



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**SAVUNMA SANAYİ PROJELERİNİN SEÇİMİ**  
**İÇİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ**

**Recep Semih TOPAKLI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Temmuz-2023**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Recep Semih TOPAKLI tarafından hazırlanan “SAVUNMA SANAYİ PROJELERİ İÇİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ” adlı tez çalışması 04/07/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. Ahmet PEKER

.....

#### Danışman

Prof. Dr. İsmail KARAOĞLAN

.....

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Kemal Gürol KURTAY

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN  
Enstitü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Recep Semih TOPAKLI

Tarih: 04/07/2023

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## SAVUNMA SANAYİ PROJELERİNİN SEÇİMİ İÇİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

**Recep Semih TOPAKLI**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. İsmail KARAOĞLAN**

**2023, 66 Sayfa**

**Jüri**

**Prof. Dr. Ahmet PEKER  
Prof. Dr. İsmail KARAOĞLAN  
Dr. Öğr. Üyesi Kemal Gürol KURTAY**

Savunma sanayi, halkın güven ve refahını ön planda tutarak, kâr amacı gütmeyen, ülkelerin güvenliğini sağlayarak kalıcılığını doğrudan etkileyen ve gerçekleştirilen büyük projeler ile ülke ekonomisini önemli ölçüde etkileyen bir yapıya sahiptir. Ülkelerin, uluslararası arenada ekonomik, siyasi ve askeri alanda gücünü doğrudan etkileyen savunma sanayi projeleri, değişen ve gelişen teknoloji ile birlikte yeniliklere, modernizasyona ihtiyaç duymaktadır. Bu değişimlere bağlı olarak belirsizlikler altında yüksek bütçeli ve karmaşık yapıdaki savunma sanayi projelerinin gereksinimleri belirlenerek istenen çıktılar doğrultusunda planlanması önem arz etmektedir.

Bu kapsamda çalışmamızda, ülkemizdeki savunma sanayi sektörüne ait projeler; yüksek maliyetleri, ülke ihtiyaçları doğrultusunda belirli dönemlerdeki istenen ürün çıktıları ve koordineli olarak eş zamanlı yürütülmesi gereken faaliyetleri dikkate alınarak doğru planlama için bir çözüm metodolojisi geliştirilmiştir. Ülkemizde 10 yıllık bir plan dönemi boyunca kara, hava, yer savunma, hava savunma proje gruplarına ait projeler için tedarik sürecinin belirlenmesine yönelik bir perspektif sunulmaktadır. Literatürde Total Lethality Index (TLI) olarak adlandırılan her bir silah sisteminin etkinlik değeri kullanılarak bütçe kısıtlaması ile istenen çıktılar doğrultusunda projelerin getirecekleri etkinlik değerini en büyükmek amaçlanmıştır. Projelerin, gerçekleştirilmesi durumunda bireysel olarak getirecekleri etkinlik değerlerine ek olarak birbirini destekleyen projelerin aynı dönem içerisinde birlikte gerçekleştirilerek entegre bir şekilde kullanılmaları durumunda ilave etkinlik değerler ile toplam etkinliğin en büyüklenmesi çalışmamızda ilk kez ele alınmıştır. Matematiksel modelde, değişkenlerin çarpım durumunda olmasından kaynaklı doğrusal olmayan yapı elde edilmiştir. Doğrusal olmayan programlama modeli, literatürde kullanılan dönüşüm teknikleri ile doğrusal hale getirilmiştir. Örnek bir problem üzerinde doğrusal programlama modeli GAMS programında kodlanarak CPLEX çözücüsü ile optimal çözümler elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Doğrusal Programlama, Doğrusal Olmayan Programlama, Proje Portföy Yönetimi, Savunma Sanayi.

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **SOLUTION METHODS FOR SELECTION OF DEFENSE INDUSTRY PROJECTS**

**Recep Semih TOPAKLI**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Industrial Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. İsmail KARAOĞLAN**

**2023, 66 Pages**

**Jury**

**Prof. Dr. Ahmet PEKER**

**Prof. Dr. İsmail KARAOĞLAN**

**Asst. Prof. Dr. Kemal Gürol KURTAY**

The defense industry, by keeping the trust and welfare of the people at the forefront, is a non-profit, ensuring the existence of the state, directly housing and large projects around the country's economy has a largely proprietary structure. Defense industry projects, which directly affect the economic, political and military power of countries in the international arena, need innovations and modernization together with changing and developing technology. Depending on these changes, it is important to determine the needs of high-budget and complex defense industry projects under uncertainties and to plan them in line with the desired outputs.

