinüs titreşim yükleri: Bu yükler fırlatma aracının kalkış yaptığı ve ateşleme yaptığı sırada oluşturduğu düşük frekanslı sinüs titreşim yükleridir.

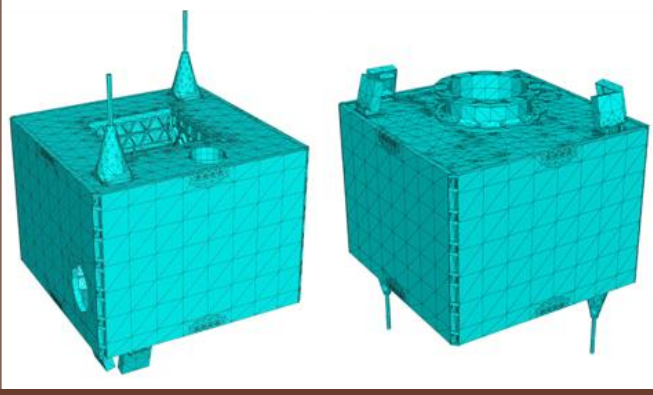
Rastgele titreşim yükleri: Bu yükler akustik yüklerin ve sınır tabakası türbülansının fırlatma aracı üzerinde oluşturduğu mekanik titreşim yükleridir. Bu mekanik yükler uzay aracı arayüzünde rastgele titreşim yükü olarak meydana gelir.

Akustik yükler: Bu yükler fırlatma aracı motorlarının çalışmasından kaynaklı gürültü, fırlatma aracı yüzeyinde oluşan hava akımı nedeniyle oluşan gürültü ve aerodinamik gürültü nedeniyle oluşan akustik yüklerdir.

Şok yükleri: Bu yükler fırlatma aracı kademelerinin ayrılması, uzay aracının fırlatma aracı başlığından ayrılması ya da uzay aracı üzerindeki bazı bileşenlerin açılması esnasında, genellikle piroteknik olaylar nedeniyle meydana gelen kısa süreli şok yükleridir.

3. ANALİZ

Tasarım çalışmaları sırasında doğrulama amacıyla ve yapısal testler öncesinde ön bilgi almak için yapısal analiz çalışmaları gerçekleştirilir. Bu analizler sonlu elemanlar metodu temeline dayanmakta ve ticari sonlu eleman analizi yazılımları kullanılarak yapılmaktadır. Analiz çalışmalarında, standart bir süreç olarak önce uzay aracının sonlu eleman modeli oluşturulur, daha sonra sınır koşulları ve varsa yük koşulları tanımlanır. Gerek duyulan yapısal analiz gerçekleştirilir ve sonuçlar elde edilir. RA-SAT Uydusu'na ait sonlu eleman modeli Şekil 3'te örnek olarak verilmektedir.



Şekil 3. RASAT Uydusu Sonlu Eleman Modeli

3.1 Modal Analiz

Tüm uzay aracı ya da sistem bileşenleri için dinamik eşleşme ya da rezonans olup olmadığını kontrol etmek amacıyla doğal frekanslar ve mod şekilleri bulunmaktadır.

3.2 Termo-Elastik Analiz

Uzay aracı, özellikle yörüngedeki görevi sırasında yüksek sıcaklık değişimleriyle karşılaşmaktadır. Bu değişim yapı üzerinde ısıl bozulmalara (deformasyonlara) neden olabilmekte ve bunlar özellikle optik ekipmanların ya da antenlerin ayarlarını bozabilmektedir. Bu amaçla, özellikle optik bileşen bulunduran uzay araçları için tasarım aşamasında termo-elastik analiz yapılmalıdır. Isıl bozulmaları hesaplayabilmek için öncelikle bir ısıl analiz yapılmalı, yapı üzerindeki sıcaklık dağılımı elde edilmeli ve bu dağılımın yapı üzerinde neden olduğu yapısal bozulmalar belirlenmelidir.

