

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MODÜLERLİĞİN GERÇEK OPSİYONLARLA
DEĞERLENDİRİLMESİ:
ROKET MODÜLERLİĞİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uçak Müh. Kemal BARUT

Anabilim Dalı : SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ

Programı : STRATEJİ GELİŞTİRME

MAYIS 2004

**MODÜLERLİĞİN GERÇEK OPSİYONLARLA
DEĞERLENDİRİLMESİ:
ROKET MODÜLERLİĞİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uçak Müh. Kemal BARUT

514011066

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Mayıs 2004**

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Seçkin POLAT

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Tufan Vehbi KOÇ (İ.T.Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Ferhan ÇEBİ (İ.T.Ü.)

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

Günümüz dünyasında, küreselleşmenin hız kazanması, teknoloji alanındaki kapsamlı gelişmeler, ürün pazarlarındaki rakiplerin pazar paylarını geliştirmek için sürekli ürün yenileme çalışmaları içinde bulunması, müşteri beklentilerini de artırmakta ve ürünlerin mümkün olan en kısa sürede, en yüksek kalitede ve çok çeşitli müşteri beklentilerine hitap edecek tarzda üretilmesini gerektirmektedir. Savunma teknolojileri alanında da bu durum aynen geçerlidir.

Bu çalışmadaki amacım, savunma teknolojilerinde önemli bir yere sahip olan roket geliştirme çalışmalarına modülerlik çerçevesinden bakarak, değişen koşullara kolay adapte olacak modüler bir roket yapısının önerilmesi ve söz konusu yapının sahip olduğu modüllerin ürün değerine katkısını ölçmektir.

Bu tezin hazırlanmasında bana yol gösteren ve çalışmamda bana destek olan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Seçkin Polat’a, roket modülerliği üzerine yapılan çalışmalarla ilgili kaynak bulmam konusunda yardımcı olan Sayın Dr. Jordi Molas-Gallart’a; çalışmayı oluşturuncaya kadar geçen süreç içerisinde manevi destekleriyle her an yanımda olan başta Avukat Özgür Karaca ve Üsteğmen Çağlayan Altuntaş olmak üzere tüm arkadaşlarıma; tez savunmamdaki pozitif tutumları ve tezimle ilgili belirttikleri değerli görüşleri nedeniyle tez jürilerim Sayın Doç. Dr. Tufan Vehbi Koç’a ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Ferhan Çebi’ye teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, her şeyin ötesinde benim bugünlere ulaşmamı sağlayan ve hayatımın her devresinde gerek maddi-manevi destekleri, gerekse sevgileriyle her an yanımda olan, başta **babam** olmak üzere, **sevgili aileme** sonsuz teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunarım.

Mayıs 2004, İstanbul

Kemal BARUT

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. MODÜLERLİK	3
2.1. Modülerliğin tanımı	3
2.2. Modülerlikle ilgili bazı temel kavramlar	4
2.2.1 Modül	4
2.2.2 Platform	4
2.2.3. Arayüz	4
2.3.4. Arayüz Mekanizmaları	5
2.3.5. Fonksiyon	6
2.3.6. Kısıtlar	6
2.3.7. Özellikler	6
2.3.8. Varyant ve ürün ailesi	7
2.3.9. Gevşek bağlılık	7
2.3.10. Parçalı fonksiyonellik (granularity)	7
2.3.11. Görünür ve gizli tasarım parametreleri	8
2.3. Modülerliğin esası	9
2.4. Ürün mimarileri	11
2.4.1 Modüler ve entegre ürün mimarilerinin karşılaştırılması	12
2.5. Modülerlik sınıflandırmaları	15
2.6. Modül ve etkileşimlerine göre modülerlik çeşitleri	16
2.7. Modülerlik seviyeleri	17
2.7.1. Bileşen seviyesi	17
2.7.2. Modül seviyesi	18
2.7.3. Alt-sistem seviyesi	18
2.7.4. Sistem seviyesi	18
2.8. Modülerliğe ihtiyaç duyulma nedenleri	20
2.9. Modülerliğin sağladığı avantajlar	23
2.10. Modülerliğin dezavantajları	27
2.11. Modülerlik örnekleri	27
2.11.1. Rolls-Royce'un uçak motoru örneği	28
2.11.2. Microsoft'un işletim sistemi örneği	28
2.11.3. Boeing'in Delta IV roketleri örneği	30
2.11.4. Nokia'nın mobil telefon örneği	30

3. GERÇEK OPSİYON ANALİZİ	32
3.1 Giriş	32
3.2. Finansal opsiyon teorisi	33
3.2.1. Finansal opsiyon çeşitleri	33
3.2.1.1. Alım opsiyonu	33
3.2.1.2. Satım opsiyonu	34
3.3. Opsiyonların Black-Sholes modeliyle fiyatlanması	35
3.4. Gerçek opsiyonların tanımı	35
3.5. Gerçek opsiyon çeşitleri	36
3.6. Gerçek opsiyonların uygulama örnekleri	37
3.7. Senaryo planlama ve gerçek opsiyon analizi ilişkisi	38
3.7.1. Senaryo Planlama	38
3.7.1.1 Senaryo Planlama adımları	40
3.7.2. Gerçek Opsiyon Analizi	42
3.7.3. Senaryo Planlama – Gerçek Opsiyon Analizi ilişkisi	45
3.7.4. Bütünleşik yaklaşım	45
3.7.4.1. Adım.1: Senaryo Planlama	45
3.7.4.2. Adım 2. Fotoğrafların belirlenmesi	46
3.7.4.3. Adım 3. Gerçek opsiyon yatırımlarının belirlenmesi	48
3.7.4.4. Adım 4. Uygulama	50
3.7.5. Bütünleşik yaklaşımın değerlendirilmesi	51
4. ROKET TEKNOLOJİSİ ve BALİSTİK FÜZE SAVUNMASI	52
4.1. Giriş	52
4.2. Balistik füze karakteristikleri	53
4.3. Balistik füze savunması	54
4.4. Saha Balistik Füze Savunması (Theater Ballistic Missile Defense)	55
4.5. Balistik füze tehdidinin gelişimi ve gerçekler	57
4.6. Tehdit değerlendirmesinin değişik boyutları	58
4.6.1. Tehdidin değerlendirilmesi	59
4.6.2. Kısıtlamalar ve belirsizlikler	60
4.7. TBM’lerin olağan sınıflandırması	60
4.7.1. Maksimum menzil	61
4.7.2. Savaş Başlığı çeşitleri	61
4.7.2.1 Konvensiyonel / konvensiyonel olmayan savaş başlıkları	62
4.7.3. Dairesel Hata Olasılığı (DHO)	63
4.7.4. Tasarım elemanları	63
4.7.5 TBM’ler için örnek bir sınıflandırmasına	63
4.8. Tehdit değerlendirmesi için olası bir model	66
5. ROKET MODÜLERLİĞİ UYGULAMASI VE GERÇEK OPSİYONLARLA DEĞERLENDİRİLMESİ	69
5.1. Giriş	69
5.2. Roket modülerliği çalışmalarının kısa bir özeti	69
5.3. Roket modülerliği için alternatif bir uygulama	71
5.3.1. Savaş başlığı modülü	72
5.3.2. Arama/tanımlama/izleme modülü	73
5.3.3. İtici (Roket Motoru) modülü	75
5.3.4. Roket Lülesi modülü	76

5.4. Belirsizliklerin tayini ve belirsizliklerin modüllere etkisi	77
5.5. Tehdit senaryosu oluşturma	77
5.6. Roket ve modüllerin birim maliyetlerinin belirlenmesi	81
5.7. Senaryolar doğrultusunda modülerliğin gerçek opsiyonlarla belirlenmesi	83
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	87
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	92

KISALTMALAR

ABM	: Anti-Ballistic Missile (Anti-balistik füze)
ATAM	: Air-To-Air Missile (Havadan havaya füze)
C³I	: Command, Control, Communications and Intelligence (Komuta, kontrol, muhabere ve istihbarat)
CEP	: Circular Error Probable (Dairesel hata olasılığı)
EO	: Electro-Optical (Elektro optik)
INS	: Inertial Navigation System (Ataletsel seyrüsefer sistemi)
IR	: Infrared (Kızıl ötesi)
GPS	: Global Positioning System (Küresel konumlama sistemi)
SAR	: Synthetic Aperture Radar (Yapay açıklıklı radar)
TBM	: Tactical Ballistic Missile (Taktik balistik füze)
TBMD	: Tactical Ballistic Missile Defense (TBM savunması)
TCT	: Time Critical Target (Kritik zamanlı hedef)
THAAD	: Theater High Altitude Area Defense (Yüksek irtifa saha savunma sistemi)
UAV	: Unmanned Aerial Vehicle (İnsansız hava aracı)

TABLO LİSTESİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1	: Disk sürücüsü için arayüz tanımlama örneği.....	7
Tablo 2.2	: Kaba ve zarif parçalı fonksiyonelliğin karşılaştırılması.....	8
Tablo 3.1	: Senaryo planlama tekniğinin artıları ve eksileri.....	42
Tablo 3.2	: Gerçek opsiyon analizinin artıları ve eksileri.....	44
Tablo 3.3	: Çevre belirsizliklerinin 3 farklı boyutu.....	47
Tablo 3.4	: Belirsizliklerin portföye etkisi.....	48
Tablo 3.5	: Gerçek opsiyonların belirsizlikler ışığında değerlendirmesi.....	50
Tablo 5.1	: Tehditle ilgili belirsizlikler ve modüllere etkileri.....	77
Tablo 5.2	: Olası saldırı senaryoları.....	79
Tablo 5.3	: Tehdit füzelerini engellemek için kullanılan roketlerin özellikleri ve birim fiyatları.....	81
Tablo 5.4	: Belirsizliklerin ele alınan senaryo için değişkenlik değerleri....	82
Tablo 5.5	: Sırasıyla 1. ve 2. gün için ihtiyaç duyulan entegre roket sayıları.	83

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Modüllerin karma eşlemesiyle oluşan çeşitli ürün varyantları.....	5
Şekil 2.2 : Görünür ve gizli tasarım parametrelerin uygulanması.....	9
Şekil 2.3 : BMW1100RS motosikletinin entegre vites kutusu tasarımı.....	12
Şekil 2.4 : Römork için oluşturulmuş bir fonksiyon yapısı.....	13
Şekil 2.5 : Fonksiyonel öğelerin bileşenlerle birebir eşlendiği modüler römork yapısı.....	14
Şekil 2.6 : Fonksiyonel öğelerin bileşenlerle birden fazla ilişkiyle eşlendiği entegre römork yapısı.....	14
Şekil 2.7 : Etkileşimlerine göre modülerlik çeşitleri.....	17
Şekil 2.8 : Modülerlik seviyelerinin karakteristikleri.....	19
Şekil 2.9 : Pazara giriş süresinin karlılık üzerindeki etkisi.....	21
Şekil 2.10 : Ürün çeşitliliği ile müşteri memnuniyetinin sağlanması.....	26
Şekil 2.11 : Windows CE modüler mimarisi.....	29
Şekil 2.12 : Modüler Delta IV ürün ailesi.....	30
Şekil 2.13 : Küresel mobil telefon pazarında firmalara göre pazar payı dağılımı	31
Şekil 4.1 : Tehdit ve savunmanın zaman içerisindeki süreç akışı.....	59
Şekil 4.2 : Çeşitli yapılarda motor alternatifleri.....	64
Şekil 4.3 : İki boyutlu TBM ilişki matrisi.....	65
Şekil 4.4 : TBM karakteristiklerinin üç boyutlu ilişkisel gösterimi.....	65
Şekil 4.5 : Olası tehdit değerlendirmesi için sıralama modeli.....	67
Şekil 5.1 : Fonksiyonel öğelerin roket bileşenleri ile birebir ilişkilendirilmesi..	71
Şekil 5.2 : Modüllere ayrılmış roket.....	71
Şekil 5.3 : Paralı yük kısmı değişebilen savaş başlığı örneği.....	73
Şekil 5.4 : GPS/INS sisteminin sağladığı hedefe yaklaşım hassaslığı.....	74
Şekil 5.5 : Çeşitli yakıt kesitlerinden elde edilen itki profilleri.....	75
Şekil 5.6 : Çeşitli lülelerin değişik itki yönlendirme düzenekleri.....	76
Şekil 5.7 : Ülkelerin ve savunma / tehdit alanlarının yayılımı.....	78
Şekil 5.8 : Tehdit füzelerinin rampalardaki konuşlandırılması.....	80
Şekil 5.9 : Roket bileşen maliyetlerinin toplam ürün maliyetindeki oranları	81
Şekil 5.10 : Roketlerin modüllerden oluşturulması.....	84

MODÜLERLİĞİN GERÇEK OPSİYONLARLA DEĞERLENDİRİLMESİ: ROKET MODÜLERLİĞİ ÖRNEĞİ

ÖZET

Modülerliğin roket teknolojisinde uygulanmasının incelendiği ve roketin modüler mimariyle üretilmesinin sağlayacağı stratejik esnekliğin gerçek opsiyon analizi ve senaryolarla bütünleşik olarak ölçülmeye çalışıldığı bu çalışmada, klasik roket modülerliği uygulaması olan iki parçalı rokete alternatif bir yapı önerilmiş, oluşturulan senaryolarla da opsiyonların değerlendirilmesi yapılmıştır.

İkinci bölümde, modülerlik yaklaşımı, modülerliğin genel kavramları, modülerlik sınıflandırmaları ve uygulama alanlarına değinilerek modülerlik hakkında genel bir bakış açısı kazandırma hedeflenmiştir.

Üçüncü bölümde gerçek opsiyon analizinin tanımlaması yapılmış, gerçek opsiyon çeşitleri üzerinde durulmuş, opsiyon analizi alanında en çok kullanılan Black-Sholes modelinden bahsedilerek opsiyon analizi uygulamalarından örnekler verilmiş ve gerçek opsiyonların stratejik esnekliğe olan katkısı üzerinde durulmuştur. Ayrıca belirsiz gelecekle ilgili olası senaryolar oluşturarak karar verme sürecine katkı sağlayan senaryo planlama tekniğinden bahsedilmiş, senaryo planlama tekniği ile gerçek opsiyonlar arasındaki ilişki incelenerek nitel bir gerçek opsiyon değerlendirme modeli tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde askeri amaçlı roket teknolojisinin geçmişi ve şu anki durumu araştırılmış, artan balistik füze tehdidi ve önlenmesi için kurulması gereken savunma sistemlerinin özelliklerinden bahsedilmiş ve tehdit değerlendirmenin çeşitli boyutları incelenmiştir.

Beşinci bölümde, önceki bölümlerde bahsedilen roket modülerliği, senaryo planlama ve gerçek opsiyonların ortak kullanıldığı bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Altıncı ve son bölümde çalışmayla ve çalışmada kullanılan yöntemlerle ilgili genel düşünceler belirtilmiş ve çalışmadan elde edilen sonuçlar verilmiştir.

THE VALUATION OF MODULARITY BY USING REAL OPTIONS: MISSILE MODULARITY CASE

SUMMARY

In this study, application of modularity in rocket technology was investigated and strategic advantage gained by producing rockets in modular architecture was also questioned. Rather using classical modular rocket architecture formed by two components, an alternative modular architecture was suggested and the option valuation of the modules was done with scenarios created.

In the second chapter, modularity approach, general modularity concepts, classification of the modularity and its application area was mentioned, and by doing this, its aimed to obtain a general approach about modularity.

In the third chapter, the definition of real option analysis was given, and Black-Sholes model which was widely used in valuation of real options was given. Also some examples about option analysis was given and the contribution of real options to strategic flexibility was questioned. Besides this, scenario planning technique which creates possible scenarios about future environment to reveal the uncertainties of the future, was identified and the relationship between scenario planning and real options analysis was investigated. A qualitative method which was used to value the real options was also introduced.

In the fourth chapter, the history and the current situation of the rocket technology used for military purposes was mentioned, and the growing ballistic missile threat and the characteristics of the defense systems, that had to handle this threat was argued. Also different aspects of threat assessment was also given.

In the fifth and sixth chapter, a joint application of rocket modularity, scenario planning and real options was realized and the general ideas about the methods researched in this study and the results of the joint application was also given at the end of the study.

1. GİRİŞ

Gerek içinde yaşadığımız dünyanın doğası, gerekse ürün pazar ortamları oldukça dinamik bir yapıya sahiptir. Zaman içerisinde gerçekleşen değişim ve yeniliklere adapte olabilmek için dünya üzerindeki canlılarda olduğu gibi organizasyonlarda çeşitli adaptasyon teknikleri geliştirmişlerdir. Organizasyonel açıdan bakıldığında, müşteri isteklerinde gözlenen artış ve çeşitlilik, ürünün pazara mümkün olan en kısa sürede sunulması gerekliliği ve rekabetçi ortamda ürün performansının sürekli geliştirilme zorunluluğu firmaları çeşitli çözümler bulmaya itmiştir. Modülerlik de bu çözümlerden biridir. Günümüzde ürün ve hizmetler incelendiğinde büyük bir bölümünün alt sistemlerden veya bileşenlerden oluştuğu görülür. Küreselleşme, gümrüklerin kalkması, müşteri beklentilerinde artış, İnternet, bilişim ve taşımacılık teknolojilerindeki gelişmeler, yeni ürün geliştirme çalışmalarında olduğu gibi organizasyonların tasarladıkları ürünlerde ve tedarik zincirlerinde karmaşıklığı da beraberinde getirmiştir.

Yüksek teknolojiye sahip firmaların (elektronik, bilgisayar firmaları gibi) çoğu Ar-ge (Araştırma ve geliştirme) yönetimi, üretim ve tedarik zinciri yönetimlerinde yeni yaklaşımlar geliştirmek zorunda kalmıştır. Ürün geliştirme sürecini en aza indirmek, düşük maliyetle yeni ürün varyantları oluşturarak piyasaya en kısa sürede sunmak ve aynı üretim hattından etkin ve başarılı yeni ürün hatları oluşturmak üzere bir çok firma modülerliği ve modüler ürün mimarisi seçeneğini benimsemiştir.

Roket teknolojisi savunma teknolojileri içerisinde en büyük öneme sahip teknoloji olma özelliğini taşımaktadır. 2. Dünya Savaşı'nda V-1 roketleriyle ortaya çıkan balistik füzeler zamanla teknolojinin de gelişmesiyle daha yıkıcı ve karşı tedbirlere karşı daha dayanıklı hale gelmiştir. Roket teknolojilerindeki bu gelişme savunma çabalarında da gelişmelere yol açmış 2. Dünya Savaşı'nda roketleri düşürmek için kullanılan uçak savarlar günümüzde yerini engelleyici roket sistemlerine bırakmışlardır. Son Körfez Savaşı'nda da görüldüğü üzere roketler karşısında etkili bir savunmaya ihtiyaç vardır ve bu sistemlerin kurulması çok yüksek maliyet gerektirmektedir.

Roket modülerliğinin gerek roket üreticilerine gerekse roket alıcıları açısından çeşitli katkıları bulunmaktadır. Üreticiler açısından bakıldığında, daha düşük geliştirme ve üretim maliyetleriyle daha geniş bir müşteri kitlesine hitap etme özelliğine sahip olacaklardır. Alıcılar açısından bakıldığında, satın alınan roket modülleri değişik hedeflere karlı kullanılabilir, teknolojik gelişmeler de gerek duyulduğunda en az maliyetle roket modüllerine aktarılabilir.

Yüksek belirsizlik ortamlarında esnek silahlara sahip olmanın büyük bir getirisi bulunmaktadır. Hem belirsizlik çözüldüğünde elinizde kullanabileceğiniz fırsatlar bulunur hem de esnekliğe sahip olmayan bir silah sisteminin değişen ortamda kullanılamama riskini ortadan kaldırır. Modülerliğin uygulama da stratejik esneklik sağlaması ve çeşitlilik üretmesi, gerçek opsiyon analizin araştırma konusu olan yatırım opsiyonları ile örtüşmektedir.

Bu çalışmada daha önceki roket modülerliği uygulamaları incelenerek, alternatif bir modüler roket yapısı önerilerek, roket modüllerinin sağlayacağı opsiyon değerleri senaryo planlama tekniğinin de yardımıyla hesaplanmaya çalışılacaktır. Her ne kadar roket teknolojisi askeri bir konu olduğu için modül maliyetleri konusunda kayda değer bilgi edinilememiş olsa da, çalışmada tahmini değerler kullanılarak bir hesaplama yapma yolu izlenecektir.

2. MODÜLER TASARIM

2.1. Modülerliğin tanımı

Modülerlik hakkında literatürde, kapsam ve uygulama alanı farklılık göstermekle birlikte bir çok tanımlama mevcuttur. Aşağıda, literatürdeki farklı kaynaklardan alınmış modülerlik tanımlamaları yer almaktadır.

Modülerlik, ayrıştırılmaya yatkın bir sistemi oluşturan gevşek bağlı (loosely coupled) bileşenler arasındaki hiyerarşik koordinasyonu sağlayan bir tasarım şeklidir (Sanchez ve Mahoney, 1996).

Modülerlik, bir ürünün bağımsız bileşenlerine ayrılarak standartlaştırılması, aynı bileşenlerinin de farklı varyantların oluşturulmasında kullanılabilmesidir (Huang, 1997).

Modülerlik, belirli bir ürün ailesine ait ürünlerin her biri için bir dizi alternatif oluşturmak üzere, alternatif modül tiplerini bir araya getirmektir (O'Grady, 1999).

Modülerlik, tasarım parametreleri ve görevleri modül içinde bağımlı, modüller arasında ise bağımsız olan bir tasarım yapısıdır (Baldwin ve Clark, 2000).

Modülerlik, yönetimi oldukça zor olabilecek karmaşık bir sistemin, standartları belirlenmiş bir yapı gereği, yine sadece standartları belirlenmiş arayüzlerle iletişim sağlayacak şekilde ayırık parçalara bölünmesini gerektiren, karmaşıklığı yönetmek için oluşturulmuş kurallar bütünüdür (Langlois, 2000).

Modülerlik, bir sistemin bileşenleri arasındaki organizasyonunun, bu bileşenlerin rahatlıkla ayrıştırılması ve istendiğinde aynı rahatlıkla ve farklılaşmış olarak bir araya getirilmesi ve bunun da en düşük maliyetle yapılabilmesi için, sahip olduğu hiyerarşik yapısıdır (Asan, 2001).

Modülerlik, ürün ve süreç mimarilerinin değişen pazar koşullarına süratle adapte olmasını sağlayan, bu haliyle de organizasyonların stratejik esnekliğini geliştiren bir yoldur (Sanchez, 2002).

Yukarıdaki tanımlamalar ışığında modülerliğin genel bir tanımı yapılacak olursa: “Modülerlik, ayrıştırılmaya yatkın bir sistemin, birbirinden bağımsız olarak değişimi, geliştirimi yapılabilecek alt bileşenlere ayrılması, bu bileşenlerin birbirleriyle ilişkilerinin ve iletişim şeklinin ortaya konacağı bir mimarinin oluşturulması, bileşenlerin farklı alternatiflerinin bir araya getirilmesi sonucu ürünün değişik ürün ailesinin oluşturulmasına olanak sağlayan bir süreç ve kavramdır.

2.2. Modülerlikle ilgili bazı temel kavramlar

Bir önceki bölümde verilen modülerlik tanımlarında da yer aldığı üzere, modülerlikle ilgili bir takım temel kavramlar bulunmaktadır. Bu bölümde, modülerliğin temelini oluşturan: modül, platform, arayüz, varyant, ürün ailesi, gevşek bağlılık, parçalı fonksiyonellik (granularity), görünür ve gizli tasarım parametreleri konularından kısaca bahsedilecektir.

2.2.1. Modül

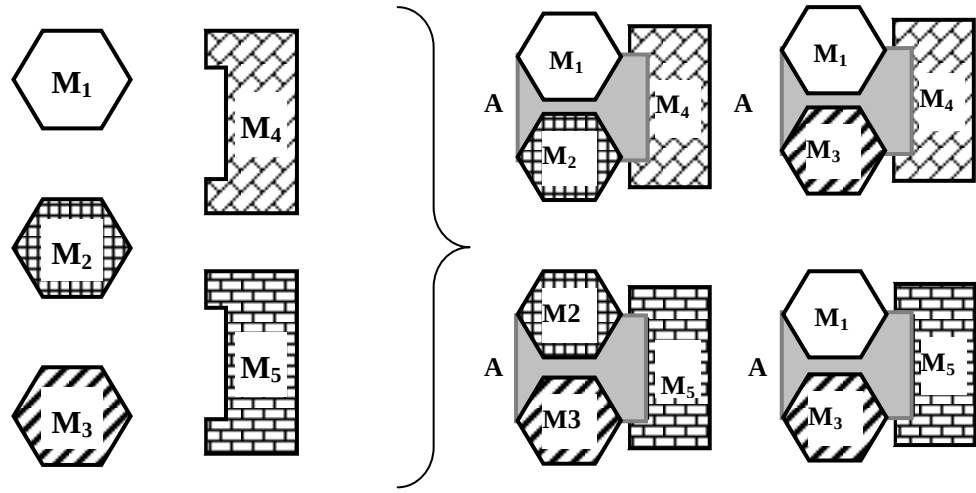
Modüller, bir üründe en az bir fonksiyonu üstlenen, aynı ürün ailesi içinde değişik ürün kombinasyonlarını oluşturmak üzere bir araya getirilen, yapısal olarak birbirlerinden bağımsız olup aralarındaki iletişimi arayüzlerle sağlayan, farklı alternatifleri olan bileşenlerdir. Modüller sistemleri oluşturan alt parçalar oldukları gibi kendileri de sistemlerden oluşabilmektedir. Sahip oldukları gevşek bağlılık (loosely-connected) özelliği sayesinde her bir modülün diğerlerinden bağımsız olarak geliştirilmesi ve performansının artırılması mümkündür. Modül tanımında; arayüzler, arayüz mekanizmaları, modülün fonksiyonu ve çalışma kısıtları gibi dört temel husus mevcuttur.

2.2.2. Platform

Ürün ailesini oluşturan ürün modüllerinin, üzerinde birleştirilmesinde kullanılan ortak yapıya platform adı verilir (bilgisayar kasası, otomobil şasisi gibi).

2.2.3. Arayüz

Arayüz, bir sistemde yer alan bileşenlerin birbiri arasındaki ve sistemle olan etkileşimlerini tanımlamaktadır. Arayüz, modüler yapılarda modüllerin birbirleriyle iletişim ve etkileşimini sağlaması nedeniyle modüler yapının en önemli kavramını, modülerleştirme sürecinin de ilk adımını oluşturmaktadır (Şekil 2.1).



M_i = Modül ($i=1,...,5$), A = Arayüz

Şekil 2.1 Modüllerin karma eşlemesiyle oluşan çeşitli ürün varyantları

2.2.4. Arayüz Mekanizmaları

Arayüz mekanizmaları 3 farklı tip şeklinde karşımıza çıkmaktadır (O'Grady, 1999):

Mekanik: Modüllerin birleşiminde kullanılan mekanik kısımlardır. Daha çok boyutları, konumları, yük taşıma özellikleri, ısı iletkenlikleri gibi malzemeye ve tasarım şekline ilişkin tasarım problemleri bulunmaktadır. Bir modülün diğerine montesinde kullanılan vida, sürgü ve menteşe bu tür mekanizmaya basit birer örnektir.

Elektrik: Voltaj, kutupluluk, akım taşıma kapasitesi, gerilim dalgalanması gibi elektrikle ilgili tasarım parametrelerine bağlı arayüzlerdir. Ürünlerin farklı ülkelerde uygulanan farklı voltajlarda çalışmasını sağlayan voltaj dönüştürgeci bu mekanizmaya bir örnektir.

Veri: Yazılım modülleri gibi verisel tasarım parametrelerine sahip arayüzlerdir. MPEG ya da DIVX uzantılı dosyaları görüntülemek için programa ilave edilen "codec"ler, kurumsal uygulama bütünleştirmesi uygulamalarında farklı bilgisayar uygulamalarının birbirleriyle iletişimlerinde kullanılan arayüzler bu gruba girmektedir.

Bazı modüller yukarıda belirtilen arayüz mekanizmalarından birine sahipken; bazıları birden fazla mekanizmaya da sahip olabilir (cep telefonlarını şarj etmek için kullanılan şarj aletleri hem mekanik hem de elektrik arayüz mekanizmasına bir örnek iken dijital kameralarda veri transferinde kullanılan data kabloları da mekanik, elektrik ve veri mekanizmalarının bir arada görüldüğü bir örnektir).

2.2.5. Fonksiyon

Bir modülün, oluşturduğu ürünün performansını sergilemesi için gerçekleştirdiği göreve fonksiyon denmektedir. Modüller üründe en az bir fonksiyonu yerine getirecek şekilde tasarlanırlar.

2.2.6. Kısıtlar

Kısıtlar, bir modülün kendisinden beklenen şekilde çalışmasını etkileyebilecek durum ve koşulları belirleyen parametrelerdir. Kısıtlar, özellikle modül tasarımı sırasında ele alındığında, modülün üründe üstleneceği görevi istenen şekilde yerine getirip getirmeyeceğinin bilinmesini sağlaması açısından oldukça önemlidir. Bir modül için göz önüne alınması gereken kısıtlara örnek vermek amacıyla, bilgisayar oluşturulan modüllerden bir tanesi olan anakart ele alınırsa, kısıtlar;

- Çalışma sıcaklığı,
- Çalışma ortamındaki elektriksel alan büyüklüğü,
- Modüller arası veri iletişim hızı ve veri yolu büyüklüğü,
- Çalışma akım ve voltaj değerleri,
- Çalışma sırasında maruz kalınacak yükler (basınç, titreşim, vb.)
- Durmaksızın çalışma süresi,
- Üzerinde taşıyacağı minimum/maksimum modül sayısı, vb.

şeklinde ele alınabilir. Buradaki kısıtlardan da görüleceği üzere, üründen beklenen performansın alınabilmesi için, ürün ve çalışma koşullarının bir bütün olarak düşünülmesi, modüllerin kısıtlarının da ürün performansını etki etmeyecek seviyeye çekilmesi sağlanmak zorundadır.

2.2.7. Özellikler

Bir modülün özellikleri, çalışma karakteristikleri ve kendisinden beklenen görevlerle doğrudan ilintilidir. Anakart örneğimize geri dönecek olursa bir anakart için özellikler; veri transfer hızı, sahip olduğu kart yuvası sayısı, desteklediği ürün ailesi, kullanım ömrü, ön bellek büyüklüğü olarak belirlenebilir. Tablo 2.1’de bir disk sürücüsüne ait arayüz mekanizması, fonksiyonlar, kısıtlar ve özelliklerine ilişkin bilgiler yer almaktadır.

Tablo 2.1 Disk sürücüsü için arayüz tanımlama örneği (O’Grady, 1999).

Arayüz mekanizması	<i>Mekanik mekanizma:</i> Sürücünün dış boyutları ve sürücüyü tutturmak için kullanılan vida deliklerinin konumları <i>Elektrik mekanizması:</i> Güç ünitesi ve gerekli elektrik bağlantıları <i>Veri mekanizması:</i> Veri arayüz tipi, Kablo data bağlantıları, veri transfer oranı, veri kanalları
Fonksiyon	Veri depolama
Kısıtlar	Çalışma sıcaklığı aralığı, maksimum nem seviyesi, maksimum kuvvet yükleri, Voltaj seviyesi ve voltaj dalgalanma aralığı
Özellikler	Veri depolama kapasitesi, ortalama çalışma ömrü, ortalama veri ulaşım zamanı

2.2.8. Varyant ve ürün ailesi

Modüllerin farklı birleşimleri sonucu elde edilen her bir alternatif ürüne varyant; varyantların oluşturduğu ürün topluluğuna da ürün ailesi adları verilmektedir. Ürün ailesi ve varyanta örnek vermek gerekirse; objektifleri değişebilen, farklı fotoğraf filmleriyle çekim yapabilen, flaş takılıp çıkarılabilen bir fotoğraf makinesi ailesinde her bir fotoğraf makinesi kombinasyonu bir varyantı oluşturmaktadır.

2.2.9. Gevşek bağlılık

Bir sistem ya da ürün içerisinde yer alan alt bileşenlerde yapılan değişikliklerin sistemin ya da ürünün normal işleyişini görece etkilememesi durumuna gevşek bağlılık adı verilir. Burada, birbirleriyle uyum içerisinde çalışan, dolayısıyla sistem genelinde birbirine bağımlı; değiştirilmeleri durumunda ürünün çalışmasını negatif yönde etkilememesiyle de birbirinden bağımsız olduğundan söz edebileceğimiz bileşenler söz konusudur ki bu durum modülerlik kavramının esasını oluşturmaktadır.

2.2.10. Parçalı fonksiyonellik (granularity)

Parçalı fonksiyonellik, bir modülün fonksiyonelliğini tanımlamaktadır Yüksek derecede fonksiyonellik içeren büyük bir modül, kaba (coarse) parçalı fonksiyonel olarak

tanımlanırken; tersi durumda zarif (fine) parçalı fonksiyonel olarak tanımlanmaktadır (O’Grady, 1999).

Kaba parçalı fonksiyonelliğe sahip bir ürün, zarif parçalı fonksiyonelliğe sahip ürüne oranla daha az modülden oluştuğu için, daha az birleştirme gereksinimine ihtiyaç duyacak dolayısıyla da daha az maliyet gerektirecektir. Buna karşın daha az modülden oluşan kaba parçalı fonksiyonel ürün daha az varyant oluşturacağından, zarif parçalı fonksiyonel ürüne nazaran daha dar kapsamlı bir ürün ailesine sahip olacaktır. Kaba ve zarif parçalı fonksiyonelliğin karşılaştırılması Tablo 2.2’de verilmiştir.