In this context, in our study, projects belonging to the defense industry sector in our country; A solution methodology has been developed for accurate planning, taking into account the high costs, the desired product outputs in certain periods in line with the country's needs, and the activities that must be carried out simultaneously in coordination. A perspective is presented for determining the procurement process for projects belonging to land, air, ground defense and air defense project groups during a 10-year plan period in our country. By using the efficiency value of each weapon system, which is called the Total Lethality Index (TLI) in the literature, it is aimed to maximize the efficiency value that the projects will bring in line with the desired outputs with the budget constraint. In addition to the efficiency values that the projects will bring individually in case of realization, the maximization of the total efficiency with additional efficiency values in case the projects that support each other are realized together in the same period and used in an integrated way are discussed for the first time in our study. In the mathematical model, a nonlinear structure was obtained due to the fact that the variables were in the multiplication state. The nonlinear programming model has been made linear with the transformation techniques used in the literature. On a sample problem, the linear programming model is coded in the GAMS program and optimal solutions are obtained with the CPLEX solver.

**Keywords:** Defense Industry, Linear Programming, Non-Linear Programming, Project Portfolio Management.

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmalarına başladığım günden beri gece gündüz demeden sorularımı cevaplayarak görüş ve önerilerini benimle paylaşan, akademik yönden yol göstererek beni destekleyen değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. İsmail KARAOĞLAN'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Çalışmanın hazırlanması esnasında bilgi ve tecrübeleri ile yardımcı olan sayın komutanlarım Serkan ERDOĞMUŞ ile Kemal Gürol KURTAY'a ve mesai arkadaşlarım Aygün ALTUNDAŞ, Hakan Ayhan DAĞISTANLI ve Burak YELBEY'e her konuda bana destek çıkan ve güç veren kıymetli ailem İsmail TOPAKLI ve Zeynep TOPAKLI'ya sabırları için sonsuz teşekkür ederim.

Recep Semih TOPAKLI  
KONYA-2023

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. PROJE SEÇİMİ ÇALIŞMALARINA YÖNELİK KAYNAK ARAŞTIRMASI..</b>	<b>6</b>
<b>3. SAVUNMA SANAYİ VE OECD ÜLKELERİ ÜZERİNE İNCELEME .....</b>	<b>18</b>
3.1. Savunma Sanayi Yapısı .....	19
3.2. Savunma Sanayi Özellikleri.....	19
3.3. Savunma Sanayinin Önemi.....	20
3.4. Proje Yönetimi ve Savunma Sanayi Projeleri.....	21
3.5. Savunma Harcamalarını Etkileyen Faktörler.....	22
3.6. Savunma Harcamalarında Kamu ile Özel Sektör İlişkisi .....	23
3.7. Savunma Sistemlerinin Temel Askeri Kriterleri .....	24
3.7.1. Güvenilirlik ve emniyet .....	24
3.7.2. Gizlilik .....	25
3.7.3. Standardizasyon .....	25
3.8. Dünyada Savunma Sanayi .....	25
3.9. Türkiye’de Savunma Sanayi.....	31
<b>4. OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>33</b>
4.1. Optimizasyon .....	33
4.2. Model Kurma .....	33
4.3. Model Tipleri .....	34
4.4. Doğrusal Programlama .....	35
4.4.1. Doğrusal programlama probleminin yapısı ve modelin kurulması .....	36
4.4.1.1. Tamsayılı doğrusal programlama .....	38
4.4.1.1.1. Tüm tamsayılı programlama modeli.....	38
4.4.1.1.2. Karma Tamsayılı Programlama Modeli .....	38
4.4.1.1.3. Sıfır – Bir (0-1) Tamsayılı Programlama Modeli .....	39
4.5. Doğrusal Olmayan Programlama.....	39
4.5.1. Doğrusal olmayan programlama modelinin gelişimi.....	39
4.5.2. Doğrusal olmayan programlama modelinin yapısı.....	40
<b>5. UYGULAMA VE SONUÇLARI.....</b>	<b>43</b>
5.1. Problem Tanımı .....	43
5.2. Matematiksel Model .....	44

5.3. Savunma Sanayi Projelerine Üzerine Örnek Bir Uygulama.....	51
5.4. Model Çözümü ve Bulgular.....	54
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>57</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>59</b>





## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Kısaltmalar

AHP: Analitik Hiyerarşi Süreci

AR-GE: Araştırma ve Geliştirme

GSYİH: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla

PMBOK: Proje Yönetimi Bilgi Tabanı

PPBS: Planlama Programlama Bütçeleme Sistemi

PPY: Proje Portföy Yönetimi

SIPRI: Stockholm Uluslararası Barış Araştırmaları Enstitüsü

TOPSIS: İdeal Çözüme Benzerlik. Bakımından Sıralama Performansı Tekniği

OECD: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü



## 1. GİRİŞ

Günümüzde her alanda öncelikleri belirleme ve odaklanma için sürekli olarak değerlendirme yapılması gerekmektedir. Değerlendirme faaliyetinin yapılabilmesi için değerlendirilen konuların özellikleri ve bu özelliklerin tabiatı gereği odaklanmaya ihtiyaç duyulacak alanların belirlenmesi şarttır. Hedefler ve belirlenen ihtiyaçlar doğrultusunda ele alınacak konular niceliksel ve niteliksel olarak değerlendirmeye tabii tutulmaktadır.

