



SSM-K-TK-01

SAVUNMA SANAYİİ İÇİN TEKNOLOJİ HAZIRLIK SEVİYESİ KILAVUZU

Savunma Sanayii Müsteşarlığı
Ar-Ge ve Teknoloji Yönetimi Daire Başkanlığı
Teknoloji Yönetimi Grup Müdürlüğü

2015

Hazırlayanlar

SSM Teknoloji Yönetim Grup Müdürlüğü

Uzman Yardımcısı Fulya Gizem AYTAÇ

Kıdemli Danışman Gazi Çağrı YILDIRIM

Teşekkür

TUSAŞ, ASELSAN, HAVELSAN ve ROKETSAN

firmalarımızın değerli temsilcileri

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	4
TANIMLAR	5
GİRİŞ	7
TEKNOLOJİ HAZIRLIK SEVİYESİ VE UYGULAMA ÖRNEKLERİ	8
TEKNOLOJİ HAZIRLIK SEVİYESİ	8
THS UYGULAMA ÖRNEĞİ.....	12
TEKNOLOJİ HAZIRLIK DEĞERLENDİRME SÜRECİNDE THS KULLANIMI.....	15
TEKNOLOJİ HAZIRLIK DEĞERLENDİRMELERİNDE KULLANILAN DİĞER BAZI ÖLÇÜM METRİKLERİ	18
YAZILIM TEKNOLOJİ HAZIRLIK SEVİYESİ (YTHS)	18
ÜRETİM HAZIRLIK SEVİYESİ (ÜHS)	18
ENTEGRASYON HAZIRLIK SEVİYESİ (EHS)	19
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	22
EK.....	23

KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AFRL	Amerikan Hava Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarı
Ar-Ge	Araştırma Geliştirme
DoD	Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı
ESA	Avrupa Uzay Ajansı
FAA	Federal Havacılık Kurumu
FX	Milli Muharip Uçak Projesi
GAO	ABD Genel Muhasebe Bürosu
NASA	Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NATO	Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
THS	Teknoloji Hazırlık Seviyesi
THD	Teknoloji Hazırlık Değerlendirmesi
TUSAŞ	Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.
YTHS	Yazılım Teknoloji Hazırlık Seviyesi

TANIMLAR

ARAŞTIRMA GELİŞTİRME

İnsan, kültür ve toplumun bilgisinden oluşan bilgi dağarcığının artırılması ve bu dağarcığın yeni uygulamalar (yeni yazılım, yeni süreç, sistem vb.) tasarlamak üzere kullanılması için sistematik bir temelde yürütülen yaratıcı çalışmalardır. Ar-Ge temel araştırma, uygulamalı araştırma ve deneysel geliştirme olmak üzere üç tip faaliyeti kapsamaktadır. [1]

BİLİM

Sistematik ve formüle edilmiş bilgidir. [2]

DENEYSEL GELİŞTİRME

Araştırma ve/veya pratik deneyimden elde edilen mevcut bilgiden yararlanarak yeni malzemeler, yeni ürünler ya da cihazlar üretmeye; yeni süreçler, sistemler ve hizmetler tesis etmeye ya da halen üretilmiş veya kurulmuş olanları önemli ölçüde geliştirmeye yönelmiş sistemli çalışmadır. [1]

MİLLÎ OLMASI ZORUNLU SİSTEMLER/TEKNOLOJİLER

Yurt dışından tedarik edilse bile kullanımında güvenlik nedeniyle sakınca bulunan ve mutlaka yurt içinde geliştirilmesi/ imali gerekli görülen sistemler/teknolojilerdir.

SİSTEM

Düzenli bir bütün meydana getirmek için, düzenlenmiş karşılıklı faaliyetlerle birleştirilmiş işlem, yöntem ve teknikler topluluğudur.

TEKNOLOJİ

Araştırma, geliştirme, üretim, pazarlama, satış ve satış sonrası hizmeti kapsayan bir sanayi sürecinin, etkin ve verimli bir biçimde gerçekleştirilmesi için kullanılabilir bilgi ve becerilerin tümüdür.

TEKNOLOJİ GELİŞTİRME

Bir ürün oluşturulmasına yönelik ustalık bilgisi kazanılması ve yeni bir ürüne uygulanması faaliyetidir.

TEKNOLOJİ SAHİPLİĞİ

Bir ürünün ya da üretim yönteminin tanımlanması, tasarım ve analizin yapılması, geliştirilmesi, üretilmesi, test edilmesi, kullanıma alınması, bu sisteme lojistik destek verilebilmesi ile sürecin yönetilebilmesi için gereken bilgi, altyapı (tesis, makina, cihaz, yetişmiş iş gücü vb.) ve kazanılmış becerilerin tümüdür.

**TEKNOLOJİ VE SİSTEM
OLGUNLUĞU**

Sahip olunan veya hazır temin edilen teknolojinin, olgunlaşmakta olan/yeni/ileri teknolojiler ile ilişkili güncelliğinin göstergesidir.

TEMEL ARAŞTIRMA

Görünürde herhangi bir özel uygulaması veya kullanımı bulunmayan ve öncelikle olgu ve gözlemlenebilir gerçeklerin temellerine ait yeni bilgiler edinmek için yürütölen deneysel veya teorik çalışmalardır.

UYGULAMALI ARAŞTIRMA

Teknolojik bilgi ve becerinin özel amaçlı uygulama sonuçlarını elde etmek üzere yürütölen faaliyetlerdir.

YURT İÇİ GELİŞTİRME PROJESİ

Bir sistemin prototipinin geliştirilmesini, üretilmesini ve tedarikini öngören, gerektiğinde teknolojik alt yapı oluşturma ve/veya temel araştırma çalışmaları ile desteklenen projelerdir.

GİRİŞ

Günümüzün rekabetçi ortamında teknolojiyi belirleyebilen, yaratabilen, yeniliklerle geliştirebilen başka bir deyişle teknolojiyi yönetebilen kurum ve kuruluşlar, şirketler, toplumlar, milletler ve devletler ayakta kalabileceklerdir. Savunma sanayii özelinde de durum çok farklı değildir. Teknolojiye hâkimiyet uluslararası rekabeti tetikleyen ana unsur olarak, askeri alanda önemli bir güç odağı olmuştur. Son dönemde askeri sistemlerin teknoloji odaklı gelişimi ve sivil alandaki teknolojilerin askeri uygulamalarının giderek artmasıyla, güvenlik ve savunmanın ana eksenini teknoloji ve bilgi üstünlüğü olmuştur. Bu alandaki üstünlük ise teknoloji yönetimi alanında benimsenen akılcı ve sürdürülebilir politikalarla mümkün olabilecektir.

Savunma alanındaki sistem geliştirme projeleri bütçelerinin büyüklüğü, özellikle yeni teknoloji uygulamalarını içeren karmaşık yapısı ve önemli yetenek kazandırmaları yönüyle diğer projelerden farklılık göstermekte olup, bu projelerin geliştirilmesi aşamasında kaçınılmaz olarak üç ana sorun alanı ile karşılaşmaktadır: performans, takvim ve bütçe. Bu doğrultuda yurt içi sistem geliştirme projelerinde, risk içeren ve olgunlaşması gereken bilimsel çalışmaların ve teknolojik geliştirmelerin başarılı ile yönetilmesi kritik bir unsur olup, bu amaçla geliştirilmiş çözümlerden bir tanesi teknoloji olgunluk değerlendirme araçlarının kullanımınıdır.

Teknoloji Hazırlık Değerlendirme (THD) araçlarından ilki ve en yaygın kullanılanı olan Teknoloji Hazırlık Seviyesi (THS), geliştirilen teknolojilerin bir sistem veya alt sistem içerisine entegre edilmeden önceki süreçte olgunluğunu değerlendirmek için kullanılan bir ölçüm sistemi olup, ilk olarak Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından geliştirilmiştir. THS dışında; Üretim Hazırlık Seviyesi, Entegrasyon Hazırlık Seviyesi, Sistem Hazırlık Seviyesi, UK MoD Sistem Hazırlık Seviyesi gibi Teknoloji Hazırlık Değerlendirme sürecinde farklı amaçlarla kullanılan diğer olgunluk değerlendirme araçları da kullanılmakla beraber bu kılavuzun ana odağı THS ölçüm metriği olacaktır.

Teknoloji Hazırlık Seviyesi (THS), geliştirilen teknolojilerin bir sistem veya alt sistem içerisine entegre edilmeden önceki süreçte olgunluğunu değerlendirmek için kullanılan bir ölçüm sistemidir.

THS, çıkış noktası havacılık ve uzay programları olmakla birlikte, günümüzde sektör bağımsız bir uygulama alanı olan ve ilgilenilen teknolojinin olgunlaşma sürecinin takibi, maliyet, takvim ve bütçe dengelemesi, risk yönetimi alanlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu kılavuzun hazırlanmasındaki amaç, savunma sanayii firmalarımızın THS sistemiği konusundaki farkındalıklarını artırmak ve bu bağlamda yeni ve uç teknolojilerin geliştirilmesi sürecinde ortak bir iletişim ve değerlendirme tabanı oluşturmaktır.

