

PROTEUS VE FLP2 UYDU PLATFORM VERİ İŞLEME ALT SİSTEM MİMARİLERİNİN ESNEKLİK VE JENERİK TASARIM ÖZELLİKLERİ AÇISINDAN KIYASLAMALI İNCELENMESİ

Ahmet Burak KOÇ¹
Türksat AŞ, Ankara

ÖZET

Uyduların platform ve faydalı yük modülleri arasında termal kontrol, komuta-kontrol, elektrik güç sistemi gibi alt sistemler bulunmakta ve bu alt sistemlere dair veri akışı ve yönetimi veri işleme alt sistemi tarafından sağlanmaktadır. Alt sistemler arasındaki mekanik, termal, elektriksel bağlantılar ve elektromanyetik etkileşimleri sebebiyle kompleks bir sistem olan uydu sistemlerinde değişen ihtiyaçları karşılayabilecek ve çeşitli projelere rahatlıkla uyarlanabilecek esnek ve jenerik platform tasarımlarının ciddi kazançları olmaktadır. Uydunun merkezi bilgisayarını, işlem kapasitesini ve komuta kontrol mekanizmasını kapsayan OBDH sisteminin de aynı şekilde çeşitli ihtiyaçlara minimum eforla karşılık verebilecek şekilde tasarlanması, bütün platform alt sistemleriyle doğrudan bağlantıda olduğu ve alt sistemler arasındaki elektriksel bağlantıların karmaşıklığını azaltacağı için mühendislik, zaman ve maliyet açılarından üretici firmaya ciddi kazançlar sağlar. Bu doğrultuda, platform tasarımının değişen pazar ihtiyaçlarına veya müşteri ihtiyaçlarına karşılık verecek yeni nesil ürünlerin geliştirilmesine ve alansal değişikliklere karşı esnekliğinin rasyonel bir şekilde hesaplanıp incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada iki farklı OBDH sisteminin değişikliklere ne kadar uyum sağlayabildiği ve tasarım esnekliği DFV yönetiminin sunduğu GVI ve CI endeksleri kullanılarak basit bir şekilde hesaplanmıştır. Son olarak, iki sistem esneklik ve jenerik platform tasarımına uygunluğu açısından yorumlanmıştır.

Kısaltmalar;

- AOCS : Attitude and Orbit Control System (Yönelim ve Yörünge Kontrol Sistemi)
CCSDS: Consultative Committee for Space Data Systems (Uzay Veri Sistemleri Danışma Komitesi)
CI : Coupling Index (Bağlantı Endeksi)
COTS : Commercial off-the-shelf (Piyasadan hazır temin edilebilen malzeme)
DFV : Design for Variety (Çeşitlilik için Tasarım)
DHU : Data Handling Unit (Veri İşleme Santrali)
EPS : Electrical Power System (Elektrik Güç Sistemi)
GVI : Generational Variety Index (Nesil Çeşitlilik Endeksi)
HW : Hardware (Donanım)
I2C : Inter Integrated Circuit (Seri iletişim protokolü)
IOB : Input-Output Board (Giriş-Çıkış Kartı)
OBC : On-board Computer (Uydu Merkez Bilgisayarı)
OBDH : On Board Data Handling (Uydu Platform Veri İşleme)
QFD : Quality Function Deployment (Kalite İşlev Yayılımı)
SADM : Solar Array Drive Mechanism (Güneş Panelleri Sürücü Mekanizması)
SpW : SpaceWire (Uzay aracı iletişim ağı standardı)
SW : Software (Yazılım)

¹ Müh., Teknik Personel, Türksat A.Ş., E-posta: abkoc@turksat.com.tr

TCS : Thermal Control System (Isıl Kontrol Sistemi)
 TID : Total Ionizing Dose (Toplam İyonlaştırıcı Doz)
 TM/TC : Telemetry ve Telekomut
 TTC : Telemetry, Tracking and Command (Telemetry, İzleme ve Komuta Alt Sistemi)
 UART : Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (Evrensel Asenkron Alıcı-Vericisi)

GİRİŞ

Uzay sistemlerinin tasarım, montaj ve test aşamaları; müşterinin ihtiyaçları, ulusal ve uluslararası regülasyon ve standartlar, teknolojik gelişmeler, üretim imkanlarının değişmesi gibi bir çok faktörden etkilenir. Bu nedenle, çeşitli dış etkenlere bağlı olarak ürün tasarımlarında değişiklik ihtiyacı meydana gelmektedir (Tablo 1). Sistem gereksinimlerinde oluşan değişikliklerin sonucu olarak alt sistemlerin gereksinimleri de değişmektedir ve alt sistem tasarımlarının bu değişikliklere uyum sağlayacak esnek tasarımlara sahip olmaları gerekmektedir. Bu bildiride dış etkenler sonucunda ihtiyaç duyulan değişikliklerin uzay sistemlerinin önemli bir parçasını oluşturan OBDH alt sistemlerini nasıl etkilediği ve farklı tasarımların bu değişikliklere ne kadar kolay karşılık verdiği incelenmiştir.