3.3 Sinüs Titreşim Analizi

Sinüs titreşim spektrumu etkisinde kalan uzay aracı yapısının ivme ve yer değiştirme yanıtları bulunmaktadır. Bu ivme ve yer değiştirmelerden kaynaklı gerilmeler belirlenerek, yapının sinüs titreşim yükleri altındaki güvenlik marjini ("MoS – Margin of safety") hesaplanır.

3.4 Rastgele Titreşim Analizi

Rastgele titreşim istatistik olarak ifade edilir ve Spektrel Güç Yoğunluğu (PSD – "Power Spectral Density") adı verilen bir fonksiyon ile tanımlanır. Analiz yapılırken, fırlatıcı tarafından verilen bu PSD fonksiyonu girdi olarak kabul edilir, Miles eşitliği ("Miles' equation") ve efektif modal kütle modellerinin kullanıldığı bazı özel teknikler de kullanılarak analizler gerçekleştirilir. Böylece, rastgele

titreşim yüklerine maruz kalan uzay aracı yapısının ve alt bileşenlerinin ivme ve gerilme yanıtları bulunmaktadır. Bu ivme ve yer değişimlerinden kaynaklı gerilmeler belirlenerek, yapının rastgele titreşim yükleri altındaki güvenlik marjini hesaplanır.

3.5 Mukavemet Analizi

Uzay aracı yapısının mukavemet özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan sonlu eleman analizidir. Bu analizler ile yapının bileşenlerinde oluşan gerilme dağılımı elde edilir ve yapı malzemesinin kabul edilebilir gerilme değerleriyle karşılaştırılır. Bu analizlerde her bir bileşen için güvenlik marjini hesaplanır ve bu marjinlerin sıfırdan büyük olmasına dikkat edilir.

3.6 Akustik Analiz

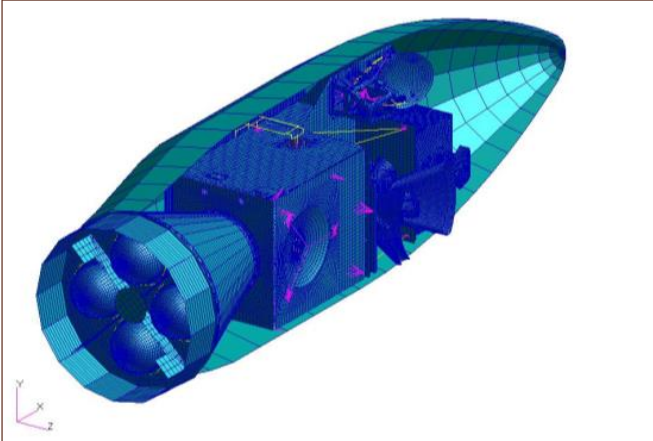
Güneş panelleri, reflektör antenler gibi uzay aracının dışına monte edilen, hafif ve yüzey alanı büyük yapılar akustik yüklerle oldukça hassastırlar. Özellikle fırlatma sırasında bu yapılar oldukça yüksek ses basıncına maruz kalırlar. Hem bu yapıların hem de uzay aracının akustik yüklerle karşı olan davranışlarını ve dayanımlarını görmek amacıyla, sonlu eleman metodunu ve sınır elemanı metodunu kullanan bir birleşik analize gereksinim duyulur. Bu analiz ile uzay aracının akışkan-yapı etkileşimi simüle edilir. Birleşik analizde, uzay aracının yapısal davranışı sonlu eleman metoduyla, akışkanın etkisi ve akustik yüklerin etki analizleri ise sınır elemanı metodu ile gerçekleştirilir.

3.7 Şok Analizi

Uzay aracının fırlatma aracından ayrılması sırasında ya da başka bir piroteknik ayrılma gerçekleştiği zaman ortaya çıkan şok yüklerinin araçta yer alan bileşenlere olan etkisi incelenmelidir. Bu analizler tasarım aşamasında gerçekleştirildiğinde olası fazla yüklenme durumu için önlem alınabilmektedir. Bu amaçla, noktasal ve çizgisel şok kaynakları belirlenerek şoka duyarlı bileşen ve malzemelere olan etkisi de elde edilmektedir.

