

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ VE SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI
SAVUNMA ELEKTRONİĞİ VE YAZILIMI TEZLİ YÜKSEK LİSANS
PROGRAMI**

**FÜZE ARAYICI BAŞLIĞI İÇİN GÜVENİLİRLİK ANALİZİ VE
GÜVENİLİRLİK İYİLEŞTİRME ÇALIŞMASI**

HAZIRLAYAN

EBRU ÇEVİK BAKIRLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA-2021

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ VE SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI
SAVUNMA ELEKTRONİĞİ VE YAZILIMI TEZLİ YÜKSEK LİSANS
PROGRAMI**

**FÜZE ARAYICI BAŞLIĞI İÇİN GÜVENİLİRLİK ANALİZİ VE
GÜVENİLİRLİK İYİLEŞTİRME ÇALIŞMASI**

HAZIRLAYAN

EBRU ÇEVİK BAKIRLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ MURAT ÜÇÜNCÜ**

ANKARA-2021

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Savunma Teknolojileri ve Sistemleri Anabilim Dalı Savunma Elektronik ve Yazılım Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Ebru ÇEVİK BAKIRLI tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 09/11/2021

Tez Adı : Füze Arayıcı Başlığı için Güvenilirlik Analizi ve Güvenilirlik İyileştirme Çalışması

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı – Soyadı, Kurumu)

İmza

Doç.Dr. Ahmet GÜNGÖR PAKFİLİZ, Başkent Üniversitesi

.....

Dr. Öğretim Üyesi Atilla BOSTAN, Ankara Bilim Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Murat ÜÇÜNCÜ, Başkent Üniversitesi (Tez Danışmanı)

.....

ONAY

Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih: ... / ... / 2021

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: .../.../2021

Öğrencinin Adı, Soyadı : Ebru ÇEVİK BAKIRLI
Öğrencinin Numarası : 21820276
Anabilim Dalı : Savunma Teknolojileri ve Sistemleri Anabilim Dalı
Programı : Savunma Elektronik ve Yazılım Tezli Yüksek Lisans Programı
Danışmanın Adı, Soyadı : Dr. Öğr. Üyesi Murat ÜÇÜNCÜ
Tez Başlığı : Füze Arayıcı Başlığı İçin Güvenilirlik Analizi ve Güvenilirlik
İyileştirme Çalışması

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan toplam 103 sayfalık kısmına ilişkin, 13/11/2021 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 2'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:

ONAY

.../.../2021

Öğrenci Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Murat ÜÇÜNCÜ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın olgun hale gelmesinde gösterdiği tutum ve bana olan inancı için tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Murat ÜÇÜNCÜ'ye, her zaman olduğu gibi desteklerini arkamda hissettiğim canım anneme, babama, ablama, Ömer'e ve bu süreçteki anlayışı, yardımları ve bu çalışmaya katkıları için sevgili eşime çok teşekkür ederim.



ÖZET

Ebru ÇEVİK BAKIRLI

FÜZE ARAYICI BAŞLIĞI İÇİN GÜVENİLİRLİK ANALİZİ VE GÜVENİLİRLİK İYİLEŞTİRME ÇALIŞMASI

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri ve Sistemleri Anabilim Dalı

Savunma Elektronik ve Yazılım Tezli Yüksek Lisans Programı

2021

Güvenilirlik kavramı, özellikle savunma sanayii gibi stratejik değere sahip ve önemli miktarda yatırım ve iş gücü ile gerçekleştirilen projelerde kritik önemi haizdir. Güvenilirlik gereksinimleri tüm savunma sanayii projelerinin tasarım ve üretim öncesi belirlenen sistem seviyesi gereksinimleri arasında ön plana çıkmaktadır. Bu sebeple, sistem güvenilirliklerinin önceden saptanması ve iyileştirilmesi amacıyla, güvenilirlik analizlerine sıklıkla başvurulmakta, bu analizlerin bütün sistem ve alt sistem seviyesi tasarım çalışmalarının en başından itibaren yapılması sağlanarak tasarımların en iyilenmesi amaçlanmaktadır. Füze güvenilirlik analizi ise ömür döngüsü gereksinimlerinin karşılanmasını ve buna bağlı olarak da daha dayanıklı ve yüksek başarımlı ürünlerin üretilmesini sağlayan en önemli tasarım analizlerinden biridir. Pek çok füze alt sisteminde yapıldığı gibi, genel sistem başarımında büyük paya sahip güdüm sensörlerinden biri olan arayıcı başlık alt sistemi için de güvenilirlik analizi yapılması elzemdir. Bu çalışmada; teorik bir füze RF arayıcı başlığın güvenilirlik analizi kapsamında elektronik donanım seviyesinde güvenilirlik modellemesi, güvenilirlik ataması ve güvenilirlik tahmini yapılmıştır. Güvenilirlik analizi çalışmasının sonucunda, incelenen RF arayıcı başlığın RF Alma ve Frekans Çevirici Modülünün güvenilirliğinin arttırılmasına yönelik literatürde başarımlı doğrulanmış soğuk yedekleme ve periyodik test tekniklerinin kullanıldığı güvenilirlik değeri iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Çalışma neticesinde füze arayıcı başlığının güvenilirliğinin arttırılmasına katkı sağlayan temel bir tasarım alternatifi geliştirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Füze, Arayıcı Başlık, Güvenilirlik Analizi, Yedekleme, Periyodik Test

ABSTRACT

Ebru ÇEVİK BAKIRLI

**RELIABILITY ANALYSIS AND RELIABILITY IMPROVEMENT FOR A MISSILE
SEEKER**

Başkent University Institute of Science

Department of Defense Technologies and Systems

Master Program of Defence Electronics and Software with Thesis

2021

Reliability is a significant concept for the defense industry projects which have substantial amount of investment and labor costs. The reliability requirements of defense projects are also the prominent ones among others. Therefore, performing the reliability analysis are widely accepted for the purpose of specifying and improving the system reliabilities since the beginning of any project to optimize the performance of the designs for both system and subsystem levels. Missile reliability analyses are one of the most essential design analyses to meet missile life cycle requirements and they ensure to produce more enduring and high performance products. Hence, it is one of the crucial analyses to perform for a seeker which is the leading sensor to feed missile guidance like any other subsystems. In this thesis, an electronic hardware reliability analysis consisting of reliability modeling, allocation and estimation is performed for a theoretical RF seeker of a missile. Additionally, a reliability improvement which can be used for further life cycle studies is presented. To improve the reliability of the seeker, verified methods in the literature as probabilistic analysis and the periodical test implementation are applied. As a result of the study, a design alternative is proposed to increase seeker reliability.

KEYWORDS: Missile, Seeker, Reliability Analysis, Redundancy, Periodical Test

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. ASKERİ SİSTEMLER VE GÜVENİLİRLİK	3
2.1. Askeri Sistemlerde Güvenilirlik Standartları	3
2.2. Füze Silah Sistemleri Temel Tanımlar.....	4
2.3. Literatür Çalışmaları	7
3. ARAYICI BAŞLIKLAR.....	9
3.1. RF Arayıcı Başlık Teknolojileri.....	9
3.1.1. Aktif RF arayıcı başlık.....	9
3.1.2. Yarı-aktif RF arayıcı başlık.....	11
3.1.3. Pasif RF arayıcı başlık	12
3.1.4. RF arayıcı başlıklarda kullanılan hedef takip teknikleri	13
3.2. Kızılötesi Arayıcı Başlık Teknolojileri.....	23
3.3. Lazer Arayıcı Başlık Teknolojileri	27
3.4. Akustik Arayıcı Başlık Teknolojileri	29
3.5. Arayıcı Başlıkta Güvenilirliğin Önemi	30
4. GÜVENİLİRLİK.....	32
4.1. Temel Terimler	32
4.2. Güvenilirlik Mühendisliği Süreci	33
4.3. Güvenilirlik Matematiği.....	35
4.3.1. Birikimli dağılım fonksiyonu (F(t)).....	36
4.3.1.1 Olasılık yoğunluk fonksiyonu (f(t)).....	36
4.3.1.2 Güvenilirlik fonksiyonu (R(t)).....	36
4.3.1.3 Hata oranı ($\lambda(t)$).....	37
4.3.2. Güvenilirlik hesaplamalarında kullanılan olasılık dağılımları	37

4.4.	Güvenilirlik Analizi Aşamaları.....	41
4.4.1.	Güvenilirlik modellemesi	42
4.4.1.1	Seri model.....	43
4.4.1.2	Paralel model	44
4.4.1.3	Seri-paralel yapı kombinasyonu	45
4.4.1.4	Yedekleme teknikleri	45
4.4.2.	Güvenilirlik ataması.....	49
4.4.2.1	Eşit atama yöntemi.....	50
4.4.2.2	ARINC atama yöntemi	50
4.4.2.3	Amaçların fizibilitesi yöntemi	51
4.4.3.	Güvenilirlik tahmini.....	52
4.4.3.1	Güvenilirlik tahmini yöntemleri	53
4.4.3.2	Depolama evresinde güvenilirlik.....	55
4.4.3.3	Periyodik testlerin güvenilirliğe etkisi.....	55
5.	FÜZE ARAYICI BAŞLIĞINDA GÜVENİLİRLİK ANALİZİ	58
5.1.	Sistem ve Alt Sistem Gereksinimleri.....	58
5.2.	Arayıcı Başlık Fonksiyonel Blok Diyagramı	60
5.3.	Teorik Füze ve Arayıcı Başlık Güvenilirlik Blok Diyagramları.....	69
5.4.	Teorik Füze Alt Sistem Güvenilirlik Ataması.....	71
5.4.1.	Tam ömür devri güvenilirliği ataması.....	72
5.4.2.	Taktik görev güvenilirliği ataması.....	79
5.5.	Güvenilirlik Tahmin Yöntemi	80
5.6.	RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü Güvenilirlik Modeli	82
5.7.	RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü Güvenilirlik Analizi.....	88
5.8.	RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü Güvenilirlik İyileştirmesi	89
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	102
	KAYNAKLAR.....	104
	EK-1: MIL-HDBK- 217FN2 HATA ORANI HESAPLAMALARI	
	EK-2: PTC YAZILIMI RAPORLARI	

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 3.1. Aktif RF arayıcı başlıklı füze örnekleri	10
Tablo 3.2. Yarı-aktif RF arayıcı başlıklı füzeler	12
Tablo 3.3. Pasif RF arayıcı başlıklı füzeler	13
Tablo 3.4. Kızılötesi arayıcı başlıklı füze örnekleri	23
Tablo 3.5. Lazer arayıcı başlıklı füze örnekleri.....	29
Tablo 3.6. Akustik arayıcı başlıklı torpido örnekleri.....	30
Tablo 4.1. Güvenilirlik parametreleri	32
Tablo 4.2. Güvenilirlik hesaplamalarında kullanılan sürekli olasılık dağılımları	39
Tablo 4.3. Güvenilirlik hesaplamalarında kullanılan kesikli olasılık dağılımları	40
Tablo 4.4. Dağılım türlerinin kullanım alanları.....	41
Tablo 4.5. Bileşen tipleri ve ana stres faktörleri.....	54
Tablo 4.6. Aktif-pasif dönüşüm faktörleri.....	55
Tablo 5.1. Eşit atama ile füze tam ömür devri güvenilirlik ataması.....	72
Tablo 5.2. ARINC ile füze güvenilirlik ataması.....	73
Tablo 5.3. Amaçların fizibilitesi ile füze tam ömür devri güvenilirliği ataması	75
Tablo 5.4. Atama yöntemlerine göre RFAB tam ömür devri güvenilirlik değerleri	76
Tablo 5.5. Amaçların fizibilitesi ile RFAB tam ömür devri güvenilirliği ataması.....	78
Tablo 5.6. Eşit atama ile sinyal gönderme ve alma birimi güvenilirlik ataması	79
Tablo 5.7. Taktik görev güvenilirliği güvenilirlik ataması sonuçları	80
Tablo 5.8. Bileşenlerin MIL-STD-217FN2 sınıflandırması	81
Tablo 5.9. Tam ömür devri güvenilirliği görev profili-1.....	82
Tablo 5.10. Tam ömür devri güvenilirliği görev profili-2.....	83
Tablo 5.11. Taktik görev güvenilirliği görev profili-1	83

Tablo 5.12. Taktik görev güvenilirliği görev profili-2	83
Tablo 5.13. Görev profilleri çevresel koşulları.....	84
Tablo 5.14. Ortama göre bileşen hata oranları (FPMH).....	85
Tablo 5.15. RF alma ve frekans çevirici alt birimi hata oranları (FPMH)	86
Tablo 5.16. RF alma ve frekans çevirici modülü hata oranları (FPMH).....	87
Tablo 5.17. Görev profillerinin faz yüzdeleri.....	87
Tablo 5.18. RF alma ve frekans çevirici modülü görev profili hata oranları (FPMH).....	88
Tablo 5.19. RF alma ve frekans çevirici modülü güvenilirlik analizi sonuçları	88
Tablo 5.20. RF alma ve frekans çevirici modülü periyodik test ile güvenilirlik.....	90
Tablo 5.21. RF yedeklilik anahtarlama alt birimi hata oranları (FPMH).....	97
Tablo 5.22. Yedeklemeli RF alma ve frekans çevirici modülü hata oranları (FPMH)	97
Tablo 5.23. Yedeklemeli RF alma ve frekans çevirici modülü görev profili hata oranı	98
Tablo 5.24. Yedeklemeli RF alma ve frekans çevirici modülü güvenilirlik hesabı	98
Tablo 5.25. Periyodik test öncesi ve sonrası güvenilirlik (Yedeklemeli-10 ay).....	99
Tablo 5.26. Periyodik test öncesi ve sonrası güvenilirlik (Yedeklemeli-8 ay).....	100

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Füze tasarımındaki önemli parametreler	5
Şekil 2.2. Örnek bir füze ve alt sistemleri	6
Şekil 3.1. Aktif RF arayıcı başlık bütünü iç kısım görseli	11
Şekil 3.2. Tek-darbe anten dizisi	15
Şekil 3.3. Tek-darbe tekniğinin gösterimi	15
Şekil 3.4. Tek-darbe karşılaştırmalı yapısı	15
Şekil 3.5. Genlik karşılaştırmalı tek-darbe radar blok diyagramı.....	16
Şekil 3.6. Eğdirilmiş iki ışıma örüntüsü	18
Şekil 3.7. Işıma örüntüleri (Şekil 3.6. ile gösterilen) için oluşturulmuş toplam örüntüsü...	18
Şekil 3.8. Işıma örüntüleri (Şekil 3.6. ile gösterilen) için oluşturulmuş fark örüntüsü	19
Şekil 3.9. Işıma örüntüleri (Şekil 3.6. ile gösterilen) için oluşturulmuş fark/toplam oranı .	19
Şekil 3.10. Sıralı loblama	20
Şekil 3.11. Konik tarama	21
Şekil 3.12. Basitleştirilmiş konik tarama fonksiyonel blok diyagramı.....	21
Şekil 3.13. Konik taramada hedef takip ekseninde olduğu durumda üretilen hata işareti ..	22
Şekil 3.14. Konik taramada hedef takip ekseninin dışında olduğu durum	22
Şekil 3.15. Hedef, retikül ve IR sensörün uzaysal gösterimi.....	24
Şekil 3.16. IR sensör çıkışında görülen sinyallerin gösterimi	24
Şekil 3.17. Retikülün farklı noktalarına düşen hedefler için üretilen sinyaller	25
Şekil 3.18. Kırıcı görüntülemeli bir kızılötesi arayıcı başlığın optik gösterimi	26
Şekil 3.19. Yansıtıcı görüntülemeli bir kızılötesi arayıcı başlığın optik gösterimi	26
Şekil 3.20. Dört kadranlı bir fotodedektör.....	27
Şekil 3.21. Dört kadranlı fotodedektör üzerinden açılal yön tayini	28

Şekil 3.22. Lazer analog sinyal işleme sistemi blok diyagramı.....	28
Şekil 3.23. Akustik arayıcı ile torpido güdümü.....	30
Şekil 3.24. Füze-hedef angajmanı bilgi akışı	31
Şekil 4.1. Sistem mühendisliğinde güvenilirlik, hazır bulunma ve bakım süreçleri	34
Şekil 4.2. Güvenilirlik fonksiyonu	36
Şekil 4.3. Üssel dağılımda güvenilirlik eğrisi.....	38
Şekil 4.4. Güvenilirlik blok diyagramı seviyeleri.....	43
Şekil 4.5. Seri yapılı modelin genel gösterimi.....	44
Şekil 4.6. Paralel yapılı modelin genel gösterimi	44
Şekil 4.7. Seri-paralel yapı örneği	45
Şekil 4.8. Çeşitli seviyelerde yedekli güvenilirlik blok diyagramı örneği	46
Şekil 4.9. Yedekleme teknikleri	47
Şekil 4.10. Hazırda beklemeli yedekleme örneği.....	48
Şekil 4.11. Periyodik test ile güvenilirlik değişimi	57
Şekil 5.1. Teorik füze ilk seviye ürün ağacı	59
Şekil 5.2. RF arayıcı başlık fonksiyonel blok diyagramı	60
Şekil 5.3. RF alma ve frekans çevirici alt birimi	63
Şekil 5.4. Limitleyici devresi.....	64
Şekil 5.5. DGY devresi.....	65
Şekil 5.6. FET DC öngerilimlemesi için güç devresi	66
Şekil 5.7. Anahtar-filtre bloku devresi	67
Şekil 5.8. IF güç yükselteç devresi	68
Şekil 5.9. IF sönümleyici devresi	68
Şekil 5.10. BJT DC öngerilimlemesi için güç devresi	69
Şekil 5.11. Güç ve kontrol konnektörü.....	69

Şekil 5.12. Füze sistemi alt sistem seviyesi GBD	70
Şekil 5.13. RFAB ünite seviyesi GBD	70
Şekil 5.14. RFAB anten ünitesi birim seviyesi GBD	70
Şekil 5.15. RFAB elektronik ünitesi birim seviyesi GBD.....	70
Şekil 5.16. RFAB sinyal işleme ve kontrol birimi modül seviyesi GBD.....	70
Şekil 5.17. RFAB sinyal gönderme ve alma birimi modül seviyesi GBD	70
Şekil 5.18. RFAB RF alma ve frekans çevirici modülü alt birim seviyesi GBD	71
Şekil 5.19. RF alma ve frekans çevirici alt birimi bileşen seviyesi GBD	71
Şekil 5.20. Periyodik test ile güvenilirlik (İlk durum-6 ay).....	91
Şekil 5.21. Yedeklemeli RF alma ve frekans çevirici modülü fonksiyonel blok diyagramı	92
Şekil 5.22. RF yedeklilik anahtarlama alt birimi fonksiyonel blok diyagramı.....	93
Şekil 5.23. RF yedeklilik anahtarlama alt birimi / SP2T anahtarlar.....	93
Şekil 5.24. RF yedeklilik anahtarlama alt birimi / RF giriş ve çıkış konnektörleri.....	94
Şekil 5.25. RF yedeklilik anahtarlama alt birimi / anahtar kontrol devresi.....	94
Şekil 5.26. RF yedeklilik anahtarlama alt birimi / güç ve kontrol konnektörü	94
Şekil 5.27. RF yedeklilik anahtarlama alt birimi çalışma prensibi.....	95
Şekil 5.28. Yedeklemeli RF arayıcı başlık fonksiyonel blok diyagramı	96
Şekil 5.29. Yedeklemeli RF alma ve frekans çeviri modülü güvenilirlik blok diyagramı ..	96
Şekil 5.30. Yedeklemeli durumda güvenilirlik.....	98
Şekil 5.31. Periyodik test ile güvenilirlik (Yedeklemeli-8 ay)	100

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ARINC	Aeronautical Radio Incorporated
A _{IC}	Airborne, Inhabited Cargo (Havada, Meskûn Taşıma)
A _{UF}	Airborne, Uninhabited Fighter (Havada, Gayri Meskûn Avcı Uçağı)
BJT	Bipolar Jonksiyon Transistör
C _k	Kompleksite değeri
DC	Direct Current (Doğru Akım)
DGY	Düşük Gürültülü Yükselteç
F(t)	Birikimli dağılım fonksiyonu
f(x)	Olasılık yoğunluk fonksiyonu
FET	Field Effect Transistör (Alan Etkili Transistör)
FPGA	Field Programmable Gate Array (Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri)
FPMH	Failures Per Million Hours (Milyon Saatteki Hata Sayısı)
GaAs	Galyum Arsenit
G _B	Ground, Benign (Yerde, Kontrollü)
GBD	Güvenilirlik Blok Diyagramı
G _M	Ground, Mobile (Yerde, Hareketli)
H ₁ , H ₂ , H ₃	Sinyal genlikleri
I ₁ , I ₂ , I ₃ , I ₄	Fotodedektör kadrantlarında indüklenen akımlar
IF	Intermediate Frequency (Ara Frekans)
IIR	Imaging Infra-Red (Kızılötesi Görüntülemeli)
IR	Infra-Red (Kızılötesi)
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Lazer)
M	Test sayısı
M _F	Missile Flight (Füze Uçuşu)
MMIC	Monolithic Microwave Integrated Circuit (Monolitik Mikrodalga Tümleşik Devre)
MTBF	Mean Time Between Failures (Hatalar Arası Ortalama Süre)
N	Toplam alt sistem sayısı
N _i	Bileşen sayısı
OKK	Otomatik Kazanç Kontrol
OPAMP	Operational Amplifier (İşlemsel Yükselteç)
P(t)	Olasılık fonksiyonu
PIN	Positive-Intrinsic-Negative
R(t)	Güvenilirlik fonksiyonu
RADAR	Radio-Detection And Ranging
RF	Radyo Frekans
R _F	Geri besleme direnci

RFAB	RF Arayıcı Başlık
$R_i(t)$	Bileşen güvenilirliği
r_{ik}	Amaçların fizibilitesi yöntemindeki kriter puanları
$R_{k/m}$	m yedekli bileşenden k adetinin çalışması gerektiği durumda güvenilirlik
$R_{SYS}(t)$	Sistem güvenilirliği
SMA	Sub-Miniature version A
SONAR	Sound Navigation and Ranging (Ses Dalgaları ile Yön ve Uzaklık Tayini)
SP2T	Single Pole 2 Throw (Tek girişli 2 çıkışlı anahtar)
t	Zaman
T	Hataya kalan süre
T_T	Test zaman aralığı
w_i	Ağırlıklandırma faktörü
w_k	k alt sistemi genel derecelendirme değeri
α	Test etkinliği
ΔAz	Yanca fark kanalı
ΔEl	Yükseliş fark kanalı
$\Delta \Delta$	Fark fark kanalı
ε_φ	Yanca ya da yükseliş açısı hata fonksiyonu
$\lambda(t), \lambda, \lambda_{SYS}$	Hata oranı
λ^*	Sistemde kabul edilebilen en yüksek hata oranı
λ_i	Alt sistem/bileşen hata oranı
λ_i^*	Alt sisteme atanan hata oranı
ξ	Toplam ve fark kanalları arasındaki faz farkı
φ	Yanca ya da yükseliş açısı
φ_0	Yanca ya da yükseliş eğim açısı
λ_{Gi}	Jenetik hata oranı
π_{Qi}	Kalite faktörü

1. GİRİŞ

Füze sistemleri, taşıdığı harp başlığı faydalı yükü ile hedeflere zarar vermek için kullanılan, çeşitli güdüm yöntemleri ile hedefe ulaşabilen ve karmaşık üstün teknolojiye alt sistemler barındıran güvenlik silahlarıdır. Füzenin hedefe ulaşması için kullanılan güdüm sistemlerinden hedef ile ilgili bilgileri sağlayan sistem, arayıcı başlıktır. Arayıcı başlık hedef ile ilgili bilgileri sağladığından bu bilgilerin güvenilir ve hassas olması görev başarımını etkileyen en önemli parametrelerden biridir.

Güvenilirlik, bir sistemin fonksiyonlarını belirli bir zaman aralığında ve çevre koşulunda yerine getirebilmesi olasılığıdır. Güvenilirlik değerini etkileyen en önemli parametreler zaman ve hata oranıdır. Bu parametreler füze sistemlerinin depolama, taşıma ve aktif çalışma gibi farklı görev fazlarında farklı değerler alırlar. Füze sisteminin toplam güvenilirliği farklı görev fazlarındaki güvenilirlik değerlerinin birbirleri ile çarpılması ile elde edilir. Söz konusu güvenilirlik değerleri füze sistemini oluşturan alt sistemlerin güvenilirlik değerlerine bağlıdır. Bu tez çalışmasında, füzenin en önemli güdüm sensörü konumunda bulunan ve genel sistem başarımında büyük paya sahip alt sistemlerinden birisi olan arayıcı başlık için güvenilirlik analizi çalışmaları yürütülmüştür.

Tez çalışması toplamda 6 bölümden oluşmaktadır. Askeri sistemlerde güvenilirlik kavramının ele alındığı standartlar ile füze sistemleri ve alt sistemlerinin güvenilirliği kavramları Bölüm 2’de ele alınmıştır. Arayıcı başlıklara yönelik tarihçe, sınıflandırma ve çalışma prensibi ile güvenilirliğin önemi kavramlarına Bölüm 3’te yer verilmiştir. Bölüm 4’te ise güvenilirlik kavramının temel terimleri, güvenilirlik mühendisliği süreci, güvenilirlik analizi hesaplamalarında kullanılan fonksiyonlar ve olasılık dağılımları, güvenilirlik analizi aşamalarını oluşturan modelleme, atama ve tahmin süreçleri ile yöntemleri anlatılmıştır. Bölüm 5’te, uygulama olarak aktif Radyo Frekans (RF) arayıcı başlığa sahip teorik bir seyir füzesi belirlenmiştir. Öncelikle füzenin sistem ve alt sistem gereksinimleri ele alınarak güvenilirlik isteri tam ömür devri ve taktik görev güvenilirliği olarak ayrı ayrı belirlenmiştir. Füze ve arayıcı başlığın fonksiyonel blok diyagramı ve Güvenilirlik Blok Diyagramı (GBD) üzerinde çalışılmış ve sonrasında füze genelinde belirlenmiş güvenilirlik değerleri alt sistemlere atanmıştır. Böylece, arayıcı başlık alt sistemine ve arayıcı başlığı oluşturan birimler ile modüllere atanan hedef güvenilirlik değerleri belirlenmiştir. Arayıcı başlık için güvenilirlik modellemesi ve hesaplaması kapsamında RF Alma ve Frekans Çevirici Modülüne yönelik analizler “MIL-HDBK-

217FN2 güvenilirlik tahmin yöntemine” göre “PTC Windchill Quality Solutions 11.0” yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tam ömür devri güvenilirliğinde, incelenen modül için hesaplanan güvenilirlik değerinin hedeflenen değerden oldukça düşük olduğu görülmüştür. Güvenilirlik değerinin artırılması için yedeklemeye ve periyodik teste dayalı iyileştirme önerisinde bulunulmuştur.



2. ASKERİ SİSTEMLER VE GÜVENİLİRLİK

Askeri sistemler, görev kritik ve oldukça karmaşık bileşenler içeren sistemlerdir. Görev kritik bileşenlerden birinin hata vermesi durumunda tüm sistem başarısız olabilmektedir. Geçmişte gelişmiş operasyonel performans özelliklerine odaklanılmış olsa da günümüzde geliştirilmekte olan askeri sistemlerde operasyonel performans yetenekleri kadar yüksek güvenilirlik değerine ulaşmak da önemli bir hedef haline gelmiştir. Zira güvenilirlik değeri düşük olan sistemlerde gelişmiş operasyonel yeteneklerin istenildiği gibi kullanılması olasılığı zayıflar.

Askeri sistemlerde karşılaşılan düşük güvenilirlik değerlerinin ana sebepleri; artan ürün karmaşıklığı, tasarım kaynaklı özellikler, çevresel şartların zorlayıcı ve çeşitli olması, ürün geliştirme süreçlerine gereken sürenin ayrılmaması, performansın güvenilirliği için finansal teşvik veya ceza uygulamalarının yeterli olmayışı şeklinde sıralanmaktadır [1].

Bu kapsamda, literatürde askeri sistemlerde güvenilirlik kavramını bir mühendislik disiplini olarak ele alan ve yüksek güvenilirlik değerlerine ulaşılabilmesi için gerekli süreçleri tanımlayan, büyük kısmı Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Savunma Bakanlığı tarafından oluşturulmuş çeşitli standartlar yer almaktadır. Bu bölümde, askeri sistemlere yönelik güvenilirlik kaynakları ile füze silah sistemleri ve alt sistemlerine yönelik güvenilirlik kavramları özet bilgi olarak sunulmuştur.

2.1. Askeri Sistemlerde Güvenilirlik Standartları

Literatürde güvenilirlik ve ilgili parametrelerin tanımı, izlenecek yöntemler, gözlem, test ve analiz yöntemleri gibi çeşitli kavramları anlatan standartlar ve el kitapları bulunmaktadır.

Elektronik sistemlerdeki güvenilirlik mühendisliği uygulamalarına yönelik kavramlar, prensipler ve yöntemlere yönelik detaylı açıklamalar “MIL-HDBK-338B [2] Elektronik Güvenilirlik Tasarımı El Kitabı”nda yer almaktadır. MIL-HDBK-338B’de; güvenilirlik terimlerinin tanımı, sistem mühendisliği sürecinde güvenilirlik, güvenilirlik/hazır bulunma/idame edilebilirlik teorisinin özeti, güvenilirlik isterleri ile atama, modelleme ve tahmin yöntemleri, güvenilirlik mühendisliği tasarım rehberi, güvenilirlik verisi toplama ve verilerin analizi, güvenilirlik gösterimi, güvenilirliğin artırılması, yazılım güvenilirliği, güvenilirlik yönetimi hususları ele alınmaktadır.

Güvenilirlik hususunda ABD Savunma Bakanlığı tarafından bir rehber doküman hazırlanmıştır [3]. Bu rehber dokümanda; güvenilirlik, hazır bulunma ve idame edilebilirlik hususlarının görev kabiliyetinde kritik öneme sahip olduğuna değinilmiş, karşılaşılan problemler açıklanmış ve hedeflenen değerlere nasıl ulaşılabileceğine yönelik yol gösterici aktiviteler açıklanmıştır. Bu kavramların geliştirilmesi ve askeri sistemlere tatmin edici seviyelerde uygulanabilmesi için sistem mühendisliği sürecinin bir parçası olarak ele alınmaları gerektiği; böylece tanımlama, sınıflandırma, analiz, eleme veya risk azaltma süreçleri sayesinde hataların ve hata modlarının ortadan kaldırılmasının sistematik olarak yönetilebileceği değerlendirilmektedir.

Havadan atılan silahların kabul sürecinden ömrünün sonuna kadar maruz kalacağı çevre koşulları için “MIL-STD-1670A Havadan Atılan Silahlar için Çevre Kriterleri Rehberi Standardı” dokümanı [4] hazırlanmıştır. Bu doküman aynı zamanda, sistem geliştirmenin tüm evreleri için zorunlu çevresel tasarım kıstasları ile test gereksinimlerinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır.

Güvenilirlik değeri, testlerde elde edilen gerçek veriler olmadığında güvenilirlik tahmini standartlarına göre yapılan hesaplamalar ile elde edilebilmektedir. Askeri sistemler ve bu sistemlerde kullanılan elektronik ekipmanlar için güvenilirlik tahmini yöntemleri “MIL-HDBK-217F Elektronik Ekipmanların Güvenilirlik Tahminleri El Kitabı”nda detaylı olarak ele alınmaktadır [5]. Bu el kitabında, hata oranları hesabında kullanılmak üzere operasyonel olmayan hatalara yönelik modeller yer almakta, güvenilirlik analizinde kullanılan “parça stres analizi” ve “parçaların sayımı” yöntemleri olmak üzere 2 ana yöntem açıklanmaktadır. Parça stres analizi tüm komponentlerin çalışma parametrelerinin belirlendiği detaylı tasarım aşaması tamamlanmış olan sistemler için uygulanmaktadır. Bu yöntemde tüm komponentler için detaylı bilgiler ve çevresel şartlara yönelik parametreler kullanılmaktadır. Parçaların sayımı yönteminde ise parça sayıları, kalite seviyeleri ve çevresel şartlar gibi daha genel bilgiler kullanılmaktadır. Parça stres yöntemine göre daha az bilgiye ihtiyaç duyan bu yöntem kavramsal tasarım ve ön tasarım aşamaları için uygundur. Bu yöntem ile hesaplanan sistem güvenilirlik değerleri daha fazla bilinmezlik içerdiğinden dolayı daha düşük olmaktadır.

2.2. Füze Silah Sistemleri Temel Tanımlar

Füze; rotası ve vuruş noktası çeşitli sistemlerle önceden belirlenen veya uçuş esnasında yönlendirilebilen, bir harp başlığı taşıyan, itme gücü için roket, jet motoru veya atalet

kullanan bir silahtır. Füzeleri roketlerden ayıran temel özellik, dâhili ve harici bir veya birkaç güdüm sistemine sahip olmalarıdır. Klasik roketler ise başlangıçta öz itme ile yol alan ve sonradan balistik yörüngede uçuş gerçekleştiren güdümsüz silahlardır.

Füze sistemlerinin dengeli bir şekilde tasarlanabilmesi için Şekil 2.1.'de özetlendiği gibi sağlamlık, harp başlığı tahrip yeteneği, sapma mesafesi, radar kesit alanı, beka kabiliyeti, güvenilirlik, maliyet, atış platformu entegrasyonu hususlarının sağlam temellere dayanması gerekmektedir [6].

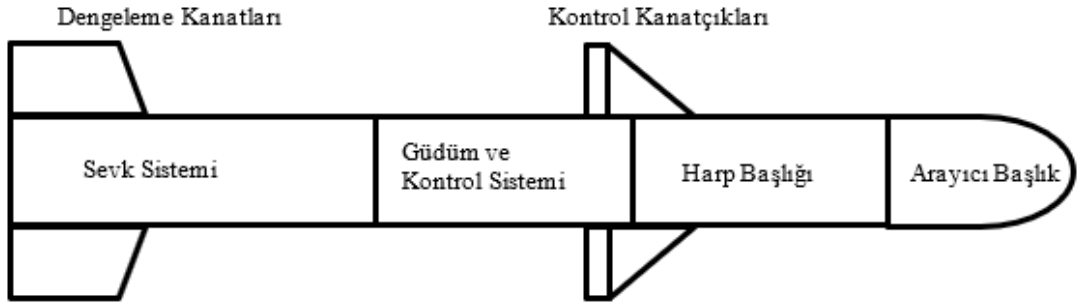


Şekil 2.1. Füze tasarımındaki önemli parametreler

Günümüz modern füzelerinin temelleri Almanya tarafından geliştirilerek II. Dünya Savaşı sırasında kullanılan V1 ve V2 güdümlü roketlerine dayanmaktadır. Bu dönemde karmaşık elektronik sistemlerin kullanımı arttıkça yüksek hata oranları ile karşılaşıldığından güvenilirlik kavramı bir araştırma alanı olmaya başlamıştır [7]. Örneğin, V2 güdümlü roketi uzun süre depolandığı zaman çevresel koşulların da etkisine bağlı olarak fırlatma başarımının ve vuruş hassasiyetinin düştüğü gözlenmiştir [8].

Füze silah sistemi tüm sistemler gibi kendi içinde bütünlüğe ve bir amaca sahip, birbirleri arasında etkileşim halinde olabilen, bir araya geldiklerinde içinde bulundukları sistemin amacına ulaşmasını sağlayan alt sistemlerden oluşan bir bütündür. Bu sistemler,

günümüz savaş teknolojilerinin en üstün özelliklere sahip olan örneklerindendir. Füze silah sistemlerinin oluşmasında bilim ve teknolojinin çok çeşitli disiplinleri kullanılmaktadır. Modern bir füzeyi oluşturan başlıca alt sistemler Şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Takip eden paragraflarda bu alt sistemlerin tanımları özet olarak yapılmaktadır.



Şekil 2.2. Örnek bir füze ve alt sistemleri

Arayıcı Başlık; kullanıcı tarafından veya otomatik olarak hedefe kilitlenerek füzenin hedefe yönelebilmesi için hedefe ait gerekli bilgileri füzenin güdümlü bölümüne belirli aralıklarla aktaran alt sistemdir. Arayıcı başlıklar; kızılötesi, kızılötesi görüntülemeli, lazer, sonar, RF arayıcı başlık tiplerinde olabilmektedir.

Güdümlü ve Kontrol Sistemi; güdümlü sistemde ivmeölçer ve dönüölçerlerin kullanıldığı ataletsel ölçüm birimi, küresel konumlama sistemi, radar altimetre, barometrik altimetre gibi sensörler yer almaktadır. Kontrol sistemi ise; sensörlerden gelen bilgiyi işleyerek hız, konum, yönelim gibi navigasyon çıktıları üreten sistemdir.

Harp Başlığı; füzenin hedefte hasar oluşturmaları sağlayan, içerisinde çeşitli kimyasallar ve mekanik bileşenler içeren bölümdür. Günümüz teknolojisinde genel olarak kullanılan harp başlığı tipleri; yüksek patlayıcılı, parçacık etkili, ardışık delici, termobarik ve nükleer harp başlıklarıdır.

Tapa; harp başlığının ateşlenmesi için kullanılan mekanik, elektronik veya elektromekanik sistemlerdir. Tapa sayesinde patlayıcı zincir kontrol edilerek füze hedefe ulaşana kadar harp başlığının patlaması engellenir. Harp başlığının hedefin yüzeyinde veya hedefe nüfuz ettikten sonra patlatılması durumunda çarpma etkisi ile çalışan tapalar kullanılabilir. Bu tür tapaların çalışabilmesi için iki farklı yöntem olmakla birlikte güvenilirliğin artırılması için her iki yöntemin de kullanılması söz konusu olabilmektedir. Bu yöntemler; çarpma anında ivmeölçerler tarafından ölçülen ivme değerinin daha önceden belirlenen limit değerini aşması ile ateşleme sinyalinin üretilmesi ve füzenin burun kısmına yerleştirilen kırılma duyargasının çarpmanın etkisi ile kırılarak ateşleme sinyali üretilmesi

şeklindedir. Harp başlığının parçacık veya basınç etkisini artırmak için yüzeye belirli bir mesafe kala patlatılmasının istenmesi durumunda yaklaşma sensörlü tapalar kullanılmaktadır.

Uçuş Kontrol Sistemi; kontrol sistemi tarafından oluşturulan hareket komutlarını kullanarak füzenin hareketinin sağlandığı sistemdir. Füzenin yönelimi, gövde üzerinde yer alan ve hava akışına maruz kalan kanatçıklar sayesinde veya füzenin motoru tarafından üretilen jet akışı yönünün hareketli mekanizmalar sayesinde değiştirilmesi ile sağlanmaktadır.

Motor; füzenin hareketi için ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlayan bölümdür. Füzenin özelliklerine göre katı yakıtlı roket motoru, turbojet, turbofan, ramjet ve scramjet motorlar kullanılabilir. Örneğin, yüksek manevra yeteneği ile kısa menzildeki hedefi vurması beklenen füzelerde katı yakıtlı roket motorları, yüksek hızlarda seyir yapan ve uzun menzillerde kullanılan füzelerde ise turbojet motorları uygun olmaktadır [9].

2.3. Literatür Çalışmaları

Füze ve söz konusu alt sistemlerin güvenilirliğine yönelik literatürde yer alan çalışmalar incelenmiş ve bir kısmı bu bölümde özetlenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında, füzenin hedefe ulaşmasında en hassas verilerinden birini taşıyan arayıcı başlık alt sistemi için literatürde yeterli sayıda kaynak olmamasına rağmen diğer alt sistemler için var olan kaynaklar incelenmiş ve arayıcı başlık alt sistemine özel uyarlamalarda bulunulmuştur.

Portatif bir hava savunma füzesi için depolama güvenilirliğinin Zhang et al., [10] tarafından incelendiği çalışmada; kızılötesi arayıcı başlığa yönelik test sonuçları paylaşılmış, bu sonuçlara göre elektronik performans düşüşünün güvenilirliğe etkisi sebebiyle arayıcı başlık için 6 yıldan sonra güvenilirliğin ciddi oranda düştüğü gösterilmiştir.

Peiravi [11], bir hava-hava füzesi tapası için güvenilirlik ve yedeklilik kavramlarını incelediği çalışmayı MIL-HDBK-217F'e göre gerçekleştirerek tapa güvenilirlik değerini iyileştirmiştir.

Martinez [12], uzun süre depolanan elektronik sistemler için periyodik testlerin uygulanması durumunda güvenilirlik değerini ortaya koyan detaylı bir model çalışması gerçekleştirmiştir.

Hong et al., [8] yüksek güvenilirlik isteri bulunan füze gibi askeri sistemlerde uzun yıllar depolama sonrasındaki güvenilirlik değerinin ortaya konabilmesi için geçmiş çalışmaları incelemiş ve öneri olarak hızlandırılmış testler ile sistemlerin hata veren zayıf

noktalarının tespitini, testler ve uzun süreli gözlemler sonucu ortaya çıkan verilerin toplanıp güvenilirlik değerlendirmesinin yapılabileceği bir veritabanı oluşturulması gerektiğini ortaya koymuşlardır.

Conover [13], yüksek hassasiyetli ve güdümlü silahlarda kullanılan tapaların güvenilirliğini artırmaya yönelik bir çalışma gerçekleştirmiş, hata oranını artıran bazı dış bileşenlerin çıkartılması ve sistemin insana bağımlılığını ortadan kaldırarak güvenilirliğin iyileştirilmesi önerilerinde bulunmuştur.

Prahlada [14], yüksek güvenilirlik gerektiren tek kullanımlık füze sistemleri için tasarım sürecindeki zorluklar ile kaliteli ve güvenilir bir sistem için üretim, montaj ve test süreçlerinde dikkate alınması gereken hususlara genel olarak değinerek kurumlar arası bilgi paylaşımının gerekli görüldüğü alanları belirlemiştir.



3. ARAYICI BAŞLIKLAR

Günümüz modern füzelerinin temelleri güdüm, uzaklık sensörü ve ataletsel navigasyona dayalı olarak geliştirilen ve II. Dünya Savaşı sırasında kullanılan V1 ve V2 güdümlü roketleridir. Hedefe yönelik girdinin sağlandığı arayıcı başlık teknolojileri bu dönemde henüz geliştirilmemiştir. Hassas vuruş başarımı sağlamak ve hedef tahrip olasılığını artırmak için Japonlar tarafından ABD donanmasını hedef alan Kamikaze saldırılarında pilot güdümü ile yaklaşık 2800 saldırı gerçekleştirilmiş, bu saldırılarda 34 askeri gemi batırılmış, 368 gemi hasar görmüş, 4900 gemi mürettebatı ölmüş ve 4800'ün üzerinde mürettebat yaralanmıştır [15]. Bunun üzerine, güdümlü füze çalışmaları başta ABD'de olmak üzere tüm dünyada yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu doğrultuda; RF, kızılötesi, kamera, lazer ve akustik sensörler kullanılarak güdüm yöntemleri geliştirilmiştir. Farklı alt yapılara dayalı olarak geliştirilen arayıcı başlık teknolojileri takip eden alt bölümlerde özetlenmektedir.

3.1. RF Arayıcı Başlık Teknolojileri

RF arayıcı başlıklar; hedefi algılamak, tespit etmek ve hedef bilgilerini üretmek için elektromanyetik spektrumun RF/mikrodalga bölgesi olarak adlandırılan bölgedeki elektromanyetik dalgaları kullanan arayıcı başlık tipleridir. Temelde, kullanılacak sinyalin üretildiği konumun farklılıklarına göre arayıcı başlıklar; aktif, pasif ve yarı aktif arayıcı başlıklar olarak sınıflandırılmaktadırlar.

İlerleyen bölümlerde detaylandırılacağı üzere; aktif ve yarı-aktif RF arayıcılar RADAR (RADio-Detection And Ranging) teknolojisinin farklı türlerini kullanan birer arayıcı sistemi iken pasif RF arayıcılar ise RF/mikrodalga bölgede yayın yapan, bahsi geçen arayıcı sisteminden bağımsız düşman unsurlarının tespit ve takip edilmesini amaçlayan arayıcı sistemleridir. RF arayıcı başlık türleri ve kullanılan başlıca hedef takip teknikleri aşağıda detaylandırılmıştır.

3.1.1. Aktif RF arayıcı başlık

Aktif RF arayıcı başlıklar hedef tespit ve takibi için monostatik RADAR olarak adlandırılan gönderici ve alıcı birimlerinin aynı yerde bulunduğu RADAR teknolojisini kullanırlar. Bu sistemde arayıcı başlık hedef tespiti için gerekli sinyali kendi üretir, yayınlar

ve hedeften yansıyan “echo” sinyalini yine kendi bünyesinde bulundurduğu bir almaç yapısı ile algılar. Bu sayede arayıcı, hedefin konumunu ya da hızını, ayrıca kullanılacak dalga formu, modülasyonu ve ilave bir takım sinyal işleme teknikleri yardımı ile de hem konumunu hem de hızını tespit edebilir durumdadır. Bu arayıcı başlık türü tam otonom bir mekanizma ile çalıştığından “at-unut” güdüm sistemleri altında incelenebilir.

Aktif RF güdüm sisteminin başlıca avantajı, kendi RADAR iletim sinyalini kendisi oluşturduğu için RADAR sistem bütününe tam senkron çalışabilmesi ve kontrol edilebilir olmasıdır. Ancak bünyesinde bulundurduğu aktif gönderme yapısının maliyeti yüksek olabilmektedir. Bunun yanında bütün RADAR bloğunun limitli bir hacim içine sığdırılmak zorunda olması, arayıcının limitli çıkış gücü üretebilen bir RF elektronik bütününe ve daha küçük antene sahip olması anlamına geleceğinden, hedef tespit mesafelerinin, örneğin yarı-aktif bir sisteme oranla, daha kısıtlanmış olduğu anlamına gelmektedir. Bu sebeple, aktif RF arayıcı sistemlerin terminal güdüm safhasında hedefin konumu ve hızı konularında daha kesin ve doğru sonuçlar üretmek amacıyla kullanılması oldukça yaygındır [16].

Aktif RF arayıcı başlıklar geçmişte ve günümüzde hava savunma füzeleri, seyir füzeleri ve anti gemi füzelerinin terminal safhalarında kullanılmaktadır. Aktif RF arayıcı başlığa sahip örnek sistemler Tablo 3.1.’de özetlenmiştir. Şekil 3.1.’de ise örnek bir aktif RF arayıcı başlık olarak, Vympel NPO R-77 hava-hava füzesine ait arayıcı başlığın iç kısmı görseli yer almaktadır [17].

Tablo 3.1. Aktif RF arayıcı başlıklı füze örnekleri

Sistem	Kullanım Amacı
AIM-120 AMRAAM [18]	Hava-Hava
AGM-114L Longbow Hellfire [19]	Hava-Satıh
AGM-84 Harpoon [20]	Anti-Gemi
S400 / 9M96 [21]	Satıh-Hava
AGM88E [22]	Anti-Radyasyon (Terminal safha)
ATMACA [23]	Anti-Gemi



Şekil 3.1. Aktif RF arayıcı başlık bütünü iç kısım görseli

3.1.2. Yarı-aktif RF arayıcı başlık

Aktif RF arayıcı başlıklı sistemlerin; hedef tespit mesafelerinin kısa olması, yerlerinin tespitinin mümkün olması ve füze üstü bileşen maliyetlerinin yüksek olması dezavantajlarıdır. Bu dezavantajlar göreceli olarak yarı-aktif RF arayıcı başlıklar ile giderilebilmektedir.

Yarı-aktif RF arayıcı sistemler bistatik RADAR teknolojisi ile çalışır. Yani RADAR sisteminin göndermeç ve almaç alt sistemleri farklı lokasyonlarda bulunur. Yarı-aktif arayıcılarda aydınlatıcı olarak adlandırılacak olan RADAR göndermeç alt sistemi füze üstünde olmayıp farklı bir konumda yer almaktadır. Almaç sistemi ise yine füze arayıcısındadır ve yerde yani platform üstünde bulunan RADAR göndermecinin aydınlattığı hedeften yansıyan “echo” sinyallerini kullanarak hedef hakkında bilgileri üretip güdüme girdi oluşturur.

Sabit konumlu ve göreceli olarak daha fazla hacme sahip olan aydınlatıcı yer sistemi, aktif bir arayıcıya göre daha etkin bir ışıma gücü (ERP-Effective Radiated Power) oluşturabilir. Bunu hem sahip olduğu RF göndermeç yapısının hem de göndermeç anteninin daha büyük olması ile gerçekleştirebilmektedir. Bu sayede arayıcı sistemi daha uzun tespit ve takip menzillerine erişmiş olur. Ancak füze bu durumda tam otonom bir sistem olmaktan uzaklaşmaktadır. RADAR tespit ve takip performansı, yer sisteminin hedefi arzu edilen

şekilde aydınlatmasına önemli ölçüde bağlı olacaktır. Birden fazla hedef tespit ve takibi de kısıtlanan otonomi yüzünden zorlaşacaktır. Ancak bu arayıcılar, aydınlatıcı RADAR'ının birden fazla hüzmeye oluşturduğu aktif faz dizinli antene sahip olduğu yer sistemleriyle birlikte kullanıldıklarında birden fazla hedef takibi gerçekleştirebilmeleri mümkün olabilmektedir [16]. Yarı-aktif arayıcıların maliyet avantajı ise arayıcı üzerinde bir RADAR sisteminin en pahalı alt sistemi olan gönderme biriminin bulunmamasından ileri gelmektedir.

Yarı-aktif arayıcılı güdüm sistemlerinin takip ve aydınlatıcı RADAR'ları aynı olabildiği gibi, bu sistemlerde takip ve aydınlatıcı amaçlarıyla kullanılan farklı tip yer üniteleri de olabilmektedir. Buna ilaveten, füze üstü arayıcı, hedefin aydınlatılmasına ihtiyaç duymasının yanı sıra, yer aydınlatıcı ünitesinin frekans ve modülasyon bilgilerine de ihtiyaç duymaktadır. Bu bilgiler atış öncesinde arayıcıya iletilebilir, ya da bu bilgilerin alınması için ayrı bir almaç ünitesine de ihtiyaç duyulabilir. Bu amaçla füzenin arka kısmında bu iş için kullanılan bağımsız bir anten de bulunabilir [16].

Yarı-aktif RF arayıcılar genel olarak satıh-hava ve hava-hava füzelerinde kullanılmaktadır. Yarı-aktif RF arayıcı başlığa sahip bazı sistemler Tablo 3.2.'de listelenmiştir.

Tablo 3.2. Yarı-aktif RF arayıcı başlıklı füzeler

Sistem	Kullanım Amacı
R-27R [24]	Hava-Hava
AIM-9C Sidewinder [25]	Hava-Hava
2K12 Kub [26]	Satıh-Hava
S400 /48N6DM [27]	Satıh-Hava

3.1.3. Pasif RF arayıcı başlık

Pasif RF arayıcılar, aktif ve yarı-aktif RF arayıcı türlerinin aksine, kendi sistemlerinde bulunan bir radar göndermecine bağlı konvansiyonel radar teknolojisi ile çalışmazlar. Pasif RF arayıcılar için hedef; düşman hava savunma sisteminin tespit, takip ve aydınlatma radarları olabileceği gibi haberleşme amacıyla kullanılan verici istasyonları, elektronik tedbir/karşı tedbir amaçlı vericiler ya da herhangi bir RF yayın kaynağı olabilir. Bu nedenle, RF/mikrodalga bölgesinde yayın yapan bir düşman unsuru da çoğu zaman hedef olarak

değerlendirilmekte ve yapılan RF yayının tespit edilerek füzenin o kaynağa yönlendirilmesi mümkün olabilmektedir.

Pasif RF arayıcılar, çoğu zaman birden fazla almaç antenine sahiptirler ve RF yayın yapan hedefin tespit ve takibi için çeşitli yön bulma metotları kullanırlar. Bağımsız antenlere gelen elektromanyetik dalganın faz ve genliklerinden hedef konumunu tespit edebilir yetenektedirler. Aktif ve yarı-aktif RF arayıcılardan farklı olarak çok daha geniş bir frekans bandında çalışabilir olan genişbant antenler ve almaç yapıları kullanılır [16]. Bu açıdan pasif RF sistem ve donanım tasarımlarının kendine has bir zorluğu bulunmaktadır.

Pasif RF arayıcı başlıklar düşman hava savunma sistemlerini baskılamak ve/veya hasar vermek amacını taşıyan füzelerde kullanılırlar. Pasif arayıcı başlık kullanan iki sistem Tablo 3.3.'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Pasif RF arayıcı başlıklı füzeler

Sistem	Kullanım Amacı
AGM-88 HARM [28]	Hava-Satıh
Kh-58 [29]	Hava-Satıh

3.1.4. RF arayıcı başlıklarda kullanılan hedef takip teknikleri

RF arayıcılar hedef takibinde konvansiyonel bir takip radarı gibi çalışır. Takip radarları hedefin hız ve kendine olan mesafesi ile kendi referansına göre yanca ve yükseliş açıları hakkında kestirimler yapar. Benzer şekilde RF arayıcılar da yaptıkları bu kestirimler ile hedef hakkında güdüm döngüsüne girdi oluştururlar. Stabil ve doğru bir füze güdümü, doğru hedef takibi yapılmadan imkânsızdır. Takip teknikleri mesafe/hız takibi ve açı takibi olarak ayrılabilirler. Çalışmanın bu bölümünde RF arayıcı başlıklarda kullanılan tek-darbe (monopulse), sıralı loblama (sequential lobing) ve konik tarama (conical scan) takip tekniklerinden bahsedilecektir.

Hedefin arayıcı başlığa göre olan açısal ve uzaysal konumunun tespiti için aktif ve yarı-aktif RF arayıcı başlıklarda kullanılan başlıca teknik tek-darbe tekniğidir. Bu teknik aynı zamanda takip radarlarında uzun yıllardır sıklıkla kullanılan bir yön bulma metodudur.

Tek-darbe yönteminden bahsetmeden önce bu tekniğe sahip olmayan takip radarlarının çalışma prensipleri hakkında bilgi vermek daha uygun olacaktır. Klasik anlamda takip radarları, hedefin kendisi ile olan göreceli açısal ve uzaysal konumunun tespiti için bir takım kestirim metotları uygulamaktadır. Temel radar teknolojisi ile çalışan bu radarlar,

tespit edilen hedefin potansiyel konumlarını kapsayacak şekilde bir tarama rejimi oluştururlar. Klasik takip radarları, hedefin açısal konumunun tespiti için kabaca bu tarama rejimi sırasında maksimum “echo” sinyal gücünün alındığı yeri ve hedef hız vektörünü kullanarak kestirimler gerçekleştirmektedir.

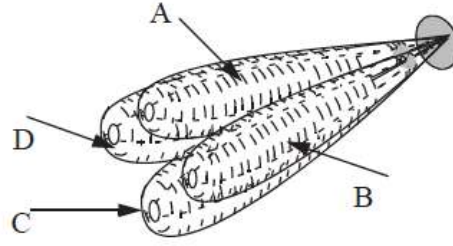
Bahsi geçen tarama rejimi, hedefi aydınlatmak için gönderici antenin hüzmelerinin mekanik ya da elektriksel olarak zamanda değiştirilmesidir. Hüzme olarak adlandırılan kavram, aydınlatıcı antenin ışıma örüntüsü yani antenin uzak alanda oluşturduğu elektromanyetik alanların yanca ve yükseliş açılarına bağlı olan fonksiyonlarıdır. Benzer şekilde alıcı olarak kullanılan bir anten için de uzak alandaki elektromanyetik alanların anten üzerinde oluşturduğu akım indüklenmeleri ve buna bağlı olarak yaratılan potansiyel farkın yanca ve yükseliş açılarına bağlı olan fonksiyonlarıdır. Yüksek anten hüzme genişliği hedef kestiriminde önemli belirsizliklere yol açacaktır. Ayrıca hedefin radar kesit alanının da darbenin hedef üzerinde olduğu zaman boyunca değişkenlik göstermesi, “echo” sinyalinin zarfında birtakım değişkenliklere sebep olacak, bu da ayrıca bazı belirsizlikleri beraberinde getirecektir [30]. Tek darbe tekniği; bu ve benzeri belirsizliklerin en aza indirildiği, hedef açısal konumunun tespitinde tek bir darbenin yeterli olduğu bir tekniktir. Genlik ve faz karşılaştırmalı çeşitleri bulunmaktadır.

Genlik karşılaştırmalı tek darbe tekniği, temelde lazer alıcı sistemlerine benzer 4 kadranlı bir anten yapısı, onun arkasından gelen ve antenlerden alınan sinyallerin toplanıp çıkarıldığı bir analog devre ve bu devrenin 3 adet çıktısı için tahsis edilen bağımsız kanallardan oluşmaktadır. 4 kadranlı anten yapısı açı takibi için özelleşmiş bir besleme tekniği ile beslenmektedir. Tipik bir tek darbe anten ışıma örüntüsü Şekil 3.2.’de verilmektedir [31]. A, B, C ve D olarak adlandırılmış hüzmeler 4 kadranlı anten dizisinin bağımsız ışıma örüntüleridir. Tek darbe radar tekniğinin uygulandığı aktif RF arayıcı başlıklarda reflektör, yarıklı dizi ve mikroşerit yama gibi anten türleri sıklıkla kullanılmaktadır. Şekil 3.1.’de gösterilen aktif RF arayıcı başlıkta bulunan anten yarıklı dizi antendir.

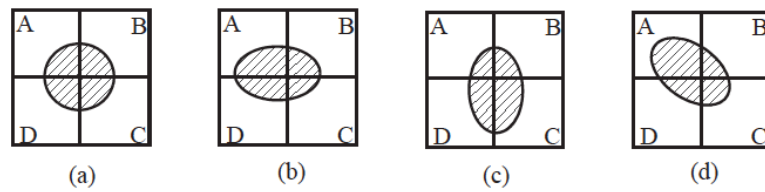
Genlik karşılaştırmalı tek darbe tekniği eş fazlı ancak farklı genliklere sahip sinyaller üzerinden gerçekleştirilmektedir.

Genlik karşılaştırmalı tek darbe tekniğinin gösterimi Şekil 3.3.’te yer almaktadır [31]. Hedef ve antenin açısal konumları sebebiyle hedeften yansıdıktan sonra kadran üzerine düşen sinyal enerjisi Şekil 3.3.’te gösterilen; Şekil 3.3a., Şekil 3.3b., Şekil 3.3c. ve Şekil 3.3d.’deki gibi farklı şekillerde olacaktır. Şekil 3.3a.’da hedef takip ekseninde iken Şekil 3.3b-d.’de hedef takip ekseninin dışındadır. Bu sayede kadranın farklı çeyreklerine düşen

enerji farklılıkları, hata sinyalinin oluşturulmasında kullanılarak hedefin açısal konumu kestirilebilmektedir.



