



Sistem Geliştirme Projelerinde Kullanılan Olgunluk Değerlendirme Araçları Üzerine Bir Literatür Araştırması

Sinan BABAÇOĞLU¹ İbrahim AKGÜN² Ayşegül ALTIN KAYHAN³

Öz

Savunma alanındaki sistem geliştirme projeleri büyük bütçeleri, önemli yetenek kazandırmaları ve karmaşıklığı ile diğer projelerden farklılık gösterirler. Bu projelerin tedarik sürecinde yer alan organizasyonlar, hızla değişen rekabet ortamında, maliyet, zaman ve performans risklerini en aza indirgeyerek daha az kayıp süre ve daha düşük maliyetle daha yüksek performansa sahip projeleri hayata geçirebilecek mekanizmaların, süreçlerin veya metodolojilerin arayışı içindedirler. Bu doğrultuda geliştirilmiş çözümlerden bir tanesi de olgunluk değerlendirme araçlarıdır. Bu çalışmada, literatürde kullanılan teknoloji/sistem olgunluk değerlendirme araçlarının neler olduğu, metodolojileri, nasıl kullanıldıkları, faydaları ve sınırlılıkları ile sistem riskini hesaplama yönü incelenmiştir. Özellikle sistem geliştirme projelerinde kullanılan olgunluk değerlendirme araçlarının sistem riskini nasıl hesapladığına, hesaplamının güçlü ve zayıf yönlerine cevap aranmıştır. Olgunluk değerlendirme araçlarının sistem riskini hesaplamada yetersiz oldukları tespit edilmiş ve sistem riskinin hesaplanmasına yönelik yeni bir araç ve/veya metodoloji geliştirilmesi ihtiyacı ortaya konmuştur. Ayrıca, Türkiye’de olgunluk değerlendirme araçlarının kullanım durumuyla ilgili bir değerlendirme yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Teknoloji/Sistem Hazırlık Seviyesi, Olgunluk Değerlendirme Araçları, Teknoloji/Sistem Riski.

A Literature Review on Maturity Assessment Tools Used in System Development Projects

Abstract

The system development projects in the defense industry differ from the ones in other sectors with their big budgets, complexity, and provision of important capability. The organizations taking part in the acquisition process of such projects are in search of developing various kinds of mechanisms, processes, and methodologies to implement projects with better performance but with less cost and less lost time while minimizing their cost, time, and performance risk in the rapidly changing competitive environment. One of the solutions developed in this direction is maturity assessment tools. In this study, how the technology/system maturity assessment tools are used, what their benefits and limitations are, and how the system risk is calculated have been analyzed. It has been determined that the current maturity assessment tools are inadequate for calculating the system risk and that there is a need to develop a new tool/methodology that can compute the system risk. In addition, an assessment on the status of the usage of maturity assessment tools in Turkey has been made.

Keywords: Technology/System Readiness Level, Maturity Assessment Tools, Technology/System Risk.

¹ Yazışma Adresi: Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, BabacogluS@windowlive.com

² Abdullah Gül Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü.

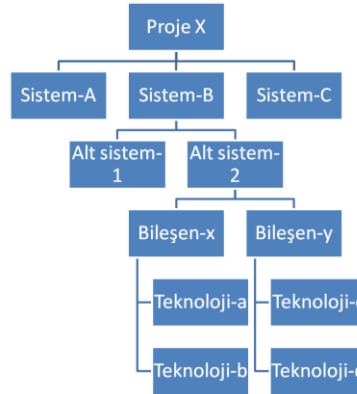
³ TOBB Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü.

Giriş

Sistem, belli bir amacı gerçekleştirmek için bir araya getirilmiş ve aralarında etkileşim olan çeşitli elemanlar ve bileşenlerden oluşan bir bütündür (Özkil, 2009).

Sistemler, doğal/insan yapısı, fiziksel/kuramsal, mühendislik/mühendislik dışı gibi çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Bu çalışmada, sistem geliştirme projeleri ile namlulu roketatar sistemi, alçak irtifa hava savunma sistemi, hücum helikopteri, uzay mekiği, roket/füze sistemleri, komuta-kontrol sistemleri gibi mühendislik projeleri kastedilmektedir. Bu projeler, büyük bütçeleri, önemli yetenek kazandırmaları ve karmaşık olmaları gibi özellikleriyle diğer projelerden farklılık gösterirler.

Sistemleri daha küçük parçalara ayırmak, onları daha iyi anlaşılır yaparken sistemlerin geliştirilmesi sürecinde tasarım, üretim, entegrasyon, işletme, vb. aşamalarda karşılaşılabilecek problemlerin çözümünü de kolaylaştırmaktadır (Leveson, 2012). Bu nedenle, özellikle büyük bütçeli savunma projeleri gibi karmaşık sistemleri parçalara ayırmak, yaygın olarak kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Bu ayırım işleminde ihtiyaca göre iş kırılım ağacı, ürün kırılım ağacı veya ürün blok diyagramı gibi araçlardan yararlanılır. Örnek bir ürün tabanlı iş kırılım ağacı, Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1: Ürün Tabanlı İş Kırılım Ağacı (Bilbro, 2007b)

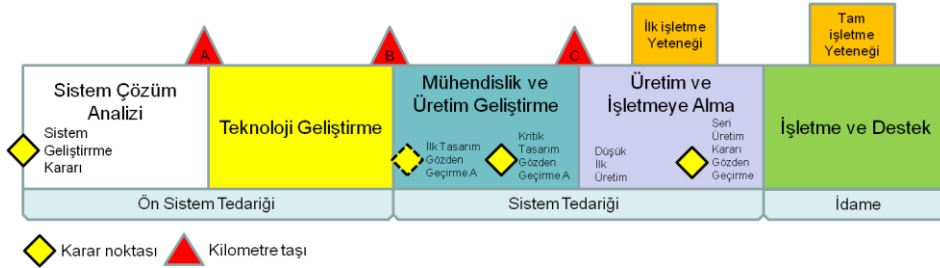
Birçok sistem geliştirme projesi, çeşitli sistemlerden, sistemler alt-sistemlerden, alt-sistemler bileşenlerden, bileşenler ise kendilerini oluşturan teknolojilerden meydana gelir. Bir sistemin arzu edilen amacı gerçekleştirebilmesi için, kendisini oluşturan parçaların fonksiyonlarını etkin olarak yerine getirmesi gereklidir. Bu kapsamda, en temel parça teknolojilerdir. Teknoloji ile ilgili literatürde çok çeşitli tanımlara rastlamak mümkündür. THD literatüründe teknoloji terimi çok geniş bir spektrumu içine alacak şekilde kullanılmaktadır. Bu spektrum, temel ve yükselen teknolojileri içerebildiği gibi bileşen, alt sistem veya sistemleri de

içerebilmektedir. Bu çalışmada, Çetindamar ve Günsel (2009:6)'in, "hem ürün ve servis yaratmada hem de bunların üretim ve dağıtım süreçlerinde kullanılan tüm teorik ve pratik bilgi ve yetenek bütünü" tanımı esas alınacaktır. Teknolojilerin birbiriyle uyum içerisinde fonksiyonlarını tam olarak yerine getirmesi başarılı bir sistemin yegâne koşuludur. Aksi takdirde, sistemin hedeflenen performansı sağlaması mümkün değildir. Bu nedenle sistem geliştirme projelerinin hayata geçirilmesini sağlayan tedarik süreçlerine, teknolojilerle ilgili olgunluk değerlendirme araçları ve Teknoloji Hazırlık Değerlendirme süreci gibi çeşitli kontrol mekanizmaları konmuştur. Bu çalışmanın birçok yerinde geçen "olgun teknoloji/sistem" kavramı için, Tetlay ve John (2009)'un "sistem ömür devri geliştirme sürecinde doğrulaması başarılı bir şekilde yapılmış teknoloji veya sistem" tanımı esas alınmıştır. Bir teknoloji ve/veya sistem kullanıma hazır olmadan önce olgunluğa ulaşmış olmalıdır.

Sistem geliştirme projeleri ülkeden ülkeye farklılık gösteren tedarik süreçleriyle hayata geçirilmektedir. Bu çalışmada, tedarik süreci olarak ABD Savunma Bakanlığı'nın tedarik süreci temel alınmıştır. Bunun en önemli nedeni, olgunluk değerlendirme araçlarının ilk olarak ABD'de geliştirilmesi, kullanılmaya başlanması ve tedarik sürecinde halen yaygın olarak kullanılmasıdır.

ABD Savunma Bakanlığı'nın tedarik süreci Şekil 2'de sunulmaktadır. Süreç, sistem çözüm analizi, teknoloji geliştirme, mühendislik ve üretim geliştirme, üretim ve işletmeye alma ile işletme ve destek aşamalarından meydana gelmektedir. Tedarik sürecine, ordunun ihtiyaç duyduğu bir yeteneğin karşılanması için bir sistem çözümüne gereksinim duyulduğu takdirde başlanır. Sistem çözümlerini içeren tedarik sürecindeki programlar (sistem geliştirme projeleri), başında Program Yöneticisinin olduğu Tedarik Program Ofisleri tarafından yönetilir. Sistem Çözüm Analizi safhasına, İlk Yetenek Dokümanı olarak adlandırılan ve ihtiyaç duyulan sistem çözümünü içeren dokümanın onaylanmasından sonra geçilir. Sistem Çözüm Analizi safhasında, alternatif çözümlerin analizi gerçekleştirilmekte ve ihtiyacı karşılayacak en iyi alternatif araştırılmaktadır. Sistem Çözüm Analizi sonucunda, geliştirilmesi planlanan sistem için gerekli olan teknolojilerin değerlendirmesi yapılmakta ve söz konusu teknolojiler için Teknoloji Geliştirme Stratejisi hazırlanmaktadır. Teknoloji Geliştirme Stratejisi, Teknoloji Geliştirme sürecindeki gayretleri yönlendiren bir dokümandır. Projeye göre dokümanın içeriği farklılık gösterebilmektedir. Genel olarak bu doküman, projenin hayata geçirilmesinde tercih edilecek tedarik yaklaşımı, risk yönetim sürecinin özeti, uluslararası iş birliği imkânları, kritik teknolojiler ve bunların her birini istenen seviyeye getirmek için izlenecek stratejiler, test

ve değerlendirme stratejilerinin özeti, sanayi ve üretim yeteneği ile kaynak yönetimi gibi konuları kapsamaktadır. Teknoloji Geliştirme safhası, sistem geliştirme projesine entegre edilecek yeterli olgunluğa ulaşmış teknoloji setlerinin belirlendiği, kritik teknolojilerin prototipler üzerinde gösteriminin yapıldığı, teknoloji risklerinin en aza indirilmenin hedeflendiği bir aşamadır. Bu safhada, birden fazla teknoloji geliştirme projesi başlatılmakta, en iyi çözüm sistem geliştirme projesinde kullanılmaktadır. Teknolojilerin ürün geliştirme için yeterince olgun olarak değerlendirilebilmesi amacıyla test edilmesi ve ilgili operasyon ortamında gösteriminin yapılması arzu edilir. Mühendislik ve Üretim Geliştirme safhası, sistemin geliştirildiği safhadır. Bu safha, sistem entegrasyonu ve gösterimi olmak üzere iki alt safhadan meydana gelir. Sistem entegrasyonu safhasında; alt sistemler, sisteme entegre olmakta, geliştirme modeli veya prototip üretilmektedir. Bir sistemin entegrasyon safhasından gösterim safhasına geçişi için, İlk Tasarım Gözden Geçirme ve Kritik Tasarım Gözden Geçirme değerlendirmelerinin tamamlanması gerekir. Bu değerlendirmelerin tamamlanmasıyla, sistem gereksinimlerinin karşılandığı ve tasarımın olgunlaştığı kabul edilmektedir. Sistem gösteriminde, model veya prototip kritik performans testlerinden geçmekte, sistemin test ve üretim süreci değerlendirme faaliyetinin çoğu bu safhada gerçekleştirilmektedir. Bu safha, model veya prototipin arzu edilen ortamda ihtiyaç duyulan performans gereksinimlerini karşılaması ve üretim süreçlerinin gösterimi ile tamamlanır. Üretim ve İşletmeye Alma safhasında, seri üretime geçebilmek için üretim ve kalite kontrol süreçlerinin hazırlandığı, işletme test ve değerlendirmesi için test modellerinin sağlandığı düşük miktarda ilk üretim yapılır. Son olarak, İşletme Test ve Değerlendirmesi ile üretim geliştirme faaliyetlerinin başarıyla tamamlanması sonrası seri üretime geçilmektedir.



