

## UÇUŞ TESTLERİNDE EMNİYET DEĞERLENDİRME ANALİZLERİ

Serdar Çora<sup>1</sup> ve Murat Özpala<sup>2</sup>  
TUSAŞ, ANKARA

Emre Can Kaya<sup>3</sup>  
TUSAŞ, ANKARA

### ÖZET

*Uçuş testleri hava araçlarını geliştirme süreçlerinde önemli doğrulama safhalarından biridir. Nihai tasarımın donması için prototipler ile yapılan ve deneysel uçuş test tekniklerinin uygulanarak sözleşme ya da sertifikasyon gereksinimlerini karşılamak için uzman ekipler tarafından yürütülen süreçlerdir. Bu süreçlerde genel ve askeri havacılık uçuş emniyet kurallarına ilave olarak, geçmiş tecrübeler ve öğrenilen derslere dayanan veri tabanları kullanılarak uçuş test emniyet değerlendirme analizleri yapılarak test uçuşlarındaki emniyet seviyesi artırılır. Bu analizlerin genel tariflenmesi ve uygulama örneklerinin özet anlatımı bu makalenin ana amacıdır.*

### GİRİŞ

Yeni tasarlanan bir hava aracını ya da hava aracı üzerine yeni tasarım bir sistemin entegrasyonunun tasarımı doğrulamak, teorik hesaplamaları ve analiz sonuçlarını gerçek uçuşlarda toplanan verilerle kıyaslamak ve test sonuçlarına göre tasarımda gereken geliştirmeler için girdi sağlamak amacı ile yapılan tüm uçuşlar, uçuş testi olarak tariflenmektedir. Tüm bu uçuş test sonuçları, hava aracının kabiliyetleri ve özellikleri, sertifikasyon ve/veya müşteri kabulü için doğrulanmakta ve belgelenmekte, bununla beraber hava aracının ömrü boyunca emniyetli bir şekilde görev yapabileceğinin ispatı olmaktadır.

Uçuş testleri havacılık projelerinin en yüksek maliyetli aşamalarından birisi olmakla beraber ürün tasarımından sonra ortaya çıkan tasarımsal problemler daha yüksek maliyetlere ve hatta can kayıplarına yol açabilmektedir. Bu sebeple tüm testlerin eksiksiz bir biçimde teslimattan önce bitirilmesi ve ürünün standartlara ve gereksinimlere uygunluğunun doğrulanması gerekmektedir.

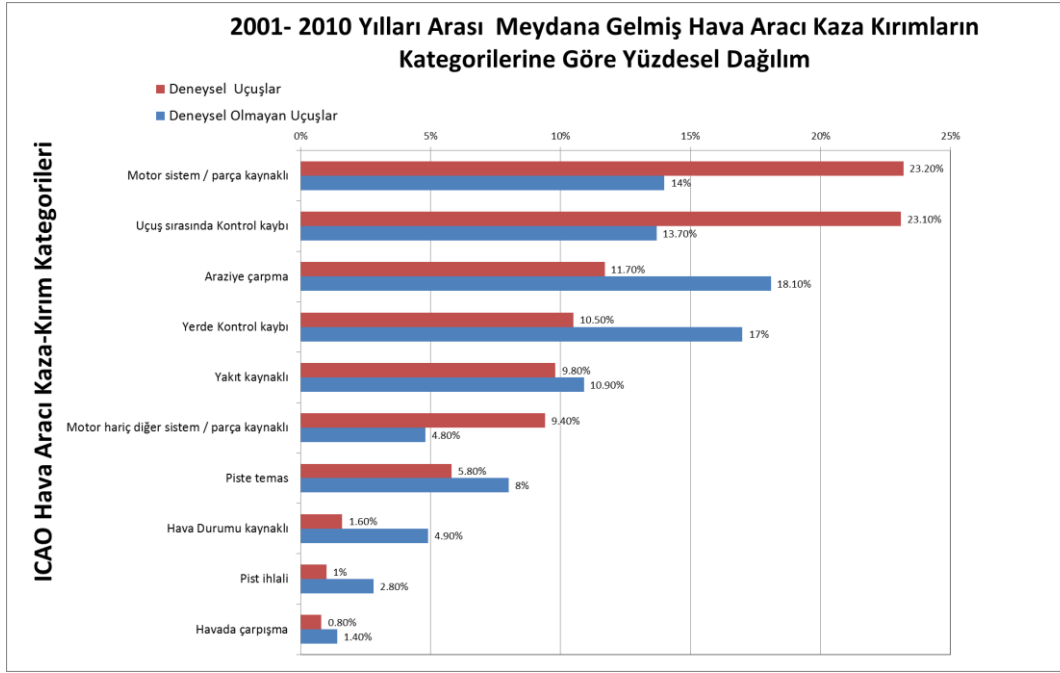
Test uçuşlarında belli teknikler ile elde edilen sonuçların başarı kriterlerini sağlaması ana amaçtır. Ancak emniyetsiz durumların olduğu koşullarda başarılı test sonuçları almak mümkün değildir. Uçuş emniyeti ihlali, aynı zamanda hava aracının ya da uçuş test ekibinin kısmi ya da tamamen zarar görmesine de sebep olabilir ki geçmişte birçok havacılık projesi kazalardan sonra proje iptallerine gitmiştir. Bu sebeple test uçuşlarının zorluk kriterlerine bakılmaksızın her uçuş için uçuş test emniyet değerlendirme analizleri yapılması gerekmektedir.

