

NART – NANO VE KÜP UYDULAR İÇİN BOYUTLANDIRILABİLİR MODÜLER UYDU YAPISI ALT SİSTEMİ

Murat Süer*, Erdinç Yakut† ve Cem Oran‡
GUMUSH – Gümüş Uzay Savunma Havacılık
Ltd. Şti., İstanbul

Alim Rüstem Aslan§
İTÜ - İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

ÖZET

Uzay teknolojisinde yaşanan gelişmeler ile kabiliyetleri ve kullanım alanları hızla artan nano uydular günümüz uzay teknolojilerinde yadsınamaz bir öneme sahiptir. Nano uyduların boyut olarak küçüklüğü, büyük uydulara nazaran basit tasarımı ve üretim süreçlerinin kısıllığı, uzay kalifiye nano uydu yapısı ve alt sistemlerinin daha düşük maliyetlerle ve daha hızlı bir şekilde sağlanmasını mümkün kılmaktadır. NART (Nanosatellite Reconfigurable Tools) Modüler Uydu Yapısı Kaliforniya Politeknik Üniversitesi tarafından oluşturulmuş olan Küp Uydu standartları gözetilerek tasarlanmış bir modüler uydu platformu yapısıdır. Tasarım çalışmaları İTÜ bünyesinde yürütülen TURKSAT-3USAT projesi ile başlamış olup, ürüne yönelik proje olarak T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı 2012 yılı Teknogirişim Sermaye Desteği ile hayata geçirilmiştir. Bu bildiri kapsamında Küp ve Nano uydu yapısı tasarımı ve buna bağlı olarak tasarım süreçleri yapılan çalışmalar ile örneklendirilecektir.

GİRİŞ

Uzay teknolojisinde yaşanan gelişmeler ile kabiliyetleri ve kullanım alanları hızla artan nano uydular günümüz uzay teknolojilerinde yadsınamaz bir öneme sahiptir. Nano uyduların boyut olarak küçüklüğü, büyük uydulara nazaran kolay tasarımı ve üretim süreçlerinin kısıllığı, uzay kalifiye nano uydu yapısı ve alt sistemlerinin daha düşük maliyetlerle ve daha hızlı bir şekilde sağlanmasını mümkün kılmaktadır. Büyük uyduların yörüngeye yerleştirilme maliyeti uzay programının büyük bir kısmını kapsarken Nano uyduların düşük kütleleri ve küçük boyutları sayesinde fırlatma maliyetleri büyük ölçüde azalmaktadır. Maliyetle beraber nano uydular için belirli standartlar çerçevesinde üretilen ve birbiri ile uyumlu alt sistemlerin ticari ürünler olarak satılması pazarın büyümesinde önemli bir etken olmuştur. NART (Nanosatellite Reconfigurable Tools) Modüler Uydu Yapısı uzay teknolojilerinin bu yöndeki gelişimi dikkate alınarak oluşturulmuş bir yapı alt sistemidir.

Yapı alt sisteminin uydudaki başlıca görevi direngen bir yapı oluşturarak uydunun tüm alt sistemlerinin uzay ortamında dış etkilerden olabildiğince korunarak bir arada kalmasını sağlamaktır[Süer, M. 2013]. Alt sistemlerin birbirine entegre edilmiş halde tutulması uydunun düzgün çalışması için son derece önemlidir. Uydu yapısı aynı zamanda fırlatma sırasında sistemin maruz kaldığı titreşim ve şokları sönmüleyerek alt sistemlerin güvenliğini sağlamakla yükümlüdür.

* Baş Mühendis ve Genel Müdür, Uçak ve Uzay Yük. Müh., E-posta: suerm@gumush.com.tr

† Analiz Mühendisi, Uzay Mühendisi, E-posta: erdinc@gumush.com.tr

‡ Tasarım Mühendisi, Uzay Mühendisi, E-posta: cem@gumush.com.tr

§ Prof. Dr., Uzay Müh. Böl., E-posta: aslanr@itu.edu.tr

Aynı zamanda yapının dış bölümü güneş panelleri, antenler ve diğer mekanizmalar için yüzey oluşturmaktadır. Uydu yapısının kütlesi ve geometrisi uydunun performansı üzerinde son derece önemli etkilere sahiptir. İdeal uydu yapısı sağlam ve direngen olduğu kadar, tüm diğer alt sistemleri içerisinde barındırabilecek iç hacme ve alt sistemlerin kolaylıkla yerleşip birbirleri ile iletişimlerini sağlamalarına olanak tanıyacak mimariye sahip olmalıdır. Fırlatma kısıtlamaları göz önüne alındığında yapının hafif olması gereken bir özelliktir.

NART Modüler Uydu Yapısı California Politeknik Üniversitesi tarafından oluşturulmuş olan Küp Uydu standartları gözetilerek tasarlanmış bir modüler uydu platformu yapısıdır [CubeSat Rev12. Standards. 2009].

YÖNTEM

Küp Uydular için tanımlanmış olan tasarım kriterleri NART yapısının tasarım kriterlerini oluşturmaktadır. NART geçiş aparatları ile birbirine monte edilebilen, her biri 1U (100x100x113.5 mm) boyutlarında küp şeklindeki birimlerden meydana gelmektedir [CubeSat Rev12. Standards. 2009.]. NART yapısının tasarlanma sürecinde Küp Uydu standartlarında belirtilen başlıca kriterler ve gereksinimler (Tablo 1) baz alınmıştır.

Tablo 1: Başlıca Tasarım Kriterleri ve Gereksinimler

Boyut	Her bir birimlik(1U) Yapı 100x100x113.5 mm boyutlarında olmalıdır.
Kütle	Her bir birimlik (1U) Yapı kendi kütlesi dahil en az 1,33 kg kütle taşıyabilmelidir.
Yapısal Titreşim Şartları	Yapı tüm kütlesi ile birlikte 10 g olarak belirtilen tipik maksimum fırlatma ivmesine 3 farklı yönden dayanıklı olmalıdır. Titreşim analizleri ve testleri PSLV, DNEPR, VEGA veya SOYOUZ fırlatma aracı değerlerine göre gerçekleştirilmelidir.
Doğal Frekans	Yapının serbest-serbest, zorlanmış doğal frekans analizlerinde ve testlerinde en iyi senaryo, en kötü senaryo ve optimum senaryoya göre giriş doğal frekans değerleri yatay eksenlerde 45 Hz'den dikey ekseninde 90 Hz'den yüksek olmalıdır.