Şekil 2: ABD Tedarik Süreci (Schwartz, 2013; DoD Instructions 5000.02, 2008)

Tedarik süreci içinde, projenin zaman, maliyet ve performans hedeflerine ulaşma durumunu belirlemek ve çeşitli kararlar almak amacıyla, A, B ve C kilometre taşlarında uygulanan çeşitli kontrol mekanizmaları konulmuştur. Bu kontrol mekanizmalarından bir tanesi de

Teknoloji Hazırlık Değerlendirmesi (THD)'dir (DoD TRA Guidance, 2011; DoD TRA Deskbook, 2005).

THD, sistem içerisinde kullanılan kritik teknolojilerin olgunluğunu değerlendiren sistematik bir süreçtir ve tedarik programındaki teknolojilerin olgunluk seviyelerini ortaya koyarak programın gerçekleşme durumu hakkında bilgi verir. 2005 yılında yayınlanan ABD Savunma Bakanlığı Teknoloji Hazırlık Değerlendirme El Kitabına göre, bir sistemin başarılı bir şekilde geliştirilebilmesi için yeni bir teknolojiye veya teknolojinin alışılmadık bir biçimde kullanılmasına ihtiyaç duyuluyor ise o teknoloji kritik olarak nitelendirilmektedir. THD'nin amacı, sistemi oluşturan kritik teknolojilerin bir sonraki tedarik aşamasına yeterli olgunluk derecesinde geçmesini sağlamaktır. Bu değerlendirme sürecinde, sistem içinde kullanılan kritik teknolojiler ile bu teknolojilerle entegre olan diğer teknolojilerin olgunluğu değerlendirmeye alınır. Çünkü bu teknolojiler çoğunlukla sistem geliştirme safhasında ortaya çıkan büyük teknolojik ve teknik risklerin kaynağıdır (Assistant Secretary of Defense for Research and Engineering, 2011).

THD faaliyeti için, Program Yöneticisi (PY) tarafından konusunda uzman kişilerden oluşan bir ekip teşkil edilir. Değerlendirmenin ilk aşamasında kritik teknolojiler belirlenir. Kritik teknolojiler iki aşamalı bir süreç sonunda şekillenir. İlk aşamada, PY'nin koordinatörlüğünde, aday kritik teknolojilerin listesi oluşturulur. İkinci aşamada ise proje ekibince; operasyonel gereksinimi doğrudan etkileyen, teslimat zamanında ve sistemin oluşturulmasında önemli etkisi olan, tamamıyla yeni veya yeni bir uygulama olan teknolojiler kritik olarak nitelendirilir. Kritik teknoloji ile entegre olan diğer teknolojiler de kritik kategorisine alınarak kritik teknoloji listesine son şekli verilir. Bir sistem geliştirme projesinin THD'si, bir sonraki bölümde açıklanacak çeşitli olgunluk değerlendirme araçları kullanılarak A, B ve C kilometre taşlarında yapılır (Dion-Schwarz, 2008). Bu araçların uygulanması sonucunda belirli standartlar sağlanırsa, projenin bir sonraki aşamaya geçme koşullarından biri tamamlanmış olur. Bu kilometre taşlarında yapılan kontroller sayesinde, projenin tedarik aşamasına istenilen olgunluğa ulaşmış teknolojilerle geçmesine ve ileri aşamalarda daha büyük problemlerle karşılaşılmadan sorunun çözülmesine çalışılmaktadır.

Olgunluk değerlendirme araçları ile sistem geliştirme projelerinde iki tip riskin ölçülmesi hedeflenmektedir. Bunlar *teknolojik* ve *teknik* risktir. Bu çalışmada *teknolojik risk*; bir proje içindeki kritik bir teknolojinin gerekli zaman dilimi içerisinde olgunlaşmaması nedeniyle projenin hedeflerine ulaşmaması riski olarak tanımlanmaktadır. *Teknik risk* ise; bir program

içindeki kritik teknolojilerin birbirleriyle ve/veya kritik teknolojilere bağı alt sistemlerin birbirleriyle ve/veya alt sistemlerin sistemlerle ve/veya sistemin diğer sistemlerle entegrasyonunda ortaya çıkabilecek riskler nedeniyle programın hedeflerine ulaşamaması riski olarak tanımlanmaktadır (Defence Science and Technology Organization, 2010). Risklerin kontrol edilmesi gerekliliği, bir ABD kuruluğu olan Genel Muhasebe Bürosu (GAO: Government Accountability Office) tarafından yayınlanan rapor sonucunda da açık olarak görölmektedir. GAO, büyük tedarik programlarındaki bir projenin zamanında bitirilememesi, bütçesini aşması ve kendisinden beklenen performansı gösterememesinin daha çok yeterli olgunluğa ulaşmamış teknolojiler, hatalı tasarım veya yetersiz üretim teknolojilerinden kaynaklandığını tespit etmiştir (GAO, 2008). Söz konusu değerlendirmeye esas olan 2007 yılına ait Savunma Projeleri Portföyü Özet Bilgileri Tablo 1’de sunulmaktadır. Buradaki veriler, ABD’deki uygulamalara göre oluşturulmuş istatistiklerden elde edilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde, GAO’nun tespitlerinin gerekçeleri açık olarak görölmektedir.

Tablo 1: 2007 Yılına Ait Savunma Projeleri Portföyü Özet Bilgileri (GAO, 2008)

	2007 yılı portföyü
Program sayısı	95
Toplam planlı taahhüt miktarı	\$ 1600 milyar
ARGE, Teknoloji ve Mühendislik maliyetlerinin ilk tahminlere göre değiğimi	% 40
Toplam tedarik maliyetlerinin ilk tahminlere göre değiğimi	% 26
Tedarik maliyetlerinde tahmini büyüme	\$ 295 milyar
İlk işleme alma zamanında ortalama gecikme	21 ay

Tablo 1’e göre 2007 yılı için, toplam tedarik maliyetlerinde ilk tahminlere göre % 26’lık bir artış yaşanırken, ARGE, teknoloji ve mühendislik geliştirme maliyetlerinde, ilk tahminlere göre % 40’lık bir artış olmuştur. Projelerin ilk işleme alınmasında yaşanan gecikme süresi ise ortalama 21 aya eşittir.

Sonuç olarak, tedarik süreci içinde kontrol mekanizmalarının kurulması, bu mekanizmalar içinde kullanılabilecek araçların geliştirilmesi ve sistemlerin geliştirilmesinde risk yönetim sürecinde etkin bir şekilde kullanımının sağlanması önem arz etmektedir. Bu çalışma ile sistem geliştirme projelerinde kullanılan olgunluk değerlendirme araçlarının, kullandıkları metodolojilerin, faydalarının ve sınırlılıklarının ortaya konması, sistem geliştirme projelerindeki risk yönetim sürecindeki etkinliklerinin tespit edilmesi ve bu konudaki farkındalığın artırılması amaçlanmıştır. Çalışmada, söz konusu araçların sistem geliştirme riskini hesaplamada yetersiz oldukları ve yeni araç ve metodolojilere ihtiyaç olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, söz konusu araçların Türkiye’de kullanım durumlarının yetersiz olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde THD’de yaygın olarak kullanılan araçlar hakkında bilgi verilmekte, fayda ve sınırlılıkları ile teknolojik/teknik riskin ele alınış yöntemleri hakkında değerlendirme yapılmaktadır. Üçüncü bölümde, THD araçlarının teknolojik/teknik risk hesaplamadaki yetersizliklerini gidermek amacıyla geliştirilen araçlar hakkında bilgi verilmektedir. Dördüncü bölümde, Türkiye’de olgunluk değerlendirme araçlarıyla ilgili farkındalık durumu ortaya konmakta, son bölümde ise ikinci ve üçüncü bölümde bahsedilen araçlar hakkında genel bir değerlendirme yapılmaktadır.

THD Araçları (TRA: Technology Readiness Assessment)

Teknoloji Hazırlık Seviyesi (TRL: Technology Readiness Level)

TRL, belirli bir teknolojinin olgunluğunun değerlendirilmesini sağlayan ve farklı teknolojiler arasında olgunluğun tutarlı bir şekilde karşılaştırılmasına imkân veren sistematik bir ölçüm sistemidir (Mankins, 1995). TRL, THD’de kullanılan değerlendirme araçlarından bir tanesi olup, ilk olarak 1980’lerde NASA’da uzay teknolojisinin riskini ve hazırlığını değerlendirmek amacıyla kullanılmaya başlanmıştır (Fernandez, 2010). Kullanımında görülen faydalar nedeniyle, GAO tarafından ABD’nin büyük savunma tedarik projelerinde kullanılması önerilmiştir ve 1999’dan itibaren kullanılmaktadır.

TRL’nin amacı; belirli bir zamanda, bir teknolojinin gelişimini göstermek ve teknolojinin gelişimine yönelik genel bir dil oluşturmaktır. Dokuz seviyeden oluşan TRL’nin açıklamaları Tablo 2’de verilmektedir.

TRL’de donanım, yazılım ve üretim teknolojileri olmak üzere üç çeşit teknolojinin değerlendirmesi esas alınmaktadır. Değerlendirmede, her bir seviye için ayrı ayrı olmak üzere toplam 90 soru kullanılmaktadır. Bu

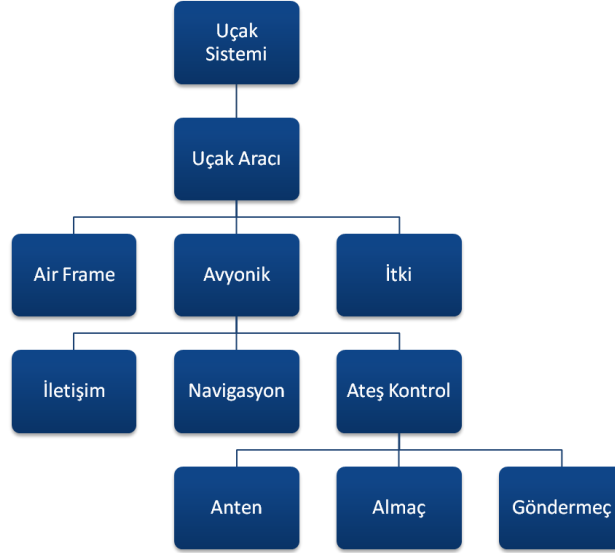
sorular, Bilbro (2007a) tarafından, çalışmalardan elde edilen tecrübeler ışığında oluşturulmuştur.

Tablo 2: TRL Açıklamaları (Mankins, 1995)

Teknoloji Hazırlık Seviyesi	Açıklama
TRL-1	Temel ilkeler gözlemlendi ve raporlandı
TRL-2	Teknoloji yaklaşımı ve/veya uygulaması formüle edildi
TRL-3	Analitik ve tecrübeye dayalı olarak, kritik işlev ve/veya özellik kanıtlandı
TRL-4	Bileşen ve/veya tezgâh üstü doğrulaması laboratuvar ortamında yapıldı
TRL-5	Bileşen ve/veya tezgâh üstü doğrulaması uygun ortamda (benzetilmiş ortam) yapıldı
TRL-6	Sistem/alt sistem model ya da prototipi gösterimi uygun ortamda yapıldı
TRL-7	Sistem prototipi gösterimi hareket (uzay) ortamında yapıldı
TRL-8	Gerçek sistem tamamlandı ve "uçuş doğrulaması" test ve gösterimleri yapıldı (yerde veya uzayda)
TRL-9	"Uçuş doğrulaması" yapılmış gerçek sistem görev hareketine katıldı.