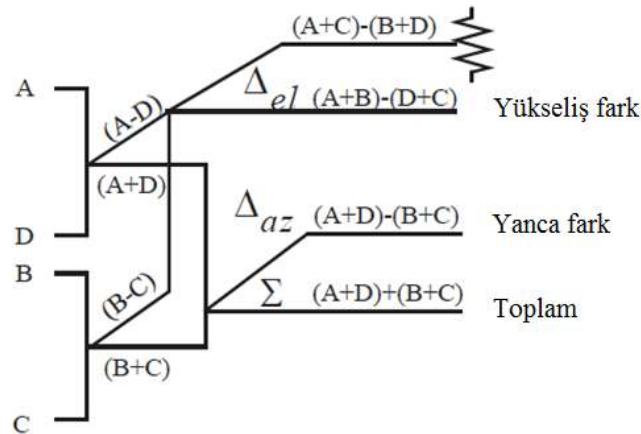
Şekil 3.2. Tek-darbe anten dizisi



Şekil 3.3. Tek-darbe tekniğinin gösterimi

Yukarıda anlatılan hata sinyalinin oluşturulması için gerekli toplama ve çıkarma işlemleri Şekil 3.4.'te gösterilmektedir [31]. Anten sonrasında bulunan analog toplama ve çıkartma devreleri ile 3 farklı kanal oluşturulabilir. Bu kanallar; toplam kanalı, yanca fark kanalı ve yükseliş fark kanalıdır.

Şekil 3.4.'e göre anlatılacak olursa; $(A+B) - (D+C)$ işleminin gerçekleştirilmesi yükseliş fark örüntüsünün, $(A+D) - (B+C)$ işleminin gerçekleştirilmesi ise yanca fark örüntüsünün elde edilmesinde kullanılacaktır. Üçüncü bir kanal ise kadrındaki bütün antenlerin toplandığı $(A+B+C+D)$ kanalıdır.



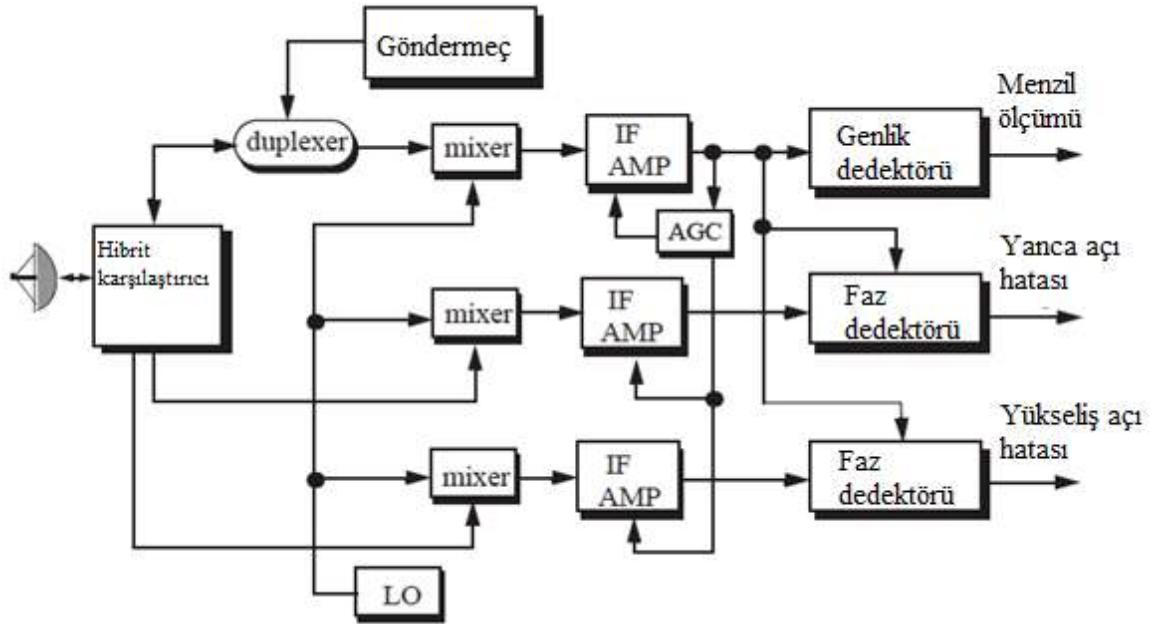
Şekil 3.4. Tek-darbe karşılaştırıcı yapısı

Aktif bir RF arayıcının sahip olduğu, basitleştirilmiş örnek bir tek-darbe sistemi blok diyagramı Şekil 3.5.’te gösterilmiştir [31]. Toplam kanalı; radar sistem bütününde hem göndermeç hem de almaç amaçlı olarak kullanılmakta, tek-darbe algoritmasında kullanılmasının yanı sıra hedef mesafe ölçümü amacıyla da kullanılan bir kanal konumundadır. Toplam ve fark kanalları oluşturmak için kullanılacak olan 4 adet antenin tek bir elemanının ışıma diyagramının “ $\sin(\varphi)/\varphi$ ”, eğim açısının da “ φ_0 ” olduğu varsayıldığı durumda yanca ya da yükselişteki toplam sinyal Eşitlik (3.1)’deki gibi olacaktır.

$$\Sigma(\varphi) = \frac{\sin(\varphi - \varphi_0)}{(\varphi - \varphi_0)} + \frac{\sin(\varphi + \varphi_0)}{(\varphi + \varphi_0)} \quad (3.1)$$

Fark sinyali ise Eşitlik (3.2)’deki gibidir.

$$\Delta(\varphi) = \frac{\sin(\varphi - \varphi_0)}{(\varphi - \varphi_0)} - \frac{\sin(\varphi + \varphi_0)}{(\varphi + \varphi_0)} \quad (3.2)$$



Şekil 3.5. Genlik karşılaştırmalı tek-darbe radar blok diyagramı

Şekil 3.6.’da; $\varphi_0=0.15$ radyanlık açı ile eğdirilmiş iki ışıma örüntüsü, Şekil 3.7. ve Şekil 3.8.’de ise sırasıyla toplam ve fark ışıma örüntüleri gösterilmektedir [31]. Oluşturulan fark kanalları hedefin takip ekseninde olup olmadığının anlaşılmasında bir belirteç olarak kullanılır. Ancak sinyal genlikleri sadece hedefin açısal konumuna bağlı olarak değişmez,

bunun yanında hedefin mesafe ve radar kesit alanının değişikliğine bağlı olarak da değişiklik gösterir. Bu sebeple Δ/Σ oranı yalnızca hedefin açısal pozisyonunun isabetli bir şekilde kestirimi için kullanılmaktadır [31].

Hedefin açısal konumunun kestirimi için kullanılan hata fonksiyonunun nasıl oluşturulduğunu göstermek için ilk olarak yanca ekseninde işlem gerçekleştirildiği durumda, S_1 ve S_2 sinyalleri Eşitlik (3.3) ve (3.4)'teki gibi tanımlanır.

$$S_1 = A + D \quad (3.3)$$

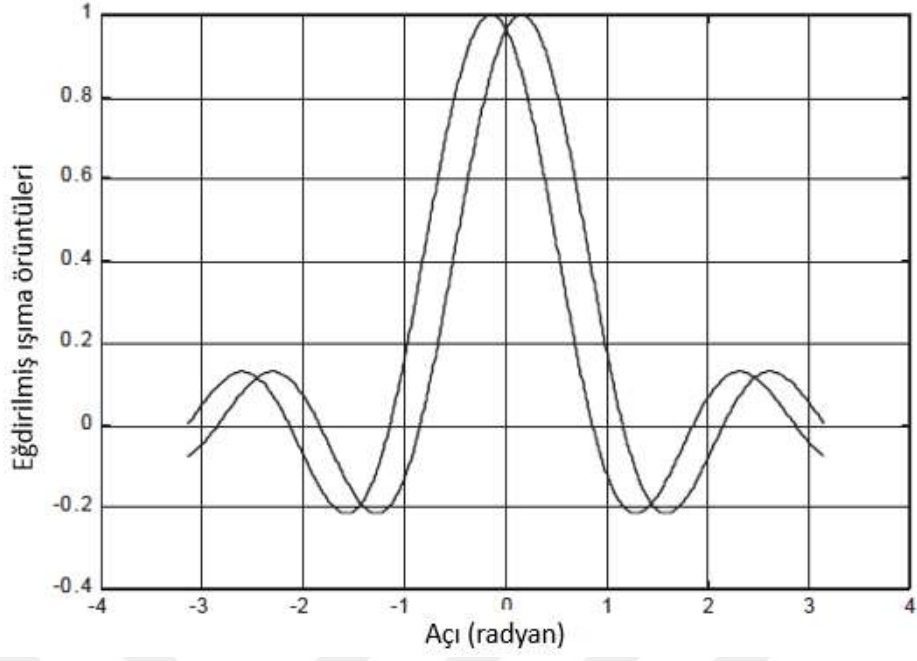
$$S_2 = B + C \quad (3.4)$$

Toplam sinyali " $\Sigma = S_1 + S_2$ ", yanca fark sinyali ise " $\Delta_{az} = S_1 - S_2$ " olacaktır. Toplam kanalı faz referansı olarak kullanıldığından, eğer $S_1 \geq S_2$ ise iki kanalın da eşit fazda (0°) olacağı anlamına gelmektedir. $S_1 < S_2$ durumu ise iki kanalın 180° faz farkına sahip olacağını belirtir. Aynı analiz yükseliş ekseninde de yapılabilir. Bu durumda $S_1 = A + B$, $S_2 = D + C$ olacaktır. Bu durumlar için hata fonksiyonu Eşitlik (3.5)'te verilmiştir.

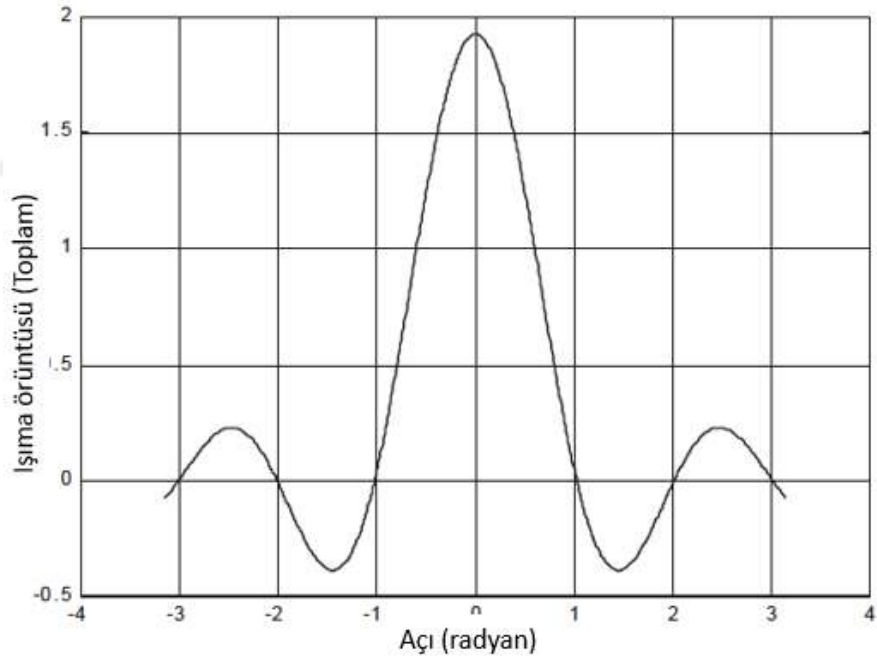
$$\varepsilon_\phi = \frac{|\Delta|}{|\Sigma|} \cos \xi \quad (3.5)$$

Burada ξ ; toplam ve fark kanalları arasındaki faz farkıdır ve yukarıda açıklandığı üzere 0° ya da 180° olacaktır. Daha net bir ifade ile hata fonksiyonu $\xi = 0^\circ$ için hedef takip ekseninde, diğer durumlar için de dışındadır denebilir. Şekil 3.9., toplam ve fark kanalları Şekil 3.7. ve Şekil 3.8.'deki gibi olan bir tek darbe radar için Δ/Σ oranını göstermektedir [31].

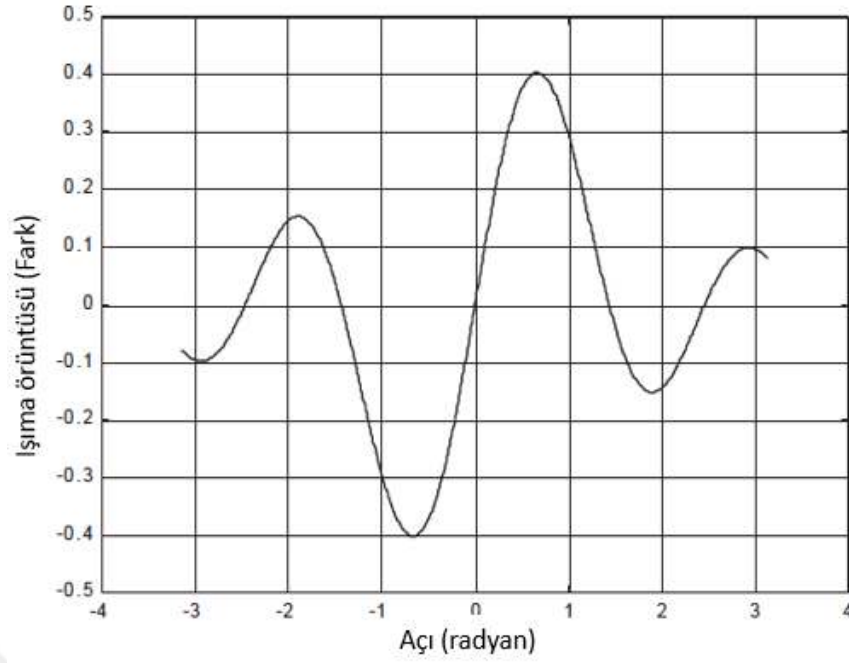
Yaygın olarak, tek-darbe uygulamalarında diyagonal kadrantların farkı olarak adlandırılan fark-fark kanalı (diyagonal fark) ($\Delta\Delta$) ise tek-darbe karşılaştırmalı devresi çıkışında uygun empedanslı bir yük ile sonlandırılır ve geleneksel tek-darbe yön bulma tekniğinde kullanılmaz. Ancak günümüzde diyagonal fark kanalının yön bulma performansını iyileştirme ve elektronik karşı-karşı tedbir amacıyla da kullanılabilirliği değerlendirilmektedir [32, 33, 34].



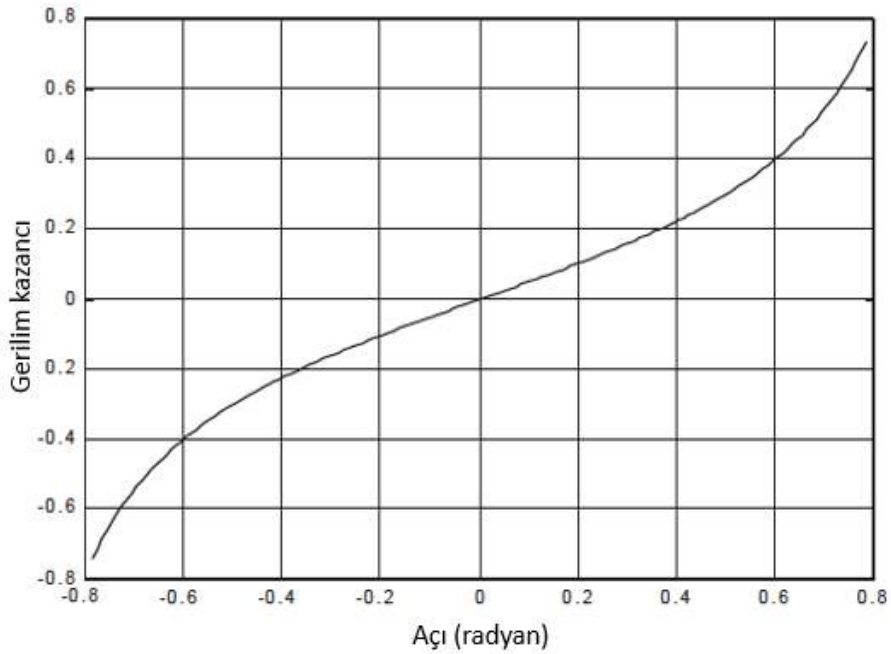
Şekil 3.6. Eğdirilmiş iki ışma örüntüsü



Şekil 3.7. Işma örüntüleri (Şekil 3.6. ile gösterilen) için oluşturulmuş toplam örüntüsü



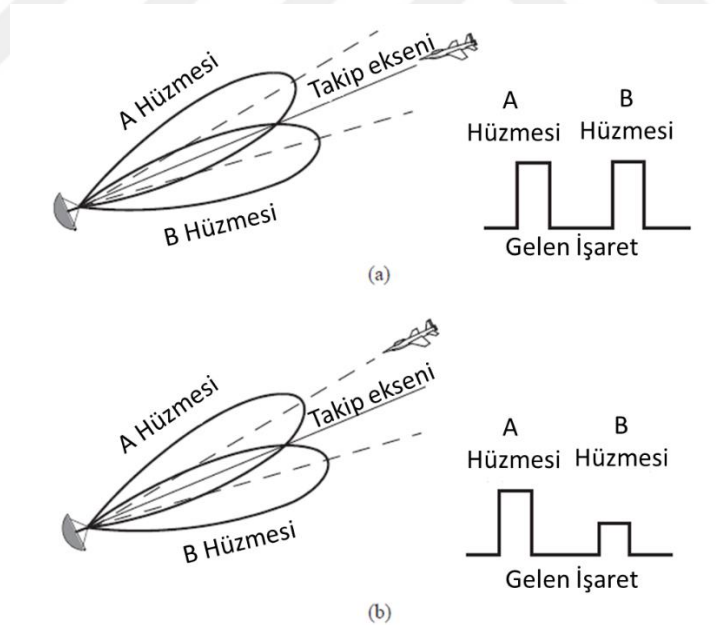
Şekil 3.8. Işıma örüntüleri (Şekil 3.6. ile gösterilen) için oluşturulmuş fark örüntüsü



Şekil 3.9. Işıma örüntüleri (Şekil 3.6. ile gösterilen) için oluşturulmuş fark/toplam oranı

RF arayıcı başlıklarda kullanılan bir diğer hedef takip yöntemi sıralı loblama tekniğidir. İlk nesil radar sistemlerinde kullanılan bu teknik; “lob anahtarlama” veya “sıralı anahtarlama” şeklinde de isimlendirilebilmektedir. Yön bulma hassasiyeti, kullanılan anten hüzmeye genişliği ile mekanik ve elektronik anahtarlama sistemlerinin oluşturduğu gürültü dolayısıyla sınırlanmış bir teknik olmasına rağmen, uygulama kolaylığı sayesinde sıklıkla

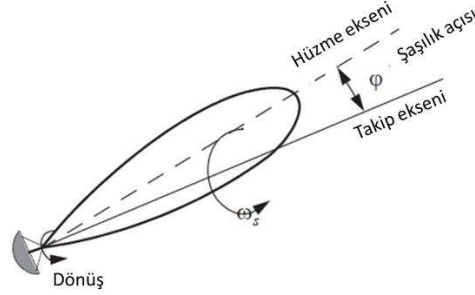
tercih edilen bir metot olmuştur. Sıralı loblamada kullanılan anten hüzmeleri simetrik, yani yanca ve yükselişte eşit açısal genişliklere sahip olmalıdır. Söz konusu tekniğin gösterimi ise Şekil 3.10.'da bulunmaktadır [31]. Zamanda sıralı bir şekilde oluşturulan A ve B hüzmeleri, antenin görüş hattının iki yanında, önceden belirlenmiş açılarda simetrik olarak konumlanmaktadır. Hüzmenin iki pozisyon arasında sıralı olarak anahtarlanması sağlanarak radar almacı ile hedeften yansıyarak gelen işaretin güç seviyeleri ölçülmektedir. Ölçülen iki yansıma işaretinin güç seviyeleri arasındaki fark da açısal hata işaretinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Şekil 3.10a., hedefin anten görüş hattında olduğu durumu, Şekil 3.10b. ise görüş hattında olmadığı durumu göstermektedir. İlk durumda açısal hata işaretinin büyüklüğü sıfırken, ikinci durumda açısal hata işareti sıfırdan farklıdır ve bu sayede hedefi ortalamak için antenin yönelmesi gereken yön belirlenmektedir. Teknikteki amaç, açısal hata işaretinin değerinin sıfır olması sağlanarak hedef yönünün tayin edilebilmesidir. Pratikte bu tekniğin uygulaması, yanca ve yükseliş yön tespiti için ikişer adet anten ve işaret gönderimi için de merkezde konumlandırılmış bir adet anten ile sağlanmaktadır. Almacı antenleri belirli sekanslarda anahtarlanarak hedef yön kestirimi yapılmaktadır.



Şekil 3.10. Sıralı loblama

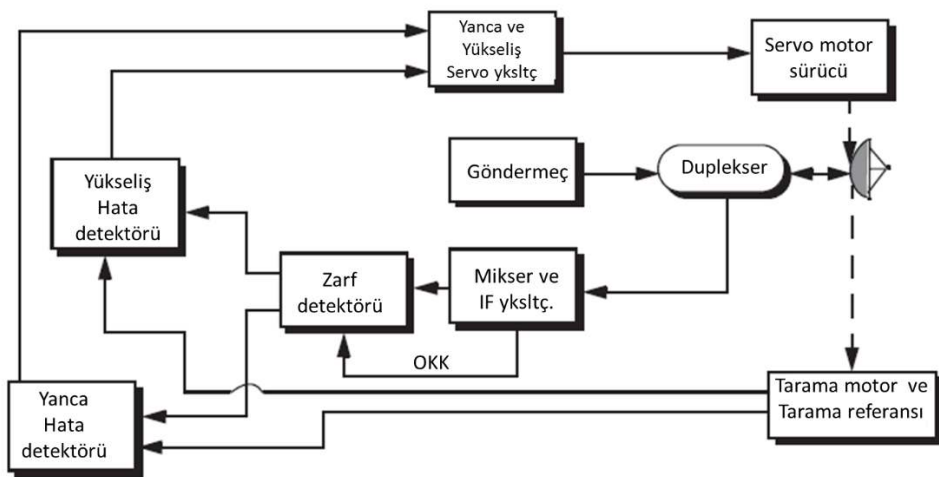
Tek darbe ve sıralı loblama tekniklerinin dışında kullanılan bir diğer hedef takip tekniği ise konik tarama yöntemidir. Konik tarama tekniği, sıralı loblama tekniğinin gelişmiş bir biçimidir. Bu teknikte anten, takip ekseninden kaydırılmış belirli bir açıda (şaşıklık açısı) sürekli olarak döndürülmektedir. Şekil 3.11. bir tipik bir konik tarama yaklaşımını

göstermektedir [31]. Burada; ω_s rad/sn cinsinden hüzmeye tarama frekansı; ϕ ise anten eksenini ve dönüş eksenini arasındaki şaşılık açısıdır. Tekniğin amacı, anten hüzmeye doğrultusunun sürekli bir biçimde değiştirilerek hedefin her zaman takip ekseninde olmasını sağlamaktır.



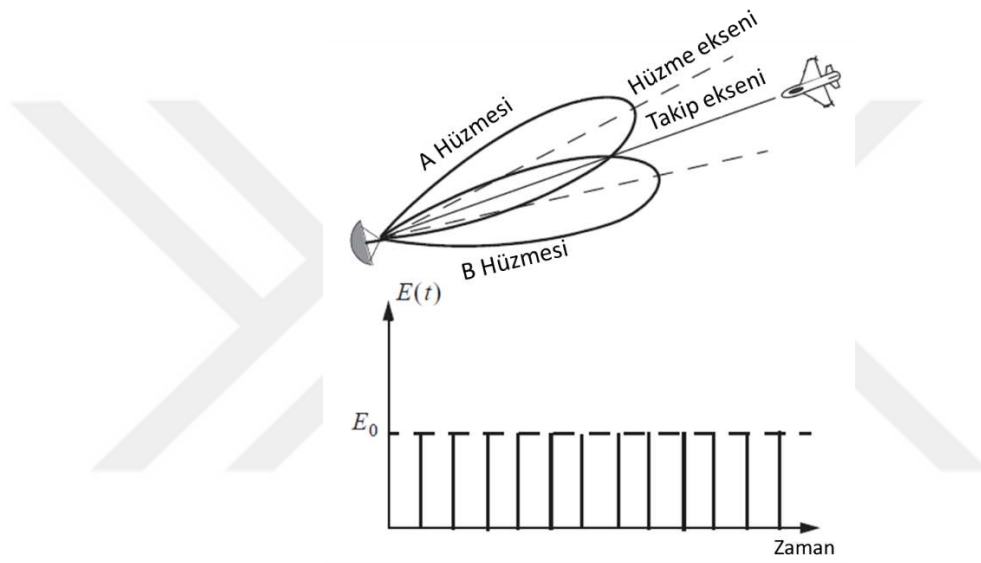
Şekil 3.11. Konik tarama

Şekil 3.12.'de konik tarama tekniğine ait basitleştirilmiş bir işlevsel blok diyagramı bulunmaktadır. Mikser ve Ara Frekans (IF) yükselteç sonrasında gelen zarf dedektörü hedeften yansıyıp gelen işaretin genliğini çıkarmaya, Otomatik Kazanç Kontrol (OKK) birimi ise almaç çıkışını sabit bir değerde tutmaya yarar. OKK birimleri yüksek zaman sabitlerine sahip oldukları için, bir yandan ortalama işaret seviyelerini sabit tutabilirken, diğer yandan da konik taramanın yarattığı hızlı tarama değişikliklerini koruyabilmektedir. Bu da yanca ve yükselişteki takip hata işaretlerinin hedef radar kesit alanının bir fonksiyonu olmasını sağlamaktadır. Oluşturulan hata işareti, bir anlamda hedefin ana hüzmeye ekseninden açısal olarak ne kadar uzaklaştığının bir ifadesidir.

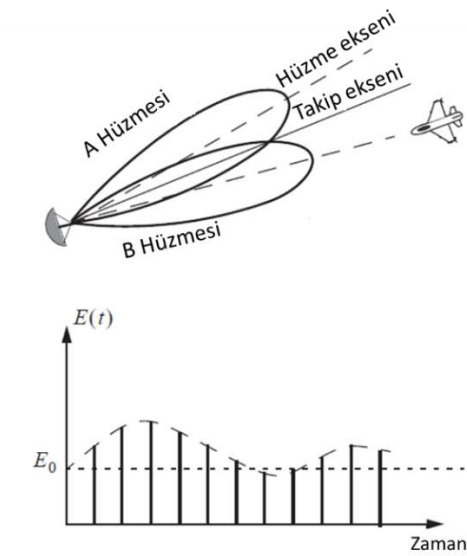


Şekil 3.12. Basitleştirilmiş konik tarama fonksiyonel blok diyagramı

Şekil 3.13.'te anten, takip ekseninin çevresinde dönmekte, bu da hedeften yansıyor gelen işaretlerin hepsinin aynı genlikte olmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla oluşturulan hata işaretinin büyüklüğü de sıfır olmaktadır [31]. Şekil 3.14.'te ise, hedeften yansıyor gelen işaretin genliğinin seviyesinin B hüzmesi üzerindeyken maksimum, A hüzmesi üzerindeyken de minimum olduğu bir senaryo örneği gösterilmiştir [31]. Bu iki pozisyon haricinde ise gelen işaretin genliği iki değer arasında değişkenlik gösterecektir. Bu işaret, dolaylı olarak hata fonksiyonunun sıfıra indirilmesi için servo motorların sürücülerine gönderilen bir kontrol işareti olarak kullanılacak ve nihai halinde hata fonksiyonu sıfırlanarak hedefin takip ekseninde olması sağlanacaktır.



Şekil 3.13. Konik taramada hedef takip ekseninde olduğu durumda üretilen hata işareti



Şekil 3.14. Konik taramada hedef takip ekseninin dışında olduğu durum

3.2. Kızılötesi Arayıcı Başlık Teknolojileri

Kızılötesi arayıcı başlıklar, hedeften yayılan elektromanyetik spektrumun kızılötesi (IR) dalga boyuna sahip ışıkları tespit ve takip edebilen arayıcı başlık türleridir. Kızılötesi arayıcı başlık tipini kullanan füzeler, hedefin sıcak gövdesinden ışıyan kızılötesi dalga boyları ile güdüldüğü için genelde ısı güdümlü füzeler olarak adlandırılırlar. İnsanlar, kara araçlarının motorları ve hava araçlarının motorları ile gövdelerinin belirli kısımları ısı üretilip yaydıklarından arka plandaki objelere oranla ayırt edilebilir durumda olurlar, bu sayede bu arayıcı tipine sahip füzeler için hedef olarak değerlendirilebilmektedirler.

Kızılötesi arayıcı başlıklar pasif arayıcı başlık türlerine girmektedir. Hedef tespit ve takibi için radar gibi emisyon yaratan yapılar kullanmadıkları için düşman unsurlar tarafından algılanmaları zordur. 1984-2009 yılları arası istatistiklere göre ABD hava muharebelerinde düşman kayıplarının %90'ının kızılötesi arayıcı başlık tipine sahip füzeler tarafından gerçekleştirildiği raporlanmaktadır [35]. Kızılötesi arayıcı başlığa sahip bazı sistemler Tablo 3.4.'te listelenmiştir.

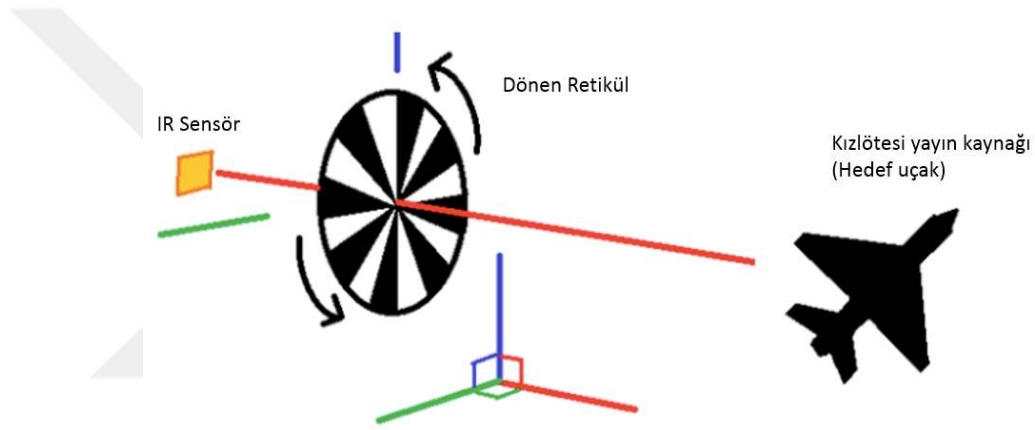
Tablo 3.4. Kızılötesi arayıcı başlıklı füze örnekleri

Sistem	Kullanım Amacı
9K338 IGLA-S [36]	Satıh-Hava (MANPADS)
AIM-132 ASRAAM [37]	Hava-Hava
FGM-148 Javelin [38]	Anti-Tank
HİSAR-O [39]	Satıh-Hava
SUNGUR [40]	Satıh-Hava
UMTAS [41]	Anti-Tank
SOM –B1/B2/C1/C2 [42]	Hava-Satıh

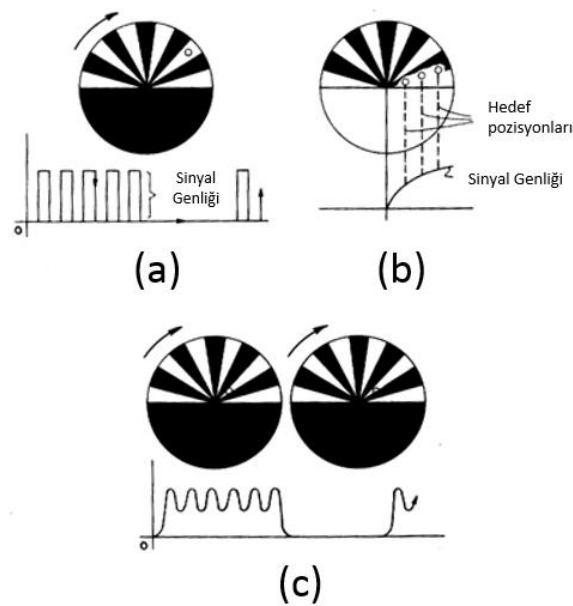
Kızılötesi arayıcı başlıklar; temelde kızılötesi dalga boylarını geçiren bir lense sahip bir kubbe, ardından onları odaklayarak IR sensör üzerine düşüren odaklayıcı optik yapılar, retikül ve bir IR sensörden oluşur. Hedeften gelen kızılötesi elektromanyetik dalgaların ilk olarak diğer dalga boylarına sahip elektromanyetik dalgalardan izole edilmiş bir şekilde arayıcıya girmesi gerekmektedir. Bu sayede istenilen dalgaboyları diğer dalgaboylarının oluşturduğu gürültülerden arındırılmış bir şekilde optik sisteme giriş yapmış olacaktır. Bu amaçla, arayıcı kubbesi dikroik bir filtre ihtiva eder. Farklı kırılma indeksli katmanlara sahip bir materyal olan dikroik filtre, bu katmanlar sayesinde farklı dalga boyları için yapıcı ve

yıkıcı etkiler yaratarak, istenilen dalga boylarının geçirilip, istenmeyenlerin geçirilmemesini sağlamaktadır. Modern kızılötesi sistemler için tasarlanan gelişmiş lens sistemleri sayesinde bu filtreleme işlemi başarılı bir şekilde yapılabilmektedir [43].

Kubbe lensinin ardından gelen çeşitli optik yapılardan sonra ise hedefin açısal tayinine yönelik kullanılan özel bir disk bulunmaktadır. Kısmen transparan, kısmen de opak parçalar bulunduran ve dönen bir retikül olan bu silindir sayesinde IR sensör üzerine düşen kızılötesi dalgaboylarının indüklediği akımlar ile hedefin açısal kestirimi yapılabilmektedir. IR arayıcı başlığın yön tayininde kullanılan IR sensörün ve dönen retikülün konumlandırılması Şekil 3.15.'te gösterilmiştir [43]. Örnek bir retikül yapısı ve hedefin çeşitli açısal konumlarına göre sensör üzerinde indüklenen sinyaller ise Şekil 3.16a, Şekil 3.16b., Şekil 3.16c.'de yer almaktadır [44].

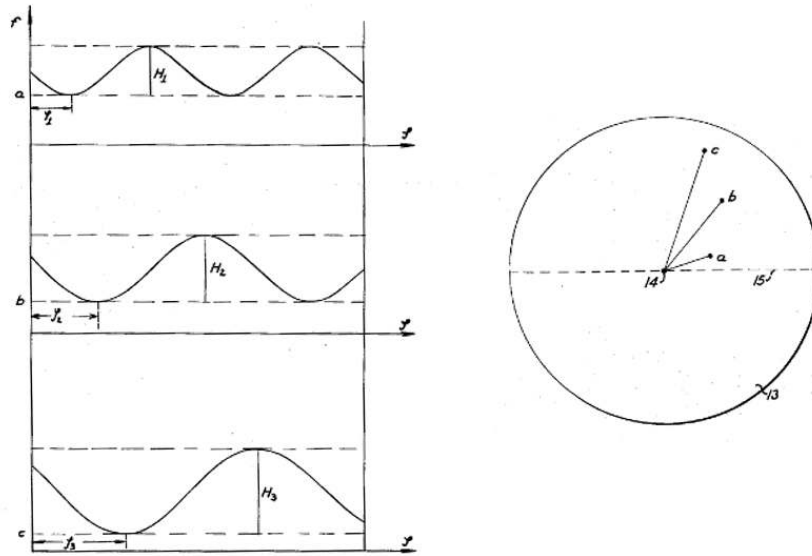


Şekil 3.15. Hedef, retikül ve IR sensörün uzaysal gösterimi



Şekil 3.16. IR sensör çıkışında görülen sinyallerin gösterimi

Şekil 3.16a.'da retikülün transparan bölgelerinden geçişinde hedefin kızılötesi sensör üzerinde indüklediği akımın zamana bağlı değişimi görülmektedir ve beklendiği gibi kare dalga formundadır. Şekil 3.16b.'de hedefin merkezden uzaklaştıkça dedektör çıkışında görülen darbelerin genliklerinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Merkezden uzaklaştıkça transparan alanın büyüklüğü arttığı için üretilen darbe genliklerinde de artış görülmektedir. Bu sayede hedefin merkezden olan uzaklığı kestirilebilmektedir. Şekil 3.16c.'de ise retikül merkezine çok yakın bir konumda bulunan hedefin yarattığı sinyal görülmektedir. Retikülün tam bir turu için yaratılan bu sinyalde alt kısımlarda hiç sinyal üretilmemesi beklenen bir durumdur. Eğer retikülün dönüşünde bir referans noktası belirlenebilirse sensörde üretilen sinyaller için de yaratılan faz farkından dolayı açısal kestirim gerçekleştirilebilir. IR hedef 0 derece referans noktasından ne kadar uzaktaysa, üretilen darbe katarları da o kadar faz kaymasıyla gelecektir. Şekil 3.17.'de; a, b ve c noktalarındaki hedefler için üretilmiş sinyaller görülmektedir [45]. Merkezden uzaklaşıldığında sinyal genliklerinin artmasına paralel olarak referans noktasına göre faz kaymaları da farklıdır. Faz farklılıklarını tespit edebilen bir elektronik devre yardımıyla da hedefin açısal konumu kolaylıkla tespit edilebilir durumdadır.



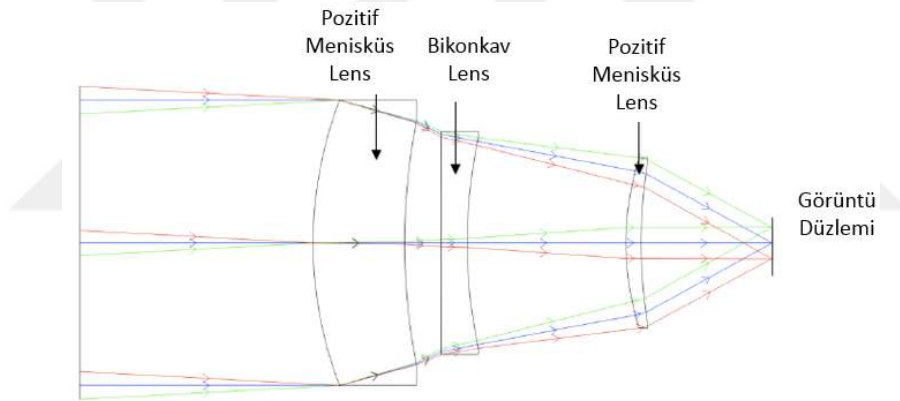
Şekil 3.17. Retikülün farklı noktalarına düşen hedefler için üretilen sinyaller

Beklenildiği üzere merkeze yakın noktalarda konumlanan hedeflerin açısal konum kestirimlerinde belirsizlikler gerçekleşecektir. Merkeze yaklaşılması sinyal genliğinde azalmaya, merkezde ise sıfırlanmaya sebep olacaktır. Bu belirsizlik, retikülün kendisine ikinci bir dönüş eksenini eklenmesi ile çözülebilmektedir. Arayıcı elektromekanikğine biraz daha karmaşıklık getirecek olan bu teknikte, retikülün standart dönüş hareketinin haricinde

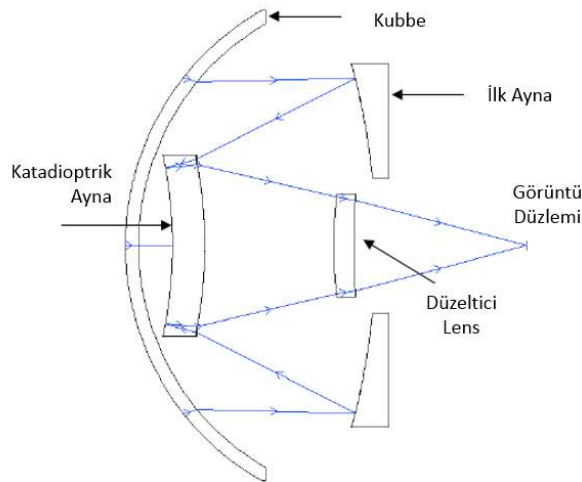
retikül düzleminin kendisinin de belirli bir dönüş ekseninde hareketlendirilerek merkezinin konumunun değiştirilmesi amaçlanmaktadır.

Yeni nesil kızılötesi arayıcı başlıklarda ağırlıklı olarak kızılötesi görüntülemeli olan IIR (Imaging Infra-Red) tekniği kullanılmaktadır. Geleneksel retiküllü kızılötesi arayıcı başlık tiplerinin aksine, görüntülemeli arayıcı sensörleri görüntüyü 2 boyutlu bir matris şeklinde oluşturabilmektedir. Söz konusu matris, odak düzlemi dizileri veya kızılötesi kameralar yardımıyla oluşturulmaktadır. Bu sayede, hedef hakkında daha ayrıntılı bilgi sahibi olunmakta ve karşı tedbirlere daha iyi önlem alınabilmektedir.

Yansıtıcı (reflective) veya kırıcı (refractive) tiplerindeki görüntülemeli kızılötesi arayıcı başlıkların gösterimleri Şekil 3.18. ve Şekil 3.19.'da yer almaktadır [46]. Genel anlamda amaç kırıcı veya yansıtıcı optik yapılar kullanarak kızılötesi görüntünün görüntüleme düzlemi üzerine düşürülmesidir. Bu da optik tasarımın isterleri doğrultusunda ayna veya mercek yapıları kullanarak gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 3.18. Kırıcı görüntülemeli bir kızılötesi arayıcı başlığın optik gösterimi

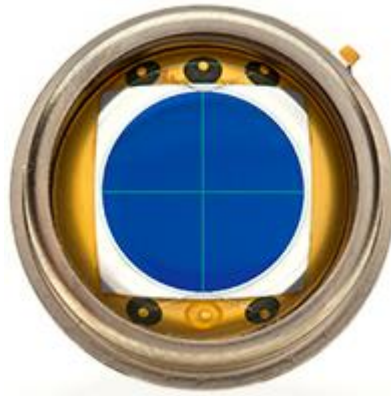


Şekil 3.19. Yansıtıcı görüntülemeli bir kızılötesi arayıcı başlığın optik gösterimi

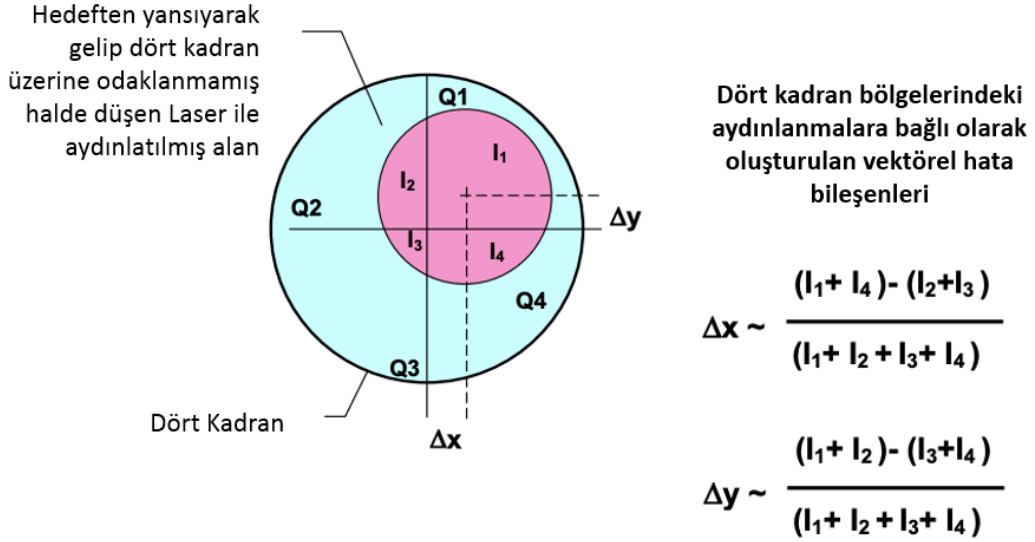
3.3. Lazer Arayıcı Başlık Teknolojileri

LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) teknolojisi çoğunlukla yarı-aktif arayıcı konseptlerinde değerlendirilmektedir. Tıpkı yarı-aktif RF arayıcı teknolojileri gibi arayıcıdan farklı bir noktada konumlanmış “hedef işaretleyici” olarak adlandırılan bir LASER kaynağının aydınlattığı hedeften yansıyan ışınlar, arayıcı tarafından algılanarak yön tayini yapılır. Hedefi aydınlatmak için oluşturulan LASER darbeleri hedef işaretleyici tarafından kodlanmış bir şekilde modüle edilerek gönderilir, arayıcı ise aldığı modüle edilmiş sinyali demodüle ederek hedefe ait yön bilgisini üretir. Bu sayede arayıcı ve hedef işaretleyici arasında bilinen ortak bir kod sayesinde arayıcının yalnızca tek bir koda sahip lazer kaynaklarından gelen ışınlara odaklanması sağlanmaktadır. Bu kod da genelde darbe tekrarlama periyodu ile belirlenmektedir.

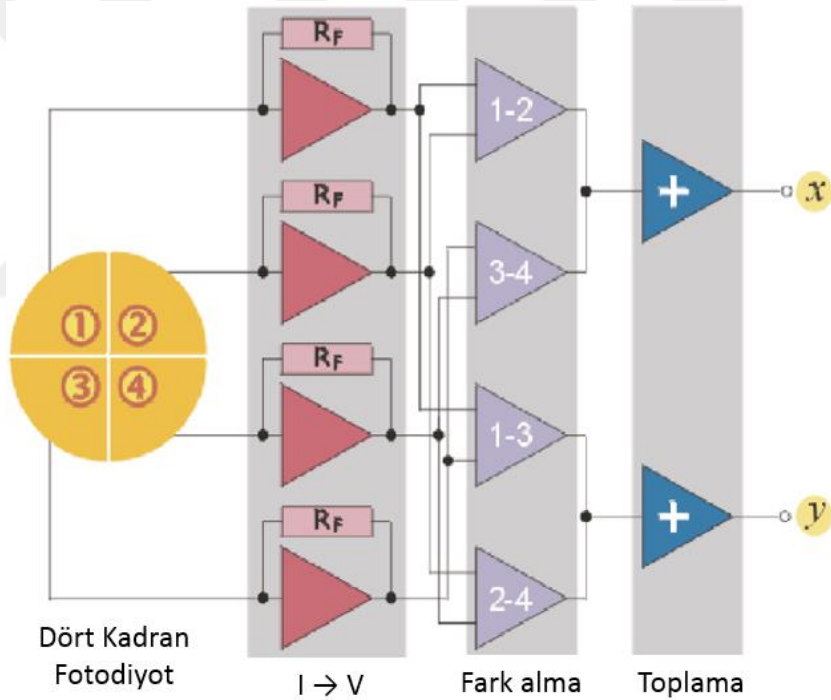
Yarı-aktif lazer arayıcılar hedefe ait yön bilgisini genellikle dört kadranlı fotodiyotlar ile üretirler. RF arayıcılarda kullanılan tek-darbe metodunda olduğu gibi kadranlara düşen lazer ışınlarının diyot üzerinde oluşturduğu akım/gerilim gibi büyüklüklerin oranından hedefin açısal konumunun tayini gerçekleştirilir. Dört kadranlı bir fotodedektör ve kadranlara düşen lazer enerjilerinin oluşturduğu akımlar ve hedef yön tayini için yapılan işlemlerin gösterimi sırasıyla Şekil 3.20. [47] ve Şekil 3.21.’de [48] bulunmaktadır. Şekil 3.22.’de ise hedef yön tayininde bu işlemlerin yapıldığı analog elektronik devrelerinin blok şeması gösterilmektedir [49].



Şekil 3.20. Dört kadranlı bir fotodedektör



Şekil 3.21. Dört kadranlı fotodedektör üzerinden açısal yön tayini



Şekil 3.22. Lazer analog sinyal işleme sistemi blok diyagramı

Şekil 3.21. ve Şekil 3.22.'de görüldüğü üzere; fotodedektörün kadrana larında oluşan akımlar bir transempedans yükselteç ile gerilime çevrilir ve arkasından gelen operasyonel yükselteçler ile de toplama ve çıkarma işlemleri gerçekleştirilir. Ardından bir analog-sayısal çevirici yardımıyla da sayısallaştırılarak işlemci üzerinde ileri sinyal işleme uygulamaları yapılabilir. Bu sayede x ve y referans düzlemlerine göre hedefin konumu çıkarılabilir.

Lazer arayıcı başlığa sahip bazı füze sistemleri Tablo 3.5.'te listelenmektedir.

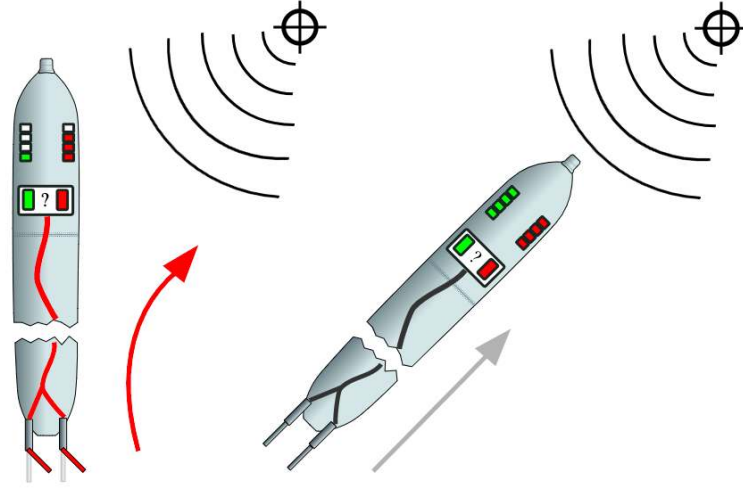
Tablo 3.5. Lazer arayıcı başlıklı füze örnekleri

Sistem	Kullanım Amacı
AGM-114R Hellfire II [50]	Hava-Satıh
Cirit [51]	Çok Amaçlı
MAM-L [52]	Hava-Satıh
Teber [53]	Hava-Satıh (Güdüm Kiti)

3.4. Akustik Arayıcı Başlık Teknolojileri

Akustik güdüm sistemleri, hedefin akustik izini kullanarak hareketli bir şekilde hedefe ulaşmayı sağlayan sistemlerdir. Aktif ya da pasif olarak sınıflandırılabilirler. Pasif sistemlerde sistemin kendisi tarafından üretilen bir akustik dalga yoktur, hedeften gelen akustik izler takip edilerek hedefe yönelinir. Aktif sistemler ise SONAR (Sound Navigation and Ranging) olarak adlandırılan, akustik dalga formlarının sistemin kendisi tarafından üretilip hedeften yansıyıp gelen eko dalgalar ile hedef yön tayini ve hedef mesafesi gibi hedefe ait bilgiler ile hedefe yönelen sistemlerdir. Akustik arayıcı başlıklar çoğunlukla torpido olarak adlandırılan sualtı silahlarının güdümü için önemli bir alt sistemdir. Torpidoların güdüm sistemleri aktif, pasif ya da iki akustik arayıcı türünün de bir arada kullanıldığı şekilde çalışabilir [54].

Akustik arayıcılar hedef yön tayinini iki ya da daha fazla elektroakustik transdüser ile yapar. Transdüserler göndermeç işlevini, elektrik sinyallerini ses dalgalarına dönüştüren bir hoparlör ile, almaç işlevini de ses dalgalarını elektrik sinyallerine dönüştüren bir hidrofon ile gerçekleştirir. Akustik arayıcılar ile hedef yön tayini de torpidonun baş tarafında konumlandırılmış transdüserler vasıtası ile gerçekleştirilir. Şekil 3.23.'te görüldüğü üzere, hedeften yansıyıp gelen akustik dalgaların, arayıcının farklı noktalarına konumlandırılmış akustik transdüserlerde yarattığı farklı elektriksel gerilim/akım seviyeleri ile hedefin torpido baş eksenine göre olan konumu kestirebilir [55]. Bu sayede torpidonun güdümü için gerekli geri besleme sinyalleri oluşturularak hareketin yönü belirlenir [54].



Şekil 3.23. Akustik arayıcı ile torpido güdümü

Şekil 3.23.'te tek eksen için yapılan hedef yön tayini, transdüserlerin 4 adete çıkarılmasıyla ikinci bir eksen de gerçekleştirilebilir, sayıları artırılarak daha detaylı yön tayinleri de gerçekleştirilebilmektedir. Tablo 3.6.'da akustik arayıcıya sahip bazı torpidolar listelenmiştir.

Tablo 3.6. Akustik arayıcı başlıklı torpido örnekleri

Sistem	Kullanım Amacı
Mk-48 [56]	Torpedo
RUR-5 ASROC [57]	//
AKYA [58]	//

3.5. Arayıcı Başlıkta Güvenilirliğin Önemi

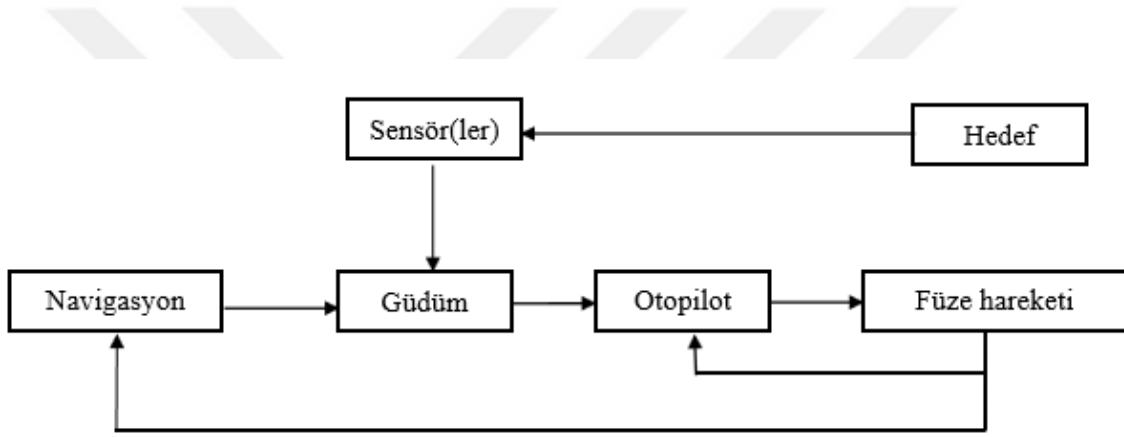
Füzenin ömür devri boyunca en uzun süre maruz kaldığı evre depolama evresidir. Sıcaklık, nem, mekanik stres, yaşlanma gibi etkenler dolayısıyla aktif çalışma evresinde olduğu gibi depolama evresi boyunca da malzemelerin performansı olumsuz etkilenir [59].

Füzenin hedefe doğru bir şekilde ulaşabilmesi için üretilmesi gereken güdüm komutu için gerekli parametreler; hedefin konumu, hedefin hızı, füzenin konumu, füzenin hızı ve füzenin hedefe olan açısı şeklinde sıralanabilir.

Bu parametrelerden füze ilgili olanlar füzenin ataletsel ölçüm birimi, radar altimetre, uydu alıcıları gibi navigasyon birimleri tarafından sağlanırken hedef ile ilgili olanlar arayıcı başlık tarafından sağlanır. Arayıcı başlık ve navigasyon birimlerinden sağlanan bilgiler

güdüm sistemine iletilir ve burada gerekli manevra bilgilerini içeren güdüm komutu üretilir. Üretilen güdüm komutu uçuş kontrol sistemi olan otopilot birimine gönderilir ve burada güdümden gelen manevrayı gerçekleştirmek için gerekli olan kontrol yüzeyi hareketleri belirlenir. Belirli limitler içinde gerçekleştirilebilen hareketler sonucu füze hareketi sağlanır ve hareket sonucunda hız, mesafe ve açı değişimi gibi önemli uçuş bilgileri oluşur.

Bir füze sisteminin güdüm döngüsündeki bilgi akışının yönü Şekil 3.24.'te gösterilmiştir [60]. Bu döngüde üretilen güdüm komutunun hassasiyeti sensör bilgilerine bağlıdır. Arayıcı başlıkta meydana gelen bir arıza füzenin planlı görevini tamamlayamamasına sebep olabilecek yüksek olasılıklı hasar seviyelerinden biridir [61]. Arayıcı başlık, güdüm döngüsüne hedef ile ilgili bilgileri sağladığından bu bilgilerin güvenilir ve hassas olması görev başarımını etkileyen en önemli parametrelerden biridir.



Şekil 3.24. Füze-hedef angajmanı bilgi akışı

4. GÜVENİLİRLİK

4.1. Temel Terimler

Güvenilirlik, sistem veya süreçlerin istenen fonksiyonlarını belirli bir zaman aralığında ve çevre koşulunda hatasız olarak yerine getirebilmesi olasılığıdır [62]. Bir sistemin güvenilirlik değeri, o sistemi oluşturan bileşenlerin güvenilirlik değerine bağlıdır.

Sistem güvenilirliğini incelerken olasılık ve istatistik bilime dayalı çeşitli parametreler kullanılmaktadır. Bu kapsamdaki güvenilirlik terimleri ve açıklamaları Tablo 4.1.'de özetlenmiştir [3].

Tablo 4.1. Güvenilirlik parametreleri

Parametre	Tanım
Hata Oranı	Belirlenen koşullar altında ve belirli bir ölçüm aralığındaki popülasyonda karşılaşılan toplam hata sayısının zamana oranıdır.
Hatalar Arası Ortalama Süre (Mean Time Between Failures (MTBF))	Tamir edilebilir bileşenler için güvenilirlik ölçümünde kullanılan ana parametredir. Belirli koşullar altında incelenen birimin tüm bileşenlerinin çalışıyor olduğu ortalama zaman, bir diğer ifade ile hatalar arası ortalama süredir.
Bakımlar Arası Ortalama Süre (Mean Time Between Maintenance)	Tamir edilebilir ve sahada kullanılan sistemler için güvenilirliğin ölçümünde kullanılır. Tamir veya önleyici amaçlarla gerçekleştirilen sistem bakımları arasındaki ortalama süredir.
Tamirler Arası Ortalama Süre (Mean Time Between Repair)	Tamir edilebilir ve sahada kullanılan sistemler için güvenilirliğin ölçümünde kullanılır. Bir bileşen veya alt sistemin tamirini veya değişimini gerektiren tüm bakımlar arasındaki ortalama süredir.
Kritik Hatalar Arası Ortalama Süre (Mean Time Between Critical Failure)	Bazı hataların tolere edilebildiği sistemlerin güvenilirliğinin ölçümünde kullanılır. Müşteri tarafından tanımlanan kritik sistem fonksiyonlarının kaybına sebep olan hatalar arası ortalama süredir.
Operasyonel Görev Hataları Arasındaki Ortalama Süre (Mean Time Between Operational Mission Failure)	Sistemin operasyonel güvenilirliğinin ölçümünde kullanılır. Müşteri tarafından tanımlanan ve sistemin görevini yerine getirememesine sebep olan hatalar arası ortalama süredir. Bu terim hem donanım hem de yazılım hatalarında kullanılabilir.
Hataya Kalan Ortalama Süre (Mean Time To Failure)	Arızaya kalan ortalama süreyi belirten bu terim, tamir edilemeyen sistemler için güvenilirlik ölçümünde kullanılır.

