

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HELİKOPTER TASARIM SÜRECİNDE PİLOT KOLTUĞU TASARIM
KAVRAM HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (HTEA)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Endüstri Ürünleri Tasarımcısı S.Bahar TUNÇELLİ**

**Anabilim Dalı: Endüstri Ürünleri Tasarımı
Program : Endüstri Ürünleri Tasarımı**

ARALIK 2006

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HELİKOPTER TASARIM SÜRECİNDE PİLOT KOLTUĞU TASARIM
KAVRAM HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (HTEA)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Endüstri Ürünleri Tasarımcısı S.Bahar TUNÇELLİ**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 25 Aralık 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2007**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nigan BAYAZIT
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Rüstem ASLAN
Doç. Dr. Seçil ŞATIR

ARALIK 2006

ÖNSÖZ

Çalışmamın her aşamasında yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Nigan BAYAZIT'a ve yapıcı değerlendirmelerinden dolayı jüri üyeleri Prof. Dr. Rüstem ASLAN ve Doç. Dr. Seçil ŞATIR'a en derin teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma sırasında bana her konuda yardımcı olan İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü'nde ve İ.T.Ü. ROTAM'da görev yapmakta olan tüm öğretim üyeleri ve araştırma görevlilerine teşekkür ederim.

Ayrıca tüm tez hazırlık döneminde göstermiş olduğu anlayıştan dolayı başta annem S.Emel TOZLU ve kardeşim Bilge TUNÇELLİ'ye olmak üzere aileme ve bilimsel tavsiyelerinden ve araştırmalardaki katılım ve katkılarından dolayı İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü yüksek lisans öğrencilerinden M. Kağan AÇIKÖNEY'e teşekkür ederim.

Aralık, 2006

S. Bahar TUNÇELLİ

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. HTEA KAVRAMININ İNCELENMESİ	2
2.1. HTEA Tarihçesi	2
2.2. HTEA Tanım ve Metodolojisi	3
2.2.1. HTEA Türleri	4
2.2.2. Hata ve Terminolojisi	6
2.2.3. HTEA Süreci	8
2.3. Tasarım Kavram HTEA İçeriği	10
2.3.1. Tasarım Kavram HTEA Kapsamı ve Yararları	10
2.3.2. Tasarım Kavram HTEA Girdileri	10
2.3.2.1. Sınır diyagramı	11
2.3.2.2. Etkileşim matrisi	13
2.3.2.3. P-Diyagramı	14
2.3.3. Ford Tasarım Kavram HTEA Modeli	15
3. ARAŞTIRMA METODU	21
3.1. Araştırma Sınırlamaları	21
4. HELİKOPTER PİLOT KOLTUĞU TASARIM KAVRAM HTEA İÇERİĞİ	22
4.1. Kapsam	22
4.2. Girdiler	24
4.3. Model	29
4.4. Analiz	36
4.5. Bulgular	46

5. SONUÇ VE ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR	51
EKLER	53
ÖZGEÇMİŞ	83

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Etkileşim matrisi	13
Tablo 2.2. Şiddet değerlendirme tablosu.....	17
Tablo 2.3. Olasılık değerlendirme tablosu.....	18
Tablo 2.4. Tasarım keşfedilebilirlik tablosu.....	20
Tablo 4.1. Helikopter Pilot Koltuğu etkileşim matrisi.....	27
Tablo 4.2. Helikopter Pilot Koltuğu Tasarım Kavram HTEA Nesne/İşlev 1.....	29
Tablo 4.3. Helikopter Pilot Koltuğu Tasarım Kavram HTEA Nesne/İşlev 2.....	30
Tablo 4.4. Helikopter Pilot Koltuğu Tasarım Kavram HTEA Nesne/İşlev 3.....	31
Tablo 4.5. Helikopter Pilot Koltuğu Tasarım Kavram HTEA Nesne/İşlev 4.....	33
Tablo 4.6. Helikopter Pilot Koltuğu Tasarım Kavram HTEA Nesne/İşlev 5.....	35

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1.	Hata/Zaman grafiği..... 4
Şekil 2.2.	HTEA türleri..... 5
Şekil 2.3.	Ürünler için kuvvet eğrisi..... 7
Şekil 2.4.	HTEA Süreci..... 9
Şekil 2.5.	Sınır Diyagramı..... 12
Şekil 2.6.	Parametre diyagramı..... 14
Şekil 2.7.	Ford Tasarım Kavram HTEA Modeli..... 15
Şekil 2.8.	İşlev ağacı diyagramı..... 16
Şekil 4.1.	Helikopter içi pilot koltuk yerleşimi..... 22
Şekil 4.2.	Helikopter pilot koltuğu üç boyutlu kavramsal tasarım modeli..... 23
Şekil 4.3.	Helikopter pilot koltuğu sınır diyagramı..... 24
Şekil 4.4.	Helikopter pilot koltuğu p-diyagramı..... 28
Şekil 4.5.	Helikopter pilot çalışma uzayı..... 37
Şekil 4.6.	Helikopter pilot koltuğu oturma ergonomisi..... 38
Şekil 4.7.	Helikopter pilot koltuğu deney modeli..... 38
Şekil 4.8.	Helikopter pilot koltuğu fiziksel modeli..... 39
Şekil 4.9.	Helikopter pilot koltuğu deney mankeni (%95 erkek)..... 39
Şekil 4.10.	Deney mankenleri ön görünüş..... 40
Şekil 4.11.	Deney mankenleri üç boyutlu görünüş..... 41
Şekil 4.12.	Helikopter pilot koltuğu..... 41
Şekil 4.13.	Pilot oturmuş halde (%95 erkek)..... 42
Şekil 4.14.	Farklı antropometrik ölçülerdeki deney mankenleri oturmuş halde. 43
Şekil 4.15.	Farklı antropometrik ölçülerdeki kadın pilot çalışma uzayları..... 44
Şekil 4.16.	Farklı antropometrik ölçülerdeki erkek pilot çalışma uzayları..... 45

HELİKOPTER TASARIM SÜRECİNDE PİLOT KOLTUĞU TASARIM KAVRAM HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (HTEA)

ÖZET

Sürekli ürün ve süreç geliştirilmesinin genel bir endüstri yönelmesi olması nedeni ile HTEA'nın olası endişelerin belirlenmesi ve en aza indirgenmesine yardım amacıyla disiplinli bir teknik olarak kullanılması her zamankinden daha fazla önem kazanmıştır.

Ürünlerdeki ve araçlardaki arızalar nedeniyle geri çağırma programlarından alınan sonuçlar göstermektedir ki, tam olarak uygulanmış HTEA programları, ürünlerin ve araçların geri çağırılmalarını önleyen birçok önemli iyileştirme sağlamıştır.

Bir HTEA programının başarılı bir şekilde uygulanmasında en önemli etkenlerden birisi çalışmanın tam zamanında yapılmasıdır. Bunun anlamı olay olduktan sonra yapılması değil olmadan önce yapılmasıdır.

En iyi değere ulaşabilmek için HTEA bir ürün veya süreç hata türlerinin, ürün veya süreç içerisine dahil edilmesinden önce yapılmalıdır. HTEA'nın uygun olarak tamamlanması için önceden harcanacak zaman, ürün ve süreç değişikliklerinin en kolay ve en ucuz yapılacağı zamandır ve daha sonraki aşamalarda yapılacak değişiklik krizlerini en alt düzeye getirecektir. Bir HTEA, daha büyük endişeler yaratacak bir önleyici ve düzeltici değişiklik uygulama şansını azaltacak veya ortadan kaldıracaktır. Burada bütün HTEA türleri arasında iletişim ve işbirliği olmalıdır.

HTEA'nın en iyi şekilde uygulanmasına göre, çalışmalar gerçekleştirilirse çok önemli tasarım ve mühendislik zamanı ve diğer maliyet kazançları görülebilir.

Bu çalışmada, Ford Tasarım Kavram HTEA modeli en iyi kavramsal tasarım alternatiflerini seçmek ve/veya sistem tasarım şartnamelerine karar verebilmek amacıyla helikopter pilot koltuğuna uygulanmıştır. Helikopter pilot koltuğunun kapsamında olduğu Rotorlu Araçlar Tasarım ve Mükemmeliyet Merkezi'nde (ROTAM'da) süregelen DPT tarafından desteklenen ve İTÜ Rektörlüğü tarafından desteklenen helikopter projesinin temel hedefi, ülkemizde eksikliği çekilen belirli bir görevi tanımlanmış olan bir hava aracının (helikopter), kavramsal tasarımından başlayarak detay tasarımını gerçekleştirmek ve bu tasarımın üretimini planlamak ve sertifikasyonunu sonuçlandırmak becerisinin kazanılmasıdır.

DESIGN CONCEPT FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA) IN HELICOPTER PILOT SEAT DESIGN PROCESS

SUMMARY

Because of the general industry trend to continually improve products and processes whenever possible, the need for using the FMEA as a disciplined technique to identify and help minimize potential concern is as important as ever.

Studies of product and vehicle campaigns have shown that fully implemented FMEA programs could have prevented many of the campaigns.

One of the most important factors for the successful implementation of an FMEA program is timeliness. It is meant to be a before the event action, not an after the fact exercise.

To achieve a greatest value, the FMEA must be done before a product or process failure mode has been incorporated into a product or process. Up front time spent properly completing a FMEA, when changes of product and process can be most easily and inexpensively implemented, will minimize late change crises. A FMEA can reduce or eliminate the chance of implementing a preventive and corrective change, which would create an even larger concern. Communication and coordination should occur between all types of FMEAs.

Significant savings in design and engineering time and other costs could be realized if FMEAs are completed according to the FMEA best practices.

In this study Ford's Design Concept FMEA is implemented in helicopter pilot seat to determine the optimum concept alternative and/or changes to system design specifications. Helicopter pilot seat design is part of the project that is supported by DPT (Turkish Government Planning Organization) and managed by ITU (Istanbul Technical University) rectorship as HAGU "Havacılık Araştırma ve Geliştirme Projesi" (Aviation Research and Development Project) study which has the main aim of gaining ability to begin with making preliminary design than to make a detailed design of an aircraft (helicopter) which is defined for a specific mission, and to plan for production of this design and to finalize the certification process.

1. GİRİŞ

Piyasada rekabet edebilmeleri için firmalar çeşitli operasyonlardaki hatalarını önlemek veya risklerini azaltmak mecburiyetindedirler. HTEA; sistem, tasarım, süreç veya serviste oluşabilecek hataların değerlendirmesini ve bu tür hataların (problemler, yanlışlıklar, riskler v.s.) sürekli azaltılmasını hedefleyen özel bir metodolojidir. (TÜVSüdwest, 2002)

1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı

Rotorlu Araçlar Tasarım ve Mükemmeliyet Merkezi (ROTAM) 'da süregelen DPT tarafından desteklenen ve İTÜ Rektörlüğü tarafından yönetilen helikopter projesi kapsamında pilot koltuğu ile ilgili Tasarım Kavram HTEA çalışması yapılması ile projenin temel hedefi olan ülkemizde eksikliği çekilen belirli bir görevi tanımlanmış olan bir hava aracının (helikopter) kavramsal tasarımından başlayarak detay tasarımını gerçekleştirmek ve bu tasarımın üretimini planlamak ve sertifikasyonunu sonuçlandırmak becerisinin kazanılmasında, genel olarak ürün geliştirme sürecini destekleyerek sadece nihai müşteri- aracı satın alıp kullananlar değil aynı zamanda alt sistem ve sistem veya ürünün tasarım mühendisleri ve ekipleri ve/veya üretim ve montaj süreci sorumlu mühendisleri ve servis mühendisleri gibi iç müşterilere de robust tasarım geliştirmede veri sağlama hedeflenmiştir.

Helikopter pilot koltuğunda çıkabilecek olası arızaların ve ilgili sebeplerinin ele alınması ve çözümlenmesiyle, ürünün kalite, emniyet ve güvenilirliğini sağlamaya yönelik kritik durumlarını ve zayıf noktalarını belirlemek için tasarımın kavram aşamasında iken bir ekip tarafından analizi ve gerekli tasarım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada birinci bölümde analizin gerekliliği üzerinde durulmuş, ikinci bölümde sırasıyla HTEA ve Tasarım Kavram HTEA ile ilgili temel açıklamalara yer verilmiş, üçüncü bölümde araştırma metodu ve kapsamı açıklanmıştır. Dördüncü bölümde ise Ford Tasarım Kavram HTEA modelinin helikopter pilot koltuğunda uygulamasına yer verilmiş, son bölümde de sonuç ve öneriler sunulmuştur.

2. HTEA KAVRAMININ İNCELENMESİ

HTEA ürünlerin ve süreçlerin geliştirilmesinde öncelikli olarak hata riskinin ortadan kaldırılmasına odaklanan ve bu amaçla yapılan faaliyetleri belgelendiren bir tekniktir. Bu analitik teknik önleyici faaliyetlerle ilgilenmektedir.

HTEA bir ürün henüz kavram aşamasında ya da tasarım aşamasındayken kağıt üzerinde ya da bilgisayar ortamında ilk gerçek ürün kullanıcının ellerinde başarısız olmadan önce uygulanmaktadır. Bunun anlamı ürün tüketiciye ulaşmadan önce hatalarının bulunmasıdır. (Hsiao, 2002)

2.1. HTEA tarihçesi

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) disiplini ABD ordusunda geliştirilmiştir. Hata Türü Etkileri ve Riskinin Analizi Üzerine Prosedürler olarak adlandırılan Askeri Prosedür MIL-P-1629 9 Kasım 1949 tarihinde uçuş kontrol sistemlerinin kontrolünde kullanılmaya başlatılmıştır (Yılmaz, 2000).1960'dan sonra havacılıkta sistemli olarak uygulanmıştır. NASA tarafından 1960–1965 yılları arasında aya insan indirme (APOLLO) projesinde denenmiştir. Sistem ve donatım hatalarının etkilerinin belirlenmesi için güvenilir bir değerlendirme tekniği olarak kullanılmıştır. Endüstride ilk uygulamaları ise Japon NEC firması ve 1977 yılında da otomotiv endüstrisinin başta gelen kuruluşlarından Ford tarafından yapılmıştır. Daha sonra otomotiv ve tekstil sektöründe yaygın uygulama alanı bulabilmiştir. (Ford, 2000)

- 1960–1965 NASA/APOLLO Projesi
- 1965-1970 ABD Silahlı Kuvvetleri Mil-Std-1629A
- 1970–1975 ABD Uçak Sanayi
- 1975 Japon NEC firması
- 1975-1980 Ford Motor Company
- 1985 Fiat Otomotiv

1980 sonları ile 1990 başlarında tasarım hedeflerini ve müşteri beklentilerini karşılamak için birtakım standartlar geliştirilmiştir. 1988 yılında ISO 9000 kalite yönetim standartları ile firmalar kendi kalite yönetim sistemlerini oturtmaya başlamışlardır. Bununla beraber ürün geliştirme ile ilgili de standartlar geliştirilmiştir. Bu standartlardan en önemlileri ISO13845 sağlık gereçleri ile ilgili, ISO 14971 risk analizi ile ilgili ve QS 9000 otomotiv sektörü ile ilgili olmuştur.

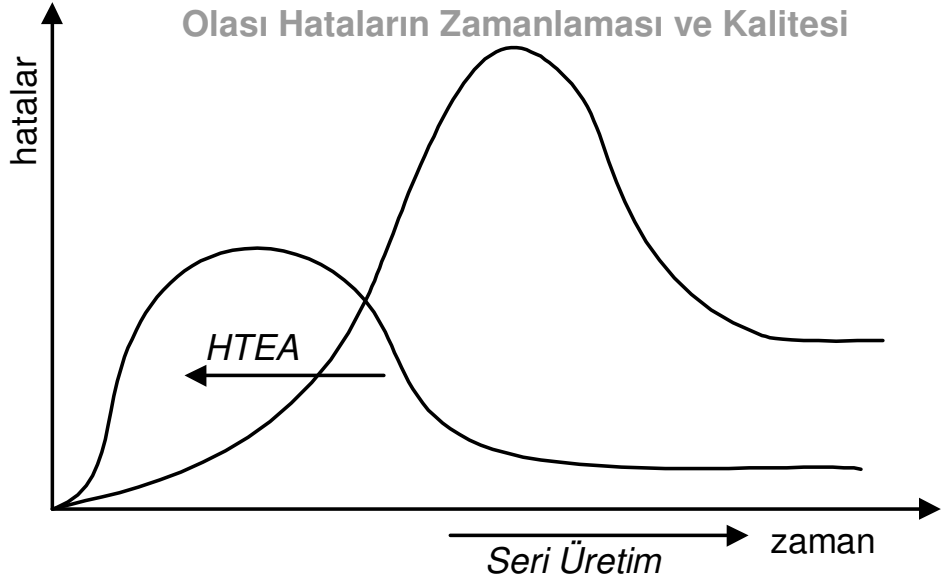
Özellikle Otomotiv Endüstrisi Faaliyet Grubu (AIAG) ve Amerikan Kalite Derneği (ASQ) Şubat 1993 yılında HTEA için rehber niteliğini taşıyan standartların telif hakkını almışlardır. (Mekki, 2006)

2.2. HTEA Tanım ve Metodolojisi

Tasarım HTEA ürün henüz tasarım aşamasında iken çıkabilecek hataların ve bunlarla ilgili sebeplerin tasarımdan sorumlu bir ekip tarafından ele alınmasını; belirlenmesini, önceliklendirilmesini ve iyileştirme çalışmaları ile hata ortaya çıkmadan giderilmesini sağlayarak bu amaçla yapılan faaliyetleri belgelendiren analitik bir tekniktir.

Tasarım ve Süreç HTEA çalışması yapılması seri üretim öncesi ve sonrası ortaya çıkabilecek birçok hatanın daha önceden belirlenip ortadan kaldırılmasını ve hata miktarının azaltılmasını sağlar. (Şekil 2.1) Ürün tasarımında üründe çıkabilecek olası bütün arızaların ve ilgili sebeplerin ele alınması ve çözümlenmesiyle ürünün kalite, emniyet ve güvenilirliğini sağlamaya yönelik olarak, kritik durumlarını ve zayıf noktalarını belirlemek için robust tasarımın bir ekip tarafından analizini ve gerekli iyileştirme faaliyetlerinin gerçekleştirilmesini hedefler. (Ford, 2000 ; Otto, Wood, 2001 ; Lester, 1998)

Bir HTEA programının başarılı bir şekilde uygulanmasında en önemli etkenlerden birisi bunun tam zamanında yapılmasıdır. Bunun anlamı olay olmadan önce yapılması, olduktan sonra yapılmamasıdır. (Ford, 2000)



2.2.1. HTEA Türleri

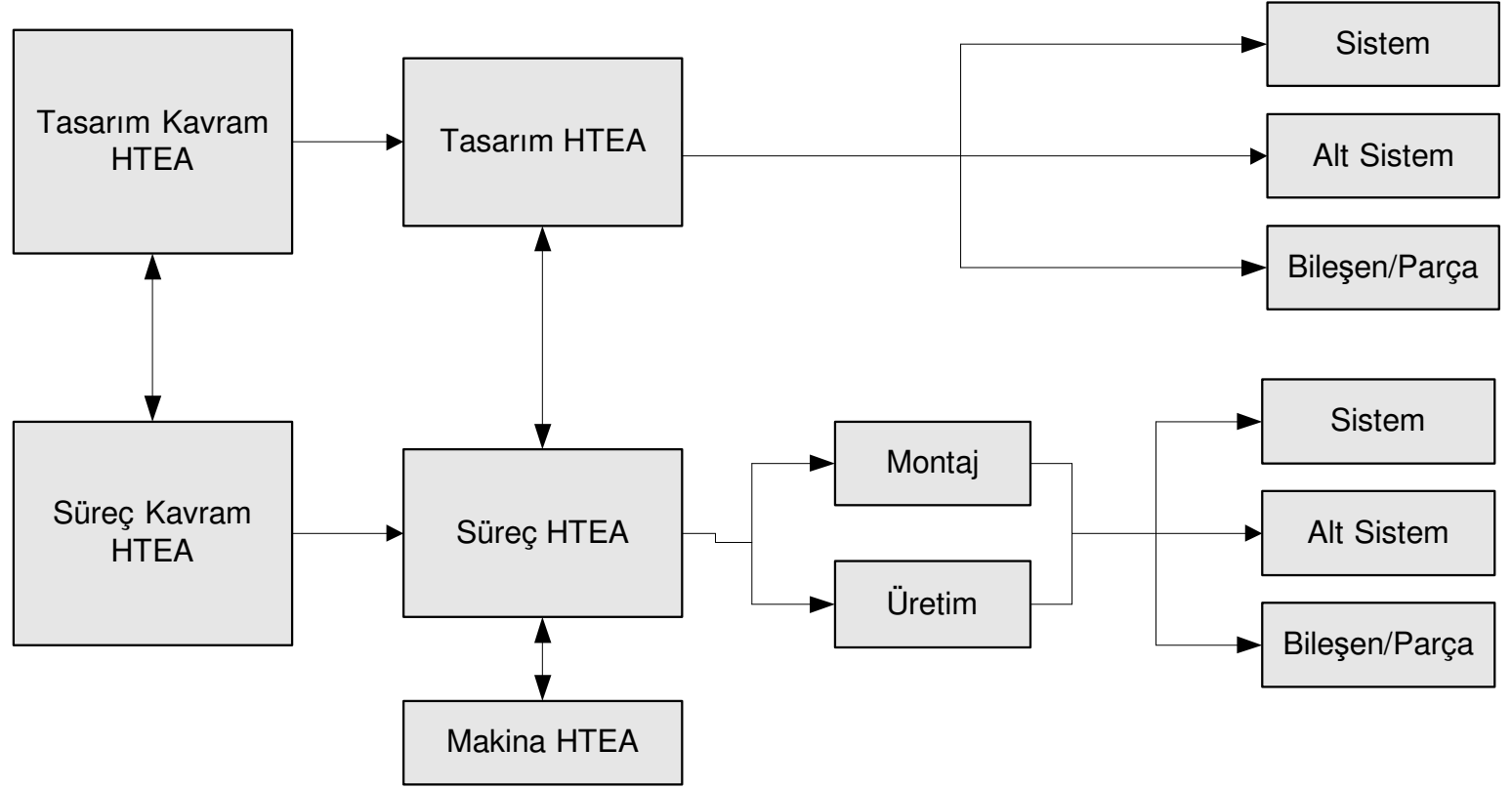
HTEA türleri aşağıda genel olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 2.2):

- Kavram HTEA (Ford firmasına özgü bir modeldir.)
 - Tasarım Kavram HTEA
 - Süreç Kavram HTEA
- Tasarım HTEA
- Süreç HTEA
- Makina HTEA

Kavram HTEA müşterinin işlevsel gereksinimlerinin geçerliliğini ve doğrulanması için Tasarım HTEA sürecinin sistem tasarım şartnamelerini sağlar. Kavram HTEA üretim süreci tasarımı önerisinin test edilmesi amacıyla süreç üzerinde kullanılabilir.

Kavram HTEA programın mümkün olduğunca başında başlatılmalıdır. Değişiklikler ortaya çıktıkça güncelleştirilir ve değiştirilir veya program gelişme aşamasındayken ilave bilgi elde edilir.