Tablo 1: Sistem Tasarımında Değişiklik Gerekli Gerekli Dış Etkenler

Performans ihtiyaçlarının değişmesi
Görev ortamındaki kısıtlamaların değişmesi (sıcaklık, titreşim, radyasyon)
Eklenen ve çıkarılan işlevler (Gelişen teknolojileri kullanmak ve değişen pazar ihtiyaçlarını karşılamak için)
Güvenilirlik ihtiyaçlarının değişmesi
Maliyetlerin düşmesi
Malzemelerin değişmesi
Yedeklilik planının değişmesi
Montaj sürelerinin değişmesi
Düşük maliyetli teknoloji kullanma ihtiyacı
Ekipmanın kullanım süresindeki değişimler
Regülasyon ve Standartlar
Rekabet sonucu teknolojiyi geliştirme ihtiyacı
Değerini yitiren parçalar

OBDH alt sistemi, uydudaki ekipmanlardan telemetri verisini toplar, AOCS, EPS, TCS gibi alt sistemlerdeki gerçek zamanlı kontrol hesaplamalarını yapar, gereken motor komutlarını hesaplar, uydu hata kurtarma takibini yapar, tasarım şartlarına bağlı olarak faydalı yük otonom komutlarını hesaplar, otonom oluşturulan komutları ve yer istasyonundan gelen telekomutları uydu alt sistemlerine ve ekipmanlarına gönderir. Ayrıca, toplanan telemetri verisinin formatını düzenleyip standart uzay aracı operasyonlarında (housekeeping) ve faydalı yük operasyonlarında kullanılmak üzere yer istasyonuna gönderir [Wertz ve Larson, 1999; Notebaert, 2015; Fortescue, Swinerd ve Stark, 2011].

Telemetri verisinde bulunacak uyduya ait bilgilerin miktarına ve sıklığına, görev yükünün oluşturduğu veriye ve operasyon ihtiyaçlarına, uzay aracının fonksiyonlarına ve otonomi seviyesine göre OBDH alt sisteminin karmaşıklığı değişmektedir ve ihtiyaç duyulan veri işleme kapasitesi (bellek, veri aktarım hızı, veri yolunun güvenilirliği ve hazır olma durumu) bu doğrultuda hesaplanır [Wertz ve Larson, 1999; Fortescue, Swinerd ve Stark, 2011].

ECSS-E-ST-10-02 dokümanında tanımlanan ürün kategorilerinin değişmesi fazladan kalifikasyon ihtiyacı oluşturur [ECSS, 2009]. Uzay sistemleri alanında lider konumundaki üretici firmalar düşük maliyetli, hızlı ve düşük bir eforla projeye özel müşteri isteklerini karşılayacak şekilde modifiye edilebilecek jenerik platform tasarımları geliştirmektedir. Bu firmalar tasarımlarına kazandırılan uzay mirasını kaybetmemek ve sistem parçalarının ECSS-E-ST-10-02 dokümanında tanımlanan kategorilerini değiştirip fazladan kalifikasyon ihtiyacı oluşturmamak için mümkün olduğunca büyük değişikliklerden kaçınmaktadır.

DFV, herhangi bir ürünün varyasyonlarını geliştirirken harcanan mühendislik eforunu, tasarım süresini ve yapılan değişikliklerin tüm sistem üzerindeki etkisini azaltmak için tasarım ekibine yardımcı olan yöntemleri içerir [Martin ve Ishii, 1996; Martin ve Ishii, 1997; Martin ve Ishii, 2002]. Şimdiye kadar DFV, sadece havacılık ve uzay sektöründe değil inşaat sektöründe, tüketici

elektronik sektöründe de rekabet edebilirliği arttırmak amacıyla kullanılmıştır [Martin ve Ishii, 2002].

DFV metodunun iki ana aracı GVI ve CI endeksleridir ve bu endeksler ilgili ana başlıklar altında anlatılmıştır.

Bu bildiride DFV metodunun geliştirdiği GVI ve CI araçları kullanılarak çeşitli OBDH sistemlerinin aynı platform içindeki varyasyonlara ve yeni nesil platformlarda kullanımına uygunluğu analiz edilmiştir.

OBDH SİSTEM MİMARİLERİ

Analiz CNES ve ALCATEL tarafından geliştirilmiş olan PROTEUS platformunun ve Airbus Defence and Space tarafından geliştirilen FLP2 platformunun OBDH sistemlerinin mimarileri üzerinden yapılmıştır.