3.8 Bağlantılı Yük Analizi ("Coupled Load Analysis")

Bu analiz çalışması fırlatma hizmeti veren kurumlar tarafından gerçekleştirilmektedir. Analizin amacı, fırlatma esnasında fırlatma aracı ile uzay aracı arasındaki dinamik ilişkiyi ortaya koyarak karşılıklı davranışı görmektir. Bu amaçla uzay aracını geliştiren kurum tarafından uzay



Şekil 4. Örnek Bir Bağıntılı Yük Analiz Modeli

aracının sadeleştirilmiş bir sonlu elemanlar modeli hazırlanır ve fırlatma firmasına iletilir. Fırlatma firması ise bu modeli kendi fırlatma aracı modeline entegre eder ve analizi gerçekleştirir. Analiz sonunda elde edilen sonuçlar, ayrıca uzay aracının yapısal testleri sırasında yüksek seviyede yük verilmesine de engel olmaktadır. Örnek bir fırlatma aracı-uzay aracı birleşik sonlu eleman modeli Şekil 4'te verilmektedir.

4. MEKANİK TESTLER

Mekanik testler, uzay aracının ve alt bileşenlerinin yapısal bütünlüğünü, yük dayanımlarını ve yükleme sonrası işlevselliğini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen testlerdir.

4.1 Modal Tarama Testi

Modal tarama testleri, uzay aracının ya da bileşenin doğal frekanslarını ve mod şekillerini saptamak amacıyla her üç eksen (yanal eksenlerde ve dikey eksen)de ayrı ayrı gerçekleştirilen düşük seviye sinüs tarama testleridir. Bu testlerden alınan veriler hem uzay aracının fırlatıcısının katılık gereksinimini sağlayıp sağlamadığını belirlemek hem de uzay aracının sonlu eleman modelini güncellemek için kullanılmaktadır.

4.2 Statik Test

Statik testler, uzay aracının fırlatma aracı tarafından verilen statik ya da sanki-statik yüklere karşı olan dayanımını saptamak amacıyla gerçekleştirilen testlerdir. Bu testler bir statik test altyapısı kurularak, hidrolik ya da mekanik sistemlerle yapıya statik yükleme şeklinde yapılabileceği

gibi, titreşim test cihazı (sarsıcı tabla) üzerinde kısa süreli bir sinüs yükü uygulayarak da gerçekleştirilebilir.

4.3 Sinüs Titreşim Testi

Sinüs titreşim testler, uzay aracının ya da ekipmanlarının, fırlatma aracı tarafından verilen ya da ilgili standartlarda belirtilen sinüs titreşim yüklerine karşı gösterdiği davranışı belirlemek için gerçekleştirilen testlerdir. Bu testler titreşim test cihazı üzerinde sinüs titreşim yükü uygulayarak yapılır, öncesinde ve sonrasında ise, uzay aracının ya da ekipmanın işlevsel testi gerçekleştirilir. Ayrıca, sinüs titreşim testi öncesi ve sonrasında da düşük seviye sinüs tarama testleri yapılarak sonuçlar karşılaştırılır. Böylece sinüs titreşim testinden kaynaklı herhangi bir yapısal hasar olup olmadığı belirlenir.

4.4 Rastgele Titreşim Testi

Rastgele titreşim testleri, uzay aracının ya da ekipmanlarının, fırlatma aracı tarafından verilen ya da ilgili standartlarda belirtilen rastgele titreşim yüklerine karşı gösterdiği davranışı belirlemek için gerçekleştirilen testlerdir. Bu testler titreşim test cihazı üzerinde rastgele titreşim yükü uygulayarak yapılır. Bunun öncesinde ve sonrasında ise, uzay aracının ya da ekipmanın işlevsel testi gerçekleştirilir. Ayrıca, rastgele titreşim testi öncesi ve sonrasında da düşük seviye sinüs tarama testleri yapılarak sonuçlar karşılaştırılır. Böylece rastgele titreşim testinden kaynaklı herhangi bir yapısal hasar olup olmadığı belirlenir. RASAT Uydusu'nun rastgele titreşim testine ait bir görsel, Şekil 5'te verilmektedir.