Şekil 2.2: HTEA türleri (Ford, 2000)



2.2.2. Hata ve Terminolojisi

HTEA çok yönlü bir tekniktir. İleri Ürün Planlama (APQP), problem çözme veya sürekli iyileştirme için kullanılabilir. Aynı zamanda hem ürün tasarımında hem de üretim ve montaj süreçlerinde uygulanabilir.

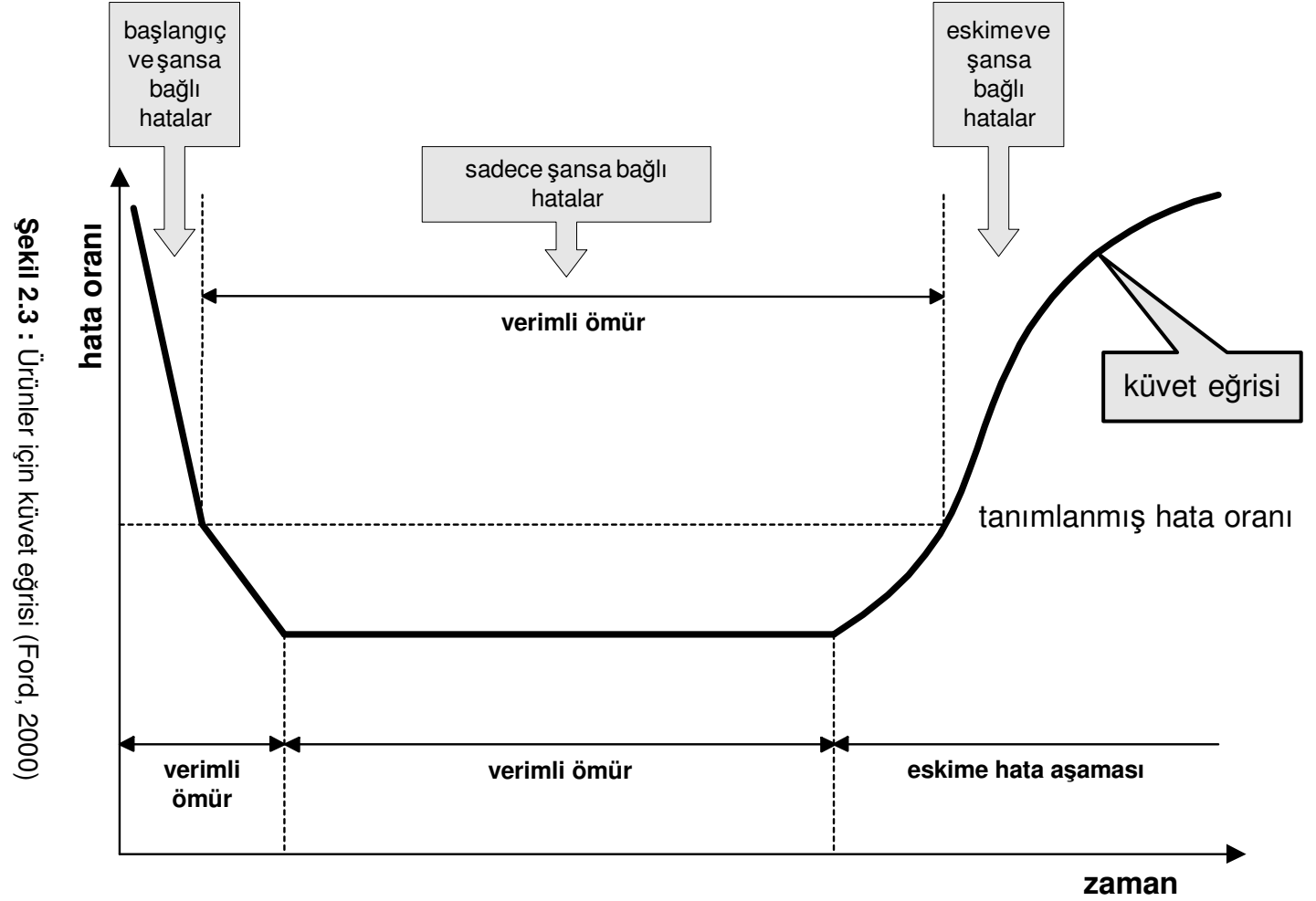
Bir ürünün yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkaracağı kusurların önceden tahmin edilebildiği şablon olan küvet eğrisinde üç farklı aşama vardır:

- Başlangıç aşaması: hata miktarları yüksek (üretim ve montaj hataları)
- Verimli ömür aşaması: hatalar tesadüfi olarak ortaya çıkar (ürün tasarım yetersizlikleri)
- Eskime aşaması: hatalar artar (normal yaşlanma ve tasarım yetersizliği)

Başlangıç aşamasında hata miktarları oldukça yüksektir. Bunlar üretim ve montaj kusurlarından oluşmaktadırlar

Verimli ömür aşamasında hata değerleri yatay olarak devam eder. Hatalar tesadüfi olarak ortaya çıkarlar ve genel olarak ürün tasarımındaki bazı yetersizliklerden kaynaklanırlar.

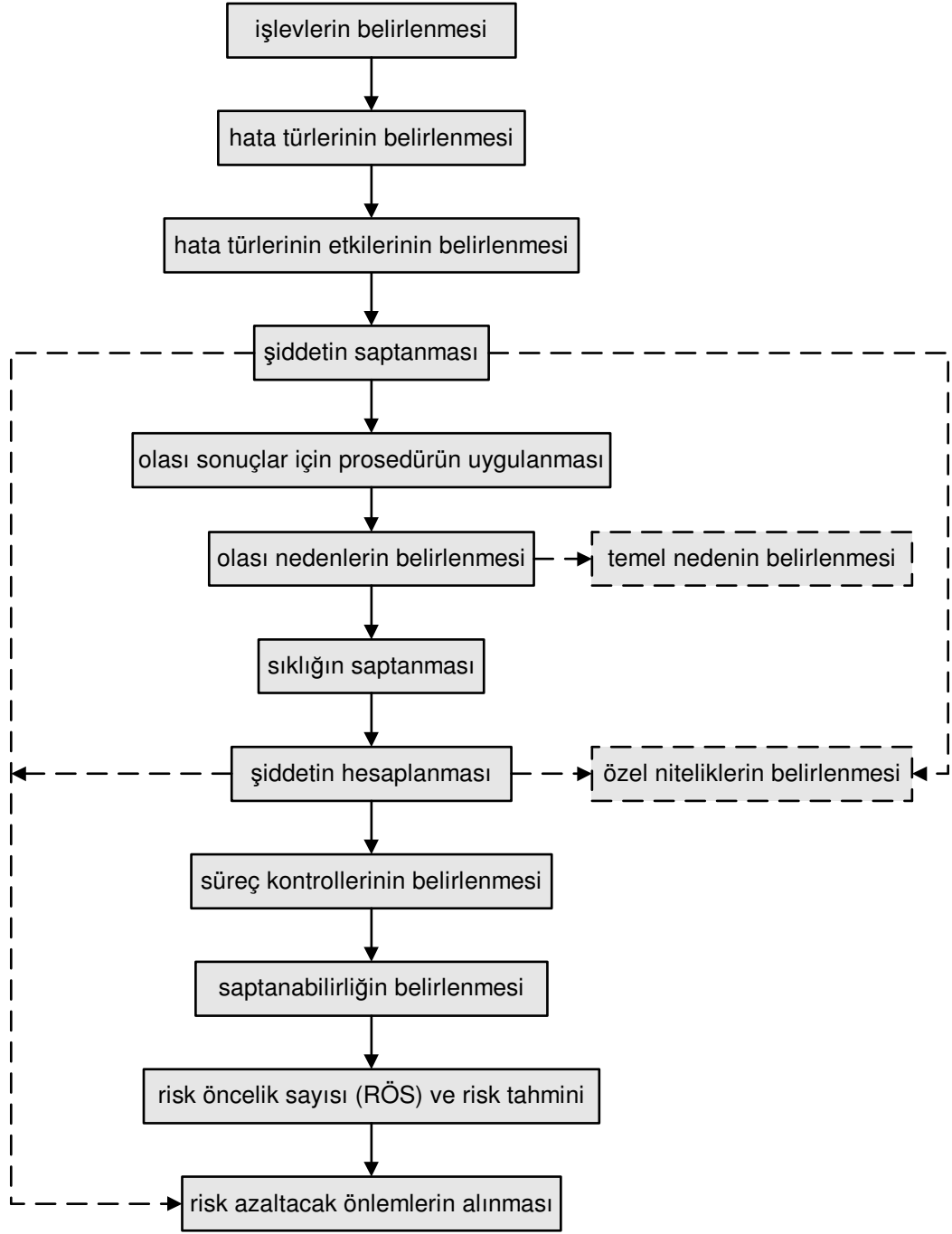
Eskime aşaması sırasında hata miktarları artmaya başlarlar. Bu hataların bazıları normal yaşlanmadan kaynaklansa da bazıları tasarım yetersizliğinden kaynaklanan olgunlaşmamış konulardır. (Şekil 2.3)



2.2.3. HTEA Süreci

Bir HTEA yaşayan bir belgedir ve bir anlamda tasarım veya üretim ve montaj süreçlerindeki önemli değişiklikler ortaya çıktığında güncelleştirilmelidir. Ürün veya süreç tasarımının tamam olduğuna dair onay verilmesi ile HTEA tamamlanmış olur; (Şekil 2.4)

- Sistem Tasarım Şartnameleri dondurulduğunda ve tasarım fonksiyonları tanımlandığında bir Kavram HTEA'nın tamamlandığı varsayılır.
- Ürün tasarımına üretim için izin verildiğinde veya program imzaya ulaştığında bir Tasarım HTEA'nın tamamlandığı varsayılır.
- Tüm işlemler göz önüne alındığında, tüm Özel Özellikler belirlendiğinde ve Kontrol Planı tamamlandığında bir Süreç HTEA'nın tamamlandığı varsayılır.



Şekil 2.4: HTEA Süreci

2.3. Tasarım Kavram HTEA İçeriği

Tasarım Kavram HTEA tasarımdan sorumlu kişi ve ekip tarafından olabilecek tüm kapsamı ile olası hata türleri ve ilgili sebeplerinin göz önüne alındığı ve tanımlandığı, güvenlik sağlama aracı olarak yararlanılan analitik bir tekniktir. İlgili her bir sistem, alt sistem ve bileşenle beraber sonuçlar değerlendirilmelidir.

Çoğu Tasarım Kavram HTEA normal bir Tasarım HTEA gibi uygulanır. (Ford, 2000)

2.3.1. Tasarım Kavram HTEA Kapsamı ve Yararları

Tasarım Kavram HTEA genel olarak kavram tasarım aşamasında sistem elemanları arasındaki etkileşimleri ve çoklu sistemlerin etkileşimlerini içerir. (Airbus Industrie, 1999)

Başlıca yararları aşağıda sıralanmıştır:

- Optimum kavram alternatiflerinin seçimine yardımcı olur.
- Sistem Tasarım Şartnameleri değişikliklerini kararlaştırır.
- Kavram için hedef belirlemeye yardımcı olur.
- Kavram içerisindeki etkileşimlerden kaynaklanan hata türleri ve sebeplerini belirler.
- Sistem ve alt sistem düzeyindeki deney gereksinimlerini belirler.
- Tasarım önerisinin içindeki donanım sistem fazlalığının gerekliliğine karar vermede yardımcıdır.

2.3.2. Tasarım Kavram HTEA girdileri

Tasarım Kavram HTEA'ya başlamadan önce analizin sınırı ve genişliği ve neyin içerilmesi ve dışarıda bırakılmasını tanımlamak önemlidir. Kapsam doğru yapılmadığında:

- Analizin süresini uzatır.
- Hedef analizi kaçıır.
- Ekip üyeliğini yanlış belirler.

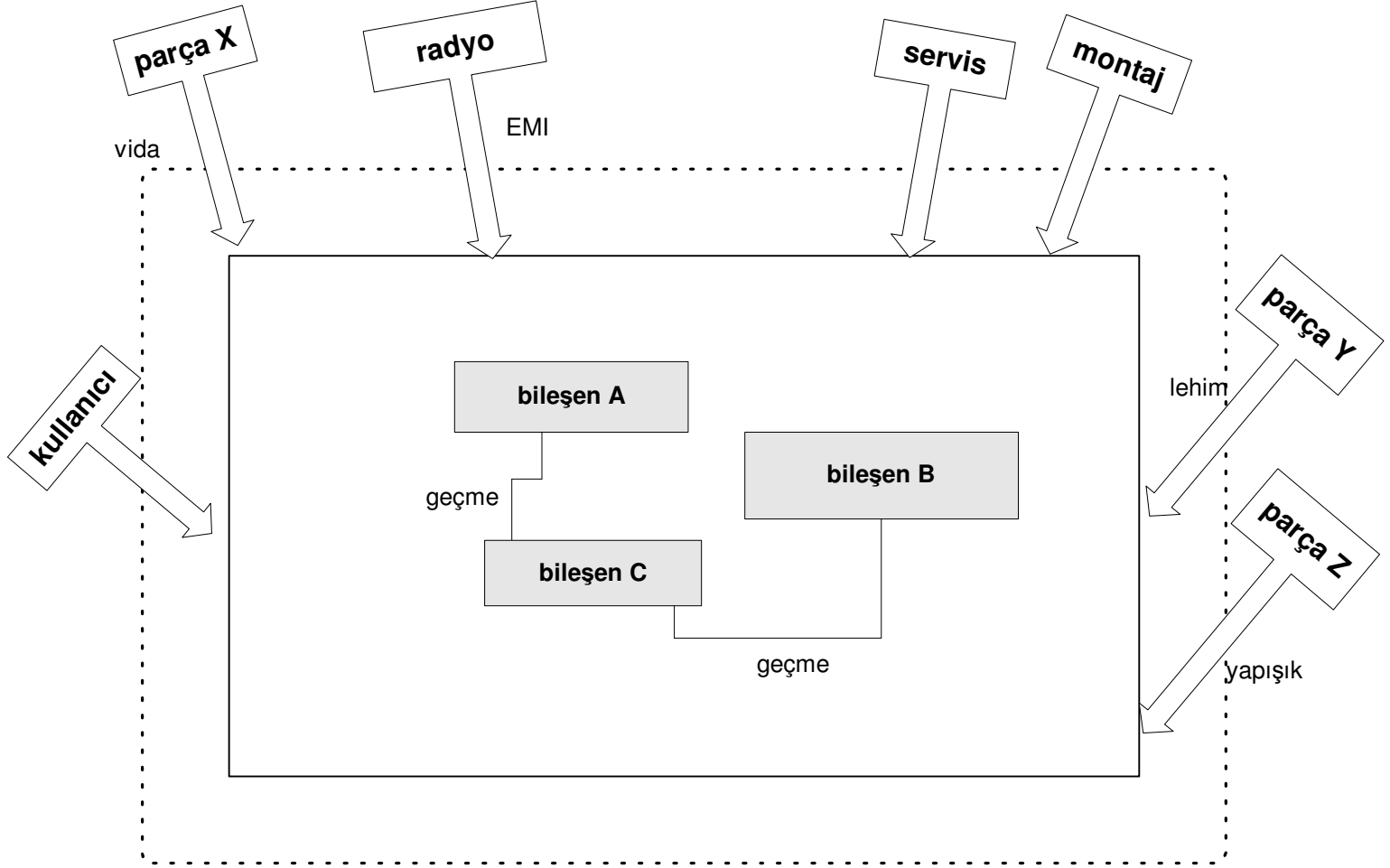
2.3.2.1. Sınır diyagramı

Bir HTEA'nın genişliğini belirlemek için sınır diyagramı kullanılır. (Şekil 2.5)

Sınır diyagramı, karmaşık bir sistem veya grubu yönetilebilir bir düzeye bölmek için zorunlu bir araçtır. Bir sistemi oluşturan çeşitli alt sistemler, gruplar, alt gruplar ve bileşenler arası ilişkilerin grafiğidir.

Sınır diyagramının iki temel türü vardır:

- İşlev Sınır Diyagramı: İşlev analizinin çıktılarıdır. Bir sistem kavram aşamasındayken kullanılır. Bileşenler yerine işlevleri gösterirler ve ulaşılabilecek sistem işlevlerinin neler olduğunu açıklarlar.
- İşlevsel ve Donanım Sınır Diyagramları: bir sistemi işlevsel açıdan küçük parçalara bölmek için kullanılır. Fiziksel ilişkilerin gösterilmesi için kullanılırlar.



Şekil 2.5 Sınır Diyagramı

2.3.2.2. Etkileşim matrisi

Bir etkileşim matrisi bir sistemin karşılıklı etkilerini aşağıdaki şekilde belirler ve sayısallaştırır: (Tablo 2.1)

- İlişkinin veya tersinin gerekli olup olmadığını göstererek
- İlişkinin türünü tanımlayarak (örneğin; enerji transferi, bilgi alışverişi, vs.)

Tablo 2.1: Etkileşim matrisi

ürün	Bileşen A	Bileşen B	Bileşen C
Bileşen A			+2
Bileşen B			+2
Bileşen C	+2	+2	

F	E	F: Fiziksel etkileşim E: Enerji transferi B: Bilgi transferi M: Malzeme transferi
B	M	

-1: etkileşimin etkisi olumsuz, fakat işlevselliği önlemez.
-2: işlevsellik için etkileşim önlenmelidir.
0: etkileşim işlevselliği etkilemez.
+1: işlevsellik için etkileşim yararlı, fakat gerekli değil.
+2: işlevsellik için etkileşim gereklidir.

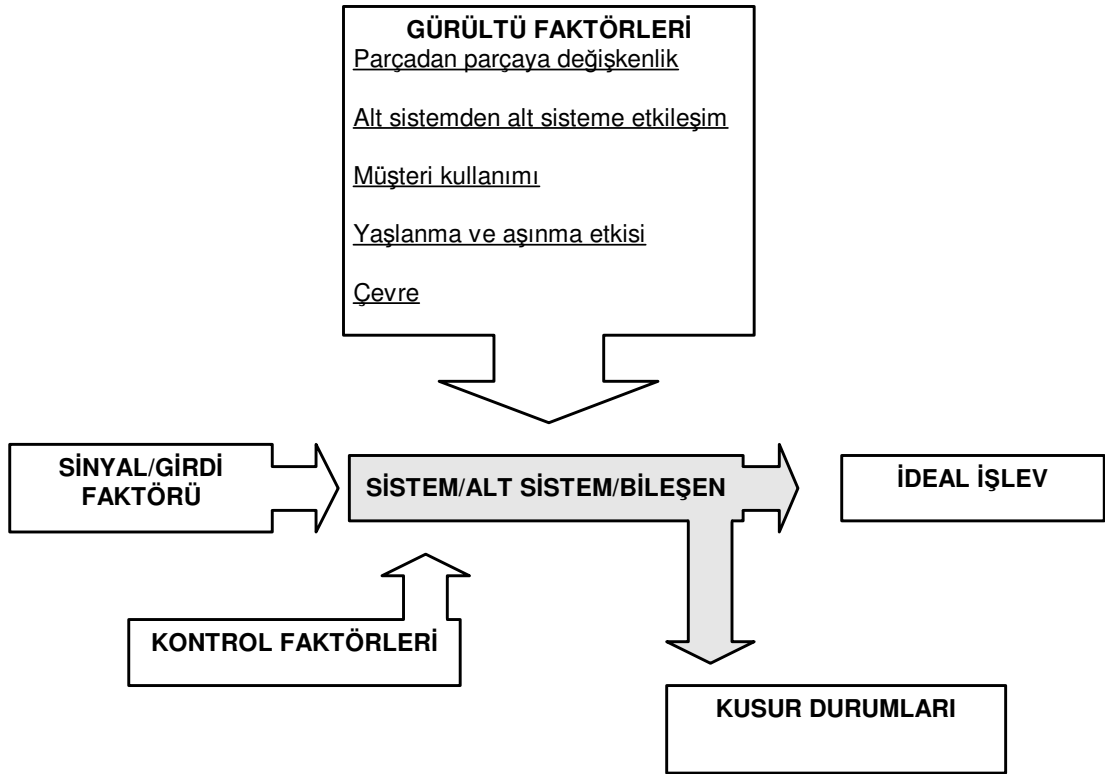
2.3.2.3. P-Diyagramı (parametre diyagramı)

Bir P-Diyagramı bir işlev için arzulanan girdi ve çıktıların belirlenmesinde önerilen yapısal bir araçtır. Belirli bir işlev için bu girdi ve çıktılar belirlendikten sonra kusur durumları belirlenir ve bunlara öncülük edecek gürültü faktörleri listelenir.

Gürültünün beş temel kaynağı aşağıda listelenmiştir: (Şekil 2.6)

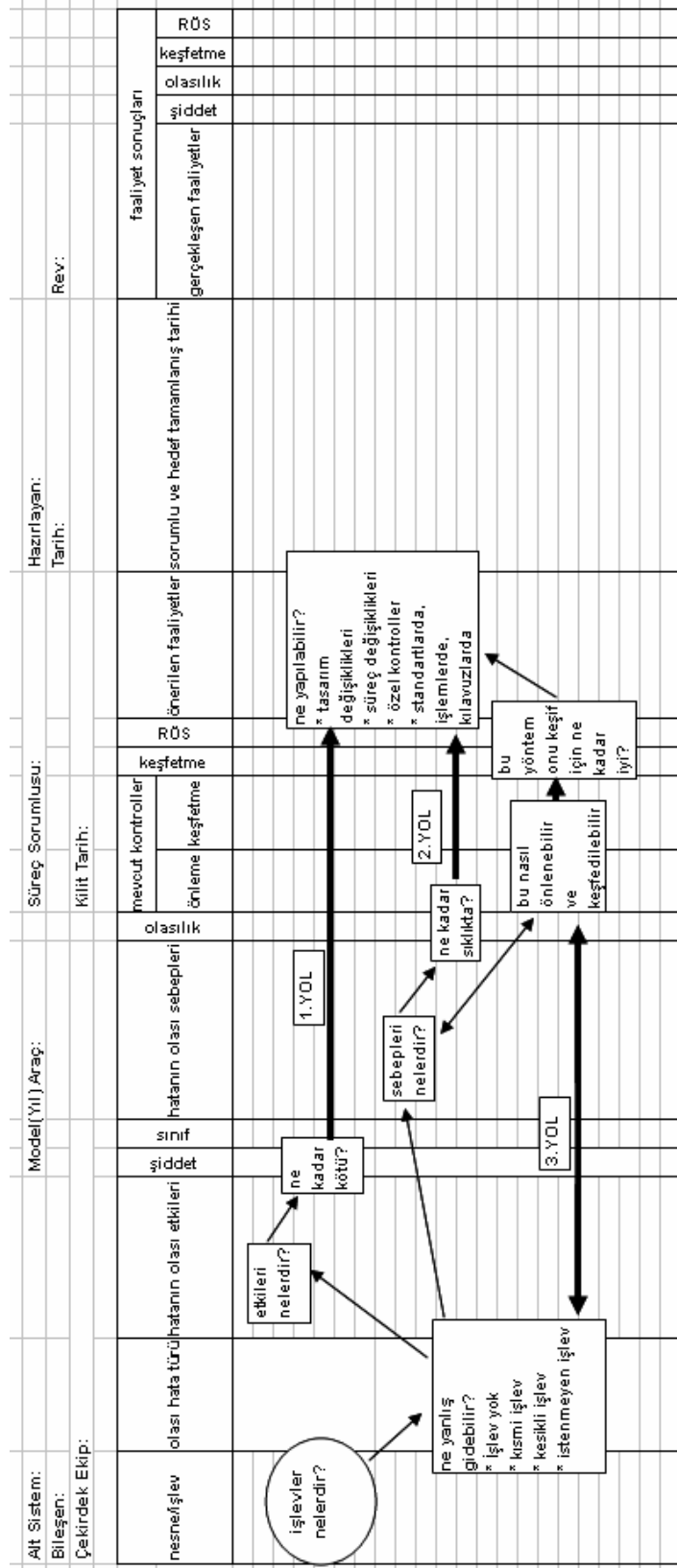
- Parçadan parçaya değişkenlik
- Alt sistemden alt sisteme etkileşim
- Yaşlanma /aşınma etkisi
- Çevre
- Müşterinin kullanımı

Sonuçta belirlenen gürültü faktörlerini denkleyecek kontrol faktörleri belirlenir.