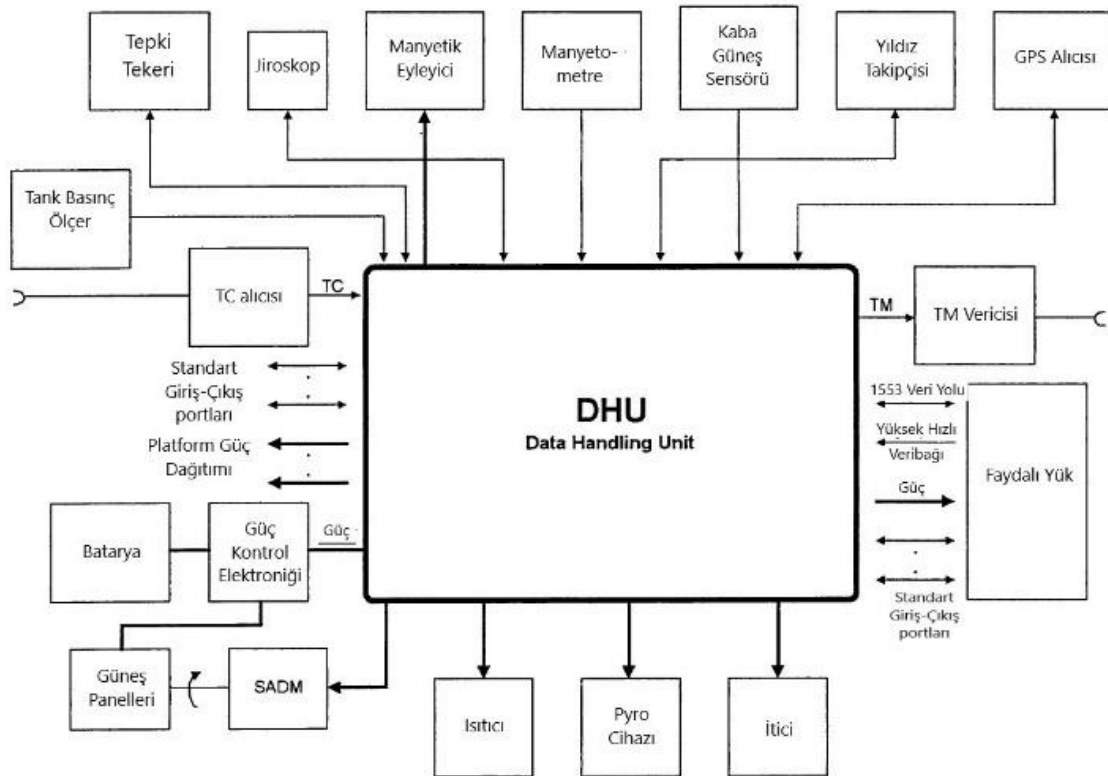
Proteus

Proteus jenerik bir yer istasyonu ile kontrol edilip bilimsel deney, gözlem, uzaktan algılama gibi birçok farklı faydalı yüke servis edebilecek bir platform olarak tasarlanmıştır. JASON-1 uydusunun başarıyla fırlatılması ve görev yapması ile de kalifiye olmuştur [Landiech ve Douillet, 2004; Jendeby ve David, 1997].

Proteus platformunda OBDH sistemi merkez bilgisayar görevini gören DHU etrafında şekillenmektedir. (Şekil 1).

Faydalı yükler 1553 veri yolu, yüksek hızda veri bağları ve standart I/O arayüzleri üzerinden kontrol edilirken İtici, Yönelim Saptama ve Denetim, TM/TC, Elektrik Güç ve Termal Kontrol gibi platform alt sistemlerinin de bütün elemanları alt sistem olarak ayrılmayıp doğrudan DHU tarafından kontrol edilmektedir.

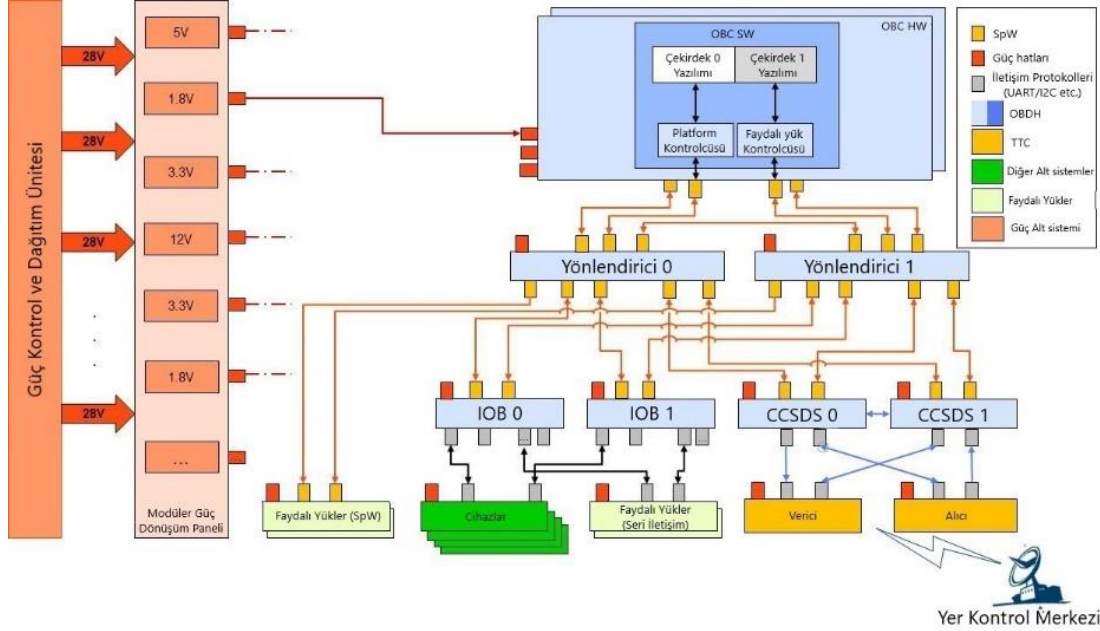
Ayrıca elektrik güç sisteminde güç düzenleme ve güç dağıtımı da DHU üzerinden gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1: PROTEUS OBDH Sistem Mimarisi [Jendeby ve David, 1997]

The Flexible LEO Platform (FLP2)

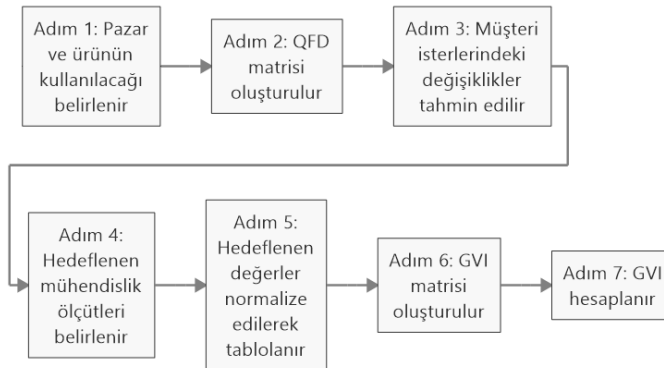
Airbus Defence and Space desteğiyle University of Stuttgart'ta geliştirilen “flying laptop” küçük uydusu 2017’de fırlatılıp başarıyla görev yaptıktan sonra “Future Low-cost Platform” (FLP) olarak adlandırılmıştır ve geleceğin düşük bütçeli platformu olarak geliştirilmeye devam etmiştir. Airbus bu platformun işlevlerini geliştirip daha modüler bir yapı katarak endüstriyelendirdikten sonra “Flexible LEO Platform” (FLP2) olarak adlandırılmıştır (Şekil 2) [Eickhoff, Chintalapati, Stoecker, Von Kader, Traussnig, Sayer ve Peel, 2018]. FLP2 OBDH alt sisteminde yönlendiriciler, giriş çıkış kartları (IOB 0, IOB 1) ve CCSDS TM/TC kodlayıcı/kod çözücü donanımları (CCSDS 0, CCSDS 1) üzerinden OBC ve diğer alt sistem cihazları arasında iletişim sağlanmaktadır.