TEKNOLOJİ HAZIRLIK SEVİYESİ VE UYGULAMA ÖRNEKLERİ

TEKNOLOJİ HAZIRLIK SEVİYESİ

THS, geliştirilen teknolojinin olgunluğunu değerlendirebilmek ve farklı teknolojilerin olgunluk seviyelerini tutarlı bir şekilde karşılaştırabilmek amacıyla geliştirilmiş sistematik bir ölçü/ölçme sistemidir. İlgili teknolojinin kullanım için ne kadar olgun olduğunun nitel olarak belirlenmesi için kullanılan 1-9 seviyeden oluşan bir metriktir¹. THS çalışmaları ilk olarak 1970'lerde NASA'da başlamıştır. Teknoloji yöneticileri NASA'nın geliştirdiği ve ürünlerinde kullanmayı düşündüğü teknolojilerin kullanıma ne kadar hazır olduğunu ölçmek istemişlerdir. Çalışmalar Challenger felaketinden sonra hız kazanmış ve 1980'lerde günümüzde kullanılan THS metriğinin temelleri NASA'da atılmıştır². 1990'larda Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Hava Kuvvetleri tedarik programlarında kullanılmaya başlanmıştır. 1999-2003 yılları arasında ABD'nin bütün silahlı kuvvetlerinde yaygın olarak kullanılmıştır³. Bu durum ABD şirketlerini de etkilemiş ve THS kullanımı ABD savunma şirketlerinde de yaygınlaşmıştır. 2000'lerin başında THS kullanımı NATO'ya ve bu kapsamda İngiltere ve Kanada gibi NATO ülkelerine yayılmıştır. Günümüzde Airbus gibi havacılık şirketleri ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) gibi kurumlar THS kullanımında önde gelen organizasyonlar olarak dikkat çekmektedir⁴.

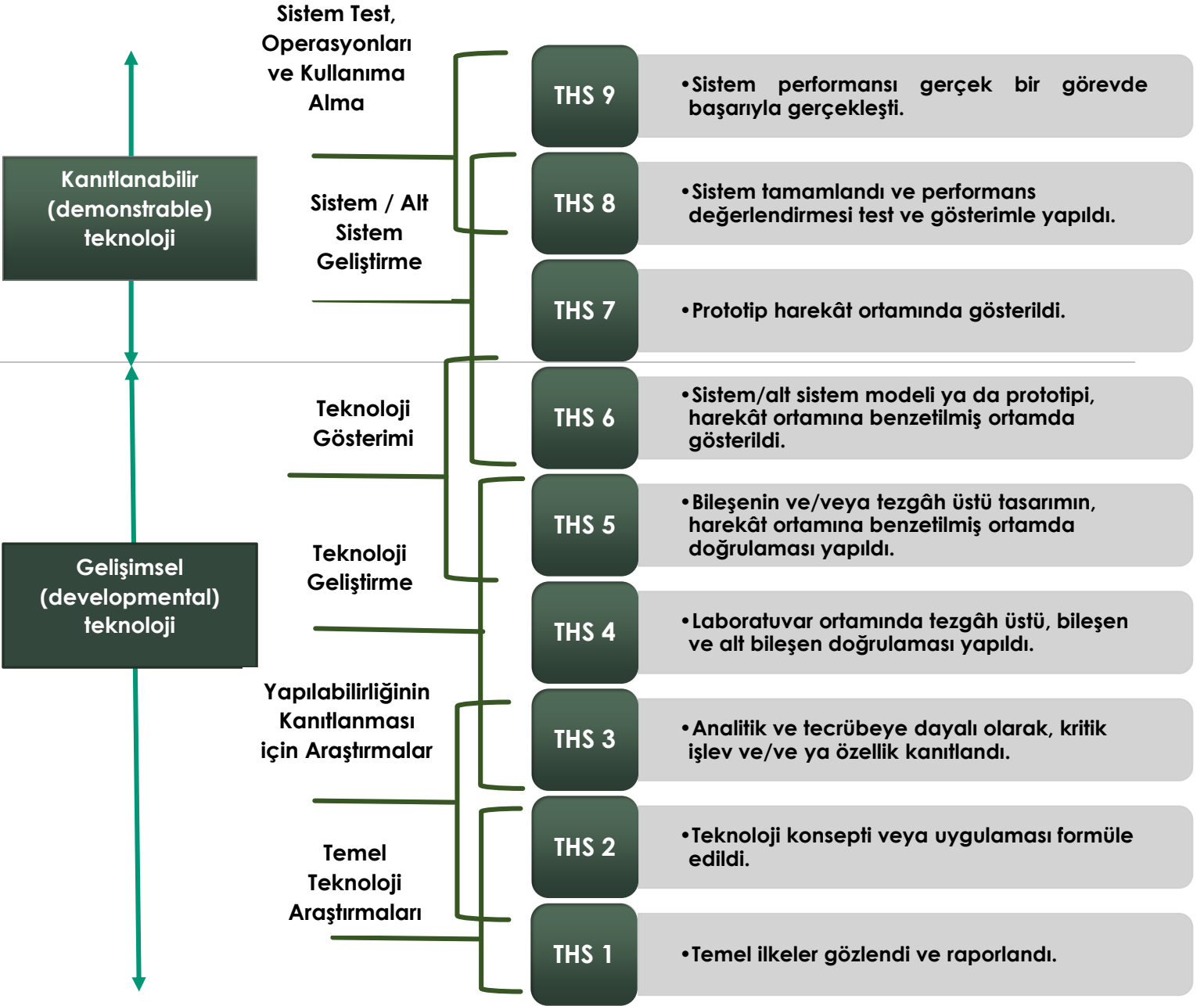
Şekil 1'de THS metriğiyle, ilgilenilen teknolojinin artan teknoloji olgunluğunun temel araştırma düzeyinden sistem operasyonlarında kullanıma kadar olan süreçte nasıl takip edildiğini göstermek üzere yaygın şekilde kullanılan bir diyagram sunulmuştur.

¹ Mankins, John C. (6 April 1995). "[Technology Readiness Levels: A White Paper](#)". NASA, Office of Space Access and Technology, Advanced Concepts Office.

² Mankins, John C. (6 April 1995). "[Technology Readiness Levels: A White Paper](#)". NASA, Office of Space Access and Technology, Advanced Concepts Office.

³ "[Technology Readiness Assessment \(TRA\) Guidance](#)". United States Department of Defense. April 2011

⁴ "[Technology Readiness Levels Handbook For Space Applications](#)". European Space Agency, Advanced Studies and Technology Preparation Division. 2008



Şekil 1. Teknoloji Hazırlık Seviyeleri

Daha detaylı temel THS tanımları açıklamaları ile beraber Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Temel Teknoloji Hazırlık Seviyeleri

		Açıklama
THS 1	Temel ilkeler gözlemlendi ve raporlandı	En düşük teknoloji hazırlık seviyesidir. Bilimsel araştırma, uygulamalı araştırma ve geliştirmeye dönüşmeye başlamıştır. Örnekler daha çok teknolojinin temel özelliklerinin kâğıt üzerinde gösterimini içerir.
THS 2	Teknoloji konsepti veya uygulaması formüle edildi	Teori ve bilimsel prensipler, belirli bir uygulama alanındaki konseptin tanımlanmasına odaklanır. Uygulamaların karakteristik özellikleri tanımlanır. Uygulamaların analizi veya simülasyonu için analitik araçlar geliştirilir. Herhangi deneysel bir kanıt veya detaylı bir analiz bu aşamada yoktur. Yeni konsept, fiziksel ve matematiksel prensiplere dayanmaktadır.
THS 3	Analitik ve tecrübeye dayalı olarak, kritik işlev ve/veya özellik kanıtlandı	Konsept gösteriminin onaylandığı aşamadır. Teknoloji olgunlaşma sürecinin bu adımında aktif Ar-Ge, analitik ve laboratuvar çalışmaları ile başlamıştır. Bu seviyede THS 2'de ortaya atılan fikirler, deneysel ve analitik olarak kanıtlanmalıdır.
THS 4	Laboratuvar ortamında tezgâh üstü, bileşen ve alt bileşen doğrulaması yapıldı	Prototipin tüm aksamaları ile entegre edildiği ve test ile doğrulanmasının yapıldığı aşamadır. Teknoloji alt bileşenleri veya temel teknolojilerinin tümü prototip üzerine entegre edilmiştir. Test aşamasında, tüm temel teknolojileri ve alt bileşenleri entegre edilmiş olan prototip, tam ölçekli problem ve veri setleri ile test edilir.
THS 5	Bileşenin ve/veya tezgâh üstü tasarımın, uygun çevresel ortamda doğrulaması yapıldı	Test edilen bileşen ve/veya tezgâh üstü tasarım, gerçek sistemin son tasarımına oldukça yakın seviyededir. Prototipin veya temsili modelin uygun çevresel ortamda (gerçek ortamı temsil eden ortamda) doğrulaması yapılır. Prototip uygulamaları, hedef çevre ve ara yüzleri karşılamalıdır.
THS 6	Sistem/alt sistem modeli ya da prototipi, uygun çevresel ortamda gösterildi	Tam ölçekte karşılaşılan gerçek problemlerin, uygun çevresel ortamda temsili model veya prototipe uygulandığı aşamadır. Bu aşamada prototip veya temsili model, uçmak veya uzaya gönderilmek zorunda değildir. Bu ortamları simüle eden, uygun çevresel ortamda testler yapılmalıdır.
THS 7	Prototip harekât ortamında gösterildi	Operasyon ortamında sistem prototip gösterimi aşamasıdır. Sistem veya