Şekil 2.6: P-diyagramı

2.3.3. Ford Tasarım Kavram HTEA Modeli



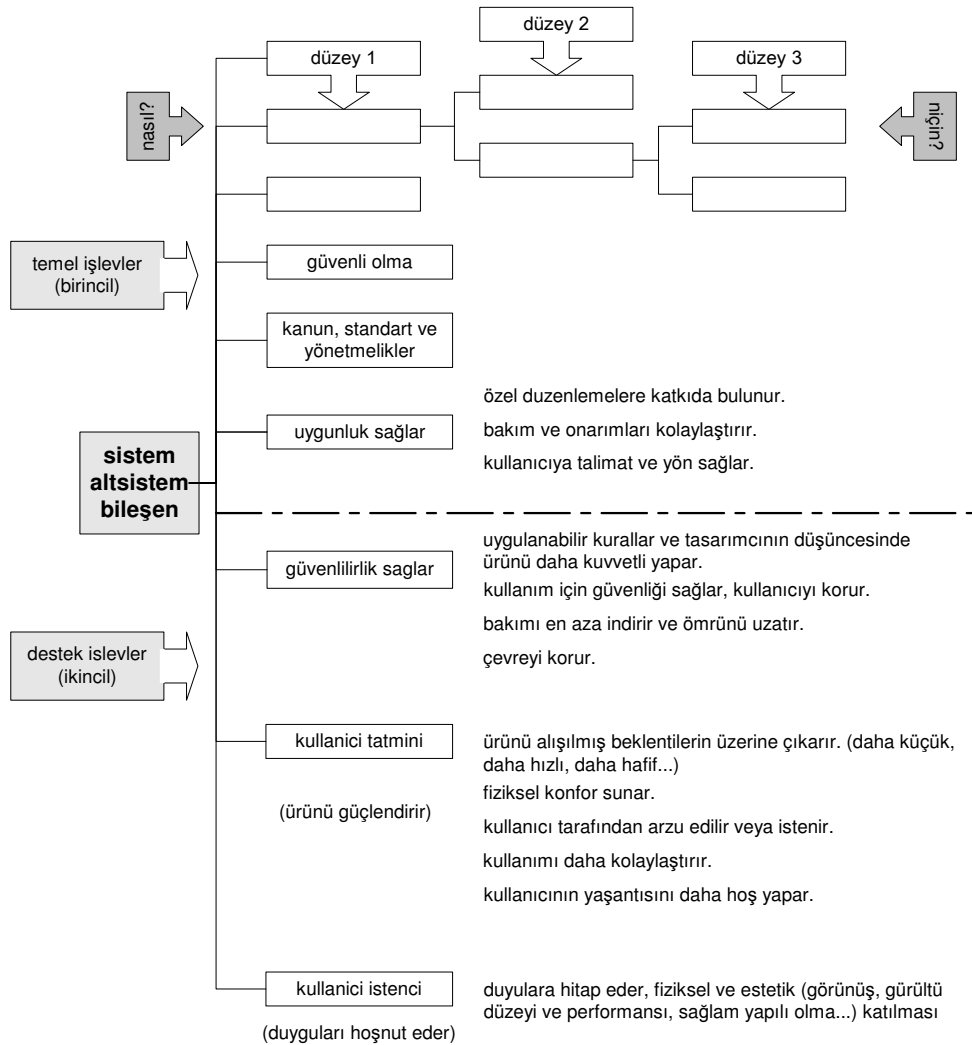
Şekil 2.7: Ford Tasarım Kavram HTEA Modeli

Çalışma model birinci yolu

- İşlev ağacı diyagramı: İşlevler isim/fiil/ölçülebilir formda yazılırlar.
- Olası hata türleri

Dört düşünce başlatıcı kullanılarak listelenir:

- İşlev yok
- Kısmi/fazla işlev
- Kesikli işlev
- İstenmeyen işlev



Şekil 2.8: İşlev ağacı diyagramı

- Hatanın olası etkileri aşağıdaki sıraya göre belirlenir:
 - Parçalar ve alt bileşenler üzerine
 - Bir üst grup üzerine
 - Sistem üzerine
 - Araç ve ürün üzerine
 - Müşteri üzerine
 - Hükümetin koyduğu kurallar veya yasalarla uygunsuzluk üzerine
- Şiddet (Tablo 2.2)

Tablo 2.2: Şiddet değerlendirme tablosu

ŞİDDET DEĞERLENDİRME TABLOSU		
ETKİ	ÖLÇÜT: ETKİNİN ŞİDDETİ	DERECE
Uyarısız Gelen Tehlike	Uyarısız olarak bir olası hata türü güvenli araç kullanımını etkilemekte ve/veya yasalarla uygunsuz bir durum ortaya çıktığında ölüm ve yaralanmalara sebep olabilecek hatalar	10
Uyarılı Gelen Tehlike	Uyarılı olarak bir olası hata türü güvenli araç kullanımını etkilemekte ve/veya yasalarla uygunsuz bir durum ortaya çıktığında ölüm ve yaralanmalara sebep olabilecek hatalar	9
Çok Büyük	Birincil işlev kaybına sebep olarak araç ve nesnenin çalışmamasına sebep olabilecek hatalar	8
Büyük	Düşük performans ve müşteri memnuniyetsizliğine sebep olabilecek araç ve nesnenin izlenmeye alınmasını gerektirecek derecede etkisi olan hatalar	7
Orta	Kullanımında ciddi bir sorun yaratmayacak olan, müşteri şikayeti olarak yansıma ihtimali bulunan etkisi orta şiddetteki hatalar.	6
Düşük	Kullanımında ciddi bir sorun yaratmayacak olan, müşteri şikayeti olarak yansıma ihtimali bulunan etkisi düşük şiddetteki hatalar.	5
Çok Düşük	Kullanımında ciddi bir sorun yaratmayacak olan, müşteri şikayeti olarak yansıma ihtimali bulunan etkisi düşük şiddetteki hatalar. Kullanıcıların %75 den fazlası farkeder.	4
Önemsiz	Kullanımında ciddi bir sorun yaratmayacak olan, müşteri şikayeti olarak yansıma ihtimali bulunan etkisi düşük şiddetteki hatalar. Kullanıcıların %50 si farkeder.	3
Çok Önemsiz	Kullanımında ciddi bir sorun yaratmayacak olan, müşteri şikayeti olarak yansıma ihtimali bulunan etkisi çok düşük şiddetteki hatalar. Kullanıcıların %25 den azı farkeder. Etkisi minimum derecede olan hatalar	2
Yok	Etkisi yok	1

Şiddet derecelendirmesi sadece etkiye uygulanır. Hata türü ve etkisinin en ciddi olanına bağlı olarak derecelendirilir. Şiddet derecesinin azaltılmasını sadece tasarım değişikliği sağlar.

- Özellik sınıflandırması: Tasarım Kavram HTEA da boş bırakılır.
- Önerilen faaliyetler

Çalışma model ikinci yolu

- Hatanın olası sebepleri

İki varsayım kullanılır:

- Nesne mühendislik şartnamelerine göre üretildi ve monte edildi.
- Tasarımın, üretim ve montaj süreçlerinde istenmeyen değişkenliğe neden olabilecek bir yetersizliği vardır.

- Olasılık (Tablo 2.3)

Tablo 2.3: HTEA olasılık değerlendirme tablosu

OLASILIK DEĞERLENDİRME TABLOSU		
HATA OLASILIĞI	TASARIM ÖMRÜ BOYUNCA HATA OLASILIĞI	DERECE
Çok Yüksek: ısrarcı hatalar	Her 1000 araç ve nesnede 100'eşit ve daha çok	10
	Her 1000 araç ve nesnede=50	9
Yüksek: sık hatalar	Her 1000 araç ve nesnede=20	8
	Her 1000 araç ve nesnede=10	7
Orta: ara sıra olabilecek hatalar	Her 1000 araç ve nesnede=5	6
	Her 1000 araç ve nesnede=2	5
	Her 1000 araç ve nesnede=1	4
Düşük: az olabilecek hatalar	Her 1000 araç ve nesnede=0,5	3
	Her 1000 araç ve nesnede=0,1	2
Pek Az, Olası olmayacak Hata	Her 1000 araç ve nesnede 0.1 daha az	1

Olasılık derecesi iki sayının arasındaysa büyük olan değer alınır. Eğer tahmin edilemiyor veya ekipte fikirbirliği sağlanamıyorsa o zaman en yüksek yani 10 derecesi alınır.

- Özellik sınıflandırması

Çalışma model üçüncü yolu

- Mevcut tasarım kontrolleri:
 - Önleyici
 - Keşfedici
- Keşfedilebilirlik (Tablo 2.4)
- Risk öncelik sayısı (RÖS): Şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik sayısının çarpımıdır. ($\text{Ş} \times \text{O} \times \text{K}$)
- Önerilen faaliyetler
- Gerçekleşen faaliyetler
- Sonuç
- Sonuç RÖS
- Tasarım doğrulama planı

Tablo 2.4: Tasarım keşfedilebilirlik tablosu

KEŞFEDİLEBİLİRLİK TABLOSU		
KEŞİF	ÖLÇÜT:TASARIM KONTROLÜ TARAFINDAN KEŞİF OLASILIĞI	DERECE
Farkedilemez	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği mümkün değil	10
Çok az	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği çok uzak	9
Az	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği uzak	8
Çok Düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği çok düşük	7
Düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği düşük	6
Orta	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği orta	5
Ortadan Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği ortadan yüksek	4
Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği yüksek	3
Çok Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği çok yüksek	2
Hemen Hemen Kesin	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği kesin	1

Keşfedilebilirlik belirlenmiş en iyi keşfedici kontrol ile değerlendirilir. Birden çok keşfedici kontrol varsa en yeterli olanının sağladığı en küçük değer alınır. Önleyici kontroller keşfetmeyeceğinden 10 derecesi alınır. Eğer belirlenemiyorsa yine 10 derecesi alınır.

3. ARAŞTIRMA METODU

Bu çalışmada literatür araştırması kullanılarak elde edilen bilgiler ile Ford Motor firmasında kullanılan Tasarım Kavram HTEA metodu devam eden ROTAM Helikopter Projesi kapsamında tasarlanmakta olan pilot koltuğuna uygulanmıştır.

3.1. Araştırma Sınırlamaları

Genel olarak geniş bir ekip çalışması gerektiren Tasarım Kavram HTEA ürün tasarımcısı tarafından başlatılmıştır. Gerekli durumlarda bilgilerine başvurmak üzere etkilenen tüm bölgelerin temsilcilerine doğrudan ulaşılmıştır.

Ekip iki ayrı gruptur;

- Çekirdek ekip: Tasarım Kavram HTEA'sını başlatmıştır.
 - S.Bahar Tunçelli- endüstri ürünleri tasarımcısı (ekip lideri)
 - M.Kağan Açıköney- endüstri ürünleri tasarımcısı (Gerekli durumlarda)
- Destek ekip:
 - ROTAM çalışanları (Gerekli durumlarda)

Buna ek olarak pilot koltuğunun kavramsal tasarımının devam etmesi ve zaman kısıdı sebebi ile Tasarım Kavram HTEA sistem düzeyinde başlatılmış ve her bir alt sistemi temsil edecek birer işlev belirlenerek belirli bir sayı ile sınırlandırılmıştır.

İşlevler belirlenirken genel tasarım kontrol listesi (Ek B.1), JAR (Ek C.1) ve FAR standartları ile çarpışma ve kaza deneylerinden faydalanılmıştır. (ACSDG, 1989)

4. HELİKOPTER PİLOT KOLTUĞU TASARIM KAVRAM HTEA İÇERİĞİ

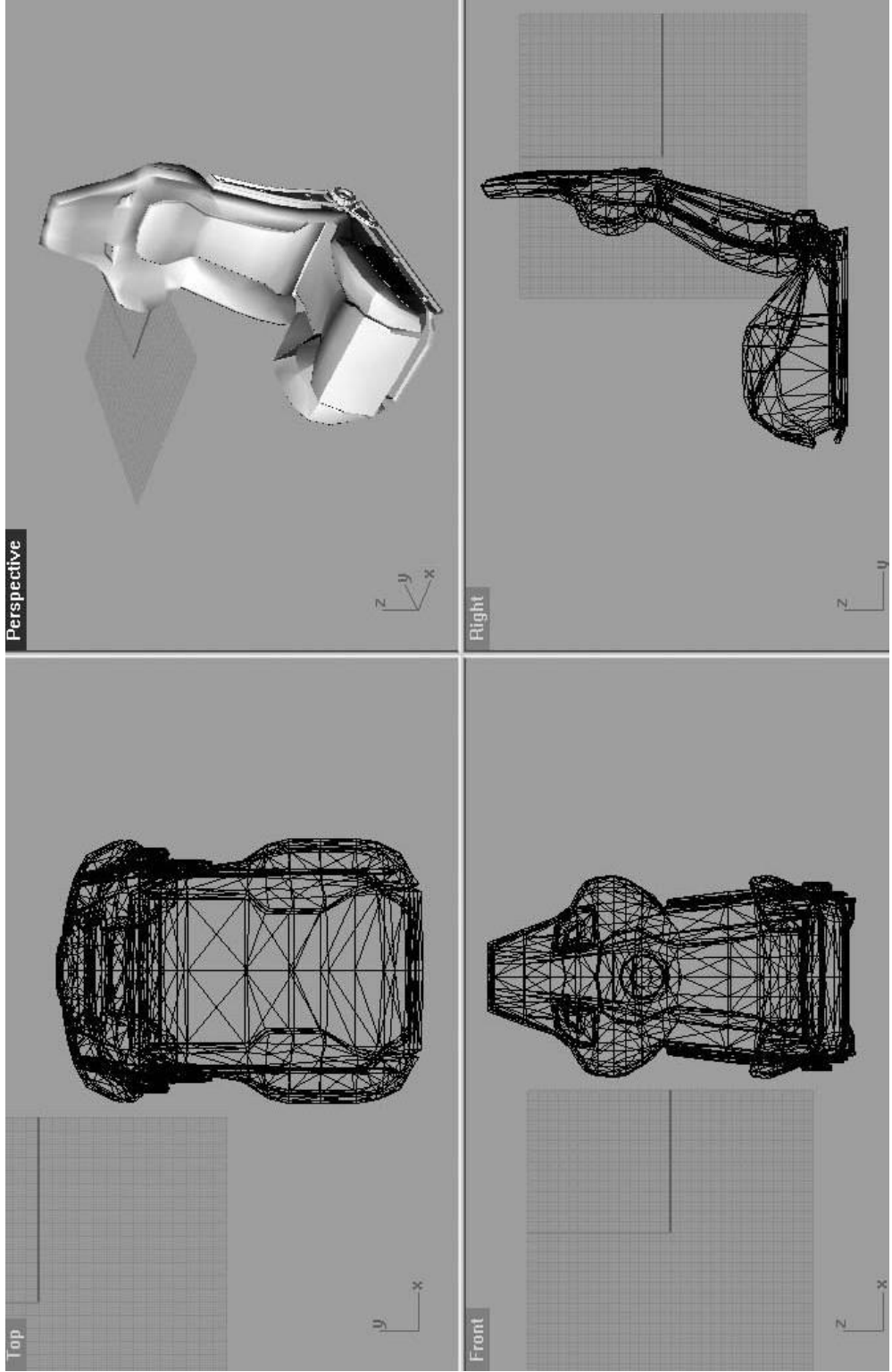
4.1. Kapsam

Tasarım Kavram HTEA kapsamında ele alınmış (Şekil 4.1; Şekil 4.2) helikopter pilot koltuğu kavramsal tasarım modeli alt sistemleri aşağıda sıralanmıştır:

- Kafalık sistemi
- Sırtlık sistemi
- Altlık sistemi
- Bağlantı sistemi
- Emniyet kemer sistemi



Şekil 4.1: Helikopter içi pilot koltuk yerleşimi



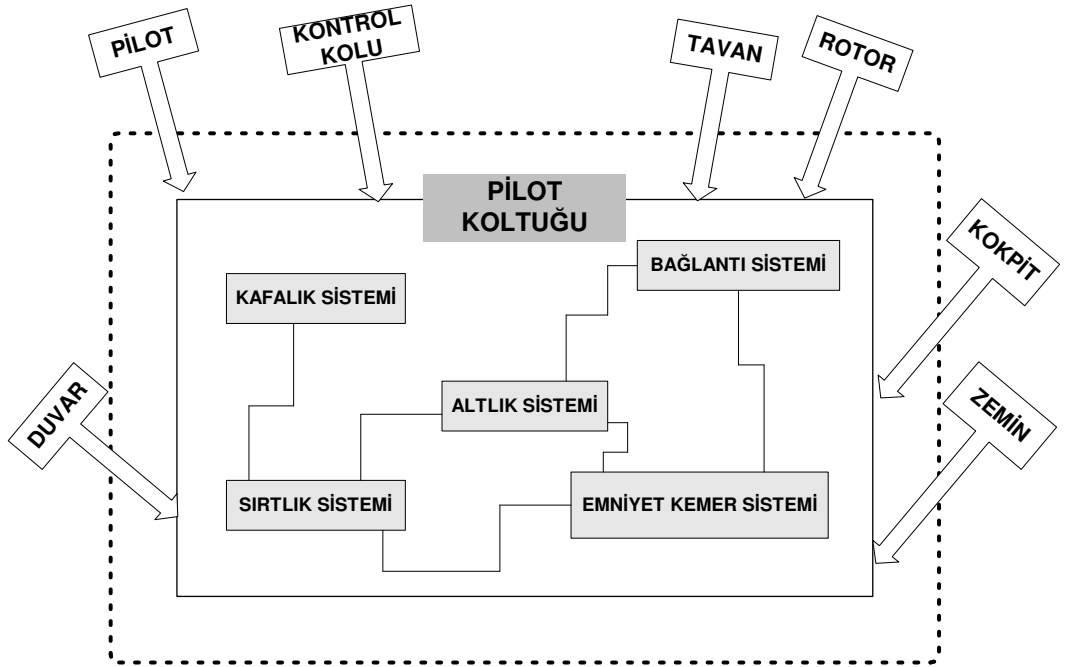
Şekil 4.2: Helikopter pilot koltuğu üç boyutlu kavramsal tasarım modeli

4.2. Girdiler

- **Sınır diyagramı**

Pilot koltuğu sistemi alt sistemlerine bölünerek sınır diyagramı hazırlanmıştır: (Şekil 4.3)

- Kafalık sistemi
- Sırtlık sistemi
- Altlık sistemi
- Bağlantı sistemi
- Emniyet kemer sistemi



Şekil 4.3: Helikopter pilot koltuğu sınır diyagramı

- **Etkileşim matrisi**

Pilot koltuğu sistemi alt sistemlerine bölünerek etkileşim matrisi hazırlanmıştır.

(Tablo 4.1)

- Kafalık sistemi: Kafalık sistemi ve sırtlık sistemi arasında fiziksel bir bağlantı vardır ve işlevini yerine getirmesi için gereklidir. Bağlantı ayrı bir montaj bileşeni olabileceği gibi bütünleşik bir bileşen de olabilir. Sınır diyagramından (Şekil 4.3) da ortaya çıkan bu sonuç etkileşim matrisinde +2 ile gösterilmiştir. Diğer alt sistemlerle bir etkileşimi olmadığı için boş bırakılmıştır.
- Sırtlık sistemi: Sırtlık sistemi ve kafalık sistemi arasında fiziksel bir bağlantı vardır ve işlevini yerine getirmesi için gereklidir. Bağlantı ayrı bir montaj bileşeni olabileceği gibi bütünleşik bir bileşen de olabilir. Sınır diyagramından da ortaya çıkan bu sonuç etkileşim matrisinde +2 ile gösterilmiştir. Altlık sistemi ile arasında fiziksel bir bağlantı vardır ve işlevini yerine getirmesi için gereklidir. Bağlantı ayrı bir montaj bileşeni olabileceği gibi bütünleşik bir bileşen de olabilir. Sınır diyagramından da ortaya çıkan bu sonuç etkileşim matrisinde +2 ile gösterilmiştir. Bağlantı sistemi ile arasında fiziksel bir bağlantı olabilir ancak işlevini yerine getirmesi için gerekli değildir. Sınır diyagramından da ortaya çıkan bu sonuç etkileşim matrisinde +1 ile gösterilmiştir. Emniyet kemer sistemi ile arasında fiziksel bir bağlantı vardır ve işlevini yerine getirmesi için gereklidir. Sınır diyagramından da ortaya çıkan bu sonuç etkileşim matrisinde +2 ile gösterilmiştir.
- Altlık sistemi: Altlık sistemi ve sırtlık sistemi arasında fiziksel bir bağlantı vardır ve işlevini yerine getirmesi için gereklidir. Bağlantı ayrı bir montaj bileşeni olabileceği gibi bütünleşik bir bileşen de olabilir. Sınır diyagramından da ortaya çıkan bu sonuç etkileşim matrisinde +2 ile gösterilmiştir. Bağlantı sistemi ile arasında fiziksel bir bağlantı vardır ve işlevini yerine getirmesi için gereklidir. Sınır diyagramından da ortaya çıkan bu sonuç etkileşim matrisinde +2 ile gösterilmiştir. Emniyet kemer sistemi ile arasında fiziksel bir bağlantı vardır ve işlevini yerine getirmesi için gereklidir. Sınır diyagramından da ortaya çıkan bu sonuç

etkileşim matrisinde +2 ile gösterilmiştir. Diğer alt sistemlerle bir etkileşimi olmadığı için boş bırakılmıştır.

- Bağlantı sistemi: Bağlantı sistemi ve sırtlık sistemi arasında fiziksel bir bağlantı olabilir ancak işlevini yerine getirmesi için gerekli değildir. Sınır diyagramından da ortaya çıkan bu sonuç etkileşim matrisinde +1 ile gösterilmiştir. Altlık sistemi ile arasında fiziksel bir bağlantı vardır ve işlevini yerine getirmesi için gereklidir. Sınır diyagramından da ortaya çıkan bu sonuç etkileşim matrisinde +2 ile gösterilmiştir. Emniyet kemer sistemi ile arasında fiziksel bir bağlantı vardır ve işlevini yerine getirmesi için gereklidir. Sınır diyagramından da ortaya çıkan bu sonuç etkileşim matrisinde +2 ile gösterilmiştir. Diğer alt sistemlerle bir etkileşimi olmadığı için boş bırakılmıştır.
- Emniyet kemer sistemi: Emniyet kemer sistemi ve sırtlık sistemi arasında fiziksel bir bağlantı vardır ve işlevini yerine getirmesi için gereklidir. Sınır diyagramından da ortaya çıkan bu sonuç etkileşim matrisinde +2 ile gösterilmiştir. Altlık sistemi ile arasında fiziksel bir bağlantı vardır ve işlevini yerine getirmesi için gereklidir. Sınır diyagramından da ortaya çıkan bu sonuç etkileşim matrisinde +2 ile gösterilmiştir. Bağlantı sistemi ile arasında fiziksel bir bağlantı vardır ve işlevini yerine getirmesi için gereklidir. Sınır diyagramından da ortaya çıkan bu sonuç etkileşim matrisinde +2 ile gösterilmiştir. Diğer alt sistemlerle bir etkileşimi olmadığı için boş bırakılmıştır.