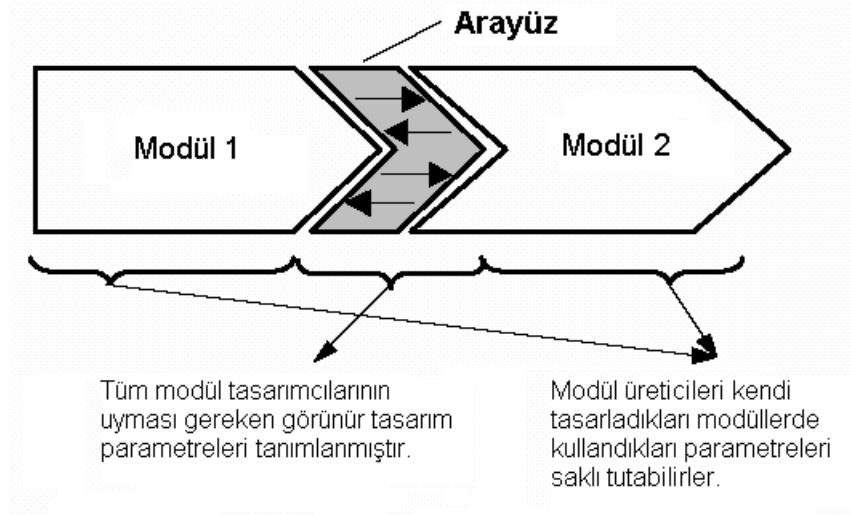
Tablo 2.2 Kaba ve zarif parçalı fonksiyonelliğin karşılaştırılması (O’Grady, 1999).

	Kaba fonksiyonellik	Zarif fonksiyonellik
Fonksiyonellik	Yüksek	Düşük
Modül karmaşıklığı	Yüksek	Düşük
Ürün çeşitliliği	Düşük	Yüksek
Modül bağlantıları	Az	Çok
Güvenilirlik	Yüksek olma eğilimli	Düşük olma eğilimli
Birleştirme maliyeti	Düşük	Yüksek

2.2.11. Görünür ve gizli tasarım parametreleri

Görünür tasarım parametreleri, ürünün tasarımında göz önüne alınan standartlar, modüller arası ilişkiler, ürün mimarisi ve arayüzler gibi parametrelerdir. Söz konusu parametrelerin açık olmasının sebebi, özellikle ürünün modüllerinin farklı üreticiler tarafından üretildiği durumlarda modülün, sistemin işleyişine ayak uydurabilmesi için ne tür koşulları taşıması gerektiğinin üreticilerce bilinmesinin sağlanmasıdır. Gizli tasarım parametreleri ise modüllerin kendi işlevlerini yerine getirmeleri için tasarım grubunun belirlediği modül içi parametrelerdir. Görünür tasarım parametrelerinden farklı olarak, gizli tasarım parametreleri genelde sadece modülü geliştirme çalışmalarını yürütenlerin bilgi sahibi olduğu, modülün rekabet gücünü

yükseltici parametrelerdir. Şekil 2.2’de görünür ve gizli tasarım parametrelerinin modüler ürün oluşturmada kullanımı görülmektedir.



Şekil 2.2 Görünür ve gizli tasarım parametrelerin uygulanması (Asan vd., 2002).

Görünür ve gizli tasarım parametrelerine örnek olarak bir süspansiyon sistemini ele alalım. Bu sistem için belirlenmiş görünür tasarım parametreleri 10 Tonluk bir aracın, 90 km/s hız ile giderken 10 cm derinlikli bir çukura girmesi durumunda aracın hasar almaması ve oluşacak etkinin 2-5 sn. içinde sönümlenmesi senaryosunu gerçekleyecek şekilde verilebilir. Ayrıca süspansiyon sisteminin dış boyutları, nerelerden araca bağlanması gerektiği de yine görünür tasarım parametreleri olarak ortaya çıkarken, süspansiyon sisteminin iç mekanizması tamamen modül tasarımcısının inisiyatifine bırakılmış olabilir. Bu durumda görünür tasarım parametrelerine uyduğu sürece tasarımcı, modül içinde istediği gizli parametreleri kullanma özgürlüğüne sahiptir.

2.3. Modülerliğin esası

Microsoft, Boeing, Chrysler, Ford vb. şirketlerin artan müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için uygulamış oldukları çözüm modülerliktir. Bu çözüm, söz konusu firmaların ürün çeşitliliğinin artmasına; ürün geliştirme sürecinin kısılmasına ve maliyetlerle sermaye ihtiyacını azaltarak firmaların pazardaki rekabet güçlerini artırmalarına olanak sağlamıştır.

Modülerlik ürünün arayüzlerle birbirlerine bağlantıları sağlanan çeşitli bileşenler halinde üretilmesine olanak sağlamaktadır. Modülün kendi içinde ne derece karmaşık

olduğu modüllerin bir araya getirilmesinde önemli bir husus teşkil etmez. Zira modüler bir üründe esas olan modüllerin basit arayüzler vasıtasıyla bir araya getirilmesinin sağlanabilirliğidir. Arayüzler sayesinde farklı modüller birleştirilerek kısa sürede değişik ürün kombinasyonları elde etmek mümkündür.

Modülerliğin sağladığı avantajların bazıları şunlardır (O'Grady, 1999):

- Ürün geliştirme süresinin kısalması
- Ürün çeşitliliğinin sağlanması
- Yeni ürün geliştirme için ihtiyaç duyulacak sermayenin azalması
- Ürün üretim maliyetlerinin azalması
- Ürün geliştirme kolaylığı

Modülerlik, sonuçları ve sağladığı avantajlar göz önüne alındığında oldukça etkili bir tasarım felsefesi olsa da, modülerliğin uygulaması hiç de kolay bir işlem değildir. Modülerliği uygulamaya koymak isteyen firmalar, öncelikle üretmekte olduğu ürünü ve mevcut üretim kabiliyetlerini yeniden gözden geçirmek zorundadır. Zira karmaşık bir üründen bileşenlere sahip bir ürün elde etmek için her bir bileşenin diğerine nasıl bağlanacağına, bileşenler arası etkileşimin nasıl olacağına kadar yeni bir sistem mimarisi oluşturmak gereklidir ki bunun da belirli bir zamana ve ek maliyete ihtiyaç duyacağı açıktır. Ancak kurallarına uygun olarak başarıyla uygulanması sonucunda sağlanacak stratejik esneklik ve rekabet gücü düşünüldüğünde uygulama için gereken ek ihtiyaçlar oldukça küçük kalmaktadır.

Modülerliğin uygulanması için, tasarımla ilgili bilgilerin görünür tasarım kuralları ve gizli tasarım parametreleri olarak tanımlanması gerekmektedir. Baldwin ve Clark (1997)'a göre, görünür tasarım kuralları tasarım sürecinin henüz başlarındayken tanımlanır ve üç kategoride değerlendirilir:

- Mimari; fiziksel bileşenlerle (modüller) fonksiyonel bileşenleri (fonksiyonlar) eşleştiren bir yapıdır.
- Arayüzler; modüllerin birbirleriyle nasıl birleştirileceklerini, nasıl iletişim kuracaklarını ve nasıl etkileşim sağlayacaklarını ve belirleyen elemanlardır.
- Standartlar; modüllerin tasarım kurallarına ne derece uyduğunun test edildiği, modül performanslarının ölçülmesinde kullanılan ortak kurallardır.

2.4. Ürün mimarileri

Ulrich (1995)'e göre bir ürünün mimarisi, ürün fonksiyonlarının ürün bileşenleriyle eşleşmesini gösteren bir şemadır. Ürün mimarisi, aşağıdaki safhaların gerçekleşmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır.

- (a) Ürünün tüm performansına katkı sağlayan ayırık işlemlerin fonksiyonel elemanlar halinde düzenlenmesi,
- (b) Hangi ürün bileşeninin hangi işlevi yerine getireceğinin tanımlamasının yapıldığı fonksiyonel elemanların fiziksel parçalarla eşlenmesi
- (c) Farklı ürün bileşenlerinin birbirleriyle iletişimini sağlayan arayüzlerin tanımlanması (fiziksel, elektronik, kızıl-ötesi bağlantılar).

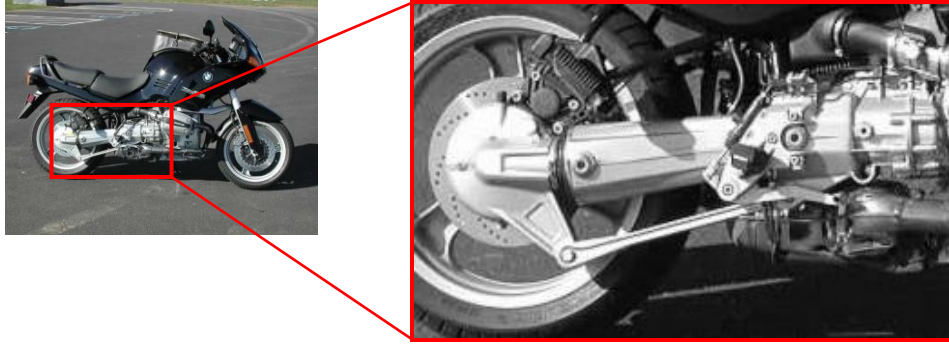
Ulrich (1995), bir ürün mimarisinin modüler mi yoksa entegre mi olduğunu ayırt eden iki özellikten bahsetmiştir: (a) ürünü oluşturan fiziksel nesnelerin fonksiyonel gereksinimlerle eşleştirilmesi (b) Ürün bileşenleri arasındaki etkileşimin ayrıştırılma seviyesi.

Modüler bir mimaride bileşenlerin her biri, bir ya da birden çok fonksiyonel unsuru yerine getirir. Ürün bileşenleri arasındaki etkileşim açıkça belirlenmiştir. Entegre bir mimaride ise fonksiyonel unsurlar ve ürün bileşenleri arasında karışık bir eşleşme bulunmaktadır. Söz konusu mimaride, ürün bileşenleri arasındaki etkileşimin tanımlanması zayıftır ve birden fazla ilişki gözlenebilmektedir.

Ürün mimarilerinin sahip olduğu özellikler, şirket stratejileri üzerinde farklı etkilere neden olabilmektedir. Modüler bir mimari, ürünün belirli modüllerinde yapılması planlanan değişikliklerin veya ürüne yeni bir modül eklentisinin diğer modüllerden bağımsız olarak gerçekleştirilmesine olanak tanır. Bu nedenledir ki, özellikle ürün çeşitliliğini artırmaya ya da üründe standardizasyonu sağlamaya yönelik stratejileri benimseyen şirketler için modüler bir mimari daha uygundur. Entegre bir mimari ise, şirketin ürün stratejisi olarak ürün performansının ön plana çıktığı şirketler için daha uygun olmaktadır. Diğer bir deyişle ürün yapısının modüler mi yoksa entegre mi olacağı, şirketin stratejilerine ve gelişim hedeflerine bağlı olarak şekillenmektedir.

Ulrich ve Eppinger (1995)'de verilen BMW R1100S motosiklet örneği, uygulamada ürün mimarisi seçim kararının nasıl verildiği ve bu kararın etkilerinin ne şekilde oluştuğunu ortaya koymaktadır. Motosikletlerin tasarımında genellikle, şasinin

motosikeye yapısal destek sağladığı; vites kutusunun da güç dönüşüm elemanı olarak işlev gördüğü bir ürün mimarisi göz önüne alınmaktadır. BMW R1100S modelinde ise motosikletin ağırlığının azaltılması, dolayısıyla hareket kabiliyetinin artırılarak yakıttan da tasarruf sağlanması amacıyla vites kutusu modülü, hem yapısal destek sağlayacak hem de güç dönüşüm fonksiyonunu yerine getirecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 2.3). Bu tür tasarım uygulamaları, *fonksiyon paylaşımı* olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.3. BMW R1100RS motosikletinin entegre vites kutusu tasarımı

Yukarıdaki örnekte, genelde modüler mimariyle tasarlanan motosiklet, BMW R1100RS ürününün performans özelliğini artırmak için entegre mimari uygulanarak üretilmiştir. Bu örnek göstermiştir ki, tasarımcıların ürünün hangi parametresini maksimize etme isteğine bağlı olarak, ürünlerin tasarımında modüler mimarinin mi yoksa entegre mimarinin mi kullanılacağına karar verilmektedir. Modüler mimariye sahip bir ürün, değişiklik ve bileşen bazında gelişmelere daha açık iken, entegre yapıdaki bir ürün, en iyi ürün performansına ulaşmada daha uygun bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır.

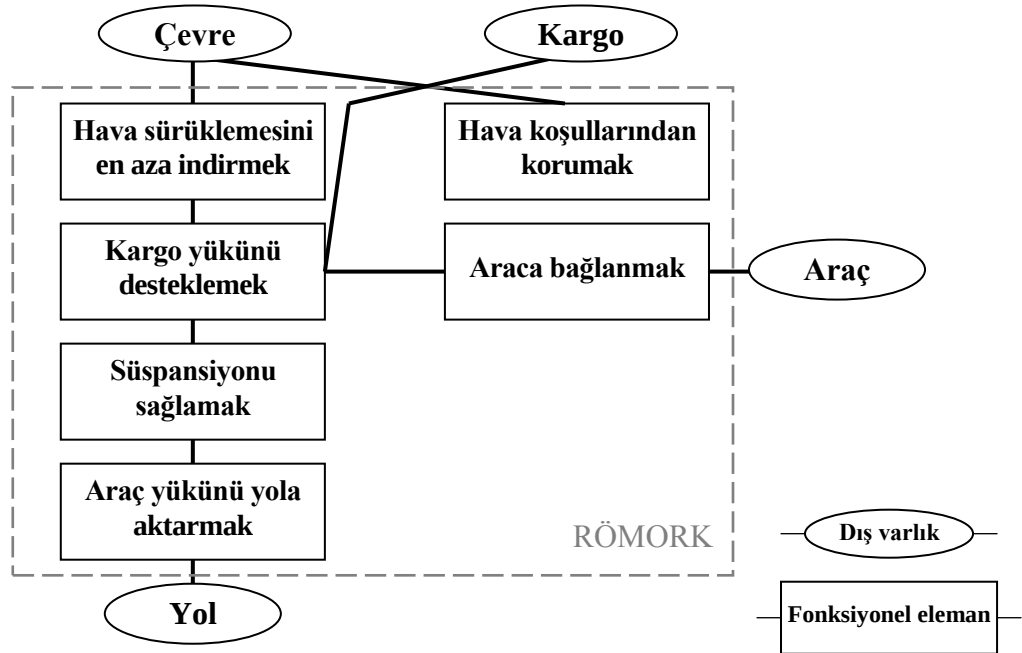
2.4.1 Modüler ve entegre ürün mimarilerinin karşılaştırılması

Clark ve Baldwin (1997)'de belirtildiği üzere, modüler sistemlerin oluşturulmasında, tasarım işinin parçalara bölünüp ayrı ayrı gerçekleştirilmesinden ziyade ürünün iç işleyişi hakkında derin bir bilgiye ihtiyaç duyulması nedeniyle, modüler sistemlerin tasarımı entegre sistemlerin tasarımından daha zordur.

Bazı durumlarda entegre ürün mimarisinin kullanılması daha avantajlı olabilmektedir. Örnek vermek gerekirse, bir helikopter motorunun farklı devir hızlarında helikopterde oluşturacağı titreşim ve gürültü seviyelerinin belirli bir düzeye çekilebilmesi için mühendislerin helikopterin motoru, şasisi, palleri ve bunlar arasındaki bağlantılar

üzerinde derin bir araştırma yapması gerekmektedir. Bu durum helikopter motoru, şasisi, palleri ve diğer bileşenlerin modüller halinde üretilmesi halinde sistemden beklenen özelliklerin sağlanması mümkün olamayacaktır. Zira bu durum bileşenlerin arayüz özelliklerine göre birleştirilmesinden ziyade, bileşenlerin kullanım anındaki etkileşimine müdahale edilebilmesini de gerektirmektedir ki, bu ancak entegre bir yapıyla mümkün olabilir.

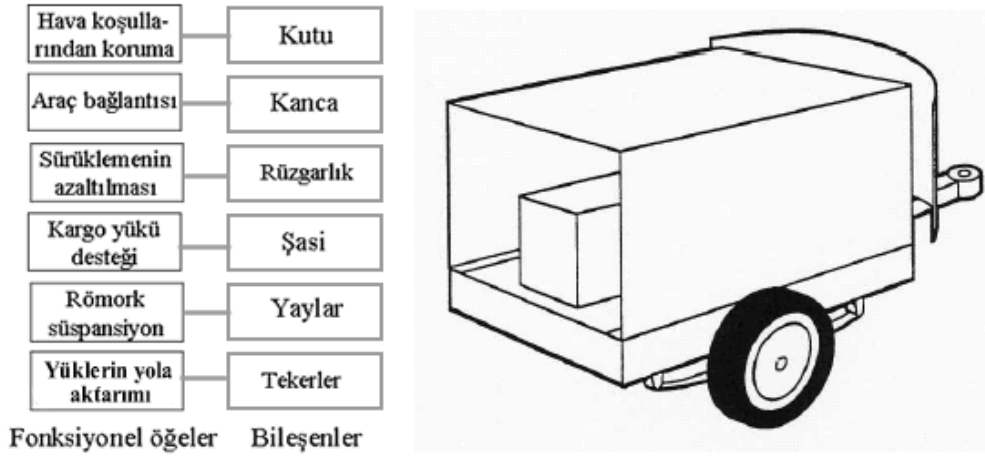
Ulrich (1995), modüler ve entegre ürün mimarilerinin tasarımlardaki rolünü ve etkisini göstermek üzere bir araç römorku tasarımını ele almıştır. Söz konusu araç römorkunun fonksiyon yapısı Şekil 2.4'te verilmektedir. Fonksiyon yapıları farklı seviyedeki beklentilere göre tanımlanmaktadır. En genel anlamda bir araç römorkunun fonksiyon yapısı tek bir fonksiyonel elemandan (kargo kapasitesinin artırılması) oluşmaktadır. Daha ayrıntılı seviyelere inildiğinde fonksiyon yapısı, araç bağlantısı, kargonun hava koşullarından korunması, hava sürtünmesinin en aza indirgenmesi, kargo yüklerinin desteklenmesi, römorkun süspansiyonunun sağlanması ve yüklerin yola aktarımı gibi unsurlarla genişletilerek fonksiyonel elemanlarla eşleştirilebilir.



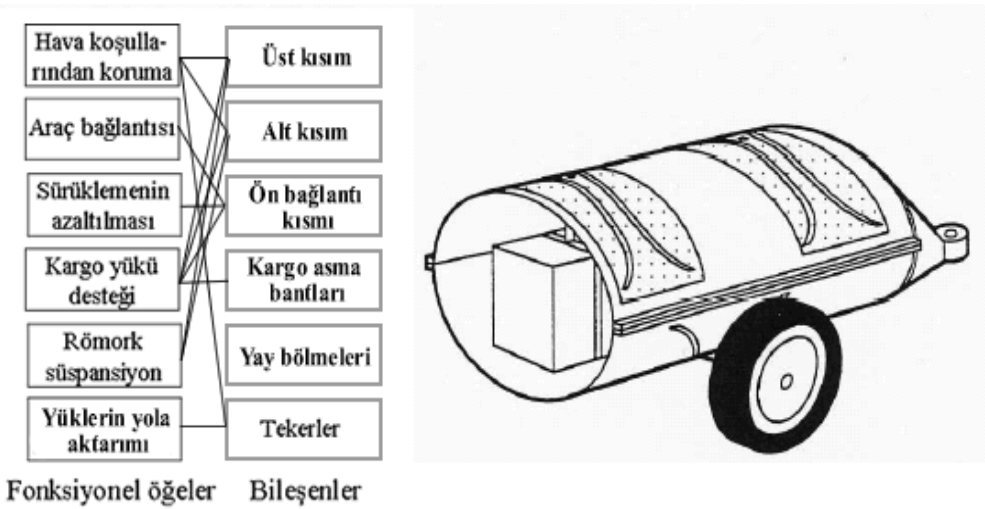
Şekil 2.4 Römork için oluşturulmuş bir fonksiyon yapısı (Ulrich, 1995).

Ürünün fiziksel bileşenleri tanımlanmış fonksiyonel elemanları gerçekleştirmektedir. Fonksiyonel elemanlar ile ürün bileşenlerinin eşlenmesi bire bir, ya da birden fazla eşlenim şeklinde gerçekleşmektedir. Yukarıdaki fonksiyon yapısı uyarınca modüler ve entegre ürün mimarilerine göre tasarlanmış iki farklı römorkun bileşenlerinin

fonksiyonel elemanlarla eşleşmeleri Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’da görülmektedir. Şekillerde görüldüğü üzere modüler mimarili römork, tasarım olarak daha sade ve gelişmelere açık iken; entegre römork değişimlere daha az esnek bir yapıda olmasına karşın daha yüksek performansa (minimum rüzgar direnci, ağırlık, boyutlar) sahiptir. Örnek vermek gerekirse, bir müşterinin mevcut römork yapısının karşılayamayacağı uzunluktaki eşyaları taşıyabileceği bir römork istediği varsayılın. Bu durumda modüler olarak tasarlanmış römorkun, kutu olarak tanımlanmış üst modülünün daha yüksek boyutlu bir modülle değiştirilmesi mümkünken entegre tasarımlı römorkta üst kısmın değiştirilmesi kargo asma bantları ve ön bağlantı kısmını da etkileyecek ve o bölümlerde de değişiklik yapılması gerekecektir.



Şekil 2.5 Fonksiyonel öğelerin bileşenlerle birebir eşlendiği modüler römork yapısı (Ulrich, 1995).



Şekil 2.6 Fonksiyonel öğelerin bileşenlerle birden fazla ilişkiyle eşlendiği entegre römork yapısı (Ulrich, 1995).

Yukarıdaki örnek ışığında modüler ve entegre ürün mimarilerinin karşılaştırılması aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Entegre ürün mimarisiyle, üründen en yüksek performans elde edilebilirken, modüler mimaride ürünün genel performansı nispeten düşük olmaktadır.
- Entegre ürün mimarisinde ürünün fonksiyonları *blok* adı verilen bileşenler tarafından yerine getirilir. Modüler mimaride ise fonksiyonlar *modüller* tarafından yerine getirirler.
- Entegre ürün mimarisinde tek bir blok bir yada birden fazla fonksiyonu yerine getirebilirken, modüler mimaride her bir modül, ürün üzerinde tek bir fonksiyonu yerine getirir.
- Entegre ürün mimarisinde bloklar arasındaki etkileşim iyi tanımlanmamıştır. Modüler mimaride ise arayüzler vasıtasıyla modüller arasındaki etkileşim iyice tanımlanmıştır.
- Entegre ürün mimarisinde bir blokta gerçekleştirilen tasarım değişikliği fonksiyonel elemanların bir ya da bir kaçını etkileyeceğinden, diğer bloklarda da tasarım değişiklikleri yapılması zorunlu olabilmektedir. Modüler mimaride ise ürünün fonksiyonları modüllerle birbirinden izole edildiği için modüllerin tasarımındaki değişiklik diğer modüllerin tasarımını ve kullanımını etkilemez.
- Entegre ürün mimarisinde ürün çeşitliliği kısıtlıyken, modüler mimaride ürün çeşitliliği modül sayısına ve alternatifine bağlı olarak artış göstermektedir.

2.5. Modülerlik sınıflandırmaları

Modüler yapılar literatürde değişik ölçütler ve özellikler göz önüne alınarak sınıflandırılmıştır. Bu ölçüt ve özellikleri; üretilen çıktı, süreç, seviye ve kapsam başlıkları altında toplamak mümkündür (Asan, 2001).

- Üretilen çıktı açısından sınıflandırma
 - Ürün modülerliği (cep telefonları, bilgisayarlar, vb.)
 - Hizmet modülerliği (bireysel bankacılık, kişiye özel sigortacılık gibi)
- Süreç açısından sınıflandırma
 - Tasarım modülerliği
 - Üretim modülerliği

- Kullanım modülerliği
- Seviye açısından sınıflandırma
 - Modüler ürün
 - Modüler süreç
 - Modüler organizasyon

2.6. Modül ve etkileşimlerine göre modülerlik çeşitleri

Modüler bir üründe modüller fonksiyonlarına göre temel, yardımcı, uyarlayıcı ve özel modül olmak üzere 4 çeşide ayrılmaktadır (Huang, 2000).

Temel modül: Ürün ya da sistemin temel fonksiyonlarını yerine getiren ve ürünün oluşmasında standart olarak yer alan modüllerdir.

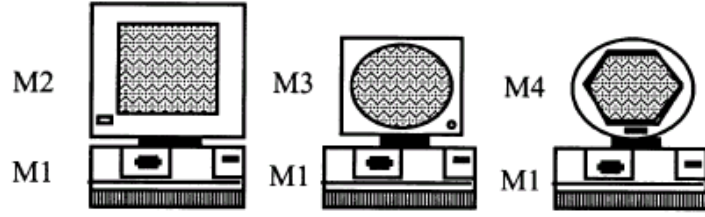
Yardımcı modül: Temel modüllerle birleşerek yardımcı fonksiyonları yerine getiren ve değişik ürünlerin oluşmasında katkıda bulunan modüllerdir.

Uyarlayıcı modül: Sistemin ya da ürünün diğer ürün ve sistemlerle uyulanmasında görev alan modüllerdir. Uyarlayıcı modüller değişim gösteren kısıtlamalara ürünün uyum göstermesini sağlarlar.

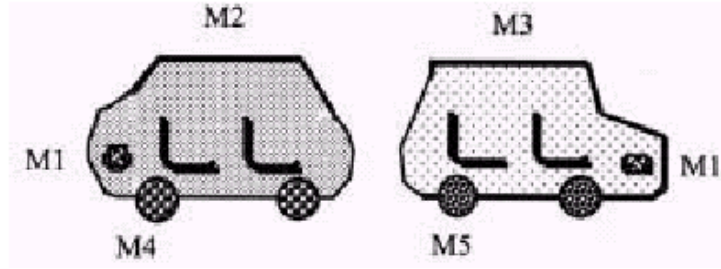
Özel modül: Özel modüller, müşteriye özel görevleri yerine getiren ve müşteri ihtiyaçlarını tam olarak karşılayabilmek için özel olarak tasarlanan modüllerdir.

Modüler mimariye sahip bir üründe, modüllerin birbirleriyle etkileşimlerine göre üç modülerlik tipi tanımlanmıştır:

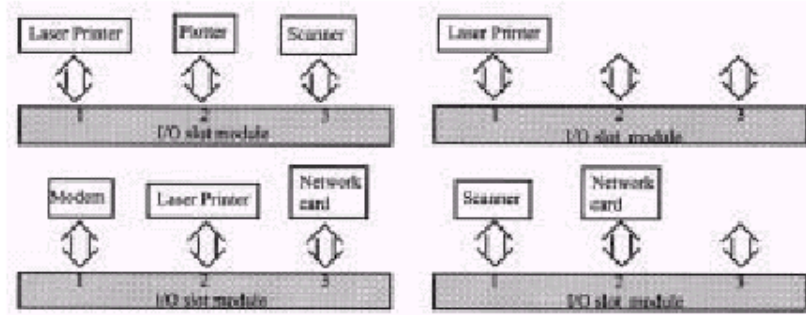
1. **Bileşen değiştirme modülerliği:** 2 ya da daha fazla farklı temel modülün bir araya gelerek aynı ürün ailesindeki ürün varyantlarını oluşturması durumudur (Şekil 2.7a).
2. **Bileşen paylaşım modülerliği:** Aynı temel bileşeni paylaşan farklı modüller farklı ürün aileleri için farklı varyantlar oluştururlar (Şekil 2.7b)
3. **Yol (bus) modülerliği:** Bir modülün her hangi bir sayıda temel modülle eşlenebildiği modülerlik şeklidir. Bileşen değiştirme ve paylaşım modülerlikleri sadece temel modüllerin değişimine izin verirken, yol modülerliği üründeki modül sayısı ve bağlantı noktalarında değişikliğe izin vermektedir (Şekil 2.7c).



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.7 Etkileşimlerine göre modülerlik çeşitleri (Huang, 2000).

2.7. Modülerlik seviyeleri

Modülerleştirme seviyesi ürün bileşen sayısı, bileşenler arasındaki arayüz kısıtları, modül, alt sistem ve sistem sayılarına oldukça bağlıdır. Bütünleşik tasarımdan farklı olarak modüler tasarım stratejisinde; ayrıştırılabilirlik, ürün mimarisi, arayüz uyumluluğu ve arayüz yönetimi konularının ciddi olarak ele alınması gerekmektedir. Yeni ürün geliştirme aşamasında modülerleştirme süreci farklı seviyelerde gerçekleşmektedir. Bu seviyeler: Bileşen seviyesi, Modül seviyesi, Alt-sistem seviyesi ve Sistem seviyesidir (Hsuan, 1999).

2.7.1. Bileşen seviyesi

Modülerleştirme sürecinde en düşük seviye olarak ele alınan seviyedir. Dirençler, kapasitörler, bağlayıcılar, epoksiler gibi standart, raf bileşenlerinden oluşur. Elektrik

sistemleri için, kataloglarda yer alan, basılı devre kartları üzerine yerleştirilen bileşenler bu seviyeye birer örnektir. Söz konusu bileşenlere ait özellikler, oldukça iyi tanımlanmış ve endüstriyel standart haline gelmiştir. Parça tedarikçileri farklı endüstrilere çok çeşitli ürün sunmaktadır. Bileşen seviyesi modülerlikte üretici ile bileşen tedarikçisi arasındaki bağımlılık ve bileşenlerde özelleştirme oldukça düşük seviyededir.

2.7.2. Modül seviyesi

Modüller bileşen seviyesinden farklı parçaların çeşitli kombinasyonları sonucu oluşturulur. Örneğin otomobilin ön camında yer alan silecekler bir takım elektrik, mekanik ve kimyasal bileşenin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Benzer şekilde sileceği oluşturan silecek motoru, silecek kolları, silecek anahtarları gibi modüller de bileşen seviyesi elemanlardan oluşmuştur. Söz konusu modüllerin tasarım ve üretiminde teknolojik yenileme ihtiyaçları ve ilgili sistemle olan uyumları göz önünde tutulmalıdır. Genellikle mevcut modüller piyasadaki bazı ürünlere uyacak şekilde tasarlanmıştır ve tasarımlarının belirli bir sistem yapısına göre olması nedeniyle de genel kullanımlı ürünlerle aynı işlevi görseler bile çok nadiren genel kullanım alanına sahip olurlar. Örnek vermek gerekirse, Mercedes'in belirli marka bir otomobilinde kullanılmak üzere üretilmiş yan cephe aynalarının farklı bir araçta kullanılması, her ne kadar kullanım amacı aynı olsa da çeşitli uyumsuzluklardan (aerodinamik, estetik, vb. nedenler) dolayı genelde mümkün değildir.

2.7.3. Alt-sistem seviyesi

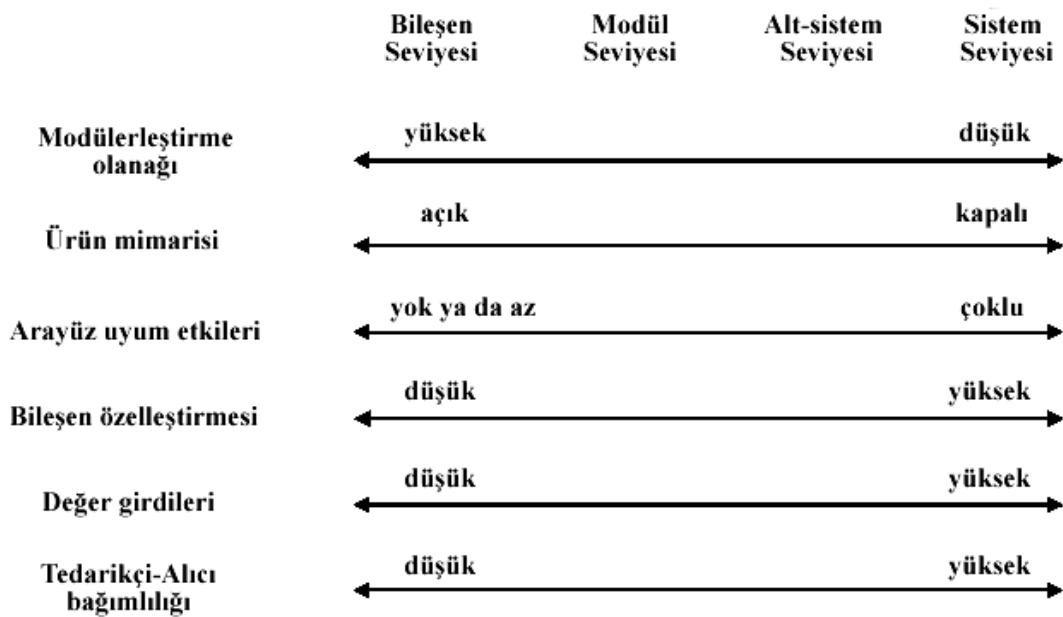
Alt sistemler genelde oldukça özelleşmiş ürünlerdir. Özellikle Otomotiv sektöründe bir çok özelleşmiş alt sistem üreticisi bulunmaktadır. Örneğin otobüslere takılan vites kutuları ya da otomobillerde kullanılan ABS sistemleri yarış otomobillerinde kullanılanlarla uyumlu değildir. Bu durum, modüller ve alt sistemler arasında arayüz ve protokol uyumluluğunun bir sistemin çalışması için ne denli önemli olduğunu açıklamaktadır.

2.7.4. Sistem seviyesi

Sistem seviyesinde ele alınan sistemler, birbirlerinden kesin çizgilerle ayrılmış alt sistemlerden ve bu alt sistemleri birleştiren arayüzlerden oluşmaktadır. Sistemlere örnek olarak otomobiller, uçaklar, saatler ve bilgisayarlar verilebilir. Her seviyede

bileşenler oluşturulduğu için sistem seviyesinde modülerleştirme oldukça sınırlı düzeydedir. Modülerleştirme fırsatları arayüz uyumluluğuyla sınırlandırılmıştır. Bileşen özelleşme derecesi ve tedarikçi-birleştirici dayanışması üst seviyedir. Bu seviyede arayüz sınırlamaları da üst düzeydedir, zira modüler sistem tasarımcılarının tasarım kurallarını tam olarak belirlemeleri ve geliştirmeleri için tüm ürün ve üretim süreçleri hakkında iyi bir bilgiye sahip olmalıdır.