<sup>1</sup> Uçuş Test Teknik Müdürü, E-posta: scora@tai.com.tr

<sup>2</sup> Test Pilotu, E-posta: mozpala@tai.com.tr

<sup>3</sup> Uçuş Test Uzman Mühendisi, E-posta: eckaya@tai.com.tr

Amerikan Ulusal Ulaşım Güvenlik Kurulu'nun (NTSB) yayınlamış olduğu ve Amerikan hava sahasında meydana gelmiş havacılık kazalarını kapsayan çalışmada, deneysel ve deneysel olmayan uçaklara ait kaza kategorileri incelenmiştir. Bu araştırmaya ait, en sık karşılaşılan 10 kaza sebebi ve yüzdesel dağılımları Şekil 1'de verilmiştir. Bu çalışmada görülmüştür ki deneysel olmayan uçuşlarda daha az risk içeren sistem kaynaklı ve kontrol sistem kaybı gibi nedenler deneysel uçuşlarda etken olmuştur. Prototip aşamasında icra edilen testlerde pilotaj, hava durumu ve uçuş alanı gibi kategoriler kaza kırımında daha az etken olmuştur. Bu bağlamda sivil ve askeri operasyonel uçuşlara kıyasla deneysel uçuşlarda emniyet değerlendirme analizleri çok yönlü risk analizi gerektirmektedir.



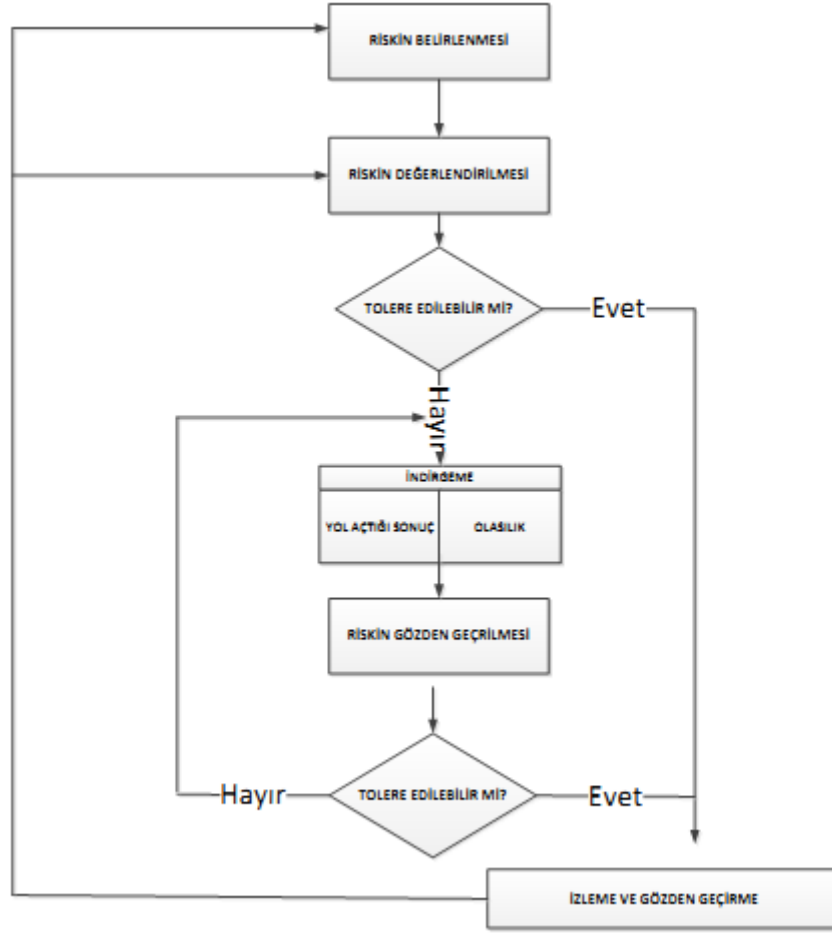
Şekil 1: 2001-2010 Yılları Arası Meydana Gelmiş Hava Aracı Kaza Kırımların Kategorilerine Göre Yüzdesel Dağılımı [NTSB,2012]