Bir bileşenin veya sistemin t anındaki güvenilirliği Eşitlik (4.1)'deki gibi gösterilmektedir. Burada; T incelenen bileşen veya sistemin kalan ömrünü yani hataya kalan süresini, $P(t)$ olasılık fonksiyonunu, $R(t)$ güvenilirlik fonksiyonunu, $F(t)$ hata fonksiyonunu temsil etmektedir. Güvenilmezlik değeri ise bileşen veya sistemin t anından önceki ilk hata durumunu ifade eder ve tahmin edilebileceği üzere Eşitlik (4.2)'deki gibi güvenilirlik değerinin 1'den çıkartılması ile elde edilir.

$$R(t) = P(T > t) \quad (4.1)$$

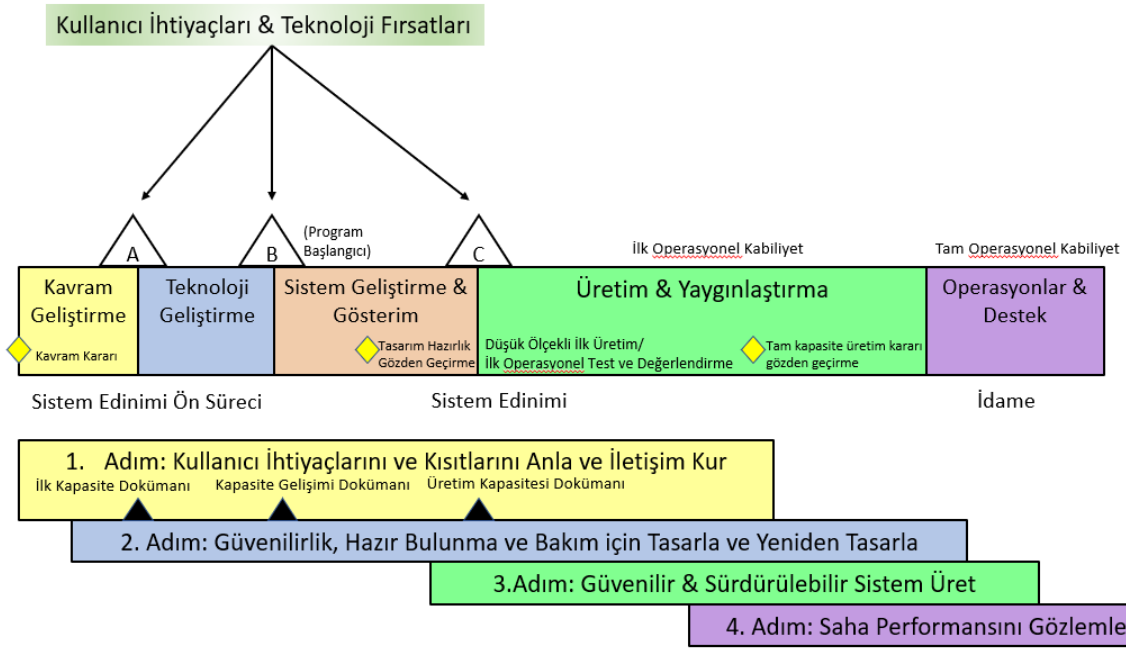
$$F(t) = 1 - R(t) \quad (4.2)$$

Hata oranı sabit ve λ ile gösteriliyorken iki hata arası ortalama süre (MTBF) ile olan ilişkisi Eşitlik (4.3)'teki gibidir.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (4.3)$$

4.2. Güvenilirlik Mühendisliği Süreci

Sistem edinimi ön süreci ile başlayan sistem mühendisliği süreci; geliştirme, üretim, operasyon ve destek süreçleri ile devam eder. Güvenilirlik, hazır bulunma ve idame edilebilirlik kavramlarının sistem mühendisliği süreci içerisinde yer alan adımları Şekil 4.1.'de gösterilmektedir [3]. Sistem mühendisliğine dayalı ana süreçlerden farklı olarak bu dört adımın başlangıcı veya bitişini belirlemek için kilometre taşı kararları yoktur. Her bir adımın başlangıcı ve bitişine yönelik zaman periyodu, her bir sistem mühendisliği süreci ile ilişkili olacak şekilde esnektir. İlk kapasite dokümanı sırasında; güvenilirlik, hazır bulunma ve idame edilebilirlik kavramlarının temelleri, görev güvenilirliği kapsamının veya lojistik kısıtların sadece niteliksel ifadeleri şeklindedir. Güvenilirlik, hazır bulunma ve idame edilebilirlik ile ilgili faaliyetlerin mantıksal sıralamasına ilk kapasite dokümanında yer verilir. Sonrasında, kapasite gelişimi ve üretim kapasitesi dokümanlarında ilgili değerler güncellenir.



Şekil 4.1. Sistem mühendisliğinde güvenilirlik, hazır bulunma ve bakım süreçleri

Şekil 4.1.'de gösterilen adımların uygulanmasından güvenilirlik mühendisi sorumludur. Güvenilirlik mühendisliği; teknik uzmanlık bilgisi ile bileşen, sistem veya süreçlerin istenen fonksiyonlarını belirli bir zaman aralığında ve çevre koşulunda hatasız olarak yerine getirebilmeleri ile ilgilenen bir mühendislik disiplini [1,2].

Güvenilirlik mühendisliği sürecinin ilk adımı incelenen sistemin tasarımında ister olarak yer alacak güvenilirlik değerinin belirlenmesi olduğundan askeri sistemlerde güvenilirlik isterinin içermesi gereken özellikler; isterin sayısal ifadesi, sistemin depolama, taşıma, operasyon ve bakım evrelerine yönelik çevresel koşulların detaylıca belirlenmesi, operasyon ve uçuş süreleri ile görev profillerinin açıkça belirlenmesi, hatanın hangi durumlarda oluştuğunun açık tanımı, belirlenen güvenilirlik değerinin testine yönelik test yönteminin kabul ve ret kriterleri ile tanımlanması şeklindedir [2]. Söz konusu yaşlandırma testlerinin zorlayıcı şartlar altında yapılması ile sistemin zayıf noktalarının tespit edilmesi güvenilirlik mühendisliğinin önemli girdilerinden biri olacaktır.

Güvenilirlik isterinin sayısal olarak belirlenmesinde 3 farklı ana yöntem yer almaktadır. Bu yöntemlerden MTBF'in belirlenmesi yöntemi, güvenilirlik fonksiyonu dağılımının çok kritik olmadığı veya planlanan görev süresinin ortalama ömür süresine göre daima daha kısa olduğu uzun ömürlü sistemler için kullanışlıdır. MTBF ile güvenilirlik belirleme yöntemi, ömrü belirlemede yeterli olsa da ömür döngüsünün erken safhalarında belirli bir güvenilirlik değerinin sağlanabiliyor olduğuna garanti vermemektedir. Bir diğer

güvenilirlik isteri belirleme yöntemi ise sistemin belirli bir zamandaki çalışma olasılığının ifade edilmesidir. Bu yöntem, görev sürecinde yüksek güvenilirliğin gerektiği fakat görev süreci dışında, arızaya kalan sürenin hazırda bulunma haricinde taktik açıdan kritik önem arz etmediği durumlar için uygundur. Son olarak, zamandan bağımsız bir şekilde başarımlı çalışmanın belirlenmesi bir diğer güvenilirlik isteri belirleme yöntemidir. Bu yöntem, füzelerin uçuş evresi güvenilirliği gibi tek kullanımlık sistemlerin güvenilirliğinin belirlenmesinde uygun yöntem olarak değerlendirilmektedir [2].

Güvenilirlik isterinin belirlenmesi sonrasında tasarım sürecinde güvenilirliğe dayalı yaklaşım ile ürün geliştirilirken güvenilirlik mühendisinin göz önünde bulundurması gereken birçok husus vardır. Bunlar; güvenilirlik gereksinimlerinin tasarım hedefi veya şartname değeri olarak belirlenmesi, güvenilirlik gereksinimlerinin alt sistemlere ve bileşenlere paylaştırılarak atanması, tasarım ve geliştirme evresinde güvenilirlik tasarım yöntemlerinin kullanılması, blok diyagram, gerilme dayanımı analizi, yedekleme gibi girdiler ile güvenilirlik ve idame edilebilirlik analizlerinin yapılması, hata türü ve etkileri analizi ile kritiklik analizinin yapılması, tasarım gözden geçirmelerine katılma ve tasarımın uygunluğunu kontrol etme, güvenilirlik test yöntemlerinin hazırlanması ve testlerin gerçekleştirilmesi, güvenilirlik tahmininin yapılması ve kanıtlanması ile güvenilirlik planının geliştirilmesi şeklindedir [1].

Bir sistemin arzulan güvenilirlik değerine ulaşılabilmesi için güvenilirlik değeri yüksek bileşenlerin kullanılması, performansı düşürmeden daha az bileşen kullanarak tasarımın sadeleştirilmesi, hata oranlarının ortalamanın altına düşürülmesi için bileşenlerin maruz kaldığı stresin azaltılmasına yönelik tekniklerin kullanılması veya bunlar uygulanmadığı durumda bileşenlerin yedeklenmesi gibi yöntemler tercih edilmelidir [2]. Ürün yaşam döngüsü içerisinde yapılacak tasarım değişikliklerinin etkileri zaman geçtikçe katlanarak arttığından, güvenilirlik ile ilgili girdilerin erken evrelerde doğru bir şekilde yapılması büyük önem arz etmektedir.

4.3. Güvenilirlik Matematiği

Güvenilirlik, hata oranlarının olasılığına bağlı olduğundan çeşitli istatistiksel yöntemler ile hesaplanmaktadır. Güvenilirlik analizinde kullanılan çeşitli fonksiyonlara bu alt bölümde yer verilmiştir.

4.3.1. Birikimli dağılım fonksiyonu (F(t))

Dağılım fonksiyonu F(t), ilgili bileşenin veya sistemin t anındaki bozulma olasılığını gösterir. Hataya kalan süre T iken F(t) Eşitlik (4.4)'te gösterilmekte olup dağılım fonksiyonu F(t) sürekli ve f(x) anlık hata olasılığını gösteren olasılık yoğunluk fonksiyonu iken birbirleri arasındaki ilişki ise Eşitlik (4.5)'te yer almaktadır [63].

$$F(t) = P(T \leq t) \quad t \geq 0 \text{ iken} \quad (4.4)$$

$$F(t) = \int_0^t f(x)dx \quad t \geq 0 \text{ iken} \quad (4.5)$$

4.3.1.1 Olasılık yoğunluk fonksiyonu (f(t))

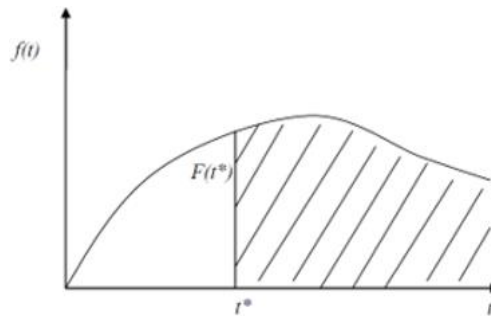
Olasılık yoğunluk fonksiyonu f(t), ilgili bileşenin veya sistemin servis süresi boyunca farklı zamanlardaki anlık bozulma olasılığıdır. Eşitlik (4.6) ve (4.7)'de olasılık yoğunluk fonksiyonu f(t), birikimli dağılım fonksiyonu F(t) ve güvenilirlik fonksiyonu R(t) arasındaki ilişki gösterilmiştir [63].

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad t \geq 0 \text{ iken} \quad (4.6)$$

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \quad t \geq 0 \text{ iken} \quad (4.7)$$

4.3.1.2 Güvenilirlik fonksiyonu (R(t))

İlgili bileşen veya sistemin t anından önce bozulma olasılığı F(t*), Şekil 4.2.'deki güvenilirlik fonksiyonu grafiğinde gösterilmekte olup t anındaki güvenilirlik değeri Eşitlik (4.8)'teki gibi hesaplanmaktadır [63].



Şekil 4.2. Güvenilirlik fonksiyonu

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(x)dx \quad t \geq 0 \text{ iken} \quad (4.8)$$

4.3.1.3 Hata oranı ($\lambda(t)$)

Hata oranı, ilgili bileşenin belirli bir zaman aralığında hata sayısının sağlam sayısına oranıdır. Olasılık olmadığından dolayı değeri 1'den büyük olabilir. Hata oranı, Eşitlik (4.9)'daki gibi hesaplanır.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad t \geq 0 \text{ iken} \quad (4.9)$$

Eşitlik (4.6), Eşitlik (4.9)'da yerine koyulup ve her iki tarafın da türevi alındıktan sonra ters logaritma işlemi yapılırsa Eşitlik (4.10)'da gösterilen en genel güvenilirlik fonksiyonu elde edilir.

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \quad t \geq 0 \text{ iken} \quad (4.10)$$

4.3.2. Güvenilirlik hesaplamalarında kullanılan olasılık dağılımları

Güvenilirlik değerinin tahmin edilmesinde kullanılan bazı olasılık dağılımları ve bu dağılımlardaki olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(t)$, güvenilirlik fonksiyonu $R(t)$ ile hata oranı fonksiyonu $\lambda(t)$ eşitlikleri Tablo 4.2. ve Tablo 4.3.'te gösterilmiştir [2].

Bu dağılımlardan güvenilirlik hesaplamalarında kullanılan en yaygın dağılım türü üssel dağılımdır. MIL-HDBK-217F el kitabında yer alan hesaplamalarda da kullanılan bu dağılım türünde hata oranı sabit bir değerdir. Zamana bağlı olarak hata oranı değişmeyen parçalarda ve yedeklemenin yaygın olmadığı kompleks ve tamir edilebilir sistemlerde yaygın olarak kullanılır. Üssel dağılım için olasılık yoğunluk fonksiyonu, hata oranı ve güvenilirlik fonksiyonu Eşitlik (4.11)'de gösterilmiştir. Eşitlik (4.9) ve (4.11)'den yola çıkarak hata oranının sabit olduğu Eşitlik (4.12)'de gösterilmiştir.

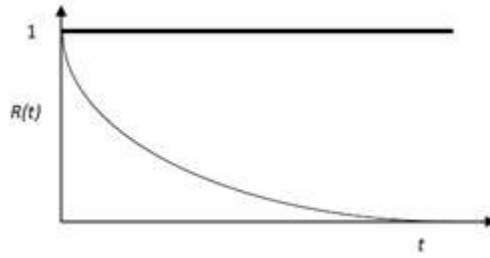
$$f(t) = \lambda * e^{-\lambda t} \quad t \geq 0 \text{ iken} \quad (4.11)$$

$$\lambda(t) = \lambda \quad (4.12)$$

Hata oranlarının üssel dağıldığı ve sabit olduğu durumlarda Eşitlik (4.10) kullanılarak; $R_i(t)$ her bir bağımsız bileşenin güvenilirliğini ve λ_i hata oranını gösteriyorken belirli bir t anında güvenilirlik değeri Eşitlik (4.13)'te gösterildiği gibi hesaplanır.

$$R_i(t) = e^{-\lambda_i t} \quad (4.13)$$

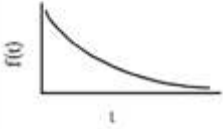
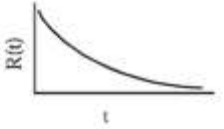
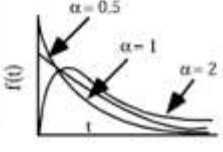
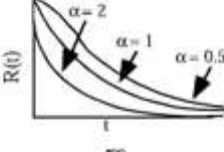
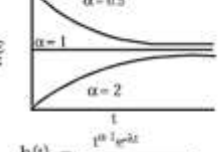
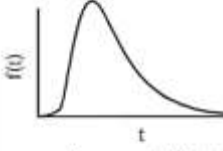
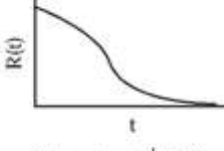
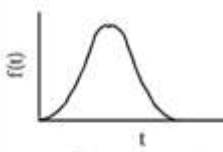
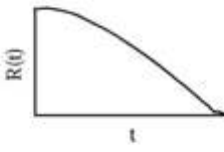
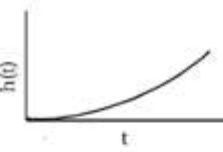
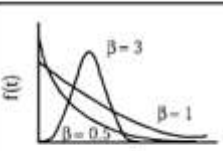
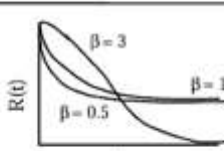
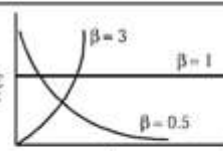
Üssel dağılımda güvenilirlik eğrisi Şekil 4.3.'te gösterildiği gibidir [2].



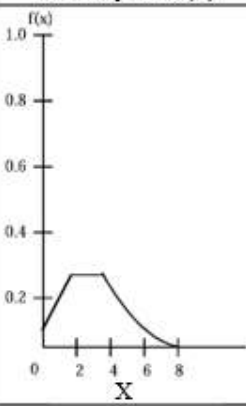
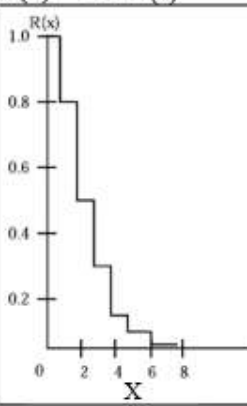
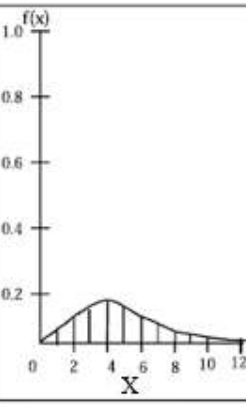
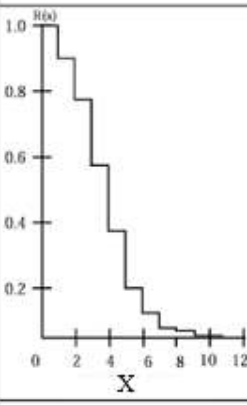
Şekil 4.3. Üssel dağılımda güvenilirlik eğrisi

Üssel dağılım ile birlikte Tablo 4.2. ve Tablo 4.3.'te gösterilen dağılımların kullanım alanlarına yönelik özet bilgiler ise Tablo 4.4.'te sunulmuştur [2].

Tablo 4.2. Güvenilirlik hesaplamalarında kullanılan sürekli olasılık dağılımları

Dağılım Türü	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu $f(t)$	Güvenilirlik Fonksiyonu $R(t) = 1 - f(t)$	Hata Oranı Fonksiyonu $h(t) = f(t)/R(t)$
Üssel	 $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$	 $R(t) = e^{-\lambda t}$	 $h(t) = \lambda = \theta^{-1}$
Gamma	 $f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(\alpha)} (\lambda t)^{\alpha-1} e^{-\lambda t}$	 $R(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(\alpha)} \int_t^{\infty} \alpha! e^{-\lambda t} dt$	 $h(t) = \frac{\lambda^{\alpha} t^{\alpha-1} e^{-\lambda t}}{\int_t^{\infty} \lambda^{\alpha} t^{\alpha-1} e^{-\lambda t} dt}$
Lognormal	 $f(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right)^2}$	 $R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right)$	 $h(t) = \frac{f(t)}{1 - \Phi \left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right)}$
Normal	 $f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right)^2}$	 $R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right)$	 $h(t) = \frac{f(t)}{1 - \Phi \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right)}$
Weibull	 $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left[\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right]}$	 $R(t) = e^{-\left[\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right]}$	 $h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}$

Tablo 4.3. Güvenilirlik hesaplamalarında kullanılan kesikli olasılık dağılımları

Dağılım Türü	Parametreler	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu $f(x)$	Güvenilirlik Fonksiyonu $R(x) = 1 - F(t)$
Binom	Ortalama, $\mu = np$ Standart Sapma, $\sigma = \sqrt{npq}$ $\binom{n}{x} = \frac{n!}{(n-x)!x!}$ $q = 1 - p$		
	Grafikler için kullanılan örnek datalar	$f(x) = \binom{n}{x} p^x q^{n-x}$ $\left\{ \begin{matrix} n=8 \\ p=2/3 \end{matrix} \right\}$	$R(x) = \sum_{l=x}^n \binom{n}{l} p^l q^{n-l}$ $\left\{ \begin{matrix} n=8 \\ p=2/3 \end{matrix} \right\}$
Poisson	Ortalama, $\mu = np$ Standart Sapma, $\sigma = \sqrt{a} = \sqrt{\lambda t}$		
	Grafikler için kullanılan örnek datalar	$f(x) = \frac{a^x e^{-a}}{x!}$ $= \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!}$ $a = \lambda t = 4$	$R(x) = \sum_{l=x}^{\infty} \frac{a^l e^{-a}}{l!}$ $= \sum_{l=x}^{\infty} \frac{(\lambda t)^l e^{-\lambda t}}{l!}$ $a = \lambda t = 4$

Tablo 4.4. Dağılım türlerinin kullanım alanları

Olasılık Dağılım Türü	Kullanım Alanı
Normal Dağılım	Mekanik aletler gibi yıpranmaya maruz kalan sistemlerin analizi ile üretilen parçaların ve bu parçaların isterleri karşılama durumlarının analizinde kullanılır.
Lognormal Dağılım	Yarı iletken malzemelere ve bazı mekanik parçaların yorulma ömrüne yönelik güvenilirlik analizinde kullanılır.
Üssel Dağılım	Hata oranının sabit olduğu, MIL-HDBK-217F dâhil olmak üzere elektronik bileşenler için güvenilirlik hesaplamasında yaygın olarak kullanılan dağılım türüdür.
Gamma Dağılımı	Sistemin tamamı bozulmadan kısmi bozulmaların gerçekleşebildiği yedekli sistemlerde kullanılır.
Weibull Dağılımı	Dağılım parametrelerinin ayarlanabilmesi sayesinde farklı sınıflara yönelik tasarlanmış parçaların güvenilirlik analizinde kullanılan genel bir dağılımdır.
Binom Dağılımı	Başarı veya hata gibi sadece iki çıktının olabildiği, olasılığın tüm denemelerde aynı kaldığı durumlarda kullanılır. Güvenilirlik ve kalite kontrol süreçlerinde oldukça kullanışlı bir yöntemdir.
Poisson Dağılımı	Binom dağılımının devamı olarak görülür, $n \geq 20$ ve $p \leq 0.05$ durumlarında binom dağılımına yakınsamak için kullanılır. Poisson dağılımı, sabit ortalama bir oran ile belirli bir zaman aralığında gerçekleşen olayların bir başka zaman aralığında gerçekleşen olaylardan bağımsız olduğu durumda kullanılır.

4.4. Güvenilirlik Analizi Aşamaları

Güvenilirlik analizi atama, modelleme ve tahmin olmak üzere üç ana aşamadan oluşmaktadır. Söz konusu aşamalar alt başlıklar halinde bu bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.

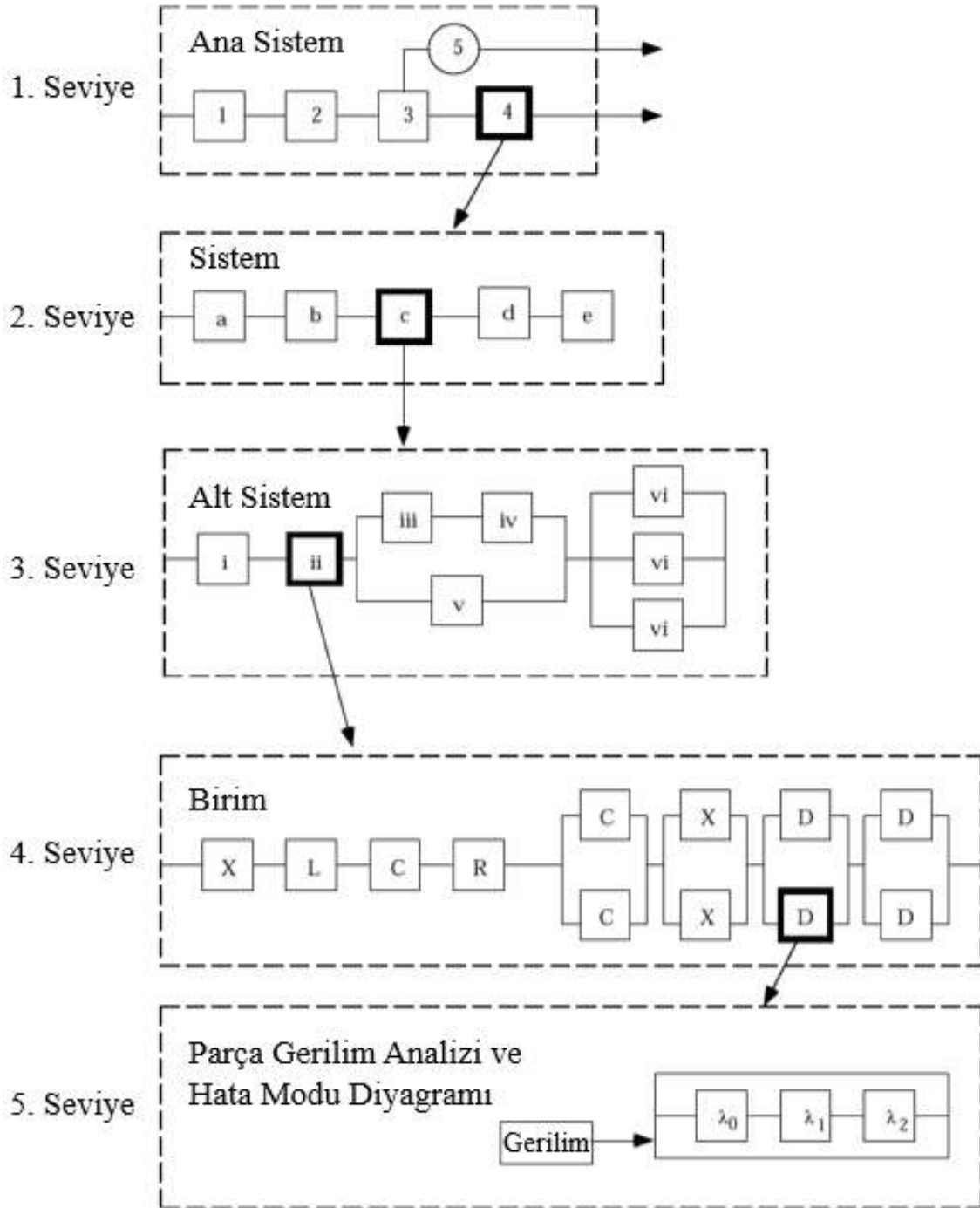
4.4.1. Güvenilirlik modellemesi

Güvenilirlik modellemesinde izlenmesi gereken süreçler; sistem tanımı, gereksinim belirleme, senaryo modelleme ve GBD oluşturma şeklindedir. Güvenilirlik analizi yapılacak sistemin amacı ile sistemde kullanılan tüm parçalar ve fonksiyonları biliniyor olmalıdır. Öncelikle incelenecek sistemin güvenilirlik değeri isteri belirlenmeli; sonrasında bu analizin gerçekleştirilmesi için gerekli olan sıcaklık, nem, titreşim gibi çevre koşulları ile bu koşullara yönelik görev profilleri ve zaman değeri belirlenmelidir [2]. Ömür döngüsü boyunca sürekli çalışır durumda olmayan yani depolanabilir sistemlerde operasyonel kullanım profiline ek olarak depolamaya yönelik kullanım profili de belirlenmelidir [64]. Füzelerinde güvenilirlik isteri, füzelerin tam ömür devri güvenilirliği ve görev güvenilirliği ile varsa eğitim füzeleri için ayrıca belirlenmelidir. İster belirlenirken tasarım hedefi ve kabul edilebilir en düşük değer belirtilmeli, bu isterin hangi koşullara göre sağlanması gerektiği belirtilmelidir.

Güvenilirlik blok diyagramı, sistemi oluşturan tüm birimlerin birbirleri ile olan ilişkilerini gösteren görsel bir ağ yapısıdır. Güvenilirlik blok diyagramı oluşturulmadan önce sistemin amacı, kullanım profilleri, fonksiyonları ve bileşenleri bilinmelidir. Diyagramda yer alan blokların konfigürasyonu seri, paralel, hazırda beklemeli veya bunların farklı kombinasyonları şeklinde olabilmektedir.

Güvenilirlik blok diyagramı oluşturmada önce bilinmesi gereken bazı genel varsayımlar söz konusudur. Bu varsayımlar; güvenilirlik değerlendirmesinde kullanılacak tüm bileşenler için o bileşene özel güvenilirlik değerinin kullanılması, diyagramın akış yönünü ve bileşenlerin birbirleri ile ilişkilerini gösteren bağlantı yollarının güvenilirlik hesaplamasında herhangi bir etkisinin olmadığı, kablolu ve konektörlerin tek bir bileşen gibi gösterilebildiği veya ilgili blok içinde bir bileşen olarak yer alabildiği şeklindedir [2]. Ayrıca, alternatif bir bileşenin veya yolun bulunmadığı durumda diyagramda bulunan herhangi bir bileşende karşılaşılan hatanın tüm sistemin hataya düşmesine sebep olacağı ve diyagramda yer alan blokların hata olasılıklarının birbirlerinden bağımsız olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır [2].

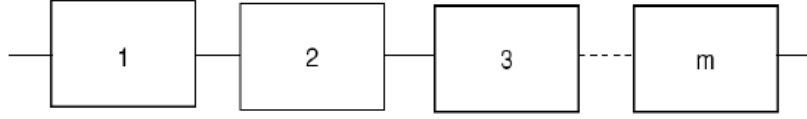
Güvenilirlik blok diyagramının kademeli bir örneği Şekil 4.4.'te gösterilmiştir [2].



Şekil 4.4. Güvenilirlik blok diyagramı seviyeleri

4.4.1.1 Seri model

Seri model, blokların birbirlerini takip eden sırayla yer aldıkları en basit güvenilirlik modelidir. Seri modelde sistemin çalışabilmesi için tüm bileşenlerin çalışıyor olması gerekmektedir. Diğer bir deyişle, bileşenlerden birinde hata yaşanması durumunda tüm sistem hataya düşecek ve çalışmayacaktır. Şekil 4.5.'te m tane bileşenin seri yapıda olduğu bir güvenilirlik blok diyagramı örneği gösterilmiştir [62].



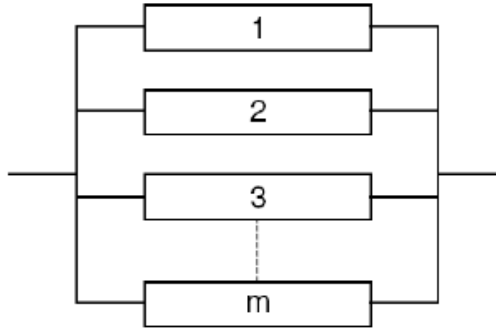
Şekil 4.5. Seri yapılı modelin genel gösterimi

Şekil 4.5.'te gösterilen model için güvenilirlik değeri Eşitlik (4.14)'te gösterildiği gibi hesaplanır. Burada R_{SYS} genel sistem güvenilirliği değeri iken R_i ($i=1, 2, 3, \dots, m$) her bir bileşenin güvenilirlik değeridir [62].

$$R_{SYS} = R_1 * R_2 * R_3 * \dots * R_m \quad (4.14)$$

4.4.1.2 Paralel model

Paralel yapılı model, sistemde yer alan bileşenlerin birbirlerinin yedeği konumunda olduğu ve aynı anda çalışabildiği yaygın olarak kullanılan bir modeldir. m tane elemandan oluşan paralel yapılı bir sistemde en az bir bileşenin çalışmasının sistemin çalışması için yeterli olduğu duruma yönelik genel güvenilirlik blok diyagramı örneği Şekil 4.6.'da yer almaktadır [62].



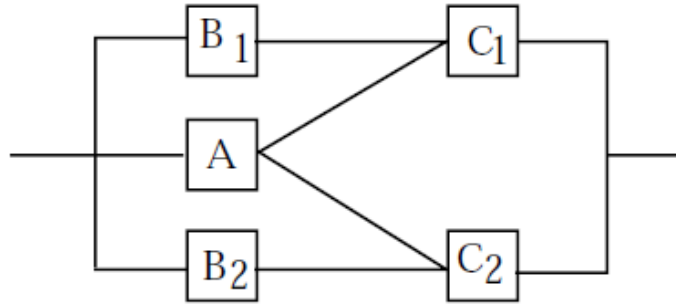
Şekil 4.6. Paralel yapılı modelin genel gösterimi

Şekil 4.6.'da gösterilen model için güvenilirlik değeri hesabı Eşitlik (4.15)'te gösterildiği gibidir. Paralel yapıda genel sistem güvenilirlik değeri olan R_{SYS} hesabında, her bir bileşenin güvenilirlik değeri olan R_i ($i=1, 2, 3, \dots, m$) kullanılarak tüm bileşenlerin aynı anda çalışmama olasılığına göre hesap yapılmaktadır.

$$R_{SYS} = 1 - \{(1 - R_1) * (1 - R_2) * (1 - R_3) * \dots * (1 - R_m)\} \quad (4.15)$$

4.4.1.3 Seri-paralel yapı kombinasyonu

Seri ve paralel yapıların özellikle karmaşık sistemlerde birlikte kullanımı oldukça yaygındır. Bu durumda sistemin güvenilirlik değeri Eşitlik (4.14) ve (4.15) kullanılarak ilgili yapının senaryolarına göre hesaplanır. Seri ve paralel yapıların birlikte kullanımı Şekil 4.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Seri-paralel yapı örneği

Şekil 4.7.'deki sistemin çalışabilmesi için sıralanan koşullardan herhangi biri sağlanmalıdır. Bu koşullar; A bileşeni ile C₁ veya C₂ bileşenlerinin çalışıyor olması, B₁ ve C₁ bileşenlerinin çalışıyor olması veya B₂ ve C₂ bileşenlerinin çalışıyor olmasıdır. Aynı harf ile gösterilen bileşenler birbirleri ile aynıdır. Şekil 4.7.'de örnek olarak gösterilen bu sistemin güvenilirlik değeri her bir bileşenin güvenilirlik değeri olan R_i (i=A, B, C) kullanılarak Eşitlik (4.16)'da gösterildiği gibi hesaplanır [2].

$$R_{SYS} = (2R_C * R_C^2)R_A + [2R_B R_C - (R_B R_C)^2](1 - R_A) \quad (4.16)$$

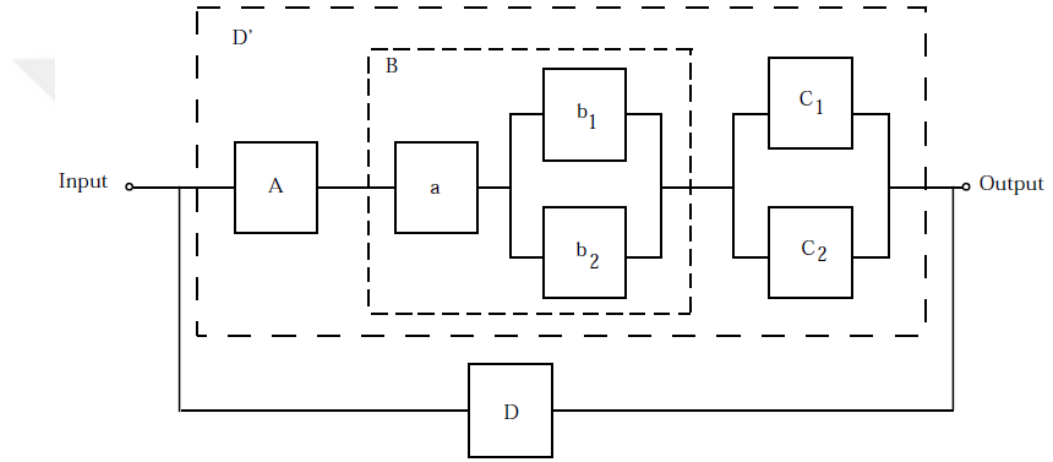
4.4.1.4 Yedekleme teknikleri

Hata toleranslı bir tasarım için kullanılan yedekleme kavramı en önemli güvenilirlik terimlerindenidir. Yedeklilik, belirli bir görevi yerine getirmek için birden fazla bileşenin birbirleri yerine kullanılmasıdır.

Bir sistem için yedekleme seviyeleri; sistem, alt sistem, komponent veya parça seviyesinde olabilir. Şekil 4.8.'de sistem, alt sistem ve parça seviyesinde yedeklemenin yapıldığı bir sisteme ait örnek bir güvenilirlik blok diyagramı gösterilmektedir [2]. Burada D sistemi için sistem seviyesinde D' sistemi, komponent seviyesinde C₁ ve C₂ komponentleri, parça seviyesinde ise B komponenti içerisinde b₁ ve b₂ parçaları yedek olarak yer almaktadır. Bu sistemdeki girdi ve çıktı arasında olası 5 farklı yol aşağıda listelenmiştir.

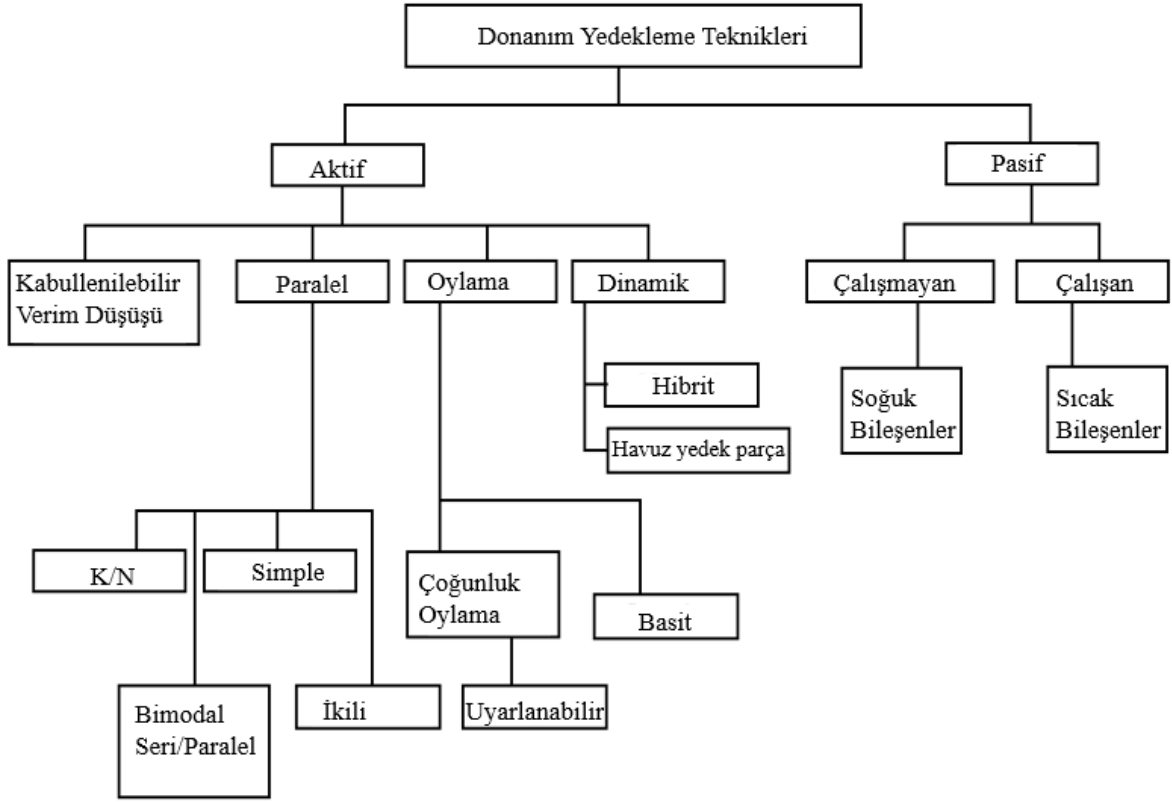
- (1) A, a, b₁ , C₁
- (2) A, a, b₁ , C₂
- (3) A, a, b₂ , C₁
- (4) A, a, b₂ , C₂
- (5) D

Yukarıda listelenen farklı yolların her biri için içerdikleri bileşenlerin güvenilirlikleri dikkate alınarak güvenilirlik değeri hesaplanabilir. Tüm yolların kombinasyonu ile sistem seviyesinde güvenilirlik değerinin hesaplanabilmesi için ise yedekleme tekniğinin biliniyor olması gerekmektedir.



Şekil 4.8. Çeşitli seviyelerde yedekli güvenilirlik blok diyagramı örneği

Yedeklemede, paralel bileşenlerin birbirleri ile etkileşim halinde olmadığı varsayılmaktadır. Paralel yapıdaki bileşenlerin tümü her zaman aktif olmayarak ideal hata algılama ve anahtarlama araçları yardımı ile gerektiğinde bu bileşenler aktive edilebilmektedir. Şekil 4.9.'da donanım yedeklemeye yönelik teknikler basit bir ağaç yapısı ile gösterilmektedir [2].



Şekil 4.9. Yedekleme teknikleri

Şekil 4.9.'da görüldüğü üzere yedekleme teknikleri aktif ve pasif (hazırda beklemeli) olmak üzere 2 bölüme ayrılmaktadır. Aktif yedeklemede; yedekli bileşenler her zaman çalışır durumdadır ve yedeklerden biri bozulduğunda diğeri bozulan bileşenin de yükünü alarak devam edebilmektedir. Bu sebeple aktif yedeklemede; hatayı algılama, karar verme ve anahtarlama gibi ek bileşenlere ihtiyaç duyulmamaktadır. Aktif yedeklemenin en yaygın olarak uygulanan tekniği basit paralel yedeklemedir. Bölüm 4.4.1.2'de anlatılan paralel yapıli sistemlere yönelik prensipler ve eşitlikler paralel yedeklemede geçerlidir. Paralel yedeklemede sistemin hataya düşmesi ancak tüm yedekli bileşenlerin hata vermesi ile mümkündür. Paralel yedeklemede kullanılan tüm bileşenlerin birbirleri ile aynı olması durumunda Eşitlik (4.15), Eşitlik (4.17)'ye indirgenmektedir. Burada R_{SYS} sistem güvenilirlik değeri, R_i bileşen güvenilirlik değeri, m ise paralel yedeklemede kullanılan bileşen sayısıdır.

$$R_{SYS} = 1 - (1 - R_i)^m \quad (4.17)$$

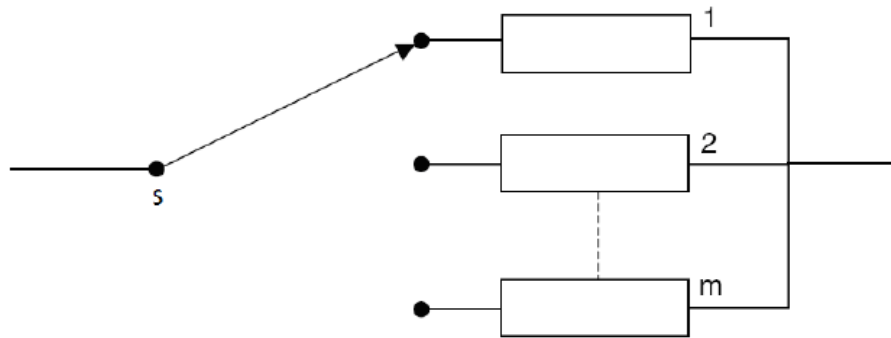
Basit paralel yedeklemeden sonra en çok kullanılan paralel yedekleme tekniklerinden biri de kısmi yedeklemenin yapıldığı m adet bileşenin en az k adetinin çalışır olması

koşulunu içeren durumdur. Tüm bileşenlerin birbirinden bağımsız ve aynı olduğu durumda, R_i bileşen güvenilirlik değeri iken sistemin güvenilirlik değeri olarak gösterilen $R_{k/m}$ değeri Eşitlik (4.18) ile hesaplanır [62].

$$R_{k/m} = \sum_{i=k}^m \binom{m}{i} R_i^i (1 - R_i)^{m-i} \quad (4.18)$$

Paralel yedeklemenin avantajları; basitliği, yedekli olmayan duruma göre güvenilirlik değerindeki belirgin artış ve hem analog hem de dijital devrelerde uygulanabilir olması iken dezavantajları; bileşenler arasındaki güç paylaşımını göz önünde bulundurma zorunluluğu ve devre tasarım problemlerine yol açabilmesi olarak özetlenebilir [2].

Hazırda beklemeli yedeklemede; bozulan bileşen yerine devreye girecek yedek bileşen için hatanın tespiti, karar verme ve yedekteki bileşene geçiş için anahtarlama gibi harici bileşenlere ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 4.10.'da birbirlerine paralel olarak sıralanan fakat seri biçimde erişim sağlanabilen m adet bileşene ve bu bileşenler öncesinde S olarak gösterilen anahtara sahip sistem konfigürasyonu yer almaktadır [62]. Bu sistemde; sürekli veya aralıklı olarak gerçekleştirilen cihaz içi testler ile aktif olarak kullanılan bileşende hata ortaya çıkması durumunda, anahtar sayesinde bir diğer yedek bileşene geçilerek sistem çalışmaya devam edebilmektedir. Sistem tüm bileşenlerin hataya düştüğü durumda hata verecektir.



Şekil 4.10. Hazırda beklemeli yedekleme örneği

Hazırda beklemeli yedekleme çalışır durumda iken sıcak, çalışmaz durumda iken soğuk yedeklilik olarak adlandırılmaktadır. Çalışır durumda hazırda beklemeli sistemlerde yedek bileşenlere sürekli olarak güç verilmektedir. Fakat, yedek bileşen asıl bileşenin hata

vermesi sonrasındaki anahtarlama kadar devrenin bir parçası olmamaktadır [2]. Zaman kaybı olmayan bu yöntemde sistemin hazırda bulunma olasılığı artar.

Çalışmaz durumdaki (inaktif hazırda beklemeli) yedeklemede ise asıl bileşen hata vermeden yedek bileşene güç verilmemektedir. Bu yöntem ile zamana bağlı olarak güvenilirlik değerinin değiştiği durumlarda yedek bileşenin güvenilirlik değeri korunabilmektedir. Aktif yöneme göre dezavantajı ise yedek bileşene güç verilerek hazır olmasına kadar geçen süreden dolayı sistemdeki duruş süresinin daha uzun olması ve bu sebeple sistemde senkronizasyon problemlerinin ortaya çıkabilmesidir. Bu yöntem zamanın kritik öneme sahip olmadığı ve insan müdahalesinin kabul edilebilir olduğu durumlarda uygulanabilmektedir. Örneğin, füze sistemlerinin depolama evresinde güvenilirliğin artırılması için kullanılabilir. Örneğin, füze sistemlerinin depolama evresinde güvenilirliğin artırılması için kullanılabilir.

Hazırda beklemeli yedekleme tekniği kullanılan toplamda n adet bileşenden m adetinin çalışması gerektiği ve sadece çalışan bileşenlere güç verilen bir sistemde; sistemin t anındaki güvenilirlik değeri $R_{SYS}(t)$, λ bileşenin hata oranı olarak tanımlandığında Eşitlik (4.19) ile hesaplanır [65]. Burada anahtarlama mekanizmasının mükemmel bir şekilde çalıştığı, tüm bileşenlerin birbirleri ile aynı olduğu, bileşen hata oranının sabit olduğu, bileşenlerin birbirlerinden bağımsız olarak hata verdiği varsayılmaktadır.

$$R_{SYS}(t) = e^{-m\lambda t} \sum_{i=0}^{n-m} \frac{(m\lambda t)^i}{i!} \quad (4.19)$$

Bu yedekleme türünde hatanın tespiti cihaz içi testler ile saptanabildiğinden testlerin yüksek doğrulukla yapılabilmesi önemlidir. Ayrıca, kullanılan anahtarlama mekanizmasında meydana gelebilecek arızaların da hesaba katılması gerekmektedir. Anahtarlama mekanizmasının çalışması gereken durumda çalışmaması veya çalışmasına yönelik bir komut olmadan çalışması göz önünde bulundurulması gereken anahtarlama hatalarıdır.

4.4.2. Güvenilirlik ataması

Güvenilirlik değerinin yalnızca sistem seviyesinde belirlenmesi, tasarım sürecinde yeterli değildir. Güvenilirlik ataması; ana sistemin güvenilirlik gereksinimi sağlanacak şekilde sayısal güvenilirlik değerlerinin alt seviyelerdeki konfigürasyon kalemlerine paylaştırılmasıdır. Güvenilirlik ataması bir sistemde tasarlanacak konfigürasyon

kalemlerinin güvenilirlik gereksinimlerinin belirlenmesi ve güvenilirlik hedeflerinin sayısal olarak ortaya konulması için kullanılır.

Sistemin güvenilirlik değerinin alt sistemlere indirgenmesi sırasında sonsuz sayıda farklı çözüm söz konusudur. Literatürde yer alan farklı yöntemlere göre belirlenen bazı kısıtlar ile çözüm elde edilir. Herhangi bir alt sisteme atanan güvenilirlik değerine teknolojinin mevcut durumu itibariyle ulaşmanın mümkün olmadığı durumda, ilgili alt sistemin ulaşılabilen güvenilirlik değeri dikkate alınarak atama yeniden yapıp gerekirse tasarım değişikliğine gidilebilmektedir. Bu noktada; alt sistemlerin fonksiyonel ve fiziksel karmaşıklığı, görev kritikliği ve tasarım kısıtları göz önüne alınarak yapılan doğru atama yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır.

4.4.2.1 Eşit atama yöntemi

Eşit atama, sistem hakkında önemli bir bilgi birikimi bulunmadığı durumlarda uygulanmaktadır. Bu atama türünde gerekli olan bilgi alt sistemlerin sayısı ve konfigürasyonlarıdır. Eşit atama yönteminin en zayıf özelliği, tüm bileşenlerin eşit görülmesi ve karmaşıklık seviyelerinin göz önünde bulundurulmamasıdır. Bu özellikleri dikkate alındığında, eşit atama yönteminin tasarımın erken evrelerinde kullanılabilecek bir atama yöntemi olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Sistemin toplamda n adet seri yapıları alt sistemi olduğu durumda her bir alt sistemin güvenilirlik değeri, sistemin istenen güvenilirlik değerinin n . kökü alınarak hesaplanmaktadır. Eşitlik (4.20)'de, hedeflenen sistem güvenilirlik değeri R_{SYS} iken, alt sistemlerin birbirlerine eşit olan R_i ($i=1, 2, 3, \dots, n$) güvenilirlik değerlerinin çarpımı ile elde edildiği gösterim yer almaktadır [2].

$$R_{SYS}(t) = \prod_{i=1}^n R_i \quad (4.20)$$

4.4.2.2 ARINC atama yöntemi

Aeronautical Radio Incorporated (ARINC) atama yönteminde, alt sistemlerin seri yapıda olduğu ve sabit bir hata oranlarının olduğu varsayılmaktadır. Başlangıçta alt sistemlerin hata oranlarının bilinmesi gerektiğinden; bu başlangıç değerleri benzer sistemlerden, literatürde yer alan kaynaklardan veya tahmin standartlarından yola çıkarak belirlenebilmektedir [66]. Başlangıçta belirlenen alt sistem hata oranları ve sistemin olası en

yüksek hata oranından yola çıkarak hesaplanan ağırlıklandırma faktörü ile alt sistemlere yönelik hata oranları ataması yapılır. Burada amaç, alt sistemlere atanan hata oranı λ_i^* ($i=1, 2, 3, \dots, n$) ve sistemin en yüksek izin verilen hata oranı λ^* iken Eşitlik (4.21)'nin sağlanıyor olmasıdır. Bu amacı gerçekleştirebilmek için geçmiş gözlem veya tahminlere göre alt sistem hata oranları olan λ_i değerleri belirlenir, belirlenen hata oranlarına göre her bir alt sistem için ağırlıklandırma faktörü olan w_i Eşitlik (4.22) ile hesaplanır ve alt sistem için hesaplanan ağırlıklandırma faktörü ile sistemin izin verilen en yüksek hata oranı λ^* çarpılarak alt sistemlere atanan hata oranı λ_i^* Eşitlik (4.23)'teki gibi hesaplanır.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i^* \leq \lambda^* \quad (4.21)$$

$$w_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (4.22)$$

$$\lambda_i^* = w_i \lambda^* \quad (4.23)$$

4.4.2.3 Amaçların fizibilitesi yöntemi

Bu yöntem, tamir edilemeyen mekanik ve elektriksel sistemlerin güvenilirlik ataması için geliştirilmiştir. Karmaşık sistemlerin güvenilirlik atamalarında kullanılan bu yöntemde; alt sistem atamalarına yönelik faktörler karmaşıklık, tasarım olgunluğu, görev süresi ve çevresel koşulların bir fonksiyonu olarak hesaplanır. Bu kategorilerin puanlanması tasarımcının deneyimine dayalı olarak 1 ile 10 arasında ölçeklendirilmektedir. Kategorilerin tanımı ve değerlendirme kriterleri ise aşağıda belirtildiği gibidir.

Karmaşıklık faktöründe, alt sistemde bulunan parçaların ve bileşenlerin olası sayılarına göre puanlandırma yapılır. Karmaşıklık arttıkça verilen puan artar. En karmaşık (en fazla parça sayısına sahip) alt sistem 10, en az parça sayısına sahip en basit alt sistem 1 değerini alır.

Tasarım olgunluğu faktöründe, alt sistem tasarımının teknolojik olgunluk seviyesi değerlendirilir. Alt sistem tasarımında kullanılan teknoloji ne kadar yeni olduğuna göre puanlanır. Teknoloji eskidikçe puan düşer. En yeni teknolojiler için olgunluk seviyesi 10, en eskiler için ise 1 değerini alır.

Görev süresi faktöründe, alt sistemin görev boyunca çalışma süresine göre puanlama yapılır. Tüm görev boyunca çalışacak olan alt sistemler 10 ile derecelendirilir, tüm görev boyunca en az çalışan alt sistemler 1 ile derecelendirilir.

Çevresel koşullar faktöründe, alt sistemin çalışırken içinde bulunacağı dış çevre koşullarına göre puanlama yapılır. Alt sistemin çalışması süresince dışarıdan etki edecek çevre koşulları ağırlaştıkça verilecek puan artar. Alt sistemin çalışması esnasında sert ve şiddetli dış çevre koşullarına maruz kalınıyorsa çevresel koşullar faktörü 10, en az şiddetli dış çevre koşullarına maruz kalınıyorsa 1 değerini alır.

Her bir alt sistem için yukarıda anlatılan kriterlere göre verilen puanların birbirleri ile çarpılması sonucunda alt sistemlerin genel derecelendirme değeri hesaplanır. Daha sonra ilgili alt sistem için genel derecelendirmenin tüm alt sistemlerin genel derecelendirmelerinin toplamına bölümü ile o alt sistemin normalize edilmiş karmaşıklık değeri hesaplanır.

Alt sistem k için; 4 kriterin puanları r_{ik} ($i= 1, 2, 3, 4$), sistemin hata oranı λ_{SYS} , toplam alt sistem sayısı N olarak tanımlandığında; kriterlerin çarpıldığı genel derecelendirme değeri w_k , k alt sisteminin normalize edilmiş karmaşıklık değeri C_k , alt sisteme atanan hata oranı değeri λ_i^* sırasıyla Eşitlik (4.24), (4.25), (4.26) kullanılarak hesaplanır [2].

$$w_k = r_{1k} * r_{2k} * r_{3k} * r_{4k} \quad (4.24)$$

$$C_k = \frac{r_{1k} * r_{2k} * r_{3k} * r_{4k}}{\sum_{k=1}^N w_k} \quad (4.25)$$

$$\lambda_i^* = C_k * \lambda_{SYS} \quad (4.26)$$

4.4.3. Güvenilirlik tahmini

Güvenilirlik tahmini ile istenen güvenilirlik değerine ulaşıp ulaşılamadığı değerlendirilmektedir. Güvenilirlik değerinin tahmin edilmesi ile daha iyi tasarım kararlarının alınması söz konusudur. Alternatif tasarımlar arasında karar vermek gerektiğinde veya farklı kalite seviyelerine sahip bileşenlerden uygun olanın seçimi sırasında güvenilirlik tahmini bu kararı destekler bir girdi olarak kullanılmaktadır.

Kavramsal tasarımdan ayrıntılı tasarıma kadar sistem tasarımının tüm evrelerinde farklı seviyedeki verilerle güvenilirlik tahminleri gerçekleştirilebilmektedir. Kavramsal tasarım aşaması; sistemin görevleri ve hedefleri ile fonksiyonlarının, gerekli alt sistemlerin ve bu alt sistemlerin teknolojik yapılabirlik seviyelerinin belirlendiği aşamadır. Bu

aşamadan sonra yer alan ön tasarım ve detaylı tasarım aşamalarında ise alt sistemler hakkında fiziksel ve fonksiyonel olarak daha detaylı tasarım ile çevre koşulları belirlenir. Güvenilirlik tahmin yöntemleri arasında yer alan hiyerarşi; sistem tasarımının seviyesi ile bileşenlerin güvenilirlik değerlerinin geçmiş verilere dayalı olarak elde edilebilmesi parametrelerine bağlıdır.

4.4.3.1 Güvenilirlik tahmini yöntemleri

Elde olan verilere göre tasarımın farklı seviyelerinde kullanıma uygun, hiyerarşik yapıda dört farklı güvenilirlik tahmin yöntemi; Benzer Öğeler Analizi, Parça Sayısı Analizi, Parça Stres Analizi ve Fiziksel Modellemeye Dayalı Hata Tahmini yöntemleridir [2].

Benzer Öğeler Analizi (Similar Items); incelenen bileşenlerin, güvenilirlik değeri bilinen benzer bileşenler ile karşılaştırılarak olası ulaşılabilen güvenilirlik değerini tahmin etmede kullanılan yöntemdir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için incelenen öğenin genel donanım tipi, operasyonel kullanım bilgisi ve diğer bilinen özellikleri ile bu öğeye en yakın özelliklere sahip ve daha önceden bilinen öğe belirlenmelidir. Var olan öğenin geçmiş verileri elde edilip analiz edilmeli ve incelenen öğenin çalışma ortamına göre olası güvenilirlik değeri tahmin edilmelidir. Bu yöntemle yapılan tahminin doğruluğu, geçmiş verilerin kalitesine ve incelenen yeni öğe ile karşılaştırılan var olan öğenin benzerliklerine bağlıdır. Sistemin yapılabilişliğinin analiz edildiği aşamada ve kavramsal tasarım aşamalarında kullanımı uygun olmakla birlikte ilerleyen aşamalarda daha detaylı analizlerle desteklenmelidir.