Şekil 2: FLP2 OBDH Sistem Mimarisi [Eickhoff, Chintalapati, Stoecker, Von Kader, Traussnig, Sayer ve Peel, 2018]

NESİL ÇEŞİTLİLİK ENDEKSİ (GVI)

GVI, zamanla değişen OBDH sistem gereksinimlerini karşılamak için ekipmanlarda ihtiyaç duyulacak değişiklik olasılığını gösteren bir endekstir. Bu çalışmada detaylı bir OBDH sistem tasarımına çalışılmadığı ancak iki farklı tasarım inceleneceği için genel bir GVI hesaplaması yapılmış ve bazı adımlar bu nedenle atlanmıştır. GVI 7 adımda hesaplanır (Şekil 3) [Martin ve Ishii, 2002].



Şekil 3: GVI hesaplama adımları

GVI Adım 1

Pazar koşullarının iyi anlaşılması ve bu koşullar göz önüne alınarak tasarımın Pazar ömrünün uzunluğu belirlenir. Platformdaki değişikliklerin ve geliştirmelerin hangi sıklıkta yapılması gerektiğini öngörmesi açısından DFV yönteminin uygulanmasında önemlidir.

Özellikle uzay sistemleri pazarında, ürünün uzay tarihçesi hem üreticiye hem de müşteriye güven verdiği için çok önemlidir. Bu nedenle doğrulanmış tasarımların Pazar ömürleri genellikle çok yüksektir.

GVI Adım 2 ve Adım 3

QFD matrisinin 1. aşaması oluşturuldu (Şekil 4). Bu matriste müşteri ve sistem gereksinimlerinin OBDH sisteminde hangi metrikleri etkilediği belirlendi. Gereksinimlerde oluşacak değişiklik sıklığı da tahmin edildi ve QFD matrisinin 1. Aşamasıyla birlikte verildi. “H”, “M”, “L” harfleri sırasıyla yüksek, orta ve düşük sıklıkla müşteri gereksinimlerinde değişiklik olacağını göstermektedir. Sistem tasarımından bağımsız olan QFD 1. Aşama matrisi iki OBDH sistemi için de aynı olmaktadır.

Sistem Gereksinimleri	Mühendislik Ölçütleri								Ürün ömrü boyunca değişiklik ihtimali
	TC kapsamı	TM kapsamı	Veri İşleme Kapasitesi	TM/TC Veri Hızı	TID dayanıklılığı	Yedeklilik Seviyesi	AOCS hassaslığı	Isıl Kontrol Döngüleri	
	Komuta edilebilirlik	x		x	x				M
	Gözlenebilirlik		x	x	x				M
	Kontrol edilebilirlik	x		x					M
	Otonomi		x	x					M
	Görev Ömrü					x			L
	Güvenilirlik						x		L
	Kullanılabilirlik ve Güvenlik			x			x		L
	Isıl Kontrol Gereksinimleri			x				x	L
	İşaretleme Gereksinimleri			x			x		M

Şekil 4: QFD 1. Aşama (Proteus ve FLP2)

QFD matrisinin 2. Aşaması oluşturuldu (Şekil 5). Bu matriste QFD matrisinin 1. Aşamasında belirlenen mühendislik ölçütlerinin OBDH sisteminde hangi parçaları etkilediği gösterildi. Ekipmanların güç dağıtımı Proteus'ta DHU tarafından kontrol edilirken FLP2'de OBDH sistemi içerisinde değil güç sistemi üzerinden yapılmaktadır. Bundan dolayı, TM / TC kapsamındaki değişiklikler, Proteus'ta DHU'yu etkilerken FLP2'de güç sistemini etkilemektedir.

PROTEUS		Ekipmanlar							
Mühendislik Ölçütleri	TC kapsamı	Sensörler	Motorlar	İtici Motoru	Merkez Bilgisayar HW/SW (Röleleri de kapsamaktadır)	TM/TC Alıcı-Vericisi	Güç Sistemi	Isıl Sensör	Isıl Aktüatör
		x	x	x	x			x	
					x				
					x	x			
					x	x	x		
		x	x	x	x	x	x	x	x
					x	x	x	x	x
		x	x	x	x				
					x			x	x
					x				

FLP2		Ekipmanlar							
Mühendislik Ölçütleri	TC kapsamı	Sensörler	Motorlar	İtici Motoru	Merkez Bilgisayar HW/SW (Röleleri de kapsamaktadır)	TM/TC Alıcı-Vericisi	Güç Sistemi	Isıl Sensör	Isıl Aktüatör
		x	x	x	x			x	
					x			x	
					x	x			
					x	x	x		
		x	x	x	x	x	x	x	x
					x	x	x	x	x
		x	x	x	x				
					x				
					x			x	x

Şekil 5: QFD 2. Aşama

GVI Adım 4 ve Adım 5

Bu adımda müşteri gereksinimlerindeki değişiklikler sonucu, OBDH sisteminin teknik gereksinimlerindeki değişiklikler hesaplanır. Fakat, bu çalışmada detaylı bir OBDH teknik gereksinim tablosu oluşturulamadığı için bu adım atlandı.