Şekil 5. RASAT Uydusu Rastgele Titreşim Testi

4.5 Akustik Test

Akustik testler, uzay aracının ya da yüzey alanı büyük bileşenlerinin, fırlatma aracı tarafından verilen ya da ilgili standartlarda belirtilen akustik yüklere karşı gösterdiği davranışı belirlemek için gerçekleştirilen testlerdir. Bu testler akustik test odası adı verilen özel odalarda yüksek seviyelerde ses basıncı yükü uygulayarak yapılır, öncesinde ve sonrasında uzay aracının ya da ekipmanın işlevsel testi gerçekleştirilir. Ayrıca, akustik test öncesi ve sonrasında da düşük seviye akustik testler yapılarak sonuçlar karşılaştırılır. Böylece akustik testten kaynaklı herhangi bir yapısal hasar olup olmadığı belirlenir. TÜRKSAT 6A Uydusu'nun akustik testine ait bir görsel Şekil 6'da verilmektedir.

4.6 Şok Testi

Şok testleri, uzay aracının ya da ekipmanların, fırlatma aracı tarafından verilen ya da ilgili standartlarda belirtilen şok yüklerine karşı gösterdiği davranışı belirlemek için gerçekleştirilen testlerdir. Bu testler piroteknik, mekanik, pnömatik kaynaklı düzeneklerde oluşturulan yüksek seviyeli şok yükü uygulayarak ya da titreşim cihazında çok kısa süreli darbe uygulayarak yapılır, öncesinde ve sonrasında uzay aracının ya da ekipmanın işlevsel testi gerçekleştirilir.

5. MALZEME VE ÜRETİM

Uzay aracı yapısal tasarım sürecinin en önemli adımlarından biri de malzeme seçimidir. Bu seçimin, yapının kütlesi, üretim maliyeti, dayanımı, güvenilirliği gibi birçok konuda önemli etkisi olmaktadır. Literatürde, uzayda kullanılmış ve başarıyla görev yapmış birçok malzeme çeşidi yer almaktadır. Birincil yapılar için genellikle metaller ve kompozit malzemeler kullanılmaktadır. İkincil ve üçüncül yapılar için ise bu listeye endüstriyel plastikler ve seramikler de eklenebilir.

Uzay araçları, yörüngede, vakum ortamına maruz kalmaktadır. Bu nedenle, özellikle polimer tabanlı malzemeler gaz salınımı ("outgassing") adı verilen durumu yaşamaktadır. Gaz salınımı, malzeme içerisinde sıkışmış ve birikmiş bazı maddelerin düşük basınç nedeniyle gaz halinde dışarı çıkması olayıdır. Ortam basıncı düştükçe gaz salınımı oranı artar. Bu nedenle yüksek yörüngelerde ya da derin uzayda görev yapan uzay araçlarında yer alan

malzemelerin gaz salınımı yatkınlığı alçak yörünge uzay araçlarında yer alan malzemelere göre daha fazladır. Gaz salınımı fazla olan malzemeler genellikle ısı yalıtım, yapıştırıcı, boya ve kimyasallar ve kompozit malzemelerin içerisindeki yapıyı bir arada tutmaya yarayan matris malzemeleridir.

Gaz salınımının iki tane önemli istenmeyen etkisi vardır:

- Bazı kritik malzemelerin özelliklerini kaybetmesine neden olabilir,
- Ortaya çıkan gazlar, lensler, aynalar, algılayıcılar, ısı kontrol kaplamaları gibi bazı kritik yüzeylerde kirlenmeye ve işlevlerini yitirmelerine neden olabilir.

Uzay araçlarında kullanılan malzemeler seçilirken, düşük ve kabul edilebilir oranda gaz salınımı yapan malzemeler tercih edilmelidir.