Parça Sayısı Analizinde (Parts Count); incelenen öğenin güvenilirlik değeri, içerdiği bileşenlerin tiplerine göre sayısı ve bileşenlerin birbirleri arasındaki bağlantılar göz önüne alınarak tahmin edilmektedir. Sınıflarına göre bileşen sayılarının belirlenmesi, her bir sınıfın jenerik hata oranı ile içerdiği bileşen sayısının çarpılması ve bu şekilde elde edilen değerlerin toplanması ile incelenen öğenin hata oranı hesaplanmaktadır. Bu yöntem, elektronik sistemlerin tasarımı sürecinde; kapasitör, direnç, trafo, anahtar gibi bileşen sınıflarının ve sayılarının belirlenmiş olduğu fakat henüz bileşenlere etki eden stres düzeyi hakkında yeterli bilginin oluşmamış olduğu ön tasarım evresinde kullanıma uygundur. Bu yöntem ile hesaplanan hata oranının formüle edilmiş hali Eşitlik (4.27)'de yer almaktadır [2]. Burada; incelenen öğenin toplam hata oranı λ_{SYS} , i. parçanın jenerik hata oranı λ_{Gi} , i. parçanın kalite faktörü π_{Qi} ve i. parçanın bileşen sayısı N_i olmak üzere farklı parça sınıflarının sayısı n olarak ifade edilmektedir.

$$\lambda_{SYS} = \sum_{i=1}^n N_i (\lambda_{Gi} \pi_{Gi}) \quad (4.27)$$

Parça Stres Analizi (Part Stress Analyses) yönteminde; incelenen ögenin hata oranı, ögeyi oluşturan her bir bileşenin operasyonel stres seviyeleri ve stresi azaltma özelliklerine göre belirlenen hata oranlarının fonksiyonu olarak hesaplanır. Bir önceki yöntemin aksine stres oranlarının dikkate alındığı bu yöntem ile farklı stres seviyelerine sahip aynı tipteki bileşenler için farklı hata oranı değerleri elde edilmektedir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için bileşenlerin maruz kalacağı sıcaklık, nem, titreşim gibi stres faktörleri ve bu faktörlerin bileşenlerin hata oranlarına etkileri biliniyor olmalıdır. Bazı bileşen çeşitleri için bu bileşenleri etkileyen ana stres faktörleri Tablo 4.5.'te yer almaktadır. Bu yöntemde ihtiyaç duyulan bilgiler ancak tasarımın ileri seviyelerinde elde edilebildiğinden, yöntemin ayrıntılı tasarım aşamasında kullanımı uygundur.

Tablo 4.5. Bileşen tipleri ve ana stres faktörleri

Bileşen Çeşidi	Stres Faktörleri
Entegre Devreler	• Sıcaklık • Karmaşıklık • Besleme Gerilimi
Yarı İletkenler (Diyot, transistor gibi)	• Sıcaklık • Güç Kaybı • Dayanma Gerilimi
Kapasitörler	• Sıcaklık • Gerilim • Tür
Dirençler	• Sıcaklık • Güç Kaybı • Tür
Bobinler	• Sıcaklık • Akım • Gerilim • Yalıtım

Fiziksel Modellemeye Dayalı Hata Tahmini (Physics-of-Failure) yöntemi, hatanın fiziksel süreci ve mekanizması ile olasılık yoğunluk fonksiyonuna dayanan tahmin yöntemidir. Elektronik bir ürünün hata oranının hesaplanmasında bu yöntemin tercih edilebilmesi için ürünün yıpranma aşamasında olması gerekmektedir. Bu sebeple, hata

oranının hesaplanması ancak ürün yaşam döngüsünün son aşamalarında söz konusu olabilmektedir.

4.4.3.2 Depolama evresinde güvenilirlik

Bileşenlerin aktif bir şekilde çalışıyor oldukları duruma yönelik hata oranı fonksiyonları MIL-HDBK-217F’te yer almaktadır. İncelenen sisteme güç verilmeden yani pasif bir şekilde depolanması söz konusu olduğunda da sistemi oluşturan bileşenlerin güvenilirliği; sıcaklık, nem, mekanik stres gibi çevresel faktörlerden etkilenmektedir.

Aktif durum için hesaplanan hata oranlarının belli katsayılar ile çarpılması ile pasif duruma yönelik hata oranları elde edilmektedir. Bileşen tipine yönelik aktif hata oranının pasif hata oranına dönüştürülmesinde kullanılan dönüşüm faktörleri ilgili ortama göre Tablo 4.6.’da verilmiştir [67].

Tablo 4.6. Aktif-pasif dönüşüm faktörleri

Bileşen Çeşidi/ Dönüşüm	Yerde Aktiften Yerde Pasife	Havada Aktiften Havada Pasife	Havada Aktiften Yerde Pasife	Denizde Aktiften Denizde Pasife	Denizde Aktiften Yerde Pasife	Uzayda Aktiften Uzayda Pasife	Uzayda Aktiften Yerde Pasife
Kapasitörler	0,10	0,10	0,03	0,10	0,04	0,20	0,40
Baskı Devre Kartı	0,04	0,02	0,01	0,03	0,01	0,08	0,20
Konnektörler	0,005	0,005	0,003	0,008	0,003	0,02	0,03
Diyotlar	0,04	0,05	0,01	0,04	0,03	0,20	0,80
Tümleşik Devreler	0,08	0,06	0,04	0,06	0,05	0,10	0,30
Röleler	0,20	0,20	0,04	0,30	0,08	0,40	0,90
Dirençler	0,20	0,06	0,03	0,10	0,06	0,50	1,00
Anahtarlar	0,40	0,20	0,10	0,40	0,20	0,80	1,00
Trafoalar	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,50	1,00
Transistörler	0,05	0,06	0,02	0,05	0,03	0,20	1,00

4.4.3.3 Periyodik testlerin güvenilirliğe etkisi

Uzun süre depolamaya maruz kalan ve operasyonel çalışma süresi toplam ömrünün içerisinde oldukça kısa olan sistemlerin depolama sırasında çalışmadığı durumda da hata verebildiği bir önceki bölümde anlatılmıştır. Uzun depolama süresinin sonunda güvenilirliği oldukça düşen sistemler için hedeflenen değerlerin sağlanmasında kullanılan yöntemlerden

biri periyodik testlerdir. Hedeflenen güvenilirlik değeri doğrultusunda belirlenen periyotlar ile gerçekleştirilen testler sırasında hata tespit edilen bileşenlerin yenisi ile değiştirilmesi, güvenilirlik değerinin her an istenilen değerin üzerinde olmasına katkı sağlamaktadır.

Periyodik test süresinin olması gerekenden uzun sürmesi veya sık test yapılması gibi sürecin iyi tasarlanamadığı durumlarda test sebebiyle hatanın ortaya çıkması da söz konusu olabileceğinden etkin bir test planı gerçekleştirebilmek için test öncesinde veya sırasında gereken yükleme, boşaltma, aktarma, yer değiştirme ve taşıma adımlarının mümkün olduğunca az olması ve gerekenden daha sık periyotlar ile testlerin gerçekleştirilmemesi dikkate alınması gereken hususlardır [68].

Periyodik testlerden maksimum faydayı sağlayabilmek için testin etkinliğinin yüksek olması büyük önem taşımaktadır. Testin etkinlik değeri, sistemde ortaya çıkan hataların tespit edilebilmesi oranıdır.

Periyodik test uygulanan bir sistemde anlık olarak güvenilirlik değeri, Eşitlik (4.28)'deki gibi hesaplanmaktadır [68]. Eşitlik (4.28)'de yer alan parametrelerin açıklamaları, eşitliğin altında verilmiştir.

$$R(M, t) = e^{-[M(1-\alpha)\lambda T_T]} \chi e^{-\lambda(t-MT_T)} \quad (4.28)$$

Burada;

$R(M, t)$ = M. testin sonrasındaki t anındaki güvenilirlik değeri

M = Test sayısı

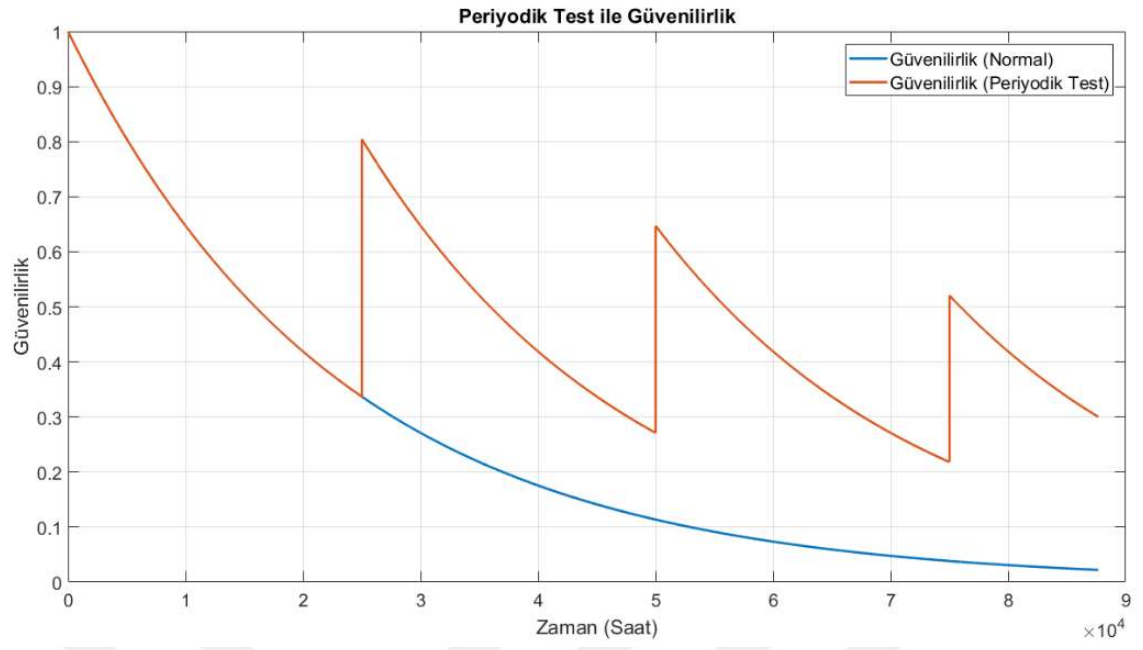
t = Anlık toplam depolama süresi

λ = Depolama evresindeki hata oranı

T_T = Test zaman aralığı

α = Test etkinliği

Örnek bir sistem için periyodik test yapıldığında ve yapılmadığında güvenilirliğin zamanla değişimi Şekil 4.11.'de yer alan grafikte gösterilmektedir. Periyodik testin yapıldığı sistem güvenilirliği, Eşitlik (4.28) ile hesaplanmıştır.



Şekil 4.11. Periyodik test ile güvenilirlik değişimi

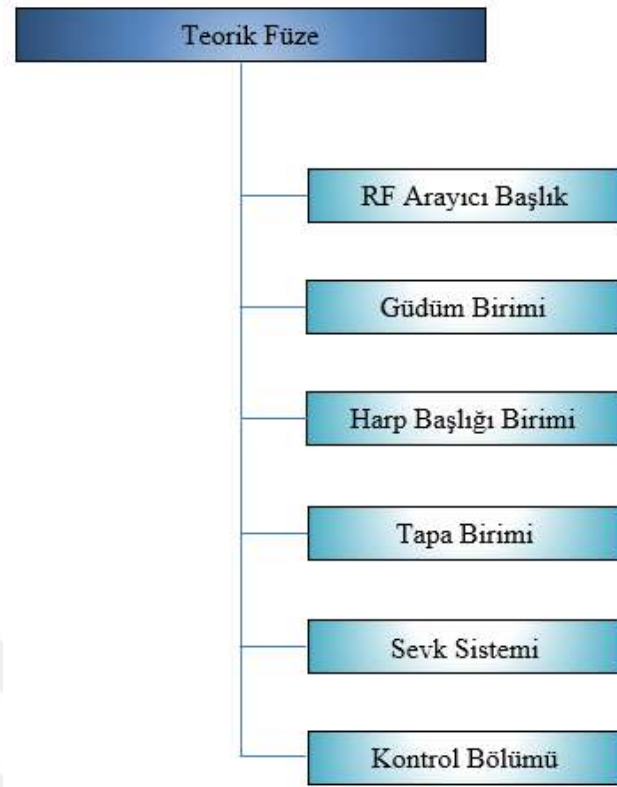
5. FÜZE ARAYICI BAŞLIĞINDA GÜVENİLİRLİK ANALİZİ

Güvenilirlik analizi; daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi modelleme, atama ve tahmin olmak üzere üç ana aşamadan oluşmaktadır. Bu bölümde, ayrıntılı tasarım aşamasında olduğu varsayılan bir teorik füze sisteminin aktif RF arayıcı başlık alt sistemine yönelik güvenilirlik gereksinimleri, fonksiyonel blok diyagramları, güvenilirlik blok diyagramları, güvenilirlik ataması, güvenilirlik tahmin metodu ve güvenilirlik analizi sonuçları ele alınmıştır.

5.1. Sistem ve Alt Sistem Gereksinimleri

Sistem isterleri, sistemin fonksiyonel ve işlevsel gerekliliklerinin ifade edilmesidir [69]. Bu isterler ile sistemden beklenen görevler detaylandırılarak sistemin ana fiziksel özellikleriyle performans ve lojistik özellikleri belirlenir. Tasarlanan bir sistemi anlayabilmek ve gerekli alt sistemleri belirleyebilmek için performans ve fonksiyonel isterleri analiz edilmelidir.

Bu çalışmada incelenen füze sistemi, uçuş süresinin tamamında veya büyük bir kısmında bir uçak gibi uçan güdümlü bir silah sistemidir. Söz konusu teorik füzenin; ses altı hızlı, aktif RF hedeflemeli havadan satha bir füze olduğu varsayılmıştır. Füzenin ses altı hızla seyir yapabilmesi isteri, yakıt sistemini de içeren sevk sistemini zorunlu bir alt sistem haline getirmiştir. Füze, uçaktan bırakıldıktan sonra uçuş motorunun ateşlenmesiyle istenilen hedef menziline ulaşacak yolu alabilecektir. Füzenin 100 km varsayılan menzilinde, ara safhaya yönelik hassas güdüm ve terminal safhaya yönelik tüm hava şartlarında görev yapabilir olma isterleri dolayısıyla ara safha için ataletsel navigasyon sistemi ile küresel konumlama sistemini içeren güdüm birimine, terminal safha için ise aktif RF arayıcı başlığa ihtiyaç duyulmuştur. Füzenin hedefi tahrip etmesi isterine yönelik olarak harp başlığı ve uygun tapan sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Hareketli veya sabit hedeflere yönelim isteri ise kontrol bölümünü zorunlu kılmaktadır. Bu ihtiyaçlar ve gerektirdikleri alt sistemler doğrultusunda ortaya çıkan füzenin ilk seviye ürün ağacı Şekil 5.1.'de yer almaktadır.



Şekil 5.1. Teorik füze ilk seviye ürün ağacı

Bu çalışmada incelenen aktif RF arayıcı başlığa sahip teorik füze için güvenilirlik istekleri; taktik görev güvenilirliği ve tam ömür devri güvenilirliği kapsamında farklı koşullara göre ayrı ayrı olacak şekilde takip eden paragraflarda açıklandığı gibi belirlenmiştir.

Teorik füze için taktik görev güvenilirliği; füzenin ilk teslim tarihinden itibaren 30 saat karayolu ile veya 6 saat karayolu ve 4 saat kargo uçağı ile nakliye edilmesi süreçlerine maruz kalması ve 4,5 saat bağılı uçuş evresi sonrasında, ateşlenme anından harp başlığı aktivasyonuna kadar geçen taktik görev süresince tasarım hedefi olarak %98, kabul edilebilir en düşük değer ise %95 olacaktır.

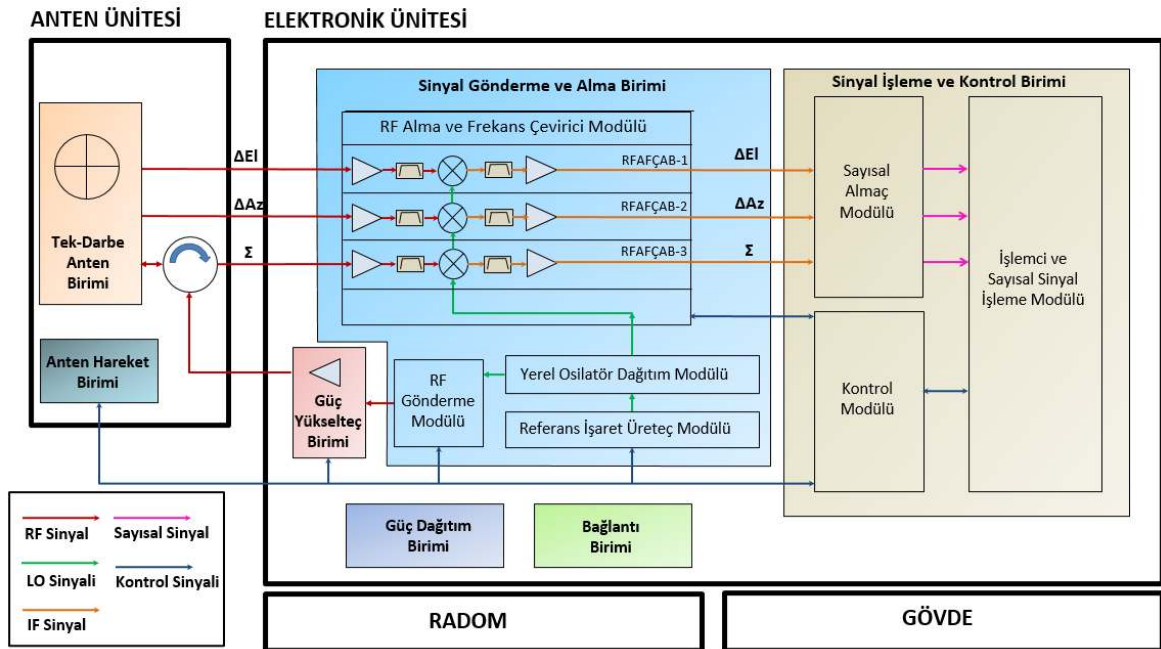
Teorik füze için tam ömür devri güvenilirliği; füzenin kontrollü depo koşullarında 10 yıl bekletilmesi, 30 saat karayolu ile veya 6 saat karayolu ve 4 saat kargo uçağı ile nakliye edilmesi süreçlerine maruz kalması ve 4,5 saat bağılı uçuş evresi sonrasında taktik görevini icra etmesi esnasında tasarım hedefi olarak %85, kabul edilebilir en düşük değer ise %80 olacaktır.

Güvenilirlik isteklerinde yer alan bağılı uçuş evresi; füzenin taktik görevini icra ederken gerçekleşen serbest uçuş evresi öncesinde, uçak altında ve uçağı bağılı faydalı yük olarak taşındığı ve arayıcı başlığın açık olmadığı evredir.

Güvenilirlik veya farklı sebeplerle periyodik testlere ihtiyaç duyulması halinde test periyotları en az 6 ay, mümkünse daha uzun olacak, söz konusu periyodik testlerin verimliliği %80'den az olmayacaktır.

5.2. Arayıcı Başlık Fonksiyonel Blok Diyagramı

Güvenilirlik analizi çalışmasının gerçekleştirileceği arayıcı başlık, bölüm 3.1.4.'te çalışma şekli ve prensipleri detaylı olarak anlatılan tek-darbe yön bulma tekniğinin kullanıldığı, bu sayede hedef tespit ve takip işlemlerini gerçekleştirebilen bir aktif RF arayıcı başlıktır. Arayıcı başlığa ait fonksiyonel blok diyagramı Şekil 5.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. RF arayıcı başlık fonksiyonel blok diyagramı

Söz konusu RF arayıcı başlık 4 adet ünite ve onlara bağlı birimlerden oluşmaktadır. Bu üniteler; Anten Ünitesi, Elektronik Ünitesi, Radom ve Gövdedir. Ünitelerin alt birimleri ve arayıcı başlık bütününe olan fonksiyonel katkıları bu bölümde açıklanmaktadır.

Anten Ünitesi, Tek-Darbe Anten Birimi ve Anten Hareket Biriminden oluşur. Tek-Darbe Anten Birimi, tek-darbe sistemi için özel olarak tasarlanmış 4 kadranlı antenden ve hibrit kuplör gibi faz kaydırıcı pasif RF/mikrodalga bileşenlerin bulunduğu bir RF karşılaştırmacı ağından oluşur. Farklı kadrarlarda bulunan 4 adet yönlendirilmiş yüksek kazançlı antenin arkasında konumlanmış tek-darbe karşılaştırmacı ağı sayesinde toplam kanalı ve 2 adet fark kanalı ile birlikte 3 adet kanal oluşturulur. Bu 3 adet kanaldan toplam kanalı

aynı zamanda gönderme amaçlı da kullanılmaktadır. Anten Hareket Birimi ise tek-darbe antenin yönlendirilmesini sağlayan birimdir. Yanca ve yükseliş eksenlerinde belirli açısallimitler dahilinde antenin yönlendirilmesini sağlayan servo-motorlar ve bu motorların elektronik sürücü kartlarından oluşur. Bu birim sayesinde arayıcının hedefi tespit ve takip ettiği mutlak açı limitleri arttırılabilmektedir.

Elektronik Ünitesi; Anten Hareket Birimi haricinde RF arayıcı başlığa ait elektronik alt birimlerin tamamını içermektedir ve beş birimden oluşmaktadır. Bu birimler; Sinyal Gönderme ve Alma Birimi, Güç Yükselteç Birimi, Sinyal İşleme ve Kontrol Birimi, Güç Dağıtım Birimi ve Bağlantı Birimidir.

Güç Yükselteç Birimi, tek-darbe radar sistemi için oluşturulan gönderme sinyalinin güçlendirildiği birimdir. Çeşitli sayıdaki RF güç yükselteçlerinden ve RF güç birleştiricilerinden oluşur.

Sinyal İşleme ve Kontrol Birimi ise gelen analog temel bant sinyali sayısallaştıran ve sinyal işleme işlerini gerçekleştiren bir Sayısal Almaç Modülü; RADAR sinyal işleme ve yön tayini algoritma işlemleri ile arayıcının dış dünya haberleşme işlemlerini gerçekleştiren bir İşlemci ve Sayısal Sinyal İşleme Modülü ve son olarak da alma ve gönderme blokları ile anten hareket birimlerinin kontrol edildiği Kontrol Modülünden oluşmaktadır. Sayısal Almaç Modülü analog-sayısal dönüştürücülerden, diğer iki birim ise çeşitli mikrodenetleyici ve mikroişlemci ünitelerden, yonga üzeri sistemler veya alanda programlanabilir kapı dizileri (FPGA) gibi mantıksal işlemlerin gerçekleştirilebildiği sayısal tümleşik devrelerin bulunduğu kartlardan oluşur.

Güç Dağıtım Birimi; füzenin ana güç dağıtım ünitesinden aldığı gerilimi, arayıcı başlığın elektronik alt birimlerinin ihtiyacı olan gerilimlere dönüştürüp dağıtımları gerçekleştiren birimdir. Bu birim, çeşitli doğru akım gerilimi (DC-DC) dönüştürücü kartlarından oluşur.

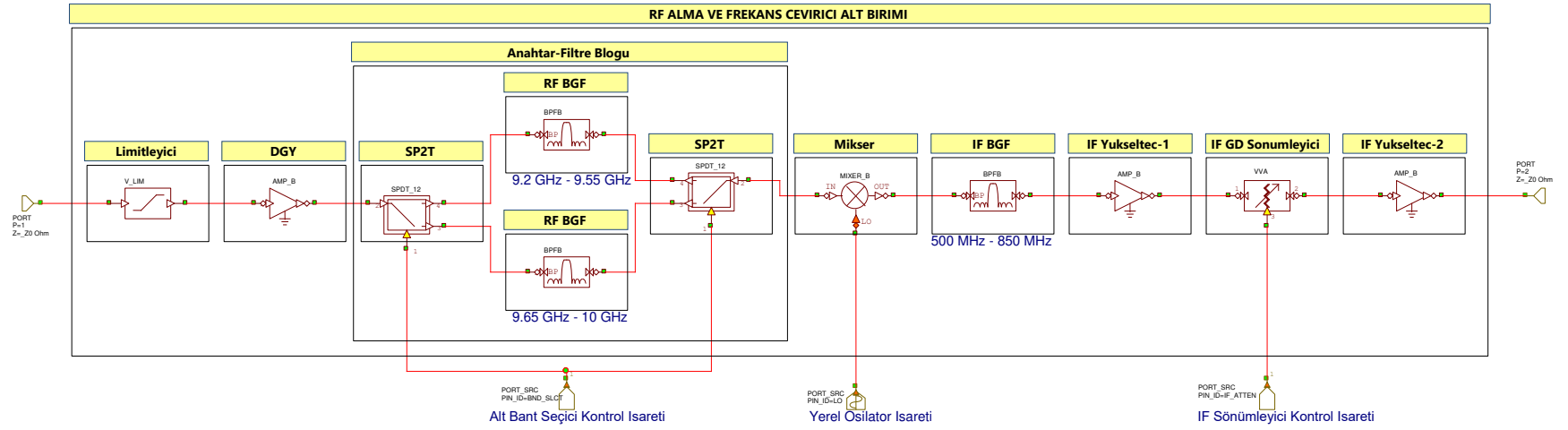
Bağlantı Birimi ise arayıcı alt birimlerinin birbirleri ile olan RF, ara frekans (IF), güç, haberleşme ve kontrol sinyallerinin taşındığı; konektör, kablo, bağlantı kartları gibi çeşitli bağlantı elemanlarının tümünü temsil eden elektronik alt birimidir.

Sinyal Gönderme ve Alma Birimi; Referans İşaret Üreteç Modülü, Lokal Osilatör Dağıtım Modülü, RF Gönderme Modülü ve RF Alma ve Frekans Çevirici Modülünden oluşmaktadır. Referans İşaret Üreteç Modülü; birimin diğer modüllerinden olan RF Gönderme Modülü ile RF Alma ve Frekans Çevirici Modülünde yapılan frekans yükseltme ve düşürme işlemleri için gerekli olan çeşitli frekanslardaki RF sinyallerin üretildiği modüldür. Yerel Osilatör Dağıtım Modülü; Referans İşaret Üreteç Modülünde üretilen

sinyallerin gönderme ve alma işlevi yapan birimlerine dağıtımının yapıldığı modüldür. RF Gönderme Modülü, tek-darbe radar sisteminde kullanılan sinyalin temel bantta üretilmesi ve RF frekansına yükseltilmesi işlemlerinin yapıldığı modüldür. Almaç bloku zincirinin ilk kısmını ise RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü oluşturur. Burada tek-darbe antenden sonra gelen 3 adet bağımsız almaç kanalı ile temel banda indirme işlemi ve güç yükseltme işlemleri yapılır. RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü, almaç blokunun analog işaret zinciri olarak tanımlanabilir. Bu çalışma kapsamında güvenilirlik analizi gerçekleştirilecek modül RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü olarak belirlendiğinden bu modüle yönelik daha detaylı inceleme sunulacaktır.

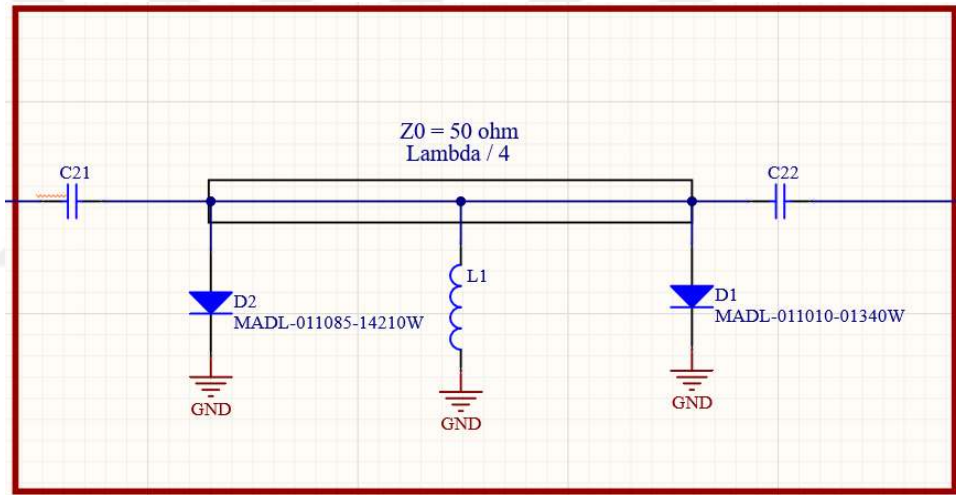
RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü, X bant ve tek aşamalı süperheterodin bir alıcı yapısında olup üç kanalının her birinin girişinde güç limitleyici ve düşük gürültülü yükselteç sonrasında seçiciliği arttırma amacıyla iki farklı alt çalışma bandından birinin seçildiği anahtar-filtre bloku bulunmaktadır. Tek-darbe karşılaştırıcı devresi üzerinden gelen toplam, yanca-fark ve yükseliş-fark darbe işaretleri, kendilerine ait bağımsız ve birbirine eş kanallarda düşük gürültülü bir yükselteç yardımıyla güçlendirilip filtrelendikten sonra ara frekansa indirilmek üzere miksere girmekte, ardından da ara frekansa düşürülmüş işaretler tekrar filtrelenip güçlendirildikten sonra da analog-sayısal çeviriciye gönderilmektedir. Modüldeki tek bir kanala (RF Alma ve Frekans Çevirici Alt Birimi) ait blok diyagram Şekil 5.3.'te gösterilmiştir. RF Alma ve Frekans Çevirici Modülünde kullanılan bileşen/bloklara ait işlevsel tanımlar ile Altium Designer Baske Devre Kartı (PCB) tasarım yazılımı [70] aracıyla yapılmış şematik tasarımları bu bölümde detaylandırılmıştır.

Güç limitleyici, almaç kanallarının girişinde bulunan ve almaç hattının geri kalanında bulunan hassas mikrodalga bileşenleri korumaya yarayan bir bileşendir. Ayrıntılı şematik gösterimi Şekil 5.4.'te verilen güç limitleyici; iki adet Positive-Intrinsic-Negative (PIN) diyot, bir adet bobin ve iki adet kapasitörden oluşmaktadır. Giriş ve çıkıştaki kapasitörler DC blok amaçlı, PIN diyotlar ve bobin ise limitleyicinin asıl görevi olan yüksek güçlü işaretlerin geçişini sınırlama amaçlı olarak kullanılmaktadır. PIN diyotlar, almaç girişine gelen düşük güç seviyesine sahip işaretler için düşük bir şönt kapasitans değerine ve buna bağlı olarak da çok yüksek bir şönt empedansa sahip olmaktadır. Bu durum, düşük güç seviyelerinde çok düşük bir araya girme ve geriye dönüş kaybına sahip olmaları anlamına gelmektedir. Benzer şekilde, hat üzerindeki RF bobinin almaç çalışma frekanslarında yüksek şönt empedansa sahip olacak şekilde seçilmesi (yani bobin öz rezonans frekansının çalışma frekansının yakınlarında olması), düşük güç seviyesinde gelen işaretler için hat üzerindeki empedans uyumsuzluklarını minimuma indirmiş olacaktır.



Şekil 5.3. RF alma ve frekans çevirici alt birimi

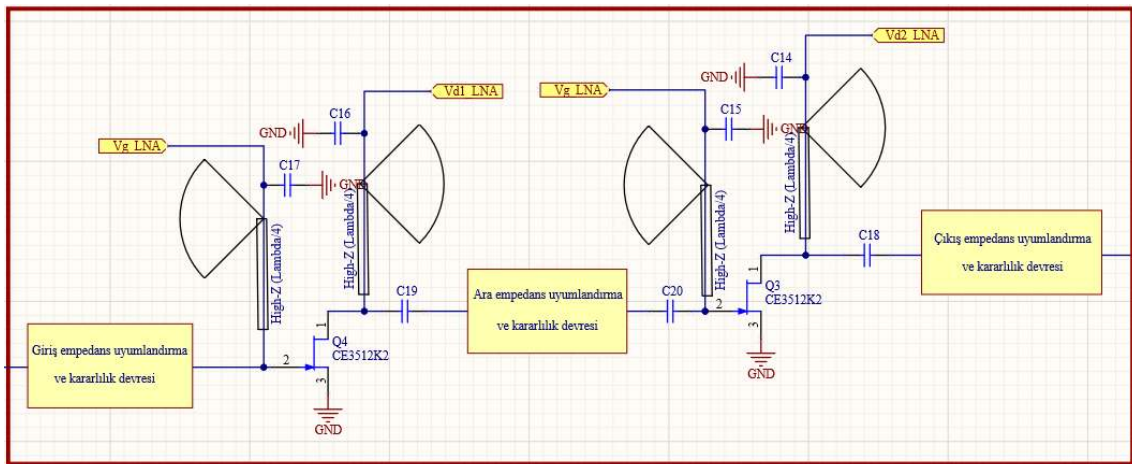
Giriş işaret güç seviyesi belirli bir değerin üzerine çıktığında, diyotların pozitif ve negatif yük taşıyıcıları “I” bölgesine girmeye zorlanacak, bu da diyot empedansının azalmasını beraberinde getirecektir. Empedanstaki bu azalış empedans uyumsuzluğu yaratarak girişte gelen işaretlerin büyük bir kısmının diyotlardan geriye yansımaya sebebiyet verecektir. Diyotların arasında bulunan şönt bobin ise diyotların RF dedektör rolünde oluşturacağı DC akımlar için geri dönüş yolu yaratmaktadır. PIN diyotlardan ilki daha kalın bir “I” bölgesine sahiptir, bu sayede girişteki maksimum güç seviyesini belirler durumdadır. İkinci PIN diyotun “I” bölgesi ise ikinciye göre daha incedir ve geçen güç seviyesinin ardından gelen hassas komponentlerin bozulmaması için gereken sınır değerin altında kalmasını sağlar. Diyotlar arasındaki çeyrek dalga boyu uzunluğunda bir iletim hattı bulunmasının sebebi ise, düşük giriş güçleri için ilk diyotun yaptığı empedans bozucu etkinin kompanse edilmesi amacıyla taşımaktadır.



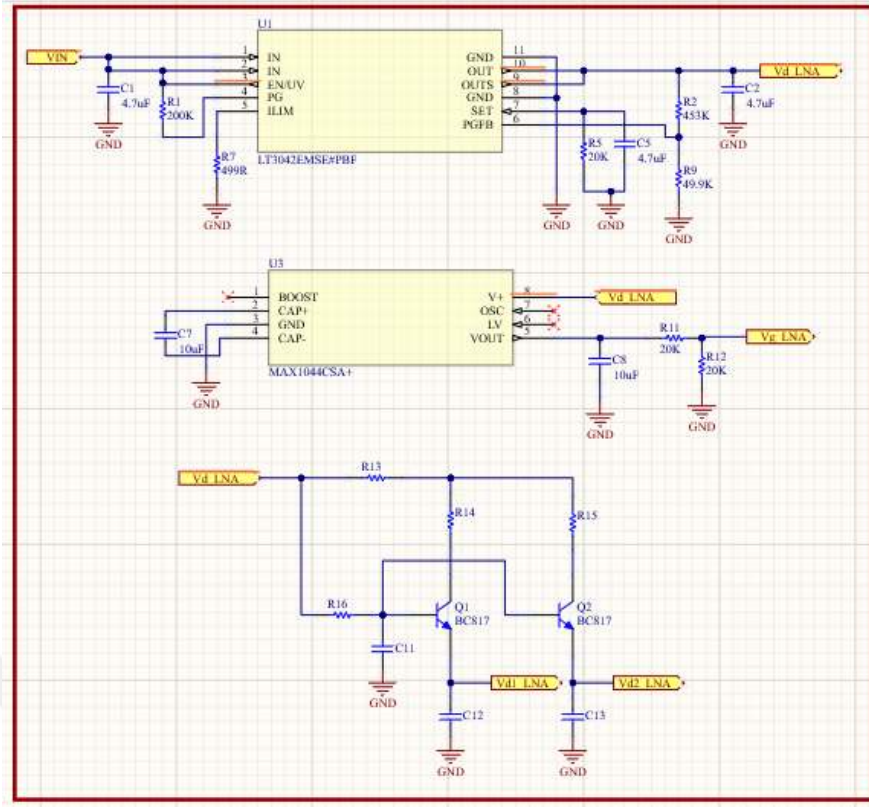
Şekil 5.4. Limitleyici devresi

Limitleyici devresinden sonra gelen Düşük Gürültülü Yükselteç (DGY), RF almalı yapılarının en önemli başarımlarından olan kaskat gürültü figürünün olabildiğince düşük olmasını sağlar. Düşük gürültü figürü, almalı çıkışında görülen gürültü tabanının azaltılması, buna bağlı olarak da sinyal-gürültü oranının artırılmasını sağlayarak, almalı hassasiyetinin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Kaskat RF sistemler için ise ilk eleman, almalı toplam gürültü figürü üzerinde belirleyici bir önemdedir. Bu amaçla, almalı girişlerinde güçlendirme işleminin olabildiğince düşük gürültülü bir şekilde yapılması amacıyla DGY kullanılmaktadır. Bu sistem için tasarlanan DGY, çalışma bandı olan 9.2 GHz – 10 GHz bölgesinin tamamında çalışabilmektedir. Düşük gürültülü yükseltecin

tasarımında paketlenmiş iki adet düşük gürültülü Galyum Arsenit Alan Etkili Transistör (GaAs FET) kullanılmıştır. Ortak kaynak konfigürasyonlu yükselteçte kullanılan n-kanallı FET'lerin kapı ve savak öngerilimlemeleri için pozitif ve negatif gerilim dönüştürücüler ile Bipolar Jonksiyon Transistörler (BJT) kullanılmıştır. Kapı ve savak öngerilimlemelerinde gerekli sekans için ise direnç (R16) ve kapasitörden (C11) oluşan geciktirici devresi bulunmaktadır. Bu sayede kapı-kaynak gerilimi, savak-kaynak geriliminden bir süre önce oluşturularak, savak-kaynak akımının yüksek seviyelere çıkıp transistörlerin doyuma ulaşmalarının önüne geçilecektir. Önden uygulanan kapı-kaynak gerilimi, savak-kaynak akımını istenilen seviyede tutarak FET'lerin arzu edildiği gibi çalışmasını sağlamaktadır. FET'lerin giriş ve çıkışlarında ise gürültü, kararlılık ve kazanç gibi parametrelerin optimize edildiği empedans uyumlandırma devreleri bulunmaktadır. Bu devreler parça stres analizinde kullanılmayan mikroşerit yapılar olduğu için detaylandırılmamıştır. Kapı ve savakların DC beslemeleri için RF iletim hattı üzerinde çeyrek dalga boylu yüksek karakteristik empedanslı hatlar ve radyal stublardan oluşan RF sönümleme yapıları bulunmaktadır. Bu sayede kapı ve savak öngerilimlemeleri için gerekli DC gerilim hattı, RF çalışma frekansları için açık devre karakteristiğine sahip olacak ve empedans uyumsuzlukları yaşanmadan maksimum güç iletimi sağlanacaktır. Ayrıca, DC gerilim hattı üzerinde bulunan ve toprak hattına şönt bağlanan kapasitörler dekaplaj işlevinde, FET'lerin giriş ve çıkışındaki seri kapasitörler de DC blok işlevinde kullanılmaktadır. DGY devresi ile DGY'de bulunan FET'lerin DC öngerilimlemeleri için kullanılan güç devresi Şekil 5.5. ve Şekil 5.6.'da gösterilmiştir.

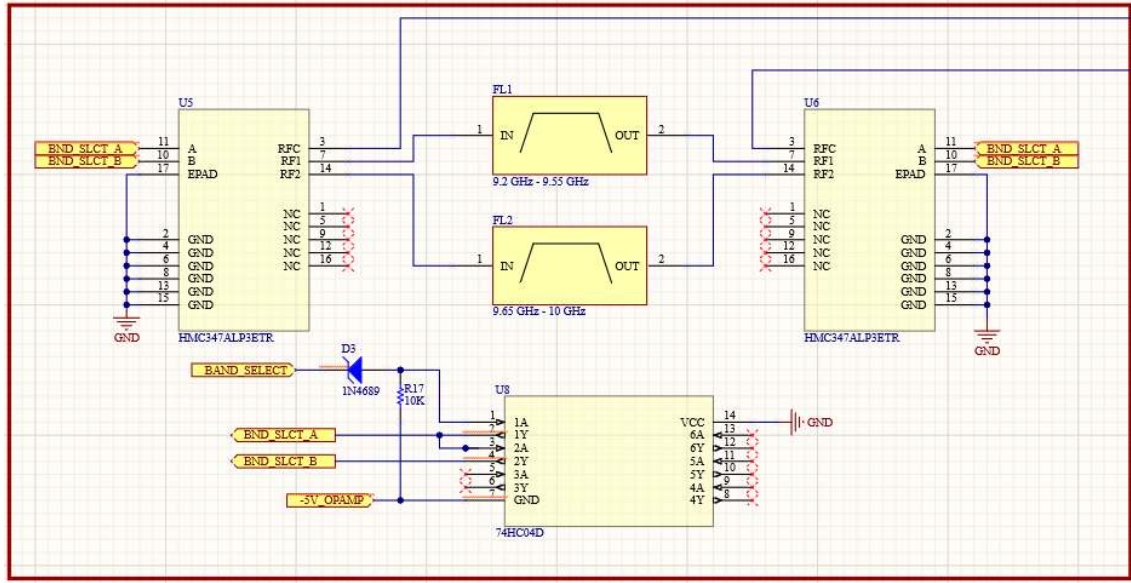


Şekil 5.5. DGY devresi



Şekil 5.6. FET DC öngerilimlemesi için güç devresi

DGY devresi sonrasında anahtar-filtre bloku yer almaktadır. Anahtar-filtre bloku, almanın frekans seçici bölümüdür. Giriş ve çıkışında birer adet tek girişli 2 çıkışlı anahtar (SP2T) bulunan bloğun görevi, iki farklı alt çalışma bantları arasında anahtarlama yaparak sadece çalışılan alt bant için bir filtreleme yapılmasıdır. Bloкта bulunan bant geçiren filtreler, bir yandan çalışılan alt banttaki frekans bileşenlerini geçirip seçicilik sağlarken, diğer yandan da çarpma / frekans düşürme işlemi öncesinde imaj frekanslarının bastırılmasında kullanılmaktadır. Bu sayede, mikser sonrası ara frekans bölgesine indirilen işaretin sadece çalışma bölgesindeki arzu edilen işarete ait bileşenler olması ve gürültü figürünün minimumda tutulması sağlanmaktadır. İki filtrenin de 9.2 GHz – 9.55 GHz ve 9.65 GHz – 10 GHz değerlerinde sabit birer geçiş bantları bulunmaktadır. Filtreler mikroşerit yapıda olduklarından parça stres analizine dahil edilmemişlerdir. Anahtar filtre blokuna ait şematik gösterim Şekil 5.7.’de bulunmaktadır. 74HC04D entegresi içinde 6 adet evirici (DEĞİL kapısı) bulunmakta, entegrenin girişindeki zener diyot ve entegre içindeki iki adet evirici anahtarların kontrol işaretlerinin üretimi için gerekli 0V/-5V DC gerilimlerinin üretilmesinde kullanılmaktadır.



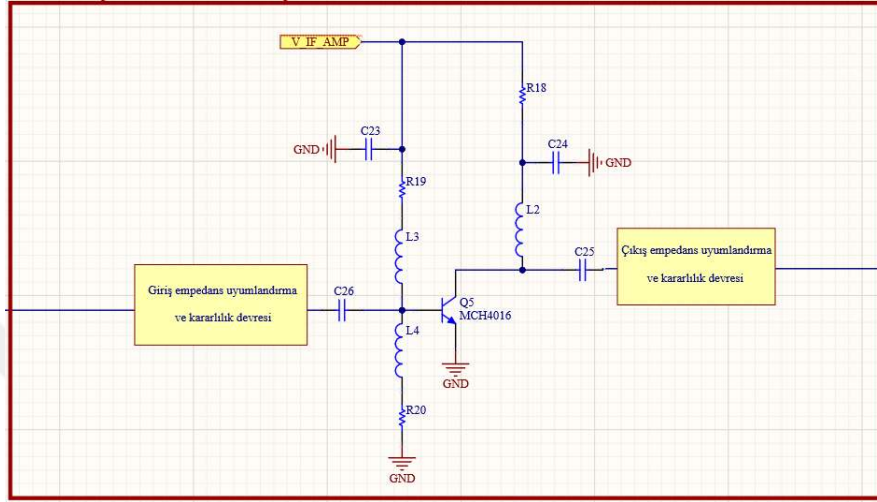
Şekil 5.7. Anahtar-filtre bloku devresi

Anahtar-filtre bloku sonrasında mikser yer almaktadır. Mikser, gelen yüksek frekans işaretin bir yerel osilatör işareti ile çarpılarak ara frekans bölgesine indirilmesinin sağlandığı bileşendir. Bu tasarım için ara frekans bandı 500 MHz – 850 MHz olarak seçilmiştir. Mikser olarak, çift-dengelenmiş mikser bulunan paketlenmiş bir GaAs Monolitik Mikrodalga Tümleşik Devre (MMIC) kullanılmıştır.

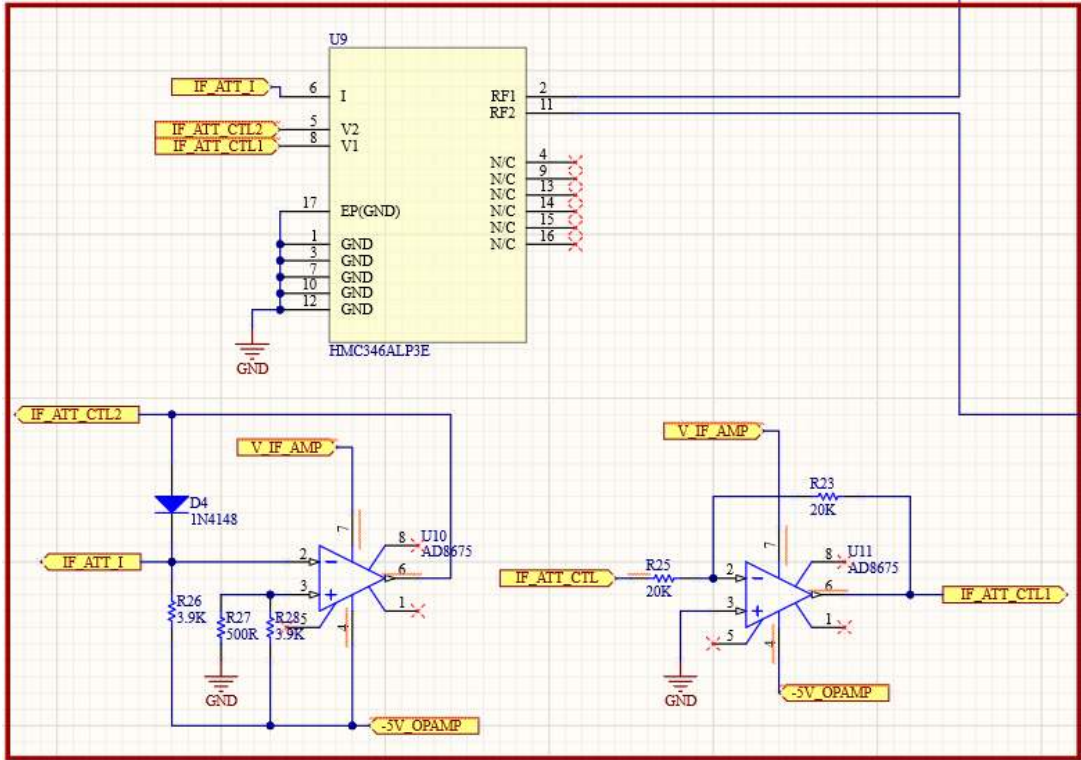
Mikser çıkışında, yerel osilatör ve gelen RF işaret frekanslarının farkının yanında, frekansların toplamı ve mikser tasarımında kullanılan diyot ve transistör gibi doğrusal olmayan elemanların davranışları sebebiyle pek çok farklı frekans bileşenleri oluşmaktadır. Yerel osilatör ve RF işaretin farkları, örneklenmesi istenen ara frekans bölgesine karşılık düşerken, istenmeyen toplam ve doğrusal olmamanın getirdiği ürünler ise frekans spektrumunun başka yerlerinde konumlanmıştır. Mikser çıkışı konulan IF bant geçiren filtre hem seçiciliği arttırmak hem de mikser çıkışı üretilen istenmeyen bileşenleri de sönümleme amacıyla bulunmaktadır. Sistemde IF bant geçiren filtre olarak geçiş bandı 500 MHz – 850 MHz olan paketlenmiş hazır ürün kullanılmıştır.

Gelen işaretin gücünün RF frekansında yapılan yükseltmeye ilaveten ara frekans bölgesinde de yükseltilmesi amacıyla IF güç yükselteçleri kullanılmıştır. Ortak emiterli BJT konfigürasyonu kullanılan yükselteçlerin arasında almaç dinamik alanını arttırma amacıyla gerilim değişkenli bir sönümleyici de bulunmaktadır. Sönümleyici olarak paketlenmiş bir GaAs MMIC entegre devresi kullanılmıştır. IF güç yükselteçlerinden birisi, IF sönümleyici ve IF güç yükselteçlerde kullanılan BJT'lerin DC öngerilimlemelerinin yapıldığı güç devresi Şekil 5.8., Şekil 5.9. ve Şekil 5.10.'da gösterilmiştir. U10 ve U11 İşlemsel Yükselteçleri

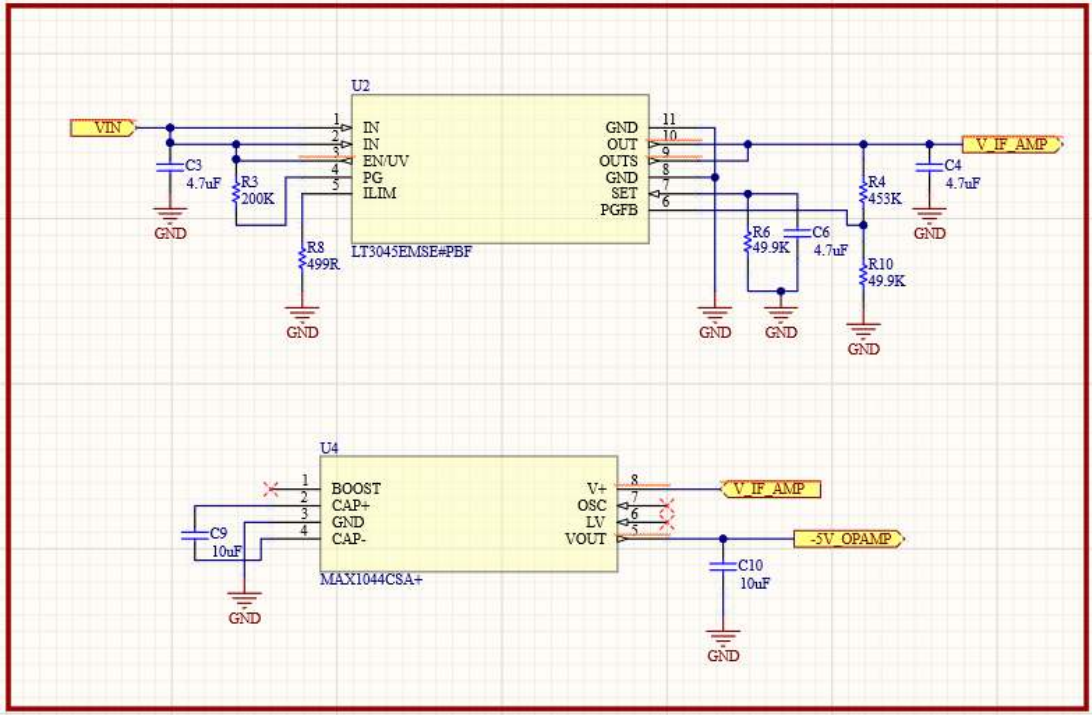
(OPAMP) IF sönümleyiciye giren kontrol işaretlerinin üretilmesinde görev almaktadır. Giriş, çıkış ve yerel osilatör işaretinin taşındığı Sub-Miniature version A (SMA) RF konnektörlerin haricinde kullanılan, modülün ihtiyaç duyduğu güç, alt bant seçme ve IF sönümleyicinin kontrol edildiği işaretlerin taşındığı konnektör ise Şekil 5.11.'de gösterilmiştir.



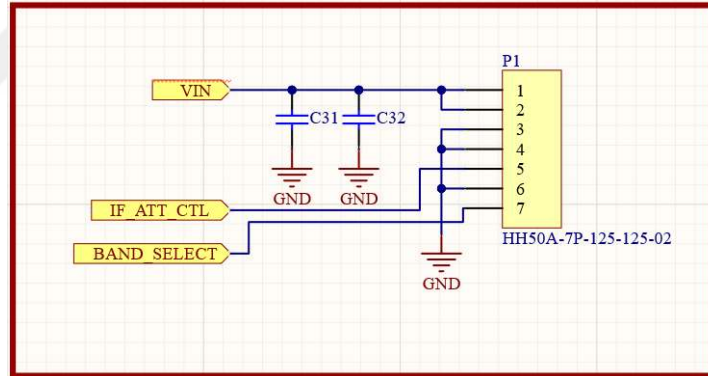
Şekil 5.8. IF güç yükselteç devresi



Şekil 5.9. IF sönümleyici devresi



Şekil 5.10. BJT DC öngerilimlemesi için güç devresi

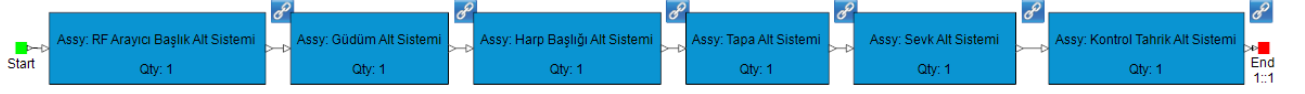


Şekil 5.11. Güç ve kontrol konnektörü

5.3. Teorik Füze ve Arayıcı Başlık Güvenilirlik Blok Diyagramları

RF arayıcı başlığa yönelik oluşturulan güvenilirlik blok diyagramı, arayıcı başlığın içerdiği alt birimlerin ortaya konmasında yol göstericidir. Güvenilirlik blok diyagramı ile alt birimlere tam anlamıyla hâkim olunduğunda güvenilirlik atamasının yapılması ile daha doğru değerlendirmelerde bulunmaktadır. Bu doğrultuda; füze sistemi alt sistem seviyesi, RF arayıcı başlık ünite seviyesi, RF arayıcı başlık anten ve elektronik üniteleri birim seviyesi, RF arayıcı başlık Sinyal İşleme ve Kontrol Birimi modül seviyesi, RF arayıcı başlık Sinyal Gönderme ve Alma Birimi modül seviyesi, RF arayıcı başlık RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü alt birim seviyesi, RF Alma ve Frekans Çevirici Alt Birimi bileşen seviyesi

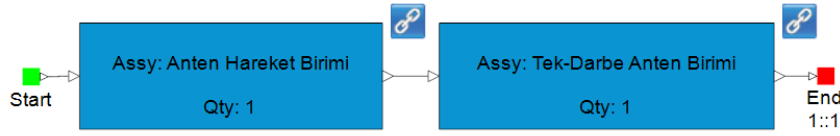
güvenilirlik blok diyagramları sırasıyla Şekil 5.12., Şekil 5.13., Şekil 5.14., Şekil 5.15., Şekil 5.16, Şekil 5.17, Şekil 5.18. ve Şekil. 5.19.'da yer almaktadır.



Şekil 5.12. Füze sistemi alt sistem seviyesi GBD



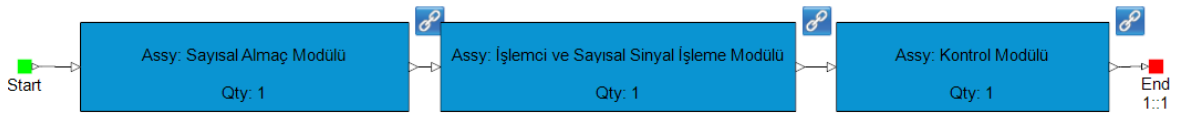
Şekil 5.13. RFAB ünite seviyesi GBD



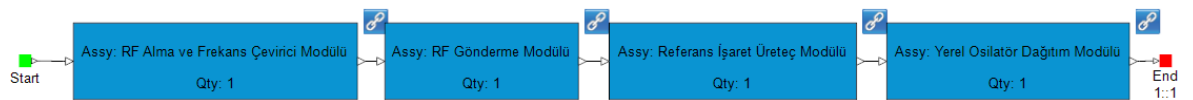
Şekil 5.14. RFAB anten ünitesi birim seviyesi GBD



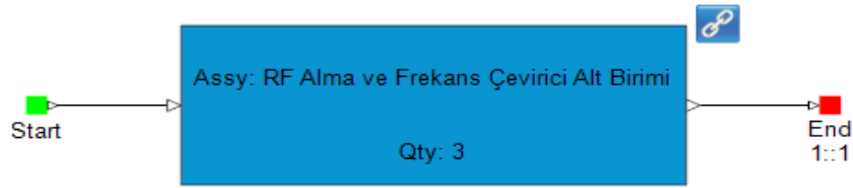
Şekil 5.15. RFAB elektronik ünitesi birim seviyesi GBD



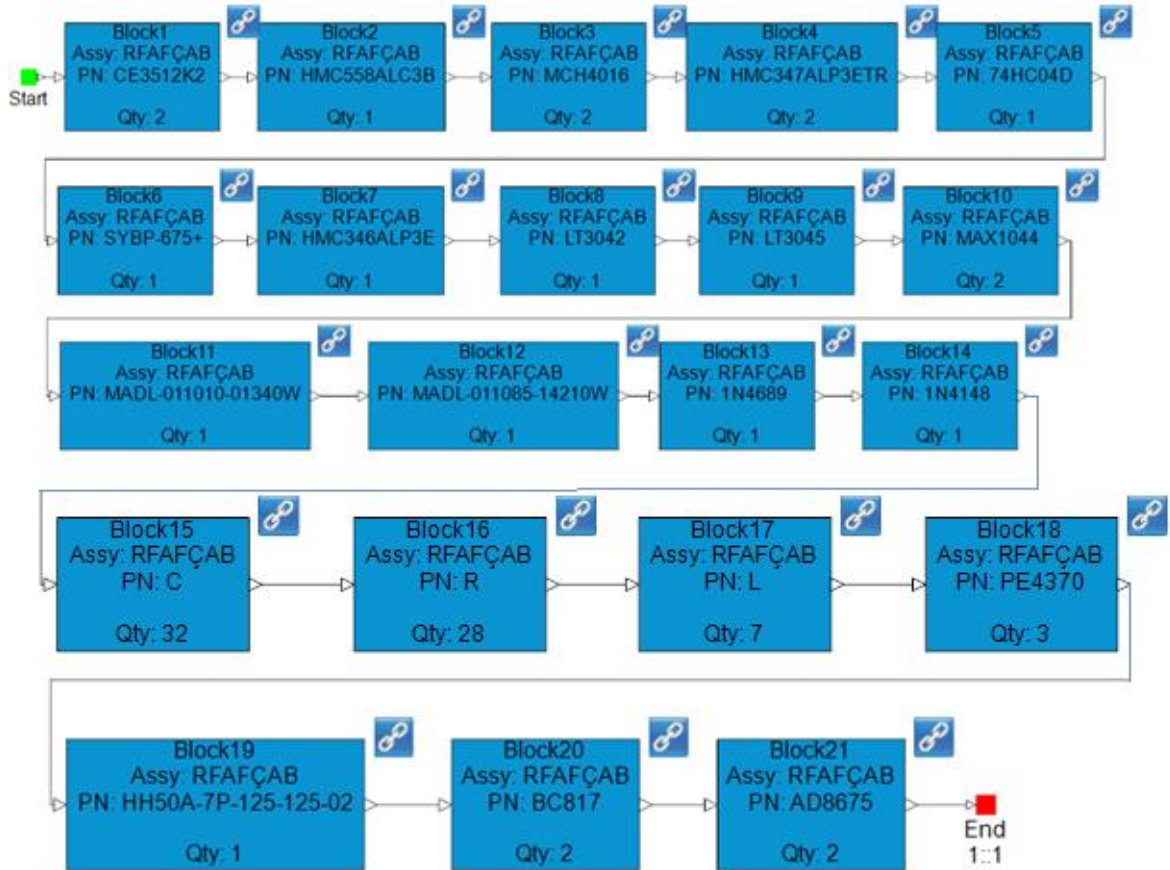
Şekil 5.16. RFAB sinyal işleme ve kontrol birimi modül seviyesi GBD



Şekil 5.17. RFAB sinyal gönderme ve alma birimi modül seviyesi GBD



Şekil 5.18. RFAB RF alma ve frekans çevirici modülü alt birim seviyesi GBD



Şekil 5.19. RF alma ve frekans çevirici alt birimi bileşen seviyesi GBD

5.4. Teorik Füze Alt Sistem Güvenilirlik Ataması

Bu çalışma kapsamında incelenen ve ayrıntılı tasarım aşamasında olduğu varsayılan teorik füze için belirlenmiş güvenilirlik isterlerinin sağlanabilmesi amacıyla alt birimlere dağıtılmış hedef güvenilirlik değerleri, daha önceden bölüm 4.4.2.'de anlatılan atama yöntemlerine göre belirlenmiştir.