GVI Adım 6 ve Adım 7

QFD 2. Aşama matrisi temel alınarak GVI matrisi oluşturuldu. Değişen isterler sonucu, ekipmanlarda yapılması gereken değişiklikler için harcanması gereken efor Tablo 2'deki puanlama sistemiyle değerlendirildi.

Tablo 2: GVI matrisi puanlama sistemi

Puan	Tanım
9	Ekipmanda büyük tasarım değişikliği gerektirir (>%50 tekrar tasarım maliyeti)
6	Ekipmanda küçük tasarım değişikliği gerektirir (<%50)
3	Çok sayıda küçük değişiklik gerektirir (<%30)
1	Az sayıda küçük değişiklik gerektirir (<%15)
0	Değişiklik ihtiyacı gerektirmez

Sütunların toplanması ile her ekipman için GVI hesaplandı (Şekil 6). Hesaplanan GVI değeri, ekipmanın gelecekteki müşteri gereksinimlerini karşılamak için ne kadar çok değişiklik ve yeniden tasarım aşaması geçirmesi gerektiğini gösterir. Mesela, 6-9 olarak numaralandırılan değişiklikler ECSS-E-ST-10-02C kodlu standartlarda belirtilmiş olan tanımlara göre tasarımın kategorisini değiştireceği için ürünün doğrulanması ve kalifikasyonunda ciddi masraflar ortaya çıkarabilmektedir.

GVI sonuçlarından da görüldüğü gibi Merkez Bilgisayar HW / SW GVI puanı diğer ekipmanlara göre çok yüksek çıkmıştır (Şekil 6). GVI puanının yüksek olması, müşteri isteklerindeki değişikliklerin çok yüksek ihtimalle merkez bilgisayar donanım ve yazılım tasarımında değişiklik gerektireceği yani OBDH sisteminde meydana geleceği anlamına gelmektedir. İki sistem için de müşteri isteklerindeki değişiklikler merkez bilgisayar tasarımında ciddi değişiklik ihtiyacı oluşturmaktadır.

Proteus tasarımında güç sistemi GVI puanı daha düşükken merkez bilgisayar donanım ve yazılımının GVI puanı FLP2'ye göre daha yüksek. Bu farklılığın temel sebebi Proteus tasarımında güç dağıtımının ve ekipman kontrolünde kullanılan rölelerin de merkez bilgisayar içerisinde bulunmasıdır.

PROTEUS		Ekipmanlar							
Mühendislik Ölçütleri		Sensörler	Motorlar	İtki Motoru	Merkez Bilgisayar HW/SW	TM/TC Alıcı-Vericisi	Güç Sistemi	Isıl Sensör	Isıl Aktüatör
	TC kapsamı				6				
	TM kapsamı	1	1	1	6	6		1	
	Veri İşleme Kapasitesi				6				
	TM/TC Veri Hızı				6	9	1		
	TID dayanıklılığı	1	1	1	3	3	1		
	Yedeklilik Seviyesi				6		3		
	AOCS hassaslığı	6	6	6	6		3		
	Isıl Kontrol Döngüleri				3		1	3	3
	GVI	8	8	8	42	18	9	4	3

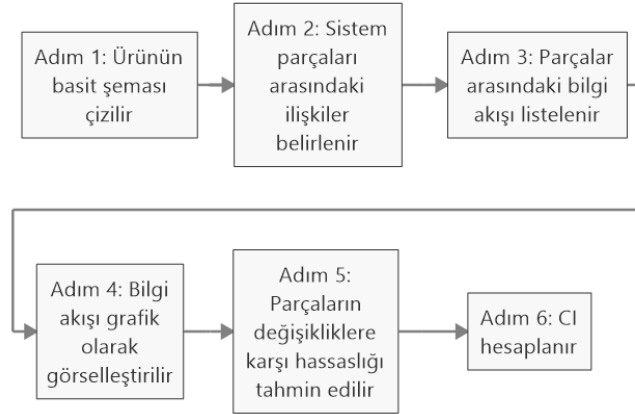
FLP2		Ekipmanlar							
Mühendislik Ölçütleri		Sensörler	Motorlar	İtki Motoru	Merkez Bilgisayar HW/SW	TM/TC Alıcı-Vericisi	Güç Sistemi (Röleleri de kapsamaktadır)	Isıl Sensör	Isıl Aktüatör
	TC kapsamı				3		1		
	TM kapsamı	1	1	1	3	6	1	1	
	Veri İşleme Kapasitesi				6				
	TM/TC Veri Hızı				6	9	1		
	TID dayanıklılığı	1	1	1	3	3	1		
	Yedeklilik Seviyesi				6		3		
	AOCS hassaslığı	6	6	6	6		3		
	Isıl Kontrol Döngüleri				3		1	3	3
	GVI	8	8	8	36	18	11	4	3

Şekil 6: GVI Hesaplamaları

BAĞLANTI ENDEKSİ (CI)

Çeşitli dış etkenler, sistem tasarımında doğrudan bazı ekipmanların değişmesini gerektirir. Tasarımdaki bazı ekipmanlar ise dış etkenler sonucu doğrudan değişmek zorunda değildir fakat değişecek ekipmanlarla bağlantılı olduğu için dolaylı olarak bu ekipmanların da değişmesi gerekir. Eğer iki ekipmandan biri değiştiği zaman sistemin çalışması için diğer ekipmanda da bir değişiklik gerektiriyorsa bu iki ekipman bağlantılı olarak adlandırılır [Ulrich, 1995].