Örneğin, bir uçak sisteminin Şekil 3'te sunulduğu şekilde bir ürün tabanlı iş kırılım ağacı olduğunu ve bu kırılımda anten, almaç ve göndermeç teknolojilerinin kritik olarak belirlendiğini varsayalım. Bu durumda, söz konusu teknolojiler, sorular yardımıyla uzman kişilerce sübjektif olarak değerlendirilir. Tablo 3'te, TRL-1 için örnek sorular verilmiştir. Uzmanın işini kolaylaştırmak ve işlem süresini hızlandırmak amacıyla, Nolte (2003) tarafından, ABD Hava Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarında, TRL'nin excel tabanlı bir uygulaması geliştirilmiştir. Daha sonra, Bilbro (2007a) tarafından daha da geliştirilen bu uygulama halen savunma sektöründe faaliyet gösteren organizasyonlar tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygulamada, bulunan seviyedeki her soruya verilen cevaplar % 100 seviyesinde karşılandığı takdirde, değerlendirilen teknolojinin ilgili seviyeyi tamamladığı kabul edilir. Örneğin; Şekil 3'teki uçak sisteminde anten teknolojisi için TRL-1'de geçen toplam yedi sorunun hepsinin, "% 100 tamamlandı" olarak işaretlenmesi durumunda, anten teknolojisi "TRL-1

seviyesinde” anlamına gelir ve sonraki aşama için soruların cevaplandırılmasına geçilir.



Şekil 3: Uçak Sistemi Ürün Tabanlı İş Kırılım Ağacı (Department of Defense, 2011)

TRL'nin; paydaşlar tarafından teknolojilerin değerlendirilebildiği bir ontoloji sağlaması, kullanımının ve anlaşılmasının kolay olması, projenin ömür devri boyunca durumu ve göreceli riski hakkında bilgi sağlaması, teknolojik risk hakkında kabaca bilgi vererek risk yönetimine katkıda bulunması gibi faydaları bulunmaktadır (Fernandez, 2010).

TRL'nin yukarıda belirtilen faydalarına rağmen bazı sınırlılıkları da söz konusudur. Bu sınırlılıklardan en önemlisi belirli bir teknolojiye odaklanmasından dolayı sistem-sistem entegrasyonuna odaklanmamasıdır. (Cornford ve Sarsfield, 2004; Smith, 2004). Örneğin, Şekil 3'teki uçak sisteminde kritik olarak belirlendiği varsayılan anten, almaç ve göndermeç teknolojilerinin TRL'si belirlendiğinde, bu üç teknolojinin birbirinden bağımsız olarak olgunlukları hakkında bilgi sahibi oluruz, ancak bu teknolojilerin kullanıldığı ateş kontrol bileşeninin TRL'si hakkında bilgi sahibi olamayız. Bu nedenle, TRL ile bireysel teknolojiler hakkında değerlendirme yapılabilirken, uçağı oluşturan bileşenler, alt-sistemler ve/veya uçak sistemi hakkında bütünsel bir değerlendirme yapmak mümkün olmamaktadır. Diğer taraftan TRL, teknolojinin sisteme entegrasyonundaki riski tam olarak açıklayamamaktadır (Azizian vd., 2009).

Tablo 3: TRL-1 Seviyesi Soruları (Bilbro, 2007b)

TRL-1 Seviyesi Soruları	
Soru Nu.	Sorular
1	Araştırma hipotezi formülize edildi mi?
2	Temel bilimsel prensipler gözlemlendi mi?
3	Gözlemleri destekleyen fiziksel kurallar ve varsayımlar tanımlandı mı?
4	Gözlemleri destekleyen fiziksel kurallar ve varsayımlar geçerlendi mi?
5	Teknolojinin temel elemanları tanımlandı mı?
6	Hipotezleri destekleyen bilimsel bilgi üretildi mi?
7	Temel prensipleri onaylayan çalışmalara emsal yayınlar gözden geçirildi mi?

Her bir teknolojinin TRL değerlendirmesi sonucunda elde edilen değer aynı zamanda teknolojik risk seviyesi olarak yorumlanmaktadır. Örneğin; Şekil 3'teki uçak sistemine ait anten teknolojisinin TRL seviyesi beş olarak değerlendirilmişse ve bulunan tedarik sürecinde bu teknolojinin TRL-7 seviyesinde olması hedefleniyorsa anten teknolojisinin teknolojik risk değeri iki birim olarak kabul edilmektedir. Ancak, aynı TRL seviyelerinde olsalar dahi, farklı teknolojileri, hedeflenen TRL seviyesine çıkarma gayretinin birbirinin aynı olmayacağı son derece açıktır. Bu nedenle, mevcut TRL sistematığını teknolojik riski belirlemek amacıyla kullanmak sağlıklı olmayacaktır.

Üretim Hazırlık Seviyesi (MRL: Manufacturing Readiness Level)

TRL, bir teknolojinin seri üretim aşamasında da aynı performansı gösterip göstermeyeceği, teknolojinin üretim maliyetinin ne olacağı, bu teknolojinin yeterli insan gücü ve alt yapı ortamında üretilip üretilmeyeceği, teknolojinin üretimi için gerekli bileşenler veya kritik malzemelerin ne olacağı gibi soruları cevaplandırmada yetersizdir (Fernandez, 2010). TRL'nin eksikliklerini tamamlamak ve üretim süreçlerindeki riskleri anlayarak risk azaltma çabalarını desteklemek için MRL aracı geliştirilmiştir. MRL tanımları, Müşterek Savunma Üretim Teknolojileri Panelince, 2001 yılında, savunma sektörü ve doğrudan sanayide çalışan kişilerden oluşan çalışma grubunca yapılmıştır (OSD Manufacturing Technology Program, 2011).

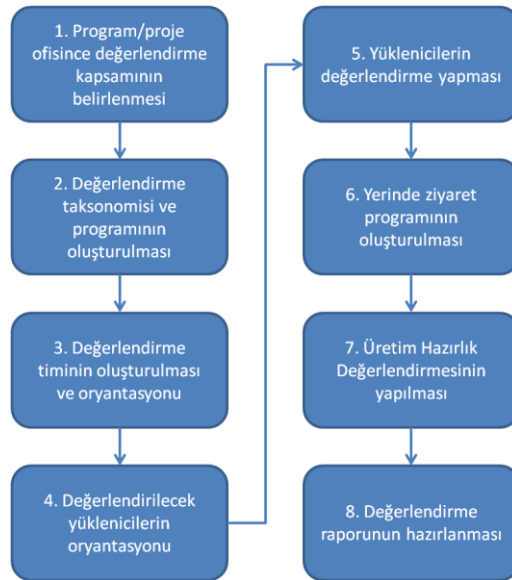
MRL; sistem tasarımı ve mühendislik faaliyetleri ile teknoloji hazırlık düzeyini "üretilebilirlik" açısından ilişkilendirerek, on düzey

halinde tanımlanmaktadır. MRL tanımları Tablo 4'te verilmiştir. MRL değerlendirmesi, yüklenicilerin üretim yeterliliklerini tespit etmek amacıyla yüklenicilerin de içinde olduğu değerlendirme timince yapılır.

Tablo 4: MRL Tanımları (OSD Manufacturing Technology Program, 2011)

MRL Seviyesi	Tanım
1	Temel üretim uygulamaları belirlendi
2	Üretim konsepti belirlendi
3	Üretim konseptinin ispatı geliştirildi
4	Laboratuvar ortamında teknoloji üretim yeteneği kazanıldı
5	Prototip bileşenlerin ilgili ortamda üretim yeteneği kazanıldı
6	Sistem veya alt-sistem prototiplerinin ilgili ortamda üretim yeteneği kazanıldı
7	Temsili ortamda sistem, alt-sistem veya bileşenlerin üretim yeteneği kazanıldı
8	Pilot üretim yeteneği gösterildi. Düşük seviye ilk üretime başlamaya hazır.
9	Düşük seviye üretim gösterildi. Tam seri üretime başlamak için gerekli yetenek kazanıldı.
10	Tam seri üretim gösterildi ve düşük maliyetli üretim pratikleri kazanıldı.

MRL değerlendirmesi; Şekil 4'te belirtilen sürece göre gerçekleştirilir.



Şekil 4: MRL Değerlendirme Süreci (OSD Manufacturing Technology Program, 2011)

MRL, teknolojinin üretilebilirlik açısından durumunu vermektedir. TRL için belirtilen yetersizlikler MRL için de geçerlidir.

Entegrasyon Hazırlık Seviyesi (IRL: Integration Readiness Level)

TRL, sadece bir teknolojinin olgunluğuna odaklanmakta; ancak, iki farklı teknolojinin entegrasyonu konusunda bilgi vermemektedir. Teknolojiler bireysel olarak değerdendirildiklerinde, dokuz seviyesinde olabilirler ama birlikte çalışmaları gerekiyorsa ve bu durum dikkate alınmadysa, sistem içinde entegre edilmelerinde sorunlar yaşanabilir. Bununla ilgili en güzel örnek Mars iklim uydusunda yaşanmıştır. Mars'ın iklimini, atmosferini ve yeryüzündeki değışiklikleri gözlemlemek amacıyla, 1998 yılında gönderilen Mars İklim Uydusu, 1999 yılında yörünge dışına çıkarak kaybolmuştur.

Tablo 5: IRL Tanımları ve Açıklamaları (Sausser ve Forbes, 2009)

IRL	Tanımı	Açıklama
IRL-1	İlişkinin karakterizasyonunu hesaba katacak kadar detayda teknolojiler arasında bir arayüz tanımlandı.	Bu en düşük entegrasyon seviyesidir ve entegrasyon için ortamın seçimini tanımlar.
IRL-2	Aralarıdaki arabirim boyunca teknolojiler arasındaki etkileşimi karakterize edecek belirli seviyede belirlilik vardır.	Bir ortam tanımlandığında, bir sinyalleşme metodu seçilmeli ki iki entegrasyon teknolojisi bu ortamda birbirini etkileyebilecek olsun. Bu entegrasyonun konseptin ispatını temsil eder.
IRL-3	Düzgün ve verimli bir şekilde entegrasyon ve etkileşim için teknolojiler arasında uygunluk (ortak dil) vardır.	Başarılı bir entegrasyon için minimum gerekli entegrasyon seviyesidir. İki teknoloji sadece birbirini etkilemekle kalmaz aynı zamanda veri alışverişinde bulunur. IRL-3 olgunluk sürecinin ilk somut seviyesini temsil eder.
IRL-4	Teknolojiler arasındaki entegrasyonun kalitesinde ve güveninde yeterli ayrıntı vardır.	IRL-3'ten sonra eğer iki teknoloji birbirine başarılı bir şekilde bilgi alışverişinde bulunabiliyorsa bu iki teknoloji tam entegredir varsayımından hareketle çoğu teknolojiye entegrasyon başarısızlığı ortaya çıkmaz. IRL-4 basit bilgi alışverişinden öte gönderilen ve alınan verilerde bir kontrol mekanizmasını gerektirir.
IRL-5	Teknolojiler arasında entegrasyonu kurmak, yönetmek ve sona erdirmek için gerekli kontrol yeterince vardır.	IRL-5, entegrasyon teknolojilerinin kontroldeki yeterliliğini belirtir.
IRL-6	Entegrasyon teknolojileri istenilen uygulama için kabul edebilir, çevirebilir ve bilgi yapılandırılabilir.	IRL-6, en yüksek teknik seviyedir. Bu seviye, sadece entegrasyonun kontrolü değil aynı zamanda bilgi alışverişinin belirlenmesi, yabancı bir veri yapısının özđün bir şekilde dönüştürülmesi kabiliyetini içerir.
IRL-7	Entegrasyon teknolojileri doğrulanmış ve geçerdlenmiştir. Tedarik kararı verilebilir.	IRL-7, entegrasyonun performans, miktar, güvenilirlik gibi hususları karşıladığını gösterir.
IRL-8	Entegrasyonun, sistem çevresinde test ve gösterim yapılarak görev tamamlanmıştır.	IRL-8, entegrasyonun gereksinimleri karşılması yanında sistem gösterimini de yaptığını ifade eder. Bu güne kadar ortaya çıkanlamayan kusurlar iki teknolojinin sistem çevresinde entegrasyonu ile ortaya çıkarılmıştır.
IRL-9	Başarılı görev operasyonları ile entegrasyon görevi ispatlanmıştır.	IRL-9, entegrasyon teknolojilerinin sistem çevresinde başarılı bir şekilde kullanıldığı gösterir. Bir teknolojinin TRL-9 seviyesine taşınabilmesi için öncelikle sisteme entegre edilmesi ve gerçek ortamında denemesi gereklidir. Dolayısıyla, IRL-9 taşımak bileşen teknolojisinin de TRL-9'a taşındığını gösterir.