		prototip, gerçek ölçekte veya gerçek ölçüğe yakın boyutta, tüm fonksiyonların deneme gösterimi ve testler için uygundur. Prototip, tamamlayıcı ve ana sistemlerle iyi şekilde entegre olmuştur. Mühendislik açısından prototipin harekât ortamında başarılı olması önemli bir aşama ve hedefdir.
THS 8	Sistem tamamlandı ve performans değerlendirmesi test ve gösterimle yapıldı	Sistem geliştirmenin son aşamasıdır. Operasyonel yazılım ve donanım sistemlerinin tamamı entegre edilmiştir. Çoğu kullanıcı dokümanları, eğitim dokümanları ve bakım dokümanları tamamlanmıştır. Tüm fonksiyonel testler simüle edilmiş ve operasyon ortamında farklı senaryolar ile test edilmiştir.
THS 9	Sistem performansı gerçek bir görevde başarıyla gerçekleşti	Donanım ve yazılım sistemlerinin tamamı entegre edilmiştir. Gerçek sistem operasyonel ortamda test edilmiştir ve gerçek operasyonu başarı ile tamamlamıştır.

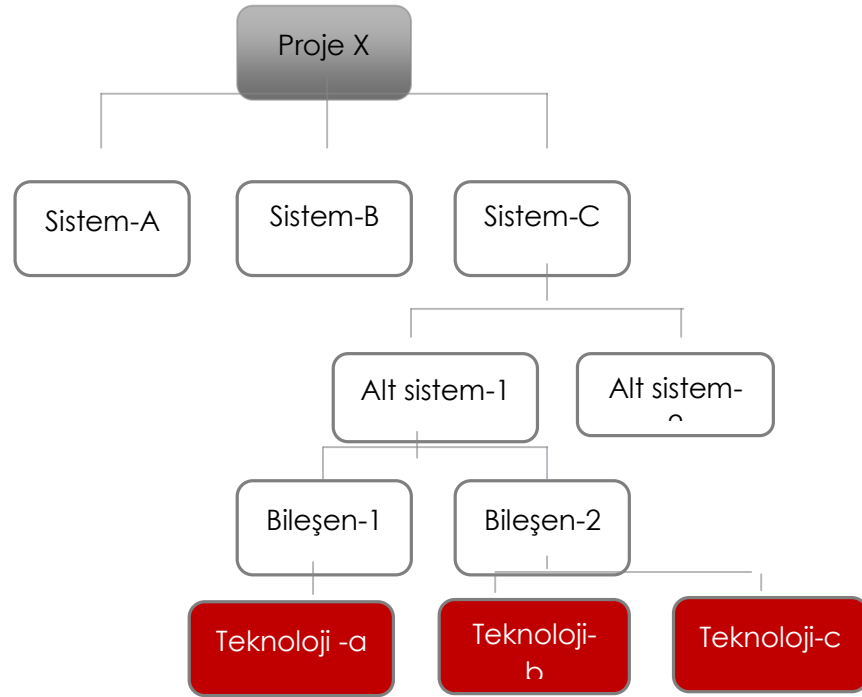
NASA tarafından donanımlar için geliştirilen THS tanımları kullanılarak Amerikan Hava Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarı (AFRL) tarafından donanım ve yazılımlar için excel tabanlı bir THS hesaplayıcısı geliştirilmiştir. Daha sonra Bilbro⁵ tarafından daha da geliştirilen bu uygulama, halen savunma sektöründe faaliyet gösteren organizasyonlar tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Ek'te Türkçe'ye adapte edilmiş söz konusu soru seti yer almaktadır.

⁵ Bilbro, W.J. (2007). TRL Calculator. JB Consulting International. www.jbconsultinginternational.com adresinden alınmıştır.

THS UYGULAMA ÖRNEĞİ

Birçok sistem geliştirme projesi, çeşitli sistemlerden, sistemler alt sistemlerden, alt sistemler bileşenlerden, bileşenler ise kendilerini oluşturan teknolojilerden meydana gelir. Bir sistemin belirlenen amacı gerçekleştirebilmesi için kendisini oluşturan tüm parçaların etkin bir şekilde fonksiyonlarını yerine getirmesi gerekmektedir.

THS'nin sistem geliştirme projelerinde kullanımına ilişkin varsayımsal bir örnek aşağıda yer almaktadır. X Projesine ilişkin Şekil 2'de sunulduğu üzere ürün tabanlı bir iş kırılım ağacı olduğunu ve bu kırılımda a, b ve c teknolojilerinin kritik olarak belirlendiğini varsayalım.



Şekil 2. Ürün Tabanlı İş Kırılım Ağacı

Kriter seti olarak Bilbro (2007) tarafından geliştirilen ve THS değerlendirme sürecinde yaygın olarak kullanılan THS soru setinin kullanıldığı varsayımı altında, ilgilenilen teknolojilerin örneğin THS 1 seviyesini tamamlayıp tamamlamadığı Tablo 3'te yer alan soru seti kullanılarak alan uzmanlarınca değerlendirilir. Uygulamada, bulunulan seviyedeki her soruya verilen cevaplar %100 seviyesinde karşılandığı takdirde değerlendirilen teknolojinin ilgili seviyeyi tamamladığı kabul edilir.

Bu noktada değerlendirme aşamasında konunun uzmanları ile çalışmanın büyük önem taşıdığı ve bu bakımdan THS değerlendirmelerinin subjektif yönü göz önüne alınarak,

değerlendirme sürecinin gerçek başarısının değerlendiricilerin uzmanlık düzeyine bağlı olduğu unutulmamalıdır.

Tablo 3. THS 1 Seviyesi Soruları

1	Araştırma hipotezi formüle edildi mi?
2	Temel prensipler gözlemlendi mi?
3	Gözlemleri destekleyen fiziksel kurallar ve varsayımlar tanımlandı mı?
4	Gözlemleri destekleyen fiziksel kurallar ve varsayımlar geçerli kılındı mı?
5	Teknolojinin temel elemanları tanımlandı mı?
6	Hipotezleri destekleyen bilimsel bilgi üretildi mi?
7	Temel prensipleri onaylayan çalışmalara benzer yayınlar gözden geçirildi mi?

NASA tarafından hayata geçirilmiş başka bir uygulama örneğine ilişkin detaylar takip eden bölümde yer almaktadır:

NASA gelişen uçak kullanımı ile gürültü düzeylerinin azaltılması için 1980'lerin başında başlattığı SFN (Separate – Flow Nozzle) jet motoru ses azaltım programı kapsamında, şevron lüle (Chevron Nozzle) projesini başlatmıştır. Proje kapsamında, testere ağzı formundaki lüle tasarımları ile motordan çıkan sıcak hava ile by-pass eden soğuk havanın karışımında oluşan türbülanslar bölünerek ses azaltılması hedeflenmiştir.

Projenin ilk aşamalarında lüle tasarımına yönelik temel araştırmalar ve akademik çalışmaların sonucunda, laboratuvar ve bilgisayar destekli analizler ile küçük boyutlarda lüle çeşitleri üretilerek araştırmalar devam etmiştir.

1990'ların başında küçük laboratuvar ölçekli lüleler ile kanatçık uygulamaları üzerinde laboratuvar ortamında testler gerçekleştirilmiştir. 1995 yılından itibaren bileşen seviyesinde küçük ölçekli modellerde uygun çevresel ortamda testler gerçekleştirilmiştir. Sistem seviyesinde ilk prototip, 1998-2000 yılları arasında uygun çevresel ortamda test edilmiştir. THS 6 aşamasında tüm kritik testlerin gerçekleştirilmesinin ardından, 2001 yılından 2005 yılına kadar uçuş ortamında testleri devam eden sistemin operasyonel ortamdaki testleri de başarı ile tamamlanmıştır. 2005 yılında başlayan sertifikasyon süreci 10 yıl içerisinde tamamlanarak Federal Havacılık Kurumu (FAA) sertifikasyonu alınmış ve şevron lüleleri pazara sunulmuştur.

Teknoloji Hazırlık Seviyesi (THS) Süreci

NASA'nın jet motorlarını daha sessiz hale getirmek için arayışı, bugün ticari pazarda kullanılan şevron lülelerinin (chevron nozzles) geliştirilmesini sağlamıştır. Bu gösterimde yeni bir teknoloji olan şevron lülelerinin geliştirme süreci THS ölçeği üzerinde sunulmuştur.