5.4.1. Tam ömür devri güvenilirliği ataması

Teorik füze için belirlenmiş görev güvenilirliği değerinin alt sistemlere atanmasında kullanılacak uygun atama yönteminin değerlendirilmesi için eşit atama, ARINC ve amaçların fizibilitesi yöntemlerine göre atama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Eşit atama yönteminde, 4.4.2.1 bölümünde açıklandığı üzere alt sistemlerin tasarım özelliklerine göre karmaşıklıkları dikkate alınmaksızın tüm alt sistemler eşit önceliğe sahip olacak şekilde değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, incelenen teorik füzenin sağlaması gereken tam ömür devri güvenilirliği değeri 6 adet alt sisteme eşit olacak şekilde atanmıştır. Teorik füzenin en az %80 olarak belirlenen tam ömür devri güvenilirliği değerinin 6. kökü alınarak elde edilen değerler Tablo 5.1.'de yer almaktadır.

Tablo 5.1. Eşit atama ile füze tam ömür devri güvenilirlik ataması

Sistem/Alt Sistem	Atanan Güvenilirlik Değeri
Teorik Füze	0,8
RFAB	0,96349
Güdümlü Birimi	0,96349
Harp Başlığı Birimi	0,96349
Tapa Birimi	0,96349
Sevk Sistemi Birimi	0,96349
Kontrol Birimi	0,96349

ARINC atama yönteminde, 4.4.2.2 bölümünde anlatıldığı üzere alt sistemlerin güvenilirlik atamalarının yapılabilmesi için ağırlıklandırma faktörlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamanın yapılabilmesi için gerekli olan başlangıç hata oranlarının hesaplamasında literatürde yer alan güvenilirlik değerlerinden yola çıkılmıştır [6]. Tam ömür devri güvenilirliği için belirlenen 10 yıllık sürenin sonunda en az %80 güvenilirlik değerine sahip olma koşuluna göre teorik füzenin hata oranı değeri hesaplanmıştır. Bu değer, ilgili alt sistemlerin ağırlıklandırma faktörleri ile çarpılarak alt sistemlere yönelik atanan hata oranları elde edilmiştir. Alt sistemlere atanan hata oranı değerleri kullanılarak alt sistemlerin 10 yıllık sürenin sonundaki atanan güvenilirlik değerleri Tablo 5.2.'deki gibi hesaplanmıştır, burada verilen hata oranları milyon saat başına (FPMH) olan değerlerdir.

Tablo 5.2. ARINC ile füze güvenilirlik ataması

Sistem/Alt Sistem	Literatür Güvenilirlik Değeri	Tahmin Edilen Hata Oranı (FPMH)	Ağırlıklandırma Faktörü	Atanan Hata Oranı (FPMH)	Atanan Güvenilirlik Değeri
Teorik Füze	-	-	-	2,54556	0,8
RFAB	0,9850	0,17241	0,27331	0,69572	0,94084
Güdümlü Birimi	0,9930	0,08013	0,12703	0,32336	0,97205
Harp Başlığı Birimi	0,9950	0,05718	0,09064	0,23074	0,97998
Tapa Birimi	0,9870	0,14927	0,23663	0,60235	0,94857
Sevk Sistemi Birimi	0,9950	0,05718	0,09064	0,23074	0,97998
Kontrol Birimi	0,9900	0,11465	0,18175	0,46264	0,96026

Amaçların fizibilitesi yönteminde; alt sistem atamalarına yönelik karmaşıklık, tasarım olgunluğu, görev süresi ve çevresel koşullar olmak üzere 4 adet puanlandırma kategorisi bulunmaktadır. Kategorilere yönelik açıklamalar ve hesaplama yöntemi 4.4.2.3 bölümünde anlatılmıştır. Kategorilere göre puanlandırmada yapılan değerlendirmeler özet olarak aşağıda sunulmuştur.

Karmaşıklık kategorisindeki puanlamada en yüksek puan, en fazla bileşene sahip RF arayıcı başlık birimine verilmiştir. En düşük puan ise en az bileşene sahip olan kontrol birimine verilmiştir.

Tasarım olgunluğu kategorisinde, sistemin alt sistemlerinden olan RF arayıcı başlık ilk kez geliştiriliyor olduğundan en yeni teknoloji olarak değerlendirilmiş ve en yüksek puan verilmiştir. Sevk sistemine ise uzun süre önce geliştirilmiş, farklı füzelerde de kullanılmış ve kendini kanıtlamış bir sistem olduğundan en düşük puan verilmiştir.

Görev süresi kategorisinde en yüksek puan, tüm görev boyunca devrede olan güdümlü birimine verilmiştir. Harp başlığının görev süresi çok kısa olduğundan dolayı bu birimin puanı en düşük değer olarak verilmiştir. Bu kategoride arayıcı başlık ortalama bir değere sahip olarak değerlendirilmiştir.

Çevresel koşullar kategorisinde füzenin burnunda yer alan arayıcı başlık ile dış yüzeyinde kanatçık bileşenleri bulunan kontrol biriminin diğer alt sistemlere göre daha zorlayıcı koşullara maruz kaldığı değerlendirilmiştir.

Bu doğrultuda, amaçların fizibilitesi yöntemine göre ilgili kategorilerde yapılan puanlandırmalar, hesaplamalar ve alt sistemlere atanan güvenilirlik değerleri Tablo 5.3.'te yer almaktadır.



Tablo 5.3. Amaçların fizibilitesi ile füze tam ömür devri güvenilirliği ataması

Sistem/Alt Sistem	Karmaşıklık	Tasarım Olgunluğu	Görev Süresi	Çevresel Koşullar	Genel Derecelendirme Değeri	Normalize Karmaşıklık Değeri	Atanan Hata Oranı (FPMH)	Atanan Güvenilirlik
Teorik Füze	-	-	-	-	-	-	2,54556	0,8
RFAB	9	8	4	7	2016	0,31183	0,79379	0,93278
Güdüm Birimi	7	5	10	5	1750	0,27069	0,68905	0,94139
Harp Başlığı Birimi	5	7	1	5	175	0,02707	0,06891	0,99398
Tapa Birimi	5	4	4	5	400	0,06187	0,15750	0,98629
Sevk Sistemi Birimi	6	3	9	6	972	0,15035	0,38272	0,96701
Kontrol Birimi	4	4	9	8	1152	0,17819	0,45359	0,96102

Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında incelenen RF arayıcı başlık birimi açısından değerlendirildiğinde farklı atama yöntemlerine göre elde edilen değerler Tablo 5.4.'te özetlenmiştir. Atanan güvenilirlik değeri; en fazla belirsizlik içeren yöntem olan eşit atama yönteminde en yüksek iken çeşitli kategorilerde değerlendirmeleri içeren en detaylı yöntem olan amaçların fizibilitesi yönteminde en düşük olmuştur. İncelenen teorik füze için ayrıntılı tasarım aşamasında sahip olunacak bilgiler ile en detaylı şekilde atama yapılmasını sağlayan amaçların fizibilitesi yönteminin uygulanabilir olduğu değerlendirildiğinden ve bu yöntemin en uygun yöntem olduğuna karar verilmiştir.

Tablo 5.4. Atama yöntemlerine göre RFAB tam ömür devri güvenilirlik değerleri

	Eşit Atama	ARINC	Amaçların Fizibilitesi
RFAB Güvenilirlik Değeri	0,96349	0,94084	0,93278

Bu doğrultuda, RF arayıcı başlığı oluşturan birimlere yapılan güvenilirlik ataması da amaçların fizibilitesi yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu seviyedeki atamada, kategorilere göre puanlandırmada yapılan değerlendirmeler özet olarak aşağıda sunulmuştur.

Sinyal Gönderme ve Alma Biriminde temel bantta çeşitli modülasyonlara sahip kompleks işaret üretimi için gerekli mikro işlemci ve / veya doğrudan sayısal sentez tümleşik devrelerinin yanı sıra; yüksek frekans işaret sentezlemek için kullanılan faz kilitlemeli çevrim ve gerilim kontrollü osilatör tümleşik devreleri de bulunmaktadır. Ayrıca, almaç ve göndermeç zincirlerinin çeşitli kısımlarında kullanılan güç yükselteçleri, güç sönmüleyiciler, frekans çarpıcılar, mikserler, güç bölücüler, kuplörler ve filtreler gibi ayrık yarı iletkenlerden veya tümleşik devrelerden oluşan yapılar ile RF ve güç konnektörleri de bulunmaktadır. Sinyal İşleme ve Kontrol Biriminde ise yüksek hızlı analog/sayısal dönüştürücü tümleşik devrelerinin yanı sıra, yön bulma algoritmalarını uygulamak için sinyal işleme / hesaplama işlemlerini yapan, Sinyal Gönderme ve Alma Birimindeki çeşitli modüller ile Anten Hareket Biriminde bulunan servo motorların kontrollerini gerçekleştiren ve füze bilgisayarı ile yüksek hızda haberleşmeyi sağlayan çeşitli sayıdaki mikro işlemci, mikro denetleyici ve FPGA gibi kompleks tümleşik devreler bulunur. Güç Dağıtım Birimi, pek çok sayıda anahtarlamalı ve / veya doğrusal DC-DC gerilim çevirici devrelerinden ve konnektörlerden oluşur. Güç Yükselteç Birimi ise çeşitli sayıdaki katı hal ve/veya vakum tüp RF güç yükselteçleri, güç bölücüler, güç birleştiricileri, güç yükselteçlerine DC güç

sağlayan regülatör, güç sekans devreleri, RF ve güç konnektörlerinden oluşmaktadır. Anten Hareket Biriminde antenin radom içinde yönlendirilmesini sağlayan DC servo motorlar ve sürücü devreleri, Tek-Darbe Anten Biriminde ise elektronik bileşen olarak sadece RF konnektörler yer almaktadır. Bütün bunlar değerlendirildiğinde, sırasıyla Sinyal Gönderme ve Alma Birimi ile Sinyal İşleme ve Kontrol Birimi'nin diğer birimlere oranla daha fazla elektronik bileşen içereceği, Güç Dağıtım Birimi ve Güç Yükselteç Birimi'nin ise bu birimlerin ardından geleceği değerlendirilmiştir. En az bileşene sahip olması beklenen birimler ise azalan sırayla Anten Hareket Birimi, Bağlantı Birimi ve Tek-Darbe Anten Birimidir.

Tasarım olgunluğu konusunda, en eski ve olgun olarak değerlendirilen birimler sırasıyla Bağlantı Birimi ve Güç Dağıtım Birimi olmuştur. En az olgun olarak değerlendirilen birim ise diğer birimlere oranla daha kompleks ve tasarım deneyimi gerektirdiği düşünülen Güç Yükselteç Birimidir. Diğer birimlerin ise ortalama olgunluk seviyelerinde olduğu değerlendirilmiştir.

Görev sürelerinin bütün birimler için eşit olduğu, arayıcı sisteminin bütün görev süresince hepsinin aktif olduğu değerlendirilmiştir.

Çevresel koşullarda ise buruna olan yakınlıkları sebebiyle sırasıyla Tek-Darbe Anten Birimi ve Anten Hareket Biriminin çevresel koşullara en fazla, diğer birimlerin eşit ve ortalama seviyelerde maruz kalması beklendiği değerlendirilmiştir.

İlgili kategorilerde yapılan puanlandırmalar, hesaplamalar ve birimlere atanan güvenilirlik değerleri Tablo 5.5.'te yer almaktadır.

Tablo 5.5. Amaçların fizibilitesi ile RFAB tam ömür devri güvenilirliği ataması

Sistem/Alt Sistem	Karmaşıklık	Tasarım Olgunluğu	Görev Süresi	Çevresel Koşullar	Genel Derecelendirme Değeri	Normalize Karmaşıklık Değeri	Atanan Hata Oranı (FPMH)	Atanan Güvenilirlik Değeri
RFAB	-	-	-	-	-	-	0,79379	0,93278
Anten Hareket Birimi	5	4	10	8	1600	0,19347	0,15357	0,98663
Tek Darbe Anten Birimi	2	4	10	9	720	0,08706	0,06911	0,99396
Güç Dağıtım Birimi	6	2	10	5	600	0,07255	0,05759	0,99496
Sinyal Gönderme ve Alma Birimi	9	4	10	5	1800	0,21765	0,17277	0,98497
Sinyal İşleme ve Kontrol Birimi	8	4	10	5	1600	0,19347	0,15357	0,98663
Güç Yükselteç Birimi	6	6	10	5	1800	0,21765	0,17277	0,98497
Bağlantı Birimi	3	1	10	5	150	0,01814	0,01440	0,99874

Sinyal Gönderme ve Alma Birimin içerdği modüllerin benzer kriterlere sahip olması dolayısıyla modül seviyesinde gerçekleştirilen eşit atamanın sonuçları Tablo. 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6. Eşit atama ile sinyal gönderme ve alma birimi güvenilirlik ataması

Sistem/Alt Sistem	Atanan Güvenilirlik Değeri
Sinyal Gönderme ve Alma Birimi	0,98497
Referans İşaret Üreteç Modülü	0,99622
Yerel Osilatör Dağıtım Modülü	0,99622
RF Gönderme Modülü	0,99622
RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü	0,99622

5.4.2. Taktik görev güvenilirliği ataması

Taktik görev güvenilirliğine yönelik güvenilirlik isteri tam ömür devri güvenilirliğinden farklı olduğundan bu istere yönelik de atamanın gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Tam ömür devri güvenilirliği için gerçekleştirilen atamalar Tablo 5.3. ve Tablo 5.5.'teki puanlandırmalar aynı kalacak şekilde taktik görev güvenilirliği için de gerçekleştirilmiştir.

Taktik görev güvenilirliğindeki 2 farklı profilin toplam zaman değeri birbirinden farklıdır. Amaçların fizibilitesi yönteminde, incelenen zaman değeri atanan hata oranını etkilemekte olup atanan güvenilirlik değerini etkilememektedir. Bu sebeple, farklı sürelerdeki görev profilleri için hedeflenen güvenilirlik değeri aynı olduğu müddetçe alt sistemlere atanan değerler değişmeyecektir. Taktik görev güvenilirliği isteri kapsamında gerçekleştirilen atama sonuçlarının kırıltımlı özeti Tablo 5.7.'de yer almaktadır.

Tablo 5.7. Taktik görev güvenilirliği güvenilirlik ataması sonuçları

Sistem/Alt Sistem	Atanan Güvenilirlik Değeri
Teorik Füze	0,95
RFAB	0,98413
Anten Hareket Birimi	0,99691
Tek Darbe Anten Birimi	0,99861
Güç Dağıtım Birimi	0,99884
Sinyal Gönderme ve Alma Birimi	0,99652
Referans İşaret Üreteç Modülü	0,99913
Yerel Osilatör Dağıtım Modülü	0,99913
RF Gönderme Modülü	0,99913
RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü	0,99913
Sinyal İşleme ve Kontrol Birimi	0,99691
Güç Yükselteç Birimi	0,99652
Bağlantı Birimi	0,99971
Güdümlü Birimi	0,98621
Harp Başlığı Birimi	0,99861
Tapa Birimi	0,99683
Sevk Sistemi Birimi	0,99232
Kontrol Birimi	0,99090

5.5. Güvenilirlik Tahmin Yöntemi

Güvenilirlik analizi çalışmasına yönelik uygulama, RF arayıcı başlığın RF Alma ve Frekans Çevirici Modülünün işlevini belirtilen koşullar altında ve belirtilen süre içerisinde yerine getirebilme olasılığını tahmin etmek için yapılmıştır. Analiz çalışmaları kapsamında sadece elektronik ve elektromekanik bileşenler ele alınmıştır.

Güvenilirlik değerinin hesaplanmasında ilk adım olarak RF Alma ve Frekans Çevirici Modülüne yönelik ürün ağacı detaylı olarak incelenmiş ve elektronik bileşenler Tablo 5.8.'de özetlendiği şekilde MIL-STD-217FN2'ye göre sınıflandırılmıştır. Tablo 5.8., 1 adet RF Alma ve Frekans Çevirici Alt Biriminin içerdiği bileşenleri göstermekte olup RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü 3 adet RF Alma ve Frekans Çevirici Alt Biriminden oluşmaktadır.

RF arayıcı başlık alt sistemi ve görev profilleri PTC Windchill Quality Solutions 11.0 yazılımında [71] modellenerek güvenilirlik blok diyagramları oluşturulmuştur. Söz konusu

yazılım incelenen sistemdeki tüm bileşenlerin hata oranı hesaplamasını uluslararası organizasyonlar tarafından geliştirilmiş çeşitli standartlara göre gerçekleştirmektedir.

RF Alma ve Frekans Çevirici Modülünün içerdiği elektronik bileşenlere yönelik hata oranları söz konusu yazılım aracılığıyla 2.1. ve 4.4.3.1 bölümlerinde değinilen MIL-STD-217FN2 parça stres analizi hesaplama modeli kullanılarak hesaplanmıştır. İlgili bileşenlerin hata oranı hesaplanırken yazılım tarafından kullanılan fonksiyonlar ve içerdikleri parametreler farklılaşmakta olup hesaplamanın detayları Ek-1 ve Ek-2’de yer almaktadır [5]. Tüm bileşenler seri blok diyagram yapısında olduklarından, bu fonksiyonlar kullanılarak hesaplanan bileşen hata oranı değerleri toplanarak RF Alma ve Frekans Çevirici Alt Birimine yönelik hata oranı değeri elde edilmektedir.

Tablo 5.8. Bileşenlerin MIL-STD-217FN2 sınıflandırması

Parça Numarası	Kategori	Alt Kategori	Adet
CE3512K2 [72]	Yarı İletken	GaAs FET	2
HMC558ALC3B [73]	Tümleşik Devre	GaAs MMIC	1
MCH4016 [74]	Yarı İletken	Mikrodalga Transistör	2
HMC347ALP3ETR [75]	Tümleşik Devre	GaAs MMIC	2
74HC04D [76]	Tümleşik Devre	Lojic, CGA, ASIC	1
SYBP-675+ [77]	Diğer	Filtre	1
HMC346ALP3E [78]	Tümleşik Devre	GaAs MMIC	1
LT3042 [79]	Tümleşik Devre	Doğrusal	1
LT3045 [80]	Tümleşik Devre	Doğrusal	1
MAX1044 [81]	Tümleşik Devre	Doğrusal	2
MADL-011010-01340W [82]	Yarı İletken	Mikrodalga Diyot	1
MADL-011085-14210W [82]	Yarı İletken	Mikrodalga Diyot	1
1N4689 [83]	Yarı İletken	Diyot	1
1N4148 [84]	Yarı İletken	Diyot	1
C	Kapasitör	Çip, Seramik Dielektrikli	32
R	Direnç	Film	28
L	Endüktif Cihazlar, Bobinler	Bobin	7
PE4370 [85]	Bağlantı Elemanları	RF Koaksiyel	3
HH50A20-7P-125-125-02 [86]	Bağlantı Elemanları	Dikdörtgensel	1
BC817 [87]	Yarı İletken	Transistör	2
AD8675 [88]	Tümleşik Devre	Doğrusal	2

5.6. RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü Güvenilirlik Modeli

RF Alma ve Frekans Çevirici Modülünün alt birimleri ve içerdikleri bileşenleri bölüm 5.3.'te yer alan blok diyagram ile açıklandığı üzere seri bağlı yapıdadır. Bu doğrultuda, birbirine seri bağlı olan bileşenlerin oluşturduğu RF Alma ve Frekans Çevirici Modülünün güvenilirlik değeri hesaplamasında, Eşitlik (4.14) ile belirtilen seri model formülü uygun olmaktadır. Söz konusu eşitlik, bu uygulama kapsamında varsayılan sabit hata oranı ve üssel dağılım kullanılarak düzenlendiğinde bileşenlerin hata oranları toplamı RF Alma ve Frekans Çevirici Modülünün hata oranına eşit olacaktır.

Söz konusu hata oranlarının hesaplamaları için görev profillerinin ortaya konulması gerekmiştir. Görev profilleri; genellikle ömür döngüsü tanımlama çalışmalarıyla belirlenen ve sistemin ömrü boyunca depolama, nakliye, görev gibi süreçlere ne kadar süreyle, hangi sıcaklıklarda maruz kalacağına ve bu evrelerde sistemin aktif veya pasif olma durumuna yönelik bilgileri içerir. İncelenen teorik füzeye yönelik 5.1. bölümünde belirlenen güvenilirlik isterlerine göre oluşturulan 4 farklı görev profili Tablo 5.9., Tablo 5.10., Tablo 5.11. ve Tablo 5.12.'de verilmiştir.

Tablo 5.9. Tam ömür devri güvenilirliği görev profili-1

PROFİL BİLGİLERİ					
Toplam Profil Süresi	Ortam	Faz Süresi (saat)	Faz Yüzdesi	Sıcaklık (°C)	Aktif/Pasif Durumu
10 Yıl (87.660 Saat)	G _B (Kontrollü Depolama)	87.645	99,9829%	25	Pasif
	G _M (Karayolu ile Taşıma)	6	0,0068%	50	Pasif
	A _{IC} (Kargo Uçağı ile Taşıma)	4	0,0046%	60	Pasif
	A _{UF} (Bağılı Uçuş)	4,5	0,0051%	75	Pasif
	M _F (Taktik Görev)	0,5	0,0006%	50	Aktif

Tablo 5.10. Tam ömür devri güvenilirliği görev profili-2

PROFİL BİLGİLERİ					
Toplam Profil Süresi	Ortam	Faz Süresi (saat)	Faz Yüzdesi	Sıcaklık (°C)	Aktif/Pasif Durumu
10 Yıl (87.660 Saat)	G _B (Kontrollü Depolama)	87.625	99,9601%	25	Pasif
	G _M (Karayolu ile Taşıma)	30	0,0342%	50	Pasif
	A _{UF} (Bağlı Uçuş)	4,5	0,0051%	75	Pasif
	M _F (Taktik Görev)	0,5	0,0006%	50	Aktif

Tablo 5.11. Taktik görev güvenilirliği görev profili-1

PROFİL BİLGİLERİ					
Toplam Profil Süresi	Ortam	Faz Süresi (saat)	Faz Yüzdesi	Sıcaklık (°C)	Aktif/Pasif Durumu
35 Saat	G _M (Karayolu ile Taşıma)	30	85,7143%	50	Pasif
	A _{UF} (Bağlı Uçuş)	4,5	12,8571%	75	Pasif
	M _F (Taktik Görev)	0,5	1,4286%	50	Aktif

Tablo 5.12. Taktik görev güvenilirliği görev profili-2

PROFİL BİLGİLERİ					
Toplam Profil Süresi	Ortam	Faz Süresi (saat)	Faz Yüzdesi	Sıcaklık (°C)	Aktif/Pasif Durumu
15 Saat	G _M (Karayolu ile Taşıma)	6	40,0000%	50	Pasif
	A _{IC} (Kargo Uçağı ile Taşıma)	4	26,6667%	60	Pasif
	A _{UF} (Bağlı Uçuş)	4,5	30,0000%	75	Pasif
	M _F (Taktik Görev)	0,5	3,3333%	50	Aktif

Görev profillerin içerdiği fazların ortam bilgileri ve sıcaklık değerleri MIL-STD-217FN2 standardına göre belirlenmiş olup bu ortamlara yönelik açıklamalar Tablo 5.13.'te yer almaktadır [5].

Tablo 5.13. Görev profilleri çevresel koşulları

Sembol	Ortam	Açıklama
G _B	Yerde, Kontrollü (Ground, Benign)	Yerde, hareketsiz olacak şekilde sıcaklık ve nem gibi çevresel koşulların kontrol edilebilir olduğu kontrollü depo koşullarını temsil eden ortam türüdür.
G _M	Yerde, Hareketli (Ground, Mobile)	Yerde, hareketli ve titreşime maruz kalacak şekilde; tekerlekli veya paketli araçların üzerine kurulan sistemler veya el ile manuel olarak taşıma yapılan ortamdır.
A _{IC}	Havada, Meskûn Taşıma (Airborne, Inhabited Cargo)	Kargo uçağı gibi hava araçlarının kontrollü kargo bölümleri ortamıdır. Basınç, sıcaklık, şok ve titreşim gibi çevresel koşullar minimal düzeydedir.
A _{UF}	Havada, Gayri Meskûn Avcı Uçağı (Airborne, Uninhabited Fighter)	Avcı uçaklarında uçuş boyunca kontrol edilemeyen koşullardaki ortamıdır. Basınç, sıcaklık, şok ve titreşim gibi çevresel koşullara maruz kalınmaktadır.
M _F	Füze Uçuşu (Missile Flight)	Hava soluyan füzelerin ve seyir füzelerinin güç olduğu durumdaki uçuş ortamı ile füzelerin güç gerektirmeyen durumdaki serbest uçuş ortamıdır.

Görev profilini oluşturan fazın pasif olması, uykuda olmayı yani güç verilmediğini gösterirken aktif olması, birimlerin enerjilendirildiğini yani çalışır durumda olduğunu göstermektedir. Aynı ortam koşullarında bir bileşenin pasif durumunun hata oranı aktif duruma göre oldukça düşük olmaktadır. Yazılımın varsayılan ayarlarında hesaplamalar aktif duruma göre yapılmakta, pasif seçeneği seçildiğinde bölüm 4.4.3.2.'de açıklanan bileşenlerin ilgili dönüşüm faktörleri kullanılarak hesaplama yapılmaktadır.

RF Alma ve Frekans Çevirici Modülünü oluşturan alt birimlerin ürün ağacı yapısındaki en alt seviye bileşenleri PTC Windchill Quality Solutions 11.0 yazılımına girildikten sonra Ek-1 ve Ek-2'de detayları yer alan hata oranları fonksiyonlarına göre yapılan hesaplamaların sonuçları, bileşen seviyesinde ve görev profillerinde yer alan ortamlara göre Tablo 5.14.'te verilmiştir. Tablo 5.14.'teki değerler, bileşen adetleri ve görev

profillerindeki fazlara göre aktiften pasife dönüşüm faktörleri kullanılarak 1 adet RF Alma ve Frekans Çevirici Alt Birimine yönelik hata oranları kırılımlı olarak Tablo 5.15.'te verilmiştir. Filtre ve bobin bileşenleri için aktiften pasife dönüşüm faktörleri tanımlı olmadığından, bu bileşenler özelinde pasif duruma yönelik hata oranları 0 olarak hesaba katılmaktadır.

RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü, 3 adet RF Alma ve Frekans Çevirici Alt Biriminden oluştuğundan modüle yönelik hata oranı değerleri ise Tablo 5.15.'teki değerlerin 3 ile çarpılması sonucunda Tablo 5.16.'daki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 5.14. Ortama göre bileşen hata oranları (FPMH)

Parça Numarası	G_B (Aktif)	G_M (Aktif)	A_{IC} (Aktif)	A_{UF} (Aktif)	M_F (Aktif)
CE3512K2	0,400364	5,594538	6,495863	32,903359	10,070168
HMC558ALC3B	0,120661	1,688408	4,295101	17,31839	1,731690
MCH4016	0,108739	0,798686	0,734289	2,698334	1,437636
HMC347ALP3ETR	0,026351	0,210870	0,211109	0,424167	0,263571
74HC04D	0,049557	0,297411	0,317520	0,609287	0,359658
SYBP-675+	0,348000	2,088000	2,436000	4,524000	2,436000
HMC346ALP3E	0,021641	0,173144	0,173217	0,347095	0,216426
LT3042	0,073021	0,460825	0,708397	1,621499	0,504107
LT3045	0,164677	0,868856	1,406525	3,098901	0,912138
MAX1044	0,067628	0,420094	0,664898	1,533258	0,454107
MADL-011010-01340W	0,921371	5,995995	5,288315	18,226580	10,792792
MADL-011085-14210W	0,417609	2,973897	2,707573	9,749197	5,353015
1N4689	0,074203	0,860898	1,243520	4,113181	1,339175
1N4148	0,009573	0,103747	0,160836	0,591116	0,161385
C	0,031574	1,813514	1,587356	6,713437	1,813514
R	0,018549	0,377715	0,463237	1,247926	0,873466
L	0,000090	0,001505	0,000847	0,001499	0,001630
PE4370	0,000224	0,002700	0,001172	0,005752	0,003375
HH50A20-7P-125-125-02	0,046846	0,569973	0,248364	1,224464	0,712466
BC817	0,000116	0,001678	0,002557	0,010342	0,002610
AD8675	0,029146	0,219722	0,303131	0,709921	0,253735

Tablo 5.15. RF alma ve frekans çevirici alt birimi hata oranları (FPMH)

Parça Numarası	Sınıf	Adet	Dönüşüm Faktörü		Toplam Hata Oranı				
			Yerde Aktiften Yerde Pasife	Havada Aktiften Havada Pasife	G _B (Pasif)	G _M (Pasif)	A _{IC} (Pasif)	A _{UF} (Pasif)	M _F (Aktif)
CE3512K2	Transistör	2	0,05	0,06	0,040036	0,559454	0,779504	3,948403	20,140336
HMC558ALC3B	Tümleşik Devre	1	0,08	0,06	0,009653	0,135073	0,257706	1,039103	1,731690
MCH4016	Transistör	2	0,05	0,06	0,010874	0,079869	0,088115	0,323800	2,875271
HMC347ALP3ETR	Tümleşik Devre	2	0,08	0,06	0,004216	0,033739	0,025333	0,050900	0,527142
74HC04D	Tümleşik Devre	1	0,08	0,06	0,003965	0,023793	0,019051	0,036557	0,359658
SYBP-675+	Filtre	1	-	-	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	2,436000
HMC346ALP3E	Tümleşik Devre	1	0,08	0,06	0,001731	0,013852	0,010393	0,020826	0,216426
LT3042	Tümleşik Devre	1	0,08	0,06	0,005842	0,036866	0,042504	0,097290	0,504107
LT3045	Tümleşik Devre	1	0,08	0,06	0,013174	0,069508	0,084391	0,185934	0,912138
MAX1044	Tümleşik Devre	2	0,08	0,06	0,010821	0,067215	0,079788	0,183991	0,908214
MADL-011010-01340W	Diyot	1	0,04	0,05	0,036855	0,239840	0,264416	0,911329	10,792792
MADL-011085-14210W	Diyot	1	0,04	0,05	0,016704	0,118956	0,135379	0,487460	5,353015
1N4689	Diyot	1	0,04	0,05	0,002968	0,034436	0,062176	0,205659	1,339175
1N4148	Diyot	1	0,04	0,05	0,000383	0,004150	0,008042	0,029556	0,161385
C	Kapasitör	32	0,10	0,10	0,101037	5,803245	5,079539	21,482998	58,032453
R	Direnç	28	0,20	0,06	0,103875	2,115205	0,778238	2,096516	24,457055
L	Bobin	7	-	-	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,011410
PE4370	Konnektör	3	0,005	0,005	0,000003	0,000041	0,000018	0,000086	0,010126
HH50A20-7P-125-125-02	Konnektör	1	0,005	0,005	0,000234	0,002850	0,001242	0,006122	0,712466
BC817	Transistör	2	0,05	0,06	0,000012	0,000168	0,000307	0,001241	0,005219
AD8675	Tümleşik Devre	2	0,08	0,06	0,004663	0,035156	0,036376	0,085191	0,507470
RF Alma ve Frekans Çevirici Alt Birimi					0,367046	9,373414	7,752516	31,192962	131,993547

Tablo 5.16. RF alma ve frekans çevirici modülü hata oranları (FPMH)

RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü	Adet	G_B (Pasif)	G_M (Pasif)	A_{IC} (Pasif)	A_{UF} (Pasif)	M_F (Aktif)
RF Alma ve Frekans Çevirici Alt Birimi	3	1,101139	28,120241	23,257538	93,578887	395,980641

Her bir görev profiline yönelik güvenilirlik değerinin elde edilebilmesi için ortama göre hesaplanan her bir hata oranının ilgili görev fazı yüzdeleri ile çarpılarak toplanması sonucu elde edilecek görev profili hata oranı değerinin toplam zamana göre hesaplanması Eşitlik (5.2)'de gösterildiği şekildedir.

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-(\sum_i \lambda(i) * Faz Yüzdesi(i)) * t} \quad (5.2)$$

Görev profillerinin fazlara göre yüzde değerleri Tablo 5.17.'de özetlenmiştir. RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü için bu faz yüzdeleri ve Tablo 5.16.'da yer alan hata oranları ile hesaplanan görev profilleri hata oranları Tablo 5.18.'de verilmiştir.

Tablo 5.17. Görev profillerinin faz yüzdeleri

Profil/Ortam	G_B	G_M	A_{IC}	A_{UF}	M_F
Tam Ömür Devri Güvenilirliği Görev Profili-1	99,9829%	0,0068%	0,0046%	0,0051%	0,0006%
Tam Ömür Devri Güvenilirliği Görev Profili-2	99,9601%	0,0342%	-	0,0051%	0,0006%
Taktik Görev Güvenilirliği Görev Profili-1	-	85,7143%	-	12,8571%	1,4286%
Taktik Görev Güvenilirliği Görev Profili-2	-	40,0000%	26,6667%	30,0000%	3,3333%

Tablo 5.18. RF alma ve frekans çevirici modülü görev profili hata oranları (FPMH)

Görev Profili	Hata Oranı Hesabı
Tam Ömür Devri Güvenilirliği Görev Profili-1	$(1,101139 * 99,9829\%) + (28,120241 * 0,0068\%) +$ $(23,257538 * 0,0046\%) + (93,578887 * 0,0051\%) +$ $(395,980641 * 0,0006\%)$ $=$ $1,110999$
Tam Ömür Devri Güvenilirliği Görev Profili-2	$(1,101139 * 99,9601\%) + (28,120241 * 0,0342\%) +$ $(93,578887 * 0,0051\%) + (395,980641 * 0,0006\%)$ $=$ $1,117385$
Taktik Görev Güvenilirliği Görev Profili-1	$(28,120241 * 85,7143\%) + (93,578887 * 12,8571\%) +$ $(395,980641 * 1,4286\%)$ $=$ $41,791501$
Taktik Görev Güvenilirliği Görev Profili-2	$(28,120241 * 40,0000\%) + (23,257538 * 26,6667\%)$ $+ (93,578887 * 30,0000\%) + (395,980641 * 3,3333\%)$ $=$ $58,723127$

5.7. RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü Güvenilirlik Analizi

Ortama göre hesaplanmış hata oranları, görev profillerinin fazlarının yüzdeleri ve ilgili profilin toplam süresi kullanılarak elde edilen güvenilirlik değerleri 3 adet RF Alma ve Frekans Çevirici Alt Birimi içeren RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü için Tablo 5.19.'da verilmektedir.

Tablo 5.19. RF alma ve frekans çevirici modülü güvenilirlik analizi sonuçları

Görev Profili	Güvenilirlik Hesaplaması
Tam Ömür Devri Güvenilirliği Görev Profili-1	$e^{-\left(\frac{1,110999}{10^6}\right)87660} = 90,72020\%$
Tam Ömür Devri Güvenilirliği Görev Profili-2	$e^{-\left(\frac{1,117385}{10^6}\right)87660} = 90,66942\%$
Taktik Görev Güvenilirliği Görev Profili-1	$e^{-\left(\frac{41,791501}{10^6}\right)35} = 99,85384\%$
Taktik Görev Güvenilirliği Görev Profili-2	$e^{-\left(\frac{58,723127}{10^6}\right)15} = 99,91195\%$

RF Alma ve Frekans Çevirici Modülüne yönelik güvenilirlik analizi sonuçlarının verildiği Tablo 5.19. incelendiğinde, taktik görev güvenilirliği profillerinde %99,913 olarak atanmış taktik görev güvenilirliği değerine oldukça yaklaşılsa da hedefin altında kaldığı görülmektedir. Tam ömür devri güvenilirliği isteri için RF Alma ve Frekans Çevirici Modülüne atanmış %99,622 güvenilirlik değerinin ise her iki tam ömür devri profilinde de sağlanamadığı görülmektedir.

5.8. RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü Güvenilirlik İyileştirmesi

İncelenen teorik füzenin görev profillerine göre gerçekleştirilen RF arayıcı başlık RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü güvenilirlik analizi çalışmasında; taktik görev güvenilirliğine yönelik atanan değer, tam ömür devri güvenilirliğine yönelik atanan değerden daha yüksek olsa da taktik görev profillerindeki hesaplanan güvenilirlik değerinin hedeflenen değere oldukça yakın olduğu görülmüştür. Bu durum, güvenilirlik fonksiyonunun zamana bağlı olmasından ve taktik görev profillerine yönelik incelenen zamanın tam ömür devri profillerine göre oldukça kısa süreli olmasından kaynaklanmaktadır. Tam ömür devri güvenilirliği profillerinde taktik görev profillerindeki fazların öncesinde yaklaşık 10 yıllık bir kontrollü depolama evresi yer almaktadır. Kontrollü depo koşullarında ve pasif (sistemin çalışmadığı) fazdaki hata oranları her ne kadar aktif fazın hata oranına göre çok daha düşük olsa da pasif faz süresinin uzunluğu sebebiyle RF Alma ve Frekans Çevirici Modülünde tam ömür devri güvenilirlik değeri yaklaşık olarak %90,7'ye kadar düşmüştür. Tam ömür devri güvenilirliği isteri doğrultusunda RF Alma ve Frekans Çevirici Modülüne atanan değer sağlanabilmesi için analiz sonucu ortaya çıkan güvenilirlik değerinin iyileştirilmesi gerekmektedir.

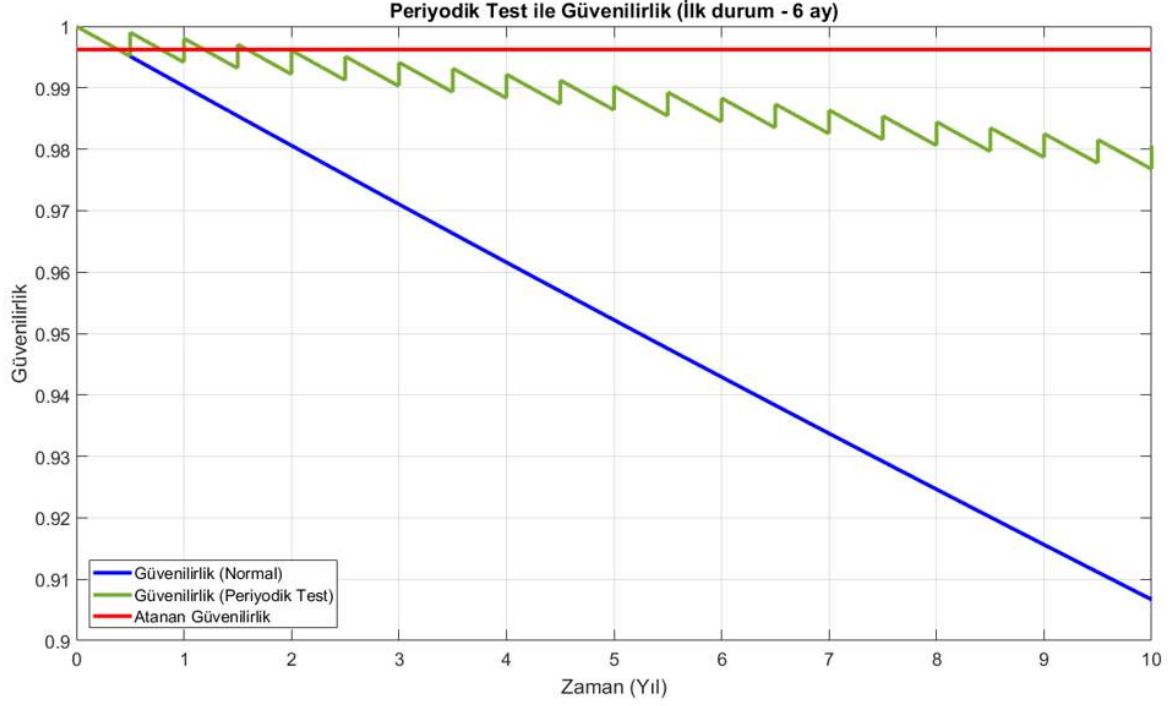
Güvenilirlik değeri için yapılan hesaplamalar depolama sırasında periyodik testlerin yapılmadığı durum için gerçekleştirilmiştir. İncelenen teorik füze sisteminin sistem isterlerinde, ihtiyaç görülmesi halinde depolama evresinde en kısa 6 aylık aralıklarla olmak şartıyla periyodik testlerin gerçekleştirilebileceği ifadesi yer almaktadır. Periyodik testlerin güvenilirlik değerini artırıcı etkisi bölüm 4.4.3.3'te açıklanmıştır. Öncelikle, güvenilirliğe en büyük etkisi olacak en kısa süreli 6 aylık periyotlara göre test gerçekleştirmenin etkisi hesaplanmıştır. Hata oranı yüksek olan durumda hedef güvenilirliğin sağlanması halinde hata oranı düşük görev profilinde de hedeflenen güvenilirlik sağlanacağından, bu hesaplama tam ömür devri profillerinden hata oranı daha yüksek olan “tam ömür devri görev güvenilirliği profili-2” için gerçekleştirilmiştir. Bu profilde depolama fazına ek olarak diğer fazların süresi toplamda 35 saat olduğundan, bu sürenin 10 yıl içerisinde göz ardı

edilebileceği değerlendirilerek periyodik testler için hesaplamalar toplamda 10 yıl üzerinden gerçekleştirilmiştir. Test etkinliği de hedeflenen değer olan %80 değeri olarak alınmıştır.

Periyodik test gerçekleştirilmediğinde yaklaşık %90,7'ye kadar düşen güvenilirlik değeri, 6 aylık aralıklarla periyodik test gerçekleştirilmesi durumu için Eşitlik (4.28)'e göre hesaplanmıştır. Tablo 5.20. ve Şekil 5.20.'de sunulan sonuçlara göre 10 yıl içerisinde güvenilirlik, en düşük %97,7 seviyelerine kadar inmektedir. Sonuç olarak, 10 yıllık sürenin içerisinde ve sonunda hedeflenen güvenilirlik değerinin altında kaldığı görülmüştür. Bu durumda yalnızca periyodik test uygulanması ile hedeflenen güvenilirlik değeri sağlanamadığından alternatif çözüm arayışına gidilmiştir.

Tablo 5.20. RF alma ve frekans çevirici modülü periyodik test ile güvenilirlik

Test Sayısı	Toplam Depolama Süresi	Test Öncesi Güvenilirlik	Test Sonrası Güvenilirlik	Test Olmadığında Güvenilirlik
0	0	0	1	0
1	4.383	0,99511	0,99902	0,99511
2	8.766	0,99414	0,99804	0,99025
3	13.149	0,99317	0,99707	0,98541
4	17.532	0,99219	0,99609	0,98060
5	21.915	0,99122	0,99511	0,97581
6	26.298	0,99025	0,99414	0,97104
7	30.681	0,98928	0,99317	0,96630
8	35.064	0,98831	0,99219	0,96158
9	39.447	0,98735	0,99122	0,95688
10	43.830	0,98638	0,99025	0,95220
11	48.213	0,98541	0,98928	0,94755
12	52.596	0,98445	0,98831	0,94292
13	56.979	0,98349	0,98735	0,93832
14	61.362	0,98252	0,98638	0,93373
15	65.745	0,98156	0,98541	0,92917
16	70.128	0,98060	0,98445	0,92463
17	74.511	0,97964	0,98349	0,92011
18	78.894	0,97868	0,98252	0,91562
19	83.277	0,97772	0,98156	0,91115
20	87.660	0,97677	0,98060	0,90669

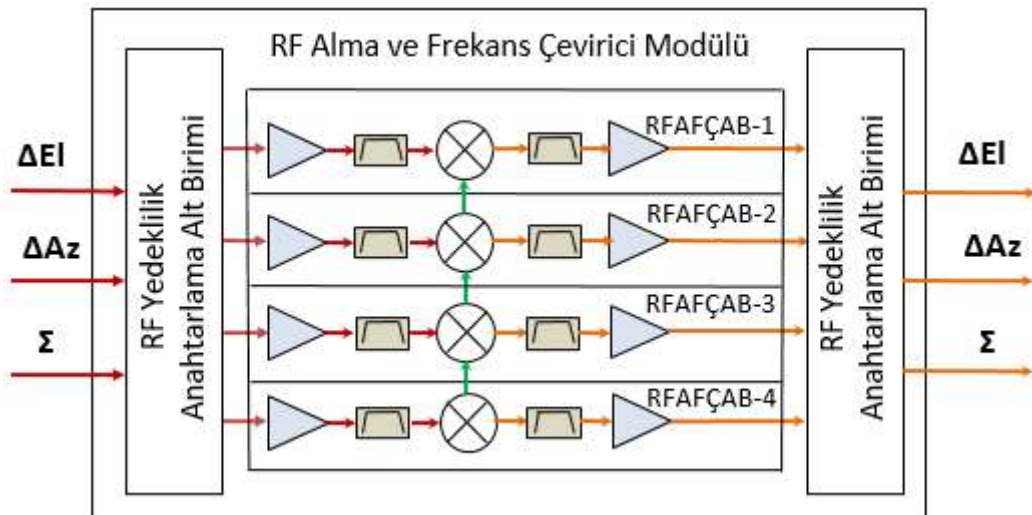


Şekil 5.20. Periyodik test ile güvenilirlik (İlk durum-6 ay)

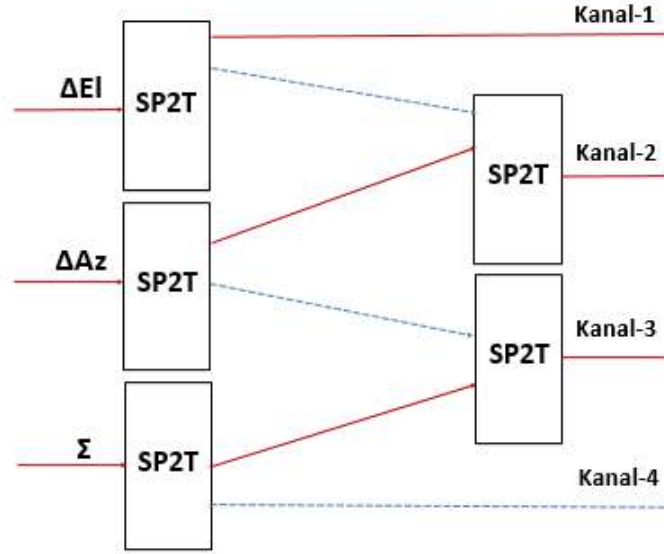
RF Alma ve Frekans Çevirici Modülünde atanan güvenilirlik değerine ulaşılabilmesi için güvenilirlik değeri daha yüksek bileşenlerin kullanılması, tasarımın sadeleştirilmesi, bileşenlerin üzerine düşen yükün azaltılması veya bileşenlerin yedeklenmesi gibi yöntemler tercih edilebilir. Bu çalışma kapsamında incelenen RF Alma ve Frekans Çevirici Modülünün tasarımında yüksek kaliteli, son teknoloji ve standartlardaki bileşenlerin kullanılmış olması sebebiyle bileşen kalitesinin artırılmasına yönelik değişiklik uygulanabilir bulunmamıştır. Bu doğrultuda, yedekleme çalışmasının yapılmasına karar verilmiştir.

Birbirinden bağımsız 3 adet eş alt birim (kanal) içeren RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü için öncelikle 3:4 yedekleme çalışması yapılması planlanmıştır. Bu durumda, 3 adet eş bağımsız kanala eş ve bu 3 kanalın herhangi biri için yedek olabilecek 4. bir kanal ilave edilecektir. İlave kanal aktif olarak çalışmayacak, hazırda bekleme durumunda tutulacaktır. Füzenin ömür döngüsü içerisinde herhangi bir zamanda yapılacak birim içi testler vasıtası ile işlevini yerine getiremeyecek olan kanal tespit edilebilecektir. RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü için gerçekleştirilecek birim içi test, RF Gönderme Modülü içerisinde gerekli işaret yönlendirmelerini sağlayan bir alt birim yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Birim içi test durumumda bu alt birim, üretilen gönderme işaretinin Güç Yükselteç Birimine iletilmeden bir anahtarlama sistemi ile RF Alma ve Frekans Çevirici Modülüne gönderilmesini sağlamaktadır. Bu sayede, gönderme ve alma modülleri arasında bir döngü

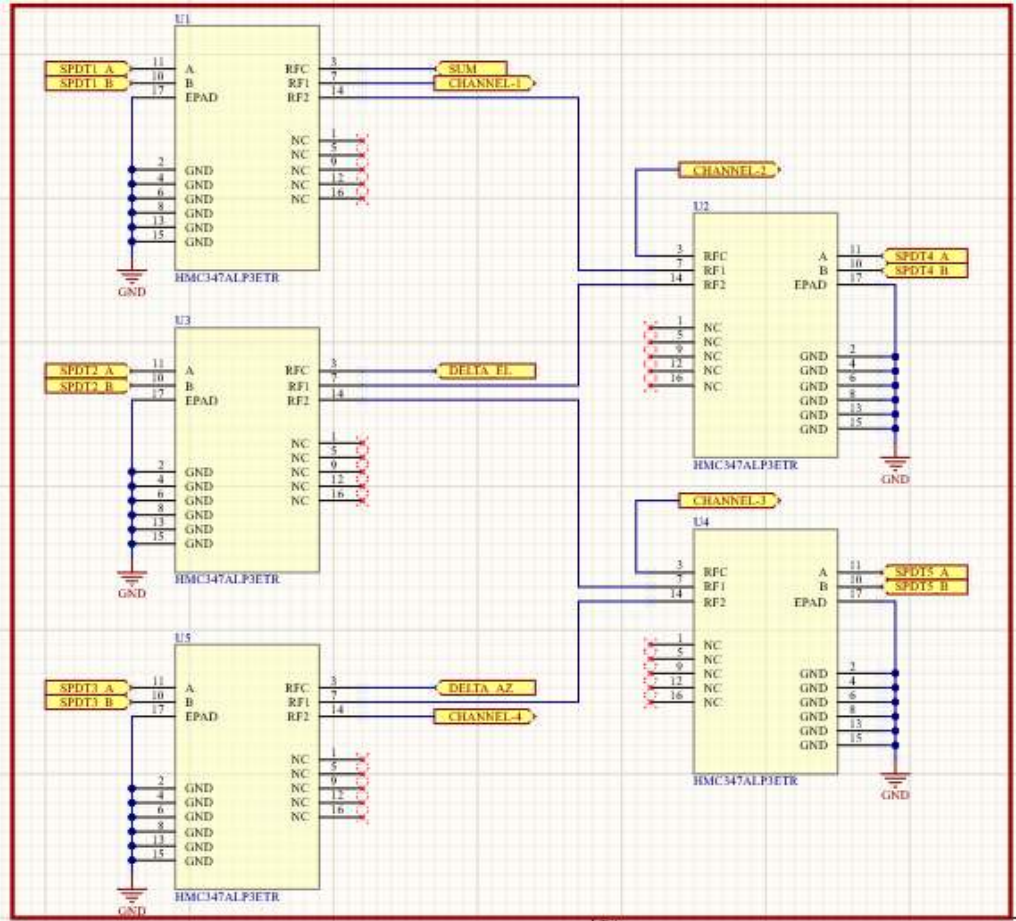
Bu yedekleme çalışmasında, tek darbe sinyallerinin seçilen kanallardan iletilmesini ve işlevini yerine getiremeyen kanaldan işlevsel bir kanala geçişi sağlayan RF yedekleme anahtarlama matrisine ihtiyaç duyulmaktadır. Uydu haberleşme sistemlerinde sıklıkla kullanılan bu anahtarlama matrisi, RF kanal yedeklemeleri için uygun bir elemandır. Bu ilave alt birim RF Yedeklilik Anahtarlama Alt Birimi olarak adlandırılmıştır. Yedeklemeli RF Alma ve Frekans Çevirici Alt Birimleri ile sisteme eklenen RF Yedeklilik Anahtarlama Alt Birimlerinin de dahil olduğu RF Alma ve Frekans Çevirici Modülüne yönelik fonksiyonel blok diyagramı Şekil 5.21.'de, RF Yedeklilik Anahtarlama Alt Birimine ait fonksiyonel blok diyagramı Şekil 5.22.'de gösterilmektedir. RF Yedeklilik Anahtarlama Alt Birimine ait şematikler sırasıyla Şekil 5.23., Şekil 5.24., Şekil 5.25. ve Şekil 5.26.'da gösterilmiştir.



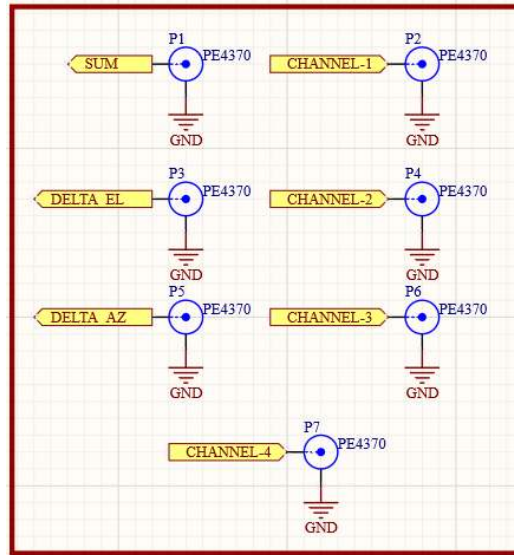
Şekil 5.21. Yedeklemeli RF alma ve frekans çevirici modülün fonksiyonel blok diyagramı



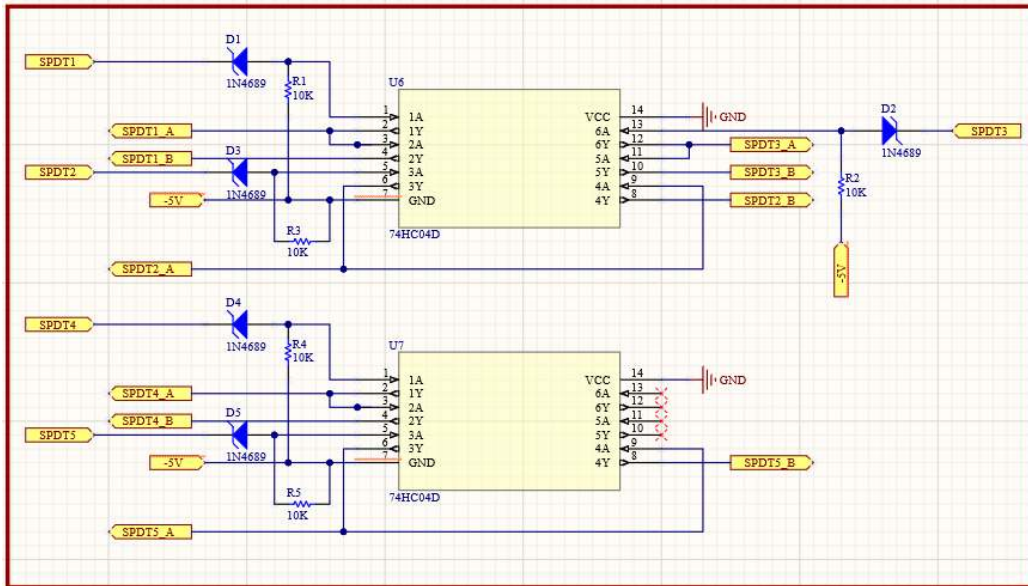
Şekil 5.22. RF yedeklilik anahtarlama alt birimi fonksiyonel blok diyagramı



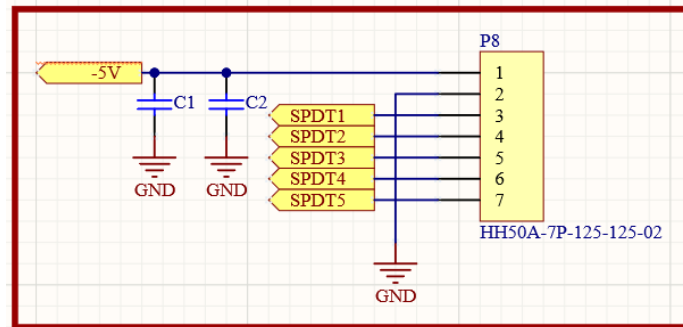
Şekil 5.23. RF yedeklilik anahtarlama alt birimi / SP2T anahtarlar



Şekil 5.24. RF yedeklilik anahtarlama alt birimi / RF giriş ve çıkış konnektörleri

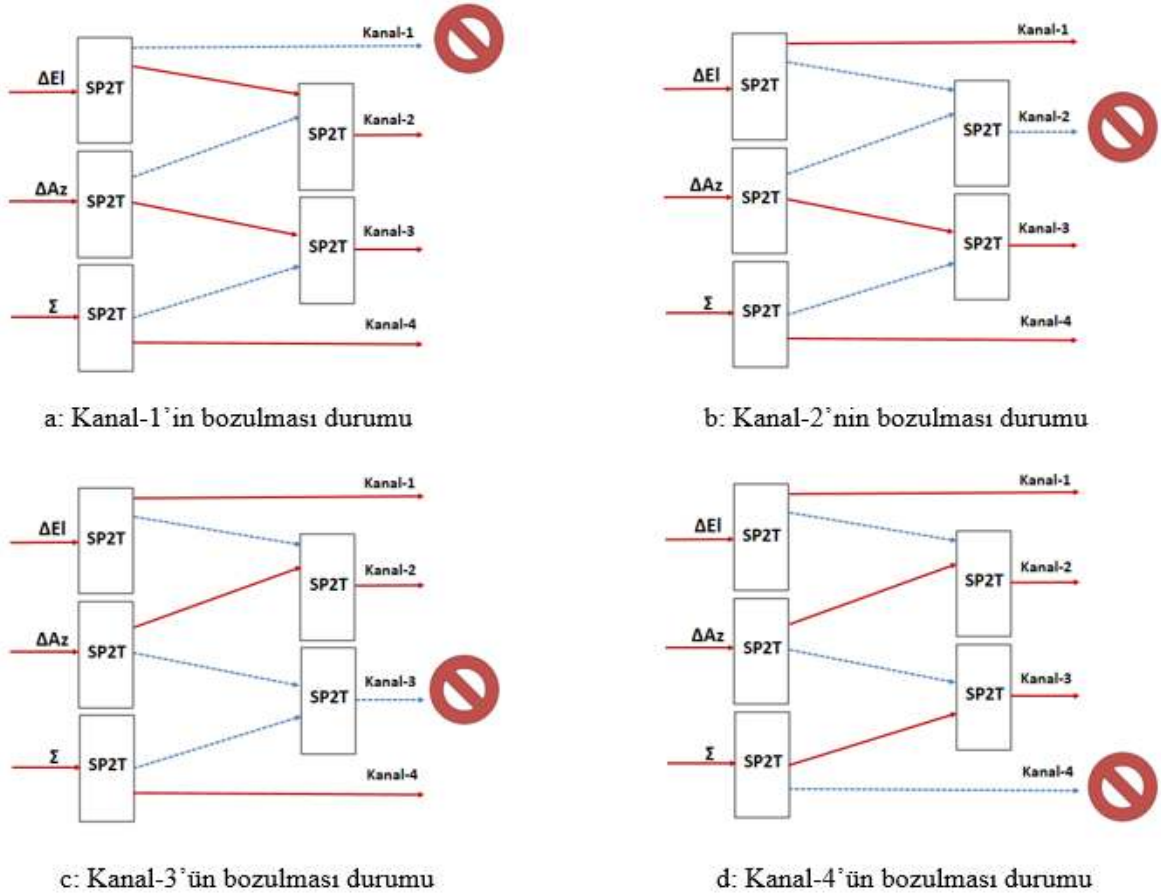


Şekil 5.25. RF yedeklilik anahtarlama alt birimi / anahtar kontrol devresi



Şekil 5.26. RF yedeklilik anahtarlama alt birimi / güç ve kontrol konnektörü

RF Yedeklilik Anahtarlama Alt Biriminin çalışma prensibinin gösterimi, kanalların bozulma durumuna göre Şekil 5.27a., Şekil 5.27b., Şekil 5.27c. ve Şekil 5.27d.'de bulunmaktadır. Söz konusu fonksiyonel blok diyagramlar, farklı kanalların işlevselliğini yitirmesi durumunda sinyallerin akış yönlerini göstermektedir.