Sauser ve Forbes (2009), uydunun yörünge dışına çıkma nedenini, yer kontrol bilgisayarı ile uydu bilgisayarı arasındaki iletişimin farklı metrikler kullanılarak yapılmasına bağlamaktadır. Aslında yer kontrol bilgisayarı ve uydu bilgisayarı bireysel olarak, sırasıyla, TRL-8 ve TRL-9 seviyelerinde olmalarına rağmen, aralarındaki entegrasyonun yeterli olmaması nedeniyle, uydu yörünge dışına çıkmıştır.

IRL, TRL değerlendirilmesi yapılmış birbirine entegre iki teknolojinin entegrasyon hazırlık seviyesini ölçmek amacıyla geliştirilmiş dokuz seviyeli bir metriktir. IRL'nin geliştirilmesinde arayüzler ve standartlar gibi entegrasyonun fiziksel özelliklerinin yanı sıra uyumluluk, güvenilirlik, karşılıklı etkileşim ve kalite performansı gibi hususlar da dikkate alınmaktadır. IRL tanımları ve açıklamaları Tablo 5'te gösterilmiştir (Sauser ve Forbes, 2009).

IRL, Sauser vd. (2009) tarafından hazırlanan dokuz gruptaki çeşitli sayıda soru setlerinin, uzman kişilerce cevaplandırılması ile belirlenmektedir. IRL-1 seviyesinde değerlendirici tarafından cevaplandırılması gereken sorular, örnek olarak Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: IRL-1 Karar Kriterleri (Sauser vd., 2009)

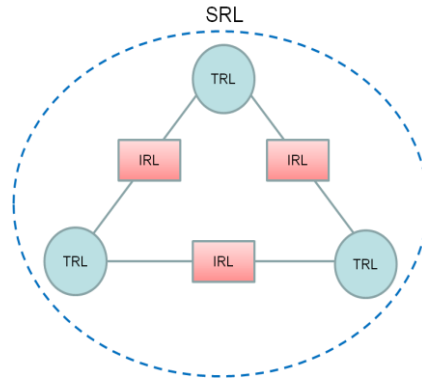
IRL-1 Seviyesi Soru Seti	
S.Nu.	Sorular
1	Temel entegrasyon teknolojileri tanımlanmış mı?
2	Üst seviye fonksiyonel yapı ve ara yüz noktaları tanımlanmış mı?
3	Temel entegrasyon teknolojilerinin uygunluğu biliniyor ve dokümanite edilmiş mi?
4	Entegrasyon test konsepti/planı tanımlanmış veya taslak haline getirilmiş mi?
5	İşletmenin yüksek seviye konsepti ve temel kullanım durumları tanımlanmış veya taslak haline getirilmiş mi?
6	Entegrasyon sırası çizelgesi tanımlanmış veya taslak haline getirilmiş mi?
7	Entegrasyon kontrol planı tanımlanmış veya taslak haline getirilmiş mi?
8	Temel entegrasyon ve test kaynak gereksinimleri (tesis, yazılım, donanım, vb.) tanımlanmış veya taslak haline getirilmiş mi?
9	Entegrasyon ve test ekibi rolleri ve sorumlulukları tanımlanmış mı?

Fernandez (2010) tarafından yapılan çalışmada özetlendiği gibi, IRL'nin kuvvetli tarafları; geniş bir kitle tarafından kabul edilen Açık Sistemler Bağlantısı (OSI: Open Systems Interconnection) gibi açık kaynaklara dayanması ve hesaplanmasında TRL değerlerinin dikkate

alınmasıdır. Ancak, IRL'nin gerekli ARGE çabalarını değerlendirmede yetersiz olması eksik tarafı olarak öne çıkmaktadır.

Sistem Hazırlık Seviyesi (SRL: System Readiness Level)

TRL ve IRL araçları, tek başlarına bir sistemin olgunluk düzeyi hakkında bilgi verememektedir. Şekil 3'teki uçak sistemine TRL ve IRL değerlendirmesi uygulandığında, ateş kontrol bileşeninin anten, almaç ve göndermeç gibi kritik teknolojilerinin TRL değerleri ile bu teknolojiler arasındaki entegrasyonun IRL değerleri hakkında bilgi elde edebiliriz. Ancak, ateş kontrol bileşeni gibi diğer bileşenler ve alt-sistemler ile uçak sisteminin olgunluk seviyesi hakkında bilgi sahibi olamayız. TRL ve IRL araçlarının bu eksikliğini gidermek amacıyla Sauser vd. (2008) tarafından geliştirilen SRL, Şekil 5'te gösterildiği gibi TRL ve IRL'nin bir fonksiyonudur.



Şekil 5: SRL, TRL ve IRL İlişkisi

n teknolojiden oluşan bir sistemin SRL değerı hesaplanırken öncelikle her bir teknolojinin TRL ve IRL değerleri bulunur. TRL'ler, (1) numaralı denklemde gösterilen TRL matrisini oluşturmaktadır.

$$[TRL]_{n,1} = \begin{bmatrix} TRL_1 \\ TRL_2 \\ \dots \\ TRL_n \end{bmatrix}$$

(1)

Sonrasında aralarında entegrasyon olan teknolojilerin IRL değerı hesaplanmakta, aralarında entegrasyon olmayan teknolojilerin IRL değerine "0" atanarak IRL matrisi oluşturulmaktadır. n teknolojili bir sistemin nxn boyutlu simetrik IRL matrisi (2) numaralı denklemde gösterilmektedir.

$$[IRL]_{n \times n} = \begin{bmatrix} IRL_{11} & IRL_{12} & \dots & IRL_{1n} \\ IRL_{21} & IRL_{22} & \dots & IRL_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ IRL_{n1} & IRL_{n2} & \dots & IRL_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

TRL ve IRL matrislerinin oluşturulması aşamasında, TRL ve IRL araçlarından gelen orijinal değerler, daha sağlıklı karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla 9'a bölünerek normalize edilir. Normalize edilmiş TRL ve IRL matrislerinin cebirsel çarpımı ile sistemi oluşturan alt sistemlerin SRL değerleri (3) numaralı denklemde gösterildiği gibi bulunur:

$$[SRL]_{n \times 1} = [IRL]_{n \times n} \times [TRL]_{n \times 1} \quad (3)$$

Buna göre $SRL_1, SRL_2, \dots, SRL_n$ değerleri, (0, n) arasında bir değer alır. Bu SRL_i değerleri, her bir teknoloji ile onun entegre olduğu diğer teknolojilerden oluşan alt sistemlere aittir. Tutarlılığın sağlanması ve (0,1) arasında normalize edilmiş değerlerin elde edilmesi için SRL_i değerleri, teknolojinin kendisi de dâhil olmak üzere entegre olunan teknoloji sayısına (m_i) bölünür. Tüm sistemin SRL'si, (4) numaralı denkleme göre, ortalama alınarak bulunur.

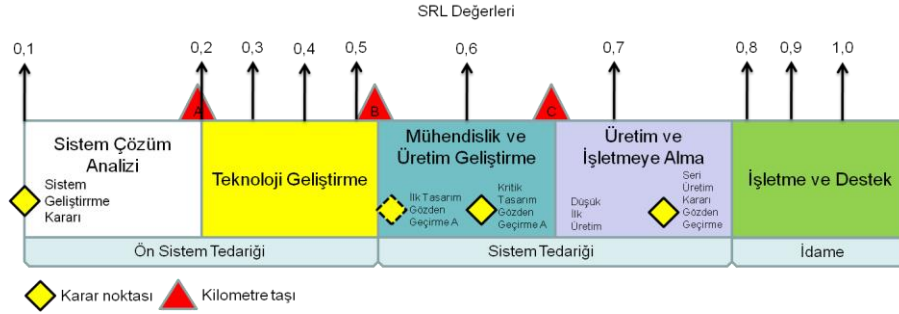
$$SRL = \frac{((SRL_1 / m_1) + (SRL_2 / m_2) + \dots + (SRL_n / m_n))}{n} \quad (4)$$

Bir sistemin SRL değeri ile tedarik süreci arasındaki ilişkiyi tespit etmek amacıyla, örnek sistemler üzerinde duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiş ve Tablo 7'de sunulan değer aralıkları elde edilmiştir (Sauser vd., 2008). Örneğin, SRL değeri [0.2,0.5] aralığında ise, sistemin Teknoloji Geliştirme safhasında olduğu kabul edilir. SRL değer aralıklarını doğrulama ve geçişleme çalışmaları halen sürdürülmektedir.

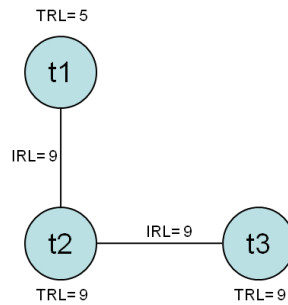
SRL'nin excel tabanlı matris ve tropikal cebirini kullanarak çalışan bir uygulaması Babaçoğlu vd. (2014) tarafından geliştirilmiştir. SRL'nin faydaları; sistemin hızlı ve yinelemeli şekilde değerlendirilebilmesi, IRL sayesinde teknolojinin sisteme entegrasyonu ile ilgili belirsizliği azaltması ve en düşük riski sağlayacak en uygun teknoloji ve entegrasyonun seçilmesini sağlayan karşılaştırma aracı olarak kullanılması olarak belirtilebilir (Sauser vd., 2008). Ancak, SRL'nin birtakım sınırlılıkları ve hesaplama yöntemine ilişkin eleştiriler de mevcuttur. Örneğin, farklı sistemlerin SRL değerleri, sistemler birbirine benzemediği takdirde

sistemlerin olgunluk değerlerini karşılaştırmak için kullanılamaz. Organizasyon büyüklüğü, çalışanların eğitim durumu, çalışanların morali, makine, teçhizat, organizasyon kültürü, yönetim sistemleri, vb. içsel faktörlerin sistemden sisteme farklılık arz etmesi nedeniyle, bu mümkün değildir (Fernandez, 2010).

Tablo 7: Tedarik Süreci ve SRL Değerleri (Sausser vd., 2008)



SRL hesaplama yöntemine ilişkin en kapsamlı eleştirilerden birini yapan Kujawski (2010)'ye göre; bir sistemi oluşturan teknolojilerden biri sistem geliştirme hatta teknoloji geliştirme aşamasında dahi olsa, diğer teknolojilerin yüksek hazırlık seviyesinde bulunması nedeniyle, sistemin SRL sonucu yüksek çıkabilmekte ve bu nedenle sistemin üretim aşamasına geçebileceğine dair yanlış bir çıkarım yapılabilmektedir. Bu durum, SRL hesaplamasının matris cebiri kullanılarak yapılmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin; Şekil 6'da görüldüğü gibi üç teknolojiden oluşan basit bir sistem düşünelim. Söz konusu sistemde t1 teknolojisi TRL-5 seviyesinde iken diğer tüm teknoloji ve entegrasyon olgunlukları TRL-9 seviyesindedir. Böyle bir sistemin SRL değeri hesaplandığında, 0,876 değeri elde edilir. Bu değere göre, sistem üretim aşamasına geçebilir. Ancak, t1 teknolojisinin sistem/alt sistem model ya da prototip gösterimi, hedeflenen performans kriterleriyle birlikte simüle edilmiş operasyonel ortamda devam ettiğinden üretim aşamasına geçilmemelidir.