En iyi tasarımın kullanıcı dostu ve ergonomik modüler bir yapı olması kullanıcıya zaman ve maliyet kazandıracaktır. Bu sebeple, NART yapısı tasarlanırken mevcut diğer hazır ürünlerin 3 Birimlik (3U) yapıları araştırılarak güçlü ve zayıf yönleri incelenmiş (Tablo 2), bu hazır ürünler ile çalışılarak NART yapısının özellikle montaj ve demontaj felsefesi oluşturulmuş ve Tablo 1'de belirtilen gereksinimlere ek olarak başarılmaması gereken hedefler belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2: Mevcut Ürün Karşılaştırmalar ve NART Başarı Kriterleri

Özellikler	Pumpkin 3U	ISIS 3U	NART 3U (Başarı Kriterleri)
Kütle	665 gr	580 gr	580*0.75=406 gr
Dış Hacim (mm)	101 x 100 x 340.5	100 x 100 x 340.5	100 x 100 x 340.5
PCB Boyutları	PC/104	PC/104 94 x 94 mm Özel tasarımlara uyumlu	PC/104 94 x 94 mm Özel tasarımlara uyumlu
Elektronik kart dizilme konfigürasyonu	Dikey	Yatay/Dikey	Yatay/Dikey
Hard Anodized	Evet	Evet	Evet
Ayrılabilme	Bütün	1U	1U
Bağlama Elemanları	-	12	8
Fastener (L Eleman)	4 adet	12 adet	2 adet
Elektronik Kartların Montajı	Zor	Zor	Kolay
Alt Sistemlere Erişim	Zor	Zor	Kolay

Tablo 1’de belirtildiği gibi kütle sınırlamaları dahilinde yapının hafif olması azami taşınabilecek alt sistem sayısının ve faydalı yük kütlesinin yüksek olmasını sağlayacaktır. Örneğin; 3U’ luk bir küp uydunun yapı alt sistemi kütlesinin tüm uydu kütlesine oranı en fazla 15%’ ini oluşturmalıdır. Bu sayede uydu yapısı, uydunun toplam kütlesinin 85%’lik bölümünü alt sistem ve faydalı yük için ayrılabilmesine olanak tanıyacaktır [Galli. 2008].

Ek olarak, NART yapısı PC-104 kart standartlarına da tamamen uyumlu olacak şekilde tasarlanmıştır. Yapı boyutları itibari ile 1U’ luk birimi 6 adette kadar PC104 standartlarında elektronik kart (veya özelleşmiş alt sistem) taşıyabilecek şekilde tasarlanmıştır. Yüksek kart taşıma kapasitesi sayesinde NART yapısı, nano uydu yapılarının taşıma kapasitesini ciddi anlamda ilerletecektir.

NART uydu yapı alt sisteminin üretiminde kullanılacak malzemenin seçimi, başlangıç tasarım sürecinin ilk basamağını oluşturmaktadır. Bu araştırmanın başlangıcında uzaya fırlatılmış olan küp uyduların ve diğer uyduların kullandığı malzemeler incelenmiştir. Uyduların yapısında kullanılan bazı malzemeler ağırlık, dayanıklılık, genleşme katsayısı ve işlenebilirliğine göre karşılaştırılmış olup, buna göre en uygun malzemenin Alüminyum 6061 T6 olduğuna karar verilmiştir

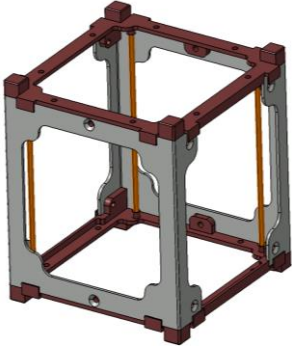
NART yapısı; 1U için 2 yan kafes, alt ve üst kapaklarla beraber 4 adet çelik çubuktan oluşmaktadır. Montajı ise 12 adet vida ile tamamlanabilmektedir. Güneş panellerinin montajı için ise alt ve üst kapaklarda dışarıya doğru tırnaklar bulunmaktadır. Bununla beraber güneş panellerinin de kapasitesinin artmasını sağlayacaktır. NART yapısı 2U ve daha üst boyutlar için ise birimler arasında kullanılan geçiş aparatlarını kullanmaktadır. Bununla beraber her birim artırımı için geçiş aparatı ile beraber 2 adet yan kafesle sağlanmaktadır. 1 birimlik artışlarda ek olarak 3 alt parça ve 12 vidaya ihtiyaç duyulmaktadır. NART yapısının farklı boyutlardaki kütlesi Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3: NART Modüler Uydu Yapısının Boyutlara Göre Kütelleri

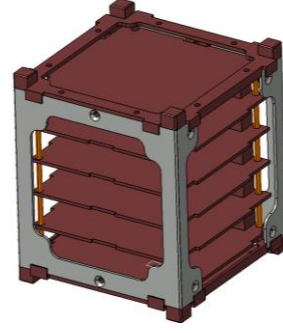
	1U	2U	3U	4U	5U
Toplam Kütle [gram]	134	270	406	543	679

Tablo 4’te NART Modüler Uydu Yapısının 1U, 2U ve 3U halleri montajlı olarak hem boş hem de kartların yerleştirilmiş şekilde sunulmuştur.

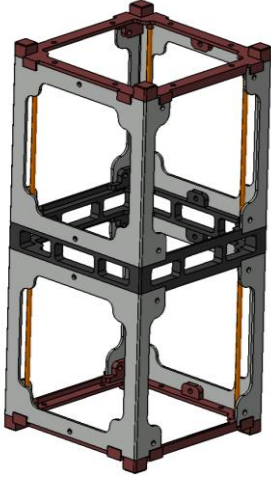
Tablo 4: Nart Modüler Uydu Yapısının Katı Modelleri



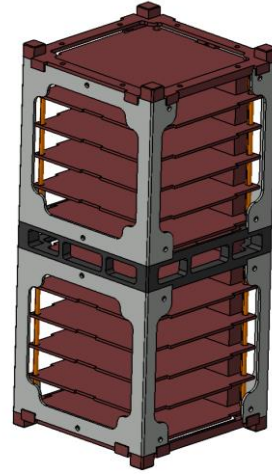
Şekil 1: 1U NART Modüler Uydu Yapısı



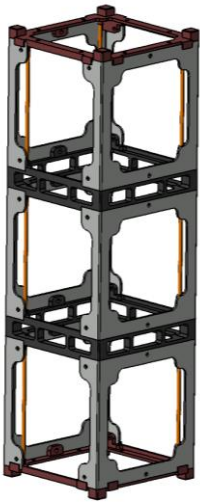
Şekil 2: 6 Adet PC-104 Elektronik Kartlar ile 1U NART Modüler Uydu Yapısı



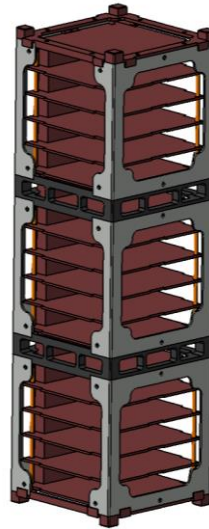
Şekil 3: 2U NART Modüler Uydu Yapısı



Şekil 4: 12 Adet PC-104 Elektronik Kartlar ile 2U NART Modüler Uydu Yapısı



Şekil 5: 3U NART Modüler Uydu Yapısı



Şekil 6: 18 Adet PC-104 Elektronik Kartlar ile 3U NART Modüler Uydu Yapısı

Tablo 1’de tanımlandığı üzere yapı alt sistem tasarımı; kütleli özelliklere ilaveten yapısal dayanım, direngenlik, doğal frekans ve titreşim koşullarına göre değerlendirilmesi gerekmektedir ve Şekil 7’de gösterildiği gibi bir tasarım süreci uygulanmalıdır. Tasarım sürecinin önemli bir aşaması mühendislik yazılımları ile tasarımın, fırlatma aracından kaynaklı yüklere ve titreşimlere dayanıp dayanamayacağını belirlemektir. Bu aşamada fırlatma sağlayıcısından alınan bilgilere ve verilere göre analizler yapılarak prototip öncesi yapı alt sistemin titreşim testlerini başarılı şekilde tamamlayacağı veya başarısızlık durumunun gözlenmesi önem arz etmektedir[Süer, M. 2013].