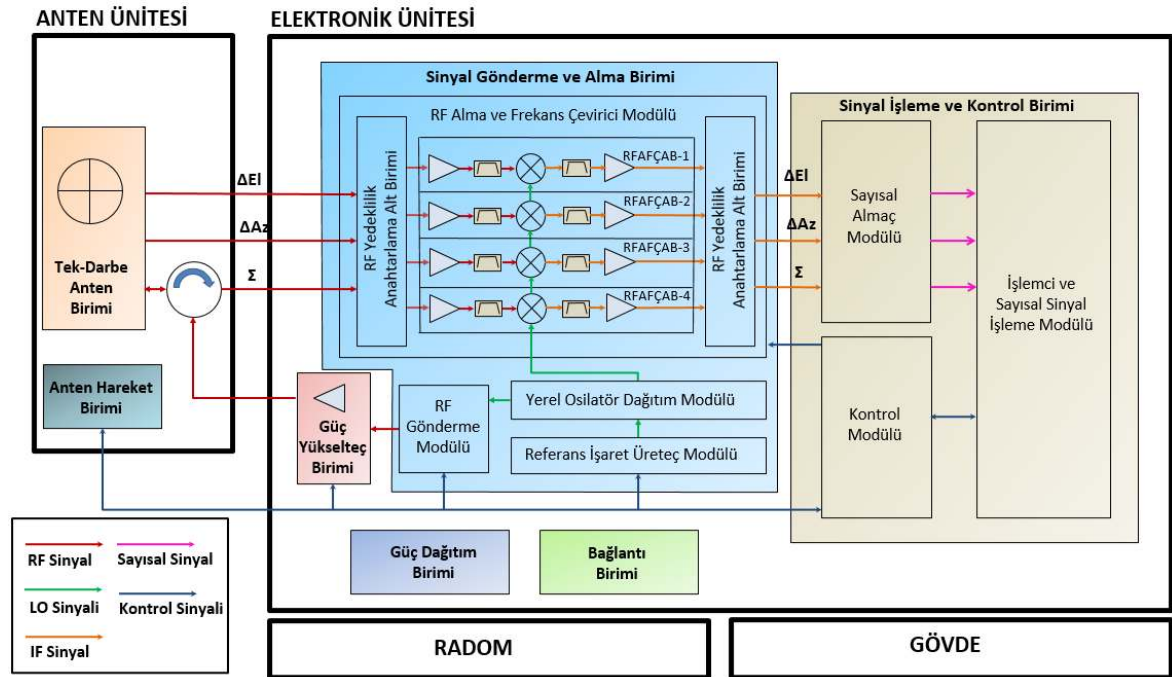


Şekil 5.27. RF yedeklilik anahtarlama alt birimi çalışma prensibi

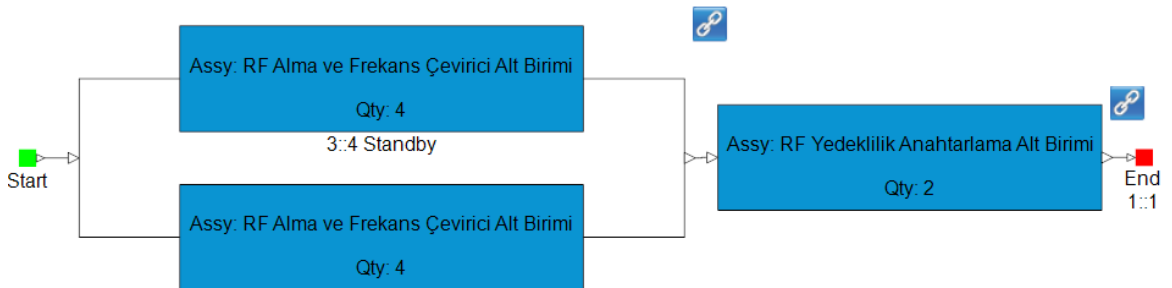
RF arayıcı başlığa ait analog almaç zinciri olan RF Alma ve Frekans Çevirici Modülüne eklenecek ilave RF anahtar yapılarının (RF Yedeklilik Anahtarlama Alt Birimi) sistem almaç mimarisinin performansını etkilemesi beklenmektedir. Bu modifikasyondan etkilenecek başlıca başarımlar kaskat gürültü figürü, kaskat almaç zinciri kazancı ve kanallardaki farklı sayıdaki SP2T anahtarlar kullanımından kaynaklanan eş kanallar arasında oluşacak sinyal genlik farklılıkları olacaktır. İlk iki kriterde olacak kötüleşmelerin almaç çıkışında elde edilecek sinyal-gürültü oranına olumsuz etki yaratacağı düşünülmekte, ancak sistemde işlevsel bir problem oluşturmayacağı ön görülmektedir. Bu sebeple bu çalışmada, hazırda beklemeli soğuk yedekleme amacıyla sisteme ilave edilecek olan RF Yedeklilik Anahtarlama Alt Birimlerinin sistemde oluşturabileceği olası performans

düşüş etkileri göz ardı edilmiştir. Eş kanallar arasında oluşacak sinyal genlik farklılıklarının ise üretim sonrası yapılacak bir kalibrasyon ile giderileceği ve ayrıca sonradan eklenecek alt birim (kanal) için gerekecek ilave hacim, ihtiyaç duyulan ilave güç ve ilave kontrol/haberleşme sinyalleri gibi ek gereksinimlerin de karşılanacağı varsayılmıştır.

Sonuç olarak, RF Alma ve Frekans Çevirici Modülünde yapılan yedekleme çalışması sonrasında arayıcı başlığın yeni fonksiyonel blok diyagramı Şekil 5.28.'deki gibi olacaktır. Yedekleme sonrasındaki güvenilirlik blok diyagramı ise RF Alma ve Frekans Çeviri Modülü seviyesinde değişmiş olup Şekil 5.29.'da yer almaktadır.



Şekil 5.28. Yedeklemeli RF arayıcı başlık fonksiyonel blok diyagramı



Şekil 5.29. Yedeklemeli RF alma ve frekans çeviri modülü güvenilirlik blok diyagramı

RF Yedeklilik Anahtarlama Alt Biriminin içerdiği bileşenlere karşılık gelen hata oranları Tablo 5.21.'de ortama göre olacak şekilde verilmiştir. RF Alma ve Frekans Çevirici

Modülünde yapılan yedekleme ile modüle eklenen RF Yedeklilik Anahtarlama Alt Birimi de dikkate alınarak PTC Windchill Quality Solutions 11.0 yazılımında elde edilen yeni hata oranları Tablo 5.22.'de verilmiştir. Burada RF Alma ve Frekans Çevirici Alt Biriminde yapılan yedeklemeye yönelik hesaplamalar Eşitlik (4.19)'da verilen soğuk hazırda beklemeli yedekleme formülüne göre gerçekleştirilmiş ve “tam ömür devri görev profili-2” için efektif değerleri elde edilmiştir. RF Yedeklilik Anahtarlama Alt Birimi birbirine seri bağlı bileşenler içerdiğinden hata oranı tüm bileşenlerin hata oranlarının toplanması ile hesaplanmaktadır. Yedekli RF Alma ve Frekans Çevirici Modülünde toplamda 2 adet RF Yedeklilik Anahtarlama Alt Birimi bulunduğundan, tam ömür devri-2 profilinin Tablo 5.21.'deki ilgili değerlerinin 2 ile çarpılması sonucunda Tablo 5.22.'deki değerler elde edilmiştir.

Tablo 5.21. RF yedeklilik anahtarlama alt birimi hata oranları (FPMH)

Parça Numarası	Adet	G _B (Pasif)	G _M (Pasif)	A _{IC} (Pasif)	A _{UF} (Pasif)	M _F (Aktif)
RF Yedeklilik Anahtarlama Alt Birimi	1	0,058416	1,047476	0,87004	2,952049	17,463501
HMC347ALP3ETR	5	0,010541	0,084348	0,063333	0,12725	1,317856
74HC04D	2	0,007929	0,047586	0,038102	0,073114	0,719316
1N4689	5	0,014841	0,17218	0,31088	1,028295	6,695876
C	2	0,006315	0,362703	0,317471	1,342687	3,627028
R	5	0,018549	0,377715	0,138971	0,374378	4,367331
PE4370	7	0,000008	0,000095	0,000041	0,000201	0,023627
HH50A20-7P-125-125-02	1	0,000234	0,00285	0,001242	0,006122	0,712466

Tablo 5.22. Yedeklemeli RF alma ve frekans çevirici modülü hata oranları (FPMH)

Birim/Ortam	Adet	G _B (Pasif)	G _M (Pasif)	A _{UF} (Pasif)	M _F (Aktif)
RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü	1	0,166768	2,106807	5,923796	34,966197
RF Alma ve Frekans Çevirici Alt Birimi	3:4	0,049935	0,011855	0,019698	0,039195
RF Yedeklilik Anahtarlama Alt Birimi	2	0,116833	2,094952	5,904098	34,927002

RF Alma ve Frekans Çevirici Modülündeki 3 adet RF Alma ve Frekans Çevirici Alt Birimine yedek olarak 1 alt birimin ve 2 adet RF Yedeklilik Anahtarlama Alt Biriminin eklenmiş olduğu duruma yönelik Tablo 5.22.'deki hata oranları ve ilgili profilin faz yüzdeleri kullanılarak tam ömür devri güvenilirliği görev profili-2 için hata oranı Tablo 5.23.'teki gibi hesaplanmıştır.

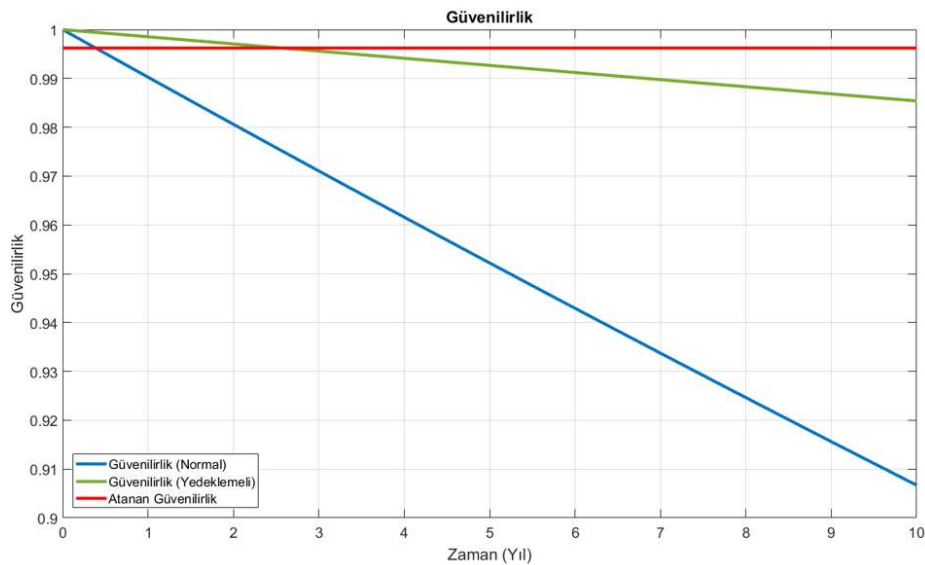
Tablo 5.23. Yedeklemeli RF alma ve frekans çevirici modülü görev profili hata oranı

Görev Profili	Hata Oranı Hesabı
Tam Ömür Devri Güvenilirliği Görev Profili-2	$(0,166768*99,9601\%) + (2,106807*0,0342\%) + (5,923796*0,0051\%) + (34,966197*0,0006\%)$ $=$ $0,167934$

RF Alma ve Frekans Çevirici Modülüne yönelik Tablo 5.23.'te yer alan tam ömür devri görev profili-2 hata oranı kullanılarak hesaplanan güvenilirlik değeri Tablo 5.24.'teki gibi elde edilmiştir. Yedeklemeli durumdaki güvenilirliğin yıllara sari hali de Şekil 5.30.'daki grafikte yedeklemenin olmadığı duruma ve atanan değere kıyasla gösterilmiştir.

Tablo 5.24. Yedeklemeli RF alma ve frekans çevirici modülü güvenilirlik hesabı

Görev Profili	Güvenilirlik Hesabı
Tam Ömür Devri Güvenilirliği Görev Profili-2	$e^{-\left(\frac{0,167934}{10^6}\right)87660} = 98,53867\%$



Şekil 5.30. Yedeklemeli durumda güvenilirlik

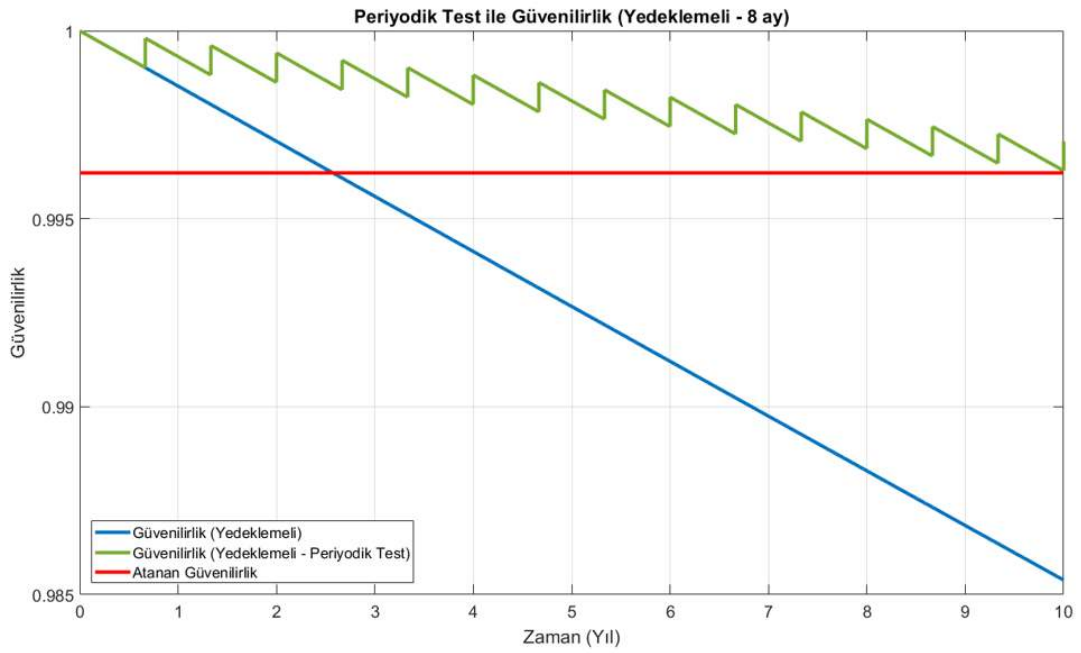
Yedekleme öncesinde yaklaşık %90,7 olarak hesaplanan güvenilirlik değeri, yedekleme sonrasında yaklaşık %98,5 olarak hesaplanmıştır. Yapılan bu yedekleme ile RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü güvenilirlik değerinin önemli ölçüde artırıldığı fakat halen atanan %99,622 değerine ulaşamadığı görülmektedir. İlave yedekleme çalışmalarından önce, yapılması planlanan periyodik testlerin güvenilirliğe etkisini tespit etmeye yönelik hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. 6 aylık periyotlar ile testlerin gerçekleştirilmesi durumunda hedeflenen değerin sağlandığı görülse de periyodu mümkün mertebe artırmak için çeşitli aralıklara göre hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. 10 aylık periyotlara göre gerçekleştirilen hesaplamalarda hedeflenen güvenilirliğin sağlanamadığı görülürken 8 aylık periyot durumunda atanan güvenilirlik değerinin sağlanıyor olduğu görülmüştür. Yedekli durumda 10 aylık periyotlar ile test gerçekleştirilmesi durumuna yönelik yapılan hesaplamaların sonuçları Tablo 5.25.'te verilmiştir, burada güvenilirliğin en düşük %99,5 olduğu görülmektedir. Yedekli durumda periyodik testlerin 8 aylık aralıklarla gerçekleştirilmesine yönelik hesaplanan RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü güvenilirlik değerleri yıllara sâri olacak şekilde Tablo 5.26. ve Şekil 5.31.'de yer almaktadır.

Tablo 5.25. Periyodik test öncesi ve sonrası güvenilirlik (Yedeklemeli-10 ay)

Test Sayısı	Toplam Depolama Süresi	Test Öncesi Güvenilirlik	Test Sonrası Güvenilirlik	Test Olmadığında Güvenilirlik
0	0	-	1	-
1	7.305	0,99877	0,99975	0,99877
2	14.610	0,99853	0,99951	0,99755
3	21.915	0,99828	0,99912	0,99633
4	29.220	0,99789	0,99882	0,99510
5	36.525	0,99760	0,99853	0,99388
6	43.830	0,99730	0,99824	0,99267
7	51.135	0,99701	0,99794	0,99145
8	58.440	0,99672	0,99765	0,99023
9	65.745	0,99642	0,99735	0,98902
10	73.050	0,99613	0,99706	0,98781
11	80.355	0,99584	0,99677	0,98660
12	87.660	0,99554	0,99706	0,98539

Tablo 5.26. Periyodik test öncesi ve sonrası güvenilirlik (Yedeklemeli-8 ay)

Test Sayısı	Toplam Depolama Süresi	Test Öncesi Güvenilirlik	Test Sonrası Güvenilirlik	Test Olmadığında Güvenilirlik
0	0	-	1	-
1	5.844	0,99902	0,99980	0,99902
2	11.688	0,99882	0,99961	0,99804
3	17.532	0,99863	0,99941	0,99706
4	23.376	0,99843	0,99922	0,99608
5	29.220	0,99824	0,99902	0,99510
6	35.064	0,99804	0,99882	0,99413
7	40.908	0,99784	0,99863	0,99315
8	46.752	0,99765	0,99843	0,99218
9	52.596	0,99745	0,99824	0,99121
10	58.440	0,99726	0,99804	0,99023
11	64.284	0,99706	0,99784	0,98926
12	70.128	0,99686	0,99765	0,98829
13	75.972	0,99667	0,99745	0,98732
14	81.816	0,99647	0,99726	0,98635
15	87.660	0,99628	0,99706	0,98539



Şekil 5.31. Periyodik test ile güvenilirlik (Yedeklemeli-8 ay)

Sonuç olarak; RF Alma ve Frekans Çevirici Alt Biriminde gerçekleştirilen 3:4 hazırda beklemeli soğuk yedekleme ve 8 aylık periyotlar ile gerçekleştirilecek testler ile RF Alma ve Frekans Çevirici Modülünde hedeflenen güvenilirlik değerinin sağlanıyor olduğu görülmektedir. Önerilen bu işlemlerin uygulanabilirliğine karar vermeden önce maliyet etkilerine de bakılması gerekmektedir. Yedekleme yapılması önerilen 1 adet RF Alma ve Frekans Çevirici Alt Birimini oluşturan bileşenlerin maliyetinin toplamı yaklaşık 460 ABD Doları iken RF Yedeklilik Anahtarlama Alt Biriminin maliyeti yaklaşık 650 ABD Doları olmaktadır [89]. 1 adet RF Alma ve Frekans Çevirici Alt Birimi ve 2 adet RF Yedeklilik Anahtarlama Alt Biriminin içerdikleri bileşenlerin toplamında 1.760 ABD Doları maliyet ortaya çıkmaktadır. İlave olarak eklenen alt birimlerin PCB'lerine ait katman sayısı ve mimarisi ile kullanılan taban malzeme değişkenlik göstereceğinden bu hesaplamada PCB maliyeti öngörülememiştir. Periyodik testler diğer alt sistemler için de gerekli olabileceğinden ve görevli personel tarafından gerçekleştirileceğinden işçilik, test süresinin kısa olması öngörüldüğünden enerji tüketimi maliyetlendirilmemiştir. Güvenilirlik analizi kapsamında incelenen 10 yıllık süre boyunca periyodik testlerde tespit edilebilecek hatalarda malzeme değişiminin garanti kapsamında gerçekleştirileceği öngörülmektedir. Sonuç olarak; incelenen RF arayıcı başlığın güvenilirlik isterinin sağlanabilmesi için 1.760 ABD doları maliyetin kabul edilebilir olduğu değerlendirilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, öncelikle askeri sistemlerdeki güvenilirlik kavramına değinilmiştir. Uygulama olarak teorik bir füze arayıcı başlığı seçildiğinden RF, IR, IIR, lazer ve sonar arayıcı başlık teknolojileri ve çalışma prensipleri genel olarak incelenmiştir.

Güvenilirlik kavramının matematiksel açıklamaları, güvenilirlik mühendisliği süreci ve güvenilirlik analizinin amacı açıklanmıştır. Güvenilirlik analizinin aşamaları olan güvenilirlik ataması, güvenilirlik modellemesi ve güvenilirlik hesaplaması adımlarına detaylı olarak yer verilmiştir.

Uygulama olarak seçilen teorik füze için sistem ve alt sistem seviyesi gereksinimler genel olarak incelenmiş, füze seviyesi güvenilirlik isterleri belirlenmiş, aktif RF arayıcı başlığa yönelik fonksiyonel blok diyagram oluşturulmuştur. Arayıcı başlığı oluşturan tüm birimler incelenerek güvenilirlik blok diyagramları çeşitli seviyelerde modellenmiştir. RF arayıcı başlığın içerdiği modüllerden RF Alma ve Frekans Çevirici Modülü güvenilirlik analizi kapsamında ele alınmıştır.

Sistemin yapısı ve işleyişi kavrandıktan sonra güvenilirlik ataması gerçekleştirilmiştir. Füzenin maruz kalacağı 2 farklı ana duruma göre tam ömür devri ve taktik görev güvenilirlik atamaları ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Atamaların sonucunda RF Alma ve Frekans Çevirici Modülünün hedef güvenilirlik değeri; tam ömür devri güvenilirliği için en az 0,99622 olarak belirlenmiş iken taktik görev güvenilirliği için ise en az 0,99913 olarak belirlenmiştir. Tam ömür devri ve taktik görev durumlarına yönelik görev profilleri oluşturulmuş, bu görev profillerine göre MIL-HDBK-217FN2 parça stres analizi güvenilirlik tahmin yöntemi kullanılarak PTC Windchill Quality Solutions 11.0 yazılımı aracılığıyla güvenilirlik değeri hesaplanmıştır. Güvenilirlik analizi farklı profiller için gerçekleştirildiğinde; tam ömür devri güvenilirliği için en az 0,90669 değeri, taktik görev güvenilirliği için ise en az 0,99854 değeri ortaya çıkmıştır. Taktik görev güvenilirliği profillerinde atanan güvenilirlik değerine oldukça yaklaşıldığı, tam ömür devri güvenilirliği profillerinde atanan değer büyük bir fark ile sağlanamadığı görülmüştür. Bu durumun sebebi olarak uzun süreli depolama fazının etkisi açıklanmıştır.

Güvenilirlik değerinin iyileştirilebilmesi için öncelikle en kısa 6 aylık periyotlar ile periyodik testlerin gerçekleştirilmesi durumu incelenmiş ve atanan güvenilirlik değerine ulaşılamadığı görülmüştür. Güvenilirlik iyileştirme yöntemlerinden yedekleme tekniği üzerinde durulmuştur. RF Alma ve Frekans Çevirici Modülünü oluşturan 3 adet RF Alma

ve Frekans Çevirici Alt Biriminin tamamına yedek olabilecek, hazırda beklemeli soğuk yedekleme ile 1 adet alt birim ve bu yedeklemenin yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan 2 adet Yedeklilik Anahtarlama Alt Birimi eklenmesinin etkisi hesaplanmıştır. 3:4 yedekleme olarak uygulanan bu yönteme göre güvenilirlik değeri tam ömür devri için en az 0,98539 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu değer de atanan 0,99622 güvenilirlik değerini sağlamamıştır.

İlave bir yedeklemeye yönelik analiz gerçekleştirilmeden önce güvenilirliğin yedekleme sonrasında yükselmiş hali ile periyodik testlerin etkisi hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda yedekli durumda iken en fazla 8 aylık periyotlar ile testlerin gerçekleştirildiği durumda atanan güvenilirlik değerinin sağlanabiliyor olduğu görülmüştür.

Güvenilirlik analizi her ne kadar teoriye uygun ve detaylı bir çalışma olsa da güvenilirliğin testler ile hesaplanmasının daha doğru sonuçlar vereceği değerlendirilmektedir. Güvenilirlik iyileştirilmesine yönelik sunulan yedekleme ve periyodik test önerileri, gelecek çalışmalarda gerçekleştirilebilecek güvenilirlik testlerinin sonuçlarına göre yeniden gözden geçirilebilir. Ayrıca, gelecek çalışmalarda farklı modüllerin ele alınması ve güvenilirlik analizinde farklı olasılık dağılımlarının kullanılması durumundaki sonuçlar da incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] D. R. Kiran, "Reliability Engineering," in *Total Quality Management*, Oxford, United Kingdom: Butterworth-Heinemann, 2017, ch. 27, sec. 27.2, pp. 391-404. [Online]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128110355000271>
- [2] *Military Handbook Electronic Reliability Design Handbook*, MIL-HDBK-338B, Department of Defence, USA, 1 Oct. 1998.
- [3] *DOD Guide for Achieving Reliability, Availability, and Maintainability*, Department of Defence, USA, 3 August 2005.
- [4] *Environmental Criteria And Guidelines For Air-Launched Weapons*, MIL-STD-1670A Notice 2, Department of Defence, USA, 7 Dec. 2007.
- [5] *Military Handbook Reliability Prediction of Electronic Equipment*, MIL-HDBK-217F Notice 2, Department of Defence, USA, 28 Feb. 1995.
- [6] E. L. Fleeman, "Measures of Merit and Launch Platform Integration," in *Missile Design and System Engineering*, Virginia, USA: AIAA, 2012.
- [7] J. B. Bernstein, M. Gurfinkel, X. Li, J. Walters, Y. Shapira, and M. Talmor, "Electronic circuit reliability modeling," *Microelectronics Reliability*, vol. 46, no. 12, pp. 1957-1979, Feb. 2006, doi: 10.1016/j.microrel.2005.12.004
- [8] W. Hong, S. Wang, X. Wang, and W. Wang. (2012). Overview of storage reliability for high reliability products. Presented at IEEE 10th INDIN. [Online]. Available:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/6301195>
- [9] M. Gökdoğan, "Beşinci nesil füze teknolojileri," STM, Ankara, Türkiye, Eylül 2018. Erişim tarihi: Ocak 2021. [Online]. Erişim:
https://thinktech.stm.com.tr/uploads/raporlar/pdf/199201814406959_stm_5_nesil_fuze_teknolojileri.pdf

- [10] J. Zhang, R. Xu, Q. Liu, and Y. Wang, "Study on storage reliability of portable air defense missiles," in *2011 International Conf. on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering*, Xi'an, China, 2011, pp. 548-550, doi: 10.1109/ICQR2MSE.2011.5976673
- [11] A. Peiravi, "Redundancy and reliability of air to air missile fuze electronics," *Journal of American Science*, vol. 6, no. 2, pp. 147-154, 2010.
- [12] E. C. Martinez, "Storage reliability with periodic test," *Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1984. Proceedings.*, San Francisco, CA, USA, 1984, pp. 181-185, doi: 10.1109/RAMS.1984.764288
- [13] M. R. Conover, "Increasing the reliability of general purpose bomb fuzing in precision strike warfare," M.S. thesis, University of Tennessee, 2006.
- [14] M. Prahlada, "Quality and Reliability of Missile System," *Defence Science Journal*, vol.52, no.1, pp. 5-10, Jan. 2002, doi: <https://doi.org/10.14429/dsj.52.2142>
- [15] R.P. Hallion. 1999. Precision weapons, power projection, and the revolution in military affairs. Presented at USAF Air Armament Summit. [Online]. Available: <https://web.archive.org/web/20090505052709/http://www.airforcehistory.hq.af.mil/EARS/Hallionpapers/precisionweaponspower.htm>
- [16] D. A. James, *Radar homing guidance for tactical missiles*. London: Macmillan Education UK, 1986.
- [17] CC BY-SA 3.0. (2009, August 21). Русский: ГСН ракеты РВВ-АЕ производства Агат. МАКС-2009 [Photograph]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Seeker_Vympel-R-77-maks2009.jpg (Accessed: Jan. 13, 2021).
- [18] "AMRAAM Missile." Raytheon Missiles and Defense. <https://www.raytheonmissilesanddefense.com/capabilities/products/amraam-missile> (Accessed: Jan. 13, 2021).
- [19] "Lockheed Martin Awarded Contract To Integrate Hellfire II Missile On Tiger Helicopter." Lockheed Martin. <https://news.lockheedmartin.com/2007-06-04->

Lockheed-Martin-Awarded-Contract-to-Integrate-Hellfire-II-Missile-on-Tiger-Helicopter (Accessed: Jan. 13, 2021).

- [20] “AGM/RGM/UGM-84 Harpoon Missile.” Boeing. <https://www.boeing.com/history/products/agm-84d-harpoon-missile.page> (Accessed: Jan. 13, 2021).
- [21] C. Kopp. “Almaz-Antey 40R6 / S-400 Triumf Self Propelled Air Defence System / SA-21.” Air Power Australia. <http://www.ausairpower.net/APA-S-400-Triumf.html> (Accessed: Jan. 18, 2021).
- [22] “AARGM.” Naval Air Systems Command. <https://web.archive.org/web/20110411025358/http://www.navair.navy.mil/index.cfm?fuseaction=home.display&key=AF4153AA-5454-44D2-B01A-AA69417C5B49> (Accessed: Jan. 18, 2021).
- [23] “Atmaca Anti-Ship Missile.” Roketsan. <https://www.roketsan.com.tr/en/product/atmaca-anti-ship-missile/> (Accessed: Jan. 18, 2021).
- [24] “R-27R1, R-27ER1 Guided Missiles.” JSC Tactical Missiles Corporation. http://eng.ktrv.ru/production/military_production/air-to-air_missiles/r-27r1_-_r-27er1.html (Accessed: Jan. 24, 2021).
- [25] C. Kopp. “The Sidewinder Story The Evolution of the AIM-9 Missile.” Air Power Australia. <http://www.ausairpower.net/TE-Sidewinder-94.html> (Accessed: Jan. 24, 2021).
- [26] C. Kopp. “NIIP 2K12 Kub/Kvadrat Self Propelled Air Defence System / SA-6 Gainful.” Air Power Australia. <http://www.ausairpower.net/APA-2K12-Kvadrat.html> (Accessed: Jan. 24, 2021).
- [27] А. Леманский, И. Ашурбейли, and Н. Ненартович. “ЗРС С-400 ‘Триумф’: Обнаружение - дальнее, сопровождение - точное, пуск - поражающий.” <https://web.archive.org/web/20140403191712/http://old.raspletin.ru/press-centre/news/2008/080603/> (Accessed: Jan. 24, 2021).

- [28] “AGM-88 HARM.” Federation of American Scientists. <https://fas.org/man/dod-101/sys/smart/agm-88.htm> (Accessed: Jan. 26, 2021).
- [29] “Kh-58UshKE.” Russian Defence Export. <http://roe.ru/eng/catalog/aerospace-systems/air-to-air-missile/kh-58ushke/> (Accessed: Jan. 26, 2021).
- [30] C. Wolff. “Monopulse antenna.” Radartutorial. <https://www.radartutorial.eu/06.antennas/Monopulse%20Antenna.en.html> (Accessed: Jan. 18, 2021).
- [31] B. R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*. Chapman and Hall/CRC, 2016.
- [32] S. M. Sherman, *Monopulse Principles and Techniques*. Norwood, MA: Artech House, 1984.
- [33] X. Cao, Z. Xu, X. Liu, L. Wang, and W. Dong, “Four-channel monopulse angle estimation for phased array radar with elliptical plane,” *The Journal of Engineering*, vol. 2019, no. 21, pp. 8116–8120, Aug. 2019, doi: 10.1049/joe.2019.0660
- [34] W. Jianlu, X. Xiong, D. Huanyao, S. Danhui, and Q. Huidong, “Method for four-channel monopulse radar to resist dual-source angle deception jamming,” *The Journal of Engineering*, vol. 2019, no. 21, pp. 7493–7497, Jul. 2019, doi: 10.1049/joe.2019.0464
- [35] L. Turpin. “Large Aircraft Infrared Countermeasures-LAIRCM.” <https://web.archive.org/web/20100920035000/http://www.440aw.afrc.af.mil/news/story.asp?id=123147362> (Accessed: Feb. 03, 2021).
- [36] “9K338 Igla-S - SA-24 GRINCH.” Military Russia. <http://militaryrussia.ru/blog/topic-410.html> (Accessed: Feb. 03, 2021).
- [37] “ASRAAM.” MBDA Missile Systems. <https://www.mbda-systems.com/product/asraam/> (Accessed: Feb. 03, 2021).

- [38] “Javelin Portable Anti-Tank Missile.” Army Technology. <https://www.army-technology.com/projects/javelin-portable-anti-tank-missile/> (Accessed: Feb. 05, 2021).
- [39] “Hisar Hava Savunma Füzeri.” Roketsan. <https://www.roketsan.com.tr/urun/hisar-hava-savunma-fuzeleri/> (Accessed: Feb. 13, 2021).
- [40] “SUNGUR Alçak İrtifa Hava Savunma Sistemi Hedefini Başarıyla Vurdu.” Defence Turkey. <https://www.defenceturkey.com/tr/icerik/sungur-alcak-irtifa-hava-savunma-sistemi-hedefini-basariyla-vurdu-4409> (Accessed: Feb. 13, 2021).
- [41] “UMTAS UZUN MENZİLLİ TANKSAVAR FÜZESİ.” Roketsan. <https://www.roketsan.com.tr/urun/umtas-uzun-menzilli-tanksavar-fuzesi/> (Accessed: Feb. 13, 2021).
- [42] “Satha Atılan Orta Menzilli Mühimmat (SOM).” TÜBİTAK SAGE. <https://www.sage.tubitak.gov.tr/tr/urunler/satha-atilan-orta-menzilli-muhimmat-som> (Accessed: Feb. 13, 2021).
- [43] D. Perrier. “Fox Two — Infrared Missile Target Tracking.” <https://medium.com/@OpenSeason/1946-germany-has-been-defeated-and-its-military-technology-put-under-the-microscope-the-west-e60b82926b40> (Accessed: Feb. 15, 2021).
- [44] W. B. Mclean, “Proportional navigation system for a spinning body in free space,” US3216674A, Nov-1965.
- [45] J. F. Menke, “Method and apparatus for the determination of coordinates,” US3690594A, Sep-1972.
- [46] A. Ünal, “Imaging infrared seeker design,” M.S. thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2014.
- [47] “Quadrant PIN photodiodes (QP).” First Sensor. <https://www.first-sensor.com/en/products/optical-sensors/detectors/quadrant-pin-photodiodes-qp/> (Accessed: Feb. 15, 2021).

- [48] K. Hubbard, G. Katulka, D. Lyon, D. Petrick, F. Fresconi, and T. G. Horwath, "Low-cost semi-active laser seekers for US army application," in *International Telemetry Conference Proceedings*, 2008.
- [49] T. A. Khaled, M. M. Elkhatab, and A. F. El-Sherif, "Design and simulation of an intelligent laser tracking system," *International Journal of Signal Processing Systems*, vol. 4, no. 4, pp. 328-333, Aug. 2016, doi: 10.18178/ijsp.4.4.328-333
- [50] "AGM-114 Hellfire Missile Ultimate Guide: Capabilities, Variants, and Cost." The Defense Post. <https://www.thedefensepost.com/2021/03/22/agm-114-hellfire-missile/> (Accessed: Feb. 15, 2021).
- [51] "CİRİT 2.75" LAZER GÜDÜMLÜ FÜZE." Roketsan. <https://www.roketsan.com.tr/urun/cirit-2-75-lazer-gudumlu-fuze/> (Accessed: Feb. 15, 2021).
- [52] "MAM-L MİNİ AKILLI MÜHİMMAT." Roketsan. <https://www.roketsan.com.tr/urun/mam-l-mini-akilli-muhimmat/> (Accessed: Feb. 15, 2021).
- [53] "TEBER LAZER GÜDÜM KİTİ." Roketsan. <https://www.roketsan.com.tr/urun/teber-lazer-gudum-kiti/> (Accessed: Feb. 15, 2021).
- [54] V. Bush, J. B. Conant and J. T. Tate, "Acoustic Torpedoes," National Defense Research Committee, Washington D. C., 1946.
- [55] CC BY-SA 3.0. (2012, September 6). *Simplified drawing representing the principles behind an acoustic torpedo.* [Online image]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Acoustic_torpedo_principle.svg
- [56] "A MK 48 Mod 7 Common Broadband Advanced Sonar System (CBASS) Heavyweight Torpedo," *Lockheed Martin* [Online]. Available: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/mk-48-mod-7-common-broadband-advanced-sonar-system-cbass-heavyweight-torpedo.html> (Accessed: Jun. 08, 2021).

- [57] “Surface Vessel Weapon System RUR-5 ASROC anti-submarine rocket,” *Seaforces – online* [Online]. Available: <https://www.seaforces.org/wpnsys/SURFACE/RUR-5-ASROC.htm> (Accessed: Jun. 08, 2021).
- [58] “S First Guided Firing Test of AKYA National Heavyweight Torpedo Against Mock Surface Target Successfully Carried Out,” *Defence Turkey* [Online]. Available: <https://www.defenceturkey.com/en/content/first-guided-firing-test-of-akya-national-heavyweight-torpedo-against-mock-surface-target-successfully-carried-out-4377> (Accessed: Jun. 08, 2021).
- [59] Z. Liu, X. Liu, “Storage reliability assessment for the stored equipment under periodical inspection,” *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 10, no. 6, pp. 1-7, Jun. 2018, doi: 10.1177/1687814018782312
- [60] A. A. Rodriguez, “Missile guidance,” *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, pp. 1–26, Jun. 2015, doi:10.1002/047134608x.w1122.pub3
- [61] H. Gu, C. Cheng, A. Sun, X. Lei, Y. Shi, and F. Huang. (2019). Research on Vulnerability and Damage Assessment of Tactical Ballistic Missile. Presented at IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. [Online]. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/538/1/012054/pdf>
- [62] B.S. Dhillon, “Introduction,” in *Reliability, Quality, and Safety for Engineers*, Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2005.
- [63] S. H. Dai and M. O. Wang, *Reliability Analysis in Engineering Applications*, New York, NY, USA, Van Nostrand Reinhold, 1992.
- [64] Ö. Ünlüsoy, “Reliability analysis process and reliability improvement of an inertial measurement unit (IMU),” M.S. thesis, Dept. Aersp. Eng., METU, Ankara, Turkey, 2010.
- [65] *Reliability Toolkit: Commercial Practices Edition*, USA Air Force Rome Laboratory, USA, 1995.
- [66] S. Amari and V. Hegde. (2006). New allocation methods for repairable systems. Presented at RAMS. [Online]. Available:

https://www.researchgate.net/publication/224644130_New_allocation_methods_for_repairable_systems

- [67] *The Rome Laboratory Reliability Engineer's Toolkit*, AFMC, USA, Apr. 1993.
- [68] *Nonoperating Reliability Databook*, RAC, USA, May. 1989.
- [69] A. T. Bahill, and F. F. Dean, "Discovering System Requirements," *Handbook of Systems Engineering and Management*, A. P. Sage and W. B. Rouse, Ed., New York, NY, USA: Wiley, 2009, pp. 205-266.
- [70] Altium Designer. [Online]. Available: <https://www.altium.com/altium-designer/>
- [71] PTC Windchill Quality Solutions. [Online]. Available: <https://www.ptc.com/en/products/windchill/>
- [72] California Eastern Laboratories, "12 GHz Super Low Noise FET in Hollow Plastic PKG," CE3512K2 datasheet, Nov. 2018.
- [73] Analog Devices, "5.5 GHz to 14 GHz, GaAs MMIC Fundamental Mixer," HMC558ALC3B datasheet, Nov. 2016 [Revised July 2018].
- [74] On Semiconductor, "RF Transistor 12V, 30mA $f_t=10\text{GHz}$, NPN Single MCPH4," MCH4016 datasheet, Aug. 2013.
- [75] Analog Devices, "GaAs MMIC SPDT NON-REFLECTIVE SWITCH, DC - 14 GHz," HMC347ALP3E datasheet.
- [76] Nexperia, "Hex inverter," 74HC04 datasheet, [Revised Aug. 2021]
- [77] Mini-Circuits, "Surface Mount Bandpass Filter," SYBP-675+ datasheet, Nov. 2015.
- [78] Analog Devices, "GaAs MMIC VOLTAGE-VARIABLE ATTENUATOR, DC – 14 GHz," HMC346ALP3E datasheet.
- [79] Analog Devices, "20V, 200mA, Ultralow Noise, Ultrahigh PSRR RF Linear Regulator," LT3042 datasheet, June 2015 [Revised Nov. 2017].

- [80] Analog Devices, “20V, 500mA, Ultralow Noise, Ultrahigh PSRR RF Linear Regulator,” LT3045 datasheet, Oct. 2017 [Revised March 2021].
- [81] Maxim Integrated, “Switched-Capacitor Voltage Converters,” MAX1044 datasheet, [Revised June 2019].
- [82] MACOM, “Silicon Limiter Diodes,” MA4L & MADL Series datasheets.
- [83] Microsemi, “LOW OPERATING CURRENT, ZENER DIODES,” 1N4689 datasheet.
- [84] Microsemi, “Glass Axial Switching Diode,” 1N4148 datasheet.
- [85] Pasternack, “SMA Female Connector Solder Attachment 2 Hole Flange Mount Tab Terminal, .481 inch Hole Spacing”, PE4370 datasheet.
- [86] Special Hermetic Products, “HERMETIC HEADERS SOLDERABLE,” HH50A20-7P-125-125-02 datasheet.
- [87] Diodes Inc., “45V NPN SMALL SIGNAL TRANSISTOR IN SOT23,” BC817 datasheet, June 2016.
- [88] Analog Devices, “36 V Precision, 2.8 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ Rail-to-Rail Output Op Amp,” AD8675 datasheet.
- [89] “DigiKey Electronics - Electronics Component Distributor,” *DigiKey*. [Online]. Available: <https://www.digikey.com> (Accessed: 21-Oct-2021).

EK-1: MIL-HDBK- 217FN2 HATA ORANI HESAPLAMALARI

Bu bölümde tasarımda kullanılan elektronik bileşenlere ait, parça stres analizinde kullanılan hata oranı fonksiyonlarının parametrelerinin nasıl seçildiğine yönelik gerekçeler ile hata oranı değerlerinin hesaplaması anlatılmıştır. Bütün bileşenlerin hata oranlarının hesaplanmasına yönelik eşitlikler ve parametrelerin seçildiği tablolar, “MIL-HDBK-217F Notice 2” dokümanının ilgili bileşen türlerinin başlıklarında yer almaktadır [5]. Eşitlik (1-22) ile ilgili bileşenlere yönelik hata oranlarının hesaplanmasında kullanılan fonksiyonlar verilmektedir.

1. CE3512K2 (Transistör, Yüksek Frekans GaAs FET, MIL-HDBK-217FN2 Bölüm 6.8)

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_M \pi_Q \pi_E \quad (1)$$

λ_P :	Bileşen hata oranı
λ_b :	Temel hata oranı
π_T :	Sıcaklık faktörü
π_A :	Uygulama faktörü
π_M :	Empedans Uyumlama Devresi Faktörü
π_Q :	Kalite faktörü
π_E :	Çevre faktörü

CE3512K2	$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_M \pi_Q \pi_E$
G_B	$0,400364 = 0,052 * 1,539860 * 1 * 1 * 5 * 1$
G_M	$5,594538 = 0,052 * 4,303491 * 1 * 1 * 5 * 5$
A_{IC}	$6,495863 = 0,052 * 6,246022 * 1 * 1 * 5 * 4$
A_{UF}	$32,903359 = 0,052 * 10,545948 * 1 * 1 * 5 * 12$
M_F	$10,070168 = 0,052 * 4,303491 * 1 * 1 * 5 * 9$

λ_b (Temel Hata Oranı) = 0,052

GaAs FET türü bileşenin temel hata oranı için seçilecek olan değer, ortalama çıkış gücü ve çalışma frekansı ile belirlenmektedir. Bileşenin devre üzerindeki çalışma frekansı maksimum 10 GHz, ortalama çıkış gücü ise 0,1 Watt (20 dBm) değerinden küçüktür.

π_T (Sıcaklık Faktörü)

Sıcaklık faktörü, ayırık yarı iletken bileşenler için jonksiyon/kanal sıcaklığı ile hesaplanmaktadır. Jonksiyon/kanal sıcaklığını hesaplama için gerekli Eşitlik (2)'de verilmiştir.

$$T_J = T_C + \theta_{JC} P \quad (2)$$

T_J jonksiyon/kanal sıcaklığı, T_C yarı iletkenin kılıf sıcaklığı, θ_{JC} jonksiyon-kılıf arası ısı rezistans, P ise bileşenin en kötü şartlar altındaki güç kaybıdır.

G_B ortamı için söz konusu bileşen için kılıf sıcaklığı olarak ortam sıcaklığı olan 25 °C, en kötü şartlar altındaki güç kaybı ise bileşene ait veri föyünde belirtilen 0,125 W olarak alınmıştır [72]. Jonksiyon-kılıf arası ısı rezistans parametresi ise veri föyünde belirtilmemiş olduğundan, standarttaki varsayılan değer olan 70 °C/W alınmıştır. Bu durumda kanal sıcaklığı 33,8 °C olarak hesaplanmıştır ve buna karşılık gelen sıcaklık faktörü 1,539860'tır. G_M ortamı için $T_J = 50 + 70 * 0,1 = 57$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 4,303491'dir.

A_{IC} ortamı için $T_J = 60 + 70 * 0,09 = 66,3$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 6,246022'dir.

A_{UF} ortamı için $T_J = 75 + 70 * 0,075 = 80,3$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 10,545948'dir.

MF ortamı için $T_J = 50 + 70 * 0,1 = 57$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 4,303491'dir.

π_A (Uygulama Faktörü) = 1,0

Komponent çıkış gücü 6W değerinden küçük ve darbe uygulamasında kullanılacağı değerlendirilmiştir.

π_M (Empedans Uyumlama Devresi Faktörü) = 1,0

Söz konusu GaAs FET'in giriş ve çıkışları için empedans uyumlama yapılması düşünülmüştür.

π_Q (Kalite Faktörü) = 5,0

Söz konusu bileşen JANTXV, JANTX, JAN gibi askeri seviye spesifikasyonlara sahip olmayan, ticari bir üründür [72].

π_E (Çevre Faktörü)

Yüksek frekans GaAs FET'ler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B ortamı için çevre faktörü 1,0'dir.

G_M ortamı için çevre faktörü 5,0'tir.

A_{IC} ortamı için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{UF} ortamı için çevre faktörü 12,0'dir.

M_F ortamı için çevre faktörü 9,0'dur.

2. HMC558ALC3B (Tümleşik Devre, GaAs MMIC, MIL-HDBK-217FN2 Bölüm 5.4)

$$\lambda_P = [C_1 \pi_T \pi_A + C_2 \pi_E] \pi_L \pi_Q \quad (3)$$

λ_P :	Bileşen hata oranı
C_1 :	Ürün karmaşıklığı hata oranı
π_T :	Sıcaklık faktörü
π_A :	Uygulama faktörü
C_2 :	Paketleme hata oranı
π_E :	Çevre faktörü
π_L :	Öğrenme faktörü
π_Q :	Kalite faktörü

HMC558ALC3B	$\lambda_P = [C_1 \pi_T \pi_A + C_2 \pi_E] \pi_L \pi_Q$
G_B	$0,120661 = [4,5 * 0,0022 * 1 + 0,0043 * 0,5] * 1 * 10$
G_M	$1,688408 = [4,5 * 0,033673 * 1 + 0,0043 * 4] * 1 * 10$
A_{IC}	$4,295101 = [4,5 * 0,091599 * 1 + 0,0043 * 4] * 1 * 10$
A_{UF}	$17,31839 = [4,5 * 0,377159 * 1 + 0,0043 * 8] * 1 * 10$
M_F	$1,731690 = [4,5 * 0,033673 * 1 + 0,0043 * 5] * 1 * 10$

C_1 (Ürün Karmaşıklığı Hata Oranı) = 4,5

Ürün karmaşıklığı hata oranı, mikro devrede bulunan transistör ve diyot gibi aktif alt bileşenlerin sayısı ile belirlenmektedir. Komponent üreticisi, söz konusu ürünün veri föyünde cihaza ait elektriksel şematik detaylarını paylaşmasa da MESFET (Metal-Yarı İletken Alan Etkili Transistör) proses teknolojisinin kullanıldığını belirtilmektedir [73].

Benzer teknolojiler incelendiğinde, 100'den fazla aktif alt bileşen bulunmasının çok olası olmadığı, 1-100 arası aktif alt bileşen bulunduğu değerlendirilmektedir.

π_T (Sıcaklık Faktörü)

Söz konusu mikro devrenin jonksiyon sıcaklığı (2) eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bileşenin kılıf sıcaklığı olarak ortam sıcaklığı olan 25 °C, en kötü şartlar altındaki güç kaybı ise bileşene ait veri föyünde belirtilen 0,495 W, jonksiyon-kılıf arası ısıl rezistans parametresi ise veri föyünde belirtilen 180 °C/W alınmıştır [73]. Bu durumda jonksiyon sıcaklığı 114,1 °C olarak hesaplanmıştır ve buna karşılık gelen sıcaklık faktörü 0,0022'dir.

G_M ortamı için $T_J = 50 + 180 \cdot 0,495 = 139,1$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 0,033673'tür.

A_{IC} ortamı için $T_J = 60 + 180 \cdot 0,495 = 149,1$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 0,091599'dur.

A_{UF} ortamı için $T_J = 75 + 180 \cdot 0,495 = 164,1$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 0,377159'dur.

M_F ortamı için $T_J = 50 + 180 \cdot 0,495 = 139,1$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 0,033673'tür.

π_A (Uygulama Faktörü) = 1,0

Söz konusu GaAs MMIC bileşenin düşük gürültülü ve düşü güçlü (100 mW'tan küçük) bir uygulamada kullanılacağı değerlendirilmiştir.

C_2 (Paketleme Hata Oranı) = 0,004328

Ürünün 10 adet aktif pin sayısına sahip olduğu ve hermetik olmayan, yüzey montaj teknolojisine (SMT) uygun bir pakete sahip olduğu veri föyünde belirtilmektedir [73].

π_E (Çevre Faktörü)

GaAs MMIC bileşenler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B ortamı için çevre faktörü 0,5'tir.

G_M ortamı için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{IC} ortamı için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{UF} ortamı için çevre faktörü 8,0'dir.

M_F ortamı için çevre faktörü 5,0'tir.

$$\pi_L (\text{Öğrenme Faktörü}) = 1,0$$

Söz konusu GaAs MMIC mikser tipindeki jenerik entegre devrelerin üretimlerinin 2 yıldan çok daha uzun sürelerden beri gerçekleştirildiği bilinmektedir.

$$\pi_Q (\text{Kalite Faktörü}) = 10,0$$

Söz konusu bileşen standartta belirtilen herhangi bir askeri mikro devre spesifikasyonuna sahip olmayan, ticari bir üründür [73].

3. MCH4016 (Transistör, Yüksek Frekans Düşük Gürültülü Bipolar, MIL-HDBK-217FN2 Bölüm 6.6)

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_R \pi_S \pi_Q \pi_E \quad (4)$$

λ_P :	Bileşen hata oranı
λ_b :	Temel hata oranı
π_T :	Sıcaklık faktörü
π_R :	Güç derecesi faktörü
π_S :	Gerilim stres faktörü
π_Q :	Kalite faktörü
π_E :	Çevre faktörü

MCH4016	$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_R \pi_S \pi_Q \pi_E$
G_B	$0,026351 = 0,18 * 1,714156 * 0,43 * 0,163917 * 5 * 1$
G_M	$0,210870 = 0,18 * 2,518085 * 0,43 * 0,163917 * 5 * 5$
A_{IC}	$0,211109 = 0,18 * 2,893816 * 0,43 * 0,163917 * 5 * 4$
A_{UF}	$0,424167 = 0,18 * 3,544692 * 0,43 * 0,163917 * 5 * 12$
M_F	$0,263571 = 0,18 * 2,518085 * 0,43 * 0,163917 * 5 * 9$

$$\lambda_b (\text{Temel Hata Oranı}) = 0,18$$

Bipolar yüksek frekans transistörler için tek bir temel hata oranı değeri bulunmaktadır.

$$\pi_T (\text{Sıcaklık Faktörü})$$

Söz konusu bipolar jonksiyon transistörün jonksiyon sıcaklığı (2) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

G_B ortamı için bileşenin kılıf sıcaklığı olarak ortam sıcaklığı olan 25 °C, en kötü şartlar altındaki güç kaybı ise bileşene ait veri föyünde belirtilen 0,35 W olarak alınmıştır [74]. Jonksiyon-kılıf arası ısı rezistans parametresi ise veri föyünde belirtilmemiş olduğundan, standarttaki varsayılan değer olan 70 °C/W alınmıştır. Bu durumda jonksiyon sıcaklığı 49,5 °C olarak hesaplanmıştır ve buna karşılık gelen sıcaklık faktörü 1,714156'dır.

G_M ortamı için $T_J = 50 + 70 \cdot 0,28 = 69,6$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 2,518085'tir.

A_{IC} ortamı için $T_J = 60 + 70 \cdot 0,25 = 77,5$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 2,893816'dır.

A_{UF} ortamı için $T_J = 75 + 70 \cdot 0,21 = 89,7$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 3,544692'dir.

M_F ortamı için $T_J = 50 + 70 \cdot 0,28 = 69,6$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 2,518085'tir.

π_R (Güç Derecesi Faktörü) = 0,43

Üreticinin paylaştığı veri föyüne göre optimum kollektör-emiter gerilimleri (3 V – 5 V) ve kollektör akımı (5 mA – 10 mA) değerleri göz önünde bulundurulduğunda bileşenin güç derecesinin 0,1 Watt değerinin altında olacağı değerlendirilmiştir.

π_S (Gerilim Stres Faktörü) = 0,163917

Gerilim stres faktörü, bileşene uygulanan kollektör-emiter gerilimi ile bazın açık devre bırakıldığı durumdaki kollektör-emiter geriliminin oranına göre belirlenen bir hata faktörüdür. Veri föyünde belirtildiği üzere, bileşen üzerine uygulanan optimum kollektör-emiter gerilimi 5 V, bazın açık devre bırakıldığı durumdaki kollektör-emiter gerilimi ise 12 V olarak belirtilmiştir [74]. Bu durumda gerilim stres faktörü, 0,42 oransal değerine karşılık gelen 0,163917 değeri olmaktadır.

π_Q (Kalite Faktörü) = 5,0

Söz konusu bileşen, JANTXV, JANTX, JAN gibi askeri seviye spesifikasyonlara sahip olmayan, ticari bir üründür [74].

π_E (Çevre Faktörü)

Yüksek frekans bipolar jonksiyon transistörler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B ortamı için çevre faktörü 1,0'dir.

G_M ortamı için çevre faktörü 5,0'tir.

A_{IC} ortamı için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{UF} ortamı için çevre faktörü 12,0'dir.

M_F ortamı için çevre faktörü 9,0'dur.