Şekil 6: Üç Teknolojiden Oluşan Bir Sistem

Kujawski'nin bu eleştirisini giderme yönünde yapılan çalışmalardan bir tanesi, McConkie vd. (2012) tarafından geliştirme faaliyetleri devam eden, SRL hesaplamasında tropikal cebiri kullanımıdır. Özet olarak, tropikal cebirde, toplama ve çarpma işlemleri (5) ve (6) numaralı denklemlerde gösterildiği gibi tanımlanmıştır. Tropikal cebir, ordinal değerlerin çarpımı yerine toplamını ve minimumunu alarak, bir sistemin SRL değerinin kendisini oluşturan alt sistemlerin teknoloji ve entegrasyon hazırlık seviyelerinin en düşüğünden yüksek olmamasını sağlar.

$$a \oplus b = \min(a, b)$$

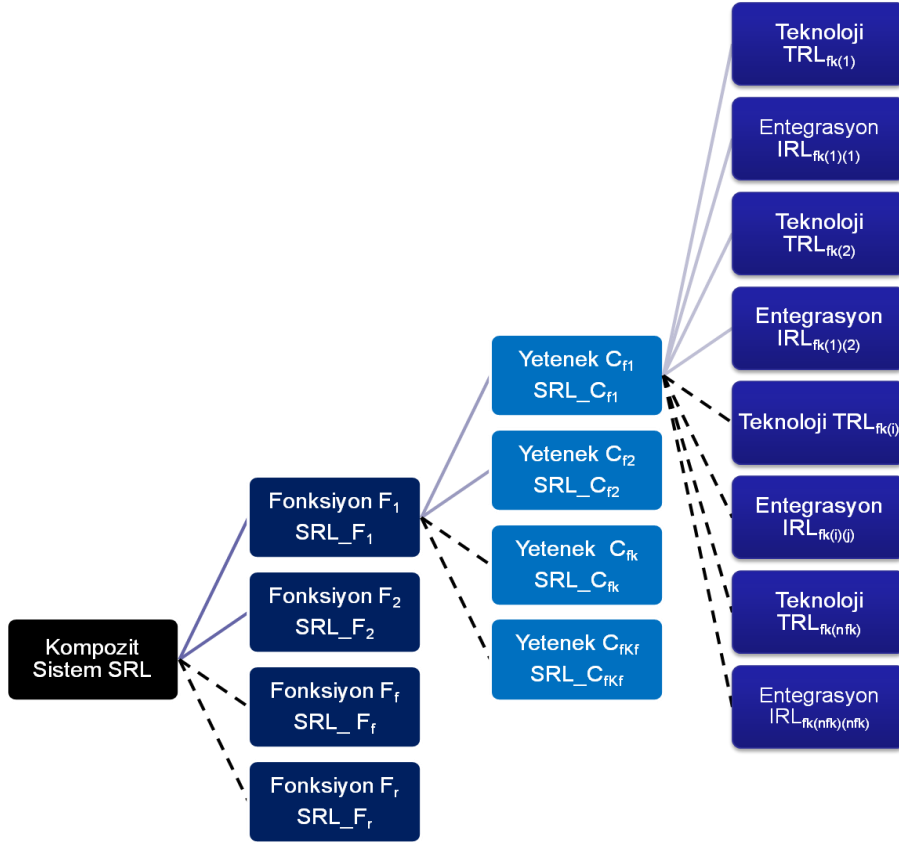
(5)

$$a \otimes b = a + b$$

(6)

SRL hesaplama yöntemine ilişkin getirilen bu eleştirilere rağmen, SRL halen alternatifi olmayan tek sistem olgunluk değerlendirme aracı olma özelliğini korumakta ve geliştirilmektedir. Örneğin; SRL'deki özneliği azaltmak amacıyla, Tan vd. (2009) tarafından TRL ve IRL değerlerinin olasılıklı durumlarını temel alan Monte-Carlo simülasyon metodolojisi uygulanmıştır. Elde edilen SRL değer aralığı sayesinde uzman kişilerin sistemin olgunluğu hakkında daha güvenilir bir bilgiye sahip olmaları sağlanmıştır.

Marquez ve Sauser (2009) tarafından sistem geliştirme sürecinde karar desteği sağlamak amacıyla kaynak tahsisine dayalı SRL'yi maksimize eden bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Magnaye vd. (2010) tarafından kritik teknoloji ve entegrasyonların geliştirme maliyetleri minimize edilerek hangi seviyeye kadar olgunlaştırılabileceğine yönelik bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Cueller ve Sauser (2009) tarafından müşterek portföy yönetiminde SRL'nin bir karar metriği olarak nasıl kullanılacağı açıklanmıştır. Tan vd. (2011) tarafından birden fazla fonksiyon ve yeteneğe sahip bir sistemin fonksiyon ve yetenek olgunluğunu da ölçecek şekilde bir SRL hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde, Şekil 7'de gösterilen sistem hiyerarşisi kullanılmaktadır.

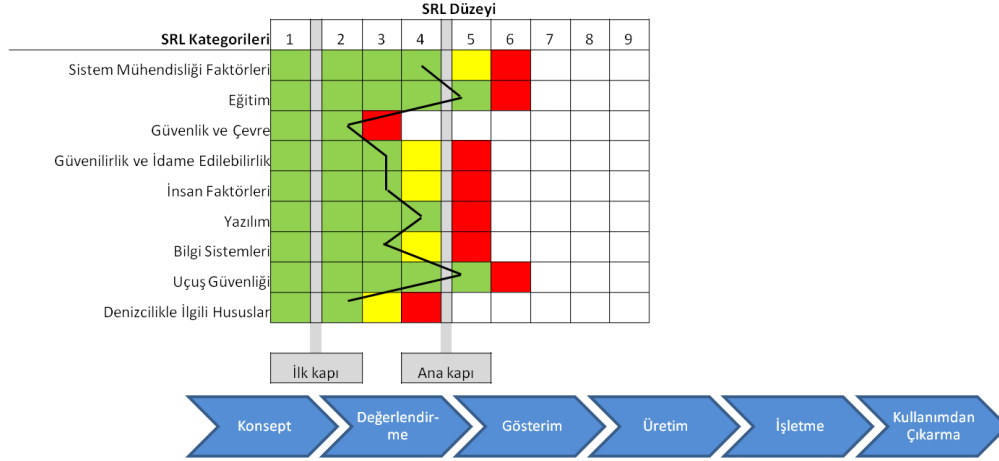


Şekil 7: SRL Sistem Hiyerarşisi (Tan vd., 2011)

İngiltere Savunma Bakanlığı Sistem Hazırlık Seviyesi (UK MoD SRL)

Avrupa’da kullanılan olgunluk değerlendirme araçlarına örnek olarak, İngiltere Savunma Bakanlığı SRL hesaplayıcısı (UK MoD SRL) verilebilir. UK MoD SRL, bir sistem geliştirme projesini dokuz kategori altında değerlendiren ve dokuz seviyeden oluşan bir araçtır. Bu kategoriler; Sistem Mühendisliği Faktörleri, Eğitim, Güvenlik ve Çevre, Güvenilirlik ve İdame Edilebilirlik, İnsan Faktörleri, Yazılım, Bilgi Sistemleri, Uçuş Güvenliği ve Denizcilikle İlgili Hususlar’dır. Bu kategoriler altında ve 9 seviyede gruplanmış toplam 399 soru bulunmaktadır. İlgili seviye ve kategorinin altındaki sorulara verilen olumlu cevaplara göre programın SRL seviyesi tespit edilmektedir. Programın kompozit SRL’si ise Şekil 8’de görüldüğü gibi tüm kategorilerin SRL değerlerinin matris gösteriminden ibarettir. İngiliz Savunma Tedarik Sisteminde SRL değerlendirmesi, Konsept ve Değerlendirme aşamalarından sonra yapılmakta, Değerlendirme aşamasına en az SRL-1, Gösterim aşamasına ise en az SRL-4 seviyesinde geçilmesi hedeflenmektedir. Bu aracın kapsamlı olması, kuvvetli tarafını

oluştururken aynı zamanda zayıf yönünü oluşturmaktadır. Çünkü, soruların cevaplandırılması oldukça zaman alan bir süreçtir (Bilbro, 2014).



Şekil 8: UK MoD Kompozit SRL Gösterimi ve İngiltere Savunma Tedarik Sistemindeki Yeri

Bu çalışmada buraya kadar incelenen olgunluk değerlendirme araçlarının hepsi teknoloji, alt-sistem ve/veya sistemin mevcut durumu hakkında karar vericiye bir fikir vermekte, ancak sistemin mevcut TRL ve IRL seviyelerini iyileştirmede karşılaşılabilecek güçlükler hakkında bir fikir vermemektedir. Makalenin bundan sonraki bölümünde, söz konusu eksikliği gidermek amacıyla geliştirilmiş risk hesaplama araçları açıklanacaktır.

Risk Hesaplama Araçları

ARGE Zorluk Seviyesi (RD3: Research and Development Degree of Difficulty)

RD3, Mankins (1995) tarafından bir teknolojinin mevcut TRL seviyesini arzu edilen TRL seviyesine çıkarmada, ARGE açısından gerekli çabaların zorluk derecesini belirlemek amacıyla geliştirilmiş beş seviyeli bir metriktir. Seviyelerle ilgili açıklama Tablo 8'de sunulmuştur. Tablo 8'e göre, RD3-I seviyesi en düşük seviye olup, istenilen iyileştirmenin normal ARGE çabasıyla başarıyla olasılığının % 99 olduğunu ifade etmektedir. RD3-I seviyesine örnek olarak; farklı frekanslarda çalışan RF cihazlarından yeni bir frekansta çalışan RF cihazı geliştirme veya $N/2 \text{ kg/ms}^2$ lik bir itkiye sahip bir motorun benzer performans hedefleri ve maliyet kısıtları altında $N \text{ kg/ms}^2$ kadar bir itkiye sahip olacak şekilde geliştirilmesi verilebilir. RD3-V seviyesi en yüksek seviye olup, normal ARGE çabasıyla başarı olasılığının % 20 olduğunu göstermektedir. Bu aşamada bulunan bir teknolojinin

istenilen seviyeye çıkarılması için fizik, kimya, matematik gibi temel alanlarda önemli bir buluşa ihtiyaç duyulmakta ve yoğun temel araştırma faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Tablo 8: ARGE Zorluk Seviyeleri (Mankins, 1995)

RD3 Seviyesi	Açıklama	Başarı Olasılığı (Normal R&D çabasıyla)
RD3-I	En düşük RD3 seviyesi	% 99
RD3-II	Orta derece RD3 seviyesi	% 90
RD3-III	Yüksek RD3 seviyesi	% 80
RD3-IV	Çok yüksek RD3 seviyesi	% 50
RD3-V	Aşırı Yüksek RD3 seviyesi	% 20

RD3 sistematığı, bir teknolojinin TRL seviyesini hedeflenen TRL seviyesine çıkarma gayretlerindeki riskin tespitine yönelik yapılan çalışmalardan ilkidir. RD3'ten yararlanabilmek için teknoloji geliştirme gayretlerini net olarak ortaya koyabilmek gerekmektedir. Örneğin geliştirilmesi öngörülen bir teknolojide itki/ağırlık veya güç/kütle gibi kritik metriklerin bugünkü durumu ile ARGE çabasıyla gelinebilecek seviyesinin çok iyi belirlenmiş olması gerekir. Ancak, özellikle sistem geliştirme projelerinde kullanıcı gereksinimlerini ve teknoloji geliştirmedeki sınırlıkları net olarak belirlemek son derece zordur.

İleri Zorluk Seviyesi (AD2: Advanced Degree of Difficulty)

AD2, NASA tarafından geliştirilen, bir teknolojinin TRL seviyesini arzu edilen seviyeye çıkarmada karşılaşılabilecek zorlukları maliyet, zaman ve risk boyutları ile ele alan dokuz seviyeli bir metriktir (Bilbro, 2007b). AD2, THD ile birlikte kullanılmak üzere tasarlanmıştır (Bilbro, 2014).

AD2, TRL seviyeleri belirlenmiş iş kırılım ağacındaki tüm kritik teknolojilere uygulanır. Gerçekçi programların hazırlanması, gerçeğe yakın maliyet öngörüsünün yapılması, kilometre taşlarındaki hazırlık seviyesi hedeflerine ulaşılabilmesi ve üründen arzu edilen sonuçların alınması, AD2'nin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesine bağlıdır.

AD2'nin uygulanmasında, kritik teknolojiler için, uzman kişilere, tasarım ve analiz, üretim, yazılım geliştirme, test ve değerlendirme ile harekât olmak üzere toplam beş ana kategori altında toplam 57 soru yöneltilir. Sorular, Bilbro (2007b)'nin önderliğinde bir ekip tarafından hazırlanmıştır. Her soru zaman, maliyet ve risk olmak üzere toplam üç boyutta cevaplandırılır. Değerlendirmede kolaylık ve standardizasyonu sağlamak için AD2'de Tablo 9'da sunulan ölçekler kullanılır.