Şekil 7: Şematik Tasarım Döngüsü

Şekil 7’de belirtilen tasarım ve analiz sürecinde Kore MIDAS firmasının geliştirmiş olduğu MIDAS NFX Tümüleşik Mekanik Analizi yazılım paketi kullanılmıştır. MIDAS NFX, titreşim analizlerinden, lineer veya nonlineer statik analize, yorulma analizlerinden, çarpışma ve şok analizleri için explicit analize ve mekanik sistem simülasyonlarından hesaplamalı akışkanlar ve ısı transferi analizlerine kadar birçok analizi modelleyebilen ve kullanıcı dostu arayüzlü bir sonlu eleman yazılımıdır. Bu bildiri de bahsedilen NART Yapı Alt Sistem tasarımı ciddi ve kapsamlı sonlu elemanlar analizi yöntemi ile yapılmıştır.

UYGULAMALAR

Küp uydu yapı alt sistemi tasarım ve analiz sürecinde sanki sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, yapı alt sisteminin gürbüzlüğü sorgulanmıştır. Yapılan çalışmalar alt başlıklar halinde verilmiştir.

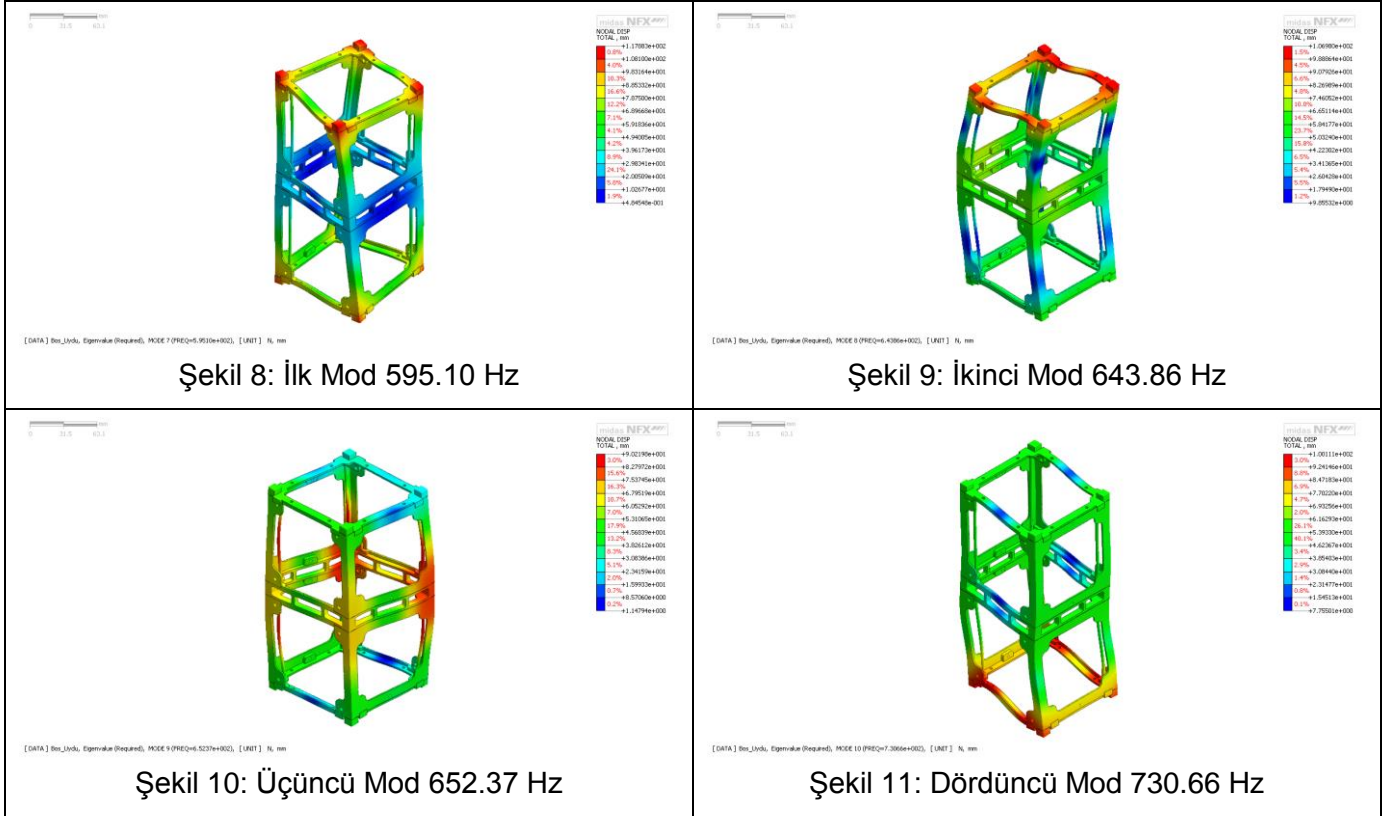
Doğal Frekans ve Modal Analizler

Yapı alt sisteminin fırlatma aracına uygunluğu için en önemli parametre olan doğal frekanslar ve modları, Sonlu Elemanlar Yöntemi ile nümerik olarak hesaplanmıştır. Fırlatma aracı sağlayıcısının belirttiği üzere yapının hiçbir doğal frekansının 45-90 Hz arasında olmaması gerekmektedir. Ayrıca yüksek genlikli harmonik tahrik frekanslarının 100 Hz’ nin altında olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, titreşim genliklerinin düşük seviyelerde olması için yapının doğal frekanslarının 100 Hz’ den daha yüksek olması tercih edilmektedir.