Yaşamın tüm alanında değerlendirme süreçleri ile karşılaşmakta ve özellikle profesyonel olarak iş hayatında ve savunma sektöründe bilimsel yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Teknolojik değişim ve gelişimin hızlı olması, faaliyet gösterilen alanlarda iş kolu ne olursa olsun yaşanan rekabet ve küresel pazar dikkate alındığında geçmişten günümüze planlama ve değerlendirme süreçlerinin önemi ivme kazanarak artmıştır. Çeşitli sektörlerde yer alan işletmeler her ne kadar bu alanda niteliksel olarak kararlar vermek durumda kalsa da niceliksel olarak ölçümlerin yapılması suretiyle proje seçim çalışmaları yürütülmektedir.

Hedef bazlı proje seçim çalışmaları, gerek hizmet gerekse de üretim sektöründe büyümek, sektörde yer edinmek veya bulunduğu konumu korumak isteyen işletmeler için zorunluluk haline gelmiş durumdadır. Zira işletmeler, mevcut durumlarını analiz etmeden, ilerlemeleri ve gelişmeleri takip etmeden geleceğe yönelik olarak gelişmelere ve hedeflere göre stratejilerini belirlemeden bu yaşam döngüsü içerisinde kalmaları imkânsızdır. Bu noktada gerekli hesaplamaların yapılabilmesi için hedeflerin doğru bir şekilde belirlenmesi ve buna yönelik olarak strateji geliştirilmesi gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Savunma sanayi bu kapsamda incelenmesi önem arz eden konuların başında gelmektedir.

Ülkelerin, uluslararası sahadaki gücünü ekonomik, siyasal ve askeri alanda doğrudan etkileyen projeler, gelişen teknoloji ile birlikte yeniliğe ve modernizasyona doğrudan ihtiyaç duymaktadır (Rogerson, 1994; Mowery, 2012). Teknolojinin sürekli değişmesi ve gelişmesi ile birlikte belirsizlik altında karmaşık yapıdaki çıktılar bu projelere olan gereksinimi arttırmakta ve teknolojiye olan bağlılığı ön plana çıkararak sürekli teknolojinin takibini gerektirmektedir (Uçakcıoğlu ve Eren, 2017). Ülkelerin birbiriyle olan yarışı ve gelecek ortamının belirsiz olması projelerin seçimi ve icrası için karar vericilerin yapacağı seçimlerin zorluğunu arttırmıştır. Teknoloji ile birlikte bilgininde hızlı bir şekilde değişmesi yeni problemler ortaya çıkarmakta ve en iyi

seçeneklere ulaşmayı zorlaştırmaktadır (Ersöz ve Kabak, 2010). Bu sebepten ötürü ileri teknoloji gerektiren projeler için teknolojinin takibi ile gelişmelere paralel olarak ilerlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Ülkelerin askeri alandaki varlığını ve gücünü en çok etkileyen faktörlerin başında gelişen teknolojinin takibi ile yapılan yatırım projeleri gelmektedir. Bu yatırım projelerine tahsis edilecek mevcut kaynaklar ile bütçe ülke ekonomisinin önemli bir payına sahiptir (Karagöl ve Palaz, 2004). Bu bağlamda bütçeyi etkin bir şekilde kullanabilmek için kaynakların planlı ve verimli kullanılması büyük önem arz etmektedir. Sınırlı kaynaklar altında savunma harcamalarına ayrılacak bütçenin ele alınarak proje portföy çalışmasında en uygun projelerin seçimi ülkelerin savunma sektörünü varlığını hissettirmede kritik paya sahiptir. Dünyanın küreselleşmesi ile birlikte ülkeler arasında artan rekabet ortamında doğru yatırımların hızla hayata geçirilmesi avantaj sağlayabilmektedir. Yanlış proje seçimleri sonucunda eldeki kısıtlı kaynaklar boşa harcanmakta ve zaman ile iş gücü bakımından ülkelerin caydırıcı etkisinin azalmasına sebep olabilmektedir. Kaynakların yetersiz olması durumunda ise gerçekleştirilmesi planlanan kararlar, karar vericileri istenen hedeflerden uzaklaştırmaktadır. Ülkeler doğru planlamalar ve yatırımlar sayesinde saygınlıklarını üst seviyeye taşıyabilmekte ve uluslararası arenada caydırıcı bir güç haline gelebilmektedir. Özellikle günümüzde yönetimi ve karar sürecini etkileyen durumların artarak daha karmaşık hale bürünmesiyle birlikte karar vericiler farklı sistemler, stratejiler ve politikalar arasından seçim yapmak durumunda kalmaktadır (Kaplan, 2007).