Tablo 9: AD2’de Kullanılan Ölçekler (Bilbro, 2007b)

Zaman	Maliyet	Risk	AD2 Seviyesi	Başarı Durumu
0	0- \$ 1 milyon	% 0 risk	1	Başarı garanti
0- 6 ay	\$ 1 milyon- \$ 10 milyon	% 10 risk	2	Büyük olasılıkla başarılı olunacak (nasıl yapılacağı biliniyor)
6 ay- 1 yıl	\$ 10 milyon- \$ 20 milyon	% 20 risk	3	
1-2 yıl	\$ 20 milyon- \$ 50 milyon	% 30 risk	4	
2-3 yıl	\$ 50 milyon- \$ 100 milyon	% 40 risk	5	Muhtemelen başarılı olunacak
3-5 yıl	\$ 100 milyon ve üstü	% 50 risk	6	Yüksek olasılıklı başarısızlık ihtimali
5 yıl ve üstü		% 70 risk	7	
		% 80 risk	8	
		% 100 risk	9	Çok büyük olasılıkla başarısızlık ihtimali

Risk boyutundan kastedilen teknolojinin hedeflenen seviyeye çıkarılma gayretlerindeki zorluk derecesidir. TRL seviyelerinden farklı olarak, AD2’de seviye yükseldikçe, zorluk seviyesi artmaktadır.

AD2’nin güçlü tarafı, teknolojilerin geliştirme gayretlerinde karşılaşılabilecek zorlukları maliyet, zaman ve risk açılarından değerlendirmesi, yani kestirimci özelliğinin olmasıdır (Bilbro, 2014). Ancak, kritik teknolojiler arasında bir entegrasyon varsa bunu dikkate almaması ve sistem riskini hesaplamaması zayıf yönlerini oluşturmaktadır. Özellikle birçok alt-sistem, bileşen ve teknolojiye sahip bir sistem geliştirme projesinde AD2 uygulamasının çıktıları, karar vericiye yorumlanmamış, analiz edilmemiş çok fazla veri sağlamaktadır. Bu nedenle karar verici, son derece karmaşık bir durumla karşılaşabilmektedir.

Risk Belirleme, Entegrasyon ve “ebilirlilik” (RI3: Risk Identification Integration and Ilities)

RI3, 2008 yılında, ABD Savunma Bakanlığı, Hava Kuvvetleri ve çeşitli araştırma merkezlerince oluşturulan Teknoloji Geliştirme Ekibi tarafından, program yöneticileri ve sistem mühendisleri için geliştirilen ve proje yürütme sürecinde kullanılan bir araçtır. Toplam dokuz kategori altındaki sorulara verilen cevaplara göre teknik risklerin belirlenmesini ve önceliklendirilmesini sağlar (U.S.Air Force Technology Development Team, 2008).

Tablo 10: RI3 Olasılık Değerleri Tablosu (U.S.Air Force Technology Development Team, 2008)

Seviye	Olasılık İfadesi	Olasılık Değeri
1	Olasılığı çok düşük	% 5- 20
2	Olasılığı düşük	% 21- 40
3	Normal	% 41- 60
4	Olasılığı yüksek	% 61- 80
5	Olasılığı çok yüksek	% 81- 99

Tablo 11: Standart Sonuç Kriterleri (U.S.Air Force Technology Development Team, 2008)

	Standart Sonuç Kriterleri (Çizelge)
1	İhmal edilebilir çizelge kayması
2	Çizelge kayması var, ancak kritik tarihleri (İlk Gözden Geçirme, Kritik Gözden Geçirme, Seri Üretim, Tam İşletmeye Alma, vb.) karşılayabilecek durumda, kritik yol üzerinde etkisi yok
3	Çizelge kayması var ve kritik tarihleri (İlk Gözden Geçirme, Kritik Gözden Geçirme, Seri Üretim, Tam İşletmeye Alma, vb.) etkileyecek ve/veya kritik yol üzerinde gevşekliği önemli derecede azaltacak
4	Programın/ projenin kritik yolunda değişiklik gerekecek
5	Kritik program/ proje kilometre taşlarını karşılayamaz

Sorular, olasılık ve sonuç parametreleri kullanılarak cevaplandırılır. Bu dokuz kategori şunlardır:

- Tasarım olgunluğu ve kararlılık (T)
- Ölçeklenebilirlik ve karmaşıklık (Ö)
- Entegre edilebilirlik (E)
- Test edilebilirlik (TE)
- Yazılım geliştirme (Y)
- Güvenilirlik (G)
- Korunabilirlik (K)
- İnsan faktörleri (İ)
- İnsan, organizasyon ve yeteneklerdir (O) .

RI3 çalışması THD'deki sürece benzer bir sıra takip eder. İlk olarak, incelenen sistemin ürün tabanlı iş kırılım ağacı oluşturulur. Sonrasında, TRL değerlendirmesi yapılanlara RI3 uygulanır. Teknoloji katmanından başlayarak, bileşenler, alt-sistemler ve sistem olacak şekilde sıralı bir değerlendirme yapılır. Değerlendirmede ölçek olarak, ABD Hava Kuvvetlerinin Tablo 10, 11, 12 ve 13'te belirtilen olasılık ile çizelge, performans ve maliyet sonuç kriterleri kullanılır.

Tablo 12: Standart Sonuç Kriterleri (Performans) (U.S.Air Force Technology Development Team, 2008)

Standart Sonuç Kriterleri (Performans)	
1	Teknik performans üzerinde en az etki ancak programın başarısına etkisi yok. Teknik performans hedefleri veya teknik tasarım ölçütleri hala karşılanabilecek durumda.
2	Teknik performans veya desteklemede minimum azalma, program başarısı üzerinde tolare edilebilen az etki. Teknik performans hedefin altında veya teknik tasarım ölçütleri kabul edilebilir sınırların içinde ancak azalacak.
3	Teknik performans veya desteklemede orta derecede azalma, program başarısı üzerinde sınırlı etki. Teknik performans hedefin altında, kabul edilemeyen sınırlara yaklaşılmakta veya teknik tasarım ölçütleri önemli derecede azalmakta ve sistem performans hedeflerinin başarılmasını tehlikeye sokmakta.
4	Teknik performansta önemli derecede düşüş veya program başarısı üzerinde orta derecede etki ile desteklemede büyük eksiklik. Teknik performans kabul edilemeyecek şekilde hedefin altında veya uygun teknik tasarım ölçütleri yok ve sistem performansı hedeflerin altında olacak.
5	Teknik/destekleme performansında ciddi derecede azalma, program başarısını tehlikeye düşürecek.

Değerlendirmeler, her kategori (örneğin, tasarım, ölçeklenebilirlik) için oluşturulan sorular yardımıyla ve ayrı ayrı olmak kaydıyla Tablo-14'teki gibi RI3 matrisine işlenir. En yüksek değer o kategorinin risk değeridir. Örneğin olasılık değeri 4, sonuç değeri 4 çıkarsa, risk seviyesi 4 olarak değerlendirilir.

Tablo 13: Standart Sonuç Kriterleri (Maliyet) (U.S.Air Force Technology Development Team, 2008)

Standart Sonuç Kriterleri (Maliyet)	
1	Kilometre taşı A ve B arası programlar: A kilometre taşında onaylanan maliyet tahmininde \leq % 5 artış B kilometre taşı sonrasındaki programlar: En son onaylanan maliyet tahmininden \leq % 1 artış.
2	Kilometre taşı A ve B arası programlar: A kilometre taşında onaylanan maliyet tahmininde $>$ % 5 ila % 10 arası artış B kilometre taşı sonrasındaki programlar: Potansiyel müteakip maliyet artışlarını dikkate almak kaydıyla en son onaylanan maliyet tahmininden \leq % 1 artış.
3	Kilometre taşı A ve B arası programlar: A kilometre taşında onaylanan maliyet tahmininde $>$ % 10 ila % 15 arası artış B kilometre taşı sonrasındaki programlar: Potansiyel müteakip maliyet artışlarını dikkate almak kaydıyla en son onaylanan maliyet tahmininden $>$ % 1 ila $<$ % 5 artış.
4	Kilometre taşı A ve B arası programlar: A kilometre taşında onaylanan maliyet tahmininde $>$ % 15 ila % 20 arası artış B kilometre taşı sonrasındaki programlar: Potansiyel müteakip maliyet artışlarını dikkate almak kaydıyla en son onaylanan maliyet tahmininden \Rightarrow % 5 ila $<$ % 10 artış.
5	Kilometre taşı A ve B arası programlar: A kilometre taşında onaylanan maliyet tahmininde $<$ % 20 artış B kilometre taşı sonrasındaki programlar: Potansiyel müteakip maliyet artışlarını dikkate almak kaydıyla en son onaylanan maliyet tahmininden \Rightarrow % 10 artış.

Tablo 14: RI3 Matrisi (U.S.Air Force Technology Development Team, 2008)

5	2	3	4	4	5
4	2	3	3	4	4
3	2	2	3	3	4
2	1	2	2	3	3
1	1	1	2	2	3
	1	2	3	4	5
	Sonuç				

Metodolojiyi örnek üzerinde açıklamak için uçak sisteminde (Şekil 3) anten, almaç ve göndermeç birimlerine RI3 değerlendirmesi yapıldığını varsayalım. Değerlendirme sonucunda, Tablo 15'teki gibi her kategori için ayrı ayrı olacak şekilde bir değerlendirme matrisi elde edilir. Bu örnekte uzman kişi, anten biriminin üç kategoride RI3 değerlendirmesini yapmış, entegrasyonda üç numaralı, yazılımda bir ve dört numaralı, güvenilirlikte ise beş numaralı sorular en yüksek risk olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 15: Anten Biriminin Entegrasyon, Yazılım ve Güvenilirlik Kategorilerine Göre RI3 Değerlendirme Matrisi

Olasılık		E1		E3
				E7
		E2, E4		E6
			E5	
Sonuç				
Olasılık			Y1	
				Y4
			Y2	Y3
Sonuç				
Olasılık		G1, G2	G4	G5
			G3	
Sonuç				

Anten birimi için yapılan işlemler, benzer şekilde almaç ve göndermeç birimleri için de yapılır. Sonuçta, üç birim için ayrı ayrı risk değerlendirmesi elde edilir. Teknoloji bazında değerlendirmelerin tamamlanmasını müteakip sırasıyla, bileşenler, alt-sistemler ve sistem için de benzer süreç uygulanır.

RI3 aracı, bir sistem geliştirme projesinin riski hakkında, teknoloji, bileşen, alt-sistem ve sistem seviyesinde, birbirinden bağımsız dokuz ayrı başlık altında değerlendirme yapmaktadır. RI3'nin sistem seviyesinden başlayarak teknoloji seviyesine kadar her seviyede uygulanabilmesi güçlü yanı olarak öne çıkmaktadır (Bilbro, 2014). RD3 ve AD2 aracından farklı olarak teknoloji, alt sistem, sistem seviyesinde entegrasyonu değerlendirmekte ve ayrı bir başlık olarak ele almaktadır. Soruların kolaylıkla cevaplandırılması ve ayırt edici olmaması, kullanımının tercih edilmemesine neden olabilmekte ve zayıf yanı olarak değerlendirilmektedir (Bilbro, 2014). Ayrıca, AD2'de olduğu gibi sistemin toplam riski hakkında bir fikir vermemektedir.