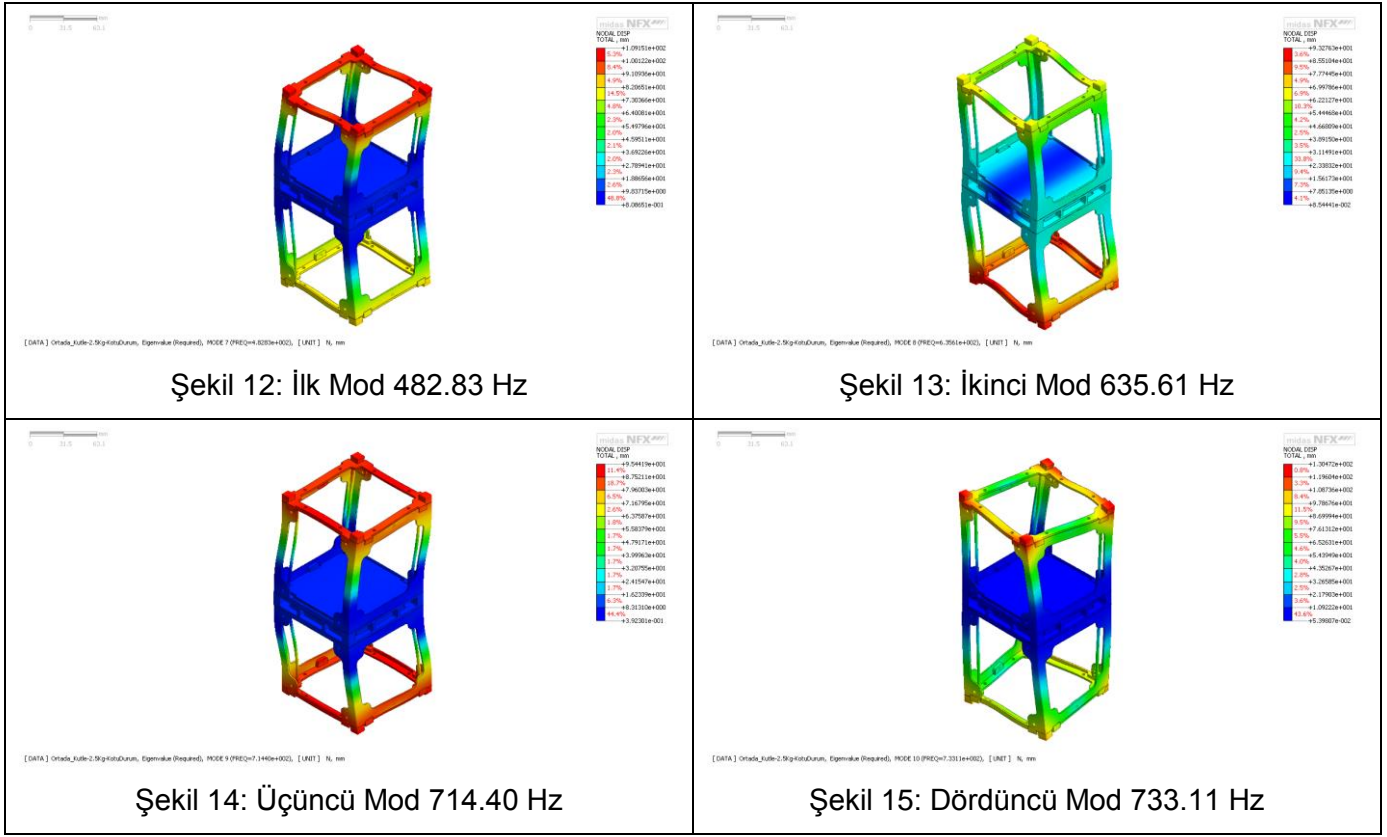
2U NART Küp Uydu Yapı Alt Sistemi Doğal Frekans ve Modal Analizleri: Bu analiz çalışmasında 2U’luk NART Küp Uydu yapısı için 3 farklı duruma göre doğal frekans analizleri ve mod hesaplanmıştır. Birinci durumda (Tablo 5) Küp Uydu yapısının içerisinde herhangi bir alt sistem olmadan sadece kendi kütlesi ile kendi ataletinin etkileşiminin sonucu olan doğal frekans ve modları, ikinci durumda (Tablo 6) yapı içerisine 2.66 kg kütleli tek bir FR-4 malzeme direngenliğine sahip alt sistemin geometrik merkeze yerleştirilmiş şekilde tek bir yapı ile yapı alt sisteminin etkileşimi sonucu olan doğal frekans ve modları, üçüncü durumda ise (Tablo 7) 12 adet FR-4 direngenliğine sahip ve toplam 2.66 kg kütleli alt sistemlerin yapı alt sistemi etkileşimi sonucu olan doğal frekans ve modları incelenmiştir. Yapılan analizler serbest-serbest durumu için yapılmıştır.

Modeller oluşturulurken tüm durumlar için aynı bağlantı türleri ile uygulanmıştır. Vida bağlantı modeli için 3 mm çaplı bolt elemanlar kullanılıp ve malzeme olarak çelik atanmıştır. Çubuklar ile kapakların ve geçiş aparatlarının arasında kaynak bağlantı türü tercih edilmiştir. Tüm diğer elemanlar ise tek yönlü kayan bağlama türü tercih edilmiştir. Bu bağlama türünde yüzeylerin birbiri ile olan ilişkileri tanımlanmakta ve birbirlerinde etkilenmektedirler.

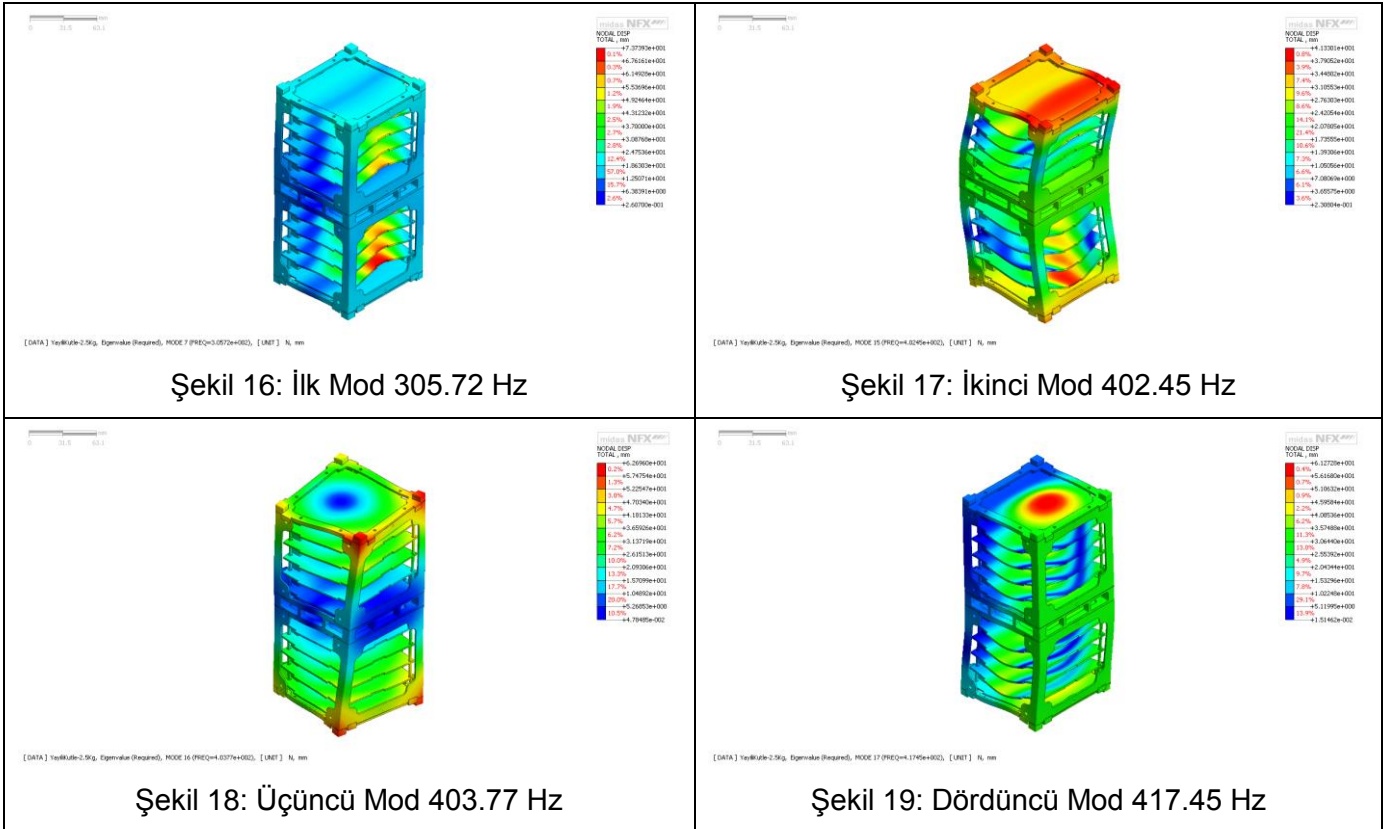
Tablo 5: 1. Durum için 2U NART Modüler Uydu Yapısının Doğal Frekans ve Modal Analiz Sonuçları