Bağlantı endeksi (CI) ekipmanlar arasındaki bağlantının gücünü gösteren bir göstergedir. Yüksek CI seviyesi, bir ekipmanda olan değişikliğin diğer ekipmanda yüksek ihtimalle değişiklik gerektireceğini gösterir. CI 6 adımda hesaplanır (Şekil 7) [Martin ve Ishii, 2002].



Şekil 7: CI hesaplama adımları

CI Adım 1

Bu adımda sistemlerin basit şeması çizilir. CI hesaplamada Şekil 1 ve Şekil 2’de verilen şemalar kullanılmıştır.

CI Adım 2 ve Adım 3

Sistemin tasarım sürecinde ekipler arasında ekipmanların bazı özelliklerinin diğer ekiplere verilmesi gerekmektedir. Böylece, tasarım ekipleri ekipmanların birbiri ile uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlar. Her ekipman için, diğer ekiplere sağlaması gereken bilgiler ve diğer ekiplerden alması gereken bilgiler listelenir ve tablo halinde düzenlenir. Parçalar arasındaki ilişkiler, CI hesaplama sürecinde kullanılır (Şekil 8, Şekil 9).

Hesaplamanın yanıltıcı olmaması için sistem şemalarında da yer verilen benzer seviyelerde ekipmanlar alınmıştır. Alt seviyedeki gerilim çevirici, FPGA, mikroişlemci ve kontrolcü gibi elemanlarla daha üst seviyedeki motor veya sensör gibi ekipmanlar beraber incelenmemiştir. Ekipmanlar, incelenen iki sistem için de ortalama bir platform tasarımında bulunan ekipmanlar olarak aynı belirlenmiştir.

Proteus’ta FLP2’den farklı olarak her ekipman router veya ana veri yolu olmadan doğrudan DHU’ya bağlı olduğu için elektriksel arayüzlerde bir standardizasyon bulunmamaktadır ve merkez bilgisayarın bütün ekipmanların elektriksel arayüzüne doğrudan uyumlu olması gerekmektedir. Ayrıca, Proteus’ta güç dağıtımı da DHU üzerinden yapıldığı için motor, itki motoru gibi güç ihtiyaçları yüksek olan aktüatör ekipmanlardaki güç gereksinimlerini de karşılaması gerekmektedir. Bundan dolayı, ekipmanlardan merkez bilgisayara elektriksel arayüz bilgisi sağlanması gerekmektedir.

	Bilgi Sağlayan Ekipman							
	Sensör	Motorlar	İtki Motoru	Merkez Bilgisayar HW/SW (Röleleri de kapsamaktadır)	TM/TC Alıcı-Vericisi	Güç Sistemi	Isıl Sensör	Isıl Aktüatör
Sensör		x	x	x	x	x	x	x
Motorlar	x		x	x	x	x	x	x
İtki Motoru	x	x		x	x	x	x	x
Merkez Bilgisayar HW/SW (Röleleri de kapsamaktadır)	Elektriksel arayüz (data)	Elektriksel arayüz (data)	Elektriksel arayüz (data)		TM package	SADM Elektriksel arayüz (data)	Elektriksel arayüz (data)	Elektriksel arayüz (data)
	Sensör verisini anlamlandırmak için gereken bilgiler	Elektriksel arayüz (güç)	Elektriksel arayüz (güç)		x	SADM Elektriksel Arayüz (güç)	Sensör verisini anlamlandırmak için gereken bilgiler	Elektriksel arayüz (güç)
	x	Kontrol algoritmasında kullanılacak motor performans eğrileri	Kontrol algoritmasında kullanılacak motor performans eğrileri		x	SADM sensör verisini anlamlandırmak için gereken bilgiler	x	Kontrol algoritmasında kullanılacak motor performans eğrileri
	x	x	x		x	SADM Kontrol algoritmasında kullanılacak motor performans eğrileri	x	x
	TM/TC Alıcı-Vericisi	x	x	TC package		x	x	x
Güç Sistemi	x	x	x	Elektriksel Arayüz (güç)			x	x
Isıl Sensör	x	x	x	x	x	x		x
Isıl Aktüatör	x	x	x	x	x	x	x	

Şekil 8: Bilgi Akış Tablosu (Proteus)

	Bilgi Sağlayan Ekipman							
	Sensör	Motorlar	İtki Motoru	Merkez Bilgisayar HW/SW (Röleleri de kapsamaktadır)	TM/TC Alıcı-Vericisi	Güç Sistemi	Isıl Sensör	Isıl Aktüatör
Sensör		x	x	x	x	x	x	x
Motorlar	x		x	x	x	x	x	x
İtki Motoru	x	x		x	x	x	x	x
Merkez Bilgisayar HW/SW (Röleleri de kapsamaktadır)	Sensör verisini anlamlandırmak için gereken bilgiler	Kontrol algoritmasında kullanılacak motor performans eğrileri	Kontrol algoritmasında kullanılacak motor performans eğrileri		TM package	SADM sensör verisini anlamlandırmak için gereken bilgiler	Sensör verisini anlamlandırmak için gereken bilgiler	Kontrol algoritmasında kullanılacak motor performans eğrileri
	x	x	x		x	SADM Kontrol algoritmasında kullanılacak motor performans eğrileri	x	x
	x	x	x		x	x	x	x
	x	x	x		x	x	x	x
	TM/TC Alıcı-Vericisi	x	x	TC package		x	x	x
Güç Sistemi	x	x	x	Elektriksel Arayüz (güç)	x		x	x
Isıl Sensör	x	x	x	x	x	x		x
Isıl Aktüatör	x	x	x	x	x	x	x	

Şekil 9: Bilgi Akış Tablosu (FLP2)

CI Adım 4

Bu adımda tasarım ekipleri arasındaki bilgi akışı grafik olarak görselleştirilir. Bu görselleştirme tasarım ekipleri için kullanışlıdır ve opsiyonel olarak tamamlanabilir fakat zorunluluk yoktur. Bu çalışmada CI hesaplamasında kullanılacak bilgi akışı sadece matris olarak oluşturulmuştur ve görselleştirmeye gerek duyulmamıştır.