Uçuş test emniyet değerlendirme analizleri aslında bilinen risk yönetim teknikleri ve tasarım emniyet değerlendirmelerinin bir karması olarak ele alınabilir. Risk yönetimi; riski tanımlama, değerlendirme, belirleme, sorumlulukları atama, uygulama, izleme ve sonuçları gözden geçirmeyi kapsar. Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (ISO) risk yönetimini aşağıdaki prensiplerde açıklamıştır[ISO,2012] :

- Değerleri oluşturmak – riskleri azaltmak için kaynaklar çoğaltılmalı
- Örgütsel süreçleri bir bütün haline getirmek
- Karar verme mekanizmasının bir parçası olmak
- Belirsizlikleri ve varsayımları açıkça dile getirmek
- Süreçleri sistematik ve bütünsel olarak ele almak
- En geçerli bilgiyi temel almak
- Düzeltmelere açık olmak
- İnsan faktörünü hesaba katmak
- Şeffaf ve kapsayıcı olmak
- Dinamik, tekrarlayıcı ve değişikliklere cevap verebilir olmak
- Sürekli gelişmeye ve iyileştirmeye uygun olmak
- Devamlı ve periyodik olarak yeniden belirlenebilir olmak

Günümüzde hata sınıflandırma geliştirme ve sistem hatalarını modelleme sivil/askeri havacılık, nükleer enerji üretimi, fabrika süreçleri, demiryolları, deniz işletmeleri, finansal servisler ve sağlık

kurumlarında kullanılmaktadır. Belirtilen bütün sektörlerde genel olarak risk yönetimi akış şeması aşağıdaki şekilde kullanılmaktadır.

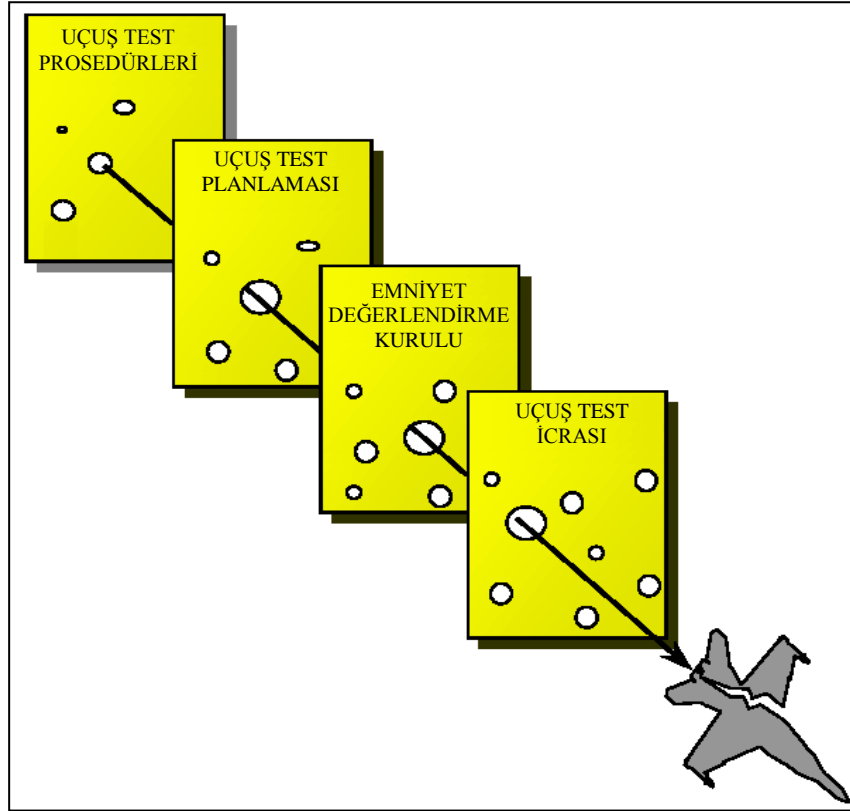


Şekil 3: Risk Yönetimi Akış Şeması

## UYGULAMALAR

Uçuş test riskini yönetmek çok daha hassas ve çok daha zordur. Kabul edilebilir emniyet seviyeleri test uçuşları için belirlenirken, risk yönetim parametrelerinin hassasiyetle analiz edilmesi, test ve geliştirme faaliyetlerini zora sokmamak açısından önem arz eder.