Tablo 6: 2. Durum için 2U NART Modüler Uydu Yapısının Doğal Frekans ve Modal Analiz Sonuçları



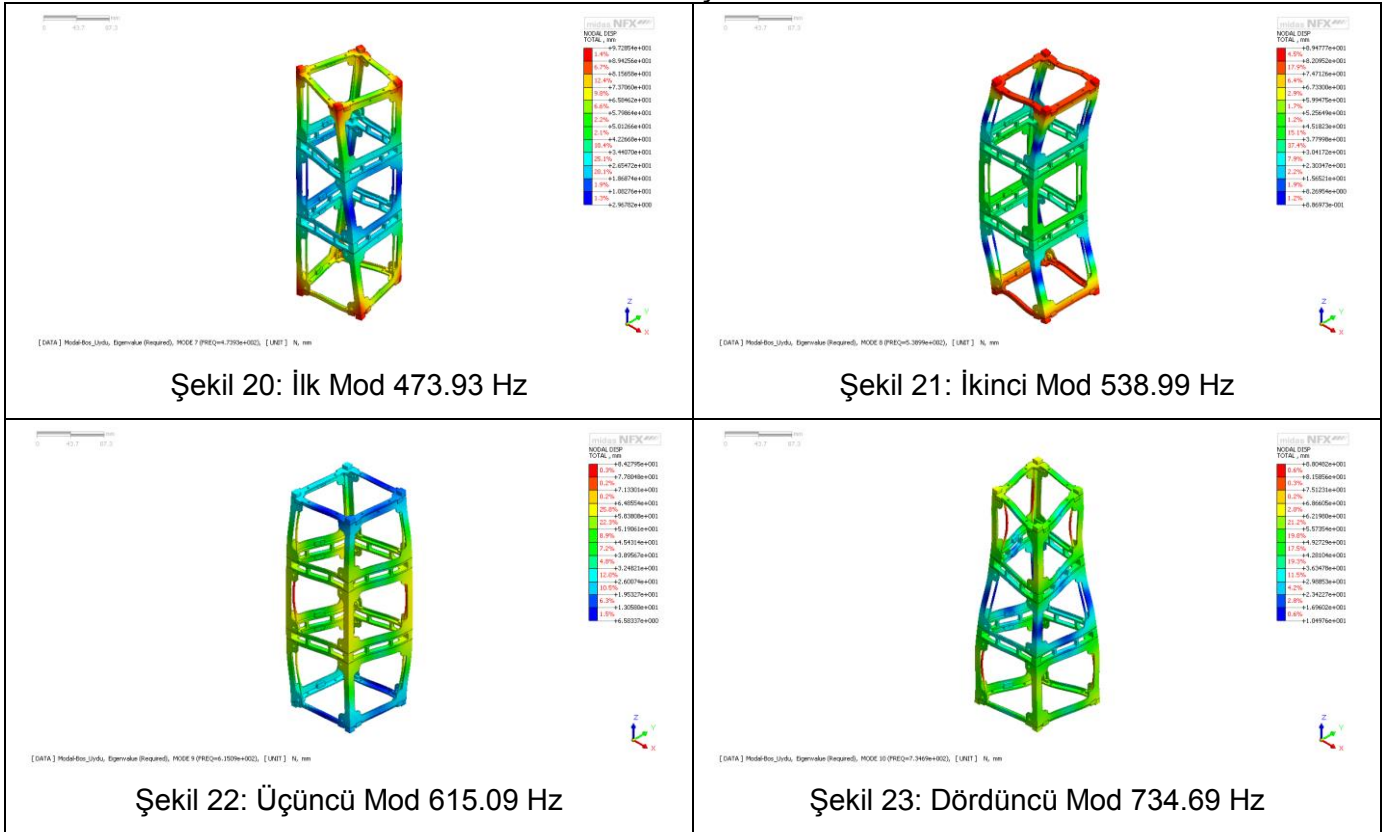
Tablo 7: 3. Durum için 2U NART Modüler Uydu Yapısının Doğal Frekans ve Modal Analiz Sonuçları