Tablo 4.1 Helikopter pilot koltuğu etkileşim matrisi

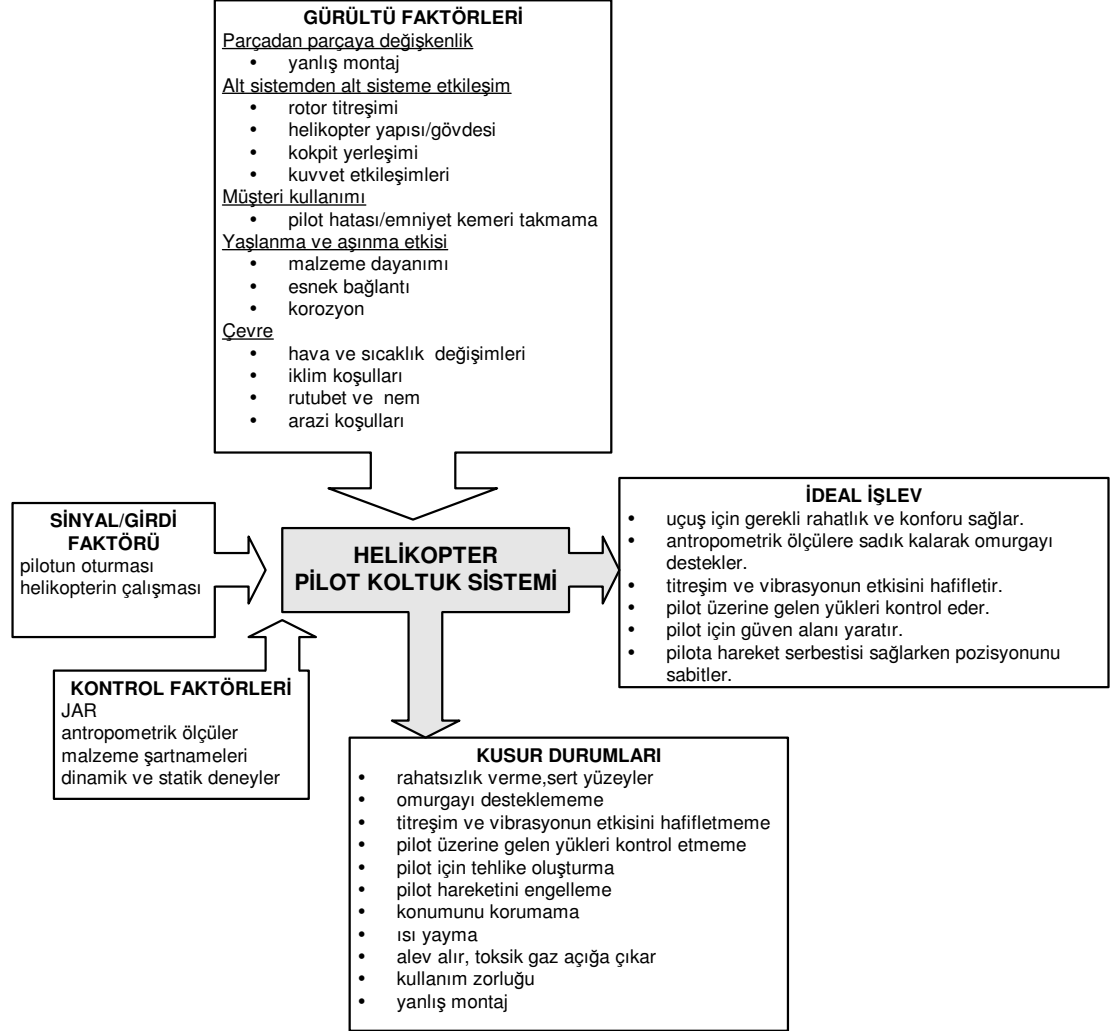
HELİKOPTER PİLOT KOLTUĞU	KAFALIK SİSTEMİ	SIRTLIK SİSTEMİ	ALTLIK SİSTEMİ	BAĞLANTI SİSTEMİ	EMNİYET KEMER SİSTEMİ
KAFALIK SİSTEMİ		+2			
SIRTLIK SİSTEMİ	+2		+2	+1	+2
ALTLIK SİSTEMİ		+2		+2	+2
BAĞLANTI SİSTEMİ		+1	+2		+2
EMNİYET KEMER SİSTEMİ		+2	+2	+2	

F	E	F: Fiziksel etkileşim E: Enerji transferi B: Bilgi transferi M:Malzeme transferi
B	M	

- 1: etkileşimin etkisi olumsuz, fakat işlevselliği önlemez.
-2: işlevsellik için etkileşim önlenmelidir.
0: etkileşim işlevselliği etkilemez.
+1: işlevsellik için etkileşim yararlı, fakat gerekli değil.
+2: işlevsellik için etkileşim gereklidir.

- **P-Diyagramı**

Gürültünün beş temel kaynağı ele alınarak pilot koltuğu sistemi p-diyagramı hazırlanmıştır. (Şekil 4.4)



Şekil 4.4: Helikopter pilot koltuğu p-diyagramı

4.3. Model

Ford Tasarım Kavram HTEA'sı kullanılmıştır. (Ford, 2000)

Birinci işlev olarak helikopter pilot koltuğunun en az 77kg ağırlığındaki bir pilota rahatlık ve konfor sağlayarak uçuş süresince omurgasını desteklemesi seçilmiştir. (Tablo 4.2)

Tablo 4.2: Helikopter pilot koltuğu Tasarım Kavram HTEA Nesne/İşlev 1

1. nesne/ işlev	olası hata türü	hatanın olası etkileri	şiddet	sınıf	hatanın olası sebepleri	olasılık	mevcut kontroller		keşfetme	RÖS	Önerilen faaliyetler	sorunlu ve hedef tanımlanmış kriter
							önleme	keşfetme				
pilota rahatlık ve konfor sağlayarak	rahatsızlık verme	kaza (10)	10		sırtlık ve altlık arasındaki açı < 13	6	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	1	60	*	
						6	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	1	60	*	
						6	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	1	60	*	
						9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
						8	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	5	400	*	
						6	tasarım rehberi - JAR/FAR	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	2	120	*	
						6	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	1	60	*	
uçuş süresince omurganın	düşük pilot performansı (9)	pilot yorgunluğu (9)	10		altlık uyluk açısının küçük olması	6	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	1	60	*	
						6	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	1	60	*	
						9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
						8	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	5	400	*	
doğal olmayan şekil almasını engelleme	pilot yorgunluğu (9)	pilot memnuniyetsizliği (7)	10		altlık ölçüsünün dar olması	6	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	1	60	*	
						6	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	1	60	*	
						9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
						8	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	5	400	*	
en az 77kg. pilot ağırlığı	pilot memnuniyetsizliği (7)	pilot memnuniyetsizliği (7)	10		yanlış malzeme seçimi	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/kaza deneyi	6	540	*	
						6	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	1	60	*	
						6	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	1	60	*	
						8	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	5	400	*	
bazen rahatsız	kaza (10)	düşük pilot performansı (9)	10		altlık uyluk açısının küçük olması	6	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	1	60	*	
						6	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	1	60	*	
						9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
						8	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	5	400	*	
bir süre sonra rahatsız	kaza (10)	kaza (10)	10		yanlış malzeme seçimi	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/kaza deneyi	6	540	*	
						9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/kaza deneyi	6	540	*	

		düşük pilot performansı (9) pilot yorgunluğu (9) pilot memnuniyetsizliği (7)												
omurganın şeklini bozma		kaza (10)	10		sırtlık ve altlık arasındaki açı < 13	6	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarında modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	1	60	*			
		pilot sakatlanması (10)			yanlış malzeme seçimi	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*			

İkinci işlev olarak helikopter pilot koltuğunun en az 5.9kg ağırlığındaki kafa ve boynu desteklerken kafaya gelebilecek kuvvetlerin etkisini hafifletmesi seçilmiştir. (Tablo 4.3)

Tablo 4.3: Helikopter pilot koltuğu Tasarım Kavram HTEA Nesne/İşlev 2

2.nesne/ işlev	olası hata türü	hatanın olası etkileri	şiddet	sınıf	hatanın olası sebepleri	olasılık	mevcut kontroller		keşfetme	RÖS	faaliyetler	sorumlu ve hedef tanımlanış tarihi	
							önleme	keşfetme					
kafa ve boynu destekleme en az 5.9kg ağırlığındaki kafaya gelecek kuvvetleri azaltma	desteklemiyor	kaza (10)	10		antropometrik ölçülere uygun değil	9	tasarım rehberi/ bilgisayarında modelleme- JAR/FAR	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	2	180	*		
						8	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarında modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	5	400	*		
		düşük pilot performansı (9)			yanlış kenar radiusları	7	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarında modelleme- sonlu elemanlar analizi	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	2	140	*		
						yanlış malzeme seçimi	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
tek taraflı destekliyor	kaza (10)	düşük pilot performansı (9)	10		tek taraflı destek yastığı kullanımı	2	tasarım rehberi- JAR/FAR	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	1	20	*		
					destek yastıklarının kalınlığının homojen olmaması	8	tasarım gözden geçirme- JAR/FAR- bilgisayarında modelleme- sonlu elemanlar analizi	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	5	400	*		
					yanlış malzeme seçimi	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*		

		pilot memnuniyetsizliği (7)												
		pilot sakatlanması (10)												
	bir süre sonra desteklemiyor	kaza (10)	10		yanlış malzeme seçimi	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*			
		düşük pilot performansı (9)			malzeme ömrü	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*			
		pilot yorgunluğu (9)												
		pilot memnuniyetsizliği (7)												

Üçüncü işlev olarak helikopter pilot koltuğunun en az 77kg ağırlığındaki pilota %60 bel, %40 omuz dağılımlı bir emniyet kemer sistemiyle hareket serbestisi sağlayıp konumunu sabit tutarken kolay kurtulmayı sağlaması seçilmiştir. (Tablo 4.4)

Tablo 4.4: Helikopter pilot koltuğu Tasarım Kavram HTEA Nesne/İşlev 3

3.nesne/ işlev	olası hata türü	hatanın olası etkileri	şiddet	sınıf	hatanın olası sebepleri	olasılık	mevcut kontrollörler		keşfetme	RÖS	Önerilen faaliyetler	tamamens tarihli	sorumlu ve hedef	
							önleme	keşfetme						
pilota hareket serbestisi sağlayıp konumunu sabit tutarken kolay kurtulma	pilotu sabit tutmuyor	kaza (10)	10		yanlış emniyet kemer tasarımı seçimi	7	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme-mekanik analiz	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	3	210	*			
						9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*			
						2	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler	1	20	*			
						9	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme-mekanik analiz	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	7	630	*			
%60 bel, %40 omuz dağılımlı	pilot sakatlanması (10)	10		sadece bel destekli emniyet kemer sistemi seçimi	7	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme-mekanik analiz	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	3	210	*				
					9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*				
					9	tasarım gözden geçirme-JAR/FAR-bilgisayarda modelleme-sonlu elemanlar analizi	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	7	630	*				
en az 77kg. pilot ağırlığı	hareketi kısıtlıyor	kaza (10)	10		yanlış emniyet kemer tasarımı seçimi	7	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme-mekanik analiz	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	3	210	*			
						9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*			
						9	tasarım gözden geçirme-JAR/FAR-bilgisayarda modelleme-sonlu elemanlar analizi	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	7	630	*			
tek parmakla emniyet kemer kilidini açma	kaza (10)	düşük pilot performansı (9)	10		kemerlerin kilit sistemine yanlış açı ile birleştirilmesi	9	tasarım gözden geçirme-JAR/FAR-bilgisayarda modelleme-sonlu elemanlar analizi	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	7	630	*			
						9	tasarım gözden geçirme-JAR/FAR-bilgisayarda modelleme-sonlu elemanlar analizi	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	7	630	*			
						9	tasarım gözden geçirme-JAR/FAR-bilgisayarda modelleme-sonlu elemanlar analizi	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	7	630	*			
		pilot memnuniyetsizliği (7)												

				pilot gövdesinin kemikli bölgelerine sert yüzey temas etmesi	9	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	6	540	*
				kemerlerin keskin kenarlara sahip olması	7	tasarım gözden geçirme-JAR/FAR-bilgisayarda modelleme-sonlu elemanlar analizi	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	2	140	*
hareketi tek yönlü kısıtlıyor	kaza (10)	10		yanlış emniyet kemer tasarımı seçimi	7	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme-mekanik analiz	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	3	210	*
	düşük pilot performansı (9)			yanlış malzeme seçimi	9	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*
	pilot memnuniyetsizliği (7)			kemerlerin kilit sistemine yanlış açı ile birleştirilmesi	9	tasarım gözden geçirme-JAR/FAR-bilgisayarda modelleme-sonlu elemanlar analizi	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	7	630	*
				pilot gövdesinin kemikli bölgelerine sert yüzey temas etmesi	9	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	6	540	*
				kemerlerin keskin kenarlara sahip olması	7	tasarım gözden geçirme-JAR/FAR-bilgisayarda modelleme-sonlu elemanlar analizi	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	2	140	*
kendiliğinden açılıyor	kaza (10)	10		yanlış emniyet kemer tasarımı seçimi	7	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme-mekanik analiz	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	3	210	*
	pilot sakatlanması (10)			yanlış malzeme seçimi	9	tasarım rehberi-statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*
				uçuş kontrol kolunun emniyet kemer tokasına temas etmesi	9	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	8	720	*
				kokpite göre koltuk konumu	8	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	7	560	*

Dördüncü işlev olarak helikopter pilot koltuğunun pilotun görüş açısına göre konumlanmasını sağlayarak kaza anında güven alanı oluşturması seçilmiştir. (Tablo 4.5)

Tablo 4.5: Helikopter pilot koltuğu Tasarım Kavram HTEA Nesne/İşlev 4

4.nesne/ işlev	olası hata türü	hatanın olası etkileri	şiddet	sınıf	hatanın olası sebepleri	olasılık	mevcut kontroller		keşfetme	RÖS	Önerilen faaliyetler	sorumlu ve hedef tanımlanmış tarih
							önleme	keşfetme				
pilotun görüş açısına göre konumlanmasını sağlamak ve kaza anında güven alanı oluşturmak	konumunu korumuyor	kaza (10)	10		pilotun yanlış ayarı	9	tasarım gözden geçirme-JAR/FAR	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	9	810	*	
						9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
		düşük pilot performansı (9)			8	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme-mekanik analiz	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	4	320	*		
					6	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme-mekanik analiz	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	4	240	*		
		5			tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	1	50	*			
		9			tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme-mekanik analiz	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	6	540	*			
enerji emici seçimi yanlış												
bazen koruyor	kaza (10)	düşük pilot performansı (9)	10		pilotun yanlış ayarı	9	tasarım gözden geçirme-JAR/FAR	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	9	810	*	
						9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
		pilot memnuniyetsizliği (7)			8	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme-mekanik analiz	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	4	320	*		
					9	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme-mekanik analiz	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	6	540	*		
enerji emici seçimi yanlış												
bir süre sonra korumuyor	kaza (10)		10		malzeme dayanımı kötü	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	

	düşük pilot performansı (9)	pilot memnuniyetsizliği (7)	10	bağlantı sisteminin kilitleme sistemi yanlış	8	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme-mekanik analiz	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	4	320	*
				malzeme ömrü	9	tasarım rehberi-statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*
				malzeme deformasyon ve elastiklik özellikleri kötü	9	tasarım rehberi-statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*
				birleşim detaylarının yanlış seçimi	8	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme-mekanik analiz	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	4	320	*
kaza sırasında yer değiştiriyor	kaza (10)	10	bağlantı sisteminin kilitleme sistemi yanlış	8	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme-mekanik analiz	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	4	320	*	
			pilot sakatlanması (10)	enerji emici seçimi yanlış	9	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme-mekanik analiz	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	6	540	*
	bağlantı sistemi montaj yeri yanlış (tavan, duvar, zemin)			6	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme-mekanik analiz	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	4	240	*	
	kokpite göre bağlantı sistemi konumu yanlış		8	tasarım rehberi/tasarım doğrulama-JAR/FAR bilgisayarda modelleme	Fiziksel model üzerinde ilgili deneyler/ kaza deneyi	7	560	*		

Beşinci işlev olarak helikopter pilot koltuğunun malzeme standartlarını karşılaması seçilmiştir. (Tablo 4.6)

Tablo 4.6: Helikopter pilot koltuğu Tasarım Kavram HTEA Nesne/İşlev 5

5.nesne/ işlev	olası hata türü	hatanın olası etkileri	şiddet	sınıf	hatanın olası sebepleri	mevcut kontroller		keşfetme	RÖS	önerilen faaliyetler	sorumlu ve hedef tanınması tarihi	
						önleme	keşfetme					
malzeme standartlarını karşılamak FAR 853	karşılımiyor	kaza (10) düşük helikopter performansı (9) ölümcül sonuç (10)	10		malzeme ömrü	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
					alev alma	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
					deformasyon özellikleri	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
					mukavemet	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
					ağırlık	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
					elastik olmama	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
					zehirli gaz açığa çıkarma	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
bazen karşılıyor	karşılıyor	kaza (10) düşük helikopter performansı (9) ölümcül sonuç (10)	10		malzeme ömrü	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
					alev alma	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
					deformasyon özellikleri	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
					mukavemet	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
					ağırlık	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
					elastik olmama	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
					zehirli gaz açığa çıkarma	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	
bir süre sonra karşılımiyor	karşılımiyor	kaza (10) düşük helikopter performansı (9) ölümcül sonuç (10)	10		malzeme ömrü	9	tasarım rehberi- statik/dinamik analizler JAR/FAR	malzeme deneyleri/ kaza deneyi	6	540	*	

4.4. Analiz

Risk öncelik sayısı (RÖS) = Şiddet x Olasılık x Keşfedilebilirlik

Helikopter pilot koltuğu Tasarım Kavram HTEA'sında tüm hata türlerinin şiddet değerleri en yüksek (9 veya 10) olması nedeni ile RÖS değerlerine bakılmaksızın FORD Tasarım Kavram HTEA modeli çalışma model birinci yolu izlenerek acil başlatılması gereken önerilen faaliyetlere geçilmelidir.

	Tasarımın geometrisinin veya toleranslarının gözden geçirilmesi
*	Bilgisayar ortamında üç boyutlu modelleme (simulasyon) yapılması
<u>Önerilen faaliyetler</u>	Malzeme şartnamelerinin gözden geçirilmesi
	Deney tasarımı - kaza deneyi (crash test) yapılması
	Deney planının gözden geçirilmesi

Örnek :

1.nesne/işlev En az 77kg ağırlığındaki bir pilota rahatlık ve konfor sağlayarak uçuş süresince omurgasının doğal olmayan şekil almasını engelleme; rahatsızlık verme, bazen rahatsız, bir süre sonra rahatsız, omurganın şeklini bozma.

olası hata türü 1:

rahatsızlık verme ; şiddet:10 x olasılık 6 x keşfetme 1=RÖS 60

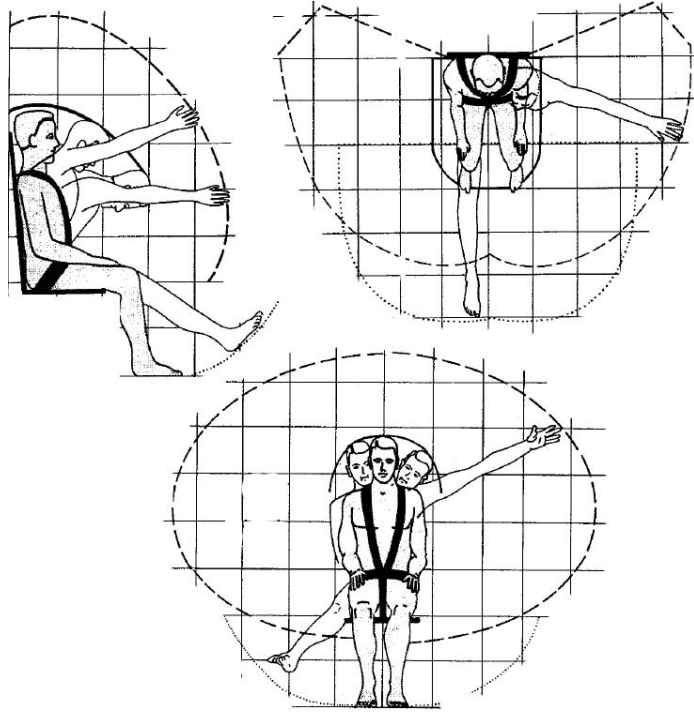
olası hata türü 3:

bir süre sonra rahatsız; şiddet:10 x olasılık 9 x keşfetme =RÖS 540

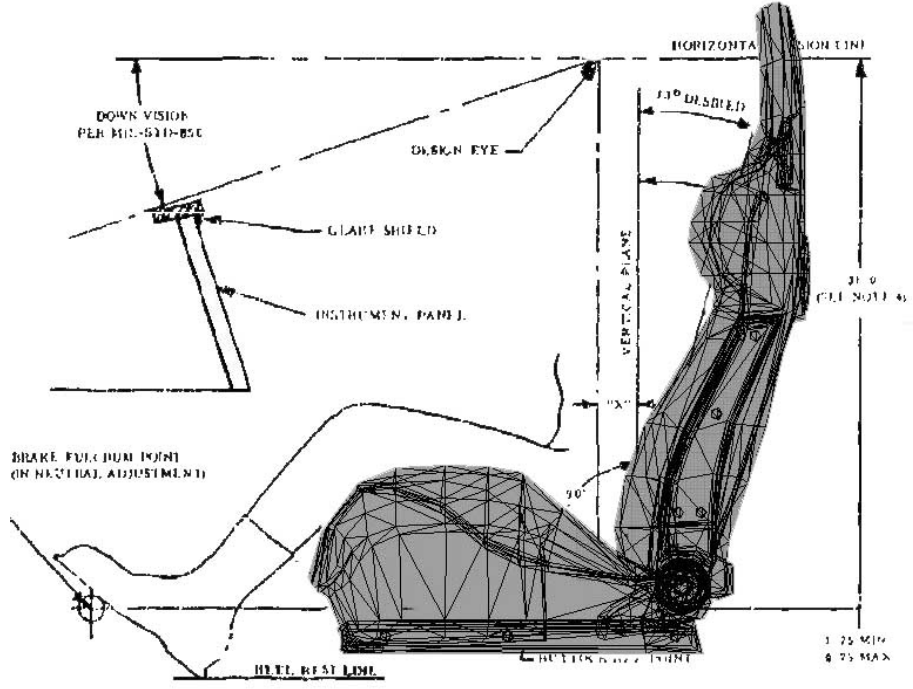
örnekte elde edilen farklı RÖS değerleri her iki olası hata türünde de şiddet değeri en yüksek olduğu için öncelik sırasına bakılmaksızın eşit derecede öncelik alır.