Manchester Üniversitesinde Profesör James Reason'ın geliştirmiş olduğu, *İsviçre Peynir Modeli*, hata sınıflandırma ve sistem hatalarını modelleme yöntemi olarak etkin bir şekilde kullanılmaktadır [Reason, 1990]. Bu yöntem havacılıkta ve uçuş testlerinde oldukça sık kullanılan bir yöntemdir. Uçuş test süreçlerinde yer alan prosedürler, planlanma ve uçuş test icrası sistem hatalarının önüne geçmek amacıyla her kademede uçuş test emniyet değerlendirme analizleri yapılarak test uçuşlarındaki emniyet seviyesi artırılır. Örnek Reason İsviçre Peynir Modeli Uçuş Test Emniyeti Uygulaması şekil 3'de verilmiştir.

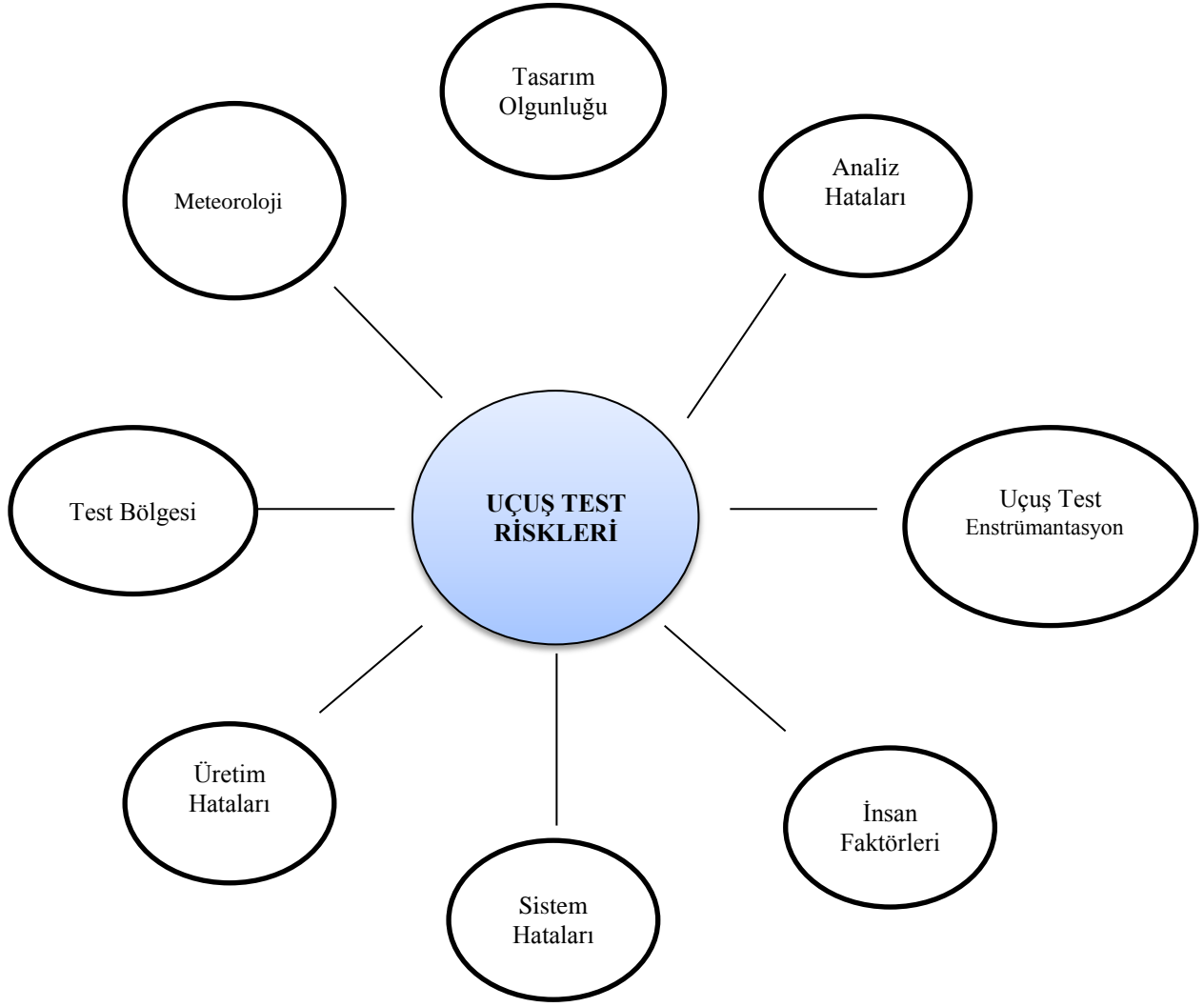


Şekil 4: Reason İsviçre Peynir Modeli Uçuş Test Emniyeti Uygulaması

Uzun yıllar boyunca uçuş test kuruluşları ve okulları; uçuş test manevralarını, teste özel riskleri ve bu riskleri azaltıcı teknikleri tanımlayan bir kaynağa ihtiyaç duymuştur. Bu amaç ile uluslararası çapta uçuş test mühendisleri ve test pilotlarının giriş yapabileceği ve faydalanabileceği; “öğrenilmiş derslere” dayalı bir kütüphane oluşturulmuştur. Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından hazırlanan bu veri tabanında FAR 23 – 25 tipi hava araçları ve diğer platformlara özgü testlere yönelik riskler ve risk azaltıcı yöntemler belirtilmiştir. [NASA,2009]

“MIL-STD-882E Department of Defence Standard Practice System Safety” [DOD,2012] dokümanında tanımlanan sistematik yaklaşım, uçuş testleri süreçlerine uygulanmıştır. Uçuş test emniyet değerlendirme analizlerinizde; riskin tanımı, nedenleri, gerçekleşme ihtimali, sınıfı, etkisi, önemleri ve acil durum prosedürleri geçmiş tecrübeleri ve öğrenilen dersleri temel alan veri tabanlarına dayanılarak oluşturulur. Bu analizler aşağıdaki sıra takip edilerek değerlendirmeye alınır.