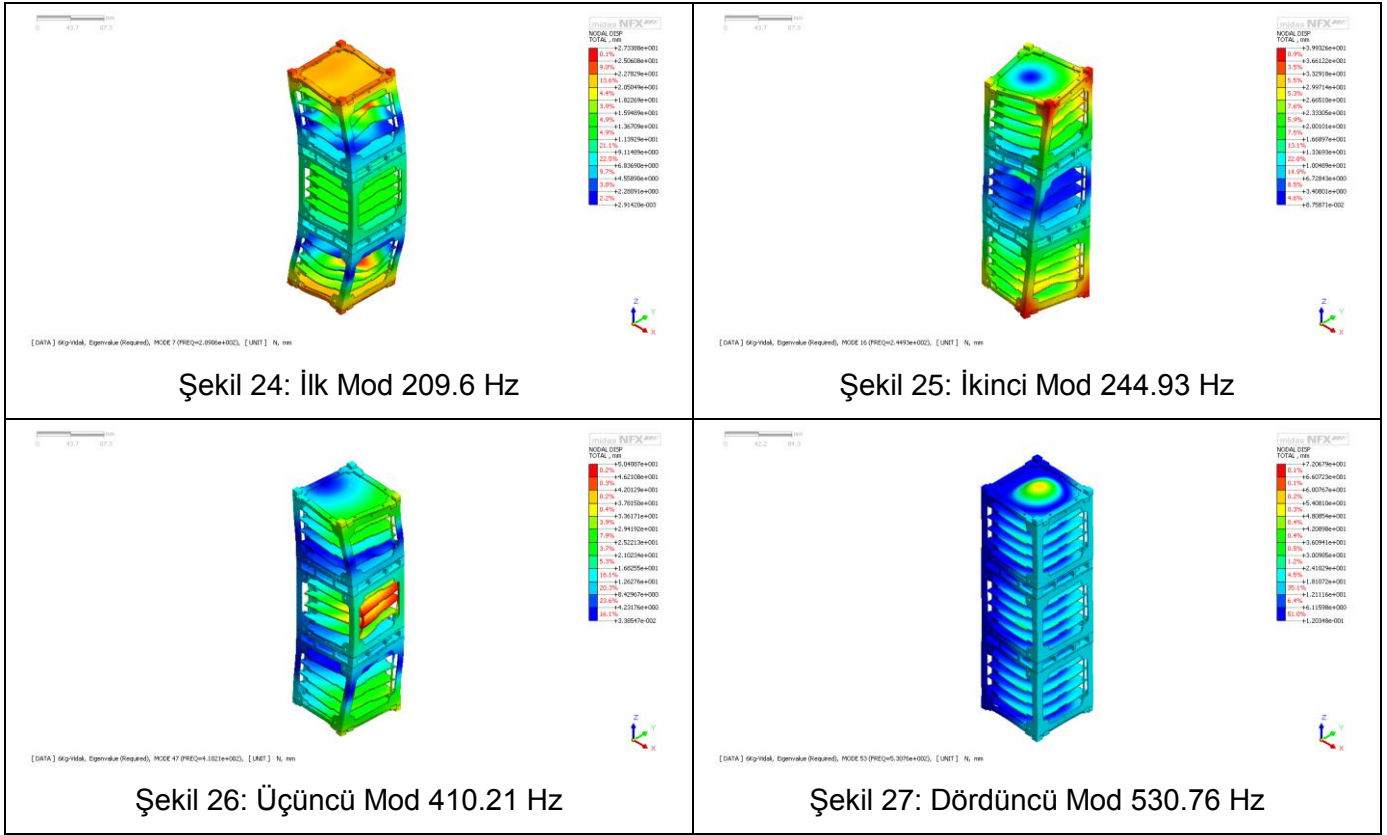
3U NART Küp Uydu Yapı Alt Sistemi Doğal Frekans ve Modal Analizleri: Bu analiz çalışmasında 3U'luk NART Küp Uydu yapısı için 2 farklı duruma göre doğal frekans analizleri ve mod hesaplanmıştır. Birinci durumda (Tablo 8) Küp Uydu yapısının içerisinde herhangi bir alt sistem olmadan sadece kendi kütlesi ile kendi ataletinin etkileşiminin sonucu olan doğal frekans ve modları, ikinci durum ise (Tablo 9) 18 adet FR-4 direngenliğine sahip ve toplam 6 kg kütleli alt sistemlerin yapı alt sistemi etkileşimi sonucu olan doğal frekans ve modları incelenmiştir. Yapılan analizler serbest-serbest durumu için yapılmıştır.

Modeller oluşturulurken tüm durumlar için aynı bağlantı türleri ile uygulanmıştır. Vida bağlantı modeli için 3 mm çaplı "BOLT" elemanlar kullanılıp ve malzeme olarak çelik atanmıştır. Çubuklar ile kapakların ve geçiş aparatlarının arasında kaynak bağlantı türü tercih edilmiştir. Tüm diğer elemanlar ise tek yönlü kayan bağlama türü tercih edilmiştir. Bu bağlama türünde yüzeylerin birbiri ile olan ilişkileri tanımlanmakta ve birbirlerinde etkilenmektedirler.

Tablo 8: 1. Durum için 3U NART Modüler Uydu Yapısının Doğal Frekans ve Modal Analiz Sonuçları



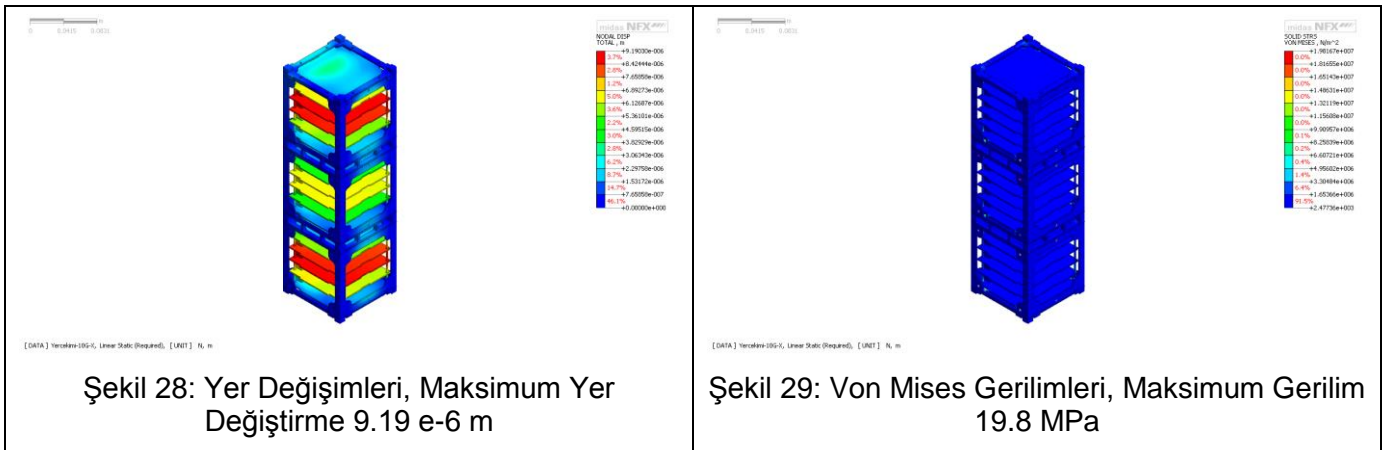
Tablo 9: 2. Durum için 3U NART Modüler Uydu Yapısı'nın Doğal Frekans ve Modal Analiz Sonuçları