Tasarım Kavram HTEA 'da yer alan hata türlerinin gerçekleşme olasılığını ve şiddetini düşürmek amacı ile yapılan mevcut kontroller önleyici ve keşfedici kontroller olarak ikiye ayrılır. Bu çalışmada başlatılan ve kısmi olarak sunulan helikopter pilot koltuğu Tasarım Kavram HTEA'sında kullanılması uygun olan kontrollere aşağıdakiler örnek olarak verilebilir:

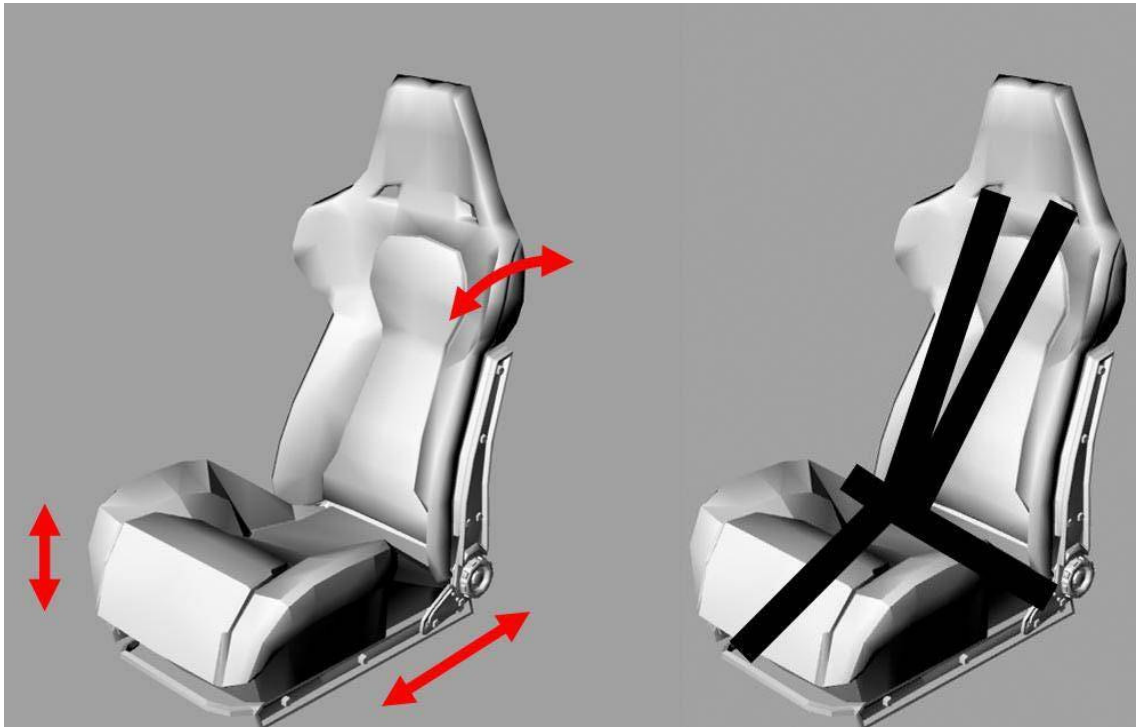
- Önleyici kontroller: Bilgisayar ortamında üç boyutlu modelleme (simülasyon):
 - Her iki kolun hareket esnasında yapacağı maksimum açılardan yola çıkarak pilotun çalışma uzayını ortaya çıkarmak ve koltuk hareketleriyle bu uzayın nasıl değiştiğini göstermek. (Şekil 4.5)
 - Deneysel mankeni (test dummy) yerleştirilerek özellikle 13 derecelik açıdaki omurga yapısını göstermek ve çeşitli pilot boylarında kokpiti rahat kontrol etmeye yönelik bir analiz yapmak. (Şekil 4.6)
 - Bağlantı noktalarına vibrasyon ve pilot ağırlığı düşünülerek ve maksimum G kuvvetine maruz kalacağı hesaba katılarak malzeme kırılması olasılığı ve ömür deneyleri uygulamak. (Şekil 4.7)
 - Emniyet kemeri ve bağlantı noktalarının ve mekanik analizini yapmak. (Şekil 4.7)



Şekil 4.5: Helikopter pilot çalışma uzayı



Şekil 4.6: Helikopter pilot koltuğu oturma ergonomisi



Şekil 4.7: Helikopter pilot koltuğu deney modeli

- Keşfedici kontroller: Koltuğun kavramsal tasarımı ile birebir örtüşecek fiziksel model (mock up) yapılması ve bu model üzerinde deney mankeni (test dummy) ile yapılacak deneyler: (Şekil 4.8; Şekil 4.9)
 - Kaza anında koltuğun bağlantı noktalarının durumu incelemek amacı ile kaza deneyi (crash test) yapmak.
 - Konfor ile ilgili ampirik deneyler yapmak.



Şekil 4.8: Helikopter pilot koltuğu fiziksel modeli

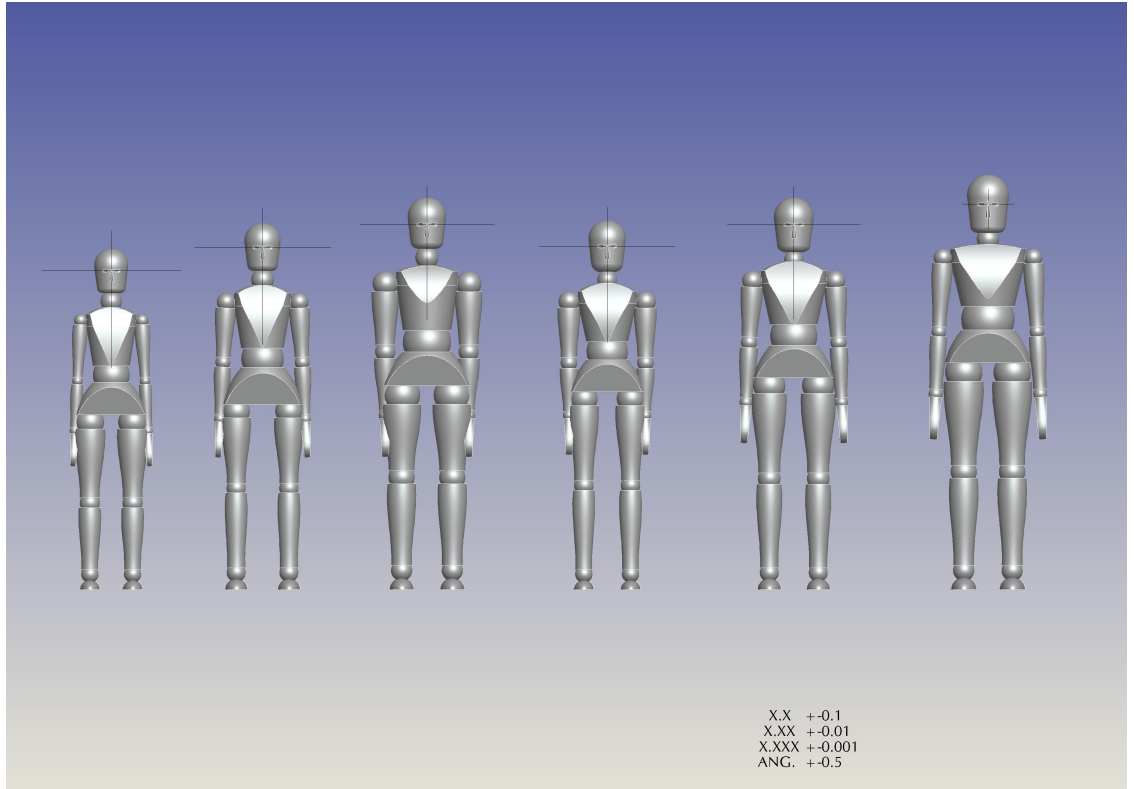


Şekil 4.9: Helikopter pilot koltuğu deney mankeni (%95 erkek)

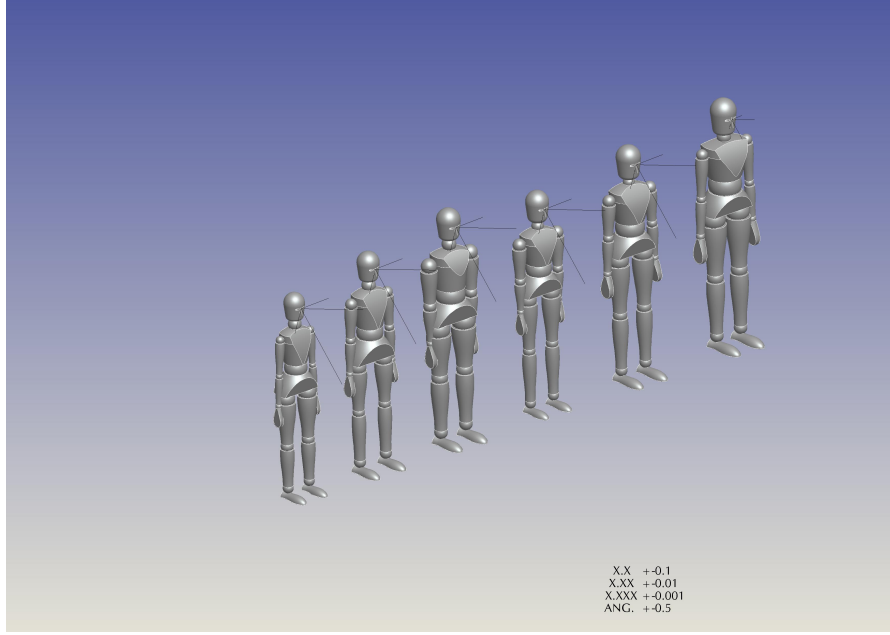
Bu çalışmada kullanılmak üzere örnek olarak ele alınan önleyici kontrollerden bilgisayar ortamında üç boyutlu modelleme (simülasyon) ProEngineer Wildfire programı kullanılarak yapılmış ve çeşitli antropometrik ölçülerdeki pilotların çalışma uzayları analiz edilmiştir.

Kullanılan deney mankenlerinin toplumsal normal dağılım oranları aşağıdaki gibidir: (Şekil 4.10 ; Şekil 4.11)

- %5 kadın
- %50 kadın
- %95 kadın
- %5 erkek
- %50 erkek
- %95 erkek

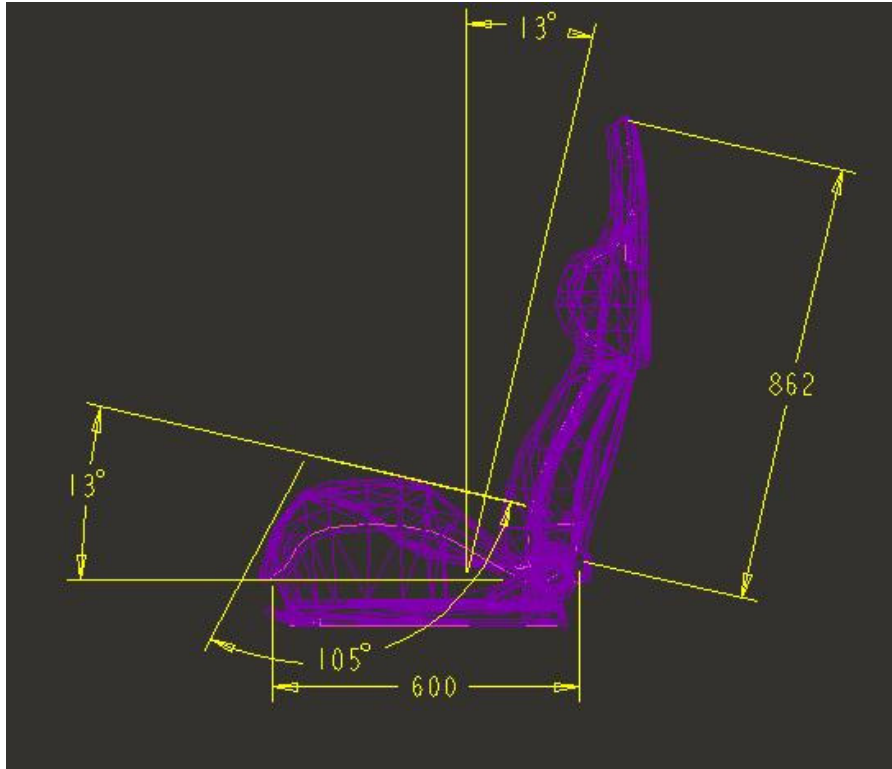


Şekil 4.10: Deney mankenleri ön görünüş



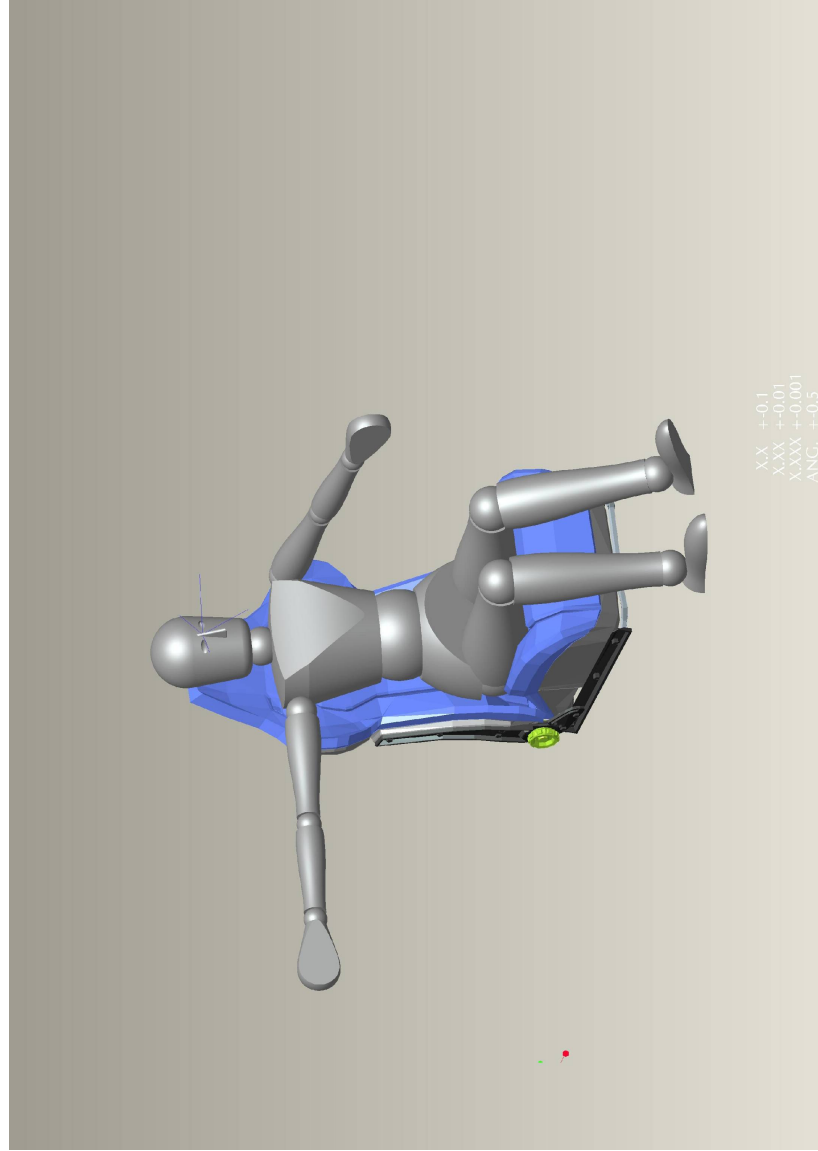
Şekil 4.11: Deney mankenleri üç boyutlu görünüş

Helikopter pilot koltuğu kavramsal tasarımı özellikle 13 derecelik oturma açısındaki omurga yapısına uygun olarak bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak modellenmiştir. (Şekil 4.12)

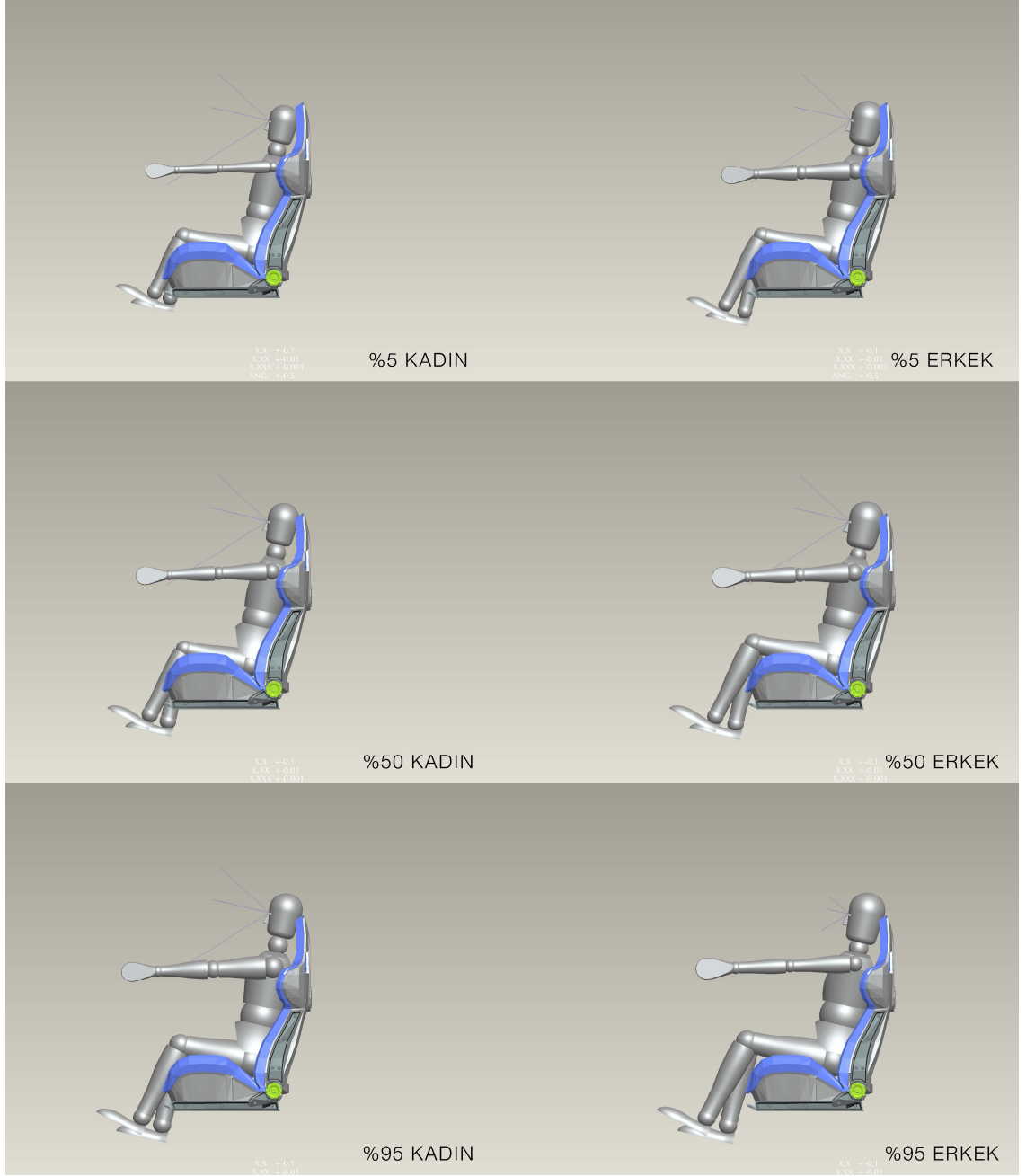


Şekil 4.12: Helikopter pilot koltuğu

Bilgisayar ortamında modellenen helikopter pilot koltuğuna farklı antropometrik ölçülerdeki deney mankenleri 13 derecelik oturma açısı ve minimum 10 derecelik uyluk açısına uygun olarak oturtulmuş bir kol 90 derecelik açı ile öne diğer kol ise 90 derecelik açı ile yana kaldırılmıştır. (Şekil 4.13 ; Şekil 4.14)

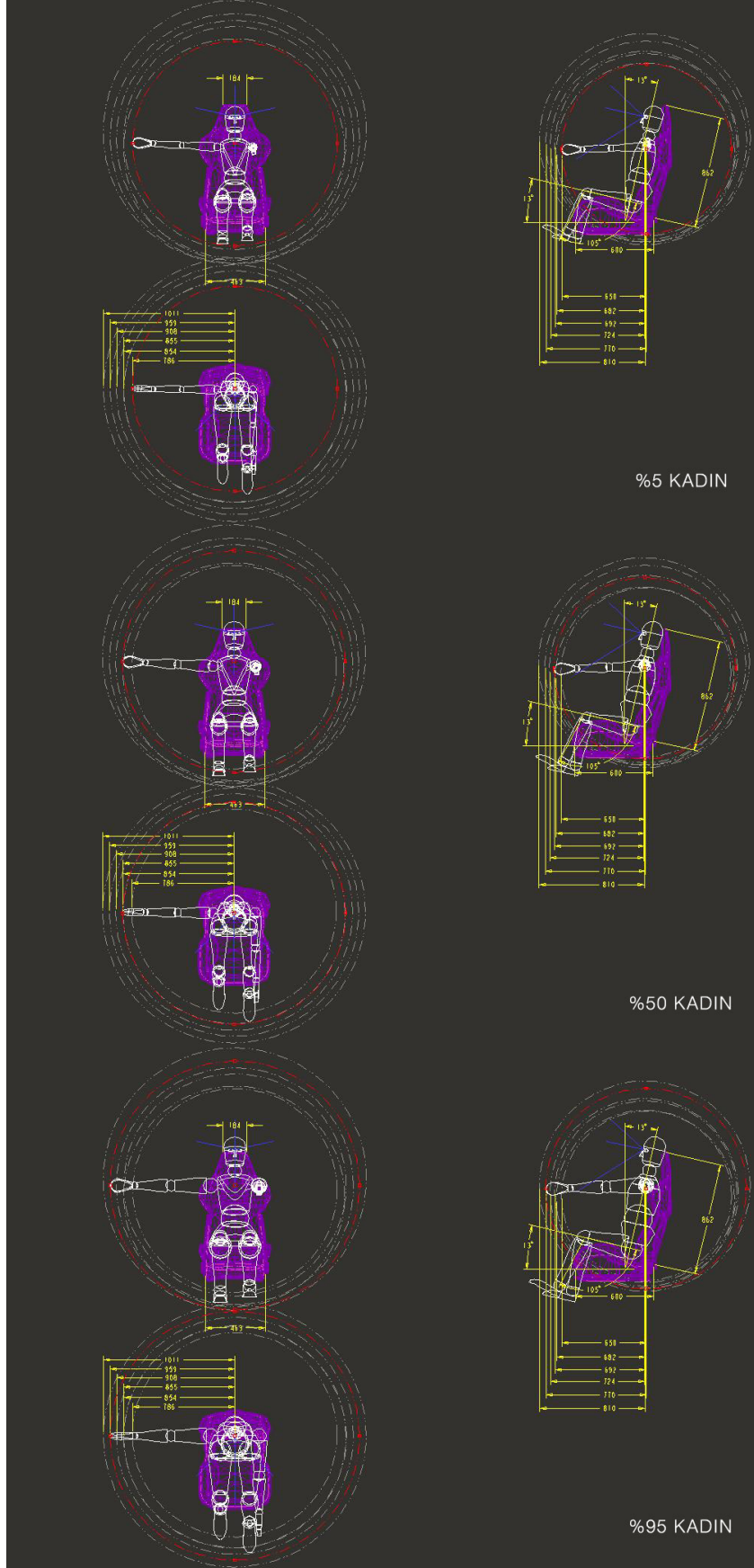


Şekil 4.13: Pilot oturmuş halde (%95 erkek)