İster bileşen seviyesinde, ister sistem seviyesinde olsun, modülerleştirme çalışması, firmaların ürünleri ve ürünlerinin işleyişleri hakkında derin bir bilgiye sahip olmalarına ve modüllerin zaman içinde nasıl gelişebileceğinin öngörülebilmesine gereksinim duymaktadır. Sistemle ilgili geniş bilgiye sahip olunması, yenilikçi çalışmalara kolaylık sağlayacağından rakiplerin ataklarına yanıt süresini de kısaltmaktadır. Yeni ürün geliştirme çalışmasında modülerlik yaklaşımının uygulanmasından firmaya stratejik değer katması bekleniyorsa, modülerliğin farklı gereksinimleri ve karakteristikleri iyice ele alınmalıdır. Modülerlik fırsatları; ürün mimarisi, arayüz uyumluluğu etkileri, bileşen özelleştirmesi, değer girdileri ve tedarikçi-alıcı bağımlılığı Şekil 2.8’de görüldüğü üzere bileşen seviyesinden sistem seviyesine değişiklik arz etmektedir. Bileşen özelleştirme seviyesi, değer girdileri ve tedarikçi-bütünleştirici dayanışması bileşen seviyesi modülerlikte düşük olma eğilimindedir. Zira açık mimariye sahip bu ürünlerde arayüz uyumu etkisi çok azdır ya da hiç yoktur. Modüller ve alt sistemlerin oluşturulmasıyla birlikte; bileşen özelleşmesi, değer girdileri ve tedarikçi-bütünleştirici dayanışması, sistem seviyesi modülerleştirmesinde en üst düzeye çıkmaktadır.



Şekil 2.8 Modülerlik seviyelerinin karakteristikleri (Hsuan, 1999).

2.8. Modülerliğe ihtiyaç duyulma nedenleri

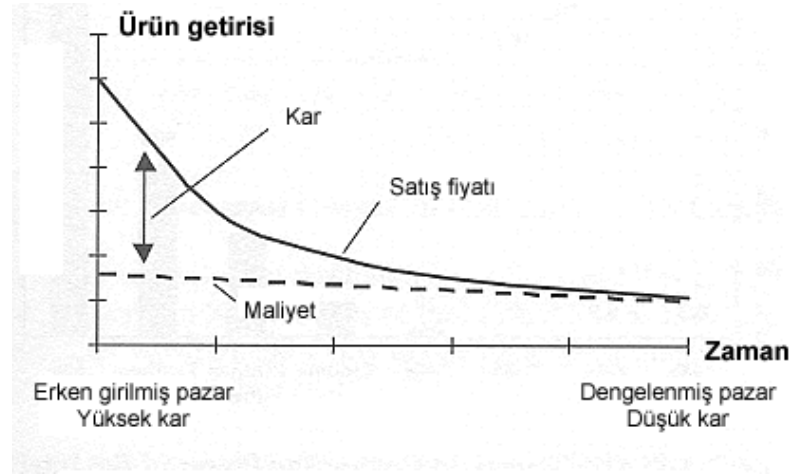
Gerek içinde yaşadığımız dünyanın doğası, gerekse ürün pazarları oldukça dinamik bir yapıya sahiptir. Zaman içerisinde oluşan değişim ve yeniliklere adapte olabilmek için hem dünya üzerindeki canlılar hem de organizasyonlar çeşitli adaptasyon teknikleri geliştirmişlerdir. Organizasyonel açıdan bakıldığında, müşteri isteklerinde gözlenen artış ve çeşitlilik, ürünün pazara mümkün olan en kısa sürede sunulması gerekliliği ve rekabetçi ortamda ürün performansının sürekli geliştirilme zorunluluğu firmaları çeşitli çözümler bulmaya itmiştir. Modülerlik de bu çözümlerden biridir. Günümüzde ürün ve hizmetler incelendiğinde büyük bir bölümünün alt sistemlerden veya bileşenlerden oluştuğu görülür. Küreselleşme, gümrüklerin kalkması, müşteri beklentilerinde artış, İnternet, bilişim ve taşımacılık teknolojilerindeki gelişmeler, yeni ürün geliştirme çalışmalarında olduğu gibi organizasyonların tasarladıkları ürünlerde ve tedarik zincirlerinde karmaşıklığı da beraberinde getirmiştir.

Yüksek teknolojiye sahip firmaların (elektronik, bilgisayar firmaları gibi) çoğu Ar-ge (Araştırma ve geliştirme) yönetimi, üretim ve tedarik zinciri yönetimlerinde yeni yaklaşımlar geliştirmek zorunda kalmıştır. Ürün geliştirme sürecini en aza indirmek, düşük maliyetle yeni ürün varyantları oluşturarak piyasaya en kısa sürede sunmak ve aynı üretim hattından etkin ve başarılı yeni ürün hatları oluşturmak üzere bir çok firma modülerliği ve modüler ürün mimarisi seçeneğini benimsemiştir.

Yıllardır rekabette başarılı olmanın yolları arasında yüksek kaliteli ürünleri düşük maliyetle üreterek pazara sunma stratejisi yer almıştır. Son yıllarda uluslararası rekabetin büyümesi ve teknolojinin (özellikle bilişim ve İnternet teknolojilerinin) bu rekabete ivme kazandırması, söz konusu stratejinin başarıya ulaşmasında yetersiz kalmasına neden olmuştur. Artan rekabet, kalite ve düşük maliyetlerin yanında yeni ihtiyaçlar doğurmaya başlamıştır, bunlar arasında en belirgin olanlar yüksek çeşitlilik ve hızlı ürün geliştirmedir.

Günümüzde müşteriler, tek tip ve genel beğeniye hitap edecek tarzda tasarlanmış ve üretilmiş ürünlerden ziyade daha özelleşmiş ve farklı müşteri beğenilerine hitap edecek özelliğe sahip ürünler talep etmektedir. Rekabetin ve üretim teknolojilerinin sürekli gelişmesi ise, firmaların pazar avantajı sağlamak ya da pazar payını korumak için ürünleri mümkün olan en kısa sürede pazara sürmesini gerektirmektedir.

Piyasaya yeni sürülen ürünlerde (özellikle teknoloji ürünlerinde), hızlı geliştirme sürelerinin karlılık üzerindeki etkisi yüksektir. Pazara ilk sunulan teknolojik ürün için nispeten yüksek oranda fiyat ve dolayısıyla kar talep edilebilir. Fakat kısa bir süre sonra teknolojik ürünün fiyatı çok hızlı bir düşüş gösterebilir. Zira teknoloji alanında devinim çok hızlıdır ve bir öncekinden daha gelişmiş ürünlerin pazara girmesi fazla zaman almamaktadır. Bilgisayar sektörünün kalbi olarak görülen mikroişlemci sektörüne bakıldığında, Intel şirketinin kurucusu olan Gordon Moore işlemcilerin gücünün her 18 ayda bir 2 kata ulaştığını öne sürmektedir (Sümen, 2003). Bir başka kaynakta, devinimin yüksek olduğu yüksek teknoloji ürünleri için yapılan tahminde, altı aylık bir gecikmenin firmanın toplam karlılığını yarı yarıya düşüreceği sonucuna varılmıştır. Şekil 2.9'da pazara giriş süresinin karlılık üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 2.9 Pazara giriş süresinin karlılık üzerindeki etkisi (O'Grady, 1999).

Ürün ve hizmetlerin müşteri ihtiyaçlarını ve beklentilerini karşılayabilecek şekilde geliştirilme isteği, teknolojinin hızlı gelişmesiyle birleşince, günümüz ürünleri gittikçe daha karmaşık bir hal almaktadır. Ürünlerin karmaşıklaşması yeni ürün geliştirme sürecini zorlaştırmakta ve ürünlerin pazara sunulma sürelerini de uzatmaktadır.

Hobday (1998), karmaşık ürün sistemlerini yüksek maliyetli, mühendislik yoğun ürünler ya da alt-sistemler olarak tanımlamıştır. Karmaşık ürün sistemleri; geliştirme ve yenilik süreç dinamikleri, rekabet stratejileri ve endüstriyel koordinasyonu gibi konularda, daha basit, kütleli üretim ürünlerinden farklılık gösteren bir ürün grubunu tanımlamaktadır. Hobday (1998)'e göre, karmaşık ürün sistemleri:

- Birbiriyle etkileşimli, özelleşmiş bir çok elemandan oluşan yüksek maliyetli sistemlerdir.

- Tasarım, geliştirme ve üretim işlemleri, genelde birden fazla firma tarafından gerçekleştirilir.
- Gelişmekte olan ve bazen öngörülemeyen özellikler sergilerler.
- Kullanıcı etkileşimini üst düzeyde tutan sistemlerdir.

Her ne kadar karmaşık ürün sistemlerinde yüksek seviyeli özelleşme ön plana çıksa da karmaşık ürün sistemlerin asıl uygulanma alanı geniş müşteri pazarlarından ziyade uçak motorları; uçuş simülatörleri ve hava trafik kontrol sistemleri gibi özel pazarlardır. Üretim ve geliştirme süreci için yüksek maliyet gerektirmeleri, firmaları yeni gelişen teknolojileri uygulayabilecek ve müşteri ihtiyaçlarını en yüksek düzeyde karşılayabilecek, fakat karmaşıklık düzeyi düşük bir ürün veya hizmet yapısına yönlendirmektedir. Böyle bir yapının temel mantığı karmaşık sistemleri daha az karmaşık olan alt sistemlere ve bu alt sistemleri tekrar kendi içinde alt sistemlere ayırmaktır, ta ki karmaşıklık düzeyi belli bir eşik değerinin altına düşünceye kadar. Bunun sonucunda her bir alt sistem belli kurallar çerçevesinde birbirinden bağımsız bir şekilde kendine özel bir geliştirme veya üretim grubu tarafından daha hızlı ve kolay şekilde geliştirilebilir veya üretilebilir. Zaten bu mantık modülerlik anlayışının temelini oluşturur.

Küresel rekabet firmaları değişime iten bir başka faktördür. Gümrük vergilerinin, taşımacılık ve iletişim maliyetlerinin düşmesi; İnternet ve iletişim teknolojilerinin gelişmesi bu rekabeti daha da arttırmaktadır. Bunun sonucu olarak daha geniş bir kitleye daha hızlı, kolay ve ucuz şekilde erişebilme olanakları doğmuştur, bu da ürünler için yeni pazarlar anlamına gelmektedir. Günümüzde Toyota, Mercedes, Ford gibi büyük otomobil fabrikaları artık ürünlerini pazara en kısa sürede sunmak ve ürünleri taşıma maliyetinden kurtulmak için dünyanın bir çok ülkesinde fabrikalar kurmakta ve ürünlerini bu fabrikalarda üreterek pazara sunmaktadır. Farklı pazarların farklı beklentileri olacağından bu beklentileri bölgesel olarak karşılamak açısından da bu yaklaşım oldukça önemlidir.

Modülerliğe ihtiyaç duyulma sebepleri aşağıda özetlenmiştir:

- Yüksek kalite ve düşük maliyetli ürünler üretme isteği
- Yüksek çeşitlilik ve hızlı ürün geliştirme sürelerine sahip olma beklentisi
- Ürün ve hizmetlerin gittikçe karmaşık bir hal alması
- Küresel rekabet.

2.9. Modülerliğin sağladığı avantajlar

Modülerliğin verimli bir biçimde uygulanabilmesi için organizasyonların işleyişinde de temel değişiklikler yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yani, modülerlik sadece ürünlerin modüler hale getirilmesiyle kalmayıp modülerlik mantığının organizasyon içerisinde yerleşmesini de sağlamaktadır. Bu nedendir ki modülerlik ucuz bir opsiyon olmasa da uygulandığı takdirde organizasyonlara bir takım yararlar sağlamaktadır. Modülerlikten sağlanacak yararlar aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir (O'Grady, 1999; Asan, 2001):

Yüksek ürün çeşitliliği ve stratejik esneklik - Modülerlik, ürün mimarisinde modül kullanımını gerektirmektedir. Belli ihtiyaçları karşılamak üzere var olan bir ürünün bu bütünsel görevi yerine getirmesi için, yapısında mevcut bulunan tüm işlevlerin tek tek veya gruplar halinde modülleri meydana getirdiği bilinmektedir. Bu modüller kolaylıkla değişik kombinasyonlarda bir araya getirilebilir ve her bir modülün de değişik alternatifleri söz konusu olabilir. Bu durum ürün çeşitliliğini arttırmakta ve alternatiflerin oluşturulmasını kolaylaştırmaktadır. Yeni bir müşteri siparişi alındığı zaman, modüller kolay ve hızlı bir şekilde yeni ürünü oluşturmak üzere bir araya getirilir. Bu yapıda yeni ürün tasarım süreci büyük oranda ortadan kaldırılmış olur.

Ne kadar ürün çeşitliliği elde edileceği modül sayısına ve her bir modülün alternatif sayısına bağlıdır. n adet modül söz konusu olsun ve her i . modülün ($i = 1, 2, \dots, n$) alternatif sayısı y_i olsun. Öyleyse mümkün olan toplam ürün çeşidi sayısı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\text{Toplam ürün çeşidi sayısı} = (y_1) \cdot (y_2) \cdot (y_3) \dots (y_n) \quad (4.1)$$

Eğer her bir modülün alternatif sayısı eşit, yani $y_i = y$ ($i=1..n$) ise formülün yeni hali aşağıdaki şekilde elde edilecektir:

$$\text{Toplam ürün çeşidi sayısı} = \underbrace{y \cdot y \cdot y \dots y}_{n \text{ tane}} = y^n \quad (4.2)$$

Modüler yapının getirdiği avantajlardan biri de stratejik esnekliktir. Firmanın, değişen pazar, ve teknolojilere daha kolay ve hızlı karşılık vermesini sağlar (Sanchez, 1996). Stratejik esneklik hızlı ve ekonomik bir şekilde mevcut veya yeni modüllerin değişik kombinasyonları (yukarda bahsi geçen kombinasyonlar) sonucu elde edilen ürün varyantları ile kazanılır.

Düşük maliyet - Modülerlik yaklaşımı çeşit ve esnekliğin yanında toplam maliyetleri de düşüren bir yapıya sahiptir. Geleneksel ürün geliştirme sistemlerinde ürün çeşitliliği artırıldıkça maliyetler de artar. Bunun sebepleri şöyle sıralanabilir (O'Grady, 1999):

- Yeni bir ürün çeşidi için ürün geliştirme süreci baştan sona işletilir,
- Her yeni tasarım yeni malzeme ve tedarikçiler veya bilgi gerektirir,
- Yeni ürünlerde öğrenme eğrisinin başlarında olunacaktır,
- Yeni envanter yükü söz konusu olacaktır.

Bu durumda modülerlik yaklaşımı ile bütün bu problemlerin üstesinden gelinebilir, çünkü elde var olan modüllerin değişik kombinasyonları ile ürün çeşitliliği elde edilirken yukarıda bahsedilen durumlar ve dolayısıyla maliyetleri söz konusu olmayacaktır. Modüler yapılarda söz konusu olan önemli bir maliyet ilk tasarım maliyetidir. Fakat bu maliyet yukarıda sayılan unsurların getirdiği maliyetlerden çok daha düşüktür. Toplam maliyet düşüşünün iki alt başlık halinde değerlendirilmesi mümkündür (Asan, 2001):

- *Ölçek ekonomisi* - Modüller genellikle değişik ürünlerde ortak kullanılması dolayısıyla nispeten yüksek üretim hacimlerine sahiptir. Bu durumda yüksek hacimlerde üretime uygun bir yatırım düşünülmelidir. Yüksek üretim hacimleri ise, süreyi ve maliyetleri düşürüp verimliliği artırır.
- *Düşük sermaye maliyeti* - Modüler yapılarda kullanılan modüllerin bazılarının üretimi değişik tedarikçiler tarafından üstlenildiğinde veya fason üretim yaptırıldığında bu modüllerin üretimi için gerekli sermaye tasarruf edilmiş olur. Bu durumda sermaye ilgili ortak tedarikçi veya fason üretici tarafından üstlenilmektedir veya büyük çoğunluğu karşılanmaktadır.

Karmaşıklığın azalması: Günümüzde birçok ürün karmaşık tasarım ve üretim yapısına sahiptir. Modüler yaklaşım, karmaşık ürünü veya hizmeti baş edilebilecek alt parçalara böldüğü ve bu alt parçalar arasındaki standart ilişkileri tanımladığı için bu karmaşıklık nispeten ortadan kaldırılmış olur. Bu alt parçalar artık birbirinden bağımsız, gruplar tarafından standartlara uygun bir şekilde geliştirilip üretilir. Bu bağlamda birçok grup ve organizasyonun koordinasyonu gündeme gelmektedir. Modüller arasında ve modül ile sistem arasında tanımlanmış standart arayüzler bu koordinasyonu sağlar. Her grup uyması gereken arayüzlere sadık kaldıktan sonra

modülde istediği tasarımı ve üretimi gerçekleştirebilir, Bu durum ayrı tasarım gruplarına kendi modüllerinde tasarım özgürlüğü vermektedir. Bu sayede çok karmaşık sistemler modüllere odaklanmış ve birbirlerine arayüz kuralları ölçüsünde bağlı olan gruplar tarafından daha verimli, kısa sürede, düşük maliyetle ve kolay şekilde geliştirilebilir veya üretilebilir (Asan, 2001).

Hızlı ürün geliştirme ve kısa sipariş temin süreleri: Modüler yapı iki temel yaklaşımla yeni ürün geliştirme sürelerini kısaltmaktadır. Birinci yaklaşımda, yeni ürün mevcut modüllerin değişik kombinasyonu sonucu elde edilmekte, konfigürasyondaki küçük değişiklikler dışında fazla bir çaba gerektirmemektedir. Hem maliyet açısından hem de hız açısından çok avantajlıdır. İkinci yaklaşımda, geliştirilecek ürün için yeni modüllere ihtiyaç vardır. Burada her bir tasarım grubu veya tedarikçi kendi modülünü diğerleri ile eş zamanlı olarak geliştirmeye çalışır. Ürün modüllere ayrılmış ve modüller arasındaki ilişkilerin daha önceden tanımlanmış olması her grubun diğerlerinden bağımsız bir şekilde kendi modüllerine odaklanmasını sağlar. Özellikle tek modüle odaklanma, grubun modül hakkındaki bilgisini derinleştirmekte (öğrenme eğrisi de göz önüne alınmalı), zaman kazandırmakta ve aynı modülü geliştiren birden fazla grubun varlığı sebebiyle de rekabeti arttırmaktadır. Ayrıca bütün modüllerin eş zamanlı geliştirilmesi modüllerin bir araya getirilmesindeki gecikmeleri azaltmaktadır.

Düşük değişkenlik: Geleneksel yaklaşımda, taleplerde meydana gelen bir değişim doğrudan parçaların, dolayısıyla ürünün değişmesine sebep olur. Eğer yeteri kadar büyük bir satış hacmi yoksa bu değişiklikten şirket büyük zarar görebilir. Çünkü ürün değişmek durumundadır ve bu sırada bunu telafi edecek başka bölgelerde satış hacmi yoktur. Satış hacminin yüksek olmasının faydası, bu tip değişimlerde bir bölge talebi azalırken diğer bölgenin talebinin bunu nispeten dengelemesidir. Modülerlik bu bağlamda talepteki değişkenliği azaltacak bir yapı ortaya koymaktadır. Satış hacmi düşük dahi olsa ürünlerde ortak kullanılan modüllerin sayısı nispeten yüksek olduğundan yüksek değişkenlik gösteren ürünün yanında modül değişkenliği daha düşük olacaktır.

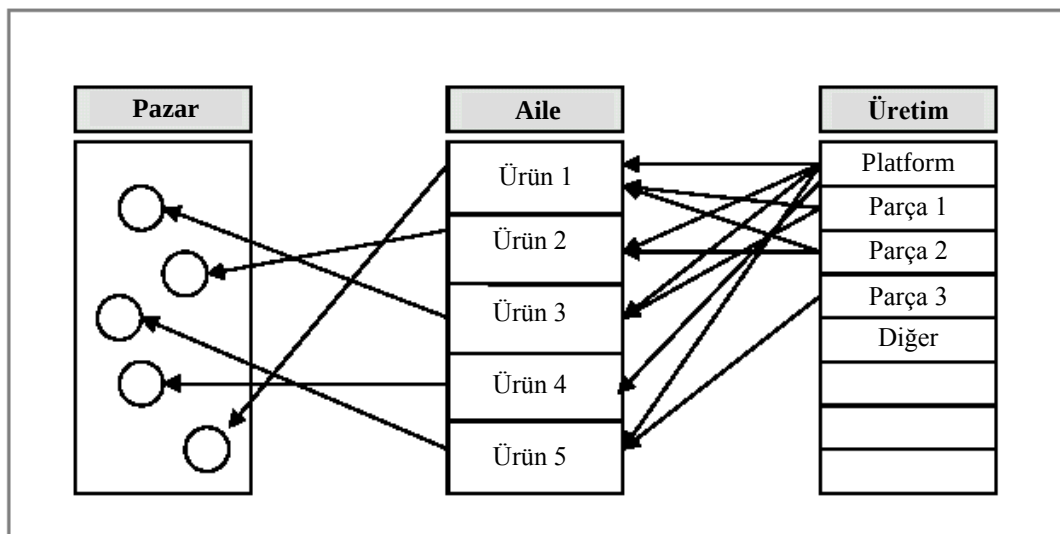
Yüksek elde bulundurma olasılığı: Bir ürünün üretilebilmesi için, o ürüne ait tüm parçaların hazır olması gerekir. Klasik yaklaşımda, üretici tüm bileşenleri parça halinde aldığından, çok sayıdaki parçanın elde bulundurulma olasılığı düşmektedir. Modüler mimaride ise son üretici bileşenleri modül seviyesinde aldığından bu

olasılık modülleri elde bulundurma olasılığı olarak hesaplanmakta ve daha yüksek çıkmaktadır. Tabi bu durum modülleri dışarıdan tedarik eden firmalar için geçerlidir.

Bakım/onarım/geliştirme çalışmalarında kolaylık: Modüllerden oluşan bir ürünün arıza yapması durumunda ilgili modül değiştirilerek arıza giderilirken, entegre ürünlerde bu durum ürünün tüm bileşenlerine ayrılmasını gerektirebilir. Dolayısıyla modüler ürünlerin bakımı ve onarımı modüler olmayan ürünlere göre daha kolay yapılabilmektedir. Örneğin, bilgisayarın CD okuyucusunun arızalanması durumunda CD okuyucusunun yeni bir CD okuyucusuyla değiştirilmesi problemi çözerken, entegre kaset/VCD çalıcılarının arızalanması durumunda arızanın giderilmesi için tüm ürünün sökülüp takılması gerekebilmektedir.

Modül geliştirme çalışmaları modül üreticilerinin rekabet alanı olduğu için, modül pazarındaki yerini korumak isteyen üreticiler modüllerin gelişimine daha fazla kaynak ayırmak zorunda kalacak, bu durum her bir modülün aynı anda gelişmesini sağlayarak ürünün toplam geliştirme çalışmalarında kolaylık sağlayacaktır.

Belirsizliğin kontrol altında tutulması: Modüler mimariler pazar belirsizliğini yönlendirmekte kullanılırlar. Gelecekteki müşteri beklentilerinin ne yönde olacağını belirsiz olduğu durumlarda, ürünlere farklı müşteri beklentilerini karşılama özelliği katmak ve geniş bir ürün çeşitliliği oluşturmak için modüler mimariye sahip ürün tasarımları yapılması mümkündür (Sanchez, 2002). Şekil 2.10’da modüler bir mimarinin sağladığı ürün çeşitliliğinin müşteri beklentilerini karşılaması görülmektedir.



Şekil 2.10 Ürün çeşitliliği ile müşteri memnuniyetinin sağlanması (Eggen, 2003)

2.10. Modülerliğin dezavantajları

Yüksek ilk yatırım maliyeti: Modülerliğin en büyük dezavantajı, karmaşıklığın ortadan kaldırılması için ilk yatırımda yüksek bir maliyet oluşturmaktır. Modüler ürün oluşturmak özel bir bakış açısı, yöntem ve planlama gerektirdiğinden, modüllerin ve arayüzlerin belirlenmesi, uyum testleri, optimizasyonu vs. için ek maliyetler oluşması kaçınılmaz bir durumdur.

Uygun arayüz ihtiyacı: Modüllerin kendilerinden beklenen performansı tam olarak yerine getirebilmeleri, arayüzlerin çok iyi tanımlanmış ve tasarlanmış olmasına bağlıdır. Dolayısıyla arayüzden kaynaklanabilecek bir uyumsuzluk ya da arayüzde oluşabilecek bir sorun modülü devre dışı bırakacak ürünü de kullanılmaz kılacaktır.

Standartlaştırmanın modül geliştirme sürecine etkileri: Standart olmayan arayüz tanımlamaları modüllerin geliştirme sürecine olumsuz etki yapmaktadır. Modülerleştirme sürecinde ideal olan, arayüzlerin standart hale getirilmesinden sonra modül geliştirme sürecine başlanmasıdır.

Standartlara uymak için kaynak israfına yol açması: Standartlaştırma her ne kadar modüllerin farklı ürünlerde kullanılmasına olanak sağlaması açısından yararlı olsa da, bazı durumlarda standartlara uyum sağlamak için modüle çoğu üründe kullanmayacağı işlevlerde kazandırılır ki bu durum kaynak israfına yol açar. Cep telefonlarında farklı dil seçenekleri için fazladan hafıza kullanılması telefonunu tek dilde kullanacak olanlar için gereksiz bir durum oluşturmaktadır.

Çok fonksiyonlu ürünlerde ürün mimarisini karmaşıkleştirme: Modüler mimaride modüllerin her biri ayrı fonksiyonlar üstlendiğinden çok fonksiyonlu bir ürünün oluşturulması durumunda çok sayıda da modüle ihtiyaç duyulacağından ürün mimarisi karmaşık bir hal almaktadır.

Modüllerin ürünü hantallaştırması ve performans düşüklüğü: Modüller kapalı kutu olarak ürüne birleştirildiklerinden ürünün genel performansı modüllerin kendi performanslarına bağlı kalmakta, ürüne özel bir optimizasyon sağlanamamaktadır. Bu durum, üründen yüksek performans elde edilmesini güçleştirmekte, ürünleri de sistem olarak hantallaştırmaktadır.

2.11. Modülerlik örnekleri

Modülerlik otomobil üreticilerinden yazılım firmalarına; uçak motoru üreticilerinden finans kuruluşlarına kadar geniş bir alanda karşımıza çıkmaktadır. Her bir firma

kendine özgü uyguladığı modülerlik sonucunda yine kendine özgü kazançlar ve deneyimler elde etmiştir. Aşağıda firmaların modülerlikle ilgili değişik çalışmalarından örnekler verilmektedir (Prencipe, 1998; O’Grady, 1999):

2.11.1. Rolls-Royce’un uçak motoru örneği

Motor üreticilerinin, motor bileşen parçalarının standartlaştırılması ve uçak üzerindeki motorların daha kolay bakımının sağlanması amacıyla, 1970’li yılların başlarında, uçak motorları için modüler tasarım kavramı ortaya atılmıştır. Bu kavramın kullanılma amacı; mümkün oldukça özelleşmiş ürün kullanımından kaçınıp, hem motor üretim sayısının artırılarak ekonomik yönden refaha ulaşma hem de bakım işçilerinin daha az eforla motor bakımını yapabilmelerine olanak sağlamaktır. İlk modüler motor tasarımı 1970 yıllarında Rolls-Royce tarafından uygulamaya koyuldu. Rolls-Royce, oldukça karmaşık bir ürün olan motoru, basitleştirilmiş tasarımlı 7 temel modülden oluşan (fan, yüksek basınç kompresörü, yakıt odası, yüksek basınç türbini, düşük basınç türbini, egzoz lülesi ve kontrol sistemi) bir ürün haline çevirmeyi başardı ve bu ürününe RB211 adını verdi. Rolls-Royce’un uyguladığı bu modüler yaklaşım, İngiliz firmasına değişik itki ve performans değerleri gibi farklı müşteri ihtiyaçlarını karşılayabilmelerine olanak sağlayan büyük bir stratejik esnekliği de beraberinde getirdi. Ayrıca Rolls-Royce, farklı pazar ihtiyaçları ve güç gereksinimlerine adapte olabilmek için motor ölçeğini büyütüp, küçültebilme yeteneğini de kazanmış oldu.

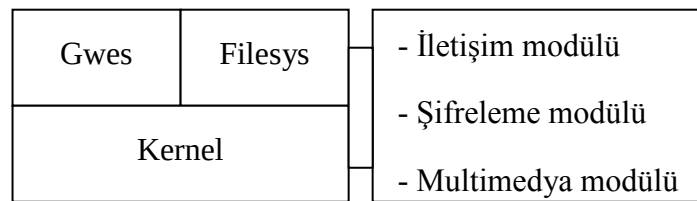
RB211’in modüler tasarımı, her bir modülünün diğerlerinden bağımsız geliştirilmesine ve bileşen parçalarında standartlaşmaya olanak sağlamasıyla ürün ailesinde “tasarım benzerliği” tanımının oluşmasını sağlamıştır. Bu yeni tasarım felsefesinin oturtulması sonucu; R&D, üretim ve yedek parça temini maliyetlerinde büyük kazanç elde edilmiş, geniş bir portföyde ürün seçeneği sunan ürün ailesi yaklaşımıyla da müşteri isteklerine hızlı ve en iyi şekilde cevap verilmesi mümkün kılınmıştır. Rolls-Royce’un uygulamaya koymasının ardından, modüler tasarım yaklaşımı diğer uçak motoru şirketleri Pratt&Whitney, General Electrics ve United Technologies firmaları arasında da uygulanmaya başlanmıştır.

2.11.2. Microsoft’un işletim sistemi örneği

1975 yılında bilgisayar yazılımları alanında faaliyet göstermeye başlayan Microsoft, ilk olarak programlama dilleri üzerinde çalışmalar yapmış ve BASIC, FORTRAN ve COBOL dillerini geliştirerek piyasaya sürmüştü. Aynı zamanda işletim sistemleri

üzerinde de çalışmalarını sürdüren Microsoft, 1983 yılında, çeşitli 16-bit işlemcilerde çalışabilen ve o zamana kadar piyasaya sürmüş olduğu programlama dilleriyle geliştirilmiş programları çalıştırabilen XENIX işletim sistemini piyasaya sürdü. Zamanla bu alanda çalışmalarını sürdüren Microsoft, 1995 yılında, Windows 95 işletim sistemini piyasaya sürerek işletim sistemleri alanında oldukça popüler bir yer edindi. 1996 yılında yeni bir işletim sistemi üzerinde çalışmalara başlayacaklarında cep telefonlarından, avuç içi bilgisayarlara; TV alıcılarından, araba motoru göstergelerine kadar bir çok alanda işletim sistemine ihtiyaç bulunuyordu. Bu durumda ya her bir aygıt için ayrı bir işletim sistemi tasarlanması, ya da standart modüllerden oluşan modüler bir işletim sistemi tasarlanması yolunda karar verilmesi gerekiyordu. Her ne kadar ilk seçenek uygulama açısından daha kolay ve garantili olarak görünse de ikinci seçeneğin başarılı bir biçimde uygulanması Microsoft'a büyük bir pazar avantajı sağlayacaktı ki Microsoft'un da kararı bu yönde oldu. Bu karar sonucunda modüllerden oluşan Windows CE işletim sistemi piyasaya sürüldü.

Windows CE; bellek yönetimi, çoklu görevleme ve görev sıralaması gibi fonksiyonları yerine getiren bir ana işletim sistemi modülü (Kernel), dosya kaynaklarına ulaşımı sağlayan dosya sistemi modülü (Filesys), grafik kullanıcı arayüzü ve pencereleme gibi fonksiyonları yerine getiren ara modül (Gwes), işletim sisteminin ağ paylaşım ve iletişimini sağlayan bir iletişim modülü, şifreleme modülü, multimedya (Ses) modülü ve COM modülü gibi modüllerden oluşmaktaydı (Şekil 2.11). Modüller sayesinde müşteriler, sahip oldukları aygıta uygun işletim sistemini, mevcut modüller arasından ekleme-çıkarma yöntemiyle kolayca seçerek kısa süre içerisinde oluşturabilme serbestliğine sahip oldu. Bu durum sonucunda müşteri memnuniyeti sağlanarak Microsoft, işletim sistemleri pazarındaki üstünlüğünü korumuştur.



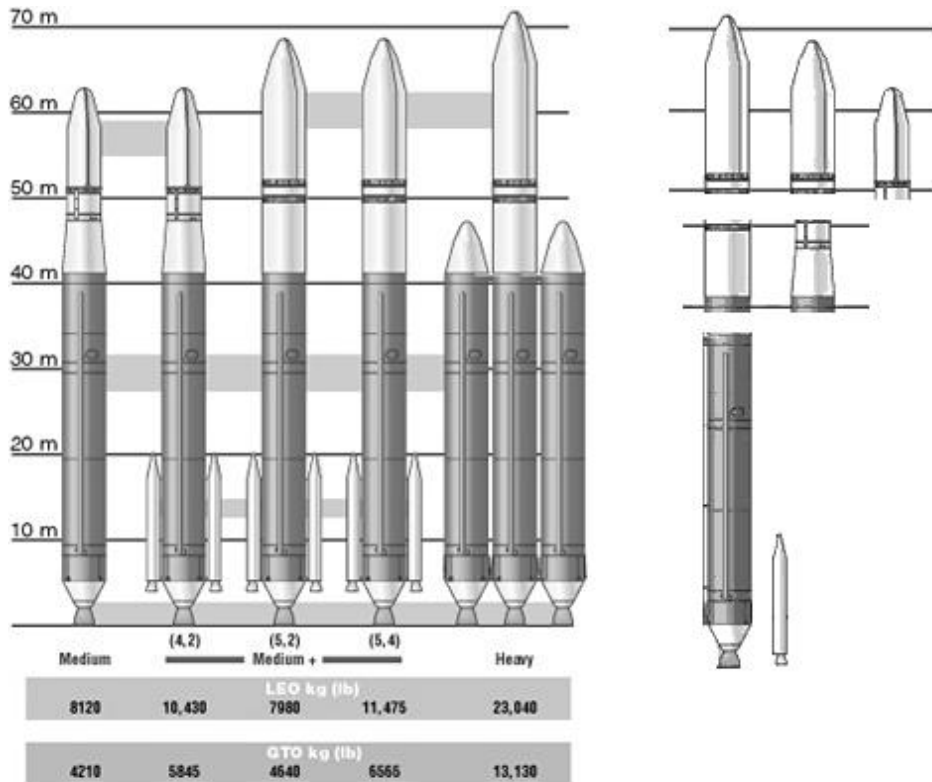
Ana bileşenler

Diğer bileşenler

Şekil 2.11 Windows CE modüler mimarisi

2.11.3. Boeing'in Delta IV roketleri örneği

Boeing, Delta IV roketlerinin tasarımında modülerlik yaklaşımından faydalanmıştır. Söz konusu roketler, görevlerine bağlı olarak istenen yörüngelere fırlatılabilmesi ve istenen yükü (uydu, uzay istasyonu, yansıtıcılar gibi) uzaya taşıyabilmesi için ana roket motoru, ilave itici roketler, yönlendirme bölümü ve değişken yük modülü olmak üzere dört modül halinde tasarlanmıştır (Şekil 2.12). Delta IV'ün sahip olduğu bu modüler yapının uzay fırlatışlarının %50 daha az maliyetli gerçekleşmesini sağlayacağı düşünülmekte, bu durum da Boeing'e uzay yarışında büyük avantaj sağlamaktadır. Ancak modülerliğin sağladığı bu avantaj günümüzde rakip firmalarca da fark edilmiş uzay roketlerinde modülerlik uygulamaları diğer firmalarca da uygulanmaya başlanmıştır. Modülerlik uygulaması çerçevesinde Boeing'den ayrı olarak, Rusya'nın Chelomei firması Angara, StarSem firması Soyuz; Avrupa ülkeleri ortak iştiraki olan Arianespace firması da Ariane 5 roketlerini geliştirmişlerdir.