THS 8-9 (2005-2015)

- FAA tarafından sertifikasyon
- Pazara sunum



THS 7(2001-2005)

- Uçuşlu tasarım onayı
- Uçuş testleri, nihai tasarım



THS 6 (1998-2000)

- Akustik ve aerodinamik için tam ölçek testleri
- Statik motor testleri



THS 4-5 (1995-1997)

- Akustik ve aerodinamik için model testleri
- Alt ölçek model testleri



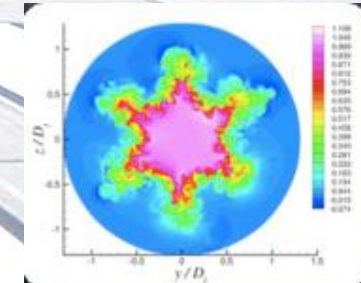
THS 3 (1990'lar)

- Küçük lülelere (nozzle) ve kanatçıklara (aerofoils) uygulamalar
- Laboratuvar testleri, kavram kâğıt üstünde



THS 1-2 (1980'ler)

- Hava karıştırma ekipmanlarının temel incelemesi
- Spesifik bir uygulama yok, akışkanlar mekaniğinde temel araştırma



Kaynak:http://www.nasa.gov/topics/aeronautics/features/tri_demystified.html

TEKNOLOJİ HAZIRLIK DEĞERLENDİRME SÜRECİNDE THS KULLANIMI

Teknoloji Hazırlık Değerlendirmesi, sistem içerisinde kullanılan kritik teknolojilerin olgunluğunu değerlendiren sistematik bir süreçtir⁶. THD ile sistem geliştirme projelerindeki teknolojilerin olgunluğunun ortaya koyulması ve projenin gerçekleştirme durumu konusunda bilgi sahibi olunması amaçlanır. Uygun bir THD süreci, ilgilenilen sistemin spesifik uygulamalarına ve sistem gereksinimlerine bağlı olmakta olup, bu dokümanın kapsamı dışındadır. Bu bölümde etkin bir teknoloji hazırlık değerlendirmesinde THS'nin kullanımına ilişkin genel adımlar sunulmaktadır.

Bir sistemin başarılı bir şekilde geliştirilebilmesi için, sistem gereksinimlerini ve proje takvimini doğrudan etkileyen ve sistemin oluşturulmasında önemli etkisi olan yeni bir teknoloji veya var olan teknolojinin alışılmadık biçimde farklı şekilde uygulanmasına ihtiyaç duyulan teknolojiler "kritik teknolojiler" olarak değerlendirilir. THD sürecinde sistem içerisinde kullanılan kritik teknolojiler ve bu teknolojiler ile entegre olan diğer teknolojilerin olgunluğu çoğunlukla sistem geliştirme safhasında ortaya çıkan teknolojik ve teknik risklerin kaynağı olmaları nedeniyle değerlendirilmeye alınır.

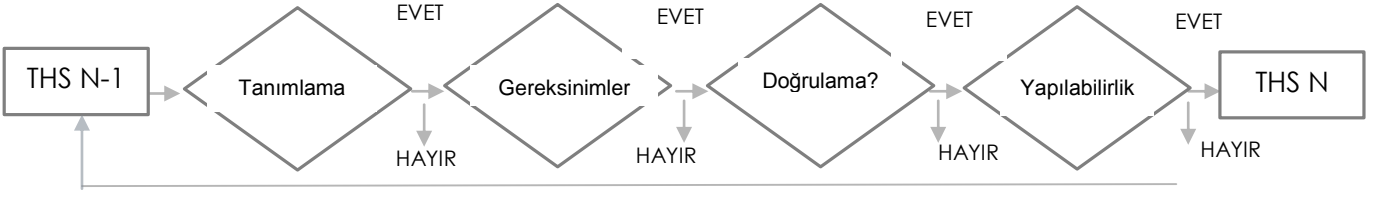
Bir sistem geliştirme projesinde; projenin belirlenen kilometre taşlarında THS gibi olgunluk değerlendirme araçları kullanılarak, THD değerlendirmesi belirli standartlar çerçevesinde yapılmış ve projenin bir sonraki aşamaya geçme koşulu sağlanmış olur. Bu şekilde projenin olgunlaşmış teknolojilerle sonraki aşamalara geçmesi ve bu şekilde ileride daha büyük sıkıntılarla karşılaşılmasına yol açacak teknolojik risklerin minimize edilmesi sağlanacaktır.

Genel olarak THD gerçekleştirilirken, "çıkış kriteri" olarak da isimlendirilen spesifik bir kriter seti seçilmelidir. Bu kriter seti (örn. Bilbro (2007) tarafından geliştirilmiş THS soru seti), yeni bir teknolojinin bir THS düzeyi ile ilişkilendirilmiş istenilen olgunluk seviyesine ulaşp/ulaşmadığına karar vermek üzere kullanılan bir kontrol listesidir.

Şekil 3'te ilgilenilen sistem geliştirme projesinin kilometre taşlarında THD değerlendirmesinin nasıl yapılacağı dört temel prensibi barındıran jenerik bir teknoloji hazırlık değerlendirme akış diyagramı gösterilmektedir. Bu şekilde projenin her bir kilometre taşında kritik teknolojilerin olgunluk düzeyi ölçülmüş olur.⁷

⁶ Department Of Defense, Teknoloji Readiness Assessment Guidance, 2011.

⁷ S. J. R. a. P. C.P.Graettinger, «Using the Technology Readiness Levels Scale to Support Technology Management in the DoD's ATD/STO Environments.» no. Special Report CMU/SEI-2002-SR-027, 2002.

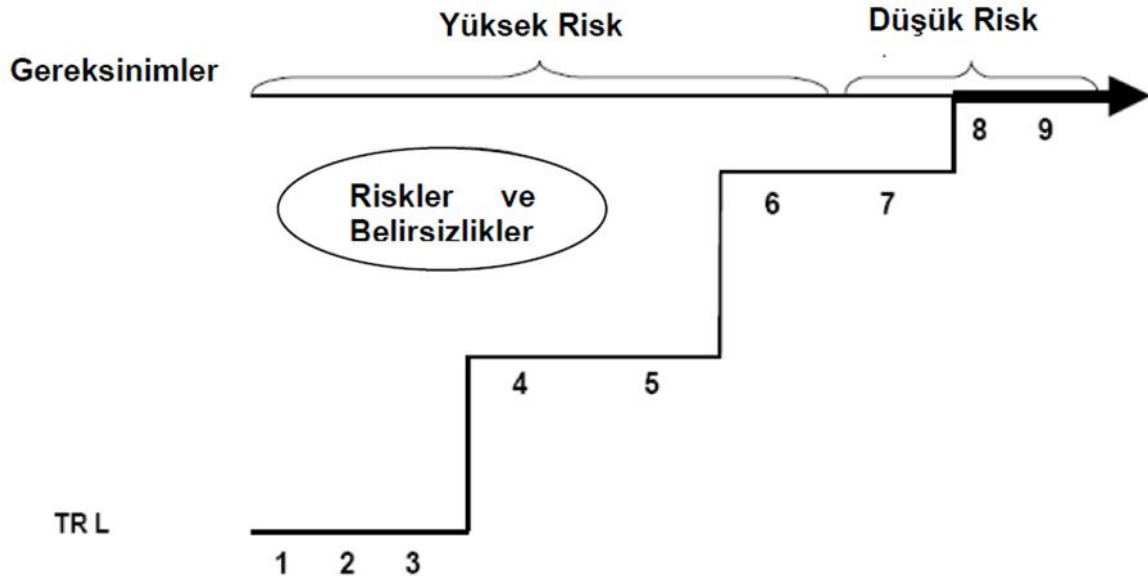


Şekil 3. Jenerik Teknoloji Hazırlık Değerlendirme Adımları

Buradaki temel yaklaşım; projenin önceden belirlenen her bir kilometre taşında, ilgilenilen teknolojinin tanımlandığı şekilde, belirlenen gereksinimlere uygun olarak geliştirilip geliştirilmediğini uygun doğrulama araçları ile kontrol ederek, yapılabilir/uygulanabilir olduğunu ortaya koymaktır. Mevcut THS düzeyinden bir üst düzeye geçiş tüm bu unsurların tamamlanması ile olabilecektir.

1999 yılında Amerika Birleşik Devletleri Genel Muhasebe Ofisi (GAO) tarafından hazırlanan ve THS kullanımını detaylı bir şekilde açıklayan tespit raporunda, Amerikan savunma sanayisi özelinde önemli tespitler yapılmıştır. Raporla özellikle savunma projelerinde yaşanan proje takvimi ve bütçe aşmaları teknoloji hazırlık seviyeleri açısından incelenmiştir.