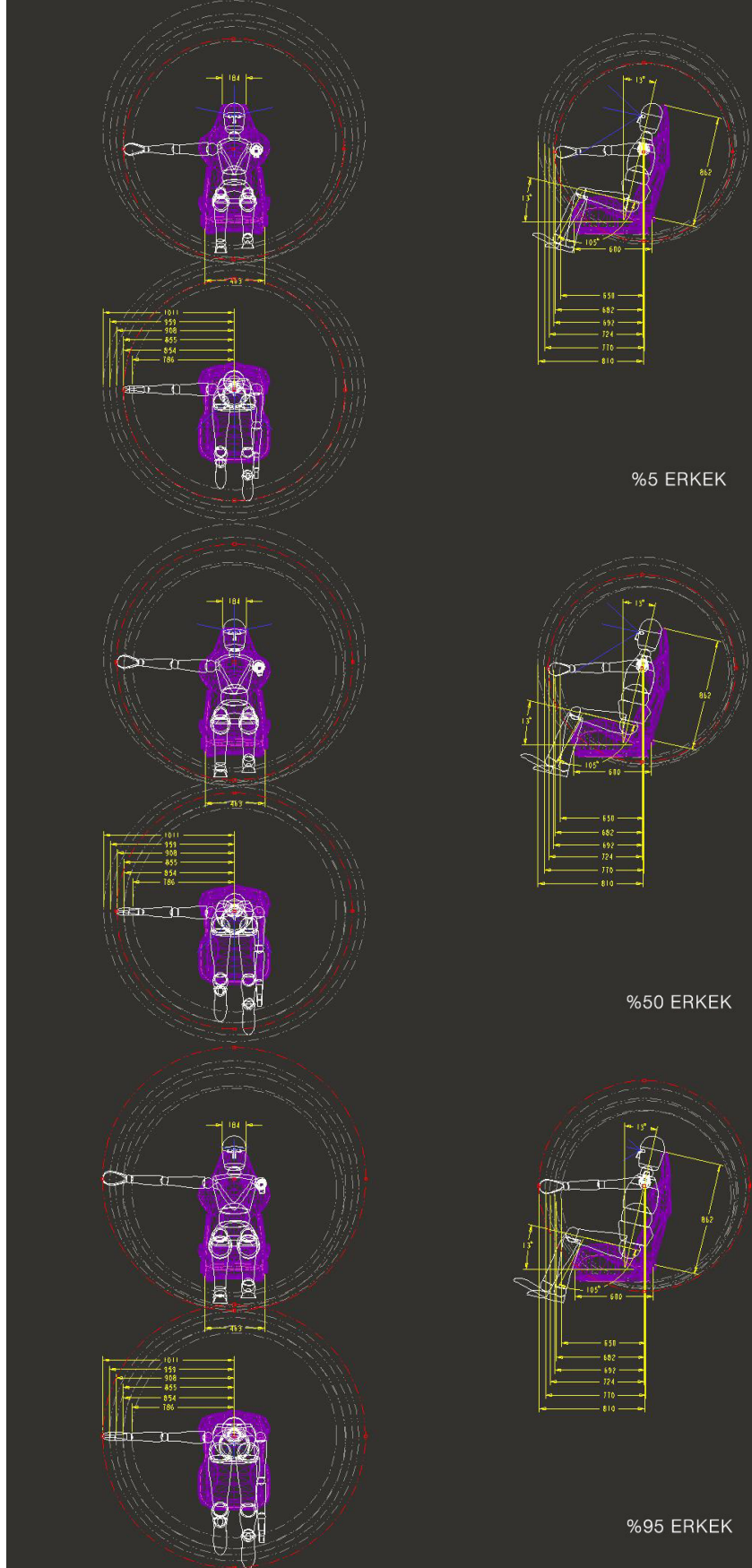


Şekil 4.14: Farklı antropometrik ölçülerdeki deney mankenleri oturmuş halde

Bilgisayar ortamında oturtulan deney mankenlerinin kol boylarından yola çıkarak farklı antropometrik ölçülerdeki pilotların çalışma uzayları ayrı ayrı dairesel olarak gösterilmiştir. (Şekil 4.15 ; Şekil 4.16 ; Ek D.1)



Şekil 4.15: Farklı antropometrik ölçülerdeki kadın pilot çalışma uzayları



Şekil 4.16 Farklı antropometrik ölçülerdeki erkek pilot çalışma uzayları

4.5. Bulgular

Kavram içerisindeki etkileşimlerden kaynaklanan bazı hata türleri ve sebepleri belirlenerek potansiyel hata türlerinin kısmi listesi elde edilmiştir: (Tablo 4.2; Tablo 4.3; Tablo 4.4; Tablo 4.5; Tablo 4.6)

- sırtlık ve altlık arasındaki açı <13
- altlıkta uyluk açısının küçük olması
- altlık ölçüsünün dar olması
- yanlış malzeme seçimi
- destek yastıklarının kalınlığının yeterli olmaması
- termal havalandırma olmaması
- antropometrik ölçülere uygun olmaması
- yanlış kenar radiusları
- tek taraflı destek yastığı kullanımı
- destek yastıklarının kalınlığının homojen olmaması
- pilotun yanlış ayarı
- malzeme dayanımı kötü olması
- bağlantı sisteminin kilitleme sisteminin yanlış olması
- bağlantı sistemi montaj yerinin yanlış (tavan, duvar, zemin) olması
- bağlantı sistemi ayar kullanımı zor olması
- enerji emici seçimi yanlış olması
- malzeme deformasyon ve elastiklik özellikleri kötü olması
- birleşim detaylarının yanlış seçimi olması
- kokpite göre bağlantı sistemi konumu yanlış olması
- yanlış emniyet kemer tasarımı seçimi
- sadece bel destekli emniyet kemer sistemi seçimi
- emniyet kemer sistemi bağlantılarının ayar tutmaması
- kemerlerin kilit sistemine yanlış açı ile birleştirilmesi
- pilot gövdesinin kemikli bölgelerine sert yüzey temas etmesi

- kemerlerin keskin kenarlara sahip olması
- uçuş kontrol kolunun emniyet kemer tokasına temas etmesi
- kokpite göre koltuk konumu
- malzeme ömrü
- alev alma
- deformasyon özellikleri
- mukavemet
- ağırlık
- elastik olmama
- zehirli gaz açığa çıkarma

Adı geçen potansiyel hata türlerinden bir ya da birkaçını önlemek veya keşfetmek amacı ile mevcut kontrollerin kısmi bir listesi elde edilmiştir: (Tablo 4.2)

- Önleyici kontroller:
 - Tasarımı gözden geçirme
 - Analitik çalışma
 - Bilgisayarda modelleme
 - Kanıtlanmış modelleme (sonlu elemanlar analizi)
 - Malzeme uygunluk çalışması
 - Statik ve dinamik analizler (gerilme, dayanım, yorulma)
- Keşfedici kontroller:
 - Yapısal deneyler(Prototip deneyleri)
 - Kaza deneyi (crash test)
 - Malzeme deneyleri (termomekanik, mekanik, çevresel)
 - Fiziksel model üzerinde ampirik deneyler

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada helikopter pilot koltuğuna Tasarım Kavram HTEA'nın başlatılması ile:

- Kavramsal tasarımın olası hata türlerinin kısmi bir listesi elde edilmiştir:

Beş adet işlev ve bu işlevlerin hata türleri belirlenmiştir;

1. En az 77kg ağırlığındaki bir pilota rahatlık ve konfor sağlayarak uçuş süresince omurgasının doğal olmayan şekil almasını engelleme; rahatsızlık verme, bazen rahatsız, bir süre sonra rahatsız, omurganın şeklini bozma.
 2. En az 5.9kg ağırlığındaki kafayı ve boynu desteklerken kafaya gelebilecek kuvvetlerin etkisini azaltma; desteklemiyor, tek taraflı destekliyor, bir süre sonra desteklemiyor.
 3. En az 77kg ağırlığındaki pilotu %60 bel ve %40 omuz dağılımlı bir emniyet kemer sistemi ile hareket serbestisi sağlayıp konumunu sabit tutarken tek parmakla kolay kurtulmayı sağlama; pilotu sabit tutmuyor, hareketi kısıtlıyor, hareketi tek yönlü kısıtlıyor, kendiliğinden kilit açılıyor.
 4. Pilotun görüş açısına göre konumlanmasını sağlayarak kaza anında güven alanı oluşturma; konumunu korumuyor, bazen koruyor, bir süre sonra korumuyor, kaza sırasında yer değiştiriyor.
 5. Malzeme standartlarını karşılama (FAR 853); karşılamıyor, bazen karşılıyor, bir süre sonra karşılamıyor.
- Şiddetin azaltılması, hata türlerinin ortadan kaldırılması veya olasılık derecelerinin azaltılması amacıyla önerilen faaliyetlerin kısmi bir listesi elde edilmiştir. Bu çalışmada şiddet derecesi analizi yapılan tüm hata türleri için 9 veya 10 yani en yüksek dereceye sahip olması nedeni ile acil ele alınması gereken faaliyetler kısmi olarak belirlenmiştir ve tüm hata türleri için aynıdır:

Bu faaliyetler önem sırasına bakılmaksızın aşağıda sıralanmıştır:

- Tasarımın geometrisinin veya toleranslarının gözden geçirilmesi
- Bilgisayar ortamında üç boyutlu modelleme (simulasyon) yapılması
- Malzeme şartnamelerinin gözden geçirilmesi
- Deney tasarımı - kaza deneyi (crash test) yapılması
- Deney planının gözden geçirilmesi

Bu bulguların geri beslemesi ile;

- Sistem tasarım şartnamelerinin doğrulanması veya güncellenmesine yardımcı olacağı
- Optimum kavram alternatiflerinin seçimine yardımcı olacağı
- Kavram için hedef belirlemeye yardımcı olacağı
- Sistem ve alt sistem düzeyindeki deney gereksinimlerinin doğrulanacağı
- Tasarım kontrol listesinin karşılıklı olarak doğrulanacağı
- Tasarım ekibine tasarım değişikliklerinin geri beslenmesini sağlayacağı

sonucuna varılmıştır. (Ek E.1)

Tasarım Kavram HTEA hataların belirlenmesi, önceliklendirilmesi ve iyileştirme faaliyetleri ile kavramsal tasarımın geliştirilmesi açısından etkin bir yöntemdir. Ancak Tasarım Kavram HTEA yapabilmek için de birçok veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu verilerin derlenmesi ve değerlendirilmesi oldukça zaman ve işgücü gerektirmektedir. Özellikle çok sayıda sistem ve bileşen içeren ürünlerin hata türlerinin incelenmesinde ilgili ve yetkin bir ekip tarafından yapılacak önceliklendirme iyileştirme faaliyetlerini daha çabuk başlatacaktır. Bu önceliklendirme ile Tasarım Kavram HTEA 'nın etkinliği de artmış olacaktır.

Bu aşamadan sonra proje ilerledikçe Tasarım Kavram HTEA'nın devam ettirilmesi sonuç tasarımın istenilen gereksinimlere sahip robust tasarım olmasını ve bu aşamaların zaman, işgücü ve maliyet açısından daha etkin kullanılmasını sağlayacaktır.

Ürün tasarımcısı tarafından başlatılan ve örnek verilerek analizi yapılan Tasarım Kavram HTEA'nın daha geniş bir ekip tarafından proje ilerledikçe Tasarım HTEA' ya dönüştürülmesi ve her aşamada güncellenmesi, yeni bilgiler eklenmesi projenin

etkinliği ve başarısını olumlu yönde etkileyecektir. Bu çalışmanın birçok çıktısı gelecekteki ürünler, projeler ve programlar için faydalı bilgi kaynakları olacak diğer Tasarım Kavram HTEA, Tasarım HTEA, Süreç HTEA alışmaları için girdi niteliği taşıyacaktır.

KAYNAKLAR

- ACSDG-Zimmermann, Merrit**, 1989. Aircraft Crash Survival Design Guide, Volume 1, Design Criteria and Checklists, Arizona.
- ACSDG-Coltman, Ingen, Johnson, Zimmermann**, 1989. Aircraft Crash Survival Design Guide, Volume 2, Aircraft Design Crash Impact Conditions and Human Tolerance, Arizona.
- ACSDG-Zimmermann, Warrick, Lane, Merrit, Bölükbaşı**, 1989. Aircraft Crash Survival Design Guide, Volume 3, Aircraft Structural Crash Resistance, Arizona.
- ACSDG-Desjardins, Zimmermann, Bölükbaşı, Merrit**, 1989. Aircraft Crash Survival Design Guide, Volume 4, Aircraft Seats, Restraints, Litters and Cockpit/Cabin Delethalization, Arizona.
- ACSDG-Johnson, Robertson, Hall**, 1989. Aircraft Crash Survival Design Guide, Volume 5, Aircraft Postcrash Survival, Arizona.
- Airbus Industrie**, 1999. FMEA Procedure issue A.
- Akao, Y.**, 1990. Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design. Productivity Press, Cambridge, MA.
- An M, Wang J, Ruxton T.**, 2000. Risk analysis of offshore installation using approximate reasoning in concept design stage. Proceedings of the ESREL 2000 and SRA-Europe Annual Conference, Edinburgh, Scotland, UK, vol. 1May.
- Boothroyd, G., Dewhurst, P.**, 1991a. Product Design for Assembly. Boothroyd Dewhurst, Inc., Wake.eld.
- Boothroyd, G., Dewhurst, P.**, 1991b. Design for Assembly Toolkit, Release 5.2a. Boothroyd Dewhurst, Inc., Wake-eld.
- Booz, Allen, Hamilton**, 1982. Newproduct Management for the 1980s. Booz, Allen, and Hamilton, Inc., NewYork.
- Chang CL, Wei CC, Lee YH.**, 1999. Failure mode and effects analysis using fuzzy method and grey theory.
- Crawford, C.M.**, 1979. New Product Failure Rates Facts and Fallacies. Research Management 22(5).
- Çiğdem, Sabri**, 2006. Standart belgelendirme FMEA eğitim notları, İstanbul.

- Dhillon, B. S.**, 1992. Failure modes and effects analysis -- Bibliography, Microelectronics and Reliability, Volume 32, Issue 5, May.
- Ford Motor Company**, 2000. FMEA Handbook FMEA version 3.0.
- Gordon, F., Isenhour, R.**, 1990. Simultaneous Engineering: in Simultaneous Engineering Integrating Manufacturing and Design. Society of Manufacturing Engineers, Michigan.
- Halman, Jim and Keizer, J. A.**, 1994. Diagnosing risks in product-innovation projects, International Journal of Project Management, Volume 12, Issue 2, May.
- Hsiao, S.W.**, 1999. Integrated concurrent engineering based approach for electric fan design. Integrated Computer-Aided Engineering 6 (3).
- Hsiao, Shih-Wen**, 2002. Concurrent design method for developing a new product, International Journal of Industrial Ergonomics, Volume 29, Issue 1, January.
- Mekki, K.S.**, 2006. Robust Design Failure Mode and Effects Analysis in Design for Six Sigma, International Journal of Product Development, Volume 3, No.3/4.
- Lester, DH.**, 1998. Critical success factors for newproduct development. Research Technology Management 41 (1).
- Otto, K., Wood, K.**, 2001. Product Design Techniques in Reverse Engineering and New Product Development, Prentice Hall.
- TÜV Südwest**, 2002. FMEA Seminer Notları İstanbul.
- Yılmaz, B. S.**, 2000. Hata Türü ve Etki Analizi, yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

EK LİSTESİ**Sayfa No**

Ek A.1	S.Bahar Tunçelli FMEA eğitim sertifikası.....	54
Ek B.1	ACSDG Design Checklist	55
Ek C.1	Standartlar (JAR).....	59
Ek D.1	Helikopter pilot koltuğu kavramsal tasarım modeli ve deney mankeni görselleri.....	61
Ek E.1	Helikopter içi koltuk yerleşim görselleri.....	76



EĞİTİM KATILIM SERTİFİKASI

Sayın *S.Bahar TUNÇELLİ*

24-25/02/2006 tarihlerinde

***TASARIMDA HATA TÜRÜ ve ETKİLERİ ANALİZİ
(F.M.E.A)***

eğitimine katılmıştır.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Sabri ÇİĞDEM".

Sabri ÇİĞDEM
Eğitim Uzmanı

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Bülent İNAN".

Bülent İNAN
Eğitim Müdürü



Sertifika No : 22/1338

EK B.1

ACSDG DESIGN CHECKLISTS

General Design Checklist

1. For load-limited seats, do all materials in critical structural members possess a minimum elongation of 5 percent in the principal load direction?
2. For nonload-limited seats, do materials in critical structural members possess a minimum of 10 percent elongation?
3. Is there adherence to the flammability and toxicity requirements of Chapter 6?
4. In load-limited portions of the seat, where loads can be predicted accurately, are minimum margins of safety for shear and tensile bolts 5 and 10 percent, respectively?
5. In nonload-limited portions of the seat, are minimum margins of safety for shear and tensile bolts 15 and 25 percent, respectively?
6. In the vicinity of welded joints, have crosssectional areas been increased by 10 percent to account for uncertainties, stress concentrations, etc.?
7. Have seat attachments been designed so that neither buckling nor warping of the floor or bulkhead will interfere with seat operation or seat integrity in a crash?
8. Has the restraint system anchorage been designed so that the restraint system will function effectively as the seat strokes?
9. Is the use of castings avoided in the primary seat structure?
10. If castings are used, are they sufficiently ductile, or does the design allow for realistic seat deformation during crash load application without failure of the castings?
11. Do nonmetallic materials comply with FAR 25?
12. Can troop seats be removed in 20 sec per occupant position?

Seat Strength and Deformation Checklist

1. Does the seat meet the longitudinal load-deformation requirements of Figure 34?
2. Will the seat withstand a 12-G aftward load?
3. Is the vertical energy-absorption system designed for a load factor of 14.5 G based on the effective weight of the 50th-percentile aviator or trooper? - -
4. Does the crew seat possess a minimum vertical stroke distance of 12 in. (from the lowest vertical adjustment position)?
5. Has the use of a variable-force energy absorber been considered?
6. Does the troop seat possess a minimum of 17 in. of vertical stroke?
7. Does the seat have a capability of withstanding an upward load of 8 G?
8. Does the seat meet the lateral load-deformation requirements of Figure 35?
9. Are the static attachment strengths for components mounted on the seat, such as armored panels, based on the following load factors:
 - * Downward: 50 G
 - * Upward: 10 G
 - * Forward: 35 G
 - * Aftward: 15 G
 - * Lateral: 25 G

Seat Cushions Checklist

1. Are seat cushions of the type that minimize dynamic overshoot in vertical deceleration?
2. Is the thickness of the compressed seat cushion between 0.5 and 0.75 in., or has it been demonstrated that the cushion design and material properties produce a beneficial result?

Interior Materials Selection Checklist

1. Do all interior materials meet the flammability requirements specified in Federal Air Regulation (FAR) 25.853?
2. Do all interior materials produce the lowest possible amount of smoke and toxic gases (see Section 6.5.3 for appropriate screening tests)?

Litter Strength and Deformation Requirements Checklist

1. Does the litter system possess the vertical strength deformation capability of Figure 41, based on an occupant weight of 250 lb?
2. Does the litter system possess the capability of withstanding an upward load of 8 G?
3. Does the litter system meet the lateral load deformation requirements of Figure 42?
4. Can the litters be loaded laterally into the aircraft?
5. Can the complete set of litters be loaded and unloaded to flight readiness in 10 sec or less in an emergency situation?
6. Does the litter system eliminate need for special mounting hardware that remains attached to the aircraft?
7. Can the standard cargo tiedown system be used as the primary litter system attachment to the aircraft structure?
8. Will the litter installation accept the current standard military litter?
9. Does the installation support the litter in such a manner as to develop the maximum load-carrying capability of the standard litter?
10. Would the litter installation be adaptable to a new and improved military litter design?
11. Does the litter installation, when removed from the aircraft, leave the aircraft free of all protuberances, brackets, and other objectionable operational hazards?

Protective Padding Checklist

1. Are all areas within the extremity strike envelope, having radii of 2 in. or less, padded with a minimum thickness of 0.75 in.?
2. Do padded corners of edges have a minimum unpadded radius of 0.5 in.?
3. Are ductile energy-absorbing supports used where possible under padding, particularly where head impact is likely?

Cockpit Controls and Equipment Checklist

1. Are rudder pedals separated from each other and from adjacent structure by less than 2 in. or more than 6 in., as illustrated in Figure 50?
2. Are controls and control columns designed so that fracture due to an occupant's striking the column will occur at a point no more than 4 in. above the pivot point, and so that the failure will be clean without jagged or torn edges, or are they equipped with an energy-absorbing section?

Restraint System Design Checklist

1. Are the lap belt anchor points located so that a maximum angle of 55 degrees and a minimum angle of 45 degrees exists between the lap belt and the buttock reference line, as illustrated in Figure 29?
2. Is the point where the shoulder harness is attached to or passes through the seat back between 26.5 and 27.5 in. above the seat reference point?
3. Does the shoulder harness anchorage or guide on the seat back permit no more than 0.5-in, lateral clearance?
4. Does the shoulder harness guide on the seat back have a 0.25-in. minimum radius as illustrated in Figure 32?
5. Is the lap belt tiedown strap (crotch strap) attached to the seat pan centerline at a point 14 to 15 in. forward of the seat back?
6. Are the forces required for adjustment of all webbing item lengths no greater than 30 lb?
7. Are the lap belt adjusters located so, as to not exert pressure on the iliac crests?
8. Are the shoulder strap adjusters located low enough on the chest to avoid concentrated pressure on the collar bones?
9. Do the restraint harness subassemblies meet the minimum load and maximum elongation requirements of table 8?
10. Have the stitched joints in the restraint harness been designed according to the criteria discussed in Section 5.7.4.3 and do the joints have a 30-percent margin?
11. Is a minimum webbing thickness of 0.045 in. used on all restraint harness components?
12. Do the restraint harness components meet the following minimum width requirements:
 - * Lap Belt - 2.00 in.
 - * Shoulder strap - 2.00 in.
 - * Tiedown Strap - 1.75 in.
13. Do all webbing fittings, over which webbing is wrapped, possess the 0.062-in. minimum radius illustrated in Figure 32?
14. Does the restraint harness have a single-point release system that can be released after being exposed to design crash loads by exerting a 30-lb force with one finger or a 50-lb force with one finger when supporting the entire weight of the occupant?
15. Is the single-point release protected from inadvertent release?