Olgunluk Değerlendirme Araçlarının Kullanımıyla İlgili Türkiye Özelinde Değerlendirme

Türkiye'de sistem geliştirme projelerinde olgunluk/hazırlık değerlendirme araçlarının kullanımının yetersiz olduğu görülmektedir. Literatürde, bu alanda en yaygın olarak kullanılan araçlardan bir tanesi TRL'dir. Altunok ve Çakmak (2009) tarafından, TRL aracının Türkiye'de farkındalık düzeyinin ölçülmesi ve risk yönetim sürecinde kullanımıyla

ilgili çalışma yapılmıştır. Söz konusu çalışmada, savunma sanayi firmalarının TRL sistematiği ve uygulamaları hakkında bilgi sahibi olup olmadıkları, TRL farkındalığı olanların proje yönetim süreçlerinde bu araçtan nasıl faydalandıkları ortaya konulmuştur. Ayrıca bu çalışmada, Türkiye'deki savunma sanayinde kullanılmak üzere geliştirilen TTRL (Turkish Technology Readiness Level) aracı hakkında bilgi verilmektedir. Çalışma sonucunda, firmaların % 47'sinin TRL hakkında bilgi sahibi olduğu, bu firmalardan % 17'sinin TRL'den yararlandığı ve TRL'den yararlanan firmalardan sadece bir tanesinin bu aracı geniş kapsamlı ve etkin olarak kullandığı tespit edilmiştir. Firmaların TRL sistematiği farkındalığı ile ulusal savunma tedarik projelerindeki tecrübesi arasında herhangi bir ilişki bulunmamıştır. Ayrıca, firmaların ARGE büyüklüklerinin, firmaların TRL sistematiği farkındalığı üzerinde bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Bu alışma kapsamında geliştirilen TTRL, TRL, IRL, MRL ve SRL'de olduğu gibi dokuz seviyelidir. TTRL'de; TRL'de geçen program, teknik ve üretim sorularına, 2'inci seviyeden itibaren kullanılan, toplam 14 adet entegrasyon sorusu ilave edilmiştir. Bu sorular, IRL'dekilerden farklıdır. Teknolojilerin değerlendirilmesinde yararlanılan sorular "kritik" ve "kritik değil" olarak iki ana kategoriye ayrılmış ve böylece soruların değerlendirme üzerinde etkilerinin farklı olması amaçlanmıştır. TTRL'de değerlendirici, TRL'den farklı olarak tüm seviyelerin sorularını görememekte, ilgili seviye tamamlandığıa bir sonraki seviyenin soruları değerlendirmeye açılmaktadır. TTRL'ye, TRL'den farklı olarak "gri" renk kodu ile açıklanan "teknoloji transferi" kavramı eklenmiştir. Eğer teknoloji transfer edilmişse "gri" kodu verilmektedir. TTRL'nin savunma sanayinde faaliyet gösteren üç firmada test edildiği ve hatasız çalıştığı belirtilmektedir.

Türkiye'de, TRL'nin yanında bu çalışmada açıklanan diğer olgunluk ve risk değerlendirme araçlarının kullanım durumunu tespiti yönelik bir çalışma bilgimiz dahilinde değildir. Ancak, olgunluk değerlendirme araçlarının en temeli olan ve risk yönetim süreçlerinde en çok kullanılan TRL için yapılan bu tespitten yola çıkararak, diğer olgunluk değerlendirme araçlarından etkin olarak yararlanılmadığı yönünde bir değerlendirme yapılabilir.

Özellikle savunma alanındaki sistem geliştirme projelerinin yönetimi, teknolojilerde meydana gelen hızlı değerişime paralel olarak daha da zorlaşmaktadır. Bu projelerin hedeflenen maliyet, performans ve zaman içerisinde gerçekleştirilmesi için, teknoloji değerlendirme ve risk yönetim süreçlerinin etkin olarak uygulanması bir zorunluluk halini almıştır. Ülkemizde, bu projelerin tedarik sürecinde, teknoloji değerlendirmelerinin yapılması ve olgunluk değerlendirme araçlarının kullanımı ile maliyet etkin,

performans ve zaman hedeflerine ulaşmış daha fazla proje hayata geçirilecektir.

Teknoloji hazırlık/olgunluk kavramı, sadece bir sistemi oluşturan teknoloji ve/veya entegrasyonların hazırlık/olgunluk seviyelerini ölçmek amacıyla kullanılmamaktadır. Parasuraman (2000), teknoloji hazırlık terimini, insanların işte ve günlük hayatında faaliyetlerini gerçekleştirirken yeni teknolojileri kullanma eğilimini açıklamak amacıyla kullanmış ve Teknolojiye Hazırlık Endeksi (TRI: Technology Readiness Index) geliştirmiştir. Demirci ve Ersoy (2008), bu teknoloji hazırlık taksonomisini Anadolu Üniversitesinde eğitim faaliyetlerinde görevli personel üzerinde uygulayarak Türk kültürünün TRI'sını tespit etmeye çalışmıştır. Söz konusu çalışmada, TRI'nın dört alt boyutu olan; iyimserlik, yenilikçilik, huzursuzluk ve güvensizliğe beşinci boyut olarak etkileşim de ilave edilmiştir. Çalışmada, bireysellik ve kolektivizm gibi kültürel faktörlerin teknoloji hazırlığı üzerinde etkiliği olabileceği dolayısıyla yeni teknolojilerin adaptasyonu ve yayılımının kültürden kültüre farklılık gösterebileceği belirtilmiştir. Yine bu çalışma kapsamında, Türk kültüründe firmalarla iş yaparken karşılıklı etkileşimin çok daha önemli olduğu ve insanların faaliyetlerinde, bilgisayarlardan daha çok insanlarla etkileşimde bulunmak istediği tespit edilmiştir.

Özer, vd. (2011); TRI'yı Türkçe'ye uyarlayarak geçerli ve güvenilir bir ölçek geliştirmeyi amaçlamıştır. Araştırmanın örneklemini yedi coğrafi bölgeye dağılmış, en az üniversite mezunu kişiler oluşturmuştur. Çalışma sonucunda, huzursuzluk boyutu ile ilgili maddelerin tekrar çalışılması ve bu boyutun iç tutarlılığının geliştirilmesi önemli görülmüştür. Çalışmanın, bilişim teknolojisi tabanlı araç ve hizmetlerden yararlanan işletmelerde müşteri memnuniyeti algılarının belirlenmesine ve self-servis hizmet sağlayıcıların müşterilerini bölümlendirmesi gibi alanlarda yapılan çalışmalara destek olacağı belirtilmiştir.

Sonuç

Sistem geliştirme projelerinin yeni ve uç teknolojileri ihtiva etmesi nedeniyle, tedarik sürecinde maliyet, zaman ve performansla ilgili problemlerin yaşanması muhtemeldir. Bu nedenle, yeni ve uç teknoloji geliştirme faaliyetlerinin başarılı bir şekilde gerçekleşmesi ve bu teknolojilerin sistem içerisinde problemsiz çalışması, sistem geliştirme projelerinin başarı ölçütlerinden birisidir. Yeni ve uç teknoloji geliştirme faaliyetlerinin başarısı ise olgunluğa ulaşmış teknolojilerin sistem içerisinde kullanımı sayesinde gerçekleşebilir.

Yeni ve uç teknolojileri geliştirme faaliyetlerindeki riskleri azaltmak amacıyla çeşitli yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlardan birisi de olgunluk değerlendirme araçlarıdır. Bu çalışmada, teknoloji ve sistem geliştirme faaliyetlerinde kullanılan TRL, IRL, MRL ve SRL araçları incelenmiştir. Bu araçlardan TRL, MRL ve IRL araçlarında teknoloji bazlı değerlendirmeler yapılmakta, karar vericilerin sübjektif değerlendirmelerinden yola çıkılarak, teknoloji hakkında kantitatif bilgiler elde edilmekte ve böylece tedarik faaliyetlerinin daha etkin yönetilmesi amaçlanmaktadır. TRL, teknolojilerin standart olarak değerlendirilmesini sağlayan bir ontoloji sağlaması, kullanımının ve anlaşılmasının kolay olması ve teknolojinin geliştirme sürecinde karşılaşılabilecek risklerle ilgili göreceli bilgi sağlaması açısından faydalıdır. MRL, sistem tasarımı ve mühendislik faaliyetleri ile teknoloji hazırlık düzeyini “üretilebilirlik” açısından ilişkilendirerek TRL'nin üretim süreçlerindeki eksikliklerini gidermeye çalışmaktadır. IRL ise, TRL değerlendirilmesi yapılmış birbirine entegre iki teknolojinin entegrasyon hazırlık seviyesiyle ilgili bilgi vermektedir. SRL aracı, TRL ve IRL metriklerini birlikte ele almakta, sistemi oluşturan parçaların birlikte çalışması durumunda, sistemin olgunluğu hakkında bilgi sunmakta ve böylece birçok teknoloji, bileşen, alt sistem veya sistemden oluşan bir projenin tedarik sürecindeki yerinin bilinmesini sağlayarak, proje ve ARGE yönetim faaliyetlerinin daha sağlıklı yürütülmesine katkıda bulunmaktadır. SRL, sistem riskinin belirlenmesine yönelik mevcut yaklaşımlar arasında en güncel olanıdır.

Bu araçlar, teknolojinin o anki olgunluğu hakkında karar vericiye bir fikir vermesi açısından faydalı olsa da, teknoloji/sistemin müteakip geliştirilme faaliyetlerinde karşılaşılabilecek ARGE zorlukları hakkında yeterli bilgiyi vermekten uzaktır. Bu bağlamda, yeni ve uç teknolojilerin tek başlarına belirli olgunluğa ulaşmış olmaları sistemin başarısı için yeterli olmamaktadır. Bu teknolojilerin, müteakip geliştirme faaliyetlerindeki ARGE zorluklarının bilinmesi de sistem geliştirme projelerinin yönetimi açısından ayrı bir başarı ölçütüdür. Bu çalışmada, hedeflenen olgunluk seviyesine ulaşmada karşılaşılabilecek ARGE zorluk derecesinin tespiti amacıyla geliştirilen RD3, RI3 ve AD2 araçları hakkında da bilgi verilmiştir. Ancak, geliştirilen bu araçlar da, karar vericiye teknoloji bazlı bir fikir vermekte, bünyesinde birçok teknoloji, bileşen, alt sistem hatta sistemi barındıran projelere, bütüncül bakmada yetersiz kalmaktadır.

Karar vericinin sistemin bütünü hakkında bilgi sahibi olması önemlidir. Çünkü, sistemler, kendilerini oluşturan teknoloji, bileşen, alt sistem veya sistemlerin tek başlarına gösterdikleri performanstan farklı performans sergileyebilirler. Sistemi oluşturan teknolojilerin birbirine göre farklı olgunlaşma süreçlerinin olması nedeniyle karar vericiler, sistemi

bütüncül değerlendirme ihtiyacı duyabilirler. Ayrıca, sistemin kullanıma hazır olması, sistemi oluşturan parçaların birbiriyle uyumlu ve kullanım amacına uygun olarak, ilgili ortamında çalıştığının gösterilmesiyle sağlanabilir. Mevcut değerlendirme araçları ile, sistemi oluşturan parçaların sadece doğrulaması yapılabilirken, sistemin geçerliliği ancak nihai kullanımda amacına uygun çalışmasıyla sağlanacaktır (Tetlay ve John, 2009). Bu bağlamda, sistemi oluşturan tüm parçaların bütün olarak sistem geliştirme faaliyetlerindeki zorluk derecelerinin ve risklerin bilinmesine de ihtiyaç duyulmaktadır.

İncelenen olgunluk değerlendirme araçlarının, sistemin müteakip geliştirme faaliyetlerinde karşılaşılabileceği riskleri ve zorluk derecelerini belirlemedeki eksikliği, yeni hesaplama araçlarının geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Olgunluk değerlendirme araçları ile risk değerlendirme çalışmalarını entegre eden yeni yaklaşımlar, karar vericilere yönetim faaliyetlerinde daha sağlıklı bilgiler sunabilecektir.

Diğer yandan, sübjektif değerlendirmelere dayalı mevcut olgunluk değerlendirme araçlarının, grup karar verme veya çok kriterli karar verme teknikleriyle desteklenmesi daha objektif değerlendirmelerin yapılmasına katkı sağlayabilecektir.

Kalitatif veya kantitatif yaklaşımlarından hangisi uygulanırsa uygulansın, değerlendirmelerde veri tabanı ihtiyacı önemini korumaktadır. Sağlıklı olgunluk ve risk değerlendirmeleri, veri tabanın zenginliğiyle doğru orantılı olacaktır. Ayrıca, teknolojilerin olgunluk durumlarının merkezi bir birim tarafından sürekli olarak takip edilmesi, teknoloji yönetiminin makro seviyede daha sağlıklı yapılmasına katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

- Altunok, T. ve Çakmak, T., (2010). A Technology Readiness Levels (TRLs) Calculator Software for Systems Engineering and Technology Management Tool. *Advances in Engineering Software*.
- Azizian, N., Sarkani, S. ve Mazzuchi, T. (2009). A Comprehensive Review and Analysis of Maturity Assessment Approaches for Improved Decision Support to Achieve Efficient Defense Acquisition. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, II, San Francisco, USA, 10*.
- Babaçoğlu S., Akgün İ. ve Altın Kayhan A. Sistem Geliştirme Projelerinde Teknik Risk Analizi. (Yayımlanmamış Doktora Tezi), KHO Savunma Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- Bilbro, W.J. (2007a). TRL Calculator. JB Consulting International. www.jbconsultinginternational.com adresinden alınmıştır.