5.1 Metaller

Uzay aracı yapısal tasarım sürecinde kullanılan metaller genellikle alaşım şeklindedir ve farklı tasarım kriterleri için çok çeşitli türleri vardır. Alüminyum alaşımlar en çok kullanılan malzemeler olmakla birlikte titanyum, paslanmaz çelik, İnvar, berilyum ve magnezyum da gerek duyulduğunda çokça tercih edilmektedir. Metal malzemeler genel olarak izotropik davranış göstermektedir (tüm yönlerde aynı mekanik özelliği göstermektedir) ve bu sayede malzemenin mekanik ve ısı özellikleri ko-



Şekil 6. TÜRKSAT 6A Uydusu Akustik Testi



Şekil 7. Örnek Bir Alüminyum Uydu Yapısı

nuılmadan bağımsız olarak verilebilmektedir. Metal alaşımlar çoğunlukla aynı gerilim-gerinim eğrisi profilli göstermektedirler. Dolayısıyla yükleme durumunda öncelikle elastik deformasyon oluşmakta, sonra plastik (kalıcı) deformasyon oluşmakta ve daha sonra da kopma gerçekleşmektedir. Uzay aracı yapısal alt sisteminde metal alaşımların kullanımına yönelik bir örnek görsel, Şekil 7'de verilmektedir.

5.2 Kompozitler

Uzay aracı yapılarında kullanılan ve gün geçtikçe kullanım oranı artan bir diğer malzeme türü ise kompozit malzemelerdir. Genel olarak bir kompozit malzeme, her iki bileşene ait özelliklerin birleşimiyle daha iyi özellikteki kombinasyonlarının elde edildiği çok fazlı bir malzeme olarak düşünülebilir. Kompozitler genel olarak matris ismi verilen bir yapıştırıcı malzeme ve takviye elemanı ismi verilen daha mukavim bir katı malzemeden ("fiber") oluşturulur. Takviye malzemesinin ana görevi dayanıklılığı sağlamak ve yük taşımaktır. Matris malzemenin görevi ise takviye malzemesini bir arada tutmak, yükü fiberlere aktarmak, dağıtmak ve kompozit yapıyı dış etkenlerden korumaktır. Kompozit malzemeler genel olarak anizot-



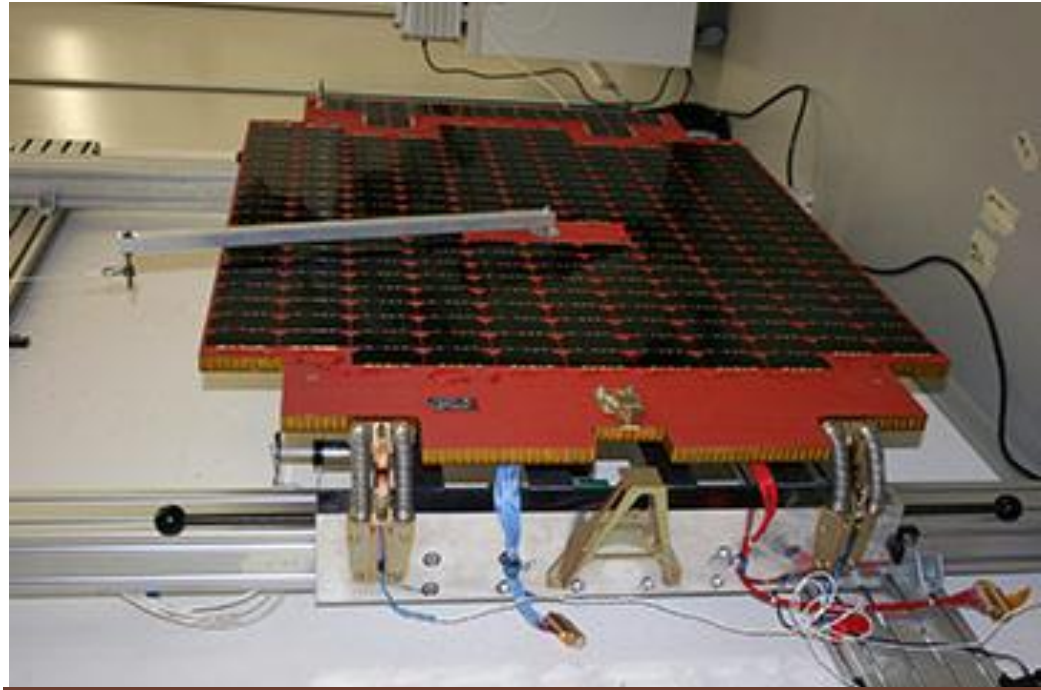
Şekil 8. Örnek Bir Kompozit Uydu Yapısı

ropiktir, yani farklı yönlerde farklı mekanik özellikler göstermektedir. Uzay aracı yapısında kompozit malzemelerin kullanımına yönelik örnek bir görsel, Şekil 8'de verilmektedir.