Rapor kapsamında, Amerikan Savunma Bakanlığı (DoD) tarafından çalışılan, 23 değişik savunma teknoloji geliştirme projesi incelenmiş ve projelerin yöneticileri ile görüşmeler yapılmıştır. Yapılan görüşmelerde, proje yöneticilerine Teknoloji Hazırlık Seviyesi sistematığının kullanıp kullanmadıkları ve THS metriğinin hangi düzeyinde teknoloji riskinin kabul edilebilir sayıldığı sorulmuştur. AFRL tarafından THS 6 seviyesi kabul edilebilir risk düzeyi olarak tanımlanmış ve projelerde THS 6'dan THS 7 aşamasına geçilmesi ile; teknolojinin, üretim, mühendislik ve sistem geliştirme açısından en önemli aşamasının geride bırakıldığı belirtilmiştir. Raporla, özellikle incelenen 23 savunma teknoloji geliştirme projesi kapsamında, en yüksek THS değerine ulaşan teknoloji geliştirme projesinin maliyet, takvim ve performans gereksinimlerini en ideal şekilde karşıladığı tespit edilmiştir.



THS 6 aşaması, geliştirilen bir teknolojinin ürünleştirilmeye geçiş aşaması olan bir dönüşüm aşaması veya en bilinen adıyla ölüm vadisi (valley of death) aşamasıdır. Bu kritik aşamanın geçilmesi projeler için kritik olan maliyet ve takvim unsurlarını olumlu yönde etkilemektedir.

TEKNOLOJİ HAZIRLIK DEĞERLENDİRMELERİNDE KULLANILAN DİĞER BAZI ÖLÇÜM METRİKLERİ

YAZILIM TEKNOLOJİ HAZIRLIK SEVİYESİ (YTHS) (SOFTWARE TECHNOLOGY READINESS LEVEL: SW TRL)

Yazılım Teknoloji Hazırlık Seviyesi (YTHS), geliştirilen yazılım teknolojisi veya ürünün yazılım ağırlıklı bir sistemde kullanım için uygunluğunun değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiş bir ölçüm sistemidir⁸.

NASA tarafından donanımlar için geliştirilen THS tanımlarına paralel olarak yazılım teknoloji hazırlık seviyesi için tanımlar geliştirilmiştir. Bu tanımlar kullanılarak Air Force Research Laboratory tarafından geliştirilen THS hesaplayıcısı ile donanım ve yazılımlar için THS belirlenmesi yapılmaktadır.

ÜRETİM HAZIRLIK SEVİYESİ (ÜHS) (MANUFACTURING READINESS LEVEL: MRL)

Üretim Hazırlık Seviyesi (ÜHS), bir teknolojinin, komponentin veya sistemin üretim açısından olgunluğunu değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş bir ölçüm sistemidir. Teknoloji geliştirme sürecinin erken aşamalarından itibaren üretim risklerinin belirlenmesi, yönetilmesi ve teknolojinin bir sistemde kullanılması kabiliyetinin artırılması amacıyla kullanılmaktadır(4,5). Teknoloji hazırlık seviyesinde olduğu gibi teknolojinin üretim olgunluğu ve risklerinin değerlendirilebilmesi için ölçüm skalası ve tanımları oluşturulmuştur. "The Joint Defense Manufacturing Technology Panel" altında çalışmalarını sürdüren Müşterek DOD/endüstri çalışma grubu tarafından geliştirilen ve "Manufacturing Readiness Level Deskbook"ta yayınlanan 10 seviyeli Üretim Hazırlık Seviyesi tanımları Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 4. Üretim Hazırlık Seviyesi Tanımları

ÜHS	Tanım
1	Temel üretim uygulamaları belirlendi
2	Üretim konsepti belirlendi
3	Üretim konsepti doğrulandı
4	Laboratuvar ortamında teknoloji üretim yeteneği kazanıldı
5	Üretim benzeri ortamda komponent prototiplerinin üretim yeteneği kazanıldı
6	Üretim benzeri ortamda sistem veya altsistem prototiplerinin üretim yeteneği kazanıldı
7	Üretim temsili ortamında sistem, altsistem veya komponentlerin üretim yeteneği kazanıldı
8	Pilot hat yeteneği gösterimi yapıldı; düşük hızda başlangıç üretimi yapılmasına hazır
9	Düşük seviye üretim gösterimi yapıldı, tam kapasite seri üretime başlamak için gerekli yetenek kazanıldı
10	Tam kapasite seri üretim gösterimi yapıldı ve düşük maliyetli üretim uygulamaları kazanıldı

⁸ Smith, Jim. "An Alternative to Technology Readiness Levels for Non-Developmental Item(NDI) Software, 2004

ENTEGRASYON HAZIRLIK SEVİYESİ (EHS) (INTEGRATION READINESS LEVEL: IRL)

Teknoloji Hazırlık Seviyesi ölçüm sistemi ile sadece bir teknolojinin olgunluk değerlendirilmesi yapılabilmekte, sistem/alt sistem içerisinde entegre olacağı diğer teknolojiler ile etkileşiminin değerlendirilmesi yapılmamaktadır. Entegrasyon Hazırlık Seviyesi (EHS), THS değerlendirilmesi yapılmış ve entegrasyonu yapılacak iki veya daha fazla teknolojinin entegrasyon olgunluk değerlendirmelerinin yapılması amacıyla geliştirilmiş bir ölçüm sistemidir. EHS'nin geliştirilmesinde entegrasyonun fiziksel özelliklerinin değerlendirilmesi ile birlikte entegrasyonun uyumluluk, güvenilirlik, karşılıklı etkileşim ve kalite performansının da değerlendirilmesine önem verilmiştir⁹. Teknolojilerin EHS değerlendirilmesi yapılabilmesi için THS değerlendirmelerinin yapılmış olması ve iş dağılım ağacının/sistem mimarisinin hazır olması gerekmektedir. Yeni sistem geliştirme ve mevcut sisteme yeni teknolojinin dâhil edilmesi çalışmalarında EHS kullanılmakta olup EHS ile maliyet ve takvim değerlendirilmesi yapılamamaktadır.

Bilgisayar network uygulamaları için geliştirilen "Open Systems Interconnect"(OSI) modelinin kavramsal seviyeleri kullanılarak 7 seviyeli ilk EHS geliştirilmiş, daha sonra THS 8 ve THS 9 seviyelerine karşılık gelen seviyeler dâhil edilerek Tablo 2'de verilen 9 seviyeli ölçüm sistemi geliştirilmiştir.

Tablo 5. Entegrasyon Hazırlık Seviyesi Tanımları

EHS TANIM

1	Teknolojiler arasında yeterli seviyede bir arayüz tanımlı
2	Arayüz boyunca teknolojiler arasındaki ilişkiler karakterize edilebilecek seviyede belirli
3	Düzenli ve verimli bir şekilde entegrasyon ve etkileşim için teknolojiler arasında uyumluluk var
4	Teknolojiler arasındaki entegrasyonun kalitesinde ve güvencesinde yeterli ayrıntı mevcut
5	Teknolojiler arasında entegrasyonu kurmak yönetmek ve sonlandırmak için yeterli kontrol mevcut
6	Entegrasyon teknolojileri istenilen uygulama için bilgiyi kabul edebilir, çevirebilir ve yapılandırabilir
7	Entegrasyon teknolojileri doğrulandı ve geçerlendi

⁹ Sauser, B., J. Ramirez-Marquez, D. Verma, and R. Gove, 2006a, "Determining System Interoperability Using an Integration Readiness Level", Stevens Institute of Technology, Hoboken, NJ.

8	Gerçek entegrasyon tamamlandı, entegrasyonun sistem çevresinde test ve gösterim yapılarak görev tamamlandı
9	Başarılı operasyonlar ile entegrasyon ispatlandı

SİSTEM HAZIRLIK SEVİYESİ

(SYSTEM READINESS LEVEL: SRL)

Sistemler, birbirleri ile ilişkide olan alt sistemler/bileşenler ve onları oluşturan teknolojilerin bütünüdür. Sistemlerin hedeflenen performansı sağlaması, alt sistemlerin/bileşenlerin/teknolojilerin birbiriyle uyum içerisinde fonksiyonlarını tam olarak yerine getirmesine bağlı bulunmaktadır.

Teknolojilerin olgunluk değerlendirilmesinde kullanılan THS ve teknolojilerin entegrasyon olgunluk değerlendirilmesinde kullanılan EHS araçları sistemlerin olgunluk düzey hakkında bilgi verememektedir. THS ve EHS araçlarının bu eksiğini gidermek için geliştirilen Sistem Hazırlık Seviyesi (SHS) ölçüm sistemi, sistemlerin olgunluk seviyesini değerlendirmek ve tanımlamak amacıyla kullanılan bir proje yönetim aracıdır.

Sistem Teknoloji Hazırlık Değerlendirmesi (STHD); teknoloji hazırlık seviyesi değerlendirmesi alt sistem ve bileşen seviyesinde yapılabildiği gibi sistem seviyesinde de yapılabilmektedir. Teknoloji hazırlık seviyesi değerlendirmesinde kullanılan iki önemli araç Sistem Teknoloji Hazırlık Değerlendirmesinde de kullanılmaktadır. Bunlar Air Force Research Laboratory (AFRL) tarafından geliştirilen THS Hesaplayıcısı ve NASA-AFRL tarafından geliştirilen THS Hesaplayıcısıdır. NASA-AFRL tarafından geliştirilen THS Hesaplayıcısı iş dağılım ağacı programının fonksiyonu olarak değerlendirme yapmak üzere geliştirilmiş olup donanım, yazılım ve üretim kategorilerinde 9 seviyede toplam 259 sorunun cevaplandırılması ile seviye belirlemektedir. Bu yöntem ile sistem/alt sistem/bileşenin sadece mevcut durumu hakkında değerlendirme yapılabilmekte, çalışmanın başarı ile tamamlanması için yapılması gerekenler belirlenmemektedir.