EK C.1

STANDARTLAR

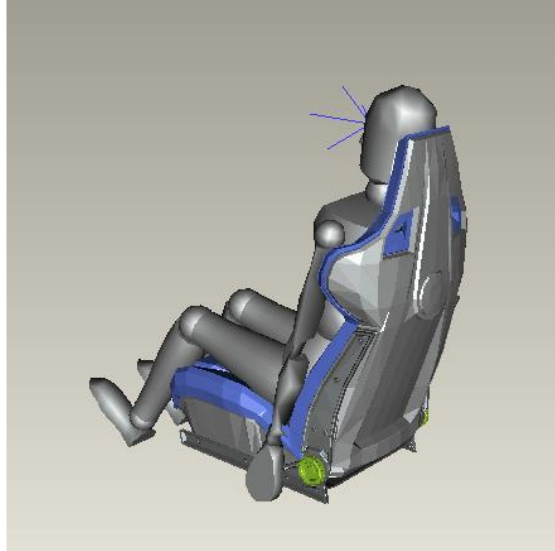
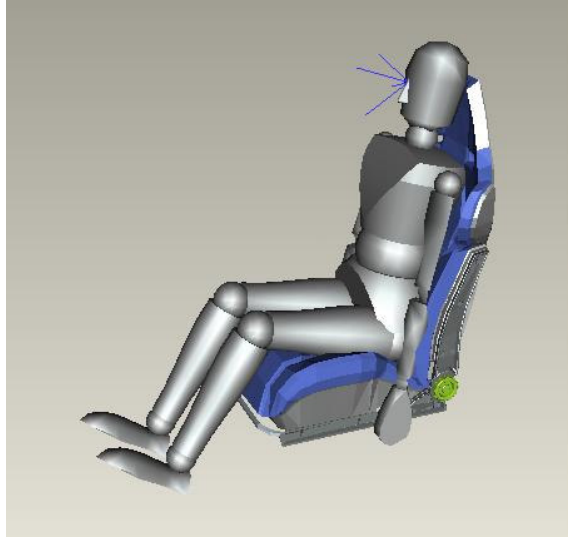
JAR 27.785 SEATS, BERTHS, SAFETY BELTS, AND HARNESSSES

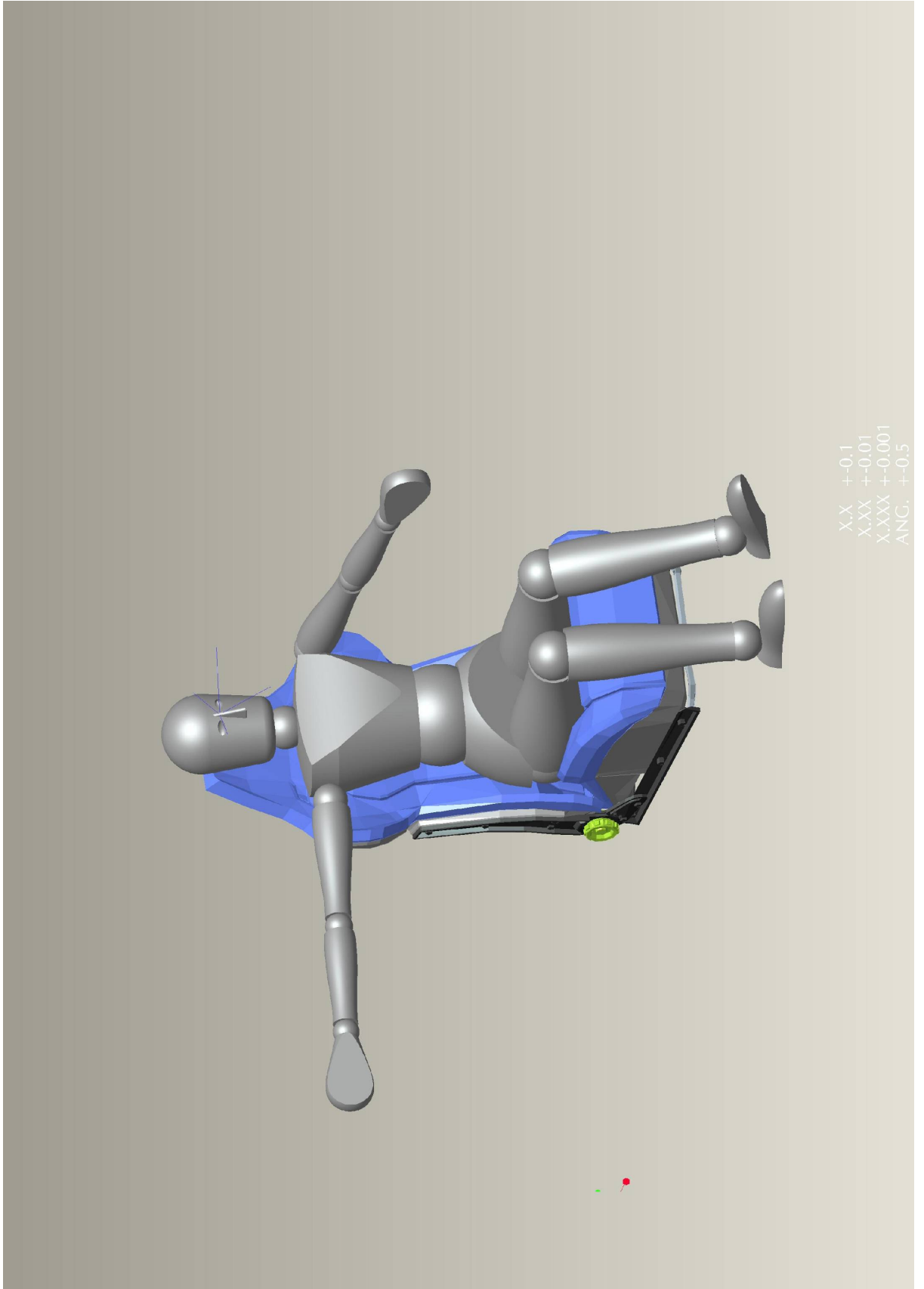
- . Each seat, safety belt, harness, and adjacent part of the rotorcraft at each station designated for occupancy during take-off and landing must be free of potentially injurious objects, sharp edges, protuberances, and hard surfaces and must be designed so that a person making proper use of these facilities will not suffer serious injury in an emergency landing as a result of the static inertial load factors specified in JAR 27.561(b) and dynamic conditions specified in JAR 27.562.
- . Each occupant must be protected from serious head injury by a safety belt plus a shoulder harness that will prevent the head from contacting any injurious object except as provided for in JAR 27.562(c)(5). A shoulder harness (upper torso restraint), in combination with the safety belt, constitutes a torso restraint system as described in JAR-TSO JTSO-C114.
- . Each occupant's seat must have a combined safety belt and shoulder harness with a single-point release. Each pilot's combined safety belt and shoulder harness must allow each pilot when seated with safety belt and shoulder harness fastened, to perform all functions necessary for flight operations. There must be a means to secure belts and harnesses when not in use, to prevent interference with operation of the rotorcraft and with rapid egress in an emergency.
- . If seat backs do not have a firm handhold, there must be hand grips or rails along each aisle to enable occupants to steady themselves while using aisle in moderately rough air.
- . Pad each projecting object that could injure persons seated or moving about in rotorcraft in normal flight.
- . Design each seat and its supporting structure for an occupant weight of at least 77 kg considering maximum load factors, inertial forces, and reactions between occupant, seat, and safety belt or harness corresponding with applicable flight and ground-load conditions, including emergency landing conditions of JAR 27.561(b). In addition –
 - Each pilot seat must be designed for reactions resulting from application of pilot forces prescribed in JAR 27.397; and
 - Multiply inertial forces prescribed in JAR 27.561(b) by a factor of 1.33 in determining strength of the attachment of –
 - . Each seat to structure; and
 - . Each safety belt or harness to seat or structure.
- . When safety belt and shoulder harness are combined, rated strength of safety belt and shoulder harness may not be less than that corresponding to inertial forces specified in JAR 27.561(b), considering occupant weight of at least 77 kg, considering dimensional characteristics of restraint system installation, and

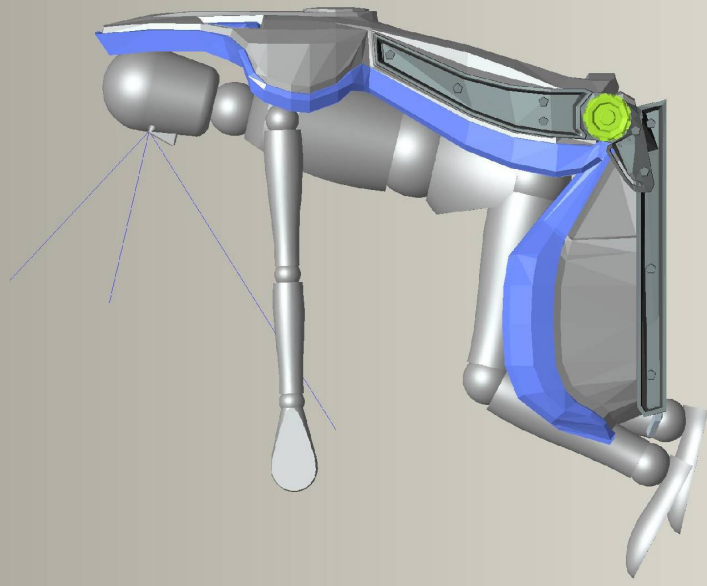
- using a distribution of at least a 60% load to safety belt and at least a 40% load to shoulder harness. If safety belt is capable of being used without shoulder harness, inertial forces specified must be met by safety belt alone.
- When using a headrest, design headrest and its supporting structure to resist inertia forces specified in JAR 27.561, with a 1.33 fitting factor and a head weight of at least 5.9 kg (13 pounds).
- Each seating device system includes the device such as seat, cushions, occupant restraint system, and attachment devices.
- Each seating device system may use design features such as crushing or separation of certain parts of the seats to reduce occupant loads for emergency landing dynamic conditions of JAR 27.562; otherwise, system must remain intact and must not interfere with rapid evacuation of rotorcraft.
- For purposes of this paragraph, a litter is defined as a device designed to carry a nonambulatory person, primarily in a recumbent position, into and on rotorcraft. Each berth or litter must be designed to withstand the load reaction of an occupant weight of at least 77 kg when occupant is subjected to forward inertial factors specified in JAR 27.561(b). A berth or litter installed within 15° or less of longitudinal axis of rotorcraft must be provided with a padded end-board, cloth diaphragm, or equivalent means that can withstand forward load reaction. A berth or litter oriented greater than 15° with longitudinal axis of rotorcraft must be equipped with appropriate restraints, such as straps or safety belts, to withstand forward load reaction. In addition –
 - Berth or litter must have a restraint system and must not have corners or other protuberances likely to cause serious injury to a person occupying it during emergency landing conditions; and
 - Design berth or litter attachment and occupant restraint system attachments to structure to withstand critical loads resulting from flight and ground load conditions and from conditions prescribed in JAR 27.561(b). Apply fitting factor required by JAR 27.625(d).

EK D.1

Helikopter pilot koltuğu kavramsal tasarım modeli ve deney mankeni görselleri

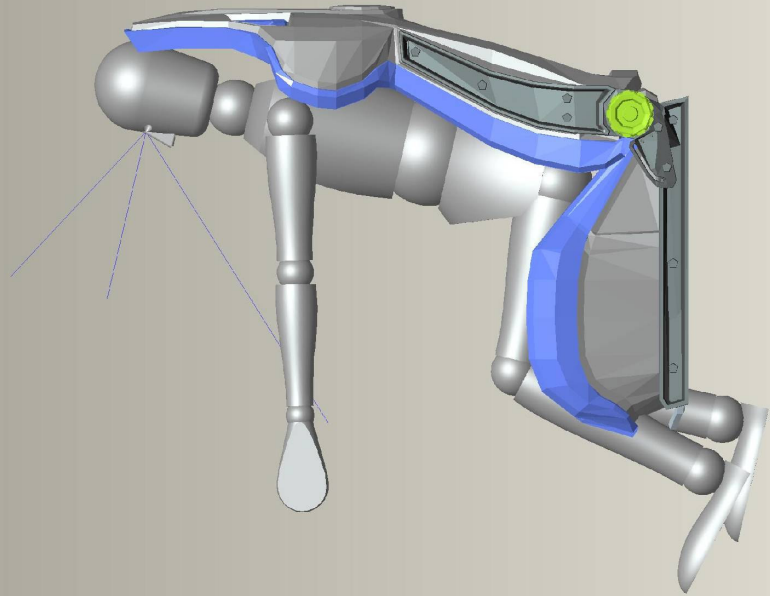






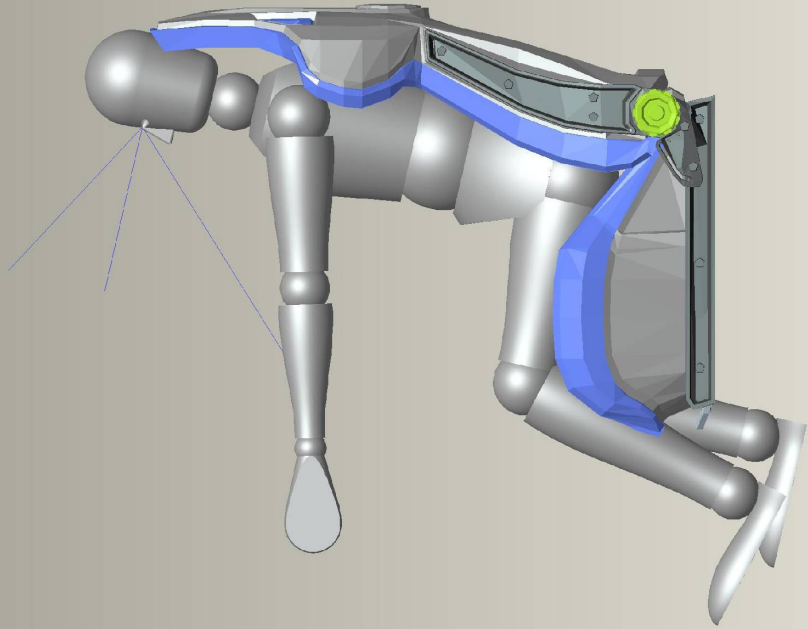
X.X +0.1
X.XX +0.01
X.XXX +0.001
ANG. +-0.5

%5 KADIN



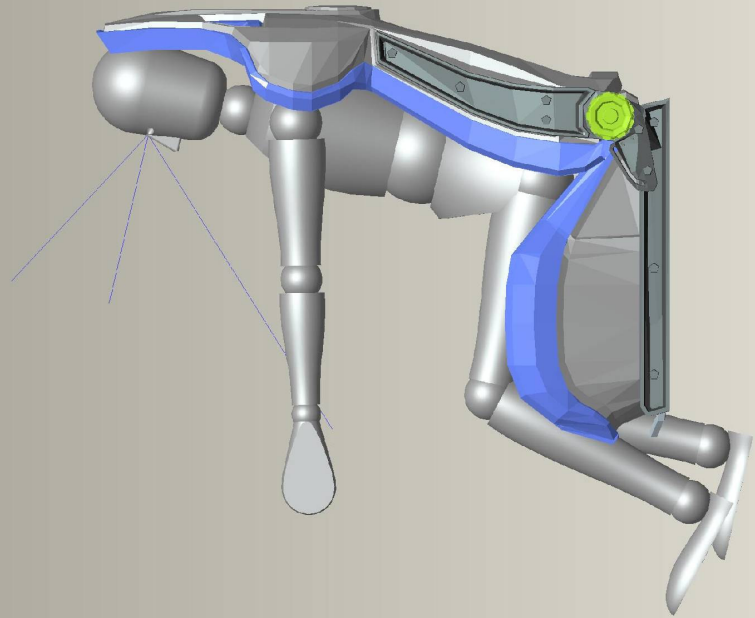
XX +-0.1
X.XX +-0.01
X.XXX +-0.001
ANG. +-0.5

%50 KADIN



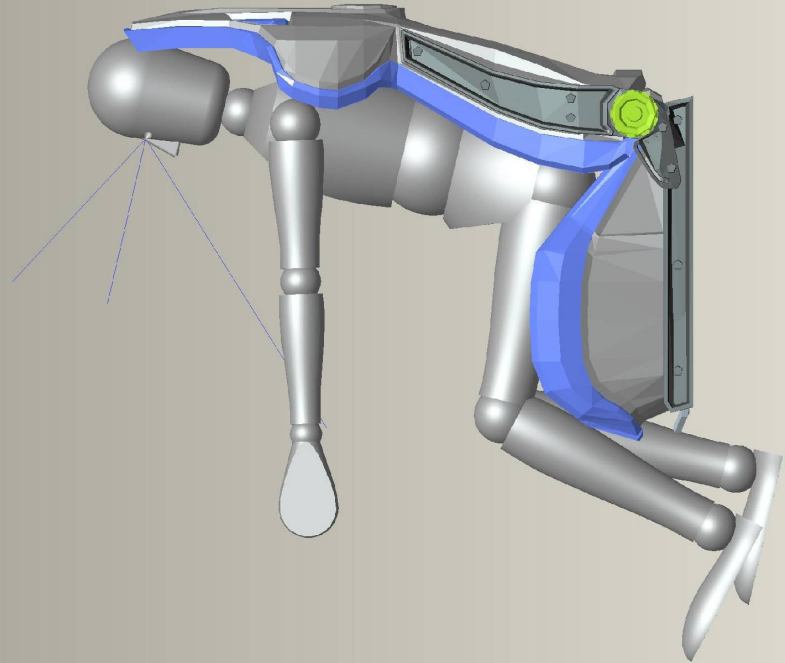
X.X +-0.1
X.XX +-0.01
X.XXX +-0.001
ANG. +-0.5

%95 KADIN



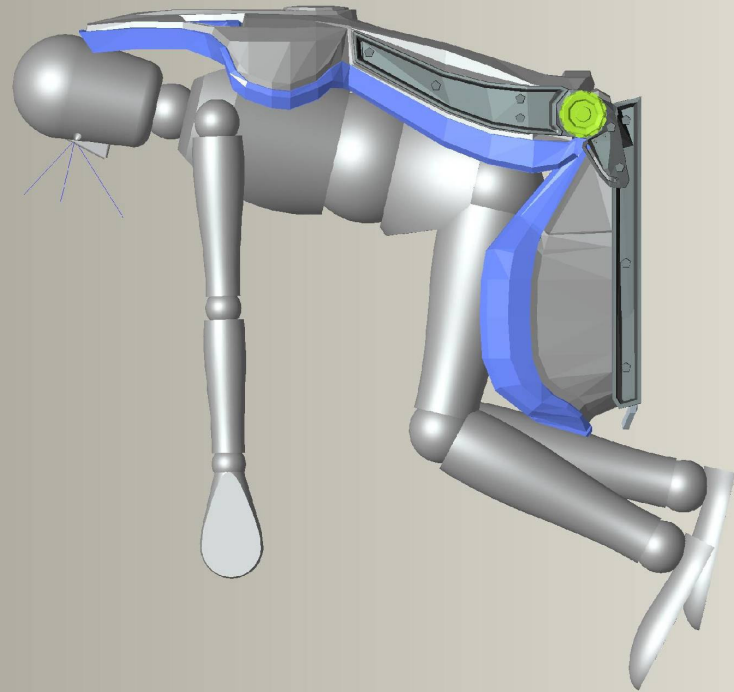
X.X +0.1
X.XX +0.01
X.XXX +0.001
ANG. +0.5

%5 ERKEK



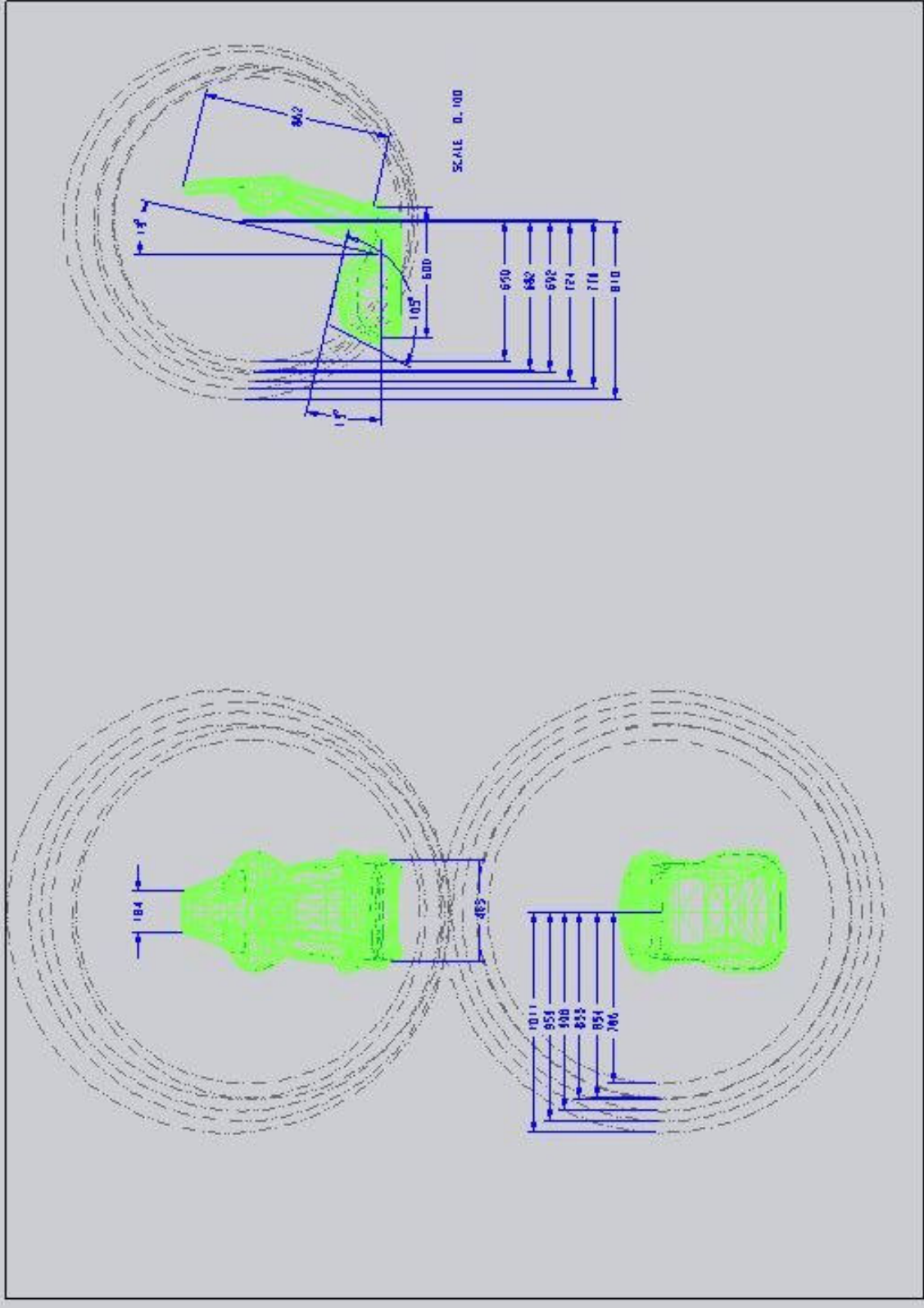
X.X +-0.1
X.XX +-0.01
X.XXX +-0.001
ANG. +-0.5