- Bilbro, W.J. (2007b). Systematic Assessment of the Program/Project Impacts of Technological Advancement and Insertion Revision A. *JB Consulting International*, 10.
- Bilbro, W.J. (2014). Assessing System Readiness- Is it ready for prime time? www.jbconsultinginternational.com adresinden alınmıştır.
- Cornford, S. ve Sarsfield, L. (2004). Quantitative Methods for Maturing and Infusing Advanced Spacecraft Technology. *IEEE Aerospace Conference Proceedings*.
- Cueller, R. ve Sauser, B. (2009). Dynamic Multipoint Optimization Application to Corporate Portfolio Management. *Acquisition Research Symposium*, Monterey, CA.
- Çetindamar, D. ve Günsel, A. (2009). Teknoloji Yetenek Kapasitesinin Değerlendirmesi: Nedir ve Nasıl Uygulanır?, *TÜSİAD-Sabancı Üniversitesi Rekabet Forumu*, İstanbul.
- Defence Science and Technology Organization. (2010). Technical Risk Assessment Handbook. [http://www.dsto.defence.gov.au/attachments/Technical-Risk-Assessment-Handbook 2.pdf](http://www.dsto.defence.gov.au/attachments/Technical-Risk-Assessment-Handbook%20.pdf) adresinden alınmıştır.
- Demirci, E.A. ve Ersoy, N.F. (2008). Technology Readiness for Innovative High-Tech Products: How Consumers Perceive and Adopt New Technologies.
- Department of Defense. (2011). *Work Breakdown Structures for Defense Material Items*. <http://www.navair.navy.mil/nawctsd/Resources/Library/Acqguide/MIL-STD.881C> adresinden alınmıştır.
- Dion-Schwarz, C. (2008). How the Department of Defense Uses Technology Readiness Levels. Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology and Logistics.
- DoD Instrucitons 5000.02 (2008). Operation of the Defense Acquisition System.
- DoD Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook. (2005).
- DoD Technology Readiness Assessment (TRA) Guidance. (2011). Assistant Secretary of Defense for Research and Engineering. <http://www.acq.osd.mi/ddre/publications/docs/TRA2011.pdf> adresinden alınmıştır.
- Fernandez, A.J. (2010). Contextual Role of TRLs and MRLs in Technology Management. *Sandia National Laboratories*, United States of America.
- Government Accountability Office. (2008). *Defense Acquisitions Assessments of Selected Weapon Programs*. [http://www.gao.gov.new.items/d08467sp.pdf](http://www.gao.gov/new.items/d08467sp.pdf) adresinden alınmıştır.
- Kujawski, E. (2010). The Trouble with The System Readiness Level (SRL) Index For Managing The Acquisition Of Defense Systems. *National Defense*

- Industrial Association 13th Annual Systems Engineering Conference*, San Diego, 10.
- Leveson, N. (2012). Drawbacks in Using the Term “System of Systems”. *Technical Report, System Safety Research Lab., MIT*.
- Magnaye R.B., Sauser B.J. ve Ramirez-Marquez, J.E. (2010). System Development Planning Using Readiness Levels in a Cost of Development Minimization Model. *System Engineering*, vol. 13, 4.
- Mankins, J. C. (1995). Technology Readiness Levels. A White Paper, Advanced Concepts Office, Office of Space Access and Technology, NASA.
- McConkie, E., Mazzuchi, T.A., Sarkani, S. ve Marchette, D. (2012). Mathematical Properties of System Readiness Levels. *System Engineering 2012*, Wiley Periodicals.
- Nolte, W., (2003). Technology Readiness Calculator. NDIA System Engineering Conference. www.dtic.mil/ndia/2003systems/nolte2.pdf adresinden alınmıştır.
- OSD Manufacturing Technology Program. (2011). *Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook*. http://www.dodmrl.com/MRL_Deskbook_V2.pdf adresinden alınmıştır.
- Özer, P.S., Eriş, E.D., Özmen, Ö.N.T. (2011). Teknolojiye Hazırlık Düzeyinin Belirlenmesine Yönelik Bir Ölçek Uyarlama Çalışması. *Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, Cilt 12, Sayı 2, 321-333.
- Özkil, A. (2009). *Sistem Mühendisliği Konfigürasyon Yönetimi*, Basılmamış Ders Notları, Ankara.
- Parasuraman, A. (2000). Technology Readiness Index (TRI): A Multiple-Item Scale to Measure Readiness to Embrace New Technologies. *Journal of Service Research*, Vol.2 (4): 307-320.
- Ramirez-Marquez, J.E. ve Sauser, B.J. (2009). System Development Planning via System Maturity Optimization. *IEEE Transactions On Engineering Management*, III, 8.
- Sauser, B.J. ve Forbes, E. (2009). Defining an Integration Readiness Level for Defense Acquisition. *International Symposium of the International Council on Systems Engineering*, Singapore, 7.
- Sauser, B.J., Ramirez-Marquez, J.E. ve Henry, D. (2008). System Maturity Index for The System Engineering Life Cycle. *International Systems Engineering*, III, USA.
- Schwartz, M. (2013). Defense Acquisitions: How DOD Acquires Weapon Systems and Recent Efforts to Reform the Process. *CRS Report for Congress*.

- Smith, J. (2004). An Alternative to Technology Readiness Levels for Non-Developmental Item (NDI) Software, Integration of Software-Intensive Systems Initiative. *Carnegie Mellon Software Engineering Institute*.
- Tan, W., Sauser, B.J., ve Ramirez-Marquez, J.E. (2009). Monte-Carlo Simulation Approach For System Readiness Level Estimation. *Int.Symp.Int.Counc.Syst.Eng.*, Singapore.
- Tan, W., Sauser, B.J. ve Ramirez-Marquez, J.E. (2011). Analyzing Component Importance in Multifunction Multicapability Systems Developmental Maturity Assessment. *IEEE Transactions On Engineering Management*, Vol. 58, 5.
- Tetlay, A. ve John, P. (2009). Determining the Lines of System Maturity, System Readiness and Capability Readiness in the System Development Lifecycle. *7th Annual Conference on Systems Engineering Research*.
- U.S.Air Force Technology Development Team. (2008). *Risk Identification: Integration & Ilities (RI3) Guidebook*. <https://acc.dau.mil/CommunityBrowser.aspx?id=318289> adresinden alınmıştır.

Extended Summary

A Literature Review on Maturity Assessment Tools Used in System Development Projects

Introduction

System development projects are comprised of systems, subsystems, and technologies. In order to achieve the desired purpose, a system must perform its function effectively with its constituent parts. Regarding this, the most basic components are technologies.

Cooperation of technologies in harmony to fulfil their functions is the only condition for a successful system. Therefore, several control mechanisms such as Technology Readiness Assessment (TRA) and technology related maturity assessment mechanisms are incorporated into the procurement process of system development projects. The maturity assessment tools are used in the TRA process so that the project reaches the procurement phase with mature technologies and preventive measures can be taken before encountering major problems.

Maturity assessment tools are used to measure two types of risks: technologic and technical. In this study, how technology/system maturity assessment tools are used, what their benefits and limitations are, and how the system risk is calculated are examined. It is observed that the current maturity assessment tools are inadequate for calculating system risk properly and hence there is a need to develop new tools/methodologies for this purpose. Moreover, the deployment level of maturity assessment tools in Turkey is discussed.

Technology Readiness Assessment (TRA) Tools

Technology Readiness Level (TRL)

TRL is a systematic measurement tool to assess the maturity of a particular technology and compare different technologies consistently (Mankins, 1995). Providing an ontology by which stakeholders can evaluate component technologies and conveying a great deal of information about the status and the relative risk of a project throughout its life cycle are two major benefits of TRL (Fernandez, 2010). On the other hand, TRL cannot investigate system-system integration since its focus is on a particular technology (Cornford ve Sarsfield, 2004; Smith, 2004). Besides, TRL cannot explain the risk of technology integration into the system (Azizian vd., 2009). Currently, TRL values are interpreted as technological risk

levels. Obviously, the effort needed to increase the TRL level of a technology would be different for different technologies even if they had the same TRL levels. Hence, using the current TRL metric for determining technological risk is not meaningful.

Manufacturing Readiness Level (MRL)

MRLs are designed to measure the maturity of a given technology, component or system from a manufacturing prospective (Fernandez, 2010). The limitations for TRLs are also valid for MRLs.

Integration Readiness Level (IRL)

IRL is used to evaluate the integration readiness of any two TRL-assessed technologies (Sauser vd., 2010). Being based on open, widely accepted standards like OSI (Open Systems Interconnection) and inclusion of Technology readiness in the overall assessment are its main strengths (Fernandez, 2010). Unfortunately, IRL does not assess the R&D effort like TRL.

System Readiness Level (SRL)

TRL and IRL alone cannot provide sufficient information about the maturity level of a system. Hence Sauser et al. (2008) developed SRL, which is a function of TRL and IRL. Excel-based SRL tool using matrix and tropical algebra has been developed by Babaçoğlu et al. (2014).

On one side, SRL helps to evaluate the system rapidly and iteratively. Moreover, ambiguity about the integration of the technology to the system is decreased since it incorporates IRL. It can also be used to select the technology and integration combination with the lowest risk (Sauser vd., 2008). On the other hand, there are several limitations and criticisms of SRL as well. For example, the SRL value of nonsimilar systems cannot be used for comparison. This is because internal factors like organization size, educational status and morale of employees, machinery, equipment, organizational culture, management systems, etc. vary from system to system (Fernandez, 2010).

United Kingdom Ministry of Defense SRL (UK MoD SRL)

UK MoD SRL is one of the maturity assessment tools used in Europe. UK MoD SRL evaluates a system development project under nine categories and consists of nine levels. Its comprehensiveness is both a strength and a weakness of the tool since it's time consuming (Bilbro, 2014).

The maturity assessment tools examined so far inform the decision makers about the current situation of the technology, subsystem and/or system, but do not give satisfactory information about the difficulties in improving the current TRL and IRL levels of the system. Next part of the study discusses risk assessment tools developed to overcome this shortcoming.

Risk Assessment Tools

Research and Development Degree of Difficulty (RD3)

RD3 is a five-level metric measuring the projected difficulty level of R&D efforts for improving the current TRL to the desired level (Mankins, 1995). In RD3, technology development efforts should be defined explicitly.

Advanced Degree of Difficulty (AD2)

NASA developed the nine level metric AD2 to consider difficulties in cost, time, and risk dimensions of TRL improvement efforts (Bilbro, 2007b). Being predictive is its strength (Bilbro, 2014). However, it neither considers the integration between critical technologies nor calculates the system risk.

Risk Identification Integration and Ilities (RI3)

RI3 identifies and prioritises technical risks according to the answers of questions under nine categories (U.S.Air Force Technology Development Team, 2008). RI3 evaluates the risk of system development projects at technology, subsystem, and system levels. The ability to use RI3 from technology to system level is its strength. Unfortunately, it is less preferred than other risk assessment tools since the questions are not distinguishing (Bilbro, 2014). Moreover, it does not give any information about system risk.

Evaluation about the Usage of Maturity Assessment Tools in Turkey

Unfortunately, maturity/readiness assessment tools are not deployed sufficiently in system development projects in Turkey. The study of Altunok and Çakmak (2009) measures TRL awareness and utilization of the firms in the Turkish Defense Industry. They find no relationship between TRL awareness and experience in national defense procurement projects and conclude that R&D size of a firm does not affect its TRL awareness. To the best of our knowledge there is no other study in this context in Turkey. Since it is the most common tool in this field, we can generalize these conclusions about TRL and conclude that other assessment tools are not used effectively in Turkey.

Conclusion

One of the success criteria of system development projects is the successful usage of new and underpinning technologies. Several approaches have been used to reduce the risks in developing such technologies. One of them is maturity assessment tools such as TRL, IRL, MRL, and SRL. They provide useful information about current maturity of a technology but not about R&D efforts required for developing the technology. Some tools used for measuring such R&D efforts are RD3, RI3, and AD2. These tools give technology-based information to decision makers and are insufficient for a holistic evaluation of the projects comprised of subsystems and systems.

The deficiency of current maturity assessment tools in determining risks and substantial R&D efforts necessitates developing new assessment tools. New approaches integrating the maturity and risk assessment tools will definitely provide accurate information to decision makers.