1-Uçuş Test Riskleri tanımlanmak: Uçuş test kampanyası boyunca testlere karşılaşılmaması muhtemel bütün riskler çıkarılır. Tanımlanan bu riskler genellikle aşağıda belirtilen başlıklar altında verilir.



Şekil 2: Uçuş Test Riskleri

- Uçak sistem ve tasarım, analiz, üretim ve enstrümantasyon riskleri
  - *Otopilot arızası, elektrik yangını, flap hız aşımı, G aşımı, hatalı ağırlık & c.g. hesaplamaları, hatalı enstrümantasyon ölçümleri*
- Uçuş test alanı riskleri
  - *Test alanı coğrafi engeller, hava trafiği, kuş çarpması*
- İnsan faktörleri
  - *Eğitimsiz ve kalifiye olmayan personel, yetersiz briefing, ekipler arası koordinasyonsuzluk*
- Çevresel Riskler
  - *Meteorolojik olarak uygun olmayan şartlar*

2- Risklerin değerlendirilmesi: Bu safhada risklerin etkileri, ağırlıkları ve olasılıkları incelenir.

- Bu risk gerçekleşir ise ne olurun cevabı aranır.
- Bu etkinin şiddeti değerlendirilir. Şekil 6'da emniyet kriterleri belirtilmiştir. [DOD,2012]

| Riskin Şiddeti   | Kategori | Emniyet Kriteri   |
|------------------|----------|---|
| Felaket /Ölümçül | I        | Ölüm ya da kalıcı maluliyet<br>1 Milyon \$ üzeri maddi zarar<br>Geri dönüşü olmayan çevresel zarar  |
| Kritik           | II       | Kalıcı-kısmi maluliyet, sakatlık ya da<br>Mesleki hastalık<br>200 bin \$ ve 1 Milyon \$ arası maddi zarar<br>Geri dönüşü olan çevresel zarar          |
| Sınırdaki        | III      | 1 veya daha fazla gün iş kaybına neden olan<br>sakatlık ya da mesleki hastalık<br>10 bin \$ ve 200 bin \$ aralığı maddi zarar<br>Hafif çevresel zarar |
| İhmal Edilebilir | IV       | İş kaybına neden olmayan hafif sakatlık ya da<br>mesleki hastalık<br>2 bin \$ ve 10 bin \$ arası maddi zarar<br>Asgari çevresel zarar                 |