THS ÖLÇÜM SİSTEMİNİN SAVUNMA SANAYİ PROJELERİNDE KULLANIMI

Ülkemizde yurt içi sistem geliştirme projelerinde teknoloji hazırlık değerlendirme araçlarının kullanımının sınırlı düzeyde olduğu ve savunma firmalarımızın çoğunun bu kapsamdaki bilgi düzeylerinin istenen seviyede olmadığı değerlendirilmektedir. Özellikle savunma alanındaki teknoloji odaklı kompleks projelerin yönetim süreçlerine teknoloji hazırlık değerlendirme araçlarının entegre edilmesi gerek firma ve gerekse de kamu otoriteleri düzeyinde söz konusu süreçlerin etkinliğini artıracaktır.

Milli Muharip Uçak Projesi (FX) Teknoloji Geliştirme Projeleri Raporu hazırlama çalışmaları sırasında TUSAŞ tarafından gerçekleştirilen THS Uygulaması ise, bu kapsamda savunma sektörümüzde yapılmış en kapsamlı çalışmadır. Bu çalışma kapsamında, milli kritik / teknoloji kritik olarak belirlenen sistemler ve bu sistemleri milli kaynaklarla geliştirme/üretme potansiyeli olduğu düşünülen firma/kurum ve kuruluşların mevcut teknolojik olgunluğu, Teknoloji Hazırlık Seviyesi ölçme metodolojisi kullanılarak değerlendirilmiştir.

Burada kullanılan metodoloji, NASA tarafından geliştirilen ve zamanımızda havacılık ve uzay firmaları tarafından çok yaygın olarak kullanılan "Technology Readiness Level (THS)" değerlendirme yönteminin ülkemiz şartlarına adapte edilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Mevcut teknoloji olgunluğunun belirlenebilmesi için, THS Hesaplayıcısı kullanılmıştır.

Söz konusu rapor çalışması kapsamında ilgili firma, üniversite, enstitü, kurum ve kuruluşlar; teknoloji hazırlık değerlendirmesinin amacı, değerlendirme sırasında kullanılacak araçlar ve uygulama yöntemi konusunda düzenlenen toplantılar ile bilgilendirilmiştir. Firma, üniversite, enstitü, kurum ve kuruluşların mevcut ürünleri için doldurduğu THS hesaplayıcı dosyaları, TUSAŞ uzmanları tarafından ürün ile ilgili iletilen diğer bilgiler dikkate alınarak tutarlılık analizine tabi tutulmuştur. Muharip uçağın teknik gereksinimleri ile mevcut ürünlerin teknik özellikleri karşılaştırılarak, muharip uçak için teknoloji hazırlık seviyesi saptanmış ve mevcut hazırlık seviyesinden hedeflenen hazırlık seviyesine ulaşılabilmesi için gereken teknoloji geliştirme proje planları oluşturulmuştur.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

THS, teknolojilerin olgunluk seviyelerinin standart bir ölçüm sistemi üzerinden değerlendirilmesini ve program yöneticileri, sistem tasarımcıları ve teknoloji geliştirme uzmanları arasında ortak bir dil kullanılmasını sağlayan, kullanımı ve anlaşılması kolay olması ve esnek yönüyle önemli faydalar sağlayan bir teknoloji hazırlık değerlendirme aracıdır. Savunma projelerinde yaygın bir şekilde kullanılan THS, projenin ömür devri boyunca ilerleme durumu ve göreceli riski konusunda bilgi sağlamakta ve ayrıca beliren teknolojik riskler hakkında genel olarak bilgi vererek risk yönetimine katkı sağlamaktadır.

THS'nin belirtilen tüm bu faydalarına rağmen bazı sınırlılıklarının da olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlardan en önemlisi THS'nin kritik olarak tanımlanan belli bir teknolojiye odaklanması ve sistem entegrasyon sürecini geri planda bırakmasıdır. Bu amaçla; bir arada çalışması gereken birden fazla teknoloji olduğunda faydalı bir yaklaşım, ilk aşamada her bir teknolojinin kendi içinde değerlendirilmesi ve sonrasında ilgilenilen entegrasyon düzeyinde en düşük seviyeye sahip teknolojinin THS'nin baz alınması olabilir.

THS'nin bir diğer sınırlılığı ise, öznel yönüdür. İlgilenilen teknolojinin THS değerlendirilmesi yapılırken, değerlendiricilerin uzmanlığı doğru bir sonuç üretilmesi açısından temel kısıttır. Bu hususun muhakkak değerlendirme sürecinde göz önüne alınması ve birden fazla uzmanın görüşlerinin alınarak grup karar verme teknikleriyle tutarlığın sağlanması uygun bir uygulama olacaktır.

Ülkemizdeki durum değerlendirildiğinde, yurt içi sistem geliştirme projelerinde teknoloji hazırlık değerlendirme araçlarının kullanımı sınırlı düzeyde olup, firmalarımızın bu kapsamdaki bilgi düzeyi istenen seviyede olmadığı görülmektedir. Savunma alanındaki sistem geliştirme projelerinin, pek çok yeni ve uç teknolojiyi barındıran karmaşık yapısı nedeniyle; hedeflenen maliyet, performans ve zaman kısıtları içerisinde gerçekleştirilmesi için teknoloji hazırlık değerlendirme ve risk yönetim süreçlerinin kullanımını artık bir zorunluluk haline getirmiştir.

Özellikle ABD ve Avrupa'da savunma projeleri yönetiminde yaygın bir şekilde kullanılan THS'nin de, içinde barındırdığı bazı sınırlılıkları da göz önünde bulundurmakla beraber, sektörümüz içerisinde kullanımının yaygınlaştırılmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

THS 1 Tanım: Temel ilkeler gözlemlendi ve raporlandı

THS 1, en düşük teknoloji hazırlık seviyesi olup, bilimsel araştırmanın sonu ve teknoloji geliştirme aşamasının başlangıcı olarak tanımlanır. Bu seviyede temel araştırma prensipleri, bir gözlem veya bir rapor ile ortaya konur. Örneğin; fiberin sıcaklığın değişken olduğu durumlardaki gerilme dayanımı vb. temel malzeme özelliklerinin çalışıldığı olgunluk düzeyi THS 1'e karşılık gelmektedir. THS 1 kapsamında yapılan çalışmalar genel olarak bilimsel araştırma kurumları veya üniversitelerdeki araştırmacılar tarafından yapılmaktadır.

Donanım: Teknoloji hazırlığının en alt aşamasıdır. Bilimsel araştırma, uygulamalı araştırma ve geliştirmeye dönüşmeye başlamıştır. Örnekler daha çok teknolojinin temel özelliklerinin kâğıt üzerinde gösterimini içerir. Başlangıçta temel olan ihtiyaçlar tanımlıdır; ancak bu ihtiyaçlar henüz son kullanıcıya özgü değildir. Araştırmanın hipotezi ve araştırma yapılacak olan ortamlar belirlenmiştir.

Yazılım: Potansiyel son kullanıcı ve destekleyiciler bellidir. Temel araştırma başlamış, araştırmayı yapacak kişiler görevlendirilmiş ve ortam belirlenmiştir. Yazılımın genel konsepti zihinde tasarlanmıştır. Zihinde tasarlanan bu konseptin algoritmalara dönüştürülebilir olması önemlidir.

THS 1: Temel prensipler raporlandı ve gözlemlendi mi?

- Araştırma hipotezi formüle edildi mi?
- Temel prensipler gözlemlendi mi?
- Gözlemleri destekleyen fiziksel kurallar ve varsayımlar tanımlandı mı?
- Gözlemleri destekleyen fiziksel kurallar ve varsayımlar geçerli kılındı mı?
- Teknolojinin temel elemanları tanımlandı mı?
- Hipotezleri destekleyen bilimsel bilgi üretildi mi?
- Temel prensipleri onaylayan çalışmalara benzer yayınlar gözden geçirildi mi?

THS 2 Tanım: Teknoloji konsepti veya uygulaması formüle edildi

THS 2 seviyesinde, teori ve bilimsel prensipler, belirli bir uygulama alanındaki konseptin tanımlanmasına odaklanır. Uygulamaların karakteristik özellikleri tanımlanır. Uygulamaların analizi veya simülasyonu için analitik araçlar geliştirilir. Herhangi deneysel bir kanıt veya detaylı bir analiz bu aşamada yoktur. Yeni konsept, fiziksel ve matematiksel prensiplere dayanmaktadır.