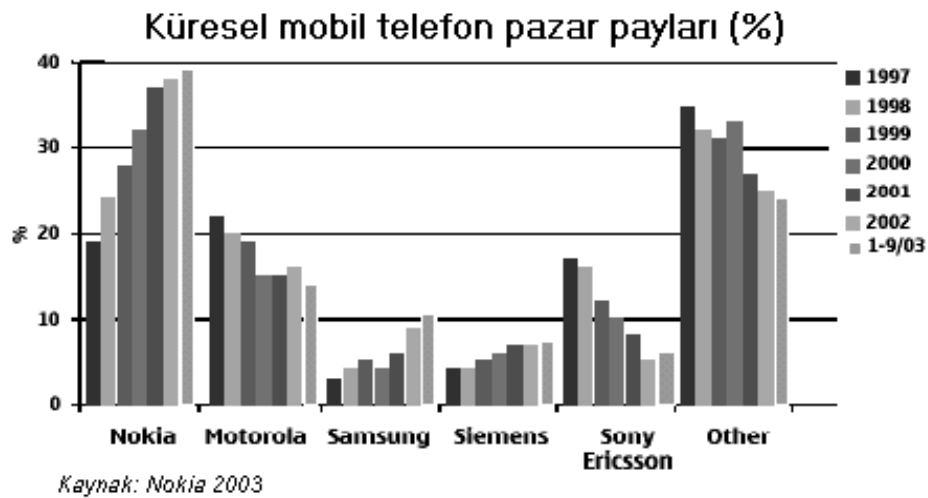
Şekil 2.12 Modüler Delta IV ürün ailesi

2.11.4. Nokia'nın mobil telefon örneği

Nokia kablolu ve kablosuz telekomünikasyon alanında faaliyet gösteren, kuruluşu 1865'lere dayanan uluslar arası bir iletişim şirkettir. İlk kurulduğu yıllarda faaliyet

alanı kağıttan kimyasallara ve kauçuğa kadar geniş bir yelpazeye sahipken 1990'lı yıllarla birlikte şirket stratejisi telekomünikasyon alanına yönelmiştir. Nokia'nın tüm dünyada duyulmasında rol oynayan ilk teknolojik gelişme 1963 yılında askeri, kamu kurumları ve acil servisler için radyo telefonun geliştirme çalışmalarıyla başlamıştır.

1981 yılında İskandinav Telefon Servisi (Nordic Mobile Telephone Service – NMT)'nin açılmasıyla çeşitli ülkeleri de kapsayan dünyanın ilk geniş kapsamlı ortak hücresel ağı oluşturulmuş oldu. Aynı yıllarda Nokia, Avrupa içerisinde mobil telefonların ve buna bağlı standartların yayılımını sağlamaktaydı. 1987'de Nokia elde taşınabilen ilk telefon olan "Mobira Cityman"ı piyasaya sürdü. İlk başlarda yüksek fiyatlarından dolayı mobil telefonlar pahalı oyuncaklar olarak görülmüşse de, ilerleyen yıllarda mobil telefon kullanımında patlama yaşanmıştır. 1991'de 15 milyon mobil telefon kullanıcısı varken, bu sayı 2000'in ortalarında 570 milyona, 2002'de de 1 milyara ulaşmıştır. Talebin bu kadar yüksek olması pazara yeni firmaların girmesine, mevcut firmaların da pazara bir çok yeni ürün sunmasına neden olmuştur. Artan müşteri talebiyle birlikte müşterilerde farklı beklentiler oluşmaya başlamıştır. Bunun üzerine Nokia şirketi, mobil telefonları modüler bir yapıda üretme yoluna gitmiş ve bu yaklaşımıyla da pazarda en büyük paya sahip firma olmuştur (Şekil 2.13). Nokia'nın, mobil telefonları birer fonksiyonel aygıt olarak değil de kişisel teknoloji ürünü olarak algılaması, ve sahibinin özel beğenisine uyum sağlaması gerektiği düşüncesi sonucu, 2100 ürün ailesiyle atılmış olan modülerlik adımı takip eden modellerle günümüze kadar devam etmiş ve oldukça başarılı olmuştur. Günümüzde Nokia telefonları kullanım kolaylığı ve stilin birer sembolü haline gelmiştir (Nokia Group, 2003).



Şekil 2.13 Küresel mobil telefon pazarında firmalara göre pazar payı dağılımı

3. GERÇEK OPSİYONLAR TEORİSİ

3.1. Giriş

Yatırım kararları ve Ar-ge projelerinin çoğunun getirisi geleceğin belirsizliği altında yapılmaktadır. Bir kez gerekli yatırım yapıldıktan ve para harcadıktan sonra yatırımın geri döndürülmesi genelde olanaksızdır. Dolayısıyla beklenen para akışı sağlanamadığı sürece yapılmış yatırımlar batık maliyet hanesine eklenmektedir. Yatırım kararlarının anlık verilmesinden farklı olarak, firmanın yatırımın zamanlamasıyla ilgili karar verme hakkına sahip olduğu durumlar da söz konusudur. Bir varlığı (asset) belirli bir gelecekte belirli bir fiyattan almak için hak sahibi olmanızı sağlayan, ancak varlığı alma zorunluluğu oluşturmeyen finansal alım opsiyonlarına benzer olarak, somut yatırımlara (pazara yeni bir ürün sunabilmek için Ar-ge yatırımı yapmak gibi) dayalı opsiyonlar bulunmaktadır. Pazarla ilgili yeni bilgiler edinilmesi ve yatırım kararının sonuçlarını etkileyecek belirsizliğin ortadan kalkmasıyla, yönetimin ilk yatırım stratejisini zaman içerisinde değiştirebilme şansı oluşmakta ve yatırım kararına esneklik kazandırılmaktadır.

Finansal teminatlara dayalı opsiyonlara benzer olarak söz konusu yatırım esnekliği, edinilen yeni bilgilerin yatırım kararı değerini artırmasını sağlayarak yatırım uygulamasından beklenen karın daha üst miktarlara taşınmasını sağlamakta, ya da olası kayıpları en aza indirmeye çalışmaktadır. Yatırım opsiyonlarında da finansal opsiyonlardaki gibi belirsizliğin etkilerini en aza indirmek söz konusu olduğu için, yatırım esnekliğini sağlayan opsiyonlara “gerçek opsiyonlar” adı verilmektedir. Gerçek opsiyonların yatırımların değerini belirgin bir şekilde artırdığı görülmektedir (Kogut ve Kulatilaka, 1994).

Belli bir ilk yatırımı yaptıktan sonra, yöneticiler projenin işlemesi ve pazar trendleri, karakteristikleri hakkında daha fazla bilgi toplayabilmektedir. Elde edilen yeni bilgiler ışığında yatırımın yönlendirilmesi, yatırımı baştan sona ayrı bir süreç olarak ele alıp, yeni koşulların yatırım kararına etkisini göz ardı etmekten çok daha mantıklı bir yaklaşımdır.

3.2. Finansal opsiyon teorisi

Finansal opsiyonlar sahiplerine, yatırımları üzerinde belirli bir zaman içerisinde gerçekleşebilecek olumsuz gelişmelerden korunma, olumlu gelişmelerden yararlanma fırsatını veren, belirsizlik altında finansal risklerin yönetimini sağlayan araçlardır. Riskten korunma üzerine oluşturulmuş diğer finansal araçlar tarafları karşılıklı olarak sorumluluk altına alırken, opsiyon işlemlerinde opsiyon satıcısı yükümlülük altına girerken, opsiyon alıcısı belirli bir opsiyon değeri karşılığında gerçekleşebilecek olumlu durumlardan yararlanma hakkına sahip olmaktadır. Söz konusu opsiyon değerinin belirlenmesi oldukça zor ve karmaşık bir işlemdir.

3.2.1. Finansal opsiyon çeşitleri

Finansal opsiyonlar olarak tanımlanmış iki temel opsiyon türü bulunmaktadır: alım (call) opsiyonu ve satım (put) opsiyonu.

3.2.1.1. Alım opsiyonu

Alıcısına belirli bir miktar malı, belirli bir fiyattan, belirli bir tarihte (Avrupa tipi) ya da belirli bir tarihe kadar (Amerikan tipi) alma hakkı tanıyan opsiyona *alım opsiyonu* adı verilmektedir.

Alım opsiyonu sahibi, ilgili varlığın piyasa fiyatındaki muhtemel artışından avantaj sağlamaktadır. Diğer bir deyişle, herhangi bir varlığın gelecekte fiyatının artmasından zarar görecektir ve bu riski azaltmak isteyen yatırımcı, ya da söz konusu varlığın fiyatının artacağını düşünen ve bu artıştan kar elde etmek isteyen spekülâtör alım opsiyonu satın alacak, finansal deyimle uzun pozisyon tutacaktır.

Basit bir örnekle, alım opsiyonunun taraflara etkisi açıklanmaya çalışalım. A hisse senedinin değer kazanacağını öngören yatırımcı bu hisse senedinin ileride sağlayacağı potansiyel getiriden faydalanmak için alım opsiyonu satın alsın. Ele alınan durum için hisse senedinin cari fiyatı 10000 TL, uygulama fiyatı 12000 TL ve opsiyon fiyatı da 500 TL olarak belirlenmiş olsun. Opsiyonun geçerli olduğu zaman diliminde hisse senedinin piyasa fiyatı 12000 TL'nin altında kaldığı müddetçe opsiyonu kullanmanın bir anlamı yoktur. Zira 12000 TL opsiyonun uygulanması için alt sınırdır. Hisse senedi fiyatı 12000 TL'nin üzerine çıkmaya başlamasıyla birlikte opsiyonu kullanmak avantajlı hale gelmeye başlayacaktır. Fiyat 12250 TL olduğunda opsiyon sahibi opsiyonu kullanarak hisse senedini 12000 TL'den alacak ve 12250 TL'den

satarak opsiyon için ödemiş olduğu 500 TL'den 250 TL'sini geri kurtaracaktır. Fiyat 12500 TL'ye ulaştığında opsiyon başa baş noktasına ulaşmakta, fiyatın bu değerin üzerine çıkmasıyla birlikte de net kar elde etmektedir. Söz konusu durumda opsiyon satıcısının kazancı ise ters yönde etkilenmektedir. Zira opsiyonun kullanılmaması halinde satıcı 500 TL kar elde edecekken, fiyatın 12000 TL'yi geçmesiyle birlikte opsiyon kullanılacağından satıcının elde edeceği kar düşmekte ve 12500 TL'nin üzerine çıkmasıyla da kar durumundan zarara geçmektedir.

Alım opsiyonu sahipleri fiyatların uygulama fiyatının üzerine çıkmasıyla yükselişten kar elde etseler de, fiyatlarda düşüş bekleyen yatırımcının alım opsiyonu satması durumunda düşüşle orantılı olarak kar etmesi mümkün değildir. Zira alım opsiyonu satarak kısa opsiyon tutulması durumunda, fiyatta yaşanacak büyük düşüşten net bir kar elde edilememekte, elde edilen kar opsiyon değeriyle sınırlı kalmaktadır.

Alım opsiyonunun matematiksel ifadesi, S_T , Stok değeri; X , uygulama fiyatı; T , vade tarihi ve c , opsiyon fiyatı olmak üzere aşağıdaki şekilde formülize edilmiştir:

$$\begin{aligned} S_T - X - c & \quad ; \quad S_T > X \text{ ise} \\ -c & \quad ; \quad S_T \leq X \text{ ise} \end{aligned} \quad 3.1$$

3.2.1.2. Satım opsiyonu

Alıcısına belirli bir miktar malı, belirli bir fiyattan, belirli bir tarihte (Avrupa tipi) ya da belirli bir tarihe kadar (Amerikan tipi) satma hakkı tanıyan opsiyona *satım opsiyonu* adı verilmektedir.

Satım opsiyonu, fiyat düşüşlerinden korunmak isteyen yatırımcıların ya da fiyat düşüşlerinden kar elde etmeyi amaçlayan spekülâtörlerin yararlanabilecekleri bir finansal araçtır.

Alım opsiyonunu için verilen örneğe benzer bir örnek satım opsiyonu için verilecek olursa: sahibine 10000 TL'den satım hakkı tanıyan ve fiyatı 500 TL olan bir satım opsiyonu, ancak hisse senedi fiyatı 9500 TL'nin altına düştüğü zaman sahibine kar sağlayacaktır. Hisse senedinin piyasa fiyatı 10000 TL'nin üzerinde kaldığı müddetçe, opsiyon sahibinin opsiyonu kullanması anlamlı olmayacaktır. Bu durumda opsiyon sahibinin zararı opsiyona ödemiş olduğu değer kadardır. Fiyatın 10000 TL'nin altına düşmesiyle birlikte opsiyon sahibinin zararı azalmaya başlayacak, 9500 TL'nin altına inmesiyle opsiyon sahibi kara geçerken, opsiyon satıcısı zarar edecektir.

Satım opsiyonunun matematiksel ifadesi, S_T , Stok değeri; X , uygulama fiyatı; T , vade tarihi ve c , opsiyon fiyatı olmak üzere aşağıdaki şekilde formülize edilmiştir:

$$\begin{aligned} -c & \quad ; \quad S_T > X \text{ ise} \\ X - S_T - c & \quad ; \quad S_T \leq X \text{ ise} \end{aligned} \quad 3.2$$

3.3. Opsiyonların Black-Sholes modeliyle fiyatlanması

Black-Sholes modelinin temelinde, opsiyon oluşturan varlığın fiyatının vade sonuna kadar nasıl bir değişim göstereceği ve vade sonunda hangi olasılıkla hangi fiyata sahip olacağının belirlenmesi yatmaktadır. Vade sonunda opsiyonun değeri, varlığın fiyatına bağlı olacağından, varlık fiyatının tahmin edilmesi opsiyon değerinin de belirlenmesine olanak sağlayacaktır. S , stok değeri; X , uygulama fiyatı; T , vade tarihi; s : stok volatilitesi, r : faiz oranı ve c : alım opsiyonu değeri olmak üzere, Alım opsiyonunun Black-Sholes Modeliyle ifadesi aşağıdaki şekilde olmaktadır:

$$c = S \cdot N(d_1) - PV(X) \cdot N(d_2) \quad 3.3$$

$$d_1 = [\ln(S/X) + (r + 1/2 \cdot \sigma^2) \cdot T] / (\sigma \cdot T^{0.5}) \quad 3.4$$

$$d_2 = d_1 - (\sigma \cdot T^{0.5}) \quad 3.5$$

$$PV(X) = X \cdot e^{-r \cdot T}$$

Yukarıdaki denklemlerde yer alan $PV(.)$ terimi şimdiki değeri, $N(.)$ terimleri de normal dağılım değerini sembolize etmektedir.

3.4. Gerçek opsiyonların tanımı

Bu bölümde, literatürde karşılaşılan gerçek opsiyon tanımlamalarının bazılarını yer verilecektir.

- Finansal opsiyonlardan farklı olarak gerçek varlıkları elde etme fırsatlarına gerçek opsiyonlar adı verilmektedir. Gerçek opsiyon bir varlığı belirli bir zamanda ve belirli koşullar altında alma ya da satma hakkı tanıyan yatırımlardır (Dixit ve Pindyck, 1994).

- Gerçek opsiyonlar belirsizlik ortamında değer yaratma yaklaşımı uyarınca belirsizliği oluşturan faktörlerin finansal yatırım değerlendirmeleri içerisinde ele

alınacağı bir çerçeve oluşturma metodu, bir düşünce şeklidir (Amram ve Kulatilaka, 1999).

- Gerçek opsiyonlar, karar ağacı analizi gibi geleceğe yönelik tahminler ile yüksek riskli yatırım kararları oluşturmak yerine, eldeki mevcut bilgilere ve pazar ortamına dayanarak kısa vadedeki trende ve pazar değişimine ayak uydurabilecek yatırımların değerlendirilmesine olanak sağlayan bir araçtır (Howell vd., 2001).
- Gerçek opsiyonlar, yöneticilerin zaman içerisinde edindikleri yeni bilgiler ve değişen Pazar koşulları uyarınca yatırım kararlarını gözden geçirerek her bir aşamada yatırımlarını yönlendirmelerine olanak sağlayan, yönetime esneklik kazandıran bir yaklaşımdır (Branch, 2002).
- Gerçek opsiyonlar; yatırımları etkileyen kısıtlamalar, fırsatlar ve sorumlulukların yanında yatırımları etkileyen belirsizlik unsurlarını da hesaba katarak yatırım kararlarına esneklik kazandıran bir mekanizmadır (Erzi-Akçelik, 2002).

3.5. Gerçek opsiyon çeşitleri

Gerçek opsiyon çeşitlerinin bir çoğu Trigeorgis (1993) ile Amram ve Kulatilaka (1999)'da sınıflandırılmıştır. Aşağıda her iki kaynakta da yer alan gerçek opsiyon çeşitleri yer almaktadır:

Geciktirme opsiyonu: Pazar fiyatları gerçekleştirilmesi düşünülen yatırımı karşılayıncaya kadar beklemeyi öngören bir opsiyondur. Geciktirme opsiyonu uygulamada kullanılan ilk gerçek opsiyon türüdür. Petrol arama, madencilik sektörleri, çiftçilik gibi alanlarda ve birden fazla sektörde faaliyet gösteren holdinglerde uygulamalarına rastlanmaktadır.

Aşamalara ayırma opsiyonu: Yatırımın alt yatırım kararlarına ayrılması ve aşamalar halinde yatırım yapılması, pazarla ilgili beklenmeyen ters bir durum oluştuğunda bir sonraki aşamanın durdurulmasına olanak sağlamaktadır. Söz konusu opsiyon, Ar-ge çalışmaları, eczacılık alanı, yeni girişimler ve uzun süreli sermaye yoğun endüstrilere uygulanmaktadır.

Ölçekleme Opsiyonu: Firmaya Pazar koşullarına göre üretimini genişletme, daraltma, iptal etme ya da yeniden başlatma esnekliğini sağlamaktadır. Moda sektörü, tüketici ürünleri sektörü, otomotiv sektörü ölçekleme opsiyonunun örnek uygulama alanlarıdır.

Vazgeçme opsiyonu: Pazar koşullarının hızlı bir şekilde düşüş göstermesi durumunda vazgeçme opsiyonu ile üretim durdurulabilir. Söz konusu opsiyon sermaye yoğun endüstrilerde, finansal hizmetlerde ve belirsiz pazarlara yeni ürün arzında kullanılabilmektedir.

Büyüme opsiyonu: İlk yapılan yatırıma zaman içerisinde yeni yatırımların eklenerek yatırımın büyümesine yönelik fırsat tanıyan opsiyonlardır.

Değiştirme opsiyonu: Pazardaki fiyatların ve talebin değişmesi durumunda yönetim, organizasyon (fabrika) çıktısını değiştirme (ürün esnekliği) ya da aynı çıktılar için girdileri değiştirme (süreç esnekliği) yollarından birine gidebilir. Söz konusu opsiyon elektronik, oyuncak, makine parçaları, benzin sektörlerinde uygulama bulabilmektedir.

3.6. Gerçek opsiyonların uygulama örnekleri

Gerçek opsiyon uygulamalarından bazı örnekler aşağıda verilmiştir (de Neufville, 2001).

- Portekizliler, Lizbon'daki Tagus nehri üzerine, tramvayların üzerinden geçiş yapabileceği dayanıklılıkta bir köprü inşa etmişti. Her ne kadar yapıldığı yıllarda bu kapsamda bir köprüye ihtiyaç duyulmasa da, köprünün tramvay ulaşımı göz önüne alınarak yapılması, ilerleyen yıllarda köprünün nehrin iki tarafındaki metropolit tramvay hatlarının bağlaması için bir gerçek opsiyon oluşturmuştur. Nitekim zaman içerisinde söz konusu bağlantı gerçekleştirilmiş ve köprü tren ulaşımına açılmıştır.
- Girdilerin ya da çıktılarının (ürün) değiştirilebileceği bir üretim sisteminin oluşturulması gerçek opsiyon oluşturmaktadır. Örneğin, hem LPG hem de benzinle çalışan bir otomobili ele alalım. Otomobil kullanıcısı, benzin ve gaz fiyatlarındaki değişime göre en ekonomik olan yakıtı kullanma yani değiştirme opsiyonun sahip olacaktır. Yine üretim esnekliği sağlayacak şekilde oluşturulmuş üretim hatlarında, yönetimin kararları uyarınca değişik ürünler üretilmesi mümkün olabilmektedir. Söz konusu üretim hatlarında, esnekliği sağlamak için birden çok görev yapabilen klasik makinelere nispeten oldukça pahalı makineler bulunmaktadır.
- Bilgisayar gibi modüler tasarıma sahip sistemler kullanıcılarına, diledikleri takdirde bileşenlerini değiştirerek performanslarını artırabilme fırsatı tanımaktadır. Entegre sistemlerde bu şekilde bir yükseltme söz konusu olamayacağından modülerliğin söz konusu sistemlerin kullanıcıların opsiyon kazandırdığı söylenebilir.

Ar-ge süreci çalışmaları sonucunda üretilmiş olan ürünün pazara sunulması için uygun zamanın ve pazar koşullarının oluşmasını beklemek, firmaya ürünü daha yüksek kar elde edilecek bir ortamda piyasaya sürme fırsatını vermekte ve zamanlama opsiyonunu oluşturmaktadır.

3.7. Senaryo planlama ve gerçek opsiyon analizi ilişkisi

Geçtiğimiz yüzyıl içerisinde, işletme yönetimi üzerine çıkarılmış yayınların çoğu, yöneticileri içinde bulundukları piyasa ortamının müşteri sadakati, teknolojide oluşan değişiklikler, öngörülemeyen rakipler ve hükümet politikalarındaki değişkenlikler gibi belirsizliklere açık olduğunu belirten konular içermektedir. Her ne kadar artık bu kavramlar günümüzde klişeleşmiş olsa da, yöneticilerin halen bu konuları işleyen yeni yayınlara ilgi göstermesi, aslında bu kavramlara vakıf olmamalarından değil, bu yayınlarda belirsizliklerin ortadan kaldırılması için yeni bir yol önerilmiş olabileceği düşüncesinden dolayıdır. Zira, günümüz yöneticileri belirsizliğin işletme kararlarını ne denli etkilediğinin farkında olmalarına karşın, önerilen metotların uygulanabilirliği ve etkinliği konusunda daha sağlam bilgiler aramaktadır.

Belirsizlik ortamında karar verme üzerine geliştirilmiş yöntemlerden en yaygın kullanıma sahip olanlardan ikisi Senaryo planlama ve Gerçek opsiyon analizidir. Senaryo planlama, stratejik planlama araştırmalarının başlamasıyla ortaya çıkan nitel bir yöntem iken, Gerçek opsiyon analizi temelinde finans araştırmaları için oluşturulmuş finansal opsiyonları barındıran ve yönetim alanında uygulanmaya yakın bir geçmişte başlanan nicel bir yöntemdir.

Her ne kadar senaryo planlama ve gerçek opsiyon analizinin her ikisi de belirsizlik altında karar vermeye yönelik olsa da literatürde iki yöntemin bir araya getirilmesine yönelik yapılan çalışma sayısı azdır. Bu bölümde ele alınacak yaklaşım da Miller ve Waller (2003)'ün çalışmasında model olarak kullandıkları yaklaşımdır.

3.7.1. Senaryo Planlama

Senaryolar, gelecekle ilgili alınacak kararlarda, kararın uygulanmasında etkili olacak alternatif gelecek ortamlarının algılanmasında yardımcı araçlar, bir başka deyişle geleceğin resimleridir. Senaryolar, geleceğin belirsizliği göz önüne alınarak hazırlandıkları ve sayılara dayanan ekonometri modellerinin ele alamadığı nitel yaklaşımları da içerisinde barındırdıkları için oldukça değerli planlama araçlarıdır.

Senaryo planlama ise geleceği etkileme potansiyeline sahip aktörlerin, belirsizliklerin, ve kararların bir arada ele alınarak çeşitli senaryoların oluşturulmasına dayanan yönetsel karar verme metodlarından biridir. Senaryoların oluşturulması, yöneticilerin ilgilenilen konu üzerinde geniş bir bilgiye sahip olmalarına ve mevcut trendlerin hangi doğrultuda değişeceğini tahmin edebilme yetisine ihtiyaç duymaktadır. Konu üzerindeki bilginin artması ve konuyla dünya gerçekleri arasında ilişkiler kurulması, ilgilenilen konunun etkisinde olduğu dinamiklerin anlaşılmasında ve geleceğe dönük kararların sonuçlarının öngörülmesinde faydalı bir rol oynar.

Senaryo planlama'nın geçmişi, Manhattan Projesi ismiyle anılan ve bilim adamlarının atom bombasının oluşturacağı etkilerin önceden tahmini için bilgisayar yardımıyla yaptıkları modelleme çalışmasına kadar gitmektedir. 2. Dünya Savaşından sonra ABD ordusu senaryo planlama tekniğini kullanarak, ABD ile ABD'ye düşman ülkelerin birbirlerine karşı silahlı saldırı düzenleme potansiyeli ve bu saldırıya karşılık oluşabilecek karşı önlemlerin ne şekilde cereyan edeceğine ilişkin bir takım senaryolar oluşturmuş, bu senaryolar ışığında da savunma stratejilerini geliştirmiştir. İlerleyen yıllarda Rand şirketi, Stanford Araştırma Enstitüsü ve Hudson Enstitüsü senaryo planlamayı kurumlar için uygulanabilir hale getirmiş; 1970'lerin başında da petrol fiyatlarındaki dalgalanmaları ve Sovyetler Birliği'nin çöküşünün doğal gaz piyasasına etkisini daha önceden senaryo planlama tekniğiyle öngörmüş olan Royal Dutch/Shell şirketi sayesinde, yöntem oldukça popüler bir hal almıştır.

1980'li yıllarda, senaryo planlama tekniği popülerliğini yitirmişse de son yıllardaki stratejik yönetim alanındaki gelişmeler ve günümüzde strateji kavramının yönetsel karar verme sürecinin merkezi olarak görülmeye başlaması senaryo planlama tekniğini yeniden gündeme taşımıştır.

Senaryo planlama tekniği genelde nicel olmayan faktörleri içerir. Senaryo planlama süreci; yöneticiler ve üst düzey departman sorumluları arasında etkileşimli bir tartışma ortamını içinde barındırır. Planlama safhası, organizasyonun faaliyet gösterdiği alandaki mevcut karmaşıklıkların ve iş dinamiklerinin araştırılmasından başlayarak söz konusu iş alanını etkilemesi muhtemel olayların tahminini içeren bir süreçtir. Sonsuz olabilirlik kümesinden, gerçekleşme olasılığı yüksek olan belli bir miktar senaryoya ulaşılması durumunda yöneticiler, anahtar belirsizliklerin ortaya çıkardığı riski azaltıcı ya da fırsatları artırıcı karar verme inisiyatifine sahip olurlar.

3.7.1.1 Senaryo Planlama adımları

Senaryo planlama tekniği sıradan hayal kurmaktan farklı olarak, gerçekleşmesi olası gelecekleri içeren senaryo örgülerinin titizlikle ele alınması ve değerlendirilmesinden güç almaktadır. Kademeli olarak senaryoların oluşturma sürecinde planlayıcılar, dünyanın mevcut ve algılanabilir gerçeklerinden yola çıkarak, inanılabilirlik ölçüsü içerisinde çevredeki değişikliklerin nasıl oluşacağı ve bu değişikliklerin etkilerinin ne seviyede olacağını açıklamaya çalışırlar. Zira senaryo planlama süreci; gerçek veri, önsezi ve yaratıcılığının bir bileşkesidir. Miller ve Waller (2003)'da yer aldığı üzere stratejik planlama süreci şu adımlardan oluşmaktadır:

1. **Konuların saptanması:** Senaryoların kesin olarak belirlenmiş bir amacı ve hedefi olmalıdır. Bu nedenle, bir senaryo planlama sürecinden ne beklendiği iyice belirlenmelidir. Hangi konular araştırılacak, şirketin hangi iş kolları bu planlama da yer alacak gibi sorular sorularak, alınacak yanıtlardan uygulanacak senaryo planlama tekniğinin kapsamı ve içeriği kesin olarak tanımlanmalıdır.
2. **Katılımcıların belirlenmesi ve girdilerin sağlanması:** Katılımcıların, keskin zekaya ve kavrayışa sahip olmaları, konulara geniş bakış açıdan bakabilmeleri ve yaratıcı özellikte kişiler olmaları senaryo planlamanın başarısı için gerekli olan hususlardandır. Katılımcı grubuna konu üzerinde tecrübesi olan şirket personelinin de ilave edilmesi gerekli olsa da, katılımcıların büyük bir kısmının senaryo planlama süreci sonucundan etkilenecek personelden seçilmesi kesinlikle kaçınılması gereken ve senaryolardan beklenen verimin alınmasını engelleyebilecek bir durumdur. Bazı durumlarda şirket dışından olup şirketle ilgili bireylerin (anahtar müşteriler, tedarikçiler, vb.) de katılımcılar arasına ilave edilmesi şirket dışı bakışı sergileme açısından oldukça yararlı sonuçlar doğurabilmektedir.
3. **Bilinenin resminin çizilmesi:** Katılımcıların, önlerinde boş bir beyaz kağıt varmışçasına mevcut trendler ve çevreyi oluşturan anahtar elemanları tanımlamaları istenir. Burada mümkün olduğunca üzeri örtülü ifadelerden kaçınılarak açık ve karmaşık olmayan ifadeler kurulması önem arz etmektedir.
4. **Resme belirsizliklerin eklenmesi:** Mevcut durumdan yola çıkarak çevre üzerinde gelecekte etkili olması muhtemel olan belirsizlikler (teknolojinin gelişme yönü, hükümet politikalarının değişmesi, piyasa koşulları, rakiplerin

tavır, müşteri beklentilerinde oluşabilecek yenilikler gibi) tanımlanarak önem ve konuya etki dereceleri sorgulanmalıdır.

5. **Olası yolların çizilmesi:** Mevcut trendler ve tanımlanan belirsizlikler ışığında katılımcılar, en iyi ve en kötü durum senaryolarını ortaya koymalıdır. Katılımcıların üzerinde anlaşmaları halinde bu uç senaryolar, olası ama makul olma zorunluluğu olmayan senaryo kümesinin sınırlarını oluşturacaktır. Bu sınırlar içerisinde diğer senaryolar üretilmesi mümkündür.
6. **Makullüğün test edilmesi:** Bu aşamada, daha önceden oluşturulmuş olan senaryolar tek tek ele alınarak mevcut zaman bilgisinden yola çıkıp çıkmadığı, anahtar belirsizlikler eklendiğinde mantıklı bir yol izleyip izlemediği, aktörler, çevre şartları ve belirsizlikler arasındaki ilişkinin iyi kurulup kurulmadığı gibi sorularla makul bir senaryo olup olmadıklarına karar verilir. Bu şekilde makul olmayan senaryolar elenir ve gerçekleşmesi makul olan senaryoların yeniden gözden geçirilmesine olanak sağlanır. Bu safhadaki amaç, yönetim stratejisinin oluşturulmasında kullanılacak en makul 3-4 senaryonun belirlenmesidir.
7. **Etkileşimli dinamiklerin öngörülmesi:** Bir önceki safhada belirlenmiş olan senaryolarda aktörlerin davranışları, çevre ve piyasa koşullarında değişiklikler yapılarak senaryonun çeşitli demoları yapılır. Bu aşama, şirketin kendi tavrı dışında rakiplerin tavırlarını da öngörebilme becerisi gerektirdiği için oldukça zorlu bir aşamadır.
8. **Stratejilerin formülasyonu:** Bu son safhada, geleceğin dünyasıyla şimdiki dünya arasında köprü vazifesi gören makul senaryolar sayesinde, yöneticiler fırsatları yakalama ya da belirli sınırlar içerisinde risk taşıma gibi stratejilerini formüle etme serbestliğine sahip olmaktadır.