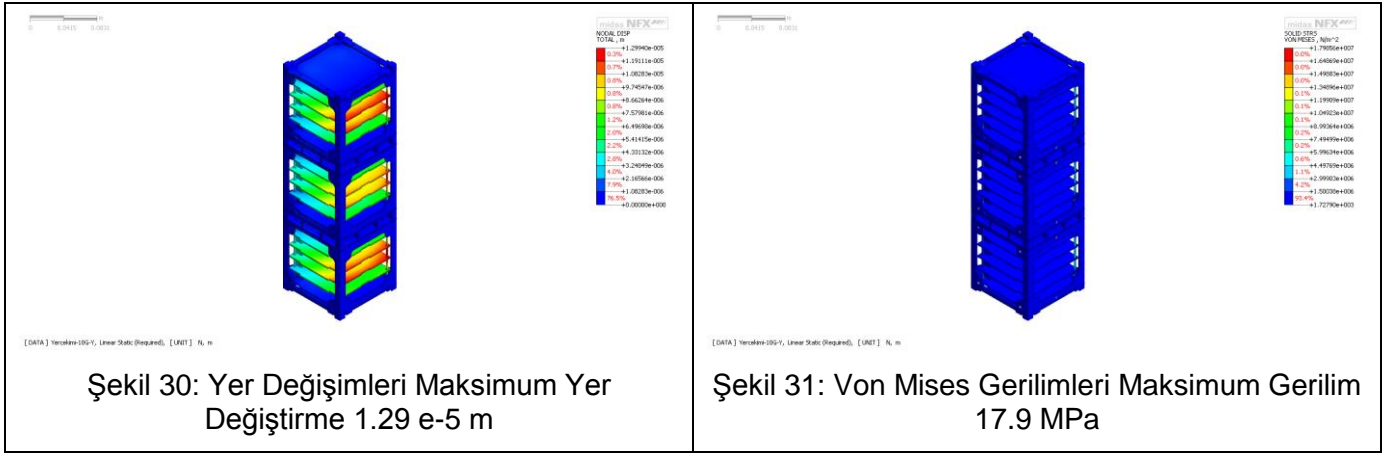
Sanki Statik İvmelenme Analizleri

Uydu statik analizleri, fırlatma sırasında oluşabilecek statik yüklerin uydu üzerine etkisini incelemek için yapılan analizlerdir. Fırlatma roketi sağlayıcılarının talimatnamelerinde bu statik yükler ve güvenlik faktörleri belirtilmektedir. NART Yapısının statik analizleri X (Tablo 10), Y (Tablo 11) ve Z (Tablo 12) yönlerinden 10 g'lık yüklemeler ile yapılmıştır. Kullanılan NART modeli 3U birimlik ve 6 kg'lık bir kütleyi taşımaktadır. Statik analiz için sonlu eleman modeli hazırlanırken uydu fırlatma kutusu içine yerleştirilmiş durumu düşünülmüştür. En kötü senaryonun incelenmesi adına uydu tabanı z ekseninde mesnetlenmiştir. Köşe bentlerinde ise sadece x ve y yönlerinde hareketleri kısıtlanmıştır. Geri kalan tüm kontak ve vida bağlantıları modal analizlerde olduğu gibi ayırdır.

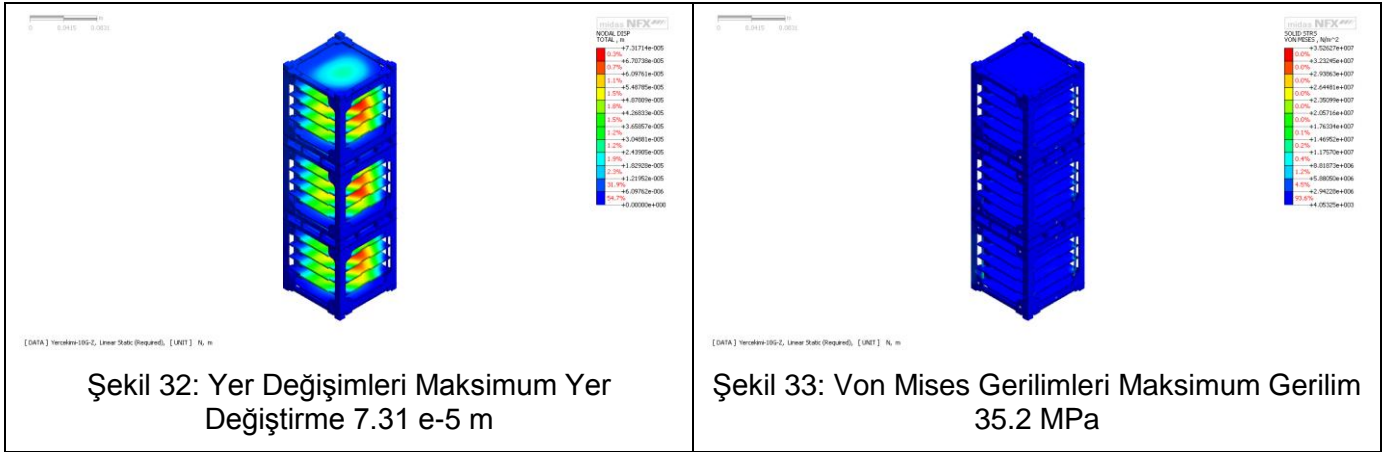
Tablo 10: 6 Kg'lık 3U Nart Modüler Uydu Yapısı'nın X Yönünde Uygulanan 10 g Altındaki Statik Yük Analiz Sonuçları



Tablo 11: 6 Kg'lık 3U Nart Modüler Uydu Yapısı'nın Y Yönünde Uygulanan 10 g Altındaki Statik Yük Analiz Sonuçları



Tablo 12: 6 Kg'lık 3U Nart Modüler Uydu Yapısı'nın Z Yönünde Uygulanan 10 g Altındaki Statik Yük Analiz Sonuçları



Rastgele Titreşim Analizleri

Frekans cevap analizleri zorlanmış titreşim analizleri olarak adlandırılır. Frekans cevap analizi kısaca bir kuvvetin bir frekans ile tahrik edilmesine dayanır. Bu başlık altında NART yapısı için PSLV fırlatma aracında belirtilen titreşim yükleri ve frekansları (Tablo 13) kullanılarak frekans çözüm alanında yapının gürbüzlüğü ve direngenliği sorgulanmıştır. En kötü senaryonun incelenmesi adına uydu tabanı z ekseninde mesnetlenmiştir. Köşe bentlerinde ise sadece x ve y yönlerinde hareketleri kısıtlanmıştır. Geri kalan tüm kontak ve vida bağlantıları modal analizlerde olduğu gibi aynıdır.

Tablo 13: PSLV Fırlatma Aracı için Rastgele Titreşim Testi için Yeterlilik ve Kabul Test Değerleri