Donanım: Geliştirme başlamaktadır. Önce temel ilkeler gözlenmiş, pratik uygulamaları keşfedilmiştir. Uygulamalar, daha çok varsayımları destekleyecektir ve henüz bir kanıt yoktur. Örnekler analitik çalışmalarla sınırlıdır. Son kullanıcı ihtiyaçlarına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Teknolojinin etkileşimde olacağı sistemler belirlenmiştir. Ana hatlarıyla teknolojinin temel bileşenleri ortaya çıkmış ve bu bileşenlere ilişkin performans tahminleri ana hatlarıyla yapılmıştır.

Yazılım: Son kullanıcı belirlenmiş ve son kullanıcı ihtiyaç ve istekleri doğrultusunda çalışmaya başlanmıştır. Teorik çalışmalar sona ermiştir. Uygulama alanına yönelik olarak çalışılmaktadır. Yazılımın kullanılacağı ve etkileşimde olacağı sistemler bellidir. Matematiksel formülasyonlar oluşturulmuştur. Buna bağlı olarak algoritma kodları oluşturulmaya başlanmıştır. Yazılımın üzerinde çalışacağı donanımlar tanımlanmıştır. Bu seviyede ön tasarım kâğıt üstü çalışmalarla yapılmaktadır. Bütçe çalışmaları son kullanıcıyla görüşülerek yapılmıştır. Risk analizlerine başlamak için öncelikli risk alanları belirlenmiştir.

THS2: Kavram veya uygulama formüle edildi mi?

- Fonksiyonel gereksinimler tespit edildi mi?
- Analitik çalışmaların sonuçları hakemli bildiri olarak yayınlandı mı?
- Potansiyel tasarım çözümleri tespit edildi mi?
- Teknolojinin temel bileşenleri tespit ve kısmen karakterize edildi mi?
- Performans tahminleri her bileşen için dokümante edildi mi?
- İlk nitel risk analizleri dokümante edildi mi?

THS 3 Tanım: Analitik ve tecrübeye dayalı olarak, kritik işlev ve/ve ya özellik kanıtlandı

Konsept gösteriminin onaylandığı aşamadır. Teknoloji olgunlaşma sürecinin bu adımında aktif Ar-Ge, analitik ve laboratuvar çalışmaları ile başlamıştır. Bu aşamada, hem analitik çalışmaların hem de bu analitik çalışmaları doğrulayacak laboratuvar ortamındaki çalışmaların bir arada yürütülmesi gerekir. Bu seviyede THS 2 seviyesinde ortaya atılan fikirler, deneysel ve analitik olarak kanıtlanmalıdır.

Donanım: Olgunlaşma sürecinin bu aşamasında, Ar-Ge aktif olarak başlamaktadır. Analitik çalışmalar ve bu analitik çalışmaları doğrulayacak laboratuvar ortamındaki çalışmalar, teknolojinin birbirinden bağımsız analitik öngörülerini fiziksel olarak kanıtlamaya yönelik olacaktır. Örnekler, henüz temsili ve bütünlük olmayan bileşenlerden ibarettir

Yazılım: Aktif Ar-Ge başlamıştır. Analitik çalışmalar yapılmış ve konseptin doğrulaması yapılmıştır. Algoritma laboratuvar ortamında uygun donanımlar üzerinde çalıştırılmış ve ilk veriler elde edilmiştir. Sonuçlara bağlı olarak yazılımın sınırlılıkları belirlenmiştir. Yapay veriler kullanılmaktadır. Elde edilen bulguların son kullanıcıyla müzakeresi yapılmıştır. Risk analizleri detaylandırılmıştır.

THS 3: Laboratuvar ortamında analitik ve deneysel kavram gösterimi yapıldı mı?

- Teknoloji bileşenlerinin tahmin edilen yetenekleri deneyler ile onaylandı mı?
- Analitik çalışmalar performans tahminlerini ve üretilen algoritmalarını doğruladı mı?
- Teknoloji veya sistem performans ölçüm metrikleri belirlendi mi?
- Geliştirilen teknoloji modellendi/ simüle edilebildi mi?
- Temsili veri setleri ile teknoloji veya sistem performans özellikleri doğrulandı ve dokümante edildi mi?
- Teknolojik yeteneğin tahmin edilen performansları, deneylerle veya modelleme/ simülasyonla doğrulandı mı?
- Teknik uygulama deneylerinin sonuçları ile uygulamaların yapılabiliği doğrulandı mı?
- Yapılan araştırmalar teknoloji ve sistem bileşenlerinin başarılı şekilde entegre edilebileceğini kanıtladı mı?
- Ölçeklendirme çalışmalarına başlandı mı?
- Alternatif analiz çalışmaları tamamlandı mı?
- Programsal riskler tanımlandı ve risk azaltma stratejileri dokümante edildi mi?

THS 4 Tanım: Laboratuvar ortamında tezgâh üstü, bileşen ve alt bileşen doğrulaması yapıldı

Prototipin tüm aksamaları ile entegre edildiği ve test ile doğrulanmasının yapıldığı aşamadır. Test aşamasında; tüm temel teknolojileri ve alt bileşenleri entegre edilmiş olan prototip, tam ölçekli problem ve veri setleri ile test edilir. Bu doğrulama, daha önce formüle edilmiş konsepti desteklemeli ve potansiyel uygulamaların gereksinimleriyle tutarlı olmalıdır.

Donanım: Parçalar birlikte çalışır bir şekilde bir araya getirilmektedir. Gerçek sisteme görece "düşük uygunluk" gösterir. Laboratuvarda belli başlı parçaların birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Ölçeklenebilir prototipler ortaya çıkmaya başlamıştır. Laboratuvar ortamında yapılan deneyler sayesinde dayanıklılık parametrelerinin neler olduğu netleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra, üretim hususu ön plana çıkacaktır. Bu amaçla, temel üretim fonksiyonları son kullanıcıyla görüşülerek raporlanmıştır. Ayrıntılı üretim planlarına geçiş yapılacaktır.

Yazılım: Kodlar oluşturulmaya başlanmıştır. Yazılımın kullanılacağı ortamın özellikleri gereksinimlere yansıtılmıştır. Fonksiyonel gereksinimler belgelendirilmiş, son kullanıcıyla bu düzeyde nicel ve somut performans özellikleri ortaya koyulmuştur. Kalite yönetiminin gerçekleşebilmesi için temel kalite prensipleri geliştirme sürecine entegre edilmektedir. Yazılımın, etkileşimde olacağı sistemlerle entegrasyonu için temsili veriler kullanılmakta ve entegrasyonu yönetecek olan sorumlular belirlenmektedir. Yazılımın tamamlanacağı ve ana sisteme entegre edileceği tarih netleştirilmeye başlanmıştır.

THS 4: Laboratuvar ortamında ekipmanın prototip ölçeğinde testleri tamamlandı mı?

- Sistem gereksinimleri tamamlanıp belgelendirildi mi?
- Sistem gereksinimlerinden tasarım gereksinimleri elde edildi mi?
- Sistemin performans ölçüm metrikleri güncellendi mi?
- Ölçekli teknoloji gösterim prototipi üretildi mi?
- Laboratuvar ölçeğinde bileşenlerin performans gösterimi yapıldı mı?
- Taslak tasarım süreci tamamlandı mı?
- Laboratuvar ölçekli prototipin performans özellikleri ortaya çıkarıldı mı?
- Süreç simülasyonu tam ölçekte prosesin yapılabiliğini doğruluyor mu?
- Malzemeler, süreçler, yöntemler ve tasarım teknikleri tespit edildi mi?
- Entegrasyon çalışmaları başladı mı?

- İlk başlangıç maliyet kalemleri tespit edildi mi?
- Ölçekli çalışmalar ve mimari şemaları tamamlandı mı?
- Resmi risk yönetimi programı başlatıldı ve proje yönetimi ile entegre oldu mu?

THS 5 Tanım: Bileşenin ve/veya tezgâh üstü tasarımın, uygun çevresel ortamda doğrulaması yapıldı

THS 5 seviyesinde, test edilen bileşen ve/veya tezgâh üstü tasarım, gerçek sistemin son tasarımına oldukça yakın seviyededir. Prototipin veya temsili modelin uygun çevresel ortamda (gerçek ortamı temsil eden ortamda) doğrulaması yapılır. Prototip uygulamaları, hedef çevre ve ara yüzleri karşılamalıdır.

Donanım: Tezgâh üstü tasarımın gerçeğe uygunluğu giderek önem kazanmaktadır. Temel teknoloji bileşenleri gerçek destek elemanları ile bütünleştirilerek benzetimli bir ortamda test edilmektedir. Örnekler, "yüksek uygunluğu" olan laboratuvarlarda parçaların birleştirilmesini kapsar. Dayanıklılık için daha belirgin somut veya nicel hedefler bu düzeyde konulabilir. Üretim süreçleri, ayrıntılı olarak bu düzeyde ele alınmaktadır.

Yazılım: Yazılımın mimarisi oluşturulmuştur. Fonksiyonların ayrı ayrı kodlaması ve hatalara karşı testleri tamamlanmıştır. Harici ara yüzlerin tanımı yapılmıştır. Bu düzeyden itibaren, yazılımın harici sistemlerle entegrasyonuna ağırlık verilmiştir.

THS 5 Çevresel ortamda pilot ölçekte testler gerçekleştirildi mi?