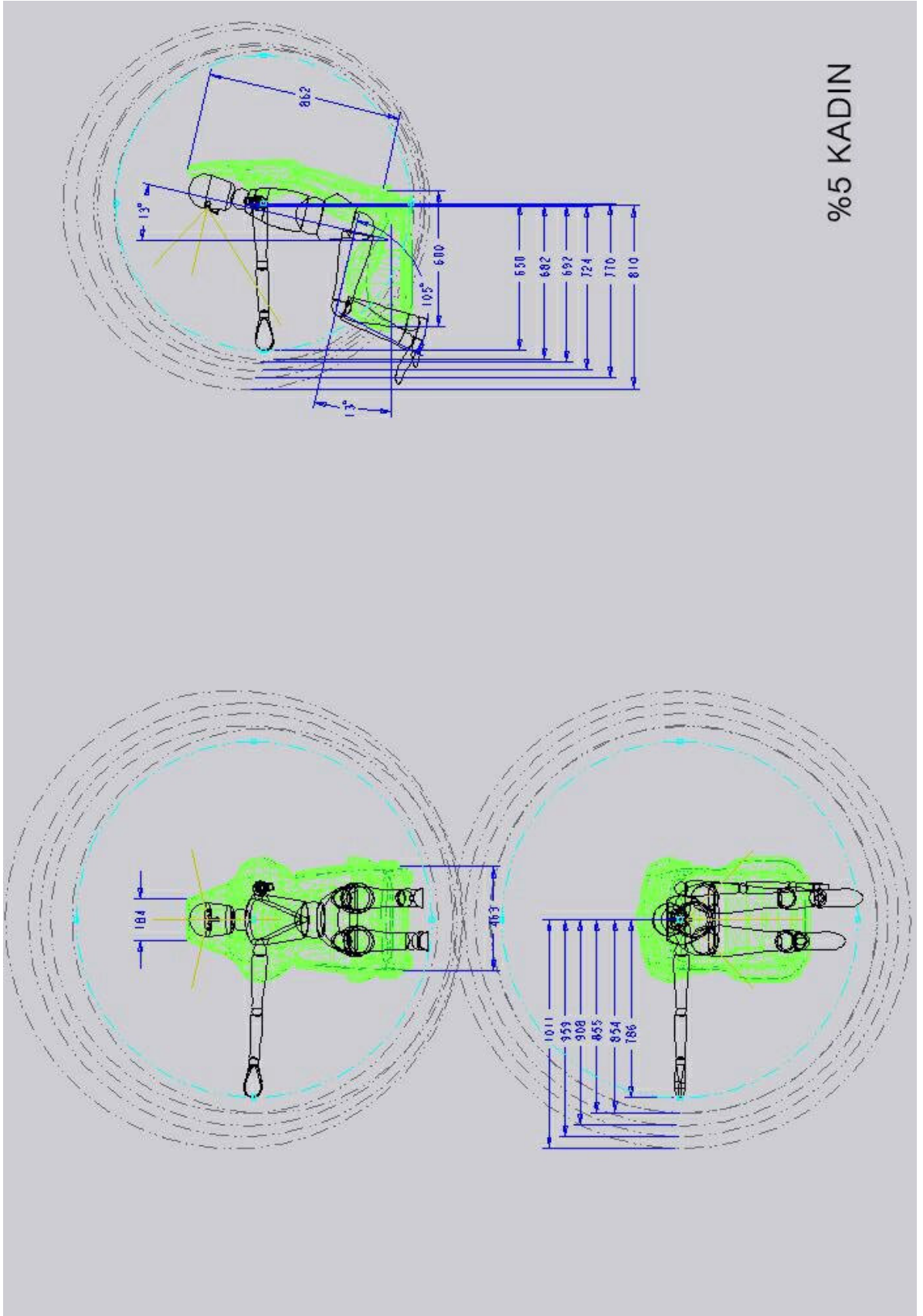
%50 ERKEK

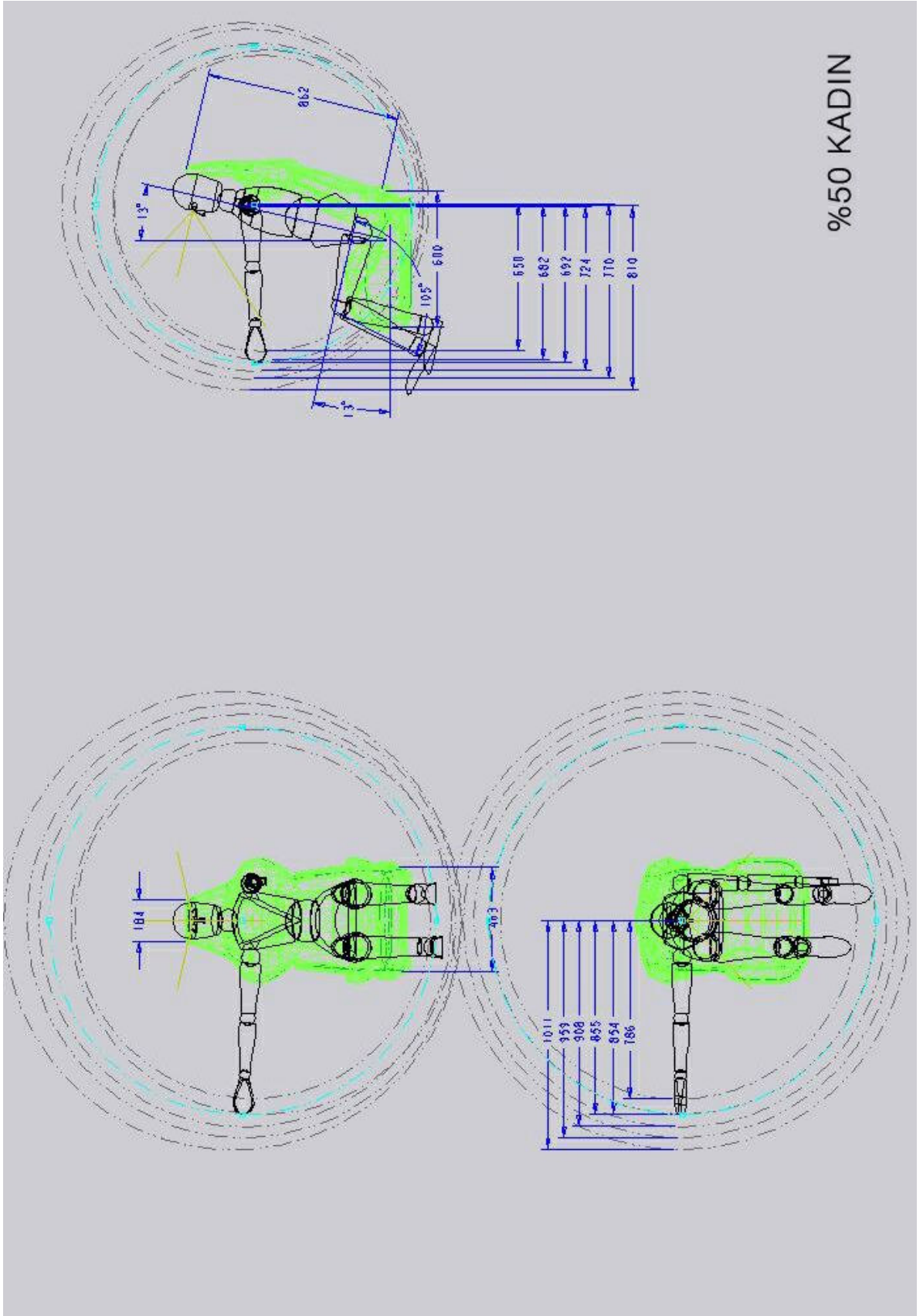


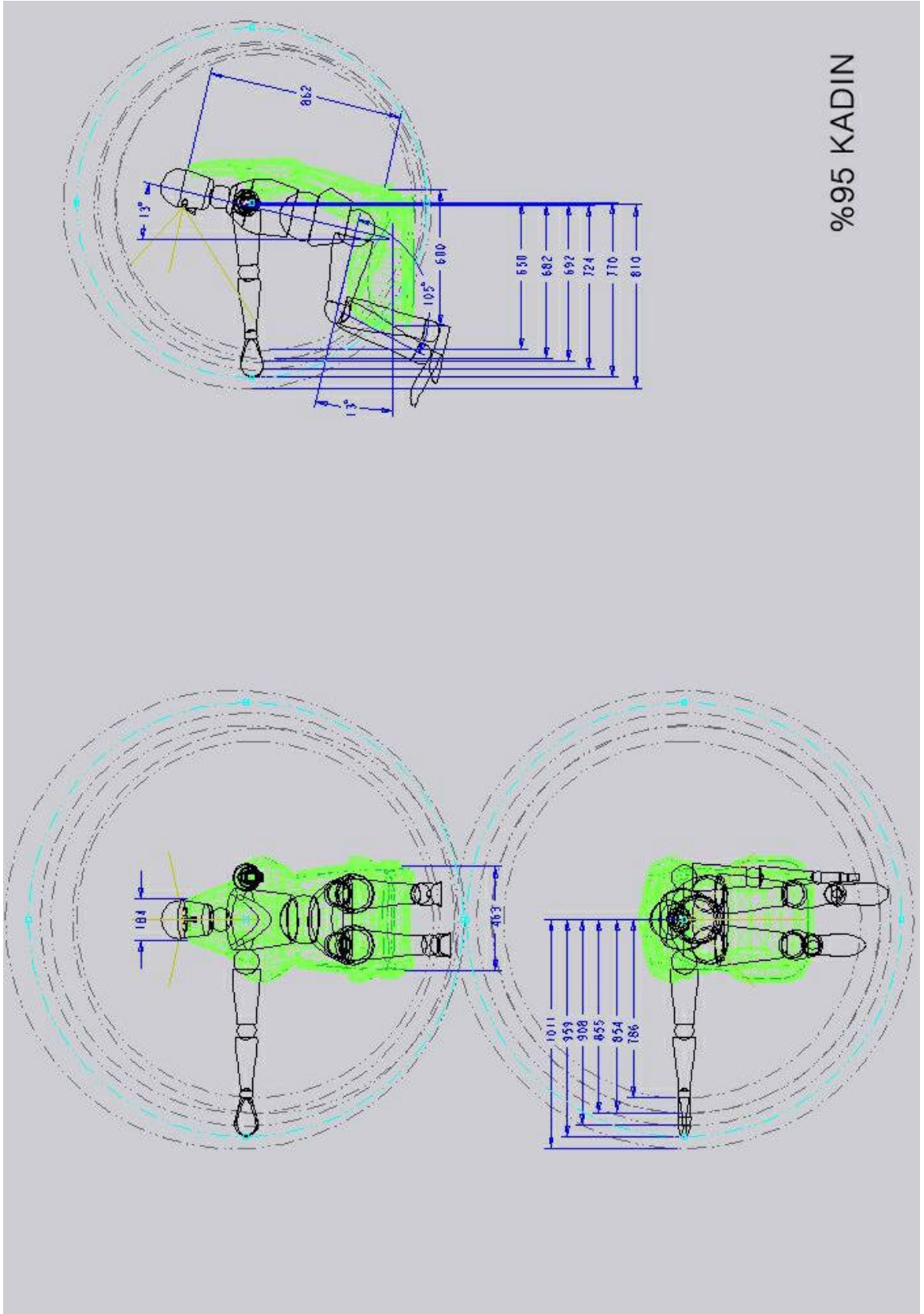
XX +0.1
XX +0.01
XXX +0.001
ANG. +0.5

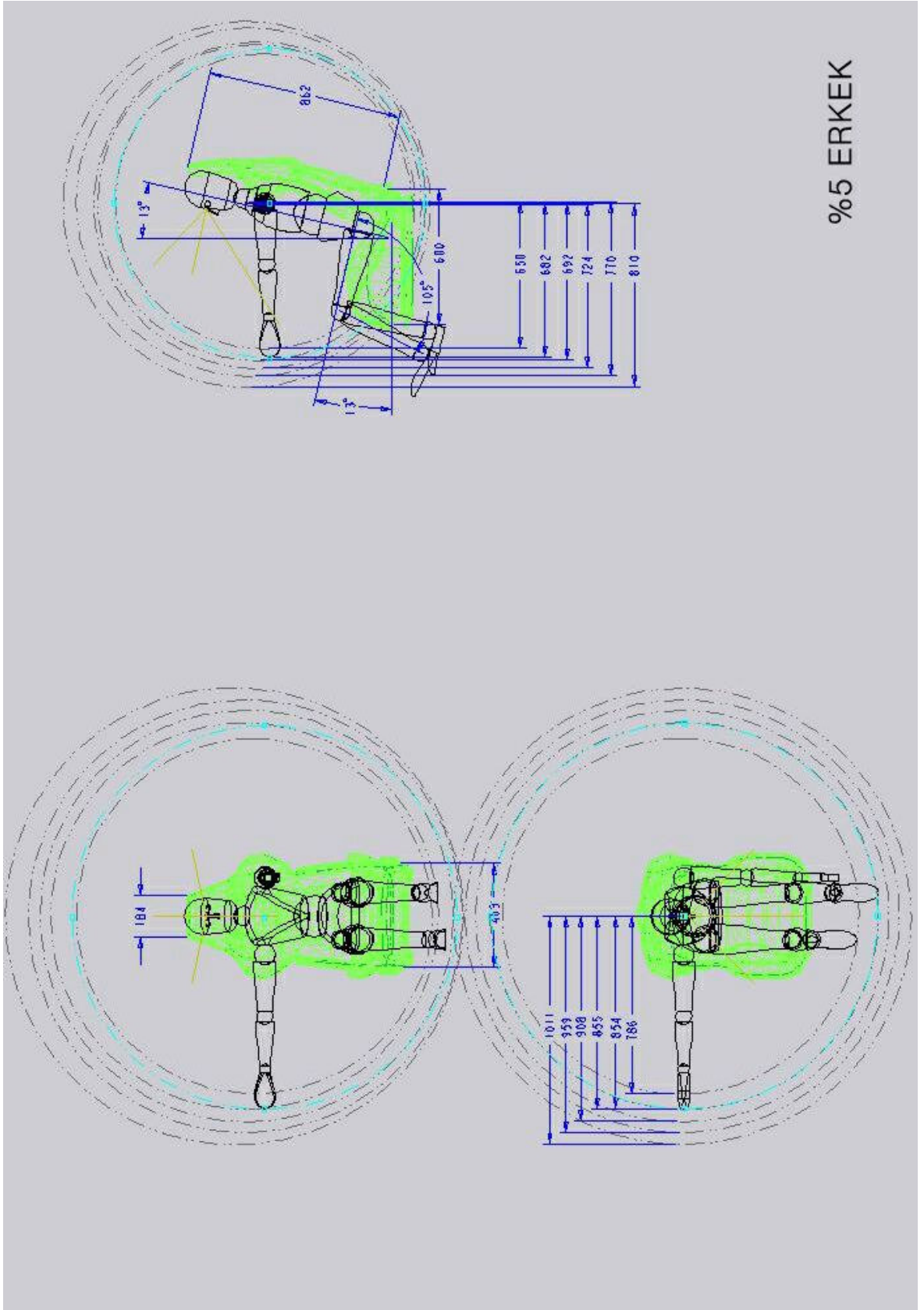
%95 ERKEK



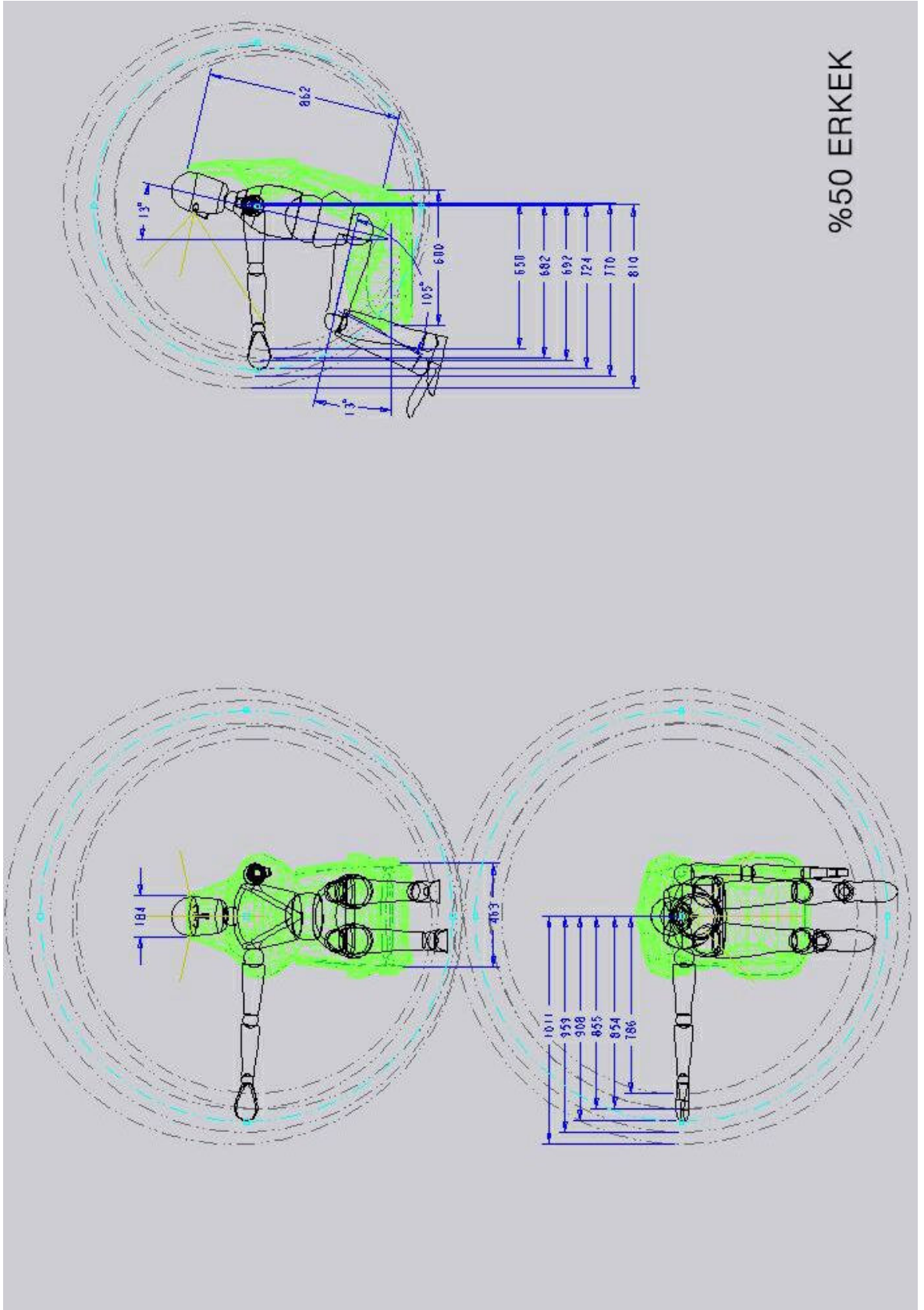




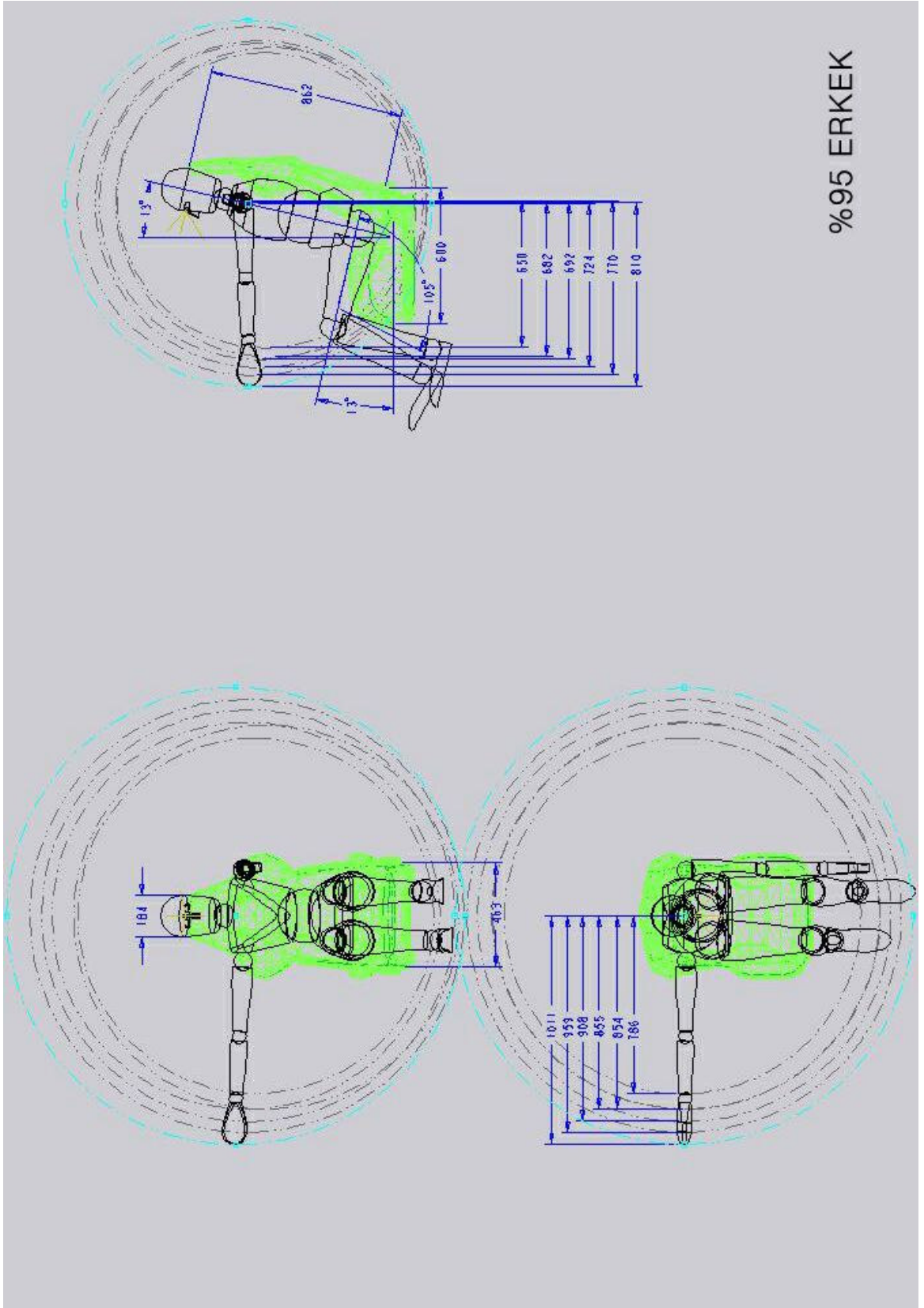




%5 ERKEK



%50 ERKEK



%95 ERKEK

EK E.1

Helikopter içi koltuk yerleşim görselleri















ÖZGEÇMİŞ

S.Bahar TUNÇELLİ, 1976'da Londra'da doğdu. 1994'de Feyziye Mektepleri Vakfı Nişantaşı Işık Lisesi'nden mezun olduktan sonra 1998-1999 güz döneminde İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Endüstri Ürünleri Tasarımı'nı bitirdi. Daha sonra İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Ürünleri Tasarımı bölümünde yüksek lisansa başladı. Mezuniyetini takiben çeşitli sektörlerde endüstri ürünleri tasarımcısı olarak mesleki kariyerini sürdürmektedir ve aynı zamanda ROTAM bünyesinde ürün tasarımcısı olarak görev almaktadır.