4. HMC347ALP3ETR (Tümleşik Devre, GaAs MMIC, MIL-HDBK-217FN2 Bölüm 5.4)

$$\lambda_P = [C_1 \pi_T \pi_A + C_2 \pi_E] \pi_L \pi_Q \quad (5)$$

λ_P :	Bileşen hata oranı
C_1 :	Ürün karmaşıklığı hata oranı
π_T :	Sıcaklık faktörü
π_A :	Uygulama faktörü
C_2 :	Paketleme hata oranı
π_E :	Çevre faktörü
π_L :	Öğrenme faktörü
π_Q :	Kalite faktörü

HMC347ALP3ETR	$\lambda_P = [C_1 \pi_T \pi_A + C_2 \pi_E] \pi_L \pi_Q$
G_B	$0,026351 = [4,5 * 2,12286E-08 * 1 + 0,00527 * 0,5] * 1 * 10$
G_M	$0,210870 = [4,5 * 1,47796E-06 * 1 + 0,00527 * 4] * 1 * 10$
A_{IC}	$0,211109 = [4,5 * 6,78495E-06 * 1 + 0,00527 * 4] * 1 * 10$
A_{UF}	$0,424167 = [4,5 * 5,68904E-05 * 1 + 0,00527 * 8] * 1 * 10$
M_F	$0,263571 = [4,5 * 1,47796E-06 * 1 + 0,00527 * 5] * 1 * 10$

C_1 (Ürün Karmaşıklığı Hata Oranı) = 4,5

Ürün karmaşıklığı hata oranı, mikro devrede bulunan transistör ve diyot gibi aktif alt bileşenlerin sayısı ile belirlenmektedir. Komponent üreticisi, söz konusu ürünün veri föyünde cihaza ait elektriksel şematik detaylarını paylaşmasa da GaAs pHEMT alt bileşenler

ile tasarlandığı belirtilmektedir [75]. Benzer teknolojiler incelendiğinde, 100'den fazla aktif alt bileşen bulunmasının çok olası olmadığı, 1-100 arası aktif alt bileşen bulunduğu değerlendirilmektedir.

π_T (Sıcaklık Faktörü)

Söz konusu mikro devrenin jonksiyon sıcaklığı (1) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

G_B için bileşenin kılıf sıcaklığı olarak ortam sıcaklığı olan 25 °C, jonksiyon-kılıf arası ısı iletkenlik parametresi ise veri föyünde belirtilen 200 °C/W alınmıştır [75]. En kötü şartlar altındaki güç kaybı ise bileşene ait veri föyünde bulunmamaktadır. Bileşenin düşük güçlü bir almaç hattı anahtarı olduğu düşünüldüğünde, bu değerin 0,05 W gibi düşük bir değerde olacağı tahmin edilmiştir. Bu durumda jonksiyon sıcaklığı 35 °C olarak hesaplanmıştır ve buna karşılık gelen sıcaklık faktörü 2,12286E-08'dir.

G_M ortamı için $T_J = 50 + 200 * 0,05 = 60$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 1,47796E-06'dır.

A_{IC} ortamı için $T_J = 60 + 200 * 0,05 = 70$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 6,78495E-06'dır.

A_{UF} ortamı için $T_J = 75 + 200 * 0,05 = 85$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 5,68904E-05'tir.

M_F ortamı için $T_J = 50 + 200 * 0,05 = 60$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 1,47796E-06'dır.

π_A (Uygulama Faktörü) = 1,0

Söz konusu GaAs MMIC bileşenin düşük gürültülü ve düşük güçlü (100 mW'tan küçük) bir uygulamada kullanılacağı değerlendirilmiştir.

C_2 (Paketleme Hata Oranı) = 0,00527

Ürünün 12 adet aktif pin sayısına sahip olduğu ve hermetik olmayan, yüzey montaj teknolojisine (SMT) uygun bir pakete sahip olduğu veri föyünde belirtilmektedir [75].

π_E (Çevre Faktörü)

GaAs MMIC bileşenler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B ortamı için çevre faktörü 0,5'tir.

G_M ortamı için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{IC} ortamı için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{UF} ortamı için çevre faktörü 8,0'dir.

M_F ortamı için çevre faktörü 5,0'tir.

π_L (Öğrenme Faktörü) = 1,0

Söz konusu GaAs MMIC anahtar tipindeki jenerik entegre devrelerin üretimlerinin 2 yıldan çok daha uzun sürelerden beri gerçekleştirildiği bilinmektedir.

π_Q (Kalite Faktörü) = 10,0

Söz konusu bileşen, standartta belirtilen herhangi bir askeri mikro devre spesifikasyonuna sahip olmayan, ticari bir üründür [75].

5. 74HC04D (Tümleşik Devre, Lojik Kapı Dizisi, MIL-HDBK-21FN2 Bölüm 5.1)

$$\lambda_P = (C_1\pi_T + C_2\pi_E)\pi_Q\pi_L \quad (6)$$

λ_P :	Bileşen hata oranı
C_1 :	Ürün karmaşıklığı hata oranı
π_T :	Sıcaklık faktörü
C_2 :	Ürün hata oranı
π_E :	Çevre faktörü
π_Q :	Kalite faktörü
π_L :	Öğrenme faktörü

74HC04D	$\lambda_P = (C_1\pi_T + C_2\pi_E)\pi_Q\pi_L$
G_B	$0,049557 = (0,01*0,184338+0,006225*0,5)*10*1$
G_M	$0,297411 = (0,01*0,484215+0,006225*4)*10*1$
A_{IC}	$0,317520 = (0,01*0,685307+0,006225*4)*10*1$
A_{UF}	$0,609287 = (0,01*1,113088+0,006225*8)*10*1$
M_F	$0,359658 = (0,01*0,484215+0,006225*5)*10*1$

C_1 (Ürün Karmaşıklığı Hata Oranı) = 0,01

Ürün karmaşıklığı hata oranı, mikro devrede bulunan CMOS kapı sayıları ile belirlenen bir parametredir. Komponent üreticisi, söz konusu ürünün veri föyünde cihaza ait elektriksel şematik detaylarını paylaşmasa da benzer teknolojiler incelendiğinde, 6 adet DEĞİL kapılı

bir lojik entegre devrede 100'den fazla CMOS alt bileşenin bulunmasının çok olası olmadığı, 1-100 arası aktif alt bileşen bulunduğu değerlendirilmektedir.

π_T (Sıcaklık Faktörü)

Söz konusu mikro devrenin jonksiyon sıcaklığı (2) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

G_B için bileşenin kılıf sıcaklığı olarak ortam sıcaklığı olan 25 °C, en kötü şartlar altındaki güç kaybı ise bileşene ait veri föyünde belirtilen 0.5 W, jonksiyon-kılıf arası ısı rezistans parametresi ise veri föyünde belirtilmemektedir. Ancak standartta bazı jenerik kılıf çeşitleri için belirlenmiş değerler bulunmaktadır. 14,4 mil²'den küçük alana sahip “Dual-In-Line” paket [76] mikro devrenin ısı rezistans parametresi 28 °C/W olarak belirlenmiştir. Bu durumda jonksiyon sıcaklığı 39 °C olarak hesaplanmıştır ve buna karşılık gelen sıcaklık faktörü 0,184338'dir.

G_M ortamı için $T_J = 50 + 28 \cdot 0,5 = 64$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 0,484215'tir.

A_{IC} ortamı için $T_J = 60 + 28 \cdot 0,5 = 74$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 0,685307'dir.

A_{UF} ortamı için $T_J = 75 + 28 \cdot 0,5 = 89$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 1,113088'dir.

M_F için $T_J = 50 + 28 \cdot 0,5 = 64$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 0,484215'tir.

$$C_2 \text{ (Paketleme Hata Oranı)} = 0,006225$$

Ürünün 14 adet aktif pin sayısına sahip olduğu ve hermetik olmayan, yüzey montaj teknolojisine (SMT) uygun bir pakete sahip olduğu veri föyünde belirtilmektedir [76].

π_E (Çevre Faktörü)

Sayısal kapı dizili bileşenler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B için çevre faktörü 0,5'tir.

G_M için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{IC} için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{UF} için çevre faktörü 8,0'dir.

M_F için çevre faktörü 5,0'tir.

$$\pi_Q \text{ (Kalite Faktörü)} = 10,0$$

Söz konusu bileşen, standartta belirtilen herhangi bir askeri mikro devre spesifikasyonuna sahip olmayan, ticari bir üründür [76].

$$\pi_L \text{ (Öğrenme Faktörü)} = 1,0$$

Söz konusu HEX evirici jenerik entegre devrelerin üretimlerinin 2 yıldan çok daha uzun sürelerden beri gerçekleştirildiği bilinmektedir.

6. SYBP-675+ (Elektronik Filtre, Sabit, MIL-HDBK-217FN2 Bölüm 21.1)

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_Q \pi_E \quad (7)$$

λ_P :	Bileşen hata oranı
λ_b :	Temel hata oranı
π_Q :	Kalite faktörü
π_E :	Çevre faktörü

SYBP-675+	$\lambda_P = \lambda_b \pi_Q \pi_E$
G_B	$0,348000 = 0,12 * 2,9 * 1$
G_M	$2,088000 = 0,12 * 2,9 * 6$
A_{IC}	$2,436000 = 0,12 * 2,9 * 7$
A_{UF}	$4,524000 = 0,12 * 2,9 * 13$
M_F	$2,436000 = 0,12 * 2,9 * 7$

$$\lambda_b \text{ (Temel Hata Oranı)} = 0,12$$

Söz konusu bant geçiren filtrenin veri föyünde belirtildiği üzere ayrık bobin ve kapasitörlerden oluştuğu bilinmektedir [77].

$$\pi_Q \text{ (Kalite Faktörü)} = 2,9$$

Söz konusu bant geçiren filtre, askeri kalite spesifikasyonlarına sahip olmayan, ticari bir üründür [77].

$$\pi_E \text{ (Çevre Faktörü)}$$

RF filtre bileşenler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B ortamı için çevre faktörü 1,0'dir.

G_M ortamı için çevre faktörü 6,0'dır.

A_{IC} ortamı için çevre faktörü 7,0'dir.

A_{UF} ortamı için çevre faktörü 13,0'tür.

M_F ortamı için çevre faktörü 7,0'dir.

7. HMC346ALP3E (Tümleşik Devre, GaAs MMIC, MIL-HDBK-217FN2 Bölüm 5.4)

$$\lambda_P = [C_1 \pi_T \pi_A + C_2 \pi_E] \pi_L \pi_Q \quad (8)$$

λ_P :	Bileşen hata oranı
C_1 :	Ürün karmaşıklığı hata oranı
π_T :	Sıcaklık faktörü
π_A :	Uygulama faktörü
C_2 :	Paketleme hata oranı
π_E :	Çevre faktörü
π_L :	Öğrenme faktörü
π_Q :	Kalite faktörü

HMC346ALP3E	$\lambda_P = [C_1 \pi_T \pi_A + C_2 \pi_E] \pi_L \pi_Q$
G_B	$0,021641 = [4,5 * 4,70305E-09 * 1 + 0,004328 * 0,5] * 1 * 10$
G_M	$0,173144 = [4,5 * 4,08160E-07 * 1 + 0,004328 * 4] * 1 * 10$
A_{IC}	$0,173217 = [4,5 * 2,01930E-06 * 1 + 0,004328 * 4] * 1 * 10$
A_{UF}	$0,347095 = [4,5 * 1,87223E-05 * 1 + 0,004328 * 8] * 1 * 10$
M_F	$0,216426 = [4,5 * 4,08160E-07 * 1 + 0,004328 * 5] * 1 * 10$

C_1 (Ürün Karmaşıklığı Hata Oranı) = 4,5

Ürün karmaşıklığı hata oranı, mikro devrede bulunan transistör ve diyot gibi aktif alt bileşenlerin sayısı ile belirlenmektedir. Komponent üreticisi, söz konusu ürünün veri föyünde cihaza ait elektriksel şematik detaylarını paylaşmasa da benzer teknolojiler incelendiğinde, 100'den fazla aktif alt bileşen bulunmasının çok olası olmadığı, 1-100 arası aktif alt bileşen bulunduğu değerlendirilmektedir.

π_T (Sıcaklık Faktörü)

Söz konusu mikro devrenin jonksiyon sıcaklığı (2) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

G_B için bileşenin kılıf sıcaklığı olarak ortam sıcaklığı olan 25 °C, jonksiyon-kılıf arası ısıl rezistans parametresi ise veri föyünde belirtilen 10 °C/W alınmıştır [78]. En kötü şartlar altındaki güç kaybı ise bileşene ait veri föyünde bulunmamaktadır, 0,2 W olarak alınmıştır. Bu durumda jonksiyon sıcaklığı 27 °C olarak hesaplanmıştır ve buna karşılık gelen sıcaklık faktörü 4,70305E-09'dur.

G_M için $T_J = 50 + 10 \cdot 0,2 = 52$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 4,08160E-07'dir.

A_{IC} için $T_J = 50 + 10 \cdot 0,2 = 62$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 2,01930E-06'dır.

A_{UF} için $T_J = 75 + 10 \cdot 0,2 = 77$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 1,87223E-05'tir.

M_F için $T_J = 50 + 10 \cdot 0,2 = 52$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 4,08160E-07'dir.

π_A (Uygulama Faktörü) = 1,0

Söz konusu GaAs MMIC bileşenin düşük gürültülü ve düşü güçlü (100 mW'tan küçük) bir uygulamada kullanılacağı değerlendirilmiştir.

C_2 (Paketleme Hata Oranı) = 0,004328

Ürünün 10 adet aktif pin sayısına sahip olduğu ve hermetik olmayan, yüzey montaj teknolojisine (SMT) uygun bir pakete sahip olduğu veri föyünde belirtilmektedir [78].

π_E (Çevre Faktörü)

GaAs MMIC bileşenler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B ortamı için çevre faktörü 0,5'tir.

G_M ortamı için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{IC} ortamı için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{UF} ortamı için çevre faktörü 8,0'dir.

M_F ortamı için çevre faktörü 5,0'tir.

π_L (Öğrenme Faktörü) = 1,0

Söz konusu GaAs MMIC güç sönmüleyici tipindeki jenerik entegre devrelerin üretimlerinin 2 yıldan çok daha uzun sürelerden beri gerçekleştirildiği bilinmektedir.

π_Q (Kalite Faktörü) = 10,0

Söz konusu bileşen, standartta belirtilen herhangi bir askeri mikro devre spesifikasyonuna sahip olmayan, ticari bir üründür [78].

8. LT3042 (Tümleşik Devre, Doğrusal, MIL-HDBK-217FN2 Bölüm 5.1)

$$\lambda_P = (C_1\pi_T + C_2\pi_E)\pi_Q\pi_L \quad (9)$$

λ_P :	Bileşen hata oranı
C_1 :	Ürün karmaşıklığı hata oranı
π_T :	Sıcaklık faktörü
C_2 :	Ürün hata oranı
π_E :	Çevre faktörü
π_Q :	Kalite faktörü
π_L :	Öğrenme faktörü

LT3042	$\lambda_P = (C_1\pi_T + C_2\pi_E)\pi_Q\pi_L$
G_B	$0,073021 = (0,01*0,513806+0,004328*0,5)*10*1$
G_M	$0,460825 = (0,01*2,876991+0,004328*4)*10*1$
A_{IC}	$0,708397 = (0,01*5,352707+0,004328*4)*10*1$
A_{UF}	$1,621499 = (0,01*12,752468+0,004328*8)*10*1$
M_F	$0,504107 = (0,01*2,876991+0,004328*5)*10*1$

C_1 (Ürün Karmaşıklığı Hata Oranı) = 0,01

Ürün karmaşıklığı hata oranı, mikro devrede bulunan transistör sayıları ile belirlenen bir parametredir. Komponent üreticisi, söz konusu ürünün veri föyünde cihaza ait elektriksel şematik detaylarını paylaşmasa da benzer teknolojiler incelendiğinde, 100'den fazla transistör bulunmasının çok olası olmadığı, 1-100 arası aktif alt bileşen bulunduğu değerlendirilmektedir.

π_T (Sıcaklık Faktörü)

Söz konusu mikro devrenin jonksiyon sıcaklığı (2) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

G_B ortamı için bileşenin kılıf sıcaklığı olarak ortam sıcaklığı olan 25 °C, en kötü şartlar altındaki güç kaybı bileşene ait veri föyünde belirtilen 0,59 W, jonksiyon-kılıf arası ısı

rezistans parametresi ise yine veri föyünde belirtilmiş olan 35 °C/W'tır [79]. Bu durumda jonksiyon sıcaklığı 45,6 °C olarak hesaplanmıştır ve buna karşılık gelen sıcaklık faktörü 0,513806'dır.

G_M ortamı için $T_J = 50 + 35 * 0,59 = 70,6$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 2,876991'dir.

A_{IC} ortamı için $T_J = 60 + 35 * 0,59 = 80,6$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 5,352707'dir.

A_{UF} ortamı için $T_J = 75 + 35 * 0,59 = 95,6$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 12,752468'dir.

M_F ortamı için $T_J = 50 + 35 * 0,59 = 70,6$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 2,876991'dir.

C_2 (Paketleme Hata Oranı) = 0,004328

Ürünün 10 adet aktif pin sayısına sahip olduğu ve hermetik olmayan, yüzey montaj teknolojisine (SMT) uygun bir pakete sahip olduğu veri föyünde belirtilmektedir [79].

π_E (Çevre Faktörü)

Doğrusal mikro devre bileşenler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B ortamı için çevre faktörü 0,5'tir.

G_M ortamı için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{IC} ortamı için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{UF} ortamı için çevre faktörü 8,0'dir.

M_F ortamı için çevre faktörü 5,0'tir.

π_Q (Kalite Faktörü) = 10,0

Söz konusu bileşen, standartta belirtilen herhangi bir askeri mikro devre spesifikasyonuna sahip olmayan, ticari bir üründür [79].

π_L (Öğrenme Faktörü) = 1,0

Söz konusu DC-DC pozitif doğrusal gerilim regülatörünün jenerik entegre devrelerin üretimlerinin 2 yıldan çok daha uzun sürelerden beri gerçekleştirildiği bilinmektedir.

9. LT3045 (Tümleşik Devre, Doğrusal, MIL-HDBK-217FN2 Bölüm 5.1)

$$\lambda_P = (C_1\pi_T + C_2\pi_E)\pi_Q\pi_L \quad (10)$$

λ_P :	Bileşen hata oranı
C_1 :	Ürün karmaşıklığı hata oranı
π_T :	Sıcaklık faktörü
C_2 :	Ürün hata oranı
π_E :	Çevre faktörü
π_Q :	Kalite faktörü
π_L :	Öğrenme faktörü

LT3045	$\lambda_P = (C_1\pi_T + C_2\pi_E)\pi_Q\pi_L$
G_B	$0,164677 = (0,01*1,430357+0,004328*0,5)*10*1$
G_M	$0,868856 = (0,01*6,957301+0,004328*4)*10*1$
A_{IC}	$1,406525 = (0,01*12,333988+0,004328*4)*10*1$
A_{UF}	$3,098901 = (0,01*27,526485+0,004328*8)*10*1$
M_F	$0,912138 = (0,01*6,957301+0,004328*5)*10*1$

C_1 (Ürün Karmaşıklığı Hata Oranı) = 0,01

Ürün karmaşıklığı hata oranı, mikro devrede bulunan transistör sayıları ile belirlenen bir parametredir. Komponent üreticisi, söz konusu ürünün veri föyünde cihaza ait elektriksel şematik detaylarını paylaşmasa da benzer teknolojiler incelendiğinde, 100'den fazla transistör bulunmasının çok olası olmadığı, 1-100 arası aktif alt bileşen bulunduğu değerlendirilmektedir.

π_T (Sıcaklık Faktörü)

Söz konusu mikro devrenin jonksiyon sıcaklığı (2) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

G_B için bileşenin kılıf sıcaklığı olarak ortam sıcaklığı olan 25 °C, en kötü şartlar altındaki güç kaybı bileşene ait veri föyünde belirtilen 1 W, jonksiyon-kılıf arası ısıl rezistans parametresi ise yine veri föyünde belirtilmiş olan 35 °C/W'tır [80]. Bu durumda jonksiyon sıcaklığı 60 °C olarak hesaplanmıştır ve buna karşılık gelen sıcaklık faktörü 1,430357'dir.

G_M ortamı için $T_J = 50+35*1=85$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 6,957301'dir.

A_{IC} ortamı için T_J= 60+35*1=95 °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 12,333988'dir.

A_{UF} ortamı için T_J=75+35*1=110 °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 27,526485'tir.

M_F ortamı için T_J= 50+35*1=85 °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 6,957301'dir.

C₂ (Paketleme Hata Oranı) = 0,004328

Ürünün 10 adet aktif pin sayısına sahip olduğu ve hermetik olmayan, yüzey montaj teknolojisine (SMT) uygun bir pakete sahip olduğu veri föyünde belirtilmektedir [80].

π_E (Çevre Faktörü)

Doğrusal mikro devre bileşenler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B ortamı için çevre faktörü 0,5'tir.

G_M ortamı için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{IC} ortamı için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{UF} ortamı için çevre faktörü 8,0'dir.

M_F ortamı için çevre faktörü 5,0'tir.

π_Q (Kalite Faktörü) = 10,0

Söz konusu bileşen, standartta belirtilen herhangi bir askeri mikro devre spesifikasyonuna sahip olmayan, ticari bir üründür [80].

π_L (Öğrenme Faktörü) = 1,0

Söz konusu DC-DC pozitif doğrusal gerilim regülatörünün jenerik entegre devrelerin üretimlerinin 2 yıldan çok daha uzun sürelerden beri gerçekleştirildiği bilinmektedir.

10. MAX1044 (Tümleşik Devre, Doğrusal, MIL-HDBK-217FN2 Bölüm 5.1)

$$\lambda_P = (C_1\pi_T + C_2\pi_E)\pi_Q\pi_L \quad (11)$$

λ_P: Bileşen hata oranı

C₁: Ürün karmaşıklığı hata oranı

π_T :	Sıcaklık faktörü
C_2 :	Ürün hata oranı
π_E :	Çevre faktörü
π_Q :	Kalite faktörü
π_L :	Öğrenme faktörü

MAX1044	$\lambda_P = (C_1\pi_T + C_2\pi_E)\pi_Q\pi_L$
G_B	$0,067628 = (0,01*0,506221+0,003401*0,5)*10*1$
G_M	$0,420094 = (0,01*2,840440+0,003401*4)*10*1$
A_{IC}	$0,664898 = (0,01*5,288473+0,003401*4)*10*1$
A_{UF}	$1,533258 = (0,01*12,611572+0,003401*8)*10*1$
M_F	$0,454107 = (0,01*2,840440+0,003401*5)*10*1$

C_1 (Ürün Karmaşıklığı Hata Oranı) = 0,01

Ürün karmaşıklığı hata oranı, mikro devrede bulunan transistör sayıları ile belirlenen bir parametredir. Komponent üreticisi, söz konusu ürünün veri föyünde cihaza ait elektriksel şematik detaylarını paylaşmasa da benzer teknolojiler incelendiğinde, 100'den fazla transistör bulunmasının çok olası olmadığı, 1-100 arası aktif alt bileşen bulunduğu değerlendirilmektedir.

π_T (Sıcaklık Faktörü)

Söz konusu mikro devrenin jonksiyon sıcaklığı (2) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

G_B için bileşenin kılıf sıcaklığı olarak ortam sıcaklığı olan 25 °C, en kötü şartlar altındaki güç kaybı bileşene ait veri föyünde belirtilen 0,727 W olarak alınmıştır [81]. Jonksiyon-kılıf arası ısıl rezistans parametresi ise veri föyünde belirtilmemektedir. Ancak standartta bazı jenerik kılıf çeşitleri için belirlenmiş değerler bulunmaktadır. 14,4 mil²'den küçük alana sahip “Dual-In-Line” paket [81] mikro devrenin ısıl rezistans parametresi 28 °C/W olarak belirlenmiştir. Bu durumda jonksiyon sıcaklığı 45,4 °C olarak hesaplanmıştır ve buna karşılık gelen sıcaklık faktörü 0,506221'dir.

G_M ortamı için $T_J = 50+28*0,727=70,4$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 2,840440'tır.

A_{IC} ortamı için $T_J = 60+28*0,727=80,4$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 5,288473'tür.

A_{UF} ortamı için $T_J = 75 + 28 * 0,727 = 95,4$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 12,611572'dir.

M_F ortamı için $T_J = 50 + 28 * 0,727 = 70,4$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 2,840440'tır.

C_2 (Paketleme Hata Oranı) = 0,003401

Ürünün 8 adet aktif pin sayısına sahip olduğu ve hermetik olmayan, yüzey montaj teknolojisine (SMT) uygun bir pakete sahip olduğu veri föyünde belirtilmektedir [81].

π_E (Çevre Faktörü)

Doğrusal mikro devre bileşenler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B için çevre faktörü 0,5'tir.

G_M için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{IC} için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{UF} için çevre faktörü 8,0'dir.

M_F için çevre faktörü 5,0'dir.

π_Q (Kalite Faktörü) = 10,0

Söz konusu bileşen, standartta belirtilen herhangi bir askeri mikro devre spesifikasyonuna sahip olmayan, ticari bir üründür [81].

π_L (Öğrenme Faktörü) = 1,0

Söz konusu DC-DC anahtarlama negatif gerilim çevirici jenerik entegre devrelerin üretimlerinin 2 yıldan çok daha uzun sürelerden beri gerçekleştirildiği bilinmektedir.

11. MADL-011010-01340W (Diyot, Yüksek Frekans, MIL-HDBK-21FN2 Bölüm 6.2)

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_R \pi_Q \pi_E \quad (12)$$

λ_P :	Bileşen hata oranı
λ_b :	Temel hata oranı
π_T :	Sıcaklık faktörü
π_A :	Uygulama faktörü

π_R : Güç derecesi faktörü
 π_Q : Kalite faktörü
 π_E : Çevre faktörü

MADL-011010-01340W	$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_R \pi_Q \pi_E$
G_B	$0,921371 = 0,0081 * 9,099962 * 1 * 0,5 * 25 * 1$
G_M	$5,995995 = 0,0081 * 11,843941 * 1 * 0,5 * 25 * 5$
A_{IC}	$5,288315 = 0,0081 * 13,057568 * 1 * 0,5 * 25 * 4$
A_{UF}	$18,226580 = 0,0081 * 15,001300 * 1 * 0,5 * 25 * 12$
M_F	$10,792792 = 0,0081 * 11,843941 * 1 * 0,5 * 25 * 9$

λ_b (Temel Hata Oranı) = 0,0081

Yüksek frekans diyotlar için temel hata oranı diyot tipine göre belirlenmektedir. Bileşenin tipi PIN diyottur.

π_T (Sıcaklık Faktörü)

Söz konusu PIN diyotun jonksiyon sıcaklığı (2) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

G_B için bileşenin kılıf sıcaklığı olarak ortam sıcaklığı olan 25 °C, en kötü şartlar altındaki güç kaybı ise bileşene ait veri föyünde belirtilen 4 W, jonksiyon-kılıf arası ısı rezistans parametresi ise yine veri föyündeki 34 °C/W olarak belirlenmiştir [82]. Bu durumda jonksiyon sıcaklığı 161 °C olarak hesaplanmıştır ve buna karşılık gelen sıcaklık faktörü 9,099962'dir.

G_M ortamı için $T_J = 50 + 34 * 4 = 186$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 11,843941'dir.

A_{IC} ortamı için $T_J = 60 + 34 * 4 = 196$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 13,057568'dir.

A_{UF} ortamı için $T_J = 75 + 34 * 4 = 211$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 15,001300'dır.

M_F ortamı için $T_J = 50 + 34 * 4 = 186$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 11,843941'dir.

π_A (Uygulama Faktörü) = 1,0

Uygulama faktörü, diyotun kullanım amacına göre belirlenmektedir. Varaktör amaçlı kullanılmayan bütün diyot tipleri için 1.0 değeri alınmaktadır.

$$\pi_R \text{ (Güç Derecesi Faktörü)} = 0,5$$

PIN diyotlar için güç derecesi faktörü, ürünün güç derecesine göre belirlenmektedir. Üreticinin paylaştığı 4W değerine [82] karşılık gelen güç derecesi faktörü 0,5'tir.

$$\pi_Q \text{ (Kalite Faktörü)} = 25$$

Söz konusu bileşen, JANTXV, JANTX, JAN gibi askeri seviye spesifikasyonlara sahip olmayan, ticari bir üründür [82].

$$\pi_E \text{ (Çevre Faktörü)}$$

Mikrodalga diyot bileşenler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B ortamı için çevre faktörü 1,0'dir.

G_M ortamı için çevre faktörü 5,0'tir.

A_{IC} ortamı için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{UF} ortamı için çevre faktörü 12,0'dir.

M_F ortamı için çevre faktörü 9,0'dur.

12. MADL-011085-14210W (Diyot, Yüksek Frekans, MIL-HDBK-21FN2 Bölüm 6.2)

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_R \pi_Q \pi_E \quad (13)$$

λ_P :	Bileşen hata oranı
λ_b :	Temel hata oranı
π_T :	Sıcaklık faktörü
π_A :	Uygulama faktörü
π_R :	Güç derecesi faktörü
π_Q :	Kalite faktörü
π_E :	Çevre faktörü

MADL-011085-14210W	$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_R \pi_Q \pi_E$
G_B	$0,417609 = 0,0081 * 4,124534 * 1 * 0,5 * 25 * 1$
G_M	$2,973897 = 0,0081 * 5,874365 * 1 * 0,5 * 25 * 5$
A_{IC}	$2,707573 = 0,0081 * 6,685367 * 1 * 0,5 * 25 * 4$
A_{UF}	$9,749197 = 0,0081 * 8,024031 * 1 * 0,5 * 25 * 12$
M_F	$5,353015 = 0,0081 * 5,874365 * 1 * 0,5 * 25 * 9$

$$\lambda_b \text{ (Temel Hata Oranı)} = 0,0081$$

Yüksek frekans diyotlar için temel hata oranı diyot tipine göre belirlenmektedir. Bileşenin tipi PIN diyottur.

$$\pi_T \text{ (Sıcaklık Faktörü)}$$

Söz konusu PIN diyotun jonksiyon sıcaklığı (1) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

G_B için bileşenin kılıf sıcaklığı olarak ortam sıcaklığı olan 25 °C, en kötü şartlar altındaki güç kaybı ise bileşene ait veri föyünde belirtilen 3 W, jonksiyon-kılıf arası ısıl rezistans parametresi ise yine veri föyündeki 25 °C/W olarak belirlenmiştir [82]. Bu durumda jonksiyon sıcaklığı 100 °C olarak hesaplanmıştır ve buna karşılık gelen sıcaklık faktörü 4,124534'tür.

G_M ortamı için $T_J = 50 + 25 \cdot 3 = 125$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 5,874365'tir.

A_{IC} ortamı için $T_J = 60 + 25 \cdot 3 = 135$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 6,685367'dir.

A_{UF} ortamı için $T_J = 75 + 25 \cdot 3 = 150$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 8,024031'dir.

M_F ortamı için $T_J = 50 + 25 \cdot 3 = 125$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 5,874365'tir.

$$\pi_A \text{ (Uygulama Faktörü)} = 1,0$$

Uygulama faktörü, diyotun kullanım amacına göre belirlenmektedir. Varaktör amaçlı kullanılmayan bütün diyot tipleri için 1,0 değeri alınmaktadır.

$$\pi_R \text{ (Güç Derecesi Faktörü)} = 0,5$$

PIN diyotlar için güç derecesi faktörü, ürünün güç derecesine göre belirlenmektedir. Üreticinin paylaştığı 3W değerine [82] karşılık gelen güç derecesi faktörü 0,5'tir.

$$\pi_Q \text{ (Kalite Faktörü)} = 25$$

Söz konusu bileşen, JANTXV, JANTX, JAN gibi askeri seviye spesifikasyonlara sahip olmayan, ticari bir üründür [82].

$$\pi_E \text{ (Çevre Faktörü)}$$

Mikrodalga diyot bileşenler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B ortamı için çevre faktörü 1,0'dir.

G_M ortamı için çevre faktörü 5,0'tir.

A_{IC} ortamı için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{UF} ortamı için çevre faktörü 12,0'dir.

M_F ortamı için çevre faktörü 9,0'dur.

13. 1N4689 (Diyot, Düşük Frekans, MIL-HDBK-217FN2 Bölüm 6.1)

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_S \pi_C \pi_Q \pi_E \quad (14)$$

λ_P : Bileşen hata oranı

λ_b : Temel hata oranı

π_T : Sıcaklık faktörü

π_S : Elektriksel stres faktörü

π_C : Kontakt yapı faktörü

π_Q : Kalite faktörü

π_E : Çevre faktörü

1N4689	$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_S \pi_C \pi_Q \pi_E$
G_B	$0,074203 = 0,002 * 6,745692 * 1 * 1 * 5,5 * 1$
G_M	$0,860898 = 0,002 * 8,695943 * 1 * 1 * 5,5 * 9$
A_{IC}	$1,243520 = 0,002 * 8,695943 * 1 * 1 * 5,5 * 13$
A_{UF}	$4,113181 = 0,002 * 8,695943 * 1 * 1 * 5,5 * 43$
M_F	$1,339175 = 0,002 * 8,695943 * 1 * 1 * 5,5 * 14$

λ_b (Temel Hata Oranı) = 0,002

Düşük frekans diyotlar için temel hata oranı diyot tipi / uygulamasına göre belirlenmektedir. Bileşenin tipi Zener diyottur.

π_T (Sıcaklık Faktörü)

Söz konusu Zener diyotun jonksiyon sıcaklığı (2) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

G_B ortamı için bileşenin kılıf sıcaklığı olarak ortam sıcaklığı olan 25 °C, en kötü şartlar altındaki güç kaybı ise bileşene ait veri föyünde belirtilen 0,5 W, jonksiyon-kılıf arası ısıl rezistans parametresi ise yine veri föyünde belirtilen değer olan 250 °C/W alınmıştır [83] .

Bu durumda jonksiyon sıcaklığı 150 °C olarak hesaplanmıştır ve buna karşılık gelen sıcaklık faktörü 6,745692'dir.

G_M ortamı için $T_J = 50 + 250 * 0,5 = 175$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 8,695943'tür.

A_{IC} ortamı için $T_J = 60 + 250 * 0,46 = 175$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 8,695943'tür.

A_{UF} ortamı için $T_J = 75 + 250 * 0,4 = 175$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 8,695943'tür.

M_F ortamı için $T_J = 50 + 250 * 0,5 = 175$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 8,695943'tür.

π_S (Elektriksel Stres Faktörü) = 1,0

Elektriksel stres faktörü, diyota uygulanan ters gerilim ve uygulanabilecek maksimum ters gerilim değerleri arasındaki orana göre belirlenen bir parametredir. Uygulamada seviye değiştirici olarak kullanılan zener diyot için elektriksel stres faktörü 1,0 olarak belirlenmiştir.

π_C (Kontakt Yapı Faktörü) = 1,0

Kontakt yapı faktörü, düşük frekans diyotlar için kontakt noktası yapısına göre değişkenlik göstermektedir. Ürün veri föyünde belirtildiği üzere söz konusu diyot metalürjik bağa sahiptir [83].

π_Q (Kalite Faktörü) = 5,5

Söz konusu bileşen, JANTXV, JANTX, JAN gibi askeri seviye spesifikasyonlara sahip olmayan, ticari bir üründür [83].

π_E (Çevre Faktörü)

Düşük frekans diyot bileşenler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B ortamı için çevre faktörü 1,0'dir.

G_M ortamı için çevre faktörü 9,0'dur.

A_{IC} ortamı için çevre faktörü 13,0'tür.

A_{UF} ortamı için çevre faktörü 43,0'tür.

M_F ortamı için çevre faktörü 14,0'tür.

14. 1N4148 (Diyot, Düşük Frekans, MIL-HDBK-217FN2 Bölüm 6.1)

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_S \pi_C \pi_Q \pi_E \quad (15)$$

λ_P :	Bileşen hata oranı
λ_b :	Temel hata oranı
π_T :	Sıcaklık faktörü
π_S :	Elektriksel stres faktörü
π_C :	Kontakt yapı faktörü
π_Q :	Kalite faktörü
π_E :	Çevre faktörü

1N4148	$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_S \pi_C \pi_Q \pi_E$
G_B	$0,009573 = 0,001 * 32,231030 * 0,054 * 1 * 5,5 * 1$
G_M	$0,103747 = 0,001 * 38,813030 * 0,054 * 1 * 5,5 * 9$
A_{IC}	$0,160836 = 0,001 * 41,656492 * 0,054 * 1 * 5,5 * 13$
A_{UF}	$0,591116 = 0,001 * 46,285798 * 0,054 * 1 * 5,5 * 43$
M_F	$0,161385 = 0,001 * 38,813030 * 0,054 * 1 * 5,5 * 14$

λ_b (Temel Hata Oranı) = 0,001

Düşük frekans diyotlar için temel hata oranı diyot tipi / uygulamasına göre belirlenmektedir. Bileşenin tipi anahtarlama diyotudur.

π_T (Sıcaklık Faktörü)

Söz konusu Zener diyotun jonksiyon sıcaklığı (2) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

G_B ortamı için bileşenin kılıf sıcaklığı olarak ortam sıcaklığı olan 25 °C, en kötü şartlar altındaki güç kaybı ise bileşene ait veri föyünde belirtilen 0,5 W, jonksiyon-kılıf arası ısıl rezistans parametresi ise yine veri föyünde belirtilen değer olan 300 °C/W alınmıştır [84]. Bu durumda jonksiyon sıcaklığı 175 °C olarak hesaplanmıştır ve buna karşılık gelen sıcaklık faktörü 32,231030'dur.

G_M ortamı için $T_J = 50 + 300 * 0,458 = 187,4$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 38,813030'dur.

A_{IC} ortamı için $T_J = 60 + 300 * 0,441 = 192,3$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 41,656492'dir.

A_{UF} ortamı için $T_J = 75 + 300 \cdot 0,416 = 199,8$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 46,285798'dir.

M_F ortamı için $T_J = 50 + 300 \cdot 0,458 = 187,4$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 38,813030'dur.

π_S (Elektriksel Stres Faktörü) = 0,054

Elektriksel stres faktörü, diyota uygulanan ters gerilim ve uygulanabilecek maksimum ters gerilim değerleri arasındaki orana göre belirlenen bir parametredir. Veri föyüne göre 75 V uygulanabilecek maksimum ters gerilime sahip [84] diyot için bu oran 0,3 değerinden daha az olacağı ön görülmüştür.

π_C (Kontakt Yapı Faktörü) = 1,0

Kontakt yapı faktörü, düşük frekans diyotlar için kontakt noktası yapısına göre değişkenlik göstermektedir. Ürün veri föyünde belirtildiği üzere söz konusu diyot metalürjik bağa sahiptir [84].

π_Q (Kalite Faktörü) = 5,5

Söz konusu bileşen, JANTXV, JANTX, JAN gibi askeri seviye spesifikasyonlara sahip olmayan, ticari bir üründür [84].

π_E (Çevre Faktörü)

Düşük frekans diyot bileşenler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B ortamı için çevre faktörü 1,0'dir.

G_M ortamı için çevre faktörü 9,0'dur.

A_{IC} ortamı için çevre faktörü 13,0'tür.

A_{UF} ortamı için çevre faktörü 43,0'tür.

M_F ortamı için çevre faktörü 14,0'tür.

15. Kapasitörler (Kapasitör, MIL-HDBK-217FN2 Bölüm 10.1)

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_C \pi_V \pi_{SR} \pi_Q \pi_E \quad (16)$$

λ_P : Bileşen hata oranı

λ_b : Temel hata oranı

π_T :	Sıcaklık faktörü
π_C :	Kapasite faktörü
π_V :	Gerilim stres faktörü
π_{SR} :	Seri direnç faktörü
π_Q :	Kalite faktörü
π_E :	Çevre faktörü

Kapasitörler	$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_C \pi_V \pi_{SR} \pi_Q \pi_E$
G_B	$0,031574 = 0,0020 * 1 * 1 * 1,578704 * 1 * 10 * 1$
G_M	$1,813514 = 0,0020 * 2,871841 * 1 * 1,578704 * 1 * 10 * 20$
A_{IC}	$1,587356 = 0,0020 * 4,189503 * 1 * 1,578704 * 1 * 10 * 12$
A_{UF}	$6,713437 = 0,0020 * 7,087499 * 1 * 1,578704 * 1 * 10 * 30$
M_F	$1,813514 = 0,0020 * 2,871841 * 1 * 1,578704 * 1 * 10 * 20$

λ_b (Temel Hata Oranı) = 0,0020

Kapasitörler için temel hata oranı kapasitörün tipine göre belirlenmektedir. Modülde kullanılan bütün kapasitörler için sabit değerli ve seramik dielektrikli tipte kapasitörler kullanılmıştır.

π_T (Sıcaklık Faktörü)

Kapasitörler için sıcaklık faktörü, ortam sıcaklığına göre belirlenmektedir. G_B ortam sıcaklığı olan 25 °C'ye karşılık gelen değer 1,0'dır.

G_M ortamı için 50 °C'ye karşılık gelen değer 2,871841'dir.

A_{IC} ortamı için 60 °C'ye karşılık gelen değer 4,189503'tür.

A_{UF} ortamı için 75 °C'ye karşılık gelen değer 7,087499'dur.

M_F ortamı için 50 °C'ye karşılık gelen değer 2,871841'dir.

π_C (Kapasite Faktörü) = 1,0

Kapasite faktörü, kapasitörün kapasitesine göre belirlenmektedir. Modülde kullanılan kapasitörler, dekaplaj, DC blok gibi farklı amaçlarla kullanılmakta olup pek çok farklı değere sahip olabilmektedir. Kapasite değeri olarak bütün kapasitörler için ortalama bir değer olan 1 uF değeri kullanılmıştır. 1 uF değerine karşılık gelen kapasite faktörü 1,0'dır.

$$\pi_V \text{ (Gerilim Stres Faktörü)} = 1,578704$$

Kapasitörler için gerilim stres faktörü, kapasitörün uçları arasına uygulanan gerilim ve anma gerilimleri arasındaki oran ile belirlenmektedir. Modülde kullanılan bütün kapasitörler için ortalama bir değer olan 0,5 değeri alınmıştır. 0,5'e karşılık gelen gerilim stres faktörü değeri 1,58'dir.

$$\pi_{SR} \text{ (Seri Direnç Faktörü)} = 1,0$$

Seri direnç faktörü tantalum kapasitörler için geçerli olan bir hata oranı parametresidir. Söz konusu kapasitörler tantalum olmadığından seri direnç faktörü 1,0 değerini almaktadır.

$$\pi_Q \text{ (Kalite Faktörü)} = 10,0$$

Kullanılan kapasitörler, belirlenmiş güvenilirlik kategorilerine sahip olmayan, ticari ürünlerdir.

$$\pi_E \text{ (Çevre Faktörü)}$$

Kapasitörler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B ortamı için çevre faktörü 1,0'dir.

G_M ortamı için çevre faktörü 20,0'dir.

A_{IC} ortamı için çevre faktörü 12,0'dir.

A_{UF} ortamı için çevre faktörü 30,0'dur.

M_F ortamı için çevre faktörü 20,0'dir.

16. Dirençler (Direnç, MIL-HDBK-217FN2 Bölüm 9.1)

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_P \pi_S \pi_Q \pi_E \quad (17)$$

λ_P :	Bileşen hata oranı
λ_b :	Temel hata oranı
π_T :	Sıcaklık faktörü
π_P :	Güç faktörü
π_S :	Güç stres faktörü
π_Q :	Kalite faktörü
π_E :	Çevre faktörü

Dirençler	$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_P \pi_S \pi_Q \pi_E$
G_B	$0,018549 = 0,0037 * 1 * 0,407380 * 1,230610 * 10 * 1$
G_M	$0,377715 = 0,0037 * 1,272689 * 0,407380 * 1,230610 * 10 * 16$
A_{IC}	$0,463237 = 0,0037 * 1,387422 * 0,407380 * 1,230610 * 10 * 18$
A_{UF}	$1,247926 = 0,0037 * 1,564582 * 0,407380 * 1,230610 * 10 * 43$
M_F	$0,873466 = 0,0037 * 1,272689 * 0,407380 * 1,230610 * 10 * 37$

λ_b (Temel Hata Oranı) = 0,0037

Dirençler için temel hata oranı direncin tipine göre belirlenmektedir. Modülde kullanılan bütün dirençler sabit değerli, ince filmli çip dirençlerdir.

π_T (Sıcaklık Faktörü)

Dirençler için sıcaklık faktörü, ortam sıcaklığına göre belirlenmektedir. G_B ortam sıcaklığı olan 25 °C'ye karşılık gelen değer 1,0'dır.

G_M ortamı için 50 °C'ye karşılık gelen değer 1,272689'dur.

A_{IC} ortamı için 60 °C'ye karşılık gelen değer 1,387422'dir.

A_{UF} ortamı için 75 °C'ye karşılık gelen değer 1,564582'dir.

M_F ortamı için 50 °C'ye karşılık gelen değer 1,272689'dur.

π_P (Güç Faktörü) = 0,407380

Dirençler için güç faktörü, direncin güç yitimi ile belirlenmektedir. Modülde kullanılan bütün dirençler için ortalama bir değer olan 0,1 W değeri alınmıştır. 0,1 W'a karşılık gelen güç faktörü değeri 0,407380 olmaktadır.

π_S (Güç Stres Faktörü) = 1,230610

Dirençler için güç stres faktörü, direncin güç yitimi ve anma gücü arasındaki oran ile belirlenmektedir. Modülde kullanılan bütün dirençler için ortalama bir değer olan 0,5 değeri alınmıştır. 0,5'e karşılık gelen güç stres faktörü değeri 1,230610'dur.

π_Q (Kalite Faktörü) = 10,0

Kullanılan dirençler, belirlenmiş güvenilirlik kategorilerine sahip olmayan, ticari ürünlerdir.

π_E (Çevre Faktörü)

Dirençler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B ortamı için çevre faktörü 1,0'dır.

G_M ortamı için çevre faktörü 16,0'dır.

A_{IC} ortamı için çevre faktörü 18,0'dır.

A_{UF} ortamı için çevre faktörü 43,0'tür.

M_F ortamı için çevre faktörü 37,0'dır.

17. Bobinler (Endüktif Cihazlar, Bobin, MIL-HDBK-217FN2 Bölüm 11.2)

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_Q \pi_E \quad (18)$$

λ_P :	Bileşen hata oranı
λ_b :	Temel hata oranı
π_T :	Sıcaklık faktörü
π_Q :	Kalite faktörü
π_E :	Çevre faktörü

Bobinler	$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_Q \pi_E$
G_B	0,000090=0,00003*1*3*1
G_M	0,001505=0,00003*1,393135*3*12
A_{IC}	0,000847=0,00003*1,568689*3*6
A_{UF}	0,001499=0,00003*1,850537*3*9
M_F	0,001630=0,00003*1,393135*3*13

$$\lambda_b \text{ (Temel Hata Oranı)} = 0,00003$$

Bobinle için temel hata oranı bobinin değişken ya da sabit değerli olmasına göre belirlenmektedir. Modülde kullanılan bobinler sabit değerlidir.

π_T (Sıcaklık Faktörü)

Bobinler için sıcaklık faktörü, ortam sıcaklığına göre belirlenmektedir. G_B ortam sıcaklığı olan 25 °C'ye karşılık gelen değer 1,0'dır.

G_M ortamı için 50 °C'ye karşılık gelen değer 1,393135'tir.

A_{IC} ortamı için 60 °C'ye karşılık gelen değer 1,568689'dur.

A_{UF} ortamı için 75 °C'ye karşılık gelen değer 1,850537'tir.

M_F ortamı için 50 °C'ye karşılık gelen değer 1,393135'tir.

π_Q (Kalite Faktörü) = 3,0

Kullanılan bobinler, belirlenmiş güvenilirlik kategorilerine sahip olmayan, ticari ürünlerdir.

π_E (Çevre Faktörü)

Bobinler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B ortamı için çevre faktörü 1,0'dir.

G_M ortamı için çevre faktörü 12,0'dir.

A_{IC} ortamı için çevre faktörü 6,0'dır.

A_{UF} ortamı için çevre faktörü 9,0'dur.

M_F ortamı için çevre faktörü 13,0'tür.

18. PE4370 (Konnektör, RF Koaksiyel, MIL-HDBK-217FN2 Bölüm 15.1)

Konnektörler için hata oranı değeri eşleniği olduğu durumlar için aşağıdaki formüle göre hesaplanmakta iken eşleniği olmayan konnektörler için bu değer yarısı alınmaktadır. Bu konnektör için hata oranı eşleniği olmadığı duruma göre hesaplanmıştır. Eşleniği ise farklı bir birimde yer almaktadır.

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_K \pi_Q \pi_E \quad (19)$$

λ_P :	Bileşen hata oranı
λ_b :	Temel hata oranı
π_T :	Sıcaklık faktörü
π_K :	Eşleşme/eşleşmeme faktörü
π_Q :	Kalite faktörü
π_E :	Çevre faktörü

PE4370	$\lambda_P = 0,5 * \lambda_b \pi_T \pi_K \pi_Q \pi_E$
G_B	0,000224 = 0,5*0,00041*1,094138*1*1*1
G_M	0,002700 = 0,5*0,00041*1,646511*1*1*8
A_{IC}	0,001172 = 0,5*0,00041*1,906381*1*1*3
A_{UF}	0,005752 = 0,5*0,00041*2,338387*1*1*12
M_F	0,003375 = 0,5*0,00041*1,646511*1*1*10

$$\lambda_b \text{ (Temel Hata Oranı)} = 0,00041$$

Konnektörler için temel hata oranı konnektörün tipine göre belirlenmektedir. Söz konusu konnektör RF koaksiyel tipte bir konnektördür.

$$\pi_T \text{ (Sıcaklık Faktörü)}$$

Sıcaklık faktörü, konnektörler için ortam sıcaklığına ilave olarak gelen bir ΔT parametresi ile belirlenmektedir. Yüksek güçlü uygulamalarda kullanılmayan RF koaksiyel konnektörler için bu değer 5 °C'dir ve G_B ortam sıcaklığı ile beraber 30 °C'ye yükselen sıcaklığa karşılık gelen sıcaklık faktörü 1,094138 olmaktadır.

G_M ortamı için 55 °C'ye yükselen sıcaklığa karşılık gelen sıcaklık faktörü değeri 1,646511'dir.

A_{IC} ortamı için 65 °C'ye yükselen sıcaklığa karşılık gelen sıcaklık faktörü değeri 1,906381'dir.

A_{UF} ortamı için 80 °C'ye yükselen sıcaklığa karşılık gelen sıcaklık faktörü değeri 2,338387'dir.

M_F ortamı için 55 °C'ye yükselen sıcaklığa karşılık gelen sıcaklık faktörü değeri 1,646511'dir.

$$\pi_K \text{ (Eşleşme/Eşleşmeme Faktörü)} = 1,0$$

Eşleşme/eşleşmeme faktörü konnektörün karşılığı ile olan eşleşip eşleşmeme sıklığıdır. 1000 saatte 0 ve 0,05 arası bir sıklık ile birbirlerine bağlanıp bağlantının koparıldığı varsayılmıştır.

$$\pi_Q \text{ (Kalite Faktörü)} = 1,0$$

Söz konusu konnektör, MIL-STD-348 askeri kalite spesifikasyonlarına sahip bir bileşendir [85].

$$\pi_E \text{ (Çevre Faktörü)}$$

Konnektörler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B ortamı için çevre faktörü 1,0'dir.

G_M ortamı için çevre faktörü 8,0'dir.

A_{IC} ortamı için çevre faktörü 3,0'tür.

A_{UF} ortamı için çevre faktörü 12,0'dir.

M_F ortamı için çevre faktörü 10,0'dur.

19. HH50A20-7P-125-125-02 (Konnektör, Dikdörtgen, MIL-HDBK-217FN2 Bölüm 15.1)

Konnektörler için hata oranı değeri eşleniği olduğu durumlar için aşağıdaki formüle göre hesaplanmakta iken eşleniği olmayan konnektörler için bu değerin yarısı alınmaktadır. Bu konnektör için hata oranı eşleniği olmadığı duruma göre hesaplanmıştır. Eşleniği ise farklı bir birimde yer almaktadır.

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_K \pi_Q \pi_E \quad (20)$$

λ_P :	Bileşen hata oranı
λ_b :	Temel hata oranı
π_T :	Sıcaklık faktörü
π_K :	Eşleşme/eşleşmeme faktörü
π_Q :	Kalite faktörü
π_E :	Çevre faktörü

PE4370	$\lambda_P = 0,5 * \lambda_b \pi_T \pi_K \pi_Q \pi_E$
G_B	$0,046846 = 0,5 * 0,046 * 1,018401 * 1 * 2 * 1$
G_M	$0,569973 = 0,5 * 0,046 * 1,548840 * 1 * 2 * 8$
A_{IC}	$0,248364 = 0,5 * 0,046 * 1,799737 * 1 * 2 * 3$
A_{UF}	$1,224464 = 0,5 * 0,046 * 2,218232 * 1 * 2 * 12$
M_F	$0,712466 = 0,5 * 0,046 * 1,548840 * 1 * 2 * 10$

$$\lambda_b \text{ (Temel Hata Oranı)} = 0,046$$

Konnektörler için temel hata oranı konnektörün tipine göre belirlenmektedir. Söz konusu konnektör dikdörtgen tipte bir konnektördür.

π_T (Sıcaklık Faktörü)

Sıcaklık faktörü, konnektörler için ortam sıcaklığına ilave olarak gelen bir ΔT parametresi ile belirlenmektedir. Bu değer de konnektör pinlerinden geçen akım ve konnektör pin çapı ile belirlenmektedir. Maksimum 1A'lık akım için hesaplanan ΔT değeri 1 °C olmaktadır. G_B

ortam sıcaklığı ile beraber 26 °C'ye yükselen sıcaklığa karşılık gelen sıcaklık faktörü de 1,018401'e karşılık gelmektedir.

G_M ortamı için 51 °C'ye yükselen sıcaklığa karşılık gelen sıcaklık faktörü değeri 1,548840'tır.

A_{IC} ortamı için 61 °C'ye yükselen sıcaklığa karşılık gelen sıcaklık faktörü değeri 1,799737'dir.

A_{UF} ortamı için 76 °C'ye yükselen sıcaklığa karşılık gelen sıcaklık faktörü değeri 2,218232'dir.

M_F ortamı için 51 °C'ye yükselen sıcaklığa karşılık gelen sıcaklık faktörü değeri 1,548840'tır.

π_K (Eşleşme/Eşleşmeme Faktörü) = 1,0

Eşleşme/eşleşmeme faktörü konnektörün karşılığı ile olan eşleşip eşleşmeme sıklığıdır, 1000 saatte 0 ve 0,05 arası bir sıklık ile birbirlerine bağlanıp bağlantının koparıldığı varsayılmıştır.

π_Q (Kalite Faktörü) = 2,0

Söz konusu konnektör, askeri kalite spesifikasyonlarına sahip olmayan, ticari bir üründür [86].

π_E (Çevre Faktörü)

Konnektörler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B ortamı için çevre faktörü 1,0'dir.

G_M ortamı için çevre faktörü 8,0'dir.

A_{IC} ortamı için çevre faktörü 3,0'tür.

A_{UF} ortamı için çevre faktörü 12,0'dir.

M_F ortamı için çevre faktörü 10,0'dur.

20. BC817 (Transistör, Düşük Frekans Bipolar, MIL-HDBK-217FN2 Bölüm 6.3)

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_R \pi_S \pi_Q \pi_E \quad (21)$$

λ_P : Bileşen hata oranı

λ_b : Temel hata oranı

π_T : Sıcaklık faktörü

π_A :	Uygulama faktörü
π_R :	Güç derecelendirme faktörü
π_S :	Gerilim stres faktörü
π_Q :	Kalite faktörü
π_E :	Çevre faktörü

BC817	$\lambda_P = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_R \pi_S \pi_Q \pi_E$
G_B	$0,000116 = 0,00074 * 1,714156 * 0,7 * 0,43 * 0,055388 * 5,5 * 1$
G_M	$0,001678 = 0,00074 * 2,746992 * 0,7 * 0,43 * 0,055388 * 5,5 * 9$
A_{IC}	$0,002557 = 0,00074 * 2,898798 * 0,7 * 0,43 * 0,055388 * 5,5 * 13$
A_{UF}	$0,010342 = 0,00074 * 3,544692 * 0,7 * 0,43 * 0,055388 * 5,5 * 43$
M_F	$0,002610 = 0,00074 * 2,746992 * 0,7 * 0,43 * 0,055388 * 5,5 * 14$

λ_b (Temel Hata Oranı) = 0,00074

Düşük frekans bipolar transistörler için temel hata oranı tek değer almaktadır.

π_T (Sıcaklık Faktörü)

Söz konusu BJT'nin jonksiyon sıcaklığı (2) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

G_B için bileşenin kılıf sıcaklığı olarak ortam sıcaklığı olan 25 °C, en kötü şartlar altındaki güç kaybı ise bileşene ait veri föyünde belirtilen 0,35 W olarak alınmıştır [20]. Jonksiyon-kılıf arası ısıl rezistans parametresi ise veri föyünde belirtilmemiş olduğundan, standarttaki varsayılan değer olan 70 °C/W alınmıştır. Bu durumda jonksiyon sıcaklığı 49,5 °C olarak hesaplanmıştır ve buna karşılık gelen sıcaklık faktörü 1,714156'dır.

G_M ortamı için $T_J = 50 + 70 * 0,35 = 74,5$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 2,746992'dir.

A_{IC} ortamı için $T_J = 60 + 70 * 0,252 = 77,6$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 2,898798'dir.

A_{UF} ortamı için $T_J = 75 + 70 * 0,21 = 89,7$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 3,544692'dir.

M_F ortamı için $T_J = 50 + 70 * 0,35 = 69,6$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 2,746992'dir.

$$\pi_A (\text{Uygulama Faktörü}) = 0,7$$

Düşük frekans bipolar transistörler için uygulama faktörü, sistemdeki uygulamasına göre belirlenmektedir. Söz konusu BJT, bir anahtarlama uygulamasında kullanılmıştır.

$$\pi_R (\text{Güç Derecesi Faktörü}) = 0,43$$

Düşük frekans bipolar transistörler için güç derecesi faktörü transistörün uygulamadaki gücü ile belirlenmektedir. 0,1W'tan küçük olduğu değerlendirilmiş olup, karşılık gelen güç derecesi faktörü 0,43 olmaktadır.

$$\pi_S (\text{Gerilim Stres Faktörü}) = 0,055388$$

Düşük frekans bipolar transistörler için gerilim stres faktörü, bileşene uygulanan kollektör-emiter gerilimi ile bazın açık devre bırakıldığı durumdaki kollektör-emiter geriliminin oranına göre belirlenmektedir. Veri föyünde belirtildiği üzere, bazın açık devre bırakıldığı durumdaki kollektör-emiter gerilimi 45 V olmaktadır. Uygulamada ise 3V'luk bir kollektör-emiter gerilimi oluşturulmaktadır. Bu ikisinin oranına karşılık gelen oran 6,7'dir. 6,7 oranına karşılık gelen gerilim stres faktörü ise 0,055388 olmaktadır.

$$\pi_Q (\text{Kalite Faktörü}) = 5,5$$

Söz konusu bileşen JANTXV, JANTX, JAN gibi askeri seviye spesifikasyonlara sahip olmayan, ticari bir üründür [87].

$$\pi_E (\text{Çevre Faktörü})$$

Düşük frekans bipolar transistörler için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B ortamı için çevre faktörü 1,0'dir.