- Sistem ara yüz gereksinimleri dokümante edildi mi?
- Mevcut olmayan sistem bileşenleri simüle edildi mi?
- Tek tek prototip bileşenleri onaylandı ve test yoluyla doğrulandı mı?
- Tüm süreç özellikleri simüle edildi ve pilot tesiste geçerli kılındı mı?
- Tüm süreçler pilot sistem üzerinde simüle edildi ve onaylandı mı?
- Tek tek bileşenlerin kabul testleri yapıldı mı?
- Modüllerin/fonksiyonların entegrasyonu laboratuvar ortamında kanıtlandı mı?
- Kalite ve güvenilirlik konuları tespit ve dokümante edildi mi?
- Sistem süreç tasarımı tamamlandı mı? Sistem mühendisliği başladı mı?
- Programlı risk yönetim planı dokümante edildi mi? Konfigürasyon yönetim planı dokümante oldu ve uygulamaya kondu mu?
- Tüm belgelerin resmi incelemesi tamamlandı mı?

- Malzemeler, süreçler, yöntemler ve tasarım teknikleri en azından orta seviyede geliştirildi ve doğrulandı mı?

THS 6 Tanım: Sistem/alt sistem modeli ya da prototipi uygun çevresel ortamda gösterildi

Tam ölçekte karşılaşılan gerçek problemlerin, uygun çevresel ortamda temsili model veya prototipe uygulandığı aşamadır. Bu aşamada prototip veya temsili model, uçmak veya uzaya gönderilmek zorunda değildir. Bu ortamları simüle eden uygun çevresel ortamda testler yapılmalıdır. Mühendislik açısından yeterliliği sistem uygulaması gösteriminde yapılmalıdır.

Donanım: Temsili model veya prototip, uygun çevresel ortamda test edilmiştir. Uygun çevresel ortam, gerçek görev ortamına benzetilmiş, gerçek ortamın özelliklerine yakın nitelikleri olan ortamdır. Prototip, bu düzeyde beklenen dayanıklılık özelliklerini taşımaktadır. Ancak, prototipin üzerinde kısmi değişikliklere gidilebilir. Teknolojinin harici sistemlere entegrasyon edileceği tarih netleşmiştir. Bu düzeyde üretim konusunda daha ayrıntılı görüşmeler yapılmaktadır.

Yazılım: Harici ara yüzler tasarlanmış ve yazılım gerçek ortama çok benzeyen bir ortam yaratılarak çalıştırılmıştır. Veri tabanı hacmine karar verilmiş ve gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Alfa sürümü yayımlanmıştır.

THS 6: Mühendislik seviyesi ölçekli prototipin çevresel ortamda gösterimi yapıldı mı?

- Sistem entegrasyon konuları adreslendirildi mi?
- Operasyonel ortam tamamen tanımlandı ve dokümanite edildi mi?
- Prototip, simüle edilmiş operasyonel ortamda test edildi mi?
- Simüle edilmiş operasyonel ortamda performans özellikleri doğrulandı ve onaylandı mı?
- Envanterin dış ara yüzleri (ör. Malzeme, tedarik zinciri) tamamlandı mı?
- Mühendislik fizibilitesinin tamamen gösterimi yapıldı mı?
- Mühendislik çizimleri ve diyagramları sonlandırıldı mı?
- Bakım yapılabilirlik, güvenilirlik ve desteklenebilirlik verilerinin toplanmasına başlandı mı? Tasarımdan ürüne optimum maliyet hedefleri belirlendi mi?
- Sistem gereksinim özellikleri dokümantasyonu tamamlandı mı?
- Konfigürasyon yönetimi ile tüm değişiklikler kontrol edildi mi/ dokümanite edildi mi?

- Nihai teknik rapor tamamlandı mı?

THS 7 Tanım: Prototip harekât ortamında gösterildi

THS 7, operasyon ortamında sistem prototip gösterimi aşamasıdır. Sistem veya prototip, gerçek ölçekte veya gerçek ölçüğe yakın boyutta, tüm fonksiyonların deneme gösterimi ve testler için uygundur. Prototip, tamamlayıcı ve ana sistemlerle iyi şekilde entegre olmuştur. Mühendislik açısından prototipin harekât ortamında başarılı olması önemli bir aşama ve hedeftir.

Donanım: Prototip yaklaşık ya da tam olarak planlanan sistem halini almıştır. Bu düzeyde, beklenen kalite ve dayanıklılık hedeflerine ulaşılmıştır. Tasarımda çok önemli değişiklikler yapılamamaktadır. Bakım yapılabilirlik ve desteklenebilirlik hususlarında daha somut veriler elde edilmiştir. Bu düzey, ağırlıklı olarak üretim konusunda atılan adımları içerir. Üretim planı son halini almaktadır.

Yazılım: Yazılım, gerçek ortamda çalışan işlemci ve bağlı donanımlarla çalıştırılmış ve son kullanıcıya gösterilmiştir. Hataların çoğu ortadan kaldırılmış ve Beta sürümü yayımlanmıştır. Her fonksiyonun gerçek ortamda denemesi yapılmıştır.

THS 7: Ekipman/süreç başarı ile operasyonel ortamında çalıştı mı?

- Ekipman ayrı ayrı normal olmayan koşullarda ve aşırı baskı altında test edildi mi?
- Modellenen parçaların tümü üretimde kullanılacak olan parçaları temsil etmekte mi?

THS 8 Tanım : Sistem tamamlandı ve performans değerlendirmesi test ve gösterimle yapıldı

Sistem geliştirmenin son aşamasıdır. Operasyonel yazılım ve donanım sistemlerinin tamamı entegre edilmiştir. Çoğu kullanıcı dokümanları, eğitim dokümanları ve bakım dokümanları tamamlanmıştır. Tüm fonksiyonel testler simüle edilmiş ve operasyon ortamında farklı senaryolar ile test edilmiştir.

Donanım: Teknoloji en son haliyle ve beklenen koşullar altında kanıtlanmıştır. Tüm durumlarda, bu düzey, doğru sistem geliştirmesinin yapılmış olduğu aşamadır. Nihai istenen silah sisteminin istenen tasarım özelliklerinin sağladığının test ve değerlendirmesi yapılmıştır. Az sayıda da olsa ilk üretim gerçekleşmiştir. Harici sistemlere entegrasyon gerçekleştirilmiş ve ortaya çıkan problemler giderilmiştir.

Yazılım: Yazılım hataları minimuma düşürölmüştür. Yazılım harici donanımsal ve yazılımsal sistem bileşenleriyle birlikte çalışır haldedir. Kullanıcı eğitimi için gerekli kılavuzların dokümantasyonu tamamlanmıştır. Bu aşamada, yazılım hatalar en aza indirgenmiş durumdadır. Kalite hedefleri sağlanmıştır. Son testler yapılarak onaylanmıştır.

THS 8: Gerçek ürün başarıyla sınırlı operasyonel ortamda faaliyet göstermekte mi?

- Bakım dokümanları tamamlandı ve konfigürasyon yönetiminin altında mı?
- Nihai üretim çizimleri tamamlandı mı?
- Bakım yapılabilirlik, güvenilirlik ve desteklenebilirlik verilerinin toplanması tamamlandı mı?
- Tüm malzemeler üretimde ve çabukça ulaşılabilir mi?
- Teknik gelişmeye yönelik test ve değerlendirme belgeleri tamamlandı mı?

THS 9 Tanım: Sistem performansı gerçek bir görevde başarıyla gerçekleşti.

Donanım ve yazılım sistemlerinin tamamı entegre edilmiştir. Gerçek sistem operasyonel ortamda test edilmiştir ve gerçek operasyonu başarı ile tamamlamıştır.

Donanım: Teknoloji son haliyle gerçek harekât ortamında uygulanmış, operasyonel test ve değerlendirme yapılmıştır. Bu aşama, sistem geliştirmede hata gidermelerin

son bulunduğu aşamadır. Üretimi ve harici sistemlerle entegrasyonu gerçekleşmiş olan teknoloji, gerçek bir görevde kullanılmıştır ve görev başarı ile icra edilmiştir.

Yazılım: Yazılım gerçek bir görevde kullanılmış ve görevi başarı ile tamamlamıştır. Devamlı yazılım mühendisi desteği alınabilir durumdadır. Yazılım, tekrar kullanılabilirlik özelliği sağlamaktadır. Tüm belgeleme ve raporlama işlemi tamamlanmıştır. Tedarik sonrası, uzman desteği alınabilir durumdadır.

THS 9: Gerçek ürün başarıyla tam operasyonel ortamda faaliyet göstermekte mi?

- Tasarımdan ürüne geçiş aşamasında optimum maliyet hedeflerine ulaşıldı mı?
- Operasyonel test ve değerlendirme başarı ile tamamlandı ve dokümanite edildi mi?
- Teknolojinin/sistemin tümü ile gösterimi yapıldı mı?
- Teknoloji/sistem belirlenen operasyonel ortamda kullanıma alındı mı?
- Teknoloji/sistem fonksiyonları operasyonel konsept dokümanında tanımlandığı gibi mi?