Senaryo planlama tekniği, stratejik yönetim araştırmacıları ve uygulamacılarının bazı genel varsayımlarını da yansıtmaktadır. Yaklaşım:

- 1) Üst yönetimin firmayı kapsayan bakış açısını kullanır.
- 2) Dış çevreyi tüm karmaşıklığıyla ele almaya çalışır.
- 3) Nitel zenginliği nicel veriye dönüştürerek azaltmaktan kaçınır

Bu yaklaşımın hem artıları hem de eksileri söz konusudur. Bu artı ve eksiler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Senaryo planlama tekniğinin artıları ve eksileri (Miller ve Waller, 2003)

Artılar	Eksiler
Katılımcılık: Birçok katılımcının görüşleri alınarak oluşturulan senaryolar hem örgüt öğrenmesine hem de senaryoların detay seviyesine katkıda bulunur. Zengin detay: Nicel veriler olarak ifade edilemeyecek parametreleri kullanarak diğer sayısal modellerde ulaşamayacak nitel verileri de yöntemde kullanır. Öyküleme: Geleceğin oluşumunda rol oynayacak öğeler (rakipler, çevre, hissedarlar) arasında dinamik etkileşimler oluşturarak senaryoyu öyküler halinde sunar. Geniş perspektif: Olasılık aralığında, gerçekleşmesi makul olan bir çok senaryo oluşturarak değişik perspektiflerden konuya bakışı sağlar. Sistematiik düşünce: Anahtar çevre değişkenleri üzerinde bilginin artmasıyla geri besleme yapılmasına olanak sağlar. Dış-odaklanma: Uzun vadeli fırsatların ve organizasyonun çevresindeki belirsizliklerin kavranması için çerçeve sağlar.	Potansiyel ağırlık: Mantıksal bütünlük ve titiz bir çalışmayla üretilmediği sürece senaryolar spekülative hayallerden ibarettir. Sayısal olmama: Bir çok girdisi sayısal olmayan senaryoların çıktıları da sayısal değildir. Eğilimler: Katılımcılar arasında baskın kişiliklerin yer alması ya da katılımcıların grup psikolojisi uyarınca ortak düşünce göstermeleri, çizilecek gelecek resimlerinin sayısını azaltıp kapsamını da daraltır. Ortaklaşa karar verme eksikliği: Senaryo planlama tekniğinin farklı perspektiften katılımcılara açık olması, ortak bir strateji çevresinde toplanılmasını güç kılabilir.

3.7.2. Gerçek Opsiyon Analizi

Önceki bölümde de genişçe yer aldığı üzere gerçek opsiyonlar, gelecekte bir varlığa sahip olma (alım opsiyonu) ya da varlıktan vazgeçme (satım opsiyonu) hakkını tanıyan ve elinde opsiyon bulunmayan rakipleri karşısında avantaj sağlayan bir yatırım aracıdır. Finansal opsiyonlar, finansal varlıkların alım ve satımına olanak sağlarken gerçek opsiyonlarda söz konusu olan fiziksel ve bilgi kaynaklı varlıklardır. Yine finansal opsiyonlarda kesin uygulama fiyatları ve sona erme süreleri mevcutturken

gerçek opsiyonlarda uygulama fiyatları ve sona erme süreleri eldeki kaynak ve rekabet durumunun birer fonksiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır. Gerçek opsiyonların sona erme süresini etkileyen unsurlar; rakiplerin söz konusu opsiyonu daha önce satın alması ya da Pazar koşullarının o opsiyona olan ihtiyacı ortadan kaldırmasıdır (yatırım alanında rakibin kapsamlı Ar-ge çalışmasına girişmesi, müşterilerin ürüne olan ilgisinin azalması, gibi).

Şirketler “alım opsiyonları”nı, yeni bir pazara girişleri sırasında, ya da yatırımlarına yeni bir boyut getirmeyi planladıklarında (Ar-ge yatırımları, diğer şirketlere hissedar olmak gibi) kullanırlar. Küçülme esnekliği sağlayan ya da tamamen çekilme hakkı tanıyan opsiyonlarsa “satım opsiyonları”nı oluşturur. Geçici ya da sözleşmeli işçi çalıştırma, leasing’le üretim alanı ya da tezgah kiralama, ortaklıklardan koşula bağlı çekilme hakkı gerçek “satım” opsiyonlarına örnektir. Ayrıca üretim çeşidi ve miktarının, ürünün ve dağıtım kanallarının değiştirilebilme esnekliğini oluşturan hem alım hem de satım opsiyonunu içeren bütünleşik opsiyonlarda vardır. Her durum için stratejik esnekliğin sağlanması beraberinde belirli bir maliyeti de getirmektedir. Ancak opsiyonların amacı, strateji değişikliği sonucu oluşacak maliyeti azaltmaktır.

Gerçek opsiyon analizinde yer alan “olay ağacı” yapısı, yöneticilerin gelecek kararlarının detaylandırma ve proje boyunca ayrı noktalarda yer alan alternatifleri değerlendirme imkanı tanımaktadır. NPV analizlerine benzer olarak, bu yaklaşımda da gelecek nakit akışlarının tahmini ve belirli bir faiz oranı söz konusudur. NPV analizinden farklı olarak gerçek opsiyonlar teorisi, yöneticilerin zaman içerisinde proje sürecine değer katacak müdahalelerde bulunacağını varsayar. Olası değer kaynaklarının değer katacağı zamanın ve şeklin belirlenmesi, yöneticilere kritik yatırım kararlarının zamanlama tayininde kolaylık sağlamaktadır.

Gerçek opsiyon değerlendirme modelleri ve yönetim uygulamaları arasında belirgin bir boşluk görülmektedir. Organizasyonların çoğu gerçek opsiyonları sistematik bir yaklaşımdan yoksun bir şekilde değerlendirirken, organizasyonların bir kısmında sermaye bütçesi oluşturma sürecinde gerçek opsiyon analizinin “formal” olarak kullanıldığı görülmektedir. Daha yaygın olan, “informal” gerçek opsiyon düşüncesi (yatırımların ardındaki mantığı gerçek opsiyon terimleriyle ifade edilmesi gibi)’dir. Ancak gerçek opsiyonlara öznel değerler vermek hatalı sonuçlar elde edilmesine yol açabilir.

Tablo 3.2, bir yönetim aracı olarak gerçek opsiyon analizinin artı ve eksilerini göstermektedir. Pozitif tarafta gerçek opsiyon perspektifinin belirsizlik altında karar verme esnekliğine sağlayacağı katkı (değer) ve opsiyon uygulaması kararlarının ne zaman alınması gerektiğine işaret etmesi (zamanlama) yer almaktadır. Negatif kısımda ise gerçek opsiyon değerlerinin uygulamada belirlenmesindeki zorluk, yönetici ve organizasyonların gerçektışı varsayımları, çevre belirsizliklerindeki değişikliklerin gerçek opsiyon değerlendirmesine etkisinin katılmaması ve yatırım kararlarının geciktirilmesi sonucunda yatırımdan elde edilecek karın zamanla azalması yer almaktadır.

Tablo 3.2. Gerçek opsiyon analizinin artıları ve eksileri (Miller ve Waller, 2003)

Artılar	Eksiler
Esnekliğin değerini göstermesi: Değer oluşturmada esnekliğin ve aktif yönetimin değerinin vurgular; batık yatırımı zaman içine yayarak zarar riskini azaltır. Sayısal değerlendirme: Opsiyon değerlerinin analizinde NPV'den farklı olarak potansiyel değeri de hesaba katarak formüllerin gerçek durumu yansıtmamasına çalışır. Zamanlama: Yöneticilere yatırım kararlarını uygulama zamanlaması yapmalarında yardımcı olur.	Uygulamada değerlendirme zorluğu: Opsiyon değerlendirmesi için gerekli olan bir çok girdi finansal değerlerle ölçülemeyecek durumdadır. Analizi farklı durumlar için değiştirmek oldukça zor ve maliyetlidir. Yönetici ve organizasyonların gerçektışı varsayımları: Yöneticiler ve organizasyonlar gerçek opsiyon analizlerini destekleyecek gerekli tecrübe ve sistemden yoksundur. Değerlendirici olup üretici olmaması: Projelerin değerlendirilmesinde elverişli iken tasarımında kullanışlı değildir. Opsiyonları yalıtması: Portföy etkilerinin yatırıma katkısını göz ardı eder. Çevreyle ilişkisiz olması: Belirsizliği tanımlamakla birlikte kaynak değerleri etkileyen çevre faktörlerini ortaya çıkarmaktan yoksundur.

3.7.3. Senaryo Planlama – Gerçek Opsiyon Analizi ilişkisi

Genel olarak bakıldığında senaryo planlama ve gerçek opsiyon analizinin yaklaşımlarının her ikisi de belirsizlik altında karar verme konusuna eğilmiş olmakla birlikte, her birinin odaklanmış olduğu noktalar farklıdır. Bir tarafta senaryo planlama tekniği yöneticilere açıklayıcı senaryolarla; potansiyel fırsatları, riskleri ve belirsizlik kaynaklarındaki değişim potansiyelini gösterirken, diğer yanda gerçek opsiyon analizi yöneticilere olası yatırımların rehberliğini yapmaktadır. Tablo 3.1 ve 3.2 karşılaştırıldığında her iki yöntem arasındaki farklı ya da birbirini tamamlayan bazı noktaları görmek mümkündür.

Senaryo planlama tekniği sayesinde, zaman içerisinde dış faktörlerin yatırım kararları üzerinde ne tür etkileri olabileceği öngörülürken, gerçek opsiyonlar ile büyük yatırım kararları daha küçük kararlara ayrılarak, her bir kararın değerlendirilmesi ve belirsizliğin ortadan kalkmasına göre yatırımın şekillendirilmesi sağlanmaktadır. Sayısal değerlerle ölçülen opsiyon kararların, doğrudan öznel öğeleri de içinde taşımaları nedeniyle hatalı olma ihtimalleri de vardır. Bu noktada ele alınan çözüm ise gerçek opsiyonların ve potansiyel getirilerinin nitel yaklaşımla ele alınmasıdır.

3.7.4. Bütünleşik yaklaşım

Kavramsal ve teorik olarak farklılıklarına rağmen, gerçek opsiyon teorisi ile senaryo planlama tekniğinin bir stratejik planlama çerçevesi oluşturmak üzere bir araya getirilmesi mümkündür. Bu bütünleşik yaklaşımdan beklenen her iki stratejik yönetim aracının da birbirlerini tamamlayıcı özelliklerinden yararlanmaktır.

Miller ve Waller (2003)'ın yaklaşımı iş birimi seviyesinden başlayarak, şirket seviyesine ilerlemektedir. İş birimlerinin maruz kaldıkları belirsizlikler tanımlanarak senaryoların oluşturulması, şirket strateji portföyünün oluşturulmasında temel teşkil edecektir. Ayrıca, yaklaşımda gerçek opsiyonların nitel analizi kullanılmıştır. Birleşik yaklaşımın aşamaları aşağıda verilmiştir:

3.7.4.1. Adım.1: Senaryo Planlama

Senaryo Planlama süreciyle dünyanın gelecekteki olası durumlarının öngörülmesi ve ifade edilmesi, yaklaşımın risk yönetim çerçevesinin de temelini oluşturmaktadır. Bu adımın uygulanması için öncelikli olarak şirketin genel iş portföyü alt parçalara ayrılır. Senaryo planlama tekniğinin anlatıldığı bölümde belirtilen adımların her biri

söz konusu alt iş parçalarına uygulanır ve elde edilen fotoğraflar birleştirilerek bütünleşik bir risk yönetimi yaklaşımının oluşması sağlanır.

3.7.4.2. Adım 2. Fotoğrafların belirlenmesi

Geniş kapsamlı fotoğraf değerlendirmesi – Bütünleşik risk yönetiminin temelinde, işletme performansını etkilemesi mümkün tüm belirsizliklerin göz önüne alınarak bir arada değerlendirilmesi yatmaktadır. Bu durum belirli olasılıkların değerlendirildiği özelleşmiş fotoğraflardan (döviz kuru değişimi, yeni teknoloji, rakiplerin pazar tehditleri gibi) farklılık göstermektedir. Belirli olasılıkların birbirlerinden ayrı olarak değerlendirilmesi, olasılıkların tümünün bir arada değerlendirilmesine kıyasla hem maliyetli hem daha az etkili olabilmektedir.

Yöneticiler kararlarını etkileyecek belirsizlikleri 3 genel kategoride ele almalıdır:

- 1) Genel çevre belirsizlikleri
- 2) Endüstri belirsizlikleri
- 3) Firmaya özgü belirsizlikler

Tablo 3.3, sözü edilen 3 kategoride yer alan belirsizliklere ve bu belirsizliklere ilişkin örneklerle yer vermektedir. Bu belirsizlik tipolojisi sayesinde yöneticilerin benzer ve ilişkili olasılıkları görmeleri mümkün olmaktadır. Hükümet politikaları, ekonomik şartlar ve sosyal trendler tüm firmaları belirli bir ölçüde etkileme potansiyeline sahip genel çevre belirsizlikleridir. Endüstri seviyesi belirsizlikler daha çok; alıcılar, tedarikçiler ve mevcut/potansiyel rakiplerden oluşan endüstri yapısına bağlı faktörlerdir. Firma uygulamaları, ar-ge çalışmaları, yönetici ve işçi davranışları, yeniliğe açıklık seviyesi gibi faktörler de firmaya özgü belirsizlikleri oluşturmaktadır.

İş birimi seviyesinden başlama – Farklı iş alanları, farklı risklerle karşılaştığından, iş birimi seviyesini ele almak yatırımların değerlendirilmesi için uygun bir başlangıç noktasıdır. Senaryo planlamanın önemli bir çıktısı da iş birimlerinin yöneticilerinin karşı karşıya oldukları anahtar olasılıklar üzerinde fikir alışverişinde bulunmalarına olanak sağlamasıdır. Örnek bir uygulama için, 3 iş koluna bölünmüş bir şirketi ele alalım. Her bir iş kolu için, yöneticiler geleceğe yönelik yatırım senaryoları oluştursun. Bu senaryolardan en olası olanların seçilmesiyle, anahtar belirsizlik kaynakları da belirlenmiş olacaktır. Söz konusu belirsizliklerin şirketin bütün

performansına etkilerinin pozitif mi negatif mi olacağının tahmini ellerindeki mevcut bilgiler ışığında yöneticilere kalmıştır. Ele alınan firmanın 3 iş koluyla ilgili yatırım kararları Tablo 3.4’de mercek altına alınmıştır. Tablonun birinci sütununda, iş birimi seviyesindeki senaryo planlama çalışmasından elde edilmiş anahtar belirsizlikler yer almaktadır.

Bu belirsizlikler gerek sürekli değişkenler (yerel paranın değeri gibi) gerekse ayrık değişkenlere (ihracata fatura sınırlaması gibi) bağlı olabilir. A, B ve C sütunlarında belirsizliklerin o iş kolu üzerindeki etkileri (Pozitif, negatif, etkisiz) görülmektedir.

Tablo 3.3. Çevre belirsizliklerinin 3 farklı boyutu (Miller ve Waller, 2003)

Genel çevre belirsizlikleri	
Siyasi:	Terör, savaş, Hükümet değişiklikleri
Hükümet Politikası:	Siyasi ve mali politikadaki değişiklikler, ithalat/ihracat kısıtlamaları, iş sektörünü etkileyen düzenlemeler, vergi politikası
Makroekonomik	Döviz kurları, Faiz oranları, enflasyon,
Sosyal:	Sosyal huzursuzluk, sosyal ilgide değişim
Doğal çevre:	Hava ve iklim değişiklikleri, doğal afetler
Endüstri belirsizlikleri	
Girdi pazarı:	Girdilerin kalitesi, endüstriyel ihtiyacın karşılanma düzeyi
Üretim pazarı:	Müşteri beğenisi, pazar ihtiyacı, ikame malların elde edilebilirliği
Rekabet:	Fiyatlama ve diğer rekabet, pazara yeni girişler, ürün ve süreç yenilikleri
Firma Belirsizlikleri	
Uygulamalar:	Çalışan ilişkileri, girdilerin mevcudiyeti, üretim çeşitliliği
Sorumluluklar:	Ürün sorumlulukları, zararlı atık yayılımı
Ar-ge:	Ar-ge çalışmaları, yeni ürünlerin kabul denetlemesi
Krediler:	Paraların toplanmasındaki problemler
Davranışsal:	Yönetici ve çalışanların fırsatçı davranışları

Yatırım değerlendirmelerinin şirket geneline bütünleştirilmesi – Şirket birimlerinde oluşturulan yatırım kararları ve bunlara bağlı olasılıklar, bu aşamada bir araya getirilerek genel şirket performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir. Olasılıkların etkileri bazı iş birimlerinde aynı yönde olurken, bazılarında ters yönde olabilmektedir. Çevre belirsizliklerinin etkilerinin şirket düzeyinde ele alınması risk etkilerinin daha genel anlamlarıyla değerlendirilmesine de yardımcı olmaktadır. Tablo 3.4’ün en sağında yer alan sütunda, belirsizliklerin tüm şirket portföyündeki etkileri görülmektedir. Söz konusu etkilerin hesaplanmasında şirket satışlarının tüm firma satışlarına ağırlıkları ile belirsizliklerin iş birimi düzeyindeki etkilerinin çarpımının kümülatif toplamı kullanılmıştır.

Tablo 3.4 Belirsizliklerin portföye etkisi (Miller ve Waller, 2003)

Belirsizlikler	İş kolları			Firma geneli
	A	B	C	
İhracat sınırlamaları	+	+	-	+
Çevresel düzenlemeler	-	-	0	-
Ülke parasının değeri	+	+	-	+
1. girdinin fiyatı	-	0	-	-
2. girdinin fiyatı	+	-	-	0
Rakiplerin fiyatları	+	+	0	+
Pazara yeni girişler	-	-	0	-
C iş kolunda yeni teknoloji	-	0	+	-
Ağırlık	0.5	0.3	0.2	1.0

3.7.4.3. Adım 3. Gerçek opsiyon yatırımlarının belirlenmesi

Bu aşamada yöneticilerin, hangi yatırım kararının şirketin değerini artırıp hangisinin artırmadığını değerlendirmesi ve bu doğrultuda yatırımın büyüklüğünün ne boyutta olmasına karar vermesi gerekmektedir. Yatırımların uygulama maliyetlerini artırması durumunda finansal performansta bir düşüş gözlenmesi de muhakkaktır. Bu durum özellikle üretim istikrarsızlığının çalışma etkinliğini azalttığı ve firmayla iş yapanların

yaptıkları işlerde karşılaşılan risklerin firma tarafından taşınmasını talep ettikleri durumlarda oluşmaktadır.

Gerçek opsiyonların birlikte değerlendirilmesi – Firmalar genelde birden fazla gerçek yatırım opsiyonlarına sahiptir. Bu opsiyonların aynı anda değerlendirilmesi yöneticilerin, potansiyel risklerin ve fırsatların diğer opsiyonlara etkilerini de görmeleri açısından oldukça yararlı olacaktır.

Önceki örnekte ele alınan firmanın mevcut iş birimlerine ilave olarak 3 ayrı ürün hattı oluşturma ve bunlardan birinin de ileride ayrı bir iş birimi olarak faaliyet vermesi düşüncesini değerlendirdiği varsayalım. Gerçek opsiyon yaklaşımı gereği yönetim, belirsizlik ortamıyla ilgili bilgi edinmek üzere; ürün geliştirme, üretim kapasitesi, dağıtım ve tedarik kanalları, personel üzerinde küçük çaplı yatırımlarda bulunacaktır. Bu ilk yatırım alımları gerçek alım opsiyonları olarak nitelendirilebilir ve işi büyötmeye yönelik adımlar olduğu için literatürde “büyüme opsiyonları” olarak tanımlanmaktadır. Tablo 3.5’de söz konusu üç iş birimi aday ve bu adayları içinde bulundukları belirsizliklerin adaylar üzerlerindeki etkileri verilmiştir. Alt satırda yer alan ağırlıklar, söz konusu iş alanından beklenen satışların mevcut iş portföyünde elde edilen satışlara oranlarını göstermektedir.

Belirsizliklerin yatırım opsiyonlarına etkilerine bakıldığında X ve Z’nin ters yönde etkilendikleri, bu durumda X ve Z’ye aynı anda yatırım yapılmasının yüksek maliyete neden olacağı; yine X opsiyonuyla firma portföyünün belirsizliklerden aynı yönde etkilendikleri görölmektedir.

Firma yatırım kararlarının değerlendirilmesi – Risk yönetimi açısından bakıldığında, yöneticiler firmanın toplam riskini azaltmak için, portföylerinde riski yaymaya yönelik yatırımlar bulundurma eğilimindedirler. Bu anlayış gereği, örnek değerlendirilecek olursa, Z opsiyonuna yapılacak yatırım firmanın mevcut portföyünün maruz kaldığı riskten uzak olacaktır. Dolayısıyla Z opsiyonuna yatırım yapılması durumunda risk bir ölçüde azaltılmış olacaktır. Ancak oluşturulan senaryolarda, mevcut firma portföyünün gelecekte daha da değeri olacağı öngörülüyorsa, bu durumda X opsiyonuna yatırım yapmanın getireceği fayda daha yüksek olacaktır. Y opsiyonu ise belirsizliklerden portföyden bağımsız etkilendiği için, Y opsiyonuna yatırım kararı verilmesinin diğer opsiyonlar üzerinde etkisi bulunmayacağı gözölmektedir. Dolayısıyla aynı anda X ve Y opsiyonlarının ya da Y ve Z opsiyonlarının uygulanması mümkün görölmekle birlikte, yine riskin dağıtılması da söz konusu olmaktadır.

Tablo 3.5 Gerçek opsiyonların belirsizlikler ışığında değerlendirmesi
(Miller ve Waller, 2003)

Belirsizlikler	Opsiyonlar			Firma geneli
	X	Y	Z	
İhracat sınırlamaları	+	0	-	+
Çevresel düzenlemeler	0	0	+	-
Ülke parasının değeri	+	-	-	+
1. girdinin fiyatı	-	0	+	-
2. girdinin fiyatı	0	0	0	0
Rakiplerin fiyatları	+	0	0	+
Pazara yeni girişler	-	0	0	-
C iş kolunda yeni teknoloji	-	0	+	-
3. girdinin fiyatı	0	-	0	0
Y iş alanında yeni teknoloji	0	-	0	0
Z iş pazarına yeni girişler	0	0	-	0
Ağırlık	1.4	0.5	0.2	1.0

3.7.4.4. Adım 4. Uygulama

Senaryo analizi ve nite gerçek opsiyon analizinin en büyük amacı organizasyonel esnekliği artıran “organizasyonel öğrenme”nin sağlanmasıdır. Organizasyon içerisinde rekabet birimlerinin oluşturulması, anahtar belirsizliklerin tanımlanarak mevcut trendler, ve rakiplerin çalışmaları gibi yatırımları etkilemesi muhtemel faktörlerin sürekli izlenmesi yatırım kararlarının alınmasında kolaylık sağlayacaktır. Yine firmanın esnekliğini artırmak üzere organizasyonel yapının, iş süreçlerinin ve üretim ortamının esnek bir yapıda oluşturulması yine stratejik değişikliklerin düşük maliyetle uygulanmasına olanak sağlayacaktır. Ayrıca firma personelinin sürekli eğitimi de oldukça önemlidir. Sonuç olarak firmalar zaman içerisinde kararlarını mutlaka gözden geçirmeli, değişen koşullar ve belirsizlikler uyarınca opsiyonların uygulanmasına ya da iptaline dinamik bir şekilde karar vermelidir.

3.7.5. Bütünleşik yaklaşımın değerlendirilmesi

Bütünleşik yaklaşım, klasik gerçek opsiyon analizi için gerekli olan, ancak problemin doğası gereği sayısal olarak tanımlanması zor olan belirsiz parametreleri kullanarak yöneticilere karar vermelerinde yardımcı olacak nitel bir yaklaşım sağlamaktadır. Ayrıca yaklaşımın temelini oluşturan, iş portföyü ve mevcut iş kolları seviyesinde yapılan değerlendirmeler, tutarlı ve bütünleşik bir risk yönetimi oluşturulması için anahtar rol oynamaktadır.

4. ROKET TEKNOLOJİSİ ve BALİSTİK FÜZE SAVUNMASI

4.1. Giriş

Kısa menzilli balistik araçlar insanlık tarihinin başlangıcından günümüze kadar varolmuştur. Taş, ok, serbest uçuşlu roket, tüfek mermisi ve bombalar hedeflerine ulaşmak için balistik yörüngeler izlemişlerdir. 2.dünya savaşı, güdümlü roketlerin çağını başlatmış, bu savaş sırasında Londra ve Antwerp, Almanya'dan fırlatılan güdümlü füzelere hedef olmuştur. 2. Dünya savaşından günümüze kadar geçen süreç içerisinde güdümlü roket teknolojisi geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Roket itki sistemlerinde sağlanan gelişmeler neticesinde, roketler dünyanın herhangi bir noktasından fırlatılarak yine dünya üzerinde, hatta uzayda herhangi istenen noktayı vuracak güce sahip hale gelmiştir. Teknoloji öylesine gelişmiştir ki, günümüz füzeleri için savaş başlığı tipleri, kalkış ağırlığı, yönlendirme ve menzil gibi hususlarda sınırlama bulunmamaktadır.

Soğuk savaş dönemi, iki büyük gücün (ABD ve SSCB) büyük miktarda balistik füze üretmesine yol açmıştır. Söz konusu füzeler denizaltı gibi saklı hedeflerden uçaklara kadar geniş bir fırlatma platformu serbestliğine sahip olmasının yanı sıra dünya üzerindeki herhangi bir hedefe kolayca ulaşabilme ve bu hedefler üzerinde savaş başlıklarının yıkım gücüne göre geniş çaplı bir yıkıma sebep olabilme özelliklerine sahiptir. Teknolojinin zamanla diğer dünya ülkelerine de yayılım göstermesi, günümüz dünya ülkelerinin taktik füzelerden daha geniş çaplı olan balistik füzelere kadar değişen boyutlarda silah sistemlerine sahip olmalarını da beraberinde getirmiştir. Özellikle balistik füzeler uzak mesafelere ulaşabilme ve geniş bir alanı etkileyebilme özellikleri nedeniyle tüm dünya ülkeleri için büyük bir tehlike oluşturmaktadır. Günümüzde balistik füze teknolojisine sahip olan bir devletin, bir savaş durumunda düşman ülkeyle sınırlarının bitişik olup olmamasına ya da düşman unsurlarının sınıra yakın olup olmadığına bakılmaksızın kısa sürede güçlü ve etkili bir saldırı yapması mümkün hale gelmiştir.

4.2. Balistik füze karakteristikleri

Balistik füzelerin tümü ortak bir özelliğe sahiptir: ivmelenme, seyir ve son yönlenme (yok etme) safhalarından oluşan balistik bir yörüngeyi takip ederler. İvmelenme safhası, roketin yer çekimine karşı oluşturduğu itkiyle rampadan ayrılmasından roketin seyir irtifasına çıkıncaya kadar geçen süreyi içeren safhadır. İvmelenme safhasında geçen süre roketin menziline ve kullandığı iticinin çeşidine göre değişim göstermekle birlikte, genelde 1-5 dakika arasında değişmektedir. Safhanın sonuna doğru, yine roketin menziline bağlı olarak roket, ya atmosfer dışına çıkmakta ya da atmosferin üst katmanlarına ulaşmakta ve seyir safhasına geçmektedir. Seyir safhası bir roketin hedefine ulaşıncaya kadar geçen toplam süre içerisinde en uzun süren safhadır. Söz konusu safhada roket hedefine doğru eğik açıyla yaklaşmakta ya da serbest düşüş yapmaktadır. Kıtalararası balistik füzeler düşünüldüğünde, savaş başlığının seyir safhası, ortalama 8000 km/h. hız ile 20 dakika sürebilmektedir.

Atmosferin dışına çıkan füzelerin çoğu savaş başlıklarının menzilini artırabilmek için roket iticilerini burada bırakmaktadır. Orta ve uzun menzilli füzeler için seyir safhası atmosfer dışında sürmektedir.

Balistik füzelerin hedefe yöneldikleri safha uçuşun son safhası olan yönelme (yok etme) safhasıdır. Bu safhada atmosfer dışında seyreden uzun ve orta menzilli füzelerin savaş başlıkları atmosfere girerek; kısa menzilli füzeler ise doğrudan yönelim açılarını değiştirerek hedeflerine yönelmektedir. Kıtalararası füzeler için bu safha 1 dakikadan daha az sürmektedir.

Balistik füze savunmasında, söz konusu safhaların tehditleri durdurmak için ayrı ayrı avantajları ve riskleri bulunmaktadır. Tehdit eden füzenin çeşitli uçuş safhalarında engellenmesi katmanlı savunma olarak adlandırılmaktadır. Katmanlı savunma füzelerin yok edilmesi için her bir katmanda engellemeye sahip karşı füzeleri barındırmaktadır. Böylece füzenin engellenememe riski düşürülmeye çalışılır.

Bir balistik füzeyi ivmelenme safhasında karşılayarak (interception) yok etme kabiliyetine sahip olunması, tehdit eden füzenin menzilinden bağımsız olarak küresel düzeyde savunmayı sağlar. Seyir safhasında yok etme kabiliyeti geniş alanları koruma altına alırken, ancak yönelme safhasındaki roketleri yok etme kabiliyetindeki sistemler daha dar kapsamlı alanların savunmasında kullanılabilir. Dolayısıyla safhaların her biri için karşılama imkanına sahip olunması, savunma sisteminin

güvenilirliğini ve etkinliğini artırmakta, balistik füze tehdidinin bertaraf edilme olasılığını da yükseltmektedir.

Kitle imha silahları ya da nükleer başlık taşıyan füze tehdidinin söz konusu olması durumunda, tehdidin zamanında durdurulması kritik önem taşımaktadır. Yıkıcılığı ve insan yaşamına etkisi yüksek olan nükleer başlıklı füzelerin mümkün olan en kısa sürede yok edilmesi için, füzenin fırlatma anındayken ya da ivmelenme safhasının henüz başlarındayken yok edilmesi gerekmektedir. Bu tür bir savunma içinde global entegre bir savunmaya ihtiyaç vardır. İlerleyen bölümlerde balistik füze savunması, savunma sistemleri ve tehdit değerlendirilmesiyle ilgili ayrıntılı bilgi yer almaktadır.

4.3. Balistik füze savunması

2. Dünya savaşıyla birlikte hızla gelişen balistik füze tehdidine başlangıçta yeteri kadar önem verilmemişti. Savaş sırasında roketleri diğer uçaklara benzer şekilde uçaksavar ateşi ile engelleme çalışmaları olduysa da bunda başarı kaydedilemedi. Bununla birlikte, 2. Dünya Savaşı'nda mevcut teknolojinin füze saldırısını algılama yeteneğine sahip olmaması; havadaki bir füzenin hedefinin neresi olduğunun kestirilememesi gibi nedenlerden dolayı saldırılara karşı aktif önlem almak mümkün olmuyordu. Bu durum Soğuk Savaş'la birlikte değişip, erken uyarı sistemlerinde gelişme kaydedilse de, Soğuk Savaş yıllarında da ana savunma stratejisi halen pasif savunma üzerine kuruluydu. Bu düşünce uyarınca sağlanan teknolojik gelişmeler, füze saldırısının önceden tespit edilmesi, ve böylece hedef bölgede bulunan insanları saldırı öncesinde uyararak kendilerini füze saldırılarından koruyabilecekleri güçlü sığınaklara ulaşabilmeleri için zaman kazandırmak amacını taşımaktaydı. Bu doğrultuda ABD, İsveç, İsviçre gibi bazı ülkelerde pasif savunma yaklaşımı gereği nükleer füze saldırısına dayanabilecek çok sayıda sığınak inşa edilmiştir. Zamanla roketlerin uçuş ve son yönleniş hızlarının artması ve patlayıcı içeren savaş başlıklarının yıkıcı etkisinin artarak daha geniş alanı tahrip edebilir bir seviyeye ulaşması, ilerleyen yıllarda pasif savunma düşüncesinin ne denli etkili olduğu sorusunu da beraberinde getirmiştir.

1960'ların sonlarına doğru Anti-Balistik Füze (ABM)'lerin geliştirme çalışmalarına başlanmış ve bu çalışmalar aynı yıllarda durdurulmuştur. Süper güçlerin (ABD, SSCB) artan bu füze tehdidi konusunu değişik boyutlarıyla ele almaları ve söz konusu silahlanma sürecinin taraflara hem maddi hem de manevi büyük zarar

getireceği hususunda görüş birliğine varılmış ve “Silahsızlanma Anlaşması” imzalanmıştır. Bu anlaşma sonucunda, balistik füze savunmasına yönelik çalışmalar 20 yıldan uzun bir süre için rafa kalkmıştır.

Sebebi halen tam olarak anlaşılamamış olmakla birlikte, dönemin ABD Başkanı Ronald Reagan, 1983 yılında “Yıldız Savaşları” adıyla da anılan “Stratejik Savunma Programı”nı hayata geçirmiştir. Bu program, balistik füze tehditlerine karşı koyacak sınırlı silah üretimini içermektedir. 1991 yılındaki Körfez Savaşı sırasında, savaşın taraf ülkelerinden olan Irak, kendisiyle ortak sınıra sahip olmayan bölge ülkeleri Suudi Arabistan ve İsrail’e yönelik balistik füze saldırısında bulunmuş, bu saldırılar sonucu can ve mal kaybı meydana gelmiştir. Söz konusu saldırıları engellemek üzere bölgede kullanılan tek savunma sistemi olan PATRIOT PAC-2 füzeleri, tasarım itibarıyla bu tür bir tehdidi engelleyebilecek özelliklere sahip değildi. Bu yüzden, balistik füze saldırılarını engellemek amacıyla balistik füze rampalarına yapılan hava saldırılarının da sonuçsuz kalması üzerine, savaş sona erece kadar bu saldırıları engelleyebilmek mümkün olmamıştır. 2. Dünya Savaşı’nın üzerinden 50 yıl geçmiş olmasına rağmen, Körfez Savaşı’nda gözlenen en etkili savunma yine pasif savunma olmuştur.

4.4. Saha Balistik Füze Savunması (Theater Ballistic Missile Defense)

Körfez Savaşı’nın değerlendirilmesi, yeni bir faktörü günışığına çıkarmıştır. ABD ve Sovyetler Birliği arasındaki yoğun tehdidin ortadan kalmış olması, sınırlı sayıdaki balistik füze saldırısına karşı ABD askerleri ve müttefiklerinin korunma ihtiyacını açık bir biçimde ortaya koymuştur. Birisi global diğeri ise daha bölgesel karşılamaya dayalı eski ve yeni senaryolar arasında başlıca iki büyük fark mevcuttu. Birinci fark saldırının kesin büyüklüğüydü. Binlerce füzenin aynı anda geliyor olmasından ziyade, problem en fazla birkaç düzine füzeden oluşuyordu ki bunun içinde makul düzeyde bir önlem alma yoluna gidilmesi daha mantıklıydı. İkinci husus ise, yakın gelecekte karşılaşılabilecek saldırıların birçoğunun büyük bir olasılıkla nükleer başlık taşıyan silahlardan ziyade biyolojik ve kimyasal savaş başlığı taşıyan konvansiyonel silahlarla gerçekleşeceğinin düşünülmesiydi. Bu yüzden “Saha Savunması” terimi dar kapsamlı bir coğrafyaya gerçekleştirilen sınırlı bir saldırıyı tanımlaması nedeniyle geniş bir kullanıma sahip olmuştur.