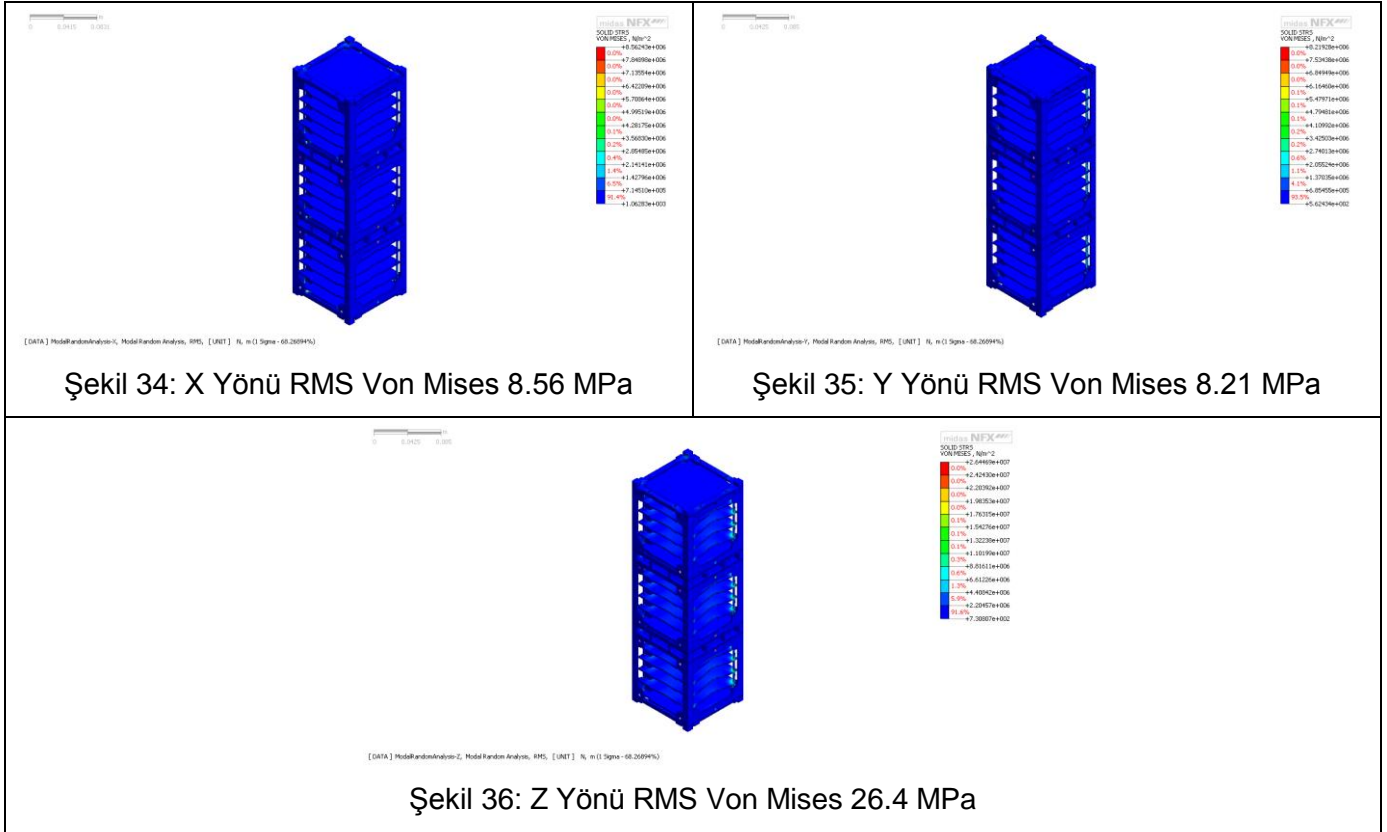
Frekans (Hz)	Yeterlilik PSD g ² /Hz	Kabul PSD g ² /Hz
20	0.002	0.001
110	0.002	0.001
250	0.034	0.015
1000	0.034	0.015
2000	0.009	0.004

Analiz sonuçları her girdi frekansına bağlı yüke karşılık olarak Tablo 14'de verilmiştir. Buna ek olarak, X, Y ve Z yönlerinde oluşan RMS VonMises gerilme sonuçları Tablo 15'de bulunan şekillerde gösterilmiştir.

Tablo 14: 3U Nart Modüler Uydu Yapısının Rastgele Analizlerinin VonMises Gerilimlerinin Sonuçları

VonMises Gerilimleri [MPa]					
Frekans Değerleri [Hz]	20	110	250	1000	2000
X Eksen	1.98	2.06	2.40	0.996	0.180
Y Eksen	1.80	1.86	2.14	1.04	0.182
Z Eksen	1.89	2.30	17.3	0.131	0.0312

Tablo 15: 3U Nart Modüler Uydu Yapısının Rastgele Analizlerinin VonMises Gerilimlerinin Sonuçları



SONUÇ

Gerçekleştirilen analizler incelendiğinde NART Modüler Uydu Yapısının azami alt sistem kütleli veya alt sistem kütleli koşullara göre doğal frekans değerleri Küp Uydu Standartlarında belirtilen 90 Hz giriş frekansından oldukça uzak ve güvenli bir bölgededir. Yapılan statik analiz sonuçlarına göre azami gerilme beklendiği gibi Z yönünde 35.2 MPa olarak hesaplanmıştır. Rastgele titreşim analizi sonucu ise azami RMS VonMises gerilme değeri Z yönünde 26.4 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu her iki gerilme değeri, hem Alüminyum 6061 T6 malzemesi hemde FR-4 alt sistem kart malzemesinin akma değerlerinden yeteri kadar küçüktür.

Sonuç olarak fırlatma aracı sağlayıcısı tarafından ve Küp Uydu Standartlarınca getirilen tüm gereklilikler başarıyla sağlanmıştır. Bu, uydunun çalışma ömrü ve dayanıklılığının artırılması açısından son derece önemlidir. NART sağlam ve direngen olduğu kadar, tüm diğer alt sistemleri içerisinde rahatlıkla barındırabilecek iç hacme ve alt sistemlerin kolaylıkla yerleşip birbirleri ile bağlantılarını sağlamalarına olanak tanıyacak mimariye sahiptir. NART'ın kullanıcı dostu ve ergonomik modüler bir yapı olması kullanıcıya zaman ve maliyet açısından büyük kazanç sağlayacaktır. Bunun yanında hafifliği ve yüksek kart taşıma kapasitesi uydunun faydalı yüke ayırdığı kütle ve hacim miktarını arttırmaktadır. Bu özellikleriyle piyasada hali hazırda bulunan muadil ürünlere karşı avantaj yakalamaktadır.

Piko ve nano boyutlardaki uydularda kullanılmak üzere geliştirilmiş modüler uydu yapısı NART, uzay programları için kesinlikle ekonomik ve hızlı temin edilebilir bir üründür. Bunun yanında düşük maliyetleri dolayısıyla uzay sistemleri tasarım ve üretimine yönelik deneyimli elemanların yetiştirilmesinde ve uzay sistemleri alanına olan ilginin artırılmasına yönelik eğitim çalışmalarında kullanılabilir. Sayısız maliyetli uzay programının önceden uygun ve güvenilir sistemler ile test edilmesi süreçlerinde ve uydu alt sistemlerine uzay kalifiye özelliği kazandırmada önemli rol oynayacağı açıktır. Ek olarak sistemlerin git gide küçüldüğü günümüzde uydular da boyutsal olarak küçülmekte ve uydu yapısına olan ihtiyaç artmaktadır.

Kaynaklar

Hutputanasin, A., Lee, S., Lan, W., Munakata R., Toorian A., 2009. *CubeSat Design Specification Revision 12*, Cal Poly, s.7-13

Galli, S., 2008. *Mission Design for the CubeSat OUFTI- 1*, University of Liege, s.20-21, 57-62

Süer, M., 2013. *TURKSAT 3USAT Uydusu'nun Mekanik Tasarımı*, İstanbul Teknik Üniversitesi, s.31-94