CI Adım 5 ve Adım 6

Belirlenen ilişkilerde ekipmanların bilgilere hassaslığı Tablo 3'te verilmiştir. Mesela 9 puanlı bilgideki bir değişiklik, ekipmanda büyük tasarım değişikliği gerektirir.

Tablo 3: Bilgilerin hassaslığı için CI puanlama sistemi

Puan	Tanım
9	Ekipmanda büyük tasarım değişikliği gerektirir (>%50 tekrar tasarım maliyeti)
6	Ekipmanda küçük tasarım değişikliği gerektirir (<%50)
3	Çok sayıda küçük değişiklik gerektirir (<%30)
1	Az sayıda küçük değişiklik gerektirir (<%15)
0	Değişiklik ihtiyacı gerektirmez

Elektriksel arayüzler için sensörlerdeki değişikliklerde data arayüzü daha hassas olarak kabul edildi. Motorlarda ise komut sinyali için güç seviyeleri değişeceği tahmin edilerek güç arayüzündeki değişikliklerin daha hassas olduğu kabul edildi.

İki sistem için de kontrol algoritmasında kullanılacak sensör verisi ve motor performans eğrisi bilgileri 3 olarak puanlandı çünkü bu değişiklikler genelde yazılımda değiştirilebilen ve yeniden tasarım gereği oluşturmadan düşük eforlarla güncellenebilirler.

SADM, ısı sensör ve ısı aktüatörlerin elektriksel arayüzleri genelde çok farklılaşmadığı için merkez bilgisayarda ciddi değişikliklere yol açmazlar. Bundan dolayı 1 olarak puanlandırıldı.

Proteus'ta TM/TC hatları doğrudan DHU'ya bağlıyken FLP2'de jenerik ana veri yolu üzerinden TM/TC gönderilip alınıyor. Bundan dolayı, Proteus'ta TM/TC alıcı-vericisi ile daha hassas bir ilişki mevcut.

	Bilgi Sağlayan Ekipman								CI-R
	Sensör	Motorlar	İtki Motoru	Merkez Bilgisayar HW/SW (Röleleri de kapsamaktadır)	TM/TC Alıcı-Vericisi	Güç Sistemi	Isıl Sensör	Isıl Aktüatör	
Sensör		x	x	x	x	x	x	x	0
Motorlar	x		x	x	x	x	x	x	0
İtki Motoru	x	x		x	x	x	x	x	0
Bilgiyi Kullanan Ekipman Merkez Bilgisayar HW/SW (Röleleri de kapsamaktadır)	Elektriksel arayüz (data) 6	Elektriksel arayüz (data) 3	Elektriksel arayüz (data) 3		TM package 3	SADM Elektriksel arayüz (data) 1	Elektriksel arayüz (data) 1	Elektriksel arayüz (data) 1	45
	Sensör verisini anlamlandırmak için gereken bilgiler 3	Elektriksel arayüz (güç) 6	Elektriksel arayüz (güç) 6		x	SADM Elektriksel Arayüz (güç) 1	Sensör verisini anlamlandırmak için gereken bilgiler 1	Elektriksel arayüz (güç) 1	
	x	Kontrol algoritmasında kullanılacak motor performans eğrileri 3	Kontrol algoritmasında kullanılacak motor performans eğrileri 3		x	SADM sensör verisini anlamlandırmak için gereken bilgiler 1	x	Kontrol algoritmasında kullanılacak motor performans eğrileri 1	
	x	x	x		x	SADM Kontrol algoritmasında kullanılacak motor performans eğrileri 1	x	x	
TM/TC Alıcı-Vericisi	x	x	x	TC package 3		x	x	x	3
Güç Sistemi	x	x	x	Elektriksel Arayüz (güç) 1	x		x	x	1
Isıl Sensör	x	x	x	x	x	x		x	0
Isıl Aktüatör	x	x	x	x	x	x	x		0
CI-S	9	12	12	4	3	4	2	3	

Şekil 10: CI Hesaplamaları (Proteus)

	Bilgi Sağlayan Ekipman								CI-R
	Sensör	Motorlar	İtki Motoru	Merkez Bilgisayar HW/SW (Röleleri de kapsamaktadır)	TM/TC Alıcı-Vericisi	Güç Sistemi	Isıl Sensör	Isıl Aktüatör	
Sensör		x	x	x	x	x	x	x	0
Motorlar	x		x	x	x	x	x	x	0
İtki Motoru	x	x		x	x	x	x	x	0
Bilgiyi Kullanan Ekipman Merkez Bilgisayar HW/SW (Röleleri de kapsamaktadır)	Sensör verisini anlamlandırmak için gereken bilgiler 3	Kontrol algoritmasında kullanılacak motor performans eğrileri 3	Kontrol algoritmasında kullanılacak motor performans eğrileri 3		TM package 1	SADM sensör verisini anlamlandırmak için gereken bilgiler 1	Sensör verisini anlamlandırmak için gereken bilgiler 1	Kontrol algoritmasında kullanılacak motor performans eğrileri 1	14
	x	x	x		x	SADM Kontrol algoritmasında kullanılacak motor performans eğrileri 1	x	x	
	x	x	x		x	x	x	x	
	x	x	x		x	x	x	x	
TM/TC Alıcı-Vericisi	x	x	x	TC package 1		x	x	x	1
Güç Sistemi	x	x	x	Elektriksel Arayüz (güç) 1	x		x	x	1
Isıl Sensör	x	x	x	x	x	x		x	0
Isıl Aktüatör	x	x	x	x	x	x	x		0
CI-S	3	3	3	2	1	2	1	1	

Şekil 11: CI Hesaplamaları (FLP2)

Puanlama yapıldıktan sonra sütunlar ve satırlar toplanarak bütün ekipmanlar için CI-R ve CI-S değerleri hesaplandı (Şekil 10, Şekil 11).