6. MEKANİZMALAR

Mekanizmalar, bir işlevi yerine getirmek için hareket eden ya da hareket halinde olan sistemlerdir. Bu hareketler çizgisel, dönme, kayma ya da ayrılma şeklinde gerçekleşebilir. Uzay araçlarında farklı tipte ve işlevlerde mekanizmalar sıklıkla kullanılmaktadır. Bu mekanizmalar üç tipe ayrılmaktadır:

Açılma mekanizmaları: Güneş paneli, anten, kamera koruma kapağı gibi uygulamalarda kullanılan, fırlatma esnasında kapalı konfigürasyonda bulunan bir ekipmanın yörüngede açılarak görev yapmasına olanak veren me-



Şekil 9. Göktürk 2 Uydusu Güneş Paneli Açılma Mekanizması

kanizmalardır. Açılmayı gerçekleştirmek için piroteknikler, ısıl bıçaklar ya da paylayıcı içermeyen kimyasal tetikleyiciler kullanılmaktadır.

Ayrılma mekanizmaları: Roket kademelerinin fırlatma aracından, uyduların fırlatma aracından ve görev yüklerinin uzay araçlarından ayrılması amacıyla kullanılan mekanizma sistemleridir. Bu sistemler genellikle ayrılma öncesi bir yay ya da esnek bir yapısal bileşenle tutturulmakta, piroteknik ya da patlayıcı içermeyen kimyasal tetikleyiciler kullanılarak yaylı sistem serbest bırakılmakta ve böylece ayrılması istenilen sistem belli bir enerji ile serbest kalmaktadır.

Döndürme mekanizmaları: Güneş paneli, anten, jiroskop gibi uygulamalarda kullanılan, bir ekipmanın ya da sistemin dönerek işlevini yerine getirmesine olanak sağlayan mekanizmalardır. Bu mekanizmalar, yüksek güvenilirlikli step motorlar ve hassas harmonik sürücü redüktörler gibi bileşenler içermektedir.

7. SONUÇ

Bir uzay aracı yapısı tasarlamak önemli olduğu kadar kendi içinde zorluklar da barındırmaktadır. Uzay aracının

görevinde başarılı olması için sağlam ve işlevini kaybetmeyen bir yapı olması, oldukça kritiktir. Bu görev uzay aracının yerdeki test çalışmaları ile başlar, yörüngedeki ömrünün sona erimesi ile tamamlanır. Yapısal alt sistem, özellikle fırlatma esnasında kritik önem taşır. Fırlatma aracı ile olan fiziksel ve hacimsel uyumu yapısal alt sistem sağlar. Ayrıca, uzay aracının fırlatmadan kaynaklı yüklerle karşı dayanımı ve bütünlüğünü koruması yine yapısal alt sistemin sorumluluğundadır. Bu sorumlulukların yerine getirilebilmesi için yapının yeterince sağlam olmasının yanı sıra olabildiğince hafif ve üretilebilir olması gerekmektedir. Ayrıca, yapısal bileşenlerin tasarım ve üretim süreçleri maliyet ve takvim açısından proje kaynakları ile uyumlu olmalıdır. Tüm bu gereksinimleri karşılamak ve optimum bir çözüm ortaya koymak için farklı uzmanlık alanlarına sahip, yetkin ve donanımlı bir ekibe gereksinim duyulacağı unutulmamalıdır.

KAYNAKÇA

1. Sarafin T. P., Larson W. J. 2003. "Spacecraft Structures and Mechanisms – From Concept to Launch", ISBN: 1-881883-03-5, Microcosm, Inc.
2. Wijker J. J. 2008. "Spacecraft Structures", ISBN: 978-3-540-75552-4, Springer-Verlag Berlin Heidelberg