G_M ortamı için çevre faktörü 9,0'dur.

A_{IC} ortamı için çevre faktörü 13,0'tür.

A_{UF} ortamı için çevre faktörü 43,0'tür.

M_F ortamı için çevre faktörü 14,0'tür.

21. AD8675 (Tümleşik Devre, Doğrusal, MIL-HDBK-217FN2 Bölüm 5.1)

$$\lambda_P = (C_1\pi_T + C_2\pi_E)\pi_Q\pi_L \quad (22)$$

λ_P : Bileşen hata oranı

C_1 :	Ürün karmaşıklığı hata oranı
π_T :	Sıcaklık faktörü
C_2 :	Ürün hata oranı
π_E :	Çevre faktörü
π_Q :	Kalite faktörü
π_L :	Öğrenme faktörü

AD8675	$\lambda_P = (C_1\pi_T + C_2\pi_E)\pi_Q\pi_L$
G_B	$0,029146 = (0,01*0,121394+0,003401*0,5)*10*1$
G_M	$0,219722 = (0,01*0,836719+0,003401*4)*10*1$
A_{IC}	$0,303131 = (0,01*1,670810+0,003401*4)*10*1$
A_{UF}	$0,709921 = (0,01*4,378202+0,003401*8)*10*1$
M_F	$0,253735 = (0,01*0,836719+0,003401*5)*10*1$

C_1 (Ürün Karmaşıklığı Hata Oranı) = 0,01

Ürün karmaşıklığı hata oranı, mikro devrede bulunan transistör sayısı ile belirlenmektedir. Komponent üreticisi, söz konusu ürünün veri föyünde cihaza ait elektriksel şematik detaylarını paylaşmasa da OPAMP yapıları incelendiğinde, 100'den fazla aktif alt bileşen bulunmasının çok olası olmadığı, 1-100 arası aktif alt bileşen bulunduğu değerlendirilmektedir.

π_T (Sıcaklık Faktörü)

Söz konusu mikro devrenin jonksiyon sıcaklığı (2) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

G_B için bileşenin kılıf sıcaklığı olarak ortam sıcaklığı olan 25 °C, jonksiyon-kılıf arası ısı iletkenliği parametresi ise veri föyünde belirtilen 45 °C/W alınmıştır [21]. En kötü şartlar altındaki güç kaybı ise veri föyünde bulunmamaktadır. OPAMP'ın harcayacağı güç, besleme gerilimleri ve veri föyünde belirtilen nominal besleme akımı göz önünde bulundurulduğunda 0,05 W'ı geçmeyeceği düşünülmektedir. Bu durumda jonksiyon sıcaklığı 27,3 °C olarak hesaplanmıştır ve buna karşılık gelen sıcaklık faktörü 0,121394'tür.

G_M ortamı için $T_J = 50 + 45 * 0,05 = 52,3$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 0,836719'dur.

A_{IC} ortamı için $T_J = 60 + 45 * 0,05 = 62,3$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 1,670810'dur.

A_{UF} ortamı için $T_J=75+45*0,05=77,3$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 4,378202'dir.

M_F ortamı için $T_J= 50+45*0,05=52,3$ °C olarak hesaplanmıştır. Buna karşı gelen sıcaklık faktörü 0,836719'dur.

$$C_2 \text{ (Paketleme Hata Oranı)} = 0,003401$$

Ürünün 8 adet aktif pin sayısına sahip olduğu ve hermetik olmayan, yüzey montaj teknolojisine (SMT) uygun bir pakete sahip olduğu veri föyünde belirtilmektedir [88].

$$\pi_E \text{ (Çevre Faktörü)}$$

Doğrusal mikro devre bileşenler için için ortama göre çevre faktörleri aşağıdaki gibidir:

G_B ortamı için çevre faktörü 0,5'tir.

G_M ortamı için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{IC} ortamı için çevre faktörü 4,0'tür.

A_{UF} ortamı için çevre faktörü 8,0'dir.

M_F ortamı için çevre faktörü 5,0'tir.

$$\pi_Q \text{ (Kalite Faktörü)} = 10,0$$

Söz konusu bileşen standartta belirtilen herhangi bir askeri mikro devre spesifikasyonuna sahip olmayan, ticari bir üründür [88].

$$\pi_L \text{ (Öğrenme Faktörü)} = 1,0$$

Söz konusu OPAMP tipindeki jenerik entegre devrelerin üretimlerinin 2 yıldan çok daha uzun sürelerden beri gerçekleştirildiği bilinmektedir.

EK-2: PTC YAZILIMI RAPORLARI



File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 0,367046
MTBF (hrs): 2.724.453
Temperature: 25
Environment: GB, GC - Ground Benign, Controlled

Part Number	Reference Designator	Specific Part Data	Failure Rate
CE3512K2		Qual: Commercial, Appl: Low Power or Pulsed, Matching: Both Input and Output, Avg Pwr: 0,050, Freq: 10,000, OpPwr: 0,125, ThRes: 70,000, TRise: 8,8	0,040036
HMC558ALC3B		Complex: 1-100, Appl: Low Noise and Low Power, Qual: Commercial, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,495, ThRes: 180,000, TRise: 89,1	0,009653
MCH4016		Qual: Commercial, OpVt: 5,00, RtVt: 12,00, V S/R: 41,7, RtPwr: 0,050, OpPwr: 0,350, ThRes: 70,000, TRise: 24,5	0,010874
HMC347ALP3ETR		Complex: 1-100, Appl: Low Noise and Low Power, Qual: Commercial, Pins: 12, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,050, ThRes: 200,000, TRise: 10,0	0,004216
74HC04D		Type: MOS, Qual: Commercial, Gates: 6, Pins: 14, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,500, ThRes: 28,000, Junct: Case, TRise: 14,0	0,003965
SYBP-675+		Qual: Commercial, Comp: Discrete LC, MIL-F-15733	0,000000
HMC346ALP3E		Complex: 1-100, Appl: Low Noise and Low Power, Qual: Commercial, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,200, ThRes: 10,000, TRise: 2,0	0,001731
LT3042		Qual: Commercial, Xstrs: 90, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,590, ThRes: 35,000, TRise: 20,6	0,005842
LT3045		Qual: Commercial, Xstrs: 90, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 1,000, ThRes: 35,000, TRise: 35,0	0,013174
MAX1044		Qual: Commercial, Xstrs: 90, Pins: 8, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,727, ThRes: 28,000, TRise: 20,4	0,010821
MADL-011010-01340W		Qual: Commercial, Diode: PIN, RtPwr: 4,000, OpPwr: 4,000, ThRes: 34,000, TRise: 136,0	0,036855
MADL-011085-14210W		Qual: Commercial, Diode: PIN, RtPwr: 3,000, OpPwr: 3,000, ThRes: 25,000, TRise: 75,0	0,016704
1N4689		Qual: Commercial, Diode: Voltage Regulator, Ref, Zener, Type: Metallurgically, OpPwr: 0,500, ThRes: 250,000, TRise: 125,0	0,002968
1N4148		Qual: Commercial, Diode: Switching, OpVt: 5,00, RtVt: 75,00, V S/R: 6,7, Type: Metallurgically, OpPwr: 0,500, ThRes: 300,000, Junct: Ambient, TRise: 150,0	0,000383
C		Qual: Commercial, Op DC: 2,00, RtVt: 4,00, V S/R: 50,0, Cap: 1,000, Units: uF	0,101037
R		Qual: Commercial, OpPwr: 0,100, RtPwr: 0,200, P S/R: 50,0, Type: Chip (RM)	0,103875

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 0,367046
MTBF (hrs): 2.724.453
Temperature: 25
Environment: GB, GC - Ground Benign, Controlled

Part Number	Reference Designator	Specific Part Data	Failure Rate
L		Qual: Commercial, Type: Load	0,000000
PE4370		Qual: Mil-Spec, Pair: Single Connector, Cnc Type: RF Coaxial, Cycles: 0 to 0.05, TRise: 5,0	0,000003
HH50A-7P-125-125-02		Qual: Commercial, Pair: Single Connector, Cnc Type: Rectangular, Cycles: 0 to 0.05, Gauge: 22, Amps: 1,00, TRise: 1,0	0,000234
BC817		Qual: Commercial, Appl: Switching, OpVt: 3,00, RtVt: 45,00, V S/R: 6,7, S/RV2: 50,0, RtPwr: 0,050, OpPwr: 0,350, ThRes: 70,000, TRise: 24,5	0,000012
AD8675		Qual: Commercial, Xstrs: 20, Pins: 8, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,050, ThRes: 45,000, TRise: 2,3	0,004663

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 9,373414
MTBF (hrs): 106.685
Temperature: 50
Environment: GM - Ground Mobile

Part Number	Reference Designator	Specific Part Data	Failure Rate
CE3512K2		Qual: Commercial, Appl: Low Power or Pulsed, Matching: Both Input and Output, Avg Pwr: 0,050, Freq: 10,000, OpPwr: 0,100, ThRes: 70,000, TRise: 7,0	0,559454
HMC558ALC3B		Complex: 1-100, Appl: Low Noise and Low Power, Qual: Commercial, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,495, ThRes: 180,000, TRise: 89,1	0,135073
MCH4016		Qual: Commercial, OpVt: 5,00, RtVt: 12,00, V S/R: 41,7, RtPwr: 0,050, OpPwr: 0,280, ThRes: 70,000, TRise: 19,6	0,079869
HMC347ALP3ETR		Complex: 1-100, Appl: Low Noise and Low Power, Qual: Commercial, Pins: 12, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,050, ThRes: 200,000, TRise: 10,0	0,033739
74HC04D		Type: MOS, Qual: Commercial, Gates: 6, Pins: 14, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,500, ThRes: 28,000, Junct: Case, TRise: 14,0	0,023793
SYBP-675+		Qual: Commercial, Comp: Discrete LC, MIL-F-15733	0,000000
HMC346ALP3E		Complex: 1-100, Appl: Low Noise and Low Power, Qual: Commercial, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,200, ThRes: 10,000, TRise: 2,0	0,013852
LT3042		Qual: Commercial, Xstrs: 90, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,590, ThRes: 35,000, TRise: 20,6	0,036866
LT3045		Qual: Commercial, Xstrs: 90, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 1,000, ThRes: 35,000, TRise: 35,0	0,069508
MAX1044		Qual: Commercial, Xstrs: 90, Pins: 8, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,727, ThRes: 28,000, TRise: 20,4	0,067215
MADL-011010-01340W		Qual: Commercial, Diode: PIN, RtPwr: 4,000, OpPwr: 4,000, ThRes: 34,000, TRise: 136,0	0,239840
MADL-011085-14210W		Qual: Commercial, Diode: PIN, RtPwr: 3,000, OpPwr: 3,000, ThRes: 25,000, TRise: 75,0	0,118956
1N4689		Qual: Commercial, Diode: Voltage Regulator, Ref, Zener, Type: Metallurgically, OpPwr: 0,500, ThRes: 250,000, TRise: 125,0	0,034436
1N4148		Qual: Commercial, Diode: Switching, OpVt: 5,00, RtVt: 75,00, V S/R: 6,7, Type: Metallurgically, OpPwr: 0,458, ThRes: 300,000, Junct: Ambient, TRise: 137,4	0,004150
C		Qual: Commercial, Op DC: 2,00, RtVt: 4,00, V S/R: 50,0, Cap: 1,000, Units: uF	5,803245
R		Qual: Commercial, OpPwr: 0,100, RtPwr: 0,200, P S/R: 50,0, Type: Chip (RM)	2,115205

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 9,373414
MTBF (hrs): 106.685
Temperature: 50
Environment: GM - Ground Mobile

Part Number	Reference Designator	Specific Part Data	Failure Rate
L		Qual: Commercial, Type: Load	0,000000
PE4370		Qual: Mil-Spec, Pair: Single Connector, Cnc Type: RF Coaxial, Cycles: 0 to 0.05, TRise: 5,0	0,000041
HH50A-7P-125-125-02		Qual: Commercial, Pair: Single Connector, Cnc Type: Rectangular, Cycles: 0 to 0.05, Gauge: 22, Amps: 1,00, TRise: 1,0	0,002850
BC817		Qual: Commercial, Appl: Switching, OpVt: 3,00, RtVt: 45,00, V S/R: 6,7, S/RV2: 50,0, RtPwr: 0,050, OpPwr: 0,350, ThRes: 70,000, TRise: 24,5	0,000168
AD8675		Qual: Commercial, Xstrs: 20, Pins: 8, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,050, ThRes: 45,000, TRise: 2,3	0,035156

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 7,752516
MTBF (hrs): 128.990
Temperature: 60
Environment: AIC, AC - Airborne Inhabit Cargo,

Part Number	Reference Designator	Specific Part Data	Failure Rate
CE3512K2		Qual: Commercial, Appl: Low Power or Pulsed, Matching: Both Input and Output, Avg Pwr: 0,050, Freq: 10,000, OpPwr: 0,090, ThRes: 70,000, TRise: 6,3	0,779504
HMC558ALC3B		Complex: 1-100, Appl: Low Noise and Low Power, Qual: Commercial, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,495, ThRes: 180,000, TRise: 89,1	0,257706
MCH4016		Qual: Commercial, OpVt: 5,00, RtVt: 12,00, V S/R: 41,7, RtPwr: 0,050, OpPwr: 0,250, ThRes: 70,000, TRise: 17,5	0,088115
HMC347ALP3ETR		Complex: 1-100, Appl: Low Noise and Low Power, Qual: Commercial, Pins: 12, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,050, ThRes: 200,000, TRise: 10,0	0,025333
74HC04D		Type: MOS, Qual: Commercial, Gates: 6, Pins: 14, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,500, ThRes: 28,000, Junct: Case, TRise: 14,0	0,019051
SYBP-675+		Qual: Commercial, Comp: Discrete LC, MIL-F-15733	0,000000
HMC346ALP3E		Complex: 1-100, Appl: Low Noise and Low Power, Qual: Commercial, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,200, ThRes: 10,000, TRise: 2,0	0,010393
LT3042		Qual: Commercial, Xstrs: 90, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,590, ThRes: 35,000, TRise: 20,6	0,042504
LT3045		Qual: Commercial, Xstrs: 90, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 1,000, ThRes: 35,000, TRise: 35,0	0,084391
MAX1044		Qual: Commercial, Xstrs: 90, Pins: 8, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,727, ThRes: 28,000, TRise: 20,4	0,079788
MADL-011010-01340W		Qual: Commercial, Diode: PIN, RtPwr: 4,000, OpPwr: 4,000, ThRes: 34,000, TRise: 136,0	0,264416
MADL-011085-14210W		Qual: Commercial, Diode: PIN, RtPwr: 3,000, OpPwr: 3,000, ThRes: 25,000, TRise: 75,0	0,135379
1N4689		Qual: Commercial, Diode: Voltage Regulator, Ref, Zener, Type: Metallurgically, OpPwr: 0,460, ThRes: 250,000, TRise: 115,0	0,062176
1N4148		Qual: Commercial, Diode: Switching, OpVt: 5,00, RtVt: 75,00, V S/R: 6,7, Type: Metallurgically, OpPwr: 0,441, ThRes: 300,000, Junct: Ambient, TRise: 132,3	0,008042
C		Qual: Commercial, Op DC: 2,00, RtVt: 4,00, V S/R: 50,0, Cap: 1,000, Units: uF	5,079539
R		Qual: Commercial, OpPwr: 0,100, RtPwr: 0,200, P S/R: 50,0, Type: Chip (RM)	0,778238

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 7,752516
MTBF (hrs): 128.990
Temperature: 60
Environment: AIC, AC - Airborne Inhabit Cargo,

Part Number	Reference Designator	Specific Part Data	Failure Rate
L		Qual: Commercial, Type: Load	0,000000
PE4370		Qual: Mil-Spec, Pair: Single Connector, Cnc Type: RF Coaxial, Cycles: 0 to 0.05, TRise: 5,0	0,000018
HH50A-7P-125-125-02		Qual: Commercial, Pair: Single Connector, Cnc Type: Rectangular, Cycles: 0 to 0.05, Gauge: 22, Amps: 1,00, TRise: 1,0	0,001242
BC817		Qual: Commercial, Appl: Switching, OpVt: 3,00, RtVt: 45,00, V S/R: 6,7, S/RV2: 50,0, RtPwr: 0,050, OpPwr: 0,252, ThRes: 70,000, TRise: 17,6	0,000307
AD8675		Qual: Commercial, Xstrs: 20, Pins: 8, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,050, ThRes: 45,000, TRise: 2,3	0,036376

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 31,192962
MTBF (hrs): 32.059
Temperature: 75
Environment: AUF - Airborne Uninhab Fighter

Part Number	Reference Designator	Specific Part Data	Failure Rate
CE3512K2		Qual: Commercial, Appl: Low Power or Pulsed, Matching: Both Input and Output, Avg Pwr: 0,050, Freq: 10,000, OpPwr: 0,075, ThRes: 70,000, TRise: 5,3	3,948403
HMC558ALC3B		Complex: 1-100, Appl: Low Noise and Low Power, Qual: Commercial, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,495, ThRes: 180,000, TRise: 89,1	1,039103
MCH4016		Qual: Commercial, OpVt: 5,00, RtVt: 12,00, V S/R: 41,7, RtPwr: 0,050, OpPwr: 0,210, ThRes: 70,000, TRise: 14,7	0,323800
HMC347ALP3ETR		Complex: 1-100, Appl: Low Noise and Low Power, Qual: Commercial, Pins: 12, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,050, ThRes: 200,000, TRise: 10,0	0,050900
74HC04D		Type: MOS, Qual: Commercial, Gates: 6, Pins: 14, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,500, ThRes: 28,000, Junct: Case, TRise: 14,0	0,036557
SYBP-675+		Qual: Commercial, Comp: Discrete LC, MIL-F-15733	0,000000
HMC346ALP3E		Complex: 1-100, Appl: Low Noise and Low Power, Qual: Commercial, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,200, ThRes: 10,000, TRise: 2,0	0,020826
LT3042		Qual: Commercial, Xstrs: 90, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,590, ThRes: 35,000, TRise: 20,6	0,097290
LT3045		Qual: Commercial, Xstrs: 90, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 1,000, ThRes: 35,000, TRise: 35,0	0,185934
MAX1044		Qual: Commercial, Xstrs: 90, Pins: 8, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,727, ThRes: 28,000, TRise: 20,4	0,183991
MADL-011010-01340W		Qual: Commercial, Diode: PIN, RtPwr: 4,000, OpPwr: 4,000, ThRes: 34,000, TRise: 136,0	0,911329
MADL-011085-14210W		Qual: Commercial, Diode: PIN, RtPwr: 3,000, OpPwr: 3,000, ThRes: 25,000, TRise: 75,0	0,487460
1N4689		Qual: Commercial, Diode: Voltage Regulator, Ref, Zener, Type: Metallurgically, OpPwr: 0,400, ThRes: 250,000, TRise: 100,0	0,205659
1N4148		Qual: Commercial, Diode: Switching, OpVt: 5,00, RtVt: 75,00, V S/R: 6,7, Type: Metallurgically, OpPwr: 0,416, ThRes: 300,000, Junct: Ambient, TRise: 124,8	0,029556
C		Qual: Commercial, Op DC: 2,00, RtVt: 4,00, V S/R: 50,0, Cap: 1,000, Units: uF	21,482998
R		Qual: Commercial, OpPwr: 0,100, RtPwr: 0,200, P S/R: 50,0, Type: Chip (RM)	2,096516

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 31,192962
MTBF (hrs): 32.059
Temperature: 75
Environment: AUF - Airborne Uninhab Fighter

Part Number	Reference Designator	Specific Part Data	Failure Rate
L		Qual: Commercial, Type: Load	0,000000
PE4370		Qual: Mil-Spec, Pair: Single Connector, Cnc Type: RF Coaxial, Cycles: 0 to 0.05, TRise: 5,0	0,000086
HH50A-7P-125-125-02		Qual: Commercial, Pair: Single Connector, Cnc Type: Rectangular, Cycles: 0 to 0.05, Gauge: 22, Amps: 1,00, TRise: 1,0	0,006122
BC817		Qual: Commercial, Appl: Switching, OpVt: 3,00, RtVt: 45,00, V S/R: 6,7, S/RV2: 50,0, RtPwr: 0,050, OpPwr: 0,210, ThRes: 70,000, TRise: 14,7	0,001241
AD8675		Qual: Commercial, Xstrs: 20, Pins: 8, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,050, ThRes: 45,000, TRise: 2,3	0,085191

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 131,993547
MTBF (hrs): 7.576
Temperature: 50
Environment: MF - Missile Flight

Part Number	Reference Designator	Specific Part Data	Failure Rate
CE3512K2		Qual: Commercial, Appl: Low Power or Pulsed, Matching: Both Input and Output, Avg Pwr: 0,050, Freq: 10,000, OpPwr: 0,100, ThRes: 70,000, TRise: 7,0	20,140336
HMC558ALC3B		Complex: 1-100, Appl: Low Noise and Low Power, Qual: Commercial, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,495, ThRes: 180,000, TRise: 89,1	1,731690
MCH4016		Qual: Commercial, OpVt: 5,00, RtVt: 12,00, V S/R: 41,7, RtPwr: 0,050, OpPwr: 0,280, ThRes: 70,000, TRise: 19,6	2,875271
HMC347ALP3ETR		Complex: 1-100, Appl: Low Noise and Low Power, Qual: Commercial, Pins: 12, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,050, ThRes: 200,000, TRise: 10,0	0,527142
74HC04D		Type: MOS, Qual: Commercial, Gates: 6, Pins: 14, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,500, ThRes: 28,000, Junct: Case, TRise: 14,0	0,359658
SYBP-675+		Qual: Commercial, Comp: Discrete LC, MIL-F-15733	2,436000
HMC346ALP3E		Complex: 1-100, Appl: Low Noise and Low Power, Qual: Commercial, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,200, ThRes: 10,000, TRise: 2,0	0,216426
LT3042		Qual: Commercial, Xstrs: 90, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,590, ThRes: 35,000, TRise: 20,6	0,504107
LT3045		Qual: Commercial, Xstrs: 90, Pins: 10, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 1,000, ThRes: 35,000, TRise: 35,0	0,912138
MAX1044		Qual: Commercial, Xstrs: 90, Pins: 8, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,727, ThRes: 28,000, TRise: 20,4	0,908214
MADL-011010-01340W		Qual: Commercial, Diode: PIN, RtPwr: 4,000, OpPwr: 4,000, ThRes: 34,000, TRise: 136,0	10,792792
MADL-011085-14210W		Qual: Commercial, Diode: PIN, RtPwr: 3,000, OpPwr: 3,000, ThRes: 25,000, TRise: 75,0	5,353015
1N4689		Qual: Commercial, Diode: Voltage Regulator, Ref, Zener, Type: Metallurgically, OpPwr: 0,500, ThRes: 250,000, TRise: 125,0	1,339175
1N4148		Qual: Commercial, Diode: Switching, OpVt: 5,00, RtVt: 75,00, V S/R: 6,7, Type: Metallurgically, OpPwr: 0,458, ThRes: 300,000, Junct: Ambient, TRise: 137,4	0,161385
C		Qual: Commercial, Op DC: 2,00, RtVt: 4,00, V S/R: 50,0, Cap: 1,000, Units: uF	58,032453
R		Qual: Commercial, OpPwr: 0,100, RtPwr: 0,200, P S/R: 50,0, Type: Chip (RM)	24,457055

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 131,993547
MTBF (hrs): 7.576
Temperature: 50
Environment: MF - Missile Flight

Part Number	Reference Designator	Specific Part Data	Failure Rate
L		Qual: Commercial, Type: Load	0,011410
PE4370		Qual: Mil-Spec, Pair: Single Connector, Cnc Type: RF Coaxial, Cycles: 0 to 0.05, TRise: 5,0	0,010126
HH50A-7P-125-125-02		Qual: Commercial, Pair: Single Connector, Cnc Type: Rectangular, Cycles: 0 to 0.05, Gauge: 22, Amps: 1,00, TRise: 1,0	0,712466
BC817		Qual: Commercial, Appl: Switching, OpVt: 3,00, RtVt: 45,00, V S/R: 6,7, S/RV2: 50,0, RtPwr: 0,050, OpPwr: 0,350, ThRes: 70,000, TRise: 24,5	0,005219
AD8675		Qual: Commercial, Xstrs: 20, Pins: 8, Type: Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT, Yrs: >=2.0, OpPwr: 0,050, ThRes: 45,000, TRise: 2,3	0,507470

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 0,367046
MTBF (hrs): 2.724.453
Temperature: 25
Environment: GB, GC - Ground Benign, Controlled

Part Number	Ref Des	Pi Q	Pi E	Pi T	Pi S	All Pi Factors	Failure Rate
CE3512K2		5,000000	1,000000	1,539860		$\pi A: 1,000000, \pi E: 1,000000, \pi M: 1,000000, \pi Q: 5,000000, \pi T: 1,539860, \lambda B: 0,052000$, Model Failure Rate: 0,400364	0,040036
HMC558ALC3B		10,00000	0,500000	0,002200		$\pi A: 1,000000, \pi E: 0,500000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,002200, C1: 4,500000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 0,120661	0,009653
MCH4016		5,000000	1,000000	1,714156	0,163917	$\pi E: 1,000000, \pi Q: 5,000000, \pi R: 0,430000, \pi S: 0,163917, \pi T: 1,714156, \lambda B: 0,180000$, Model Failure Rate: 0,108739	0,010874
HMC347ALP3ETR		10,00000	0,500000	0,000000		$\pi A: 1,000000, \pi E: 0,500000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 2,122861e-008, C1: 4,500000, C2: 0,005270$, Model Failure Rate: 0,026351	0,004216
74HC04D		10,00000	0,500000	0,184338		$\pi E: 0,500000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,184338, C1: 0,010000, C2: 0,006225$, Model Failure Rate: 0,049557	0,003965
SYBP-675+		2,900000	1,000000			$\pi E: 1,000000, \pi Q: 2,900000, \lambda B: 0,120000$, Model Failure Rate: 0,348000	0,000000
HMC346ALP3E		10,00000	0,500000	0,000000		$\pi A: 1,000000, \pi E: 0,500000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 4,703049e-009, C1: 4,500000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 0,021641	0,001731
LT3042		10,00000	0,500000	0,513806		$\pi E: 0,500000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,513806, C1: 0,010000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 0,073021	0,005842
LT3045		10,00000	0,500000	1,430357		$\pi E: 0,500000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 1,430357, C1: 0,010000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 0,164677	0,013174
MAX1044		10,00000	0,500000	0,506221		$\pi E: 0,500000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,506221, C1: 0,010000, C2: 0,003401$, Model Failure Rate: 0,067628	0,010821
MADL-011010-01340W		25,00000	1,000000	9,099962		$\pi A: 1,000000, \pi E: 1,000000, \pi Q: 25,000000, \pi R: 0,500000, \pi T: 9,099962, \lambda B: 0,008100$, Model Failure Rate: 0,921371	0,036855

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 0,367046
MTBF (hrs): 2.724.453
Temperature: 25
Environment: GB, GC - Ground Benign, Controlled

Part Number	Ref Des	Pi Q	Pi E	Pi T	Pi S	All Pi Factors	Failure Rate
MADL-011085-14210W		25,00000	1,000000	4,124534		$\pi A: 1,000000, \pi E: 1,000000, \pi Q: 25,000000, \pi R: 0,500000, \pi T: 4,124534, \lambda B: 0,008100$, Model Failure Rate: 0,417609	0,016704
1N4689		5,500000	1,000000	6,745692	1,000000	$\pi C: 1,000000, \pi E: 1,000000, \pi Q: 5,500000, \pi S: 1,000000, \pi T: 6,745692, \lambda B: 0,002000$, Model Failure Rate: 0,074203	0,002968
1N4148		5,500000	1,000000	32,23103	0,054000	$\pi C: 1,000000, \pi E: 1,000000, \pi Q: 5,500000, \pi S: 0,054000, \pi T: 32,231030, \lambda B: 0,001000$, Model Failure Rate: 0,009573	0,000383
C		10,00000	1,000000	1,000000		$\pi C: 1,000000, \pi E: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi SR: 1,000000, \pi T: 1,000000, \pi V: 1,578704, \lambda B: 0,002000$, Model Failure Rate: 0,031574	0,101037
R		10,00000	1,000000	1,000000	1,230610	$\pi E: 1,000000, \pi P: 0,407380, \pi Q: 10,000000, \pi S: 1,230610, \pi T: 1,000000, \lambda B: 0,003700$, Model Failure Rate: 0,018549	0,103875
L		3,000000	1,000000	1,000000		$\pi E: 1,000000, \pi Q: 3,000000, \pi T: 1,000000, \lambda B: 0,000030$, Model Failure Rate: 0,000090	0,000000
PE4370		1,000000	1,000000	1,094138		$\pi E: 1,000000, \pi K: 1,000000, \pi Q: 1,000000, \pi T: 1,094138, \lambda B: 0,000410$, Model Failure Rate: 0,000224	0,000003
HH50A-7P-125-125-02		2,000000	1,000000	1,018401		$\pi E: 1,000000, \pi K: 1,000000, \pi Q: 2,000000, \pi T: 1,018401, \lambda B: 0,046000$, Model Failure Rate: 0,046846	0,000234
BC817		5,500000	1,000000	1,714156	0,055388	$\pi A: 0,700000, \pi E: 1,000000, \pi Q: 5,500000, \pi R: 0,430000, \pi S: 0,055388, \pi T: 1,714156, \lambda B: 0,000740$, Model Failure Rate: 0,000116	0,000012
AD8675		10,00000	0,500000	0,121394		$\pi E: 0,500000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,121394, C1: 0,010000, C2: 0,003401$, Model Failure Rate: 0,029146	0,004663

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 9,373414
MTBF (hrs): 106.685
Temperature: 50
Environment: GM - Ground Mobile

Part Number	Ref Des	Pi Q	Pi E	Pi T	Pi S	All Pi Factors	Failure Rate
CE3512K2		5,000000	5,000000	4,303491		$\pi A: 1,000000, \pi E: 5,000000, \pi M: 1,000000, \pi Q: 5,000000, \pi T: 4,303491, \lambda B: 0,052000$, Model Failure Rate: 5,594538	0,559454
HMC558ALC3B		10,00000	4,000000	0,033673		$\pi A: 1,000000, \pi E: 4,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,033673, C1: 4,500000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 1,688408	0,135073
MCH4016		5,000000	5,000000	2,518085	0,163917	$\pi E: 5,000000, \pi Q: 5,000000, \pi R: 0,430000, \pi S: 0,163917, \pi T: 2,518085, \lambda B: 0,180000$, Model Failure Rate: 0,798686	0,079869
HMC347ALP3ETR		10,00000	4,000000	0,000001		$\pi A: 1,000000, \pi E: 4,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,000001, C1: 4,500000, C2: 0,005270$, Model Failure Rate: 0,210870	0,033739
74HC04D		10,00000	4,000000	0,484215		$\pi E: 4,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,484215, C1: 0,010000, C2: 0,006225$, Model Failure Rate: 0,297411	0,023793
SYBP-675+		2,900000	6,000000			$\pi E: 6,000000, \pi Q: 2,900000, \lambda B: 0,120000$, Model Failure Rate: 2,088000	0,000000
HMC346ALP3E		10,00000	4,000000	0,000000		$\pi A: 1,000000, \pi E: 4,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 4,081603e-007, C1: 4,500000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 0,173144	0,013852
LT3042		10,00000	4,000000	2,876991		$\pi E: 4,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 2,876991, C1: 0,010000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 0,460825	0,036866
LT3045		10,00000	4,000000	6,957301		$\pi E: 4,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 6,957301, C1: 0,010000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 0,868856	0,069508
MAX1044		10,00000	4,000000	2,840440		$\pi E: 4,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 2,840440, C1: 0,010000, C2: 0,003401$, Model Failure Rate: 0,420094	0,067215
MADL-011010-01340W		25,00000	5,000000	11,84394		$\pi A: 1,000000, \pi E: 5,000000, \pi Q: 25,000000, \pi R: 0,500000, \pi T: 11,843941, \lambda B: 0,008100$, Model Failure Rate: 5,995995	0,239840

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 9,373414
MTBF (hrs): 106.685
Temperature: 50
Environment: GM - Ground Mobile

Part Number	Ref Des	Pi Q	Pi E	Pi T	Pi S	All Pi Factors	Failure Rate
MADL-011085-14210W		25,00000	5,000000	5,874365		$\pi A: 1,000000, \pi E: 5,000000, \pi Q: 25,000000, \pi R: 0,500000, \pi T: 5,874365, \lambda B: 0,008100$, Model Failure Rate: 2,973897	0,118956
1N4689		5,500000	9,000000	8,695943	1,000000	$\pi C: 1,000000, \pi E: 9,000000, \pi Q: 5,500000, \pi S: 1,000000, \pi T: 8,695943, \lambda B: 0,002000$, Model Failure Rate: 0,860898	0,034436
1N4148		5,500000	9,000000	38,81303	0,054000	$\pi C: 1,000000, \pi E: 9,000000, \pi Q: 5,500000, \pi S: 0,054000, \pi T: 38,813030, \lambda B: 0,001000$, Model Failure Rate: 0,103747	0,004150
C		10,00000	20,00000	2,871841		$\pi C: 1,000000, \pi E: 20,000000, \pi Q: 10,000000, \pi SR: 1,000000, \pi T: 2,871841, \pi V: 1,578704, \lambda B: 0,002000$, Model Failure Rate: 1,813514	5,803245
R		10,00000	16,00000	1,272689	1,230610	$\pi E: 16,000000, \pi P: 0,407380, \pi Q: 10,000000, \pi S: 1,230610, \pi T: 1,272689, \lambda B: 0,003700$, Model Failure Rate: 0,377715	2,115205
L		3,000000	12,00000	1,393135		$\pi E: 12,000000, \pi Q: 3,000000, \pi T: 1,393135, \lambda B: 0,000030$, Model Failure Rate: 0,001505	0,000000
PE4370		1,000000	8,000000	1,646511		$\pi E: 8,000000, \pi K: 1,000000, \pi Q: 1,000000, \pi T: 1,646511, \lambda B: 0,000410$, Model Failure Rate: 0,002700	0,000041
HH50A-7P-125-125-02		2,000000	8,000000	1,548840		$\pi E: 8,000000, \pi K: 1,000000, \pi Q: 2,000000, \pi T: 1,548840, \lambda B: 0,046000$, Model Failure Rate: 0,569973	0,002850
BC817		5,500000	9,000000	2,746992	0,055388	$\pi A: 0,700000, \pi E: 9,000000, \pi Q: 5,500000, \pi R: 0,430000, \pi S: 0,055388, \pi T: 2,746992, \lambda B: 0,000740$, Model Failure Rate: 0,001678	0,000168
AD8675		10,00000	4,000000	0,836719		$\pi E: 4,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,836719, C1: 0,010000, C2: 0,003401$, Model Failure Rate: 0,219722	0,035156

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 7,752516
MTBF (hrs): 128.990
Temperature: 60
Environment: AIC, AC - Airborne Inhabit Cargo,

Part Number	Ref Des	Pi Q	Pi E	Pi T	Pi S	All Pi Factors	Failure Rate
CE3512K2		5,000000	4,000000	6,246022		$\pi A: 1,000000, \pi E: 4,000000, \pi M: 1,000000, \pi Q: 5,000000, \pi T: 6,246022, \lambda B: 0,052000$, Model Failure Rate: 6,495863	0,779504
HMC558ALC3B		10,00000	4,000000	0,091599		$\pi A: 1,000000, \pi E: 4,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,091599, C1: 4,500000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 4,295101	0,257706
MCH4016		5,000000	4,000000	2,893816	0,163917	$\pi E: 4,000000, \pi Q: 5,000000, \pi R: 0,430000, \pi S: 0,163917, \pi T: 2,893816, \lambda B: 0,180000$, Model Failure Rate: 0,734289	0,088115
HMC347ALP3ETR		10,00000	4,000000	0,000007		$\pi A: 1,000000, \pi E: 4,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,000007, C1: 4,500000, C2: 0,005270$, Model Failure Rate: 0,211109	0,025333
74HC04D		10,00000	4,000000	0,685307		$\pi E: 4,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,685307, C1: 0,010000, C2: 0,006225$, Model Failure Rate: 0,317520	0,019051
SYBP-675+		2,900000	7,000000			$\pi E: 7,000000, \pi Q: 2,900000, \lambda B: 0,120000$, Model Failure Rate: 2,436000	0,000000
HMC346ALP3E		10,00000	4,000000	0,000002		$\pi A: 1,000000, \pi E: 4,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,000002, C1: 4,500000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 0,173217	0,010393
LT3042		10,00000	4,000000	5,352707		$\pi E: 4,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 5,352707, C1: 0,010000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 0,708397	0,042504
LT3045		10,00000	4,000000	12,33398		$\pi E: 4,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 12,333988, C1: 0,010000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 1,406525	0,084391
MAX1044		10,00000	4,000000	5,288473		$\pi E: 4,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 5,288473, C1: 0,010000, C2: 0,003401$, Model Failure Rate: 0,664898	0,079788
MADL-011010-01340W		25,00000	4,000000	13,05756		$\pi A: 1,000000, \pi E: 4,000000, \pi Q: 25,000000, \pi R: 0,500000, \pi T: 13,057568, \lambda B: 0,008100$, Model Failure Rate: 5,288315	0,264416

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 7,752516
MTBF (hrs): 128.990
Temperature: 60
Environment: AIC, AC - Airborne Inhabit Cargo,

Part Number	Ref Des	Pi Q	Pi E	Pi T	Pi S	All Pi Factors	Failure Rate
MADL-011085-14210W		25,00000	4,000000	6,685367		$\pi A: 1,000000, \pi E: 4,000000, \pi Q: 25,000000, \pi R: 0,500000, \pi T: 6,685367, \lambda B: 0,008100$, Model Failure Rate: 2,707573	0,135379
1N4689		5,500000	13,00000	8,695943	1,000000	$\pi C: 1,000000, \pi E: 13,000000, \pi Q: 5,500000, \pi S: 1,000000, \pi T: 8,695943, \lambda B: 0,002000$, Model Failure Rate: 1,243520	0,062176
1N4148		5,500000	13,00000	41,65649	0,054000	$\pi C: 1,000000, \pi E: 13,000000, \pi Q: 5,500000, \pi S: 0,054000, \pi T: 41,656492, \lambda B: 0,001000$, Model Failure Rate: 0,160836	0,008042
C		10,00000	12,00000	4,189503		$\pi C: 1,000000, \pi E: 12,000000, \pi Q: 10,000000, \pi SR: 1,000000, \pi T: 4,189503, \pi V: 1,578704, \lambda B: 0,002000$, Model Failure Rate: 1,587356	5,079539
R		10,00000	18,00000	1,387422	1,230610	$\pi E: 18,000000, \pi P: 0,407380, \pi Q: 10,000000, \pi S: 1,230610, \pi T: 1,387422, \lambda B: 0,003700$, Model Failure Rate: 0,463237	0,778238
L		3,000000	6,000000	1,568689		$\pi E: 6,000000, \pi Q: 3,000000, \pi T: 1,568689, \lambda B: 0,000030$, Model Failure Rate: 0,000847	0,000000
PE4370		1,000000	3,000000	1,906381		$\pi E: 3,000000, \pi K: 1,000000, \pi Q: 1,000000, \pi T: 1,906381, \lambda B: 0,000410$, Model Failure Rate: 0,001172	0,000018
HH50A-7P-125-125-02		2,000000	3,000000	1,799737		$\pi E: 3,000000, \pi K: 1,000000, \pi Q: 2,000000, \pi T: 1,799737, \lambda B: 0,046000$, Model Failure Rate: 0,248364	0,001242
BC817		5,500000	13,00000	2,898798	0,055388	$\pi A: 0,700000, \pi E: 13,000000, \pi Q: 5,500000, \pi R: 0,430000, \pi S: 0,055388, \pi T: 2,898798, \lambda B: 0,000740$, Model Failure Rate: 0,002557	0,000307
AD8675		10,00000	4,000000	1,670810		$\pi E: 4,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 1,670810, C1: 0,010000, C2: 0,003401$, Model Failure Rate: 0,303131	0,036376

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 31,192962
MTBF (hrs): 32.059
Temperature: 75
Environment: AUF - Airborne Uninhab Fighter

Part Number	Ref Des	Pi Q	Pi E	Pi T	Pi S	All Pi Factors	Failure Rate
CE3512K2		5,000000	12,00000	10,54594		$\pi A: 1,000000, \pi E: 12,000000, \pi M: 1,000000, \pi Q: 5,000000, \pi T: 10,545948, \lambda B: 0,052000$, Model Failure Rate: 32,903359	3,948403
HMC558ALC3B		10,00000	8,000000	0,377159		$\pi A: 1,000000, \pi E: 8,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,377159, C1: 4,500000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 17,318390	1,039103
MCH4016		5,000000	12,00000	3,544692	0,163917	$\pi E: 12,000000, \pi Q: 5,000000, \pi R: 0,430000, \pi S: 0,163917, \pi T: 3,544692, \lambda B: 0,180000$, Model Failure Rate: 2,698334	0,323800
HMC347ALP3ETR		10,00000	8,000000	0,000057		$\pi A: 1,000000, \pi E: 8,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,000057, C1: 4,500000, C2: 0,005270$, Model Failure Rate: 0,424167	0,050900
74HC04D		10,00000	8,000000	1,113088		$\pi E: 8,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 1,113088, C1: 0,010000, C2: 0,006225$, Model Failure Rate: 0,609287	0,036557
SYBP-675+		2,900000	13,00000			$\pi E: 13,000000, \pi Q: 2,900000, \lambda B: 0,120000$, Model Failure Rate: 4,524000	0,000000
HMC346ALP3E		10,00000	8,000000	0,000019		$\pi A: 1,000000, \pi E: 8,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,000019, C1: 4,500000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 0,347095	0,020826
LT3042		10,00000	8,000000	12,75246		$\pi E: 8,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 12,752468, C1: 0,010000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 1,621499	0,097290
LT3045		10,00000	8,000000	27,52648		$\pi E: 8,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 27,526485, C1: 0,010000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 3,098901	0,185934
MAX1044		10,00000	8,000000	12,61157		$\pi E: 8,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 12,611572, C1: 0,010000, C2: 0,003401$, Model Failure Rate: 1,533258	0,183991
MADL-011010-01340W		25,00000	12,00000	15,00130		$\pi A: 1,000000, \pi E: 12,000000, \pi Q: 25,000000, \pi R: 0,500000, \pi T: 15,001300, \lambda B: 0,008100$, Model Failure Rate: 18,226580	0,911329

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 31,192962
MTBF (hrs): 32.059
Temperature: 75
Environment: AUF - Airborne Uninhab Fighter

Part Number	Ref Des	Pi Q	Pi E	Pi T	Pi S	All Pi Factors	Failure Rate
MADL-011085-14210W		25,00000	12,00000	8,024031		$\pi A: 1,000000, \pi E: 12,000000, \pi Q: 25,000000, \pi R: 0,500000, \pi T: 8,024031, \lambda B: 0,008100$, Model Failure Rate: 9,749197	0,487460
1N4689		5,500000	43,00000	8,695943	1,000000	$\pi C: 1,000000, \pi E: 43,000000, \pi Q: 5,500000, \pi S: 1,000000, \pi T: 8,695943, \lambda B: 0,002000$, Model Failure Rate: 4,113181	0,205659
1N4148		5,500000	43,00000	46,28579	0,054000	$\pi C: 1,000000, \pi E: 43,000000, \pi Q: 5,500000, \pi S: 0,054000, \pi T: 46,285798, \lambda B: 0,001000$, Model Failure Rate: 0,591116	0,029556
C		10,00000	30,00000	7,087499		$\pi C: 1,000000, \pi E: 30,000000, \pi Q: 10,000000, \pi SR: 1,000000, \pi T: 7,087499, \pi V: 1,578704, \lambda B: 0,002000$, Model Failure Rate: 6,713437	21,482998
R		10,00000	43,00000	1,564582	1,230610	$\pi E: 43,000000, \pi P: 0,407380, \pi Q: 10,000000, \pi S: 1,230610, \pi T: 1,564582, \lambda B: 0,003700$, Model Failure Rate: 1,247926	2,096516
L		3,000000	9,000000	1,850537		$\pi E: 9,000000, \pi Q: 3,000000, \pi T: 1,850537, \lambda B: 0,000030$, Model Failure Rate: 0,001499	0,000000
PE4370		1,000000	12,00000	2,338387		$\pi E: 12,000000, \pi K: 1,000000, \pi Q: 1,000000, \pi T: 2,338387, \lambda B: 0,000410$, Model Failure Rate: 0,005752	0,000086
HH50A-7P-125-125-02		2,000000	12,00000	2,218232		$\pi E: 12,000000, \pi K: 1,000000, \pi Q: 2,000000, \pi T: 2,218232, \lambda B: 0,046000$, Model Failure Rate: 1,224464	0,006122
BC817		5,500000	43,00000	3,544692	0,055388	$\pi A: 0,700000, \pi E: 43,000000, \pi Q: 5,500000, \pi R: 0,430000, \pi S: 0,055388, \pi T: 3,544692, \lambda B: 0,000740$, Model Failure Rate: 0,010342	0,001241
AD8675		10,00000	8,000000	4,378202		$\pi E: 8,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 4,378202, C1: 0,010000, C2: 0,003401$, Model Failure Rate: 0,709921	0,085191

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 131,993547
MTBF (hrs): 7.576
Temperature: 50
Environment: MF - Missile Flight

Part Number	Ref Des	Pi Q	Pi E	Pi T	Pi S	All Pi Factors	Failure Rate
CE3512K2		5,000000	9,000000	4,303491		$\pi A: 1,000000, \pi E: 9,000000, \pi M: 1,000000, \pi Q: 5,000000, \pi T: 4,303491, \lambda B: 0,052000$, Model Failure Rate: 10,070168	20,140336
HMC558ALC3B		10,00000	5,000000	0,033673		$\pi A: 1,000000, \pi E: 5,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,033673, C1: 4,500000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 1,731690	1,731690
MCH4016		5,000000	9,000000	2,518085	0,163917	$\pi E: 9,000000, \pi Q: 5,000000, \pi R: 0,430000, \pi S: 0,163917, \pi T: 2,518085, \lambda B: 0,180000$, Model Failure Rate: 1,437636	2,875271
HMC347ALP3ETR		10,00000	5,000000	0,000001		$\pi A: 1,000000, \pi E: 5,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,000001, C1: 4,500000, C2: 0,005270$, Model Failure Rate: 0,263571	0,527142
74HC04D		10,00000	5,000000	0,484215		$\pi E: 5,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,484215, C1: 0,010000, C2: 0,006225$, Model Failure Rate: 0,359658	0,359658
SYBP-675+		2,900000	7,000000			$\pi E: 7,000000, \pi Q: 2,900000, \lambda B: 0,120000$, Model Failure Rate: 2,436000	2,436000
HMC346ALP3E		10,00000	5,000000	0,000000		$\pi A: 1,000000, \pi E: 5,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 4,081603e-007, C1: 4,500000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 0,216426	0,216426
LT3042		10,00000	5,000000	2,876991		$\pi E: 5,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 2,876991, C1: 0,010000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 0,504107	0,504107
LT3045		10,00000	5,000000	6,957301		$\pi E: 5,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 6,957301, C1: 0,010000, C2: 0,004328$, Model Failure Rate: 0,912138	0,912138
MAX1044		10,00000	5,000000	2,840440		$\pi E: 5,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 2,840440, C1: 0,010000, C2: 0,003401$, Model Failure Rate: 0,454107	0,908214
MADL-011010-01340W		25,00000	9,000000	11,84394		$\pi A: 1,000000, \pi E: 9,000000, \pi Q: 25,000000, \pi R: 0,500000, \pi T: 11,843941, \lambda B: 0,008100$, Model Failure Rate: 10,792792	10,792792

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp
Assembly: System
Ref Des:
Description:

Failure Rate: 131,993547
MTBF (hrs): 7.576
Temperature: 50
Environment: MF - Missile Flight

Part Number	Ref Des	Pi Q	Pi E	Pi T	Pi S	All Pi Factors	Failure Rate
MADL-011085-14210W		25,00000	9,000000	5,874365		$\pi A: 1,000000, \pi E: 9,000000, \pi Q: 25,000000, \pi R: 0,500000, \pi T: 5,874365, \lambda B: 0,008100$, Model Failure Rate: 5,353015	5,353015
1N4689		5,500000	14,00000	8,695943	1,000000	$\pi C: 1,000000, \pi E: 14,000000, \pi Q: 5,500000, \pi S: 1,000000, \pi T: 8,695943, \lambda B: 0,002000$, Model Failure Rate: 1,339175	1,339175
1N4148		5,500000	14,00000	38,81303	0,054000	$\pi C: 1,000000, \pi E: 14,000000, \pi Q: 5,500000, \pi S: 0,054000, \pi T: 38,813030, \lambda B: 0,001000$, Model Failure Rate: 0,161385	0,161385
C		10,00000	20,00000	2,871841		$\pi C: 1,000000, \pi E: 20,000000, \pi Q: 10,000000, \pi SR: 1,000000, \pi T: 2,871841, \pi V: 1,578704, \lambda B: 0,002000$, Model Failure Rate: 1,813514	58,03245 3
R		10,00000	37,00000	1,272689	1,230610	$\pi E: 37,000000, \pi P: 0,407380, \pi Q: 10,000000, \pi S: 1,230610, \pi T: 1,272689, \lambda B: 0,003700$, Model Failure Rate: 0,873466	24,45705 5
L		3,000000	13,00000	1,393135		$\pi E: 13,000000, \pi Q: 3,000000, \pi T: 1,393135, \lambda B: 0,000030$, Model Failure Rate: 0,001630	0,011410
PE4370		1,000000	10,00000	1,646511		$\pi E: 10,000000, \pi K: 1,000000, \pi Q: 1,000000, \pi T: 1,646511, \lambda B: 0,000410$, Model Failure Rate: 0,003375	0,010126
HH50A-7P-125-125-02		2,000000	10,00000	1,548840		$\pi E: 10,000000, \pi K: 1,000000, \pi Q: 2,000000, \pi T: 1,548840, \lambda B: 0,046000$, Model Failure Rate: 0,712466	0,712466
BC817		5,500000	14,00000	2,746992	0,055388	$\pi A: 0,700000, \pi E: 14,000000, \pi Q: 5,500000, \pi R: 0,430000, \pi S: 0,055388, \pi T: 2,746992, \lambda B: 0,000740$, Model Failure Rate: 0,002610	0,005219
AD8675		10,00000	5,000000	0,836719		$\pi E: 5,000000, \pi L: 1,000000, \pi Q: 10,000000, \pi T: 0,836719, C1: 0,010000, C2: 0,003401$, Model Failure Rate: 0,253735	0,507470

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp**Assembly:** System**Ref Des:****Description:****Failure Rate:** 0,367046**MTBF (hrs):** 2.724.453**Temperature:** 25**Environment:** GB, GC - Ground Benign, Controlled

Part Number	Category	Ref Des	Unit Failure Rate	Quantity	Total Failure Rate
CE3512K2	Semiconductor		0,020018	2	0,040036
HMC558ALC3B	Integrated Circuit		0,009653	1	0,009653
MCH4016	Semiconductor		0,005437	2	0,010874
HMC347ALP3ETR	Integrated Circuit		0,002108	2	0,004216
74HC04D	Integrated Circuit		0,003965	1	0,003965
SYBP-675+	Miscellaneous		0,000000	1	0,000000
HMC346ALP3E	Integrated Circuit		0,001731	1	0,001731
LT3042	Integrated Circuit		0,005842	1	0,005842
LT3045	Integrated Circuit		0,013174	1	0,013174
MAX1044	Integrated Circuit		0,005410	2	0,010821
MADL-011010-01340W	Semiconductor		0,036855	1	0,036855
MADL-011085-14210W	Semiconductor		0,016704	1	0,016704
1N4689	Semiconductor		0,002968	1	0,002968
1N4148	Semiconductor		0,000383	1	0,000383
C	Capacitor		0,003157	32	0,101037
R	Resistor		0,003710	28	0,103875
L	Inductor		0,000000	7	0,000000
PE4370	Connection		0,000001	3	0,000003
HH50A-7P-125-125-02	Connection		0,000234	1	0,000234
BC817	Semiconductor		0,000006	2	0,000012
AD8675	Integrated Circuit		0,002332	2	0,004663

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp**Assembly:** System**Ref Des:****Description:****Failure Rate:** 9,373414**MTBF (hrs):** 106.685**Temperature:** 50**Environment:** GM - Ground Mobile

Part Number	Category	Ref Des	Unit Failure Rate	Quantity	Total Failure Rate
CE3512K2	Semiconductor		0,279727	2	0,559454
HMC558ALC3B	Integrated Circuit		0,135073	1	0,135073
MCH4016	Semiconductor		0,039934	2	0,079869
HMC347ALP3ETR	Integrated Circuit		0,016870	2	0,033739
74HC04D	Integrated Circuit		0,023793	1	0,023793
SYBP-675+	Miscellaneous		0,000000	1	0,000000
HMC346ALP3E	Integrated Circuit		0,013852	1	0,013852
LT3042	Integrated Circuit		0,036866	1	0,036866
LT3045	Integrated Circuit		0,069508	1	0,069508
MAX1044	Integrated Circuit		0,033608	2	0,067215
MADL-011010-01340W	Semiconductor		0,239840	1	0,239840
MADL-011085-14210W	Semiconductor		0,118956	1	0,118956
1N4689	Semiconductor		0,034436	1	0,034436
1N4148	Semiconductor		0,004150	1	0,004150
C	Capacitor		0,181351	32	5,803245
R	Resistor		0,075543	28	2,115205
L	Inductor		0,000000	7	0,000000
PE4370	Connection		0,000014	3	0,000041
HH50A-7P-125-125-02	Connection		0,002850	1	0,002850
BC817	Semiconductor		0,000084	2	0,000168
AD8675	Integrated Circuit		0,017578	2	0,035156

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp**Assembly:** System**Ref Des:****Description:****Failure Rate:** 7,752516**MTBF (hrs):** 128.990**Temperature:** 60**Environment:** AIC, AC - Airborne Inhabit Cargo,

Part Number	Category	Ref Des	Unit Failure Rate	Quantity	Total Failure Rate
CE3512K2	Semiconductor		0,389752	2	0,779504
HMC558ALC3B	Integrated Circuit		0,257706	1	0,257706
MCH4016	Semiconductor		0,044057	2	0,088115
HMC347ALP3ETR	Integrated Circuit		0,012667	2	0,025333
74HC04D	Integrated Circuit		0,019051	1	0,019051
SYBP-675+	Miscellaneous		0,000000	1	0,000000
HMC346ALP3E	Integrated Circuit		0,010393	1	0,010393
LT3042	Integrated Circuit		0,042504	1	0,042504
LT3045	Integrated Circuit		0,084391	1	0,084391
MAX1044	Integrated Circuit		0,039894	2	0,079788
MADL-011010-01340W	Semiconductor		0,264416	1	0,264416
MADL-011085-14210W	Semiconductor		0,135379	1	0,135379
1N4689	Semiconductor		0,062176	1	0,062176
1N4148	Semiconductor		0,008042	1	0,008042
C	Capacitor		0,158736	32	5,079539
R	Resistor		0,027794	28	0,778238
L	Inductor		0,000000	7	0,000000
PE4370	Connection		0,000006	3	0,000018
HH50A-7P-125-125-02	Connection		0,001242	1	0,001242
BC817	Semiconductor		0,000153	2	0,000307
AD8675	Integrated Circuit		0,018188	2	0,036376

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp**Assembly:** System**Ref Des:****Description:****Failure Rate:** 31,192962**MTBF (hrs):** 32.059**Temperature:** 75**Environment:** AUF - Airborne Uninhab Fighter

Part Number	Category	Ref Des	Unit Failure Rate	Quantity	Total Failure Rate
CE3512K2	Semiconductor		1,974202	2	3,948403
HMC558ALC3B	Integrated Circuit		1,039103	1	1,039103
MCH4016	Semiconductor		0,161900	2	0,323800
HMC347ALP3ETR	Integrated Circuit		0,025450	2	0,050900
74HC04D	Integrated Circuit		0,036557	1	0,036557
SYBP-675+	Miscellaneous		0,000000	1	0,000000
HMC346ALP3E	Integrated Circuit		0,020826	1	0,020826
LT3042	Integrated Circuit		0,097290	1	0,097290
LT3045	Integrated Circuit		0,185934	1	0,185934
MAX1044	Integrated Circuit		0,091995	2	0,183991
MADL-011010-01340W	Semiconductor		0,911329	1	0,911329
MADL-011085-14210W	Semiconductor		0,487460	1	0,487460
1N4689	Semiconductor		0,205659	1	0,205659
1N4148	Semiconductor		0,029556	1	0,029556
C	Capacitor		0,671344	32	21,482998
R	Resistor		0,074876	28	2,096516
L	Inductor		0,000000	7	0,000000
PE4370	Connection		0,000029	3	0,000086
HH50A-7P-125-125-02	Connection		0,006122	1	0,006122
BC817	Semiconductor		0,000621	2	0,001241
AD8675	Integrated Circuit		0,042595	2	0,085191

File Name: Tek-Darbe-Almac.rfp**Assembly:** System**Ref Des:****Description:****Failure Rate:** 131,993547**MTBF (hrs):** 7.576**Temperature:** 50**Environment:** MF - Missile Flight

Part Number	Category	Ref Des	Unit Failure Rate	Quantity	Total Failure Rate
CE3512K2	Semiconductor		10,070168	2	20,140336
HMC558ALC3B	Integrated Circuit		1,731690	1	1,731690
MCH4016	Semiconductor		1,437636	2	2,875271
HMC347ALP3ETR	Integrated Circuit		0,263571	2	0,527142
74HC04D	Integrated Circuit		0,359658	1	0,359658
SYBP-675+	Miscellaneous		2,436000	1	2,436000
HMC346ALP3E	Integrated Circuit		0,216426	1	0,216426
LT3042	Integrated Circuit		0,504107	1	0,504107
LT3045	Integrated Circuit		0,912138	1	0,912138
MAX1044	Integrated Circuit		0,454107	2	0,908214
MADL-011010-01340W	Semiconductor		10,792792	1	10,792792
MADL-011085-14210W	Semiconductor		5,353015	1	5,353015
1N4689	Semiconductor		1,339175	1	1,339175
1N4148	Semiconductor		0,161385	1	0,161385
C	Capacitor		1,813514	32	58,032453
R	Resistor		0,873466	28	24,457055
L	Inductor		0,001630	7	0,011410
PE4370	Connection		0,003375	3	0,010126
HH50A-7P-125-125-02	Connection		0,712466	1	0,712466
BC817	Semiconductor		0,002610	2	0,005219
AD8675	Integrated Circuit		0,253735	2	0,507470