CI-S, ekipmanın diğer ekipmanlara verdiği bilgilerin ne kadar kritik olduğunu gösterir. Yüksek CI-S, bu ekipmanda oluşan bir değişikliğin diğer ekipmanlarda da birçok değişiklik gerektireceği anlamına gelmektedir.

CI-R, ekipmanın diğer ekipmanlardan alınan bilgilere karşı ne kadar hassas olduğunu gösterir. Yüksek CI-R, diğer ekipmanlardan alınan bilgilerdeki değişikliklerin bu ekipmanda da birçok değişiklik gerektireceği anlamına gelmektedir.

Sensörler, motorlar ve TM/TC alıcı-vericisi gibi ekipmanlar temel olarak AOCS gereksinimleri, ısı kontrol gereksinimleri, TM/TC kapsam gereksinimlerini karşılamak için doğrudan müşteri istelerine göre seçilmektedir. Merkez bilgisayar ise doğrudan müşteri istelerine etki etmemekle beraber bu ekipmanların hepsine uyum sağlayacak ve kontrol edebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Bundan dolayı hem Proteus hem FLP2 için merkez bilgisayar donanım ve yazılımının özellikle CI-R değerlerinin çok yüksek olduğu görülmektedir. Merkez bilgisayardan ise diğer ekipmanlara çok bilgi akışı sağlanmadığı için CI-S değerleri genel olarak düşüktür.

Proteus ve FLP2 için CI değerleri karşılaştırıldığında, CI-S değerleri arasında pek fark yokken CI-R değerlerinde 45 ve 14 arasında ciddi bir farklılık göze çarpmaktadır. Bu farklılığın 2 temel sebebi vardır. Birincisi, veri alışı-verişi Proteus'ta ekipmanlara özel hatlar üzerinden yapılırken FLP2'de

jenerik veri yolları üzerinden yapılmıştır. Bundan dolayı, yeni ekipmanlara uyumluluk için elektriksel arayüz değişikliği Proteus'ta doğrudan DHU üzerinde yapılırken, FLP2'de merkez bilgisayar dışında yapılmaktadır. İkincisi, ekipmanlara güç dağıtımının Proteus'ta DHU üzerinden yapılırken FLP2'de merkez bilgisayar dışında yapılmasıdır. Böylelikle ekipmanların güç ihtiyaçlarındaki veya rölelerdeki değişiklikler Proteus'ta doğrudan DHU üzerinde değişiklik gerektirirken FLP2'de merkez bilgisayarda değişiklik gerektirmeden yapılabilir.

SONUÇ

Çeşitli dış etkenlerle sistem gereksinimlerinde değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişikliklerin sistemi, alt sistemleri ve ekipmanları nasıl etkilediği DFV yönteminin sunduğu araçlarla incelenabilmektedir. Bu çalışmada farklı mimarilerdeki Proteus ve FLP2 OBDH sistemlerinden Proteus'un bu değişikliklerden daha fazla etkilendiği anlaşılmaktadır. İleride yapılacak olan OBDH sistem tasarımlarında DFV yönetiminin sunduğu GVI ve CI endeksleri kullanılarak mümkün olduğunca esnek bir mimariye sahip, jenerik OBDH sistemi tasarlanabilir. Modüler yapıya sahip bu OBDH sistemi, birçok projeye farklı ihtiyaçları karşılayacak şekilde uyarlanabilir.

Kaynaklar

- ECCS-E-ST-10-02C, Mart 2009., European Cooperation for Space Standards, s12-28
- Eickhoff, J., Chintalapati, B., Stoecker, P., Von Kader, W., Traussnig, R., Sayer, C., ve Peel, R., 2018., Deutsche Gesellschaft Für Luft- Und Raumfahrt - Lilienthal-Oberth e.V., Friedrichshafen, Almanya 4-6 Eylül.
- Fortescue, P., Swinerd, G. ve Stark., J., 2011., Wiley-Blackwell; 4th Edition, s.439-467
- Jendebay, A. ve David, J., 1997., Proceedings of the DASIA 97 Conference on 'Data Systems in Aerospace', Sevilla, İspanya, 26-29 Mayıs, s.21-23
- Landiech, P. ve Douillet, F., 2004., Proceedings of The 4S Symposium: Small Satellites, Systems and Services (ESA SP-571), La Rochelle, Fransa, 20-24 Eylül.
- Martin, M. V. ve Ishii, K., 1996., Proc 1996 ASME Design Engineering Technical Conference, Irvine, USA, 18-22 Ağustos.
- Martin, M. V. ve Ishii, K., 1997., Proc 1997 ASME Design Engineering Technical Conference, Sacramento, USA, 14-17 Eylül.
- Martin, M. V. ve Ishii, K., 2002., Springer-Verlag, Research in Engineering Design, 13(4), s.213-235
- Notebaert, O., 2015., 20th IEEE International Conference on Emerging Technologies in Factory Automation, Lüksemburg, Lüksemburg, 8 Eylül.
- Ulrich, K., 1995., The role of product architecture in the manufacturing firm. Res Policy, 24, s419-440
- Wertz, J. R. ve Larson, W. J., 1999., Microcosm, 3rd edition, s.301-407