Şekil 6: Risk Şiddet Kategorileri [DOD,2012]

- Riskin gerçekleştirme ihtimali bu kısımda değerlendirilir. Şekil 7’de risk olasılıkları belirtilmiştir. [DOD,2012]

| Riskin Olasılığı | Seviye | Tanımı   |
|------------------|--------|--|
| Çok Yüksek       | A      | Sık karşılabilecek bir risk. Meydana gelme olasılığı $10^{-1}$ 'den fazla  |
| Yüksek           | B      | Zaman zaman karşılabilecek bir risk. Meydana gelme olasılığı $10^{-1}$ ve $10^{-2}$ aralığındadır.                           |
| Orta             | C      | Olma olasılığı düşük risk. Meydana gelme olasılığı $10^{-2}$ ve $10^{-3}$ aralığındadır.                                     |
| Düşük            | D      | Olma ihtimali çok düşük fakat çok az da olsa mümkün olan risk. Meydana gelme olasılığı $10^{-3}$ ve $10^{-6}$ aralığındadır. |
| İmkansız         | E      | Gerçekleşmesi imkansız olan risk. Meydana gelme olasılığı $10^{-6}$  |

Şekil 7: Risk Olasılıkları [DOD,2012]

Risk Değerlendirme Matrisi ile riskin seviyesi belirtilir. Renk kodları ile yüksek, orta ve düşük seviyedeki riskler bu şekilde sınıflandırılır.

| Sınıf            | Gerçekleşme İhtimali |        |      |       |          |
|------------------|----------------------|--------|------|-------|----------|
|                  | Çok Yüksek           | Yüksek | Orta | Düşük | İmkansız |
| Ölümcül          |                      |        | X    |       |          |
| Kritik           |                      |        |      |       |          |
| Sınırdaki        |                      |        |      |       |          |
| İhmal Edilebilir |                      |        |      |       |          |

Şekil 8: Örnek Risk Değerlendirme Matrisi [DOD,2012]

4- Riskleri azaltmaya yönelik işlemler bu safhada ele alınır. Bu çalışmada riskin gerçekleşme ihtimali ve şiddet kategorisi düşürülmeye çalışılır.

- Risklere karşı önleyici prosedürler geliştirilir.
  - *Spin testleri öncesi HASELL (irtifa, uçak, emniyet, motor, mevki, gözetleme) kontrolleri*
- Kademeli uçuş test teknikleri
  - *Çırpınma ve titreşim testleri icra edilirken kademeli zarf açılımı*
- Riskleri azaltmaya yönelik uçuş test ekipmanlarının kullanımı
  - *Spin chute kullanımı (Şekil 9)*



Şekil 9: Spin Chute Kullanımı

5- Risk azaltma çalışmaları sonrasında kalan riskler tekrar değerlendirilir ve risk gerçekleşmesi halinde neler yapılacağı prosedürel olarak açıklanır.

## SONUÇ

Uçuş testleri hava araçlarını geliştirme süreçlerindeki en hassas fakat en önemli doğrulama aşamalarından biridir. Bu aşama hem yüksek maliyeti hem de can ve mal kayıplarına açık olması sebebiyle sistematik bir şekilde analiz edilmelidir. Bu analizler, mevcut havacılık emniyet önlemlerine ek olarak risk yönetim teknikleri ve tasarım emniyet değerlendirmelerinin bir karması olarak ele alınabilir. Kabul edilebilir emniyet seviyeleri test uçuşları için belirlenirken, risk yönetim parametrelerinin hassasiyetle analiz edilmesi, emniyeti riske atmamak ve test / geliştirme faaliyetlerini zora sokmamak açısından önem arz eder.

### Kaynaklar

*D.O.D, 2012. MIL-STD-882E Department of Defence Standard Practice System Safety, s.11-17*

*NASA,2015 NASA Flight Test Database <https://ftsdb.grc.nasa.gov> adresinden alınmıştır.*

*NTSB, 2009. National Transportation Safety Board Safety Study NTBS/ss12/01 PB2012-917001, s.16*

*Reason, J., 1990. The Contribution of Latent Human Failures to the Breakdown of Complex System, British Medical Journal, s.768-770*