Körfez Savaşı sonrasında, kısa menzilli balistik füzelere karşı bile başarılı ve güvenilir bir sisteme sahip olunmadığı gerçeği ortaya çıkmış; bunun üzerine ABD ve İsrail, balistik füze savunma sistemi geliştirme yönünde çalışmalara başlamıştır.

Sınırlı balistik füze saldırılarına karşılık verebilmek için çeşitli sistemler mevcuttur:

1) Caydırıcı politik baskı ve misilleme, 2) Elektronik Savaş, 3) Füze fırlatma rampalarının yok edilmesi, 4) Füzenin tırmanış safhasında yok edilmesi, 5) Füzenin ara safhada yok edilmesi, 6) Füzenin iniş sırasında yok edilmesi ve 7) Pasif savunma.

Ülke savunması için karar verici konumunda bulunanlar, yukarıdaki önlemlerden birkaçını veya tamamını uygulama konusunda karar vermek zorundadır. Tarihte, savaş alanlarında bir çok pahalı sistemin yüksek teknoloji destekli ucuz sistemler karşısında yenilgiye uğradığı gözlenmiştir (bir tankın daha ucuz olan bir anti-tank roketiyle imha edilmesi, ya da bir uçağın uçaksavar ateşiyle düşürülmesi gibi). Olaya Füze savunma sistemi açısından bakıldığında ise, füze savunma sistemi maliyetinin füze saldırı sistemi maliyetinden kat kat fazla olduğu görülmektedir. Bu durum, savunan tarafın daha yüksek risk altında bulunması nedeniyle, tehdide karşı daha gelişmiş ve daha kapsamlı sistemlere ihtiyaç duymasından kaynaklanmaktadır. Özellikle konvensiyonel olmayan savaş başlığı takılması füzelerin maliyetini artırsa da, karşı tedbir için oluşturulması gereken füze kalkanının maliyeti daha fazla olacaktır.

Gerçek bir saldırıda balistik füzeler, salvolar halinde ve aynı anda farklı yönlerden gelecektir. Bu durum göz önüne alındığında, oluşturulacak sistemin daha karmaşık bir yapıda ve aynı anda birden fazla tehdide cevap verebilecek bir kabiliyete sahip olması gerektiği durumu ortaya çıkmaktadır. Bir başka durum da, yine karşı önlem olarak fırlatılmış olan füzelerin tehdit oluşturan füzeyi yok edip etmediğinin kesin bir şekilde doğrulanması zorunluluğudur. Eğer tehdit oluşturan füze yok edilmemişse ikinci bir karşı füzelerin gönderilmesi kaçınılmazdır. Dolayısıyla bu ve benzeri nedenlerden dolayı savunma problemine ulusal bir bakış açısıyla bakmak ve çeşitli senaryolar için kullanılacak bir ürün ve sistem mimarisi oluşturma gerekliliği apaçık ortadadır. Sınırlı performans özellikleri ve maliyet açısından bakıldığında, istenilen görevi yerine getirebilmesi için özelleşmiş, tek tip bir Balistik Savunma Sistemi'nin kullanımı yeterli olmayacak, çeşitli tipte savunma silahının da yer aldığı sistemlerle entegre edilmesi gerekecektir. Bu durum, özellikle farklı tip füzelerin gerçek zamanlı olarak birbirleriyle uyumlu bir şekilde çalışması sorununu ortaya çıkaracaktır. Bir de farklı devletlere ait, farklı doktrin ve görüşler çerçevesinde

tasarlanmış, farklı sistemlerden bir savunma sistemi oluşturulduğu düşünülürse, balistik füze tehdidine karşılık vermenin ne denli karmaşık olabileceği anlaşılabılır.

Her bir BMD sistemi, tehdidi farklı uçuş safhalarında yok etmek üzere planlanmakta ve bir dizi “savunma katmanları” oluşturmaktadır. Etkili balistik füze saldırılarına karşı koyabilmek üzere oluşturulmuş, kabul edilebilir bir BMD mimarisi büyük olasılıkla birkaç savunma katmanından oluşacaktır. Bazı durumlarda, savunma mimarileri erken uyarı sistemlerinin de yardımına ihtiyaç duyabilmektedir. Aktif BMD sistemleri için erken uyarılar, tehdidi yok etme işlemini dışarıdan tetikleyen elemanlar olarak kullanılabilirler. Pasif savunma için ise, tehdidin mümkün olan en kısa sürede algılanarak alarm durumuna geçilmesinin önemi, Körfez Savaşı’nda bir kez daha kanıtlanmıştır. Söz konusu erken uyarı ve algılama sistemlerinin BMD sistemine entegre edilmesi, başlı başına bir maliyet etkinliği ve performans analizi yapılmasını ve entegrasyon problemlerinin ortadan kaldırılmasını gerektirmektedir.

BMD mimarisinin maliyeti arttıkça, en uygun mimariyi oluşturabilmek için bir çeşit ölçüme ihtiyaç duyulmaktadır. Basit bir minimum maliyet analizi söz konusu problemi çözmeye yeterli olmamakla birlikte, BMD mimarisinin etkinliğini ölçmek için birden çok hususun göz önüne alınması gerektiği kesindir.

Düşmanın elinde bulundurduğu silahlar ve uygulamaya koyabileceği savaş senaryoları, BMD mimarisinin ölçeğini belirlemede anahtar rol oynamaktadır. Tüm potansiyel tehditlerin kolayca alt alta toplanarak birlikte ele alınması, maliyeti karşılanamayacak ölçüde bir BMD mimarisinin gerekliliğini ortaya koysa da, optimal bir yapının oluşturulması ancak tehdit boyutlarının farklı senaryolar kapsamında ele alınmasıyla mümkündür.

Karmaşık durumları ele almak için, analiz de tek başına yeterli değildir. BMD alanı için geliştirilmiş, değişik senaryoların denenebildiği uygun simülasyon ve savaş oyunlarına da ihtiyaç duyulmaktadır. Bahsedilen tüm bu faktörlerin uygulanabilir bir BMD mimarisinin oluşturulmasında büyük katkıları olmaktadır.

4.5. Balistik füze tehdidinin gelişimi ve gerçekler

Soğuk Savaş’ın ardından küresel çatışmalarda gözlenen düşüşe rağmen, karmaşıklaşan roket teknolojisi daha da geniş bir alana yayılarak gelişimini sürdürmüştür. Balistik ve “Cruise” tipi insansız hava taşıtı tarzı alçak irtifada seyreden roketlerle birlikte

kitle imha silahlarının dünyanın farklı ülkelerinin envanterine girmesi, devletlerin her birinin olası bir çatışma durumunda tehdit altında kalabileceği gerçeğini ortaya sunmuştur. Bu durum savunma sistemlerinin de karmaşıklaşmasına ve müttefik ülkelerin ortak savunma strateji oluşturmalarını da gerekli kılmıştır. Körfez Savaşı'nda Irak'ın fırlattığı Scud füzelerinin ABD ordusu tarafında kayıplara neden olması, geliştirilen sistemlerin sadece ülke sınırlarını korumaktan ziyade mobil hale getirilerek sınır ötesi operasyonlarda da kullanılabilir hale getirilmeleri için çalışmaların başlamasına neden olmuştur. Günümüzde 25'ten fazla ülkenin NBC silahlarına sahip olduğu tahmin edilmektedir.

4.6. Tehdit değerlendirmesinin değişik boyutları

TBM'lerin ilk kez kullanıldığı 2. Dünya Savaşı'ndan bu yana, savaş alanlarında TBM kullanımı sürekli endişeyle karşılanmıştır. Bu endişe yersiz de değildir, zira şu ana kadar savaş alanlarında denenerek kendini ispatlamış hiçbir TMD Savunma sistemi mevcut değildir. Bu durumun oluşmasında, TBM üretimini kısıtlandırma amaçlı olmakla birlikte, savunma silahlarının geliştirme çalışmalarını da engellemiş olan uluslararası anlaşmaların rolü büyüktür.

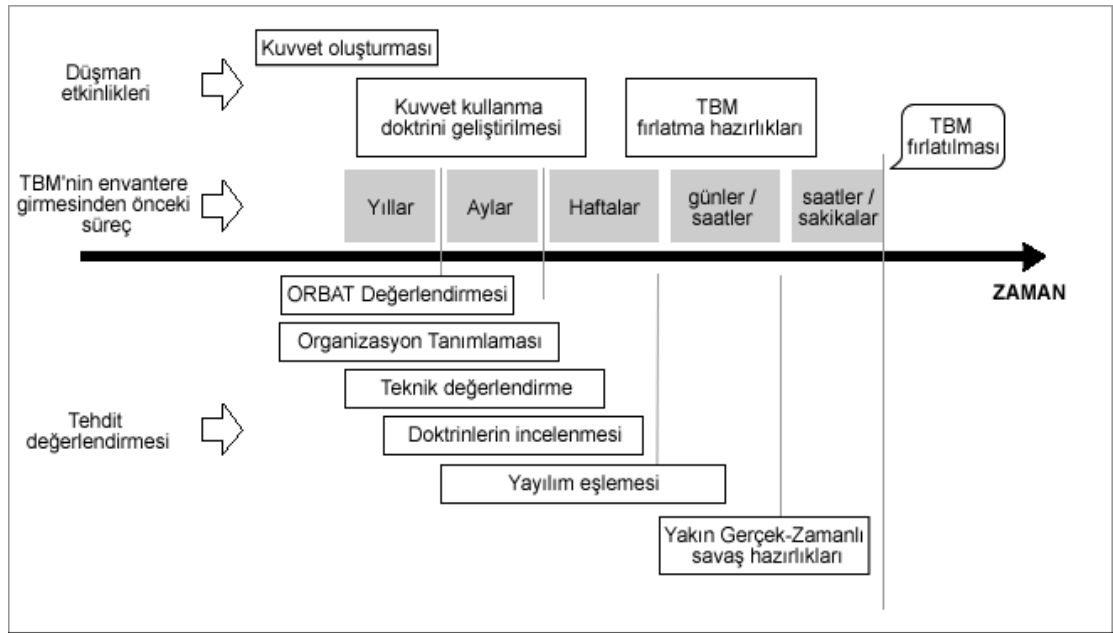
Doğası gereği, TBM'ler tamamen ofansif ve bir o kadar da etkili silahlardır. Bu yüzden ki, TBMD Sistemlerinin kurulmasının tek amacı sadece bu füzeleri doğru zaman ve doğru yerde durdurabilmektir. Hedefe ilerleyen bir füzeyi kendisinden beklenen şekilde yok eden bir sisteme sahip olmanın maliyet yönü, sağlanan kazanç göz önüne alındığında ikinci planda kalmaktadır. Ancak yine de üretim maliyeti ve gerekli mühendislik çalışmaları maliyeti optimum bir düzeyde tutulmalıdır. Özellikle TMDS gibi teknoloji yoğun bir sistemin geliştirme ve uygulama sürecinin uzun yıllar alacağı düşünülürse, sistemin ilk oluşturma safhalarında, ülkenin mevcut ve ileriye dönük savunma politikası uyarınca oluşabilecek tehditler ve bu süre zarfında edinilecek teknolojik gelişmelerin değerlendirilmesi; ilerleyen safhalarda da sürekli geri beslemelerle durum değerlendirmesi yapılarak gerekli modifikasyonların sisteme kazandırılması büyük önem arz etmektedir.

En kötü durum öngörülleri ve senaryoları her ne kadar operasyonel riski minimuma indirse de, karşılığında ülke ekonomisine getirdiği yüksek maliyet neticesinde, oluşturulması planlanan sistemin karşılanamayacak seviyeye gelmesine nedene

olabilmekte, hatta bu durum sistemin rafa kalkmasına da sebep olabilmektedir. Bu yüzden, yapılacak öngörü çalışması uzmanlarca çok yönlü olarak ele alınmalıdır.

4.6.1. Tehdidin değerlendirilmesi

Hedef değerlendirmesi, temel kavramsal yaklaşımlardan geniş ölçekli senaryolar sonucu elde edilen istatistiksel bilgilere kadar pek çok konuyu içinde barındırır. Bir TBM saldırısının, hazırlanma sürecinden fırlatılma ve karşılanma anına kadar geçen tipik faaliyetleri içeren bir akış modeli Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Tehdit ve savunmanın zaman içerisindeki süreç akışı

Şekilde görüldüğü üzere, hedef değerlendirmede her biri özel uzmanlık isteyen çeşitli unsurlar, düşmanın faaliyetlerine bağlı olarak zaman içerisinde değerlendirmedeki yerini almaktadır. Her ne kadar saha ve TBM tipleri değişse de söz konusu modelin tüm saha ve TBM tipleri için geçerli olacağı düşünülmekle birlikte modelin zaman olarak sonu olmayıp her bir TBM saldırısıyla birlikte süreç belli adımlardan yeniden başlamaktadır. Modelin uygulanmasında en önemli husus şüphesiz sürekli olarak yeterli ve güvenilir bilginin sağlanmasıdır. Özellikle mobil TBM rampalarının dakikalar içerisinde fırlatışını gerçekleştirerek fırlatma alanından ayrılabilmesi, bir sonraki saldırıya kadar tehdidin nereden geleceğinin kestirilmesini imkansız kılabilir. Burada da savaş alanının sürekli takibi büyük önem arz etmektedir. Aynı şekilde TBM saldırıları sonrasında vurulmuş füze parçalarının incelenmesi, mevcut TBM tehdidinin daha doğru bir şekilde analiz edilmesine ve karşı önlemin bu

doğrultuda alınmasına ve savunmada gerekli düzenlemelerin yapılmasına olanak sağlayabilmektedir. Bir savaş anında bu analiz ve uygulama süreci, bir sonraki TBM fırlatılışına kadar gerçekleştirilebilecek seviyeye ulaştırılmalıdır.

4.6.2. Kısıtlamalar ve belirsizlikler

İstihbarat örgütleri sadece istihbarat elde etmekle değil, edinilen istihbaratı kullanacak birimlerin söz konusu istihbaratı ne şekilde kullanmaları gerektiği konusunda bilgilendirmekle görevlidir. Belirsizlikler ve birtakım yanılgılar istihbarat görevinin olağanlarından olmakla birlikte teknik ve teknik olmayan konular arasında farklılık bulunmaktadır. Teknik açıdan ele alındığında fizik kuralları; paralı yük, menzil, ağırlık, hız, yönlendirme esasları, vb. unsurlara kısıtlamalar getirmektedir. Bu nedenden dolayı tehdit oluşturan bir TBM hakkında müttefik ülkeler arasında bilgi paylaşımı tehditle ilgili önlem alınma sürecini hızlandıracaktır. Dolayısıyla ülkeler arası teknik bilgi alışverişi belirsizliğin ortadan kaldırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Diğer taraftan, düşman kuvvetlerin elindeki TBM'leri konuşlandırma noktaları, yayılımı, komuta noktasına uzaklığı gibi teknik olmayan ve gözleme dayalı bilgiler ancak istihbarat çalışmalarıyla ortadan kaldırılabilir bir belirsizliğe sahiptir. Bu noktada istihbaratçılar ve tehdit değerlendirmesinde görevli uzmanlar ellerinden gelenin en iyisini gerçekleştirerek önlem alma sürecini kısaltmaya yardımcı olmalıdır.

4.7. TBM'lerin olağan sınıflandırması

TBM'lerin sınıflandırmasında kullanılan bazı kriterler aşağıda verilmiştir:

- 1) Kullanılış amacı (Taktik, stratejik).
- 2) Konvensiyonel/Konvensiyonel olmayan başlık takmaya uygun olup olmaması.
- 3) Minimum/Maksimum Menzil.
- 4) Fırlatma rampalarının hareket kabiliyeti (Statik/taşınabilir/hareketli).
- 5) Kullanım yaygınlığı.
- 6) Teknolojik komplekslik.
- 7) İsabetlilik (Dairesel hata olasılığı).
- 8) Miktar (TBM sayısı, rampa adedi, savaş başlığı çeşitleri).
- 9) Motor bölme adedi (Tek/çift bölmeli).

10) Yakıt tipi (Katı, sıvı)

Yukarıdaki kriterlere daha pek çok madde eklenebilir ancak burada önemli olan kriterlerin ele alınması değil, ele alınan kriterin gerçekten önem arz edip etmediğidir.

Örnek vermek gerekirse, maksimum menzil TBM'nin ulaşabileceği en uç noktaya işaret ettiği için hangi bölgelerin potansiyel tehlike altında olduğunun anlaşılmasında etkili bir kriterdir. Aynı şekilde, düşmanın sahip olduğu TBM'lerin kullandıkları savaş başlığı çeşitlerine (konvensiyonel, kimyasal, biyolojik, parça bombalı, vb.) dair sahip olunan bilgi, karşı önlemede kullanılması gereken füzenin çeşidini ve hedefi imha etmesi gereken safhanın tayinini sağlaması açısından önemli bir kriterdir.

4.7.1. Maksimum menzil

Maksimum menzil, bir TBM'nin tehdit etmesi olası hedef bölgelere olması gereken maksimum uzaklığı ve fırlatma rampalarının olası konuşlanma noktalarını belirlemede yardımcı bir kriterdir. Aynı zamanda bir TBM'nin hedefe yönelme aşamasında erişebileceği maksimum hızın da kestirilmesinde oldukça önem arz etmektedir. Maksimum menzilin tayini, karşı koyma tedbirlerinin şekillenmesinde ve planlanmasında önemli rol oynar. Mesafenin uzunluğuna bağlı olarak ortalama uçuş süresi de tayin edilerek, sivil savunma için gereken erken uyarı zamanlaması yapmak da mümkündür.

4.7.2. Savaş Başlığı çeşitleri

TBM tehdidinde bulunan ülkenin elinde ne tip savaş başlığı (konvensiyonel/konvensiyonel olmayan) bulunduğunun bilinmesi, saldırıya karşı koymak için oluşturulacak savunma sisteminin kapsamının belirlenmesinde yardımcı olur. Özellikle nükleer savaş başlığı ile saldırı ihtimalinin söz konusu olması, TBM'yi yok etme prosedürünün acilliğini ortaya çıkarmaktadır. Zira nükleer savaş başlığı taşıyan füzelerin yıkıcı gücü ve geniş etki alanı göz önüne alındığında, ya fırlatılma anında ya da tırmanış safhasında yok edilmeleri gerektiği açıktır. Bu durum da normal tehditlere göre daha güçlü bir savunma sistemi ve daha hassas füzelere sahip olunması anlamına gelmektedir. Yine parçacık bombalar (bomblet) içeren savaş başlıkları, parçacıkların dağılmasından önce durdurulmalıdır. Parçacıklar dağıldıktan sonra tüm parçacıkların engellenmesi görece olanaksız olduğu için, bu tür savaş başlıklarına karşı savunma sisteminde yüksek hızlı, hassas füzeler bulundurulmalıdır.

4.7.2.1 Konvensiyonel / konvensiyonel olmayan savaş başlıkları

Konvensiyonel savaş başlıkları, TNT gibi kimyasal patlayıcılar içeren, metal kaplamalı başlıklardır. Söz konusu başlıklar hedefe çarptığında içindeki kimyasal patlayıcının patlaması ve parçalanan metal kaplamanın öldürücü hızlarla çevreye yayılması şeklinde etkisini göstermektedir.

Konvensiyonel olmayan savaş başlıkları nükleer, biyolojik ve kimyasal içerikli kitle imha silahlarını içerdikleri gibi son zamanlarda geliştirilmekte olan öldürücü olmayıp sadece savaş araçlarına zarar veren silahları da içermektedir.

Konvensiyonel, biyolojik ve kimyasal silahlar savaş başlığının içerisine tek parça olarak yerleştirilebildikleri gibi, parçacık bombalar halinde de yerleştirilmeleri mümkündür. Parça bombalar halinde yerleştirilen silahlar, roket belirli bir yüksekliğe ulaştığında savaş başlığının açılması sonucu dağılarak geniş bir alanı etkilemek için kullanılırlar. Yine aynı şekilde, parça bombaların yanı sıra karşı savunmayı yanıltmak üzere savaş başlığıyla aynı radar görüntüsü veren sahte hedeflerin savaş başlıklarına yerleştirildiği de görülmektedir.

Konvensiyonel savaş başlıkları belirli tipteki hedefler için optimize edilebilmektedir. Örneğin parçacık bombalar, havaalanlarının çeşitli noktalarında kraterler açarak havaalanını etkisiz hale getirebilir ya da yayılı bir askeri birime geniş çaplı zarar verebilir. Aynı şekilde içerdiği patlayıcıya oranla kalın bir metal kaplamayla çevrili delici özellikteki bir savaş başlığı kalın zırha sahip yapıları ve sığınakları yok etmekte kullanılabilmektedir.

Uzun menzilli füzelerin hemen hepsi, Cruise tipi füzelerinse belli bir kısmı nükleer başlık taşıyabilmektedir. Söz konusu başlıklar, 2. Dünya Savaşı'nda Hiroşima'ya atılan atom bombasından 10 ile 100 kat daha güçlü etkiye sahiptir.

Kimyasal, ve biyolojik silahlar, nükleer silahlara nazaran daha kolay ve daha ucuza üretildikleri için 3. Dünya ülkeleri için daha çekicidir. Kimyasal ve biyolojik savaş programlarına sahip bir çok ülke aynı zamanda balistik ve Cruise tipi füzelere de sahiptir. Konvensiyonel olmayan başlık taşıyan füzeler için hassasiyet kent yerleşim alanları ya da yüksek yoğunluklu askeri birimlere karşı kullanıldığında çok önemli olmamaktadır. Nükleer silahlar tamamen yıkıcı bir etki gösterirken, kimyasal ve biyolojik silahlar kullanıldıkları alanlarda geniş çaplı zarara sebep olmakta ve sivil halkı panik ve kaosa sürükleyen etkide bulunmaktadır.

4.7.3. Dairesel Hata Olasılığı (DHO)

Dairesel hata olasılığı (DHO), TBM'nin hassasiyetini tanımlayan bir terimdir. DHO, bir silahtan yapılan atışların %50'sinin düştüğü dairenin yarıçapı olarak tanımlanmıştır. Dolayısıyla, söz konusu parametre roketlerin olası kullanım alanlarını (küçük hedeflere / sığınaklara / güçlendirilmiş hedeflere / yerleşim birimlerine karşı) belirlemektedir. Özellikle yüksek DHO'ya sahip (hassasiyeti düşük) roketlerin bu eksikliği, savaş anında konvensiyonel olmayan başlık kullanımıyla bertaraf edilmeye çalışılmakta ve bu haliyle caydırıcılığı artmaktadır. Körfez Savaşı'nda Irak'ın İsrail ve Suudi Arabistan hedeflerine yapmış olduğu füze saldırıları hedefleri vurmamış olmakla birlikte nüfus yoğun bölgelere düşen füzeler düşük çaplı can ve mal kaybına neden olmuştur. Söz konusu füzelerin nükleer ya da kimyasal başlık taşıması büyük çaplı kayıpları önlemiş, ancak bu durum düşük hassasiyetli füzelerinde yüksek tehdit oluşturabileceği gerçeğini gözler önüne sermiştir.

4.7.4. Tasarım elemanları

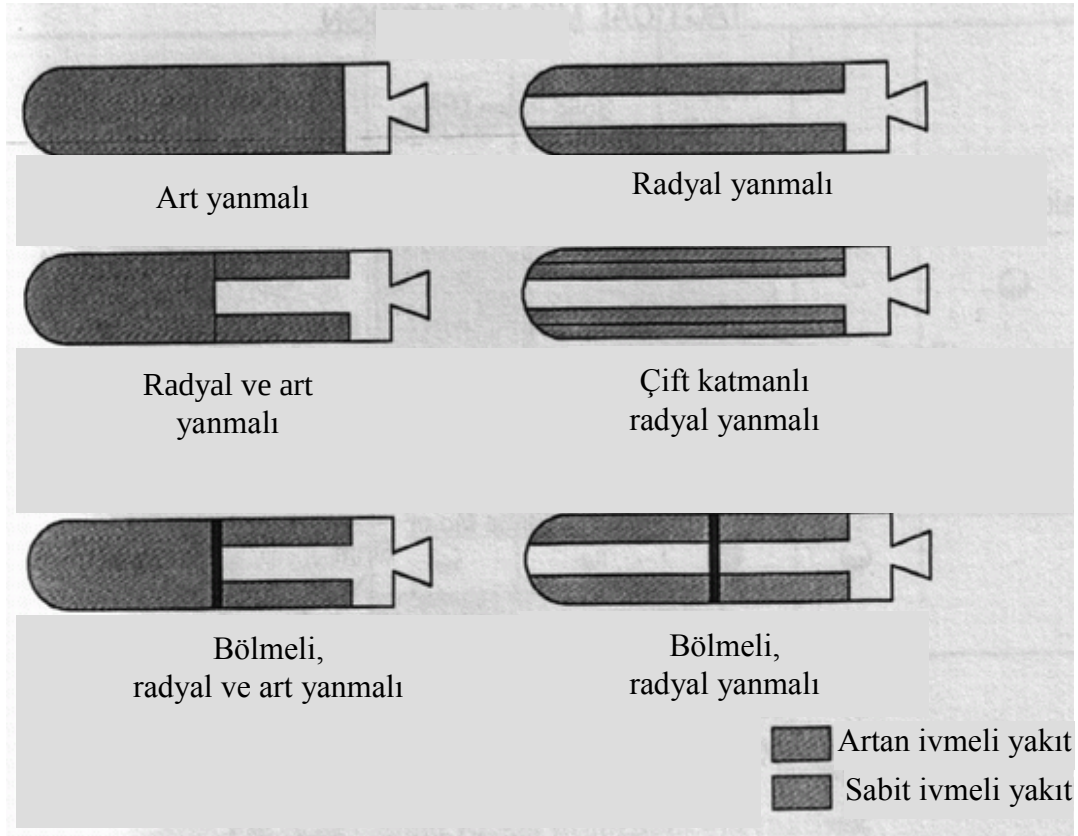
Motor karakteristikleri, aşama sayısı, bileşenlere ayrılıp ayrılmaması, vb. hususlar hakkında edinilecek istihbarat, özellikle algılayıcı geliştirmede ve tehdit tanımlama algoritmaları tasarımında görevli mühendisler için kritik değere sahiptir. Güvenilir tahminler ve istihbaratın bir araya getirilmesi sonucu söz konusu elemanların fiziksel boyutları ve diğer özellikleri hakkında geniş bilgiye sahip olunması, saldırı sırasında bileşenlerine ayrılmış füzenin parçaları arasından savaş başlığının seçilerek yok edilmesini kolaylaştıracaktır. Motorun çalışma sırasındaki davranışı, füzenin hızlanma ve alçalma safhaları sürelerinin kestirimlerinde önem kazanmaktadır. Şekil 4.2'de çeşitli yapılarda motor alternatifleri görülmektedir.

4.7.5. TBM'ler için örnek bir sınıflandırmasına

TBM'lerin sınıflandırılmasında ele alınan kriterler, sınıflandırmanın hizmet edeceği amaca ve farklı savunma sistemi tasarım ve analizcilerinin görüşüne göre değişim göstermektedir. Genellikle birden fazla sınıflandırma metodunun birbirine paralel olarak ele alınması, elde edilecek sonuçlara farklı bakış açıları katacağından tavsiye edilen bir durumdur.

Şekil 4.3'te yer alan iki boyutlu ilişki matrisi örneğini ele alalım. Söz konusu matriste boyutlardan biri savaş başlığı ağırlığını gösterirken, diğer boyut hassasiyeti DHO

parametresi olarak göstermektedir. Matriste yer alan A, B ve C üç ayrı roket çeşidini sembolize etmektedir. Matris, ilk bakışta kabaca değerlendirilecek olursa, B tipi roketin düşük hassasiyetli olması nedeniyle küçük hedeflere karşı kullanılamayacak olması, söz konusu roketin yerleşim merkezleri, gibi geniş alana yayılan hedeflere saldırıda kullanılabilme potansiyeli olduğunu akla getirmektedir. Diğer taraftan, görece hafif savaş başlığı taşıyan, yüksek hassasiyetli A tipi roketlerin, küçük ancak güçlendirilmiş sığınaklarla korunmayan hedeflere karşı kullanılabileceği tahmin edilebilmektedir.



Şekil 4.2. Çeşitli yapılarda motor alternatifleri (Fleeman, 2001).

Söz konusu yaklaşımı bir adım ileri götürmek istersek, Şekil 4.3'deki matrise bir boyut daha (menzil) ilave ederek sınıflandırmamızı geliştirebiliriz. Her ne kadar 3'den fazla boyutun ele alınması mümkün olsa da grafiksel gösterim ve algılama bakımından 3'den fazla boyutların aynı anda izlenmesi güç olmaktadır. Şekil 4.4'de menzil boyutunun matrise ilave edilmesiyle oluşturulmuş kübik yapı görülmektedir. Menzil boyutunda verilen ölçek: 10-100 km arası kısa, 100-1000 km arası orta ve 1000 km.nin katları da uzun olarak verilmiştir. Elde edilen matrisle ilgili değerlendirmeler roket tipi bazında aşağıda verilmiştir.

W/H WEIGHT \ CEP	Küçük	Orta	Büyük
Hafif	A tipi TBM		
Orta	C tipi TBM		
Ağır	B tipi TBM		

Şekil 4.3. İki boyutlu TBM ilişki matrisi (Eyal, 2001).

W/H WEIGHT \ CEP	KÜÇÜK	ORTA	BÜYÜK			
				Kısa Menzil	Orta Menzil	Uzun Menzil
HAFİF	TBM TYPE A					
ORTA						
AĞIR						

Şekil 4.4. TBM karakteristiklerinin üç boyutlu ilişkisel gösterimi (Eyal, 2001).

A tipi roket – A tipi roket, kısa menzili ve yüksek hassasiyeti nedeniyle daha çok taktik kullanıma uygundur. Her ne kadar menzilin kısa olması, beraberinde düşük yönelim hızını getirir ve bu sebeple karşı savunmacıya kolay bertaraf edilebilecek gibi gözükse de, kısa süre içerisinde hedefine ulaşma özelliği karşı savunmanın göz ardı etmemesi gereken bir özelliktir. Zira yoğun bir saldırı anında karşı savunma kısa sürede cevap vermeden yoksun kalabilir.

B tipi roket – B tipi roket, büyük boyutlu savaş başlığı taşıması sebebiyle gelecekte savaş başlığı alanındaki gelişmelere kolay adapte olacağı izlenimi vermektedir. Söz konusu roketin maksimum menzilin potansiyel hedeflerin bulunduğu konumları içermemesi durumunda roket üzerinde modifikasyona ihtiyaç duyulacaktır ki bu

durum ya daha küçük bir savaş başlığı kullanılması ya da daha büyük bir motor kullanılması şeklinde mümkün olacaktır. Dolayısıyla roketin, belirtilen değişiklikleri karşılayabilecek şekilde tasarlanması avantaj sağlayacaktır.

C tipi roket – C tipi roket, uzun menzilli olması nedeniyle stratejik amaçlı kullanıma potansiyeli taşısa da, hassasiyet ve savaş başlığı boyutlarında kısıtlamalara sahiptir. Geliştirildiği takdirde, orta boyutlu paralı yük (payload) bölmesinde taşıyacağı konvensiyonel olmayan savaş başlıklarını hedefe gönderebilme özelliğine sahip olabilecektir. Bu olasılık, düşmanın kitle imha silahları üretme kapasitesine sahip olması durumunda ayrı bir öneme haiz olarak ele alınmalıdır.

Yukarıda verilen roket tipleri değerlendirmelerinin geçerli olabilmesi için mutlaka yeterli istihbarat çalışması yapılarak söz konusu roketlerin olası gelişmelerinin sürekli olarak gözetlenmesi gereklidir. Her ne kadar bir fikir vermesi açısından yardımcı olsa da, sağlıklı bir değerlendirmenin yapılması için daha derin çalışmalara ihtiyaç vardır.

Konu başında da belirtildiği üzere, TBM'lerin çeşitli kriterlere göre sınıflandırılması ve sonuçların karşılaştırılması, tehdit değerlendirmesine yeni ve farklı bakış açıları kazandırmaktadır. Belirli bir TBM tipi kullanan birimlerin organizasyonel yapısına göre sınıflandırılması, yine ayrı bir kriter olarak karşımıza çıkabilmektedir. İstihbarat sonucu elde edilen bilgilerden, karmaşık karar verme ve emir komuta zincirine sahip silahların stratejik kullanım olasılığına sahip olduğunu tahmin etmek güç değildir. Zira, savaş sırasında kullanımı sorumluluk isteyen silahlar genelde savaşın yönünü değiştirebilecek öneme sahip olup, kullanımı üst komuta seviyesinin onayına bağlıdır.

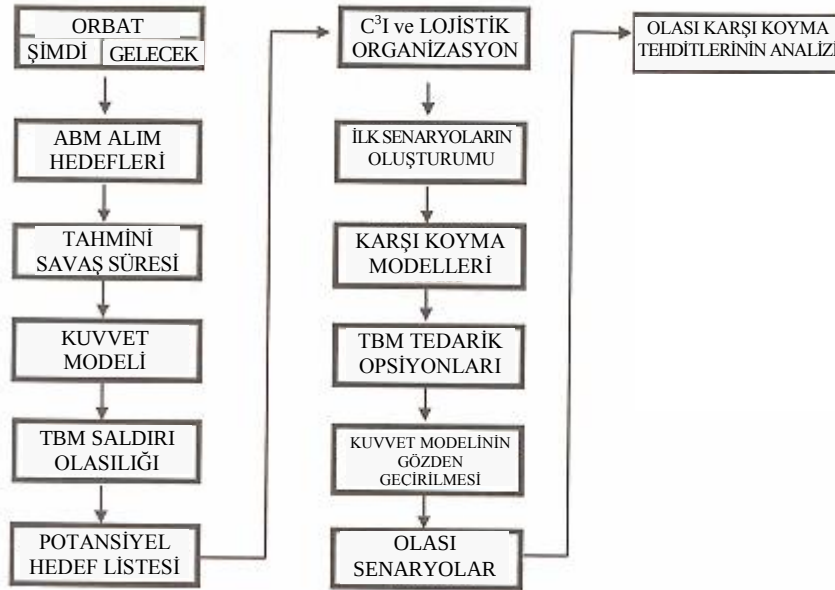
Sonuç olarak, balistik füzelerin sınıflandırması, savunma sistemlerinin tasarımında önemli rol oynadığından, hangi sınıflandırma mantığının en yüksek verime sahip savunma sisteminin oluşumuna katkı sağlayacağı sistem analizecileri tarafından ele alınıp değerlendirilmesi gereken önemli bir husustur.

4.8. Tehdit değerlendirmesi için olası bir model

Tehdit kavramı zaman içerisinde değişim gösteren dinamik bir kavramdır. Zaman ilerledikçe elde edilen yeni bilgiler, teknoloji alanındaki gelişmeler, politik ve askeri kanatta kurulan yeni birliktelikler, vb. durumlar tehdit kavramını ve kapsamını dinamik olarak değiştirmektedir. Savaş içerisinde bile tehditle ilgili yaklaşımlar değişim gösterebilmektedir. Düşmanın fırlattığı füzelerden arta kalan parçalar,

füzelerin fırlatılış yoğunluğu ve balistik füze savunma kalkanını aşabilen füzelerin hedeflerine hangi hassasiyetle yaklaştığı gibi unsurlar bir araya getirilerek tehdit değerlendirmesi de dinamik olarak yeniden gözden geçirilmektedir. Yine iki ülke arasındaki savaşa diğer ülkelerin de dahil olmaları, ya da savaşın taraf ülkelerine lojistik destek sağlamaları tehdidin önem derecesini ve boyutunu değiştirebilmektedir. Dolayısıyla oluşturulacak tehdit değerlendirmesi modeli, olası değişimleri öngörerek tehdidin şekil ve boyut değiştirmesi durumunda, tehdidi karşılayacak esnek ve güçlü bir savunma sistemini oluşturulmasına olanak sağlamalıdır.

Tehdit değerlendirmesi için uygulanabilir basit bir model Şekil 4.5’de verilmiştir. Şekilde yer alan model TBMD için oluşturulduğundan, farklı görevler için (fırlatma rampalarının yok edilmesi, karşı savunma sistemlerinin etkisiz hale getirilmesi gibi) modele yeni modüller eklenmesi gerekmektedir. Modelin bazı önemli aşamalarıyla ilgili bilgi aşağıda verilmektedir.



Şekil 4.5. Olası tehdit değerlendirmesi için sıralama modeli (Naveh vd. 2001).

Model'in ilk aşaması, olası savaş boyutunun şimdiki ve gelecekteki durumunun tanımlanmasından oluşmaktadır. Modelin diğer aşamalarını doğrudan etkileyecek bu aşama geniş çaplı istihbarat çalışmalarına dayanmaktadır.

İkinci olarak ele alınan aşama, TBM bulundurma amaçlarının belirlenmesidir. Bu aşamada düşmanın askeri ve politik yapısı üzerinde çalışılarak elindeki TBM'leri ne amaçla bulundurduğu (saldırı, savunma, caydırıcılık gibi) kestirilmeye çalışılmaktadır.

Üçüncü safha olarak modelde verilen “beklenen savaş süresi”nin tahmini, savaş içerisinde gün başına düşen ortalama TBM miktarının belirlenmesinde yardımcı olmaktadır. Her ne kadar, söz konusu parametrenin tahmini oldukça zor olsa da olası savaş senaryolarının oluşturulmasında ve tedarik kanallarının belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir. Günlük TBM kullanımı, savaşın süresine olduğu kadar uluslar arası ambargo durumuna, stokta mevcut olan TBM sayısına, askeri doktrine ve tedarik kaynaklarının rampalara olan uzaklığına bağlı olarak değişim göstermektedir.

Kuvvet tahsisi, tehdit altında olan hedeflere yönelecek TBM saldırısının yoğunluğuna ve saldırıda kullanılması olası TBM tipine bağlıdır. Yoğun tehdit altında olan ve stratejik öneme sahip merkezler çevresinde savunmanın yoğunlaşacağı kolayca tahmin edilebilecek bir durumdur. Düşmanın hangi hedeflere yönelik saldırı düzenleyeceği hakkında kesin istihbarat elde edilememişse, elinde bulundurduğu TBM’lerin karakteristikleri değerlendirilerek çeşitli varsayımlar yapılması mümkün olabilmektedir.

TBM’lerin fırlatıldığı noktalar, düşmanın elindeki TBM rampalarının doktrinsel yayılışını ve rampaların hangi aralıklarla yerleştirildiğini ortaya çıkardığı için senaryoların oluşturulmasında yardımcı olmaktadır. Her ne kadar hareketli rampalar sürekli yer değiştirse de, uydu görüntüleri vb. kaynaklarla desteklenen istihbarat sonucunda tehdidin geleceği yönlerin belirlenerek savunma sisteminin tehdidi karşılamak için hazırlanmasına fırsat sağlanmaktadır.

Düşmanın bakış açısından bakılarak potansiyel hedeflerin belirlenmesi ve savunma için önem listesinin hazırlanması, savaş durumunda hangi hedeflerin öncelikli olarak korunması gerektiğine karar verilmesini sağlamaktadır.

Potansiyel hedeflerden ayrı olarak TBMD’ye yönelik tehditler de vardır ki bunların da ayrı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Uçaklar aracılığıyla bırakılan klasik bombalar, hassas güdümlü mermiler, anti-radyasyon roketleri; ağır top ateşi gibi silahlar balistik füzeler dışında TBMD’nin çalışmasını tehdit eden unsurlardır.

Modelin geri kalan aşamaları (TBMD’nin emir komuta kontrol yönetimi, lojistik unsurlar gibi) tehdit değerlendirmesi modeli için hayati öneme sahip olmakla birlikte, çalışma kapsamının dışındadır.

5. ROKET MODÜLERLİĞİ UYGULAMASI VE GERÇEK OPSİYONLARLA DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Giriş

Roket teknolojisi, özellikle TBM tehdidi altındaki bir ülkenin savunmaya yapmış olduğu harcamalarda en yüksek paya sahip teknoloji olma özelliğini taşımaktadır. ABD'nin son yıllarda gündeminde olan ve 2035 yılına kadar uygulamaya koyulması planlanan kademeli balistik füze savunmasının toplam maliyetinin 2003 yılı değerleriyle 1 trilyon doların üzerinde olacağı tahmin edilmektedir (Kaufman, 2003). Söz konusu maliyetin içerisinde saha savunma sistemleri, ivmelenme safhasındaki füzeleri zamanında yok etmek üzere deniz ve hava araçlarında kullanılacak karşı füzeler, uzaya yerleştirilecek lazer savunma sistemleri, ve diğer sistemlerin kurulma ve geliştirme masrafları da bulunmaktadır.

Roket sistemlerinin bu denli pahalı sistemler olması, bu sistemleri envanterinde bulunduracak ülkeleri çeşitli teknolojik arayışlara itmiştir. Tehdidin tek tip olmaması ve tehditlerin sürekli gelişmekte olması roket üreticilerini bu gelişime ayak uydurma kapasitesine sahip roketleri tasarlama ve üretme yoluna itmiştir. Bu bağlamda ele alınan en önemli yaklaşım roketlerin farklı başlıklar taşıyabilmesine olanak sağlanması için roketlerin modüler olarak tasarlanması yaklaşımı olmuştur ki, bu yaklaşım roket teknolojisinde büyük bir atılım gerçekleştirmiştir.

Roket modülerliğinin inceleneceği ve olası roket modüllerinin neler olabileceğinin tartışılacağı bu bölümde, geçmiş roket modülerliği uygulamaları da ele alınacak bölüm sonunda da modülerliğin roket teknolojisine sağlamış olduğu katkının ölçülebilmesi için, roket modülerliğinin gerçek opsiyon analiziyle değerlendirilmesi yapılacaktır.

5.2. Roket modülerliği çalışmalarının kısa bir özeti

İlk roketler olan Alman V-1 ve V-2 roketlerinin kullanıldığı 2. Dünya Savaşından bu yana geçen süreç içerisinde roketler hem kabiliyet hem de tasarım olarak büyük aşamalar kaydetmiştir. Roket teknolojilerinde gerçekleşen ilk önemli değişiklik sıvı

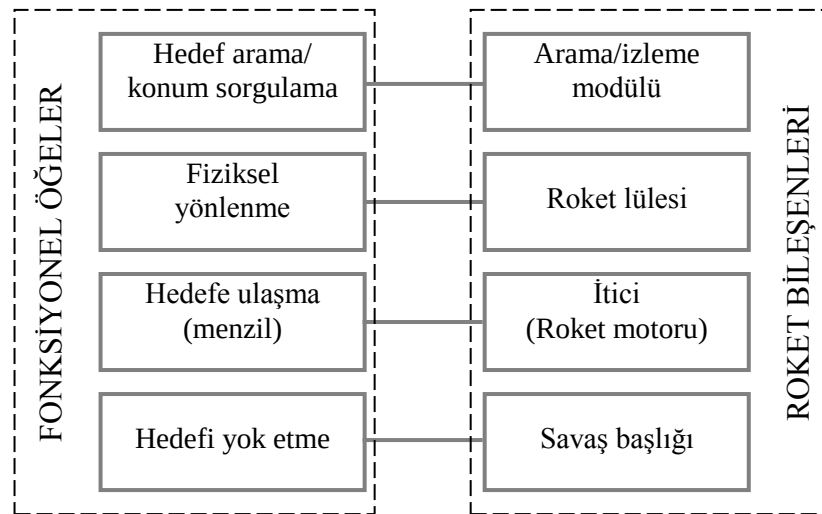
yakıtla çalışan roketlerin bırakılarak katı yakıtlı roketlerin üretilmeye başlamasıdır. Zira, sıvı yakıtlı roketlerle katı yakıtlı roketler karşılaştırıldığında, katı yakıtlı roketlerin daha az parçaya ihtiyaç duyduğu, üretimi de daha kolaydı. Bu durum katı yakıtlı roketlerin geliştirilmesi, saklanması ve bakımı için sıvı yakıtlı roketlere oranla daha az maliyet gerektirmekteydi. Yine aynı boyutlara sahip iki roketten katı yakıtla çalışandan elde edilen itki sıvı yakıtlıya oranla daha büyüktü ve bu sebeplerden dolayı askeri amaçlı roket alanında katı yakıtlı roket dönemi başlamış oldu.

İlerleyen yıllarda çok çeşitli menzillere sahip, çeşitli amaçlar için kullanılan bir çok roket üretildi. Özellikle soğuk savaş yıllarında roket geliştirme çalışmalarında ve çeşitli roketlere sahip ülke sayısında gözlenen artış, beraberinde savunma amaçlı roket üreticileri için yeni sorunları da getirmeye başladı. Siyasi ve askeri ilişkilerde kaydedilen gelişmelere bağlı olarak tehdidin tanımının ve yönünün değişmesi belirli bir tehdide yönelik tasarlanmış roketlerin, değişen durumlarda kullanılmasını zorlaştırıyordu. Örneğin kısa menzilli balistik füzelere sahip bir düşman kuvvetine karşı alınan önlemler, orta ve uzun menzilli füzelere sahip başka bir düşmanın daha ortaya çıkmasıyla yetersiz kalıyordu.

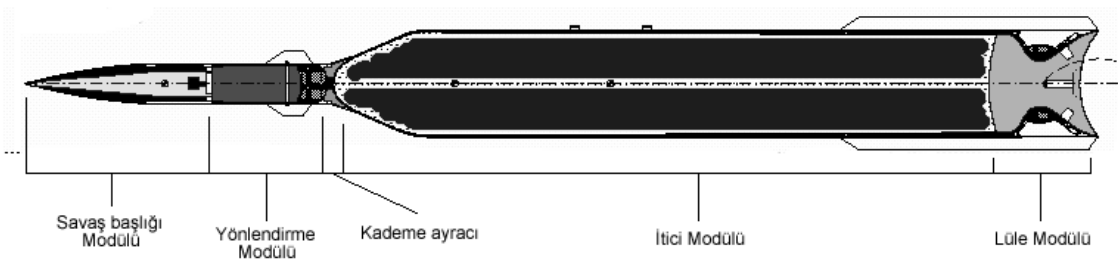
Geleceğin belirsizliği, teknolojiye kat edilen hızlı gelişmelerle birleştiğinde, roket sistemlerinin değişen koşullara ayak uydurabilmesi için, roketlerin modüller halinde üretilmesi gündeme gelmiştir. Bu kapsamda, yaygın olarak benimsenen görüş roketin savaş başlığı ve itici olmak üzere iki modül halinde üretilmesi olmuştur. Böylece roketlerin savaş başlıkları değiştirilerek değişik hedeflere karşı kullanılması mümkün hale gelmiştir. Sovyetler Birliği zamanında SS25 kıtalararası balistik füzelerinin ilk aşama iticisi ile SS20 orta menzil balistik füzesinin ilk aşama iticileri birbirinin aynıydı. Fransızların ürettiği yerden havaya fırlatılan bir çeşit roket olan Aster'in ortak bir savaş başlığı ve farklı iki itici modülün birleşmesinden oluşan ve 15 ve 30 km. menzile sahip iki varyantı (Aster 15 ve Aster 30) bulunmaktaydı. Günümüzde tasarım modülerliğine sahip olup kullanım modülerliğine sahip olmayan roketlerde vardır (havadan havaya roket sınıfındaki Amerikan AIM roketleri serisi genel tasarım itibarıyla modüler olup aynı modüllerden değişik menzilli roketler elde edilse de, bitmiş ürün üzerinde modüllerin eklenip çıkarılması mümkün olmamaktadır. Günümüz müşteri beklentileri ise tehdit belirlendikten hemen sonra kısa sürede değişikliklerin roketler üzerinde uygulanabilmesi yönündedir ki, çalışmada ele alınan modüler roket örneği bu beklentiye karşılamaktadır.

5.3. Roket modülerliği için alternatif bir uygulama

Son yıllarda müşteri portföyünün gelişmesi ve bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler doğrultusunda ürün geliştirme sürelerinin de kısalmasıyla, geçmiş tasarımlarda gözlenen iki modüllü roket modülerliği uygulamaları günümüzde terk edilerek, çok modüllü roketlerin tasarlanması için çalışmalar yapılmaktadır. Bir roketin temel fonksiyonları olan mesafe kat etme, yönlenme, hedef bulma ve hedefi yok etme unsurları, mevcut çalışmalarda ayrı ayrı değerlendirilerek her bir fonksiyonun ayrı bir bileşen tarafından yerine getirilmesi yaklaşımı üzerinde bulunmaktadır. Bu yaklaşımda, önceki roketlerdeki modüllere ilave olarak “hedef arama ve hedef izleme” ile “fiziksel yönlendirme” fonksiyonlarını gören modüllerin de oluşturulması fikri ön plana çıkmaktadır. Söz konusu yaklaşım uyarınca, fonksiyonlarla roket bileşenleri arasındaki ilişki Şekil 5.1’de, modüllerin roket üzerinde yerleşimleri ise Şekil 5.2’de görülmektedir. Şekilde yönlendirme modülü ile itici modülü arasında görülen kademe ayırıcı kısmı iki ana modül olan başlık ve itici modüllerini birleştirmekle görevli mekanik bir arayüzdür. Roketi oluşturan modüller bir sonraki bölümde tek tek ele alınacaktır.



Şekil 5.1. Fonksiyonel öğelerin roket bileşenleri ile birebir ilişkilendirilmesi



Şekil 5.2. Modüllere ayrılmış roket (Roth ve Mavris 2000).

5.3.1. Savaş başlığı modülü

Roketin hedefini yok etmesinde en önemli unsur hedefin tipine göre doğru savaş başlığının seçilmiş olmasıdır. Savaş başlıkları engellemek için kullanıldıkları hedeflerin özelliklerine göre çeşitlilik göstermektedir. Roket teknolojisi bölümünde ele alındığı üzere potansiyel tehditler, gerek yüksek patlayıcı gücüne sahip, gerekse biyolojik/nükleer/kimyasal (NBC) etkiye sahip savaş başlıkları taşıyabilmektedir. Ayrıca savaş başlıkları hem yekpare yapıda hem de belirli bir irtifada serbest kalan parçacık yapısında mühimmat taşıyabilmektedir. Bu kadar çeşitlilik gösteren savaş başlıkları karşısında etkili bir TBM savunması oluşturmak için çeşitli yok etme mekanizmalarına sahip savaş başlıklarına ihtiyaç vardır.

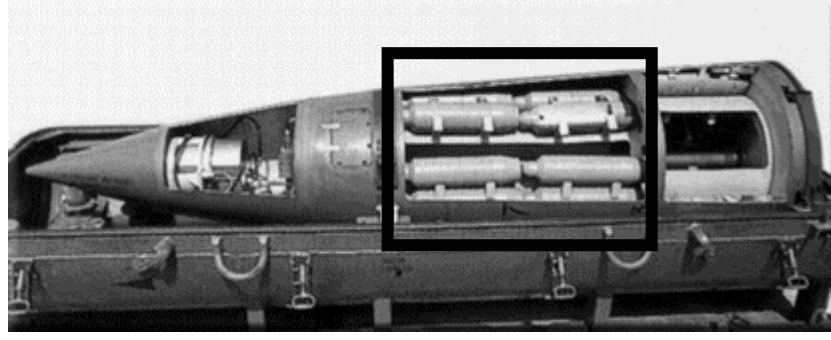
Konvensiyonel TBM tehditlerine karşı hem “hedef saptırma”, hem de “doğrudan yok etme” mekanizmalarına sahip savaş başlıkları kullanılırken, konvensiyonel olmayan savaş başlığı taşıyan tehditlere karşı “hedef saptırma” opsiyonu belirli bir risk taşıyacağından, “doğrudan yok etme” mekanizmalı savaş başlıkları kullanılır.

Savaş başlıklarında “hedef saptırma” mekanizması, tehdit eden füzenin uçuş kontrol yüzeylerine ya da yönlendirme kısımlarına zarar vererek hedefe ulaşmasını engelleme mantığıyla çalışmaktadır. “Doğrudan yok etme” mekanizması ise tehdidin savaş başlığının yok edilmesi mantığını taşımaktadır ki bu durum, konvensiyonel füzelere karşı yüksek yoğunluklu patlayıcılarla, kimyasal/biyolojik füzelerde ise söz konusu maddelerin etkisini gidermeye yönelik karşı kimyasal/biyolojik maddelerle potansiyel zararı ortadan kaldırma ile sağlanır.

İlerleyen aşamalarda gerçek opsiyon hesaplamalarında da kullanılacak olan roketin 3 farklı savaş başlığı opsiyonuna sahip olduğu düşünülecektir. Bunlar:

- 1) Anti-konvensiyonel füze savaş başlığı
- 2) Anti-NBC füze savaş başlığı
- 3) Parçacık bombalı savaş başlığı

Yukarıda konvensiyonel olmayan savaş başlığının “Anti-NBC” şeklinde tek bir başlık altında toplanmış olması tüm hedeflere karşı aynı savaş başlığının kullanılacağı anlamına gelmemektedir. Söz konusu başlık, tüm NBC tehditleri için aynı yapısal ve aerodinamik tasarıma sahip olup paralı yük kısmı tehdit eden füzenin çeşidine göre değiştirilebilir olacaktır. Şekil 5.3’de paralı yükü değiştirilmek üzere tasarlanmış bir savaş başlığı görülmektedir.



Şekil 5.3. Paralı yük kısmı değişebilen savaş başlığı örneği

5.3.2. Arama/tanımlama/izleme modülü

Roketin hedef belirleme, kilitlenme ve izleme fonksiyonlarını gerçekleştiren modüldür. Mevcut füzelerin büyük bir çoğunluğunda arama/tanımlama işlevi Elektro-optik(EO) algılayıcılarla yerine getirilirken, izleme/kilitlenme görevi radar algılayıcıların yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Ayrıca geliştirilmekte olan yeni nesil füzelerde, yukarıdaki algılayıcılara ek olarak GPS/INS (Küresel pozisyonlama sistemi/Ataletsel seyrüsefer sistemi) yönlendirmesi, SAR (Sentetik Açıklıklı Radar) ve bütünleşik algılayıcı sistemleri kullanılmaktadır.

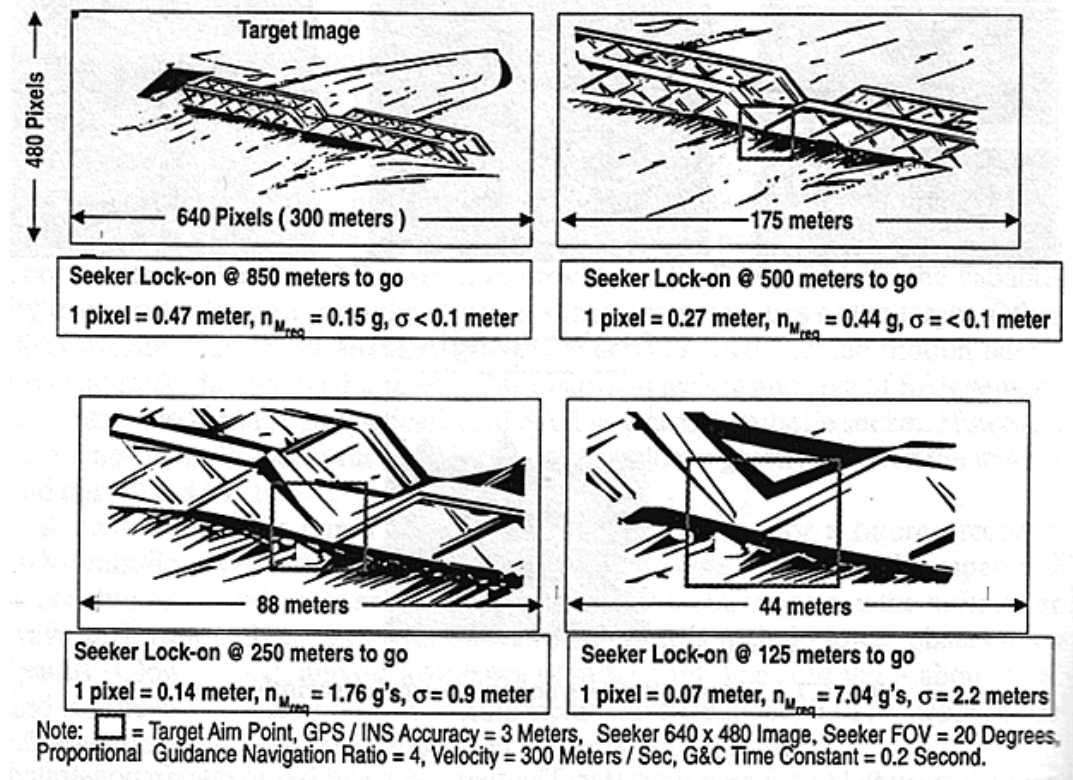
Elektro optik algılayıcılar, hedeften yayılan kızıl ötesi (InfraRed) işarete duyarlı pasif tarayıcılardır. Pasif bir EO algılayıcısının kabiliyeti hedefin açısal konumunu ölçmek ve bir önceki verilerden yararlanarak hedefin 3 boyutlu uzaydaki konumunu hesaplamakla sınırlıdır. Hedefi tanımlama mesafesi algılanan EO işareti yoğunluğuna bağlıdır. EO işareti, hedefin sıcaklığının, emisyon oranının ve yüzey alanının bir fonksiyonudur. EO algılayıcıların en büyük dezavantajı yüksek yoğunluklu bulutlu havalarda veriminin düşmesi ve algılama menzilinin azalmasıdır. Bu yüzden EO algılayıcılarının verimli olduğu kullanım alanı kısa menzilli görevlerle sınırlıdır.

Radar algılayıcılar, hedefin açısal konumunun yanı sıra, hedefin uzaklığını ve açısal hızını da ölçme yeteneğine sahiptir. Tanımlama mesafesi, radarın dalga yayma gücüne, algılama hassasiyetine, bozuntulara ve hedefin kesit alanına bağlıdır. Radarın çalışması, belirli bir yönde yaydığı dalga demetinin hedefe çarpıp yansması sonucunda hedefin uzaydaki yerinin ve kesit şeklinin belirlenmesi şeklinde gerçekleşmektedir.

SAR algılayıcılar, tercihen hassas saldırı roketlerinde kullanılan bir algılayıcı tipidir. Söz konusu algılayıcıların sağladığı en büyük avantaj GPS koordinatlarına referans teşkil edebilecek ölçüde yüksek çözünürlüklü ve hassasiyetli arazi görüntüleri elde

edebilme yeteneğidir. Geçmişte, yüksek maliyetli ve ağır bir sistem olması nedeniyle roket teknolojisinde kullanılması güç iken, teknolojik gelişmelerin sistemi daha hafif ve görece düşük maliyetli üretmeye olanak sağlaması sonrasında günümüzde hassas roketlerde kullanılabilmektedir.

GPS/INS yönlendirmesi, roketin hassas seyrini ve algılayıcıların hedefi algılamada güçlük çektiği karmaşık ortamlarda hedefin tespitini sağlamaktadır. Hedefe 3 m.den daha hassas yaklaşması, algılayıcıların da desteği sayesinde hassas hedefleme imkanı sağlamaktadır. GPS/INS yönlendirmesinin işleyişi Şekil 5.4’de verilmiştir.



Şekil 5.4. GPS/INS sisteminin sağladığı hedefe yaklaşım hassaslığı

(Fleeman, 2001)

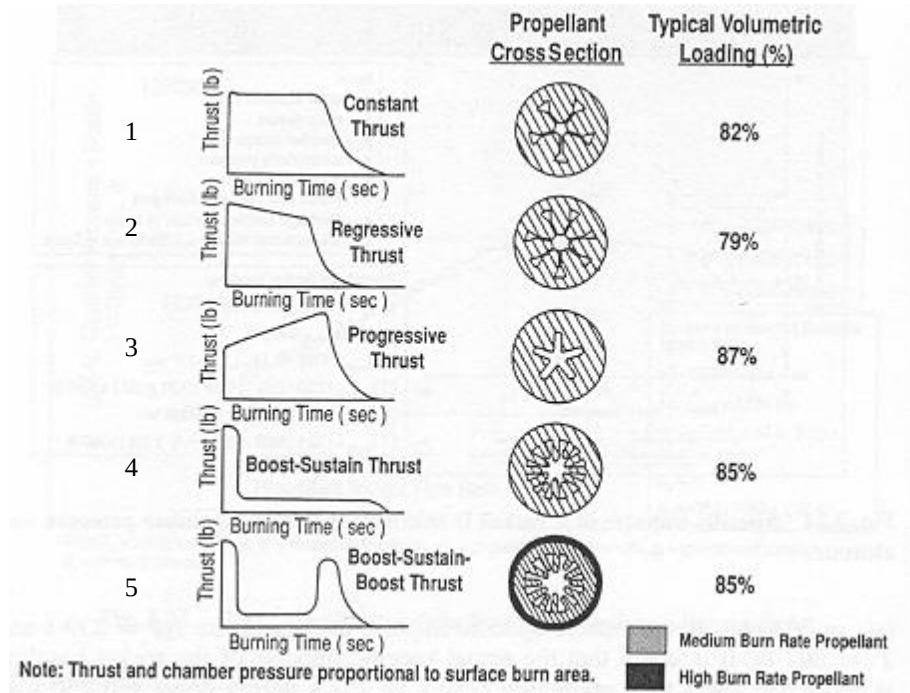
Uygulamada ele alınacak roket için, aşağıda verilen 3 farklı arama/tanımlama/izleme opsiyonları değerlendirilecektir.

- 1.) EO – Radar
- 2.) Radar – GPS/INS
- 3.) SAR – GPS/INS

5.3.3. İtici (Roket Motoru) modülü

Roket motoru modülü, roketin belirli bir mesafe kat ederek hedefine ulaşmasına sağlayan roket bileşenidir. Dünya üzerinde geniş bir alana yayılmış olan füzelerde yapılmakta olan geliştirme çalışmaların büyük bir kısmı ülkelerin, envanterlerindeki füzelerin menzilini artırma yönündeki çalışmalarından oluşmaktadır. Belirsiz bir savaş ortamında tehditle hedef arasındaki mesafenin değişim göstermesi ve tehditlerin tipine göre farklı bir durdurma yolu izlenmesi gerekliliği; tehdit altındaki ülkelerin çeşitli menzillere sahip füzeleri ellerinde bulundurmalarını zorunlu kılmaktadır. Roketlerin çeşitli menzillere uyarlanabilmesi için roket motorunun ayrı bir modül olarak tasarlanması yaklaşımı çok yeni bir yaklaşım olmamakla birlikte aynı itici modülün farklı roketlerde kullanılmasının sağlanması için yapılan çalışmalar oldukça yeni sayılmaktadır.

Katı yakıtlı roketlerde roketin menzilini ve itki profilini belirleyen esas unsur katı yakıtın kesit tasarımıdır. Yanma olayını kontrol eden kesit tasarımı, görev gereği roketten beklenen itki profilini karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır. Şekil 5.5’de çeşitli yakıt kesitleri için itki profilleri görülmektedir. Söz konusu kesitlerin nerede kullanılacağına dair örnek vermek gerekirse, 4 no.lu kesit kısa sürede yüksek itki verdiği için aşamalı savunma sisteminin son aşamasında kullanılmaya daha müsaittir.



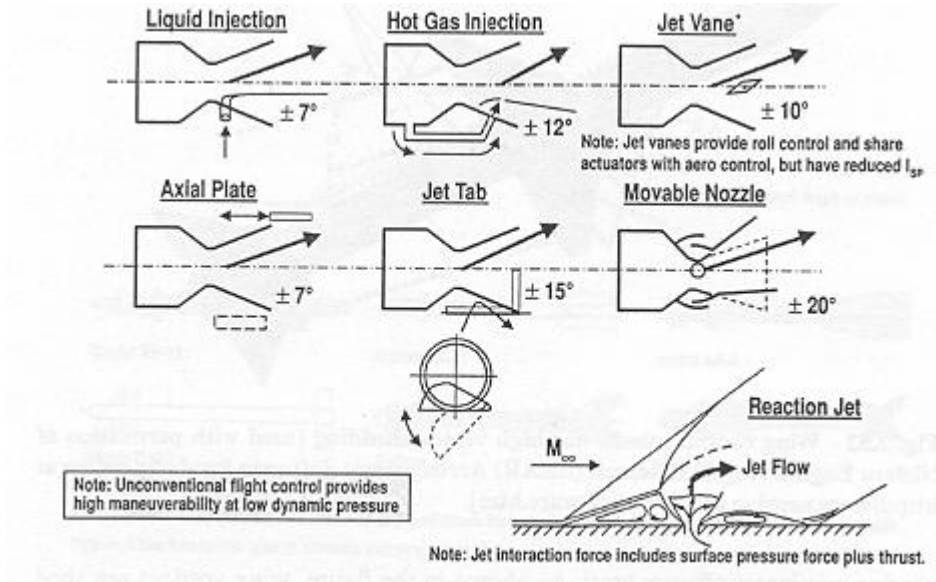
Şekil 5.5. Çeşitli yakıt kesitlerinden elde edilen itki profilleri (Fleeman, 2001)

Uygulamamızda roket motoru alternatifi olarak, tehdidin uzaklığına bağlı olarak 3 çeşit opsiyon sunulacaktır:

- 1.) Kısa menzilli roket motoru.
- 2.) Orta menzilli roket motoru.
- 3.) Uzun menzilli roket motoru.

5.3.4. Roket Lülesi modülü

Roket lülesi modülü, roket motoru modülündeki katı yakıtın yanması sonucu oluşan sıcak gazların dışarı atılması suretiyle itkinin sağlandığı bölümdür. Ayrıca egzoz bölümünün çeşitli konfigürasyonlarıyla rokete manevra kabiliyeti de kazandırılmaktadır. Şekil 5.6'da değişik lüle konfigürasyonları görülmektedir.



Şekil 5.6. Çeşitli lülelerin değişik itki yönlendirme düzenekleri (Fleeman, 2001)

Farklı lüle konfigürasyonları kullanımının roket performansına etkisi ve maliyetleri hakkında kaynak bulunamadığı için, uygulamada roket lülesi opsiyonu kullanılmayacak ve tüm roket varyantlarında ortak bir lülenin kullanıldığı varsayılacaktır. Her ne kadar bu durum gerçek opsiyon oluşturmaya da ortak kullanımdan dolayı üretim maliyetlerinde düşüş gözlenecektir.

Uygulamanın bundan sonraki kısımlarında roket teknolojisindeki belirsizliklerin modüllere etkisi tartışılacak ve oluşturulacak tehdit senaryolarına göre tehdide nasıl karşılık verilebileceği incelenerek modüllerin opsiyon değerleri hesaplanacaktır.

5.4. Belirsizliklerin tayini ve belirsizliklerin modüllere etkisi

Belirsizlikler ve tahminler, teknik ve teknik olmayan konulara göre farklılıklar göstermektedir. Teknik konulardaki belirsizlikler fizik kanunlarıyla sınırlanırken, teknik olmayan belirsizlikler mevcut ve geçmiş veriler ile istihbarat çalışmalarından elde edilen bilgiler sonucunda tanımlanabilmektedir.

Roket geliştirme çalışmalarının temelini teşkil eden tehdit değerlendirme konusu roket teknolojisinin anlatıldığı bölümde ele alınmıştır. Tehdit değerlendirmesinde göz önüne alınan belirsizlikler ve bu belirsizliklerin örnek roketimize etkisi Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1 Tehditle ilgili belirsizlikler ve modüllere etkileri

Belirsizlikler	Modül 1	Modül 2	Modül 3	Modül 4
Tehdide olan uzaklık	0	0	+	0
Tehdit tipi	+	0	+	0
Elektronik karşı önlemler	0	+	0	0
Tehdidin dayanıklılığı	+	0	0	0
Tehdidi yok etme hassasiyeti	0	+	0	+
Tehdidin manevra kabiliyeti	0	0	0	+
Tehdidin yaydığı işaretler	0	+	0	0
Tehdit eden ülkenin savaş doktrini	0	0	+	0

Yukarıdaki tabloda numaralarla ifade edilmiş olan modüller sırasıyla; savaş başlığı modülü, arama/tanımlama/izleme modülü, itici modül ve lüle modülünü sembolize etmektedir. Çalışmanın ilerleyen safhalarında da aynı sırayla kullanılacaklardır. Belirsizliklerin karşısında yer alan “+” işareti, belirsizliğin ilgili modülü etkilediği ve ancak ilgili modülde değişiklik yapılarak çözülebileceğini gösterirken, “0” değeri belirsizliğin ilgili modülü etkilemediğini belirtmektedir.

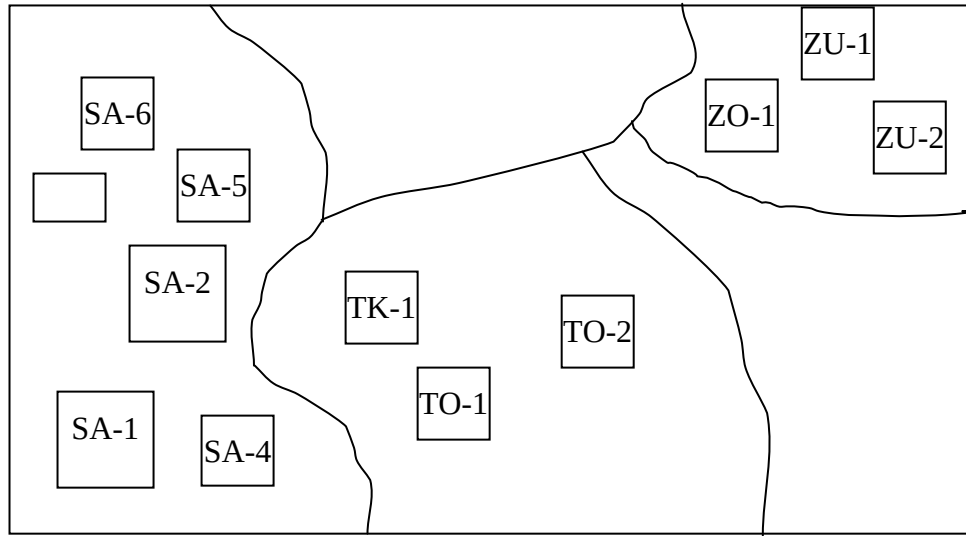
5.5 Tehdit senaryolarının oluşturulması

Balistik füze savunmalarının oluşturulmasında izlenen yol, olası tehdit ve savaş senaryolarının oluşturulması ve söz konusu senaryoların değerlendirilmesi sonucunda

da makul ve gerçekleşme olasılığı yüksek senaryolarda kullanılabilecek roketlerin seçilmesi şeklindedir.

Uygulamamızda, balistik füze tehdidi altında bir ülke ve bu ülkeyi tehdit eden iki düşman ülke tanımlanacak; savunma durumunda olan ülke (S), füze tehdidinde bulunan ülkeler ise (T) ve (Z) olarak adlandırılacaktır.

Örnekte yer alacak ülkelerden S ve T ortak sınıra sahipken, S ve T ile Z arasında ortak sınır bulunmamaktadır. S'nin, savunulması gereken farklı büyüklükte altı alanı mevcuttur ve bu alanlardan bazıları küçük askeri üslerden bazıları da büyük yerleşim merkezlerinden oluşmaktadır. Tehdit eden ülkelere bakıldığında söz konusu ülkelere T'nin elinde 1 tane kısa menzilli (TK), 2 tane orta menzilli (TO) füze bataryasının yer aldığı, Z'nin elinde de 2 tane uzun menzilli füze bataryası (ZU) ve 1 tane de orta menzilli füze bataryası (ZO) bulunduğu bilinmektedir. Şekil 5.7'de söz konusu savunma alanları ve füze bataryalarının yayılımı sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Ülkelerin ve savunma / tehdit alanlarının yayılımı

Tehdit eden ülkelerin her birinin bataryasında 5'er adet rampa bulunmaktadır ve her bir rampanın günde 2 adet atış yapma kapasitesi bulunduğu varsayılmaktadır. Dolayısıyla her bir rampa günde en fazla 10 atış yapabilmektedir. Söz konusu senaryoda, uluslar arası yaptırımların devreye gireceği varsayımıyla savaşta TBM kullanımının 2 günle sınırlı kalacağı tahmin edilmektedir.

Senaryo planlama da geleceğin en iyi şekilde kapsanabilmesi için öncelikle en kötü ve en iyi durum senaryoları belirlenerek olasılıklar kümesinin sınırları belirlenmelidir.

Bunun yanında düşmanın silah kapasitesi ve doktriniyle ilgili elde edilecek istihbarat ışığında en kötü senaryo ile gerçekleşmesi en olası senaryo arasında çeşitli senaryolar üretilerek iki durum arasındaki senaryolarında göz önünde tutulması sağlanacaktır. Yukarıda bahsedilen durum için olası saldırı senaryoları ve saldırılarda karşılaşılabilecek muhtemel TBM sayısı ile ilgili oluşturulmuş tablo aşağıdadır.

Tablo 5.2 Olası saldırı senaryoları

Senaryolar	Anlık saldırı yoğunluğu	İlk günkü toplam saldırı	İkinci günkü toplam saldırı	Toplam saldırı
En kötü durum	25	50	50	100
En olası (saldırıda % 40 azalma)	25	50	30	80
Saldırıda % 30 azalma	25	50	35	85
Saldırıda % 20 azalma	25	50	40	90

Tablodan da görüleceği gibi en kötü durum senaryosunda T ve Z'nin tüm rampaları günde iki kez ateşlediği durum ele alınmıştır. Z'nin orta menzilli füze rampası, S ile arasındaki mesafeyi kat edemeyeceğinden söz konusu saldırılarda kullanılamayacağı var sayılmıştır. Dolayısıyla en kötü senaryoya göre T ve Z'nin iki gün içerisinde gerçekleştireceği toplam füze saldırısı 100'dür.

En olası senaryonun oluşturulmasında, S ve T'nin ortak sınıra sahip olması ve T'nin füze rampalarının sınıra yakın olması sebebiyle, ilk gün sonunda S'nin, T'nin füze rampalarına geniş çaplı bir saldırı düzenleyeceği ve T'nin füze rampalarından sınıra yakın olan TK-1 ve TO-1 füze bataryalarını devre dışı bırakarak 2.gün gerçekleştirecek olası saldırıları % 40 azaltacağı varsayımı yapılmıştır.

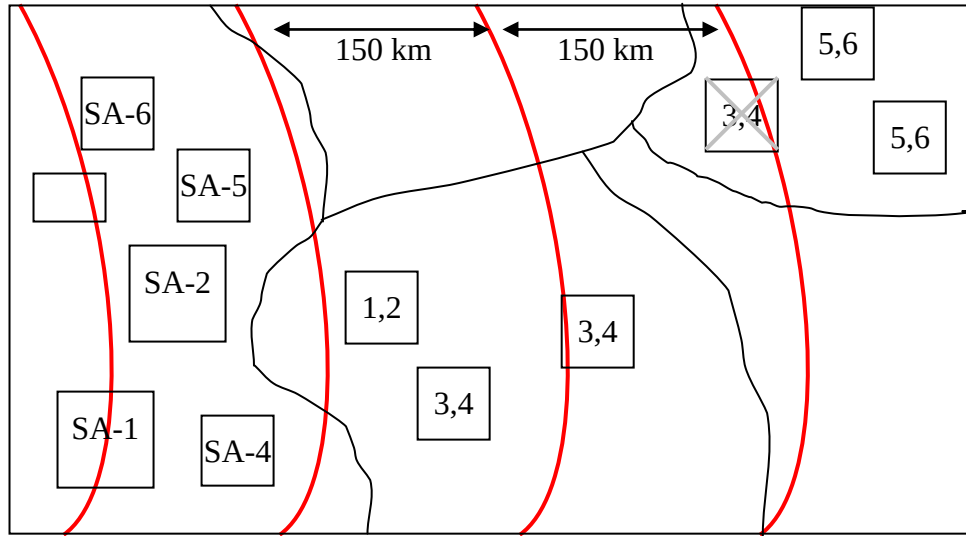
3. ve 4. senaryolar ise en olası durum ve en kötü durum senaryoları arasında gerçekleşebilecek durumları (TK-1'le birlikte, mobil TO-1 rampalarının yarısının saf dışı bırakılması "saldırılarda % 30 azalma", sadece TK-1'in saf dışı bırakılması "saldırılarda % 20 azalma") örneklemek amacıyla oluşturulmuş senaryolardır.

T ve Z ülkelerinin envanterinde bulunan ve saldırılarda kullanmaları olası olan füze çeşitleri ve söz konusu füzelerin öne çıkan özellikleri aşağıda verilmektedir.

- Tehdit 1 : MGM-52A; 150 km menzil, 300 kg kimyasal başlık, 150 m CEP, sabit
- Tehdit 2 : MGM-52B; 150 km menzil, 300 kg parçacık başlık, 150 m CEP, sabit

- Tehdit 3 : DF-11B; 300 km menzil, 800 kg nükleer başlık, 600 m CEP, mobil
- Tehdit 4 : DF-11A; 300 km menzil, 800 kg konvensiyonel başlık, 600 m CEP, mobil
- Tehdit 5 : DF-15A; 600 km menzil, 500 kg nükleer başlık, 300 m CEP, mobil
- Tehdit 6 : DF-15B; 700 km menzil, 500 kg parça nükleer başlık, 600 m CEP, mobil

Tehditlerin özellikleri incelendiğinde her bir tehdidin farklı özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Örnek vermek gerekirse, Tehdit 1'in sahip olduğu menzil kısa olup hedefe ulaşma hassaslığı oldukça yüksek iken; Tehdit 5 uzun menzile sahip olup daha düşük hassaslığa sahiptir. Tehdit 5'in hedefte 600 m'lik hata payına sahip olma dezavantajı, nükleer savaş başlığının kullanılmasıyla giderilmeye çalışılmıştır. Tehditlerin Şekil 5.7'de verilen rampalara dağılımı Şekil 5.8'de gösterilmektedir.

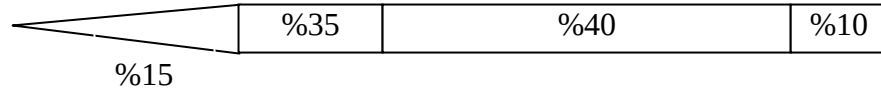


Şekil 5.8. Tehdit füzelerinin rampalardaki konuşlandırılışı

Bir füze savunma sisteminin oluşturulması için ele alınan klasik yaklaşımda, mevcut senaryolar ışığında kullanılması olası her bir tehdit tipine karşı özelleşmiş entegre roketlerin üretilmesi ve konuşlandırılması yolu izlenmektedir. Tablo 5.3'de tehditleri önlemek üzere konuşlandırılacak roketlerin özellikleri ve tahmini birim fiyatları verilmektedir. Birim fiyatların tahmininde, en az gelişmiş özelliklere sahip bir füze alınarak birim fiyat olarak 1000'e eşitlenmiş ve Şekil 5.9'da yer alan roket bileşeninin maliyet yüzdeleri ışığında her bir özellik gelişiminde birim fiyat söz konusu bileşeninin yüzdesi oranında iki misline çıkarılmış ve yeni füze için birim fiyat belirlenmiştir.

Tablo 5.3 Tehdit füzelerini engellemek için kullanılan roketlerin özellikleri ve birim fiyatları

ID	Birim fiyat	Menzil	Hassaslık	Parçacık önleme özelliği
S1	1000	Kısa (0-250km)	Düşük	Yok
S2	1150	Kısa	Düşük	Var
S3	1350	Kısa	Yüksek	Yok
S4	1500	Kısa	Yüksek	Var
S5	1400	Orta (250-500km)	Düşük	Yok
S6	1550	Orta	Düşük	Var
S7	1750	Orta	Yüksek	Yok
S8	1900	Orta	Yüksek	Var
S9	1800	Uzun (500-750km)	Düşük	Yok
S10	1950	Uzun	Düşük	Var
S11	2150	Uzun	Yüksek	Yok
S12	2300	Uzun	Yüksek	Var



Şekil 5.9. Roket bileşen maliyetlerinin toplam ürün maliyetindeki oranları

5.6. Roket ve modüllerin birim maliyetlerinin belirlenmesi

Yukarıdaki hesaplamalarda kullanılan bileşenler, aynı zamanda modüler roket yapısının modüllerini de oluşturmaktadır. Uygulamanın ilerleyen kısımlarında gerçek opsiyon hesaplamalarında kullanılacak modül fiyatları, yine yukarıdaki entegre roket bileşen fiyatlarıyla eşit olarak alınacaktır.

Modüler roket için modül birim maliyetleri Tablo 5.3’de yer alan bileşen fiyatları uyarınca sırasıyla, Modül 1 : 150, 300; Modül 2 : 350, 700 ; Modül 3 : 400, 800, 1200; Modül 4 : 100 birim şeklinde olacaktır. Modüllerin fiyatları, modül özelliklerinin artmasıyla doğru orantılı olarak yükselmektedir.

Raket tasarımında modüler mimari uygulamasının belirsizlikler karşısında ne gibi avantajları olacağını görebilmek ve modüllerin belirsizlikleri karşılama değerlerini ortaya çıkarabilmek için, Tablo 5.1’de yer alan tehdit belirsizliklerinin çalışmada ele alınan senaryo için değişkenlik değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Söz konusu ilişki ve değerler Tablo 5.4’de yer almaktadır:

Tablo 5.4. Belirsizliklerin ele alınan senaryo için değişkenlik değerleri

Ülke / Belirsizlik	Tehdide olan uzaklık	Tehdit tipi	Elektronik karşı önlemler	Tehdidin dayanıklılığı	Tehdidi yok etme hassasiyeti ve vuruş gücü	Tehdidin manevra kabiliyeti	Tehdidin yaydığı işaretler	Tehdit eden ülkenin savaş doktrini
T ülkesi	Yakın, değişken (mobil)	Nükleer, kimyasal, parçacık, konvens.	Az gelişmiş	Orta düzey (roket)	0.25 Hassas, orta tahribat	Yüksek	IR, RF,	Yüksek seviyede Agresif
Z ülkesi	Uzak	Nükleer, kimyasal	Orta gelişmiş	Orta düzey (roket)	0.50 Hassas, yüksek tahribat	Düşük	IR, RF,	Agresif
Değişken değeri	5	5	3	1	4	3	2	3
Sabit = 1, Az değişken = 2, Orta değişken =3, Çok değişken = 4, Tam değişken=5								

Tablo 5.1’de, belirsizliklerin etkilediği roket modülleri verilmişti. Buna göre yukarıdaki belirsizlik değişkenlik değerlerinin, aynı belirsizliğin etkilediği modüller için alt alta toplanmasıyla, modüllerin belirsizliklere yanıt vermedeki değer sıralamalarını elde etmek mümkün olabilecektir. Buna göre, bahsedilen işlem yapıldığında modüllerin opsiyon değerleri aşağıdaki gibi elde edilecektir:

- Modül 1’in opsiyon değeri: $5 + 1 + 4 = 10$

- Modül 2’nin opsiyon değeri: $3 + 4 + 2 = 9$

- Modül 3’ün opsiyon değeri: $5 + 5 + 3 = 13$

- Modül 4’ün opsiyon değeri: $4 + 3 = 7$

T ve Z ülkelerinin envanterindeki füzeler karşılaştırıldığında hemen görülebileceği gibi söz konusu füzelerde en büyük değişkenlik etki mesafelerinde ve savaş başlığı çeşitlerinde gözlenmektedir. Bu nedenledir ki, belirsizliklerin modüller üzerindeki etkileri göz önüne alınarak yapılan hesaplamada Modül 3'ün opsiyon değerinin en yüksek olması (13) ve Modül 1'in opsiyon değerinin de (10) Modül 3'ün değerinden sonra gelmesi, ele alınan senaryo için gayet doğal bir sonuçtur.

5.7. Senaryolar doğrultusunda modülerliğin gerçek opsiyonlarla belirlenmesi

Senaryoda yer alan T ve Z ülkelerinin savaş sırasında kullanması olası füzeleri karşılamak için daha önce de belirtildiği gibi iki tür yol izlemek mümkündür. Birinci yol tehditleri karşılayabilme kapasitesine sahip entegre roketlerin alımına gidilmesidir. İkinci yol ise tehditlerin karşılanabilmesi için gerekli olan roket bileşenlerinin modüller halinde elde tutularak, savaş anında tehdidin çeşidi kesin olarak belirlendiğinde uygun modüllerin birleştirilmesi yoluyla tehditleri engellemektir.

Birinci yolun izlenmesi durumunda, tehditleri engelleme kapasitesine sahip entegre roket Tablo 5.3'den seçilecek ve tehdit önleyici roketler sırasıyla S3, S4, S5, S7, S11, S12 olarak karşımıza çıkacaktır. Uygulamada ele alınan senaryolar ışığında, 1. ve 2. gün tehditlere karşı kullanılmak üzere ihtiyaç duyulan entegre roket sayıları aşağıda yer alan tabloda verilmiştir.

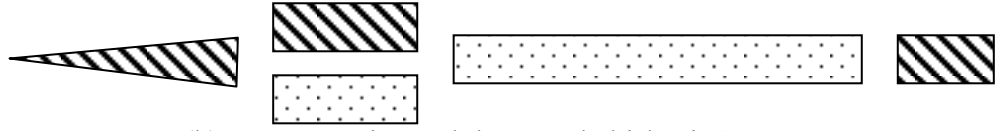
Tablo 5.5 Sırasıyla 1. ve 2. gün için ihtiyaç duyulan entegre roket sayıları

	En kötü senaryo	% 20 azalma	% 30 azalma	En olası senaryo
S3 / S4	(10 + 10)	(10 + 0)	(10 + 0)	(10 + 0)
S5 / S7	(20 + 20)	(20 + 20)	(20 + 15)	(20 + 10)
S11 / S12	(20 + 20)	(20 + 20)	(20 + 20)	(20 + 20)

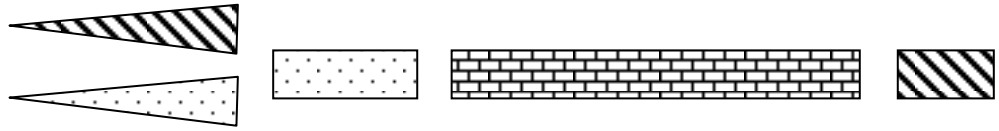
S3, S4; S5, S7; S11 ve S12 roketlerinin modüler eşdeğer yapıda üretilmesi durumunda, ortak kullanılan modüllerin ihtiyaca göre istenen varyantı oluşturacak şekilde bir araya getirilmesi sağlanarak, entegre roketlere nazaran roket alıcısının daha düşük maliyetli çözüme kavuşması da sağlanmış olur. Söz konusu roketlerin modüllerinin bir araya getirilmesine ilişkin çizimler Şekil 5.10'da görülmektedir. Farklı taranmış modüller, modül varyantlarına işaret etmektedir.



(a) S3 ve S4'ün modüler yapıda birleştirilmesi



(b) S5 ve S7'nin modüler yapıda birleştirilmesi



(c) S7 ve S12'nin modüler yapıda birleştirilmesi

Şekil 5.10. Roketlerin modüllerden oluşturulması

Roket modülerliğinin gerçek opsiyon değerinin hesaplanması için, öncelikle uygulamanın önceki kısımlarında tanımlanmış olan senaryolar için oluşacak roket maliyet değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Ülkelerin savunma doktrinlerine ve tehdit altındaki bölgelerin önem derecesine bağlı olarak alınacak risk değerleri de değişim göstermektedir. Bu çalışmada ele alınan uygulamada tüm bölgelerin eşit önem seviyesine sahip olduğu, tehditleri önlemek üzere fırlatılan füzelerin isabet oranının %100 gerçekleşeceği ve savunma sisteminin sıfır riske göre tasarlanacağı varsayımı yapılmıştır. Modülerliğin gerçek opsiyon hesaplaması için aşağıdaki eşitliği kullanmak mümkündür:

Modülerliğin gerçek opsiyon değeri (M) = Entegre ürün maliyeti (M_e) – Modüler ürün maliyeti (M_m) – Modülerleştirme maliyeti

En kötü senaryo göz önüne alındığında;

i) Sıfır risk için elde bulundurulması gereken toplam entegre roket maliyeti (M):

$$M_e = 20 * M(S3) + 20 * M(S4) + 40 * M(S5) + 40 * M(S7) + 40 * M(S11) + 40 * M(S12)$$

$$M_e = 20 * 1350 + 20 * 1500 + 40 * 1400 + 40 * 1750 + 40 * 2150 + 40 * 2300$$

$$M_e = 361000$$

ii) Sıfır risk için elde bulundurulması gereken modüler roket maliyeti:

$$\begin{aligned} M_m &= 20 * (S3/S4 \text{ ortak modül maliyeti}) + 20 * (S3'e \text{ özel modül} + S4'e \text{ özel modül}) \\ &+ 40 * (S5/S7 \text{ ortak modül maliyeti}) + 40 * (S5'e \text{ özel modül} + S7'e \text{ özel modül}) \\ &+.40 * (S11/S12 \text{ ortak modül maliyeti}) + 40 * (S11'e \text{ özel modül} + S12'ye \text{ özel} \\ &\text{modül}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_m &= 20 * (0 + 700 + 400 + 100) + 20 * (150 + 300) \\ &+ 40 * (150 + 0 + 800 + 100) + 40 * (350 + 700) \\ &+ 40 * (0 + 700 + 1200 + 100) + 40 * (150 + 300) \end{aligned}$$

$$M_m = 215000$$

Modülerliğin gerçek opsiyon değeri = 361000 – 215000 – Modülerleştirme maliyeti
--

En olası senaryo göz önüne alındığında;

i) Sıfır risk için elde bulundurulması gereken toplam entegre roket maliyeti:

$$M_e = 10 * M(S3) + 10 * M(S4) + 30 * M(S5) + 30 * M(S7) + 40 * M(S11) + 40 * M(S12)$$

$$M_e = 10 * 1350 + 10 * 1500 + 30 * 1400 + 30 * 1750 + 40 * 2150 + 40 * 2300$$

$$M_e = 287500$$

ii) Sıfır risk için elde bulundurulması gereken modüler roket maliyeti:

$$\begin{aligned} M_m &= 10 * (S3/S4 \text{ ortak modül maliyeti}) + 10 * (S3'e \text{ özel modül} + S4'e \text{ özel modül}) \\ &+ 30 * (S5/S7 \text{ ortak modül maliyeti}) + 30 * (S5'e \text{ özel modül} + S7'e \text{ özel modül}) \\ &+.40 * (S11/S12 \text{ ortak modül maliyeti}) + 40 * (S11'e \text{ özel modül} + S12'ye \text{ özel} \\ &\text{modül}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_m &= 10 * (0 + 700 + 400 + 100) + 10 * (150 + 300) \\ &+ 30 * (150 + 0 + 800 + 100) + 30 * (350 + 700) \\ &+ 40 * (0 + 700 + 1200 + 100) + 40 * (150 + 300) \end{aligned}$$

$$M_m = 177500$$

Modülerliğin gerçek opsiyon değeri = 287500 – 177500 – Modülerleştirme maliyeti
--

Diğer senaryolar için de benzer hesaplamalar yapılır ve uzmanların görüşleri alınarak senaryoların gerçekleşme olasılıkları da belirlenirse; ele alınan senaryolar için elde edilen gerçek opsiyon değerleri ile olasılıklar çarpılarak beklenen gerçek opsiyon değerinin elde edilmesi mümkün olacaktır. Yukarıdaki formüllerde modülerleştirme maliyeti olarak sayısal bir ifade verilememesi, literatürde yer alan çalışmalarda modüler mimari oluşturmak için yapılan çalışmaların maliyetine ya da toplam ar-ge çalışmaları içindeki payına yer verilmemesinden kaynaklanmaktadır. Modülerliğe yatırım kararının alınmasında her ne kadar söz konusu maliyetin öngörülerek yatırımın olası getirisinin belirlenmesinin çok büyük önemi olsa da, değerlendirme sonucunda negatif değere sahip olması durumunda bile modülerliğin roket geliştirme sürecine sağlayacağı katkı göz ardı edilmemelidir.

Modüler yaklaşımın roket teknolojisinde uygulanması durumunda, özellikle Modül 3 gibi bir çok roket varyantının oluşumunda kullanılacak ortak modüllerin büyük sayıda üretilmesiyle, öğrenme eğrisi yaklaşımı uyarınca birim maliyetlerin düşürülmesi ve böylece elde edilecek karın miktarının artırılması da mümkündür. Yine özellikle teknolojik gelişmelerden en çok etkilenen ve roketin elektronik kısmını oluşturan Modül 2'nin zaman içerisinde yeni teknolojiye adapte olarak roket performansını en üst düzeyde tutulması da yine modüler roket yaklaşımıyla sağlanacak bir durumdur.

6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Çalışmada ele alınmış olan roket modülerliği konusu dar kapsamlı olmakla birlikte uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bu çalışmada önceki uygulamalarından farklı olarak roket fonksiyonları dört ayrı modül tarafından yerine getirilecek şekilde dağıtılmıştır. Söz konusu yaklaşım, mevcut roket geliştirme çalışmalarında da kullanılabilecek düzeydedir. Özellikle ilk üç modül (savaş başlığı, arama/tanımlama/izleme, itici modülleri) teknolojik gelişmelere çok açık olup ürün çeşitliliği açısından farklı opsiyonlar sunarken, lüle modülündeki gelişmelerin opsiyon oluşturmaktan ziyade toplam performansı artırmaya yönelik olacağı düşünülmektedir.

Gerçek opsiyonlarla ilgili yapılan literatür araştırması sonucunda, konu üzerinde şu ana kadar çok çeşitli araştırmalar yapılmış ve makaleler/kitaplar yayınlanmış olmasına rağmen kullanılabilirliğini kanıtlamış bir metodun öne çıkmadığı görülmüştür. Her ne kadar literatürde özellikle Black-Sholes yöntemi üzerinde durulmuşsa da, geniş bir uygulama alanı bularak geçerliliğini kabul ettirememiş olması nedeniyle, söz konusu yöntemin finansal değerlerin hesaplanmasında gösterdiği başarıyı gerçek opsiyonlarda da göstermiş olduğu söylenememektedir.

Gerçek opsiyon uygulamalarında yatırımın parçalar halinde gerçekleştirilmesi her ne kadar stratejik esneklik sağlasa da, yatırım kararının zamana yayılması ürün pazarından elde edilecek kazancı düşürmektedir ki, bu konu gerçek opsiyon hesaplamalarında göz ardı edilmiştir. Bu haliyle gerçek opsiyon hesaplamaları pazarda oluşabilecek beklenmeyen düşüşlerden yatırımcıyı korumakta, ancak pazarda oluşabilecek ani yükselişlerde yatırımcının yüksek kazanç elde etmesini engellemektedir.

Çalışmada ele alınan gerçek opsiyonların nitel değerlendirmesi literatürde geniş yer bulmamış olsa da, özellikle doğası gereği nicel hesaplamaların yapılamayacağı pazarlarda, yatırım hakkında bir fikir vermesi açısından yararlı bir yöntemdir. Çalışmada ele alınan örneğin askeri alanda kullanılması ve dolayısıyla maliyet değerlerinin gizli olması nedeniyle gerçek durum verileriyle nicel bir gerçek opsiyon değerlendirmesi mümkün olamamıştır. Senaryolar eşliğinde yapılan değerlendirme, özellikle gerçek durumu yansıtacak şekilde yapıldığında roket üreticileri ve söz

konusu roketleri alanlar için oldukça yarar sağlayacaktır. Uygulanacak senaryo tekniği için potansiyel alıcıların ve potansiyel tehditlerin kesin bir şekilde belirlenmesi önem taşımaktadır. Senaryo tekniğiyle gerçek opsiyon değerlendirme-sinden başarı sağlanabilmesi için askeri işbirliği olan ülkeler ve bu işbirliği karşısındaki ülkeler belirlenerek mevcut söz konusu ülkelerdeki roket teknolojilerin mevcut durumu ve gelişme trendleri hakkında yeterli istihbarat çalışması yapılması gerekmektedir.

Sonuç olarak yapılmış olan çalışma, özellikle son yıllarda ABD'nin üzerinde durduğu ve savunma teknolojileri alanında çok önem taşıyan balistik füze savunmasının yatırım maliyetini düşürmeye ve kullanım alanlarını çeşitlendirmeye yönelik bir yöntemi incelemiştir. Gerçek veriler kullanıldığı ve detaylı bir pazar araştırması yapıldığı takdirde roket modüllerine uygulanmış olan bu yöntemin diğer sektörler içinde yatırım opsiyon değerlerinin başarıyla hesaplanmasına olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Amram M., Kulatilaka N.**, 1999. Real Options, Harvard Business School Pres, Boston, USA.
- Asan U.**, 2001. Modüler ürün tasarımı için bütünleşik bir yöntem ve uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Asan U., Polat S., Serdar Ş.**, 2002. Modularity as a competence for designing future products based on scenarios, *Competence 2002, 6th International Conference on Competence-Based Management*, International Institute for Management Development, Lausanne, 26-28 October 2002.
- Baldwin C.Y., Clark K.B.**, 1997. Managing in the age of modularity, *Harvard Business Review*, **75**, September-October, 84-93.
- Baldwin C.Y., Clark K.B.**, 2000. Design Rules: The power of modularity, The MIT Press, USA.
- Baldwin C.Y., Clark K.B.**, 2002. The Option value of modularity in design, *Research paper*, Harvard Business School, USA.
- Barney J.B.**, 2002. Gaining and sustaining competitive advantage, Prentice Hall, USA.
- Branch M.A.**, 2002. Real options in practice, John Wiley & Sons Inc., New Jersey, USA
- Christiansen D.S., Wallace S.W.**, 1998. Option theory and modelling under uncertainty, *Annals of Operations Research*, **82**, 59-82.
- de Neufville R.**, 2001. Real options: dealing with uncertainty in systems planning and design, *5th. International Conference on Technology Policy and Innovation*, Technical University of Delft, Delft, Netherlands
- Dixit A., Pindyck R.**, 1994. *Investment under uncertainty*, Princeton University Press, New Jersey.
- Eggen Ø.**, 2003. Modular product development, *Product design course notes*, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.

- Erzi-Akçelik İ.**, 2002. An analysis of uncertainty in brownfield redevelopment using real options, *Phd Thesis*, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA.
- Eyal R.**, 2001. Many facets of threat assessment, in *Theater Ballistic Missile Defense*, pp. 45-66, Eds. Naveh, B-Z., & Lorber, A., American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Virginia.
- Fleeman E.L.**, 2001. Tactical missile design, AIAA Inc., Reston, Virginia, USA.
- Goddard R.H.**, 2002. Rockets, AIAA Inc., Reston, Virginia, USA.
- Hobday M.**, 1998. Product complexity, innovation, and industrial organisation, *Research Policy*, **26**, 689-710.
- Howell S. et al.**, 2001. Real options: Evaluating corporate investment opportunities in a dynamic world, Financial Times Prentice Hall, London.
- Hsuan J.**, 1999. Modularization in new product development: A mathematical modeling approach, *DRUID Summer Conference on National Innovation Systems, Industrial Dynamics and Innovation Policy*, Rebuild, Denmark, 9-12 June 1999.
- Huang C.C.**, 1997. Modularity in design of products and testing, *Phd Thesis*, The University of Iowa, USA.
- Huang C.C.**, 2000. Overview of modular product development, *Proceedings of National Science Council Republic of China, part A*, **24**, 3, 149-165.
- Kaufman R.**, 2003. The full costs of ballistic missile defense, Center for Arms Control and Non-Proliferation, Washington.
- Kogut B., Kulatilaka N.**, 1994. Options thinking and platform investments: Investing in opportunity, *California Management Review*, **36**, Summer, 4.
- Langlois R.**, 2000. Modularity in technology and organizations, Research Paper, **1** The University of Connecticut.
- Miller K.D., Waller H.G.**, 2003. Scenarios, real options and integrated risk management, *Long Range Planning*, **36**, 93–107.
- Molas-Gallart J.**, 1995. Missile systems: “Flexible Modularity” and incremental technological change in military production, *Defence and Peace Economics*, **6**, 141-158.

- Naveh B-Z., Levy E., Cohen D.,** 2001. Theater Ballistic Missile Defense Architecture Development, in *Theater Ballistic Missile Defense*, pp. 77-97, Eds. Naveh, B-Z., & Lorber, A., American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Virginia.
- Nokia Group,** 2003. Towards Telecommunications, www.nokia.com
- O'Grady P.,** 1999. The age of modularity: Using the new world of modular products to revolutionize your corporation, Adams and Steele Publishers, USA.
- Prencipe A.,** 1998. Modular design and complex product systems: Facts, promises, and questions, Working paper, COPS, Publication No:47.
- Roth B., Mavris D.,** 2000. Evaluation and selection of technology concepts for a hypersonic high speed standoff missile, Unclassified report, 2000 *Missile Sciences Conference*, Monterey, Canada.
- Sanchez R., Mahoney J.T.,** 1996. Modularity, flexibility and knowledge management in product and organization design, *Strategic Management Journal*, **17**, Winter Special issue, 63-76.
- Sanchez R.,** 1998. Uncertainty, flexibility and economic organization: foundations for an options theory of the firm, *DRUID Summer Conference*, Copenhagen Business School, 9-11 June 1998.
- Sanchez R.,** 2002. Using modularity to manage the interactions of technical and industrial design, *Design and knowledge Management*, **2**, 1.
- Sümen H.,** 2003. Yönetim bilişim sistemleri, Ders notları, İTÜ, İstanbul.
- Trigeorgis L.,** 1993. Real options and interactions with financial flexibility, *Financial Management*, **22**, 3, Autumn, 202-224.
- Ulrich K.,** 1995. The role of product architecture in the manufacturing firm, *Research Policy*, **24**, 3, 419-440.
- Ulrich K., Eppinger S.D.,** 1995. Product design and development. McGraw-Hill, New York, USA.

ÖZGEÇMİŞ

Kemal BARUT, 7 Ağustos 1979 yılında Trabzon’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Isparta Fatih İlköğretim Okulu’nda, lise öğrenimini de Isparta Gürkan Süper Lisesi’nde tamamladı. 1997 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. 4 yıllık lisans eğitiminin ardından 2001 Haziran ayında bölümden yüksek onur derecesiyle mezun olarak Uçak Mühendisi ünvanı aldı. Aynı yıl İTÜ Savunma Teknolojileri – Strateji Geliştirme Programında yüksek lisans eğitimine başladı. 2002 Mart ayında İTÜ Bilişim Enstitüsü’nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başlayan Kemal BARUT, halen söz konusu görevine devam etmektedir.