Savunma sanayi sektöründe sürekli yenileme ilkesi esas alınarak teknolojik gelişmelere paralel olarak oluşturulacak bir savunma mekanizması ile gerçekleştirilecek kuvvet yapısı, sürekli olarak hazır halde bulundurulmak zorundadır (Kaplan, 2007). Gerçekleştirilecek savunma sanayi projeleri yüksek bütçeli olması ve yıllara sâri olarak uzun dönemlerde gerçekleştirilebilmeleri sebebiyle birçok faaliyetin aynı dönem içerisinde koordineli, eş zamanlı olarak yürütülmesi gereken karmaşık bir yapıyı barındırmaktadır (Gholz and Sapolsky, 1999; Kapletia and Probert, 2010). Bu süreçte de sürekli iyileştirme ve geliştirme yapılarak etkili sonuçların alınması hedeflenmektedir. Kritik önem arz eden proje faaliyetleri için yapılan çalışmaların etkili ve verimli olabilmesi için doğru bir planlamanın yapılması gerekmektedir (Lee ve Park, 2020). Ülkelerin uluslararası arenada söz sahibi olabilmeleri, halkın güven ve refahını üst düzeye çıkarabilmeleri ve askeri alanda üstünlük sağlayabilmeleri için

doğru bir şekilde planlamaların yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda ülkemizde Milli Savunma Bakanlığı'nın ihtiyaçları ve istekleri doğrultusunda, farklı alanlarda aynı zaman dilimi içerisinde birçok proje eş güdümlü olarak yürütülmektedir.

Savunma sanayi sektörüne bakıldığında halkın güven ve refahını ön planda tutan, kâr amacı gütmeyen ve ülkenin kalıcılığını sağlayarak gerçekleştirilecek büyük projeler ile ülke ekonomisini ve dış ekonomileri doğrudan ve dolaylı olarak etkileyebilmektedir. Savunma sanayi alanında yapılan çalışmalar ile gelişen sektör toplum üzerinde güven duygusunun artmasını sağlamakta ve toplumsal düzenin sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. Özellikle son dönemlerde ülkelerin savunma sanayi sektöründe yaptığı çalışmalar yoğunluk kazanarak devam etmekte ve birçok ülke bu alanda yaptığı AR-GE faaliyetleri ile birçok projeyi hayata geçirmeyi başarmış vaziyettedir. Gelişmiş ülkelerde erken zamanda başlayan askeri ve sivil endüstriye ait olan projelere ait AR-GE faaliyetleri ve yatırımlarının ülke ekonomisine yaptığı olumlu etkiler üzerine çalışmalar mevcuttur (Graves ve Langowitz, 1996; Co ve Chew, 1997). Bu kapsamda farklı modernizasyon, altyapı ve diğer durumlar ele alınarak gerçekleştirilmesi düşünülen yatırım projelerinde sürekli iyileştirme ve geliştirme önemli bir alan olmaktadır.

Savunma sanayi sektöründe yürütülen projeler kısıtlı kaynaklar altında başarıya ulaşılması ve yüksek verim alınması için planlı bir şekilde yürütülmesi kritik öneme sahiptir. Yönetim ve karar süreçlerini etkileyen durumların artması ve karmaşık faaliyetler içermesi sebebiyle yürütülen projelerin doğru bir planlama süreci ile gerçekleştirilerek proje seçimlerinin yapılması önemlidir (Munns and Bjeirmi, 1996). Bu alanda doğru bir planlamanın yapılabilmesi için bilimsel tekniklerin kullanılması gerekmekte ve gerçekleştirilecek uygulamalar ile başarılı sonuçlara ulaşılması hedeflenmektedir.

Bu çalışmada savunma sanayi sektörüne ait projeler; yüksek maliyetleri, belli dönemde ülke ihtiyaçları doğrultusunda istenen ürün çıktıları, eş zamanlı ve koordineli yürütülmesi gereken faaliyetleri dikkate alınarak analitik olarak değerlendirilmektedir. Çalışmada, ülkemizde 10 yıllık bir plan dönemi boyunca kara, hava, yer savunma, hava savunma proje gruplarına ait proje tedariki için perspektif sunulmaktadır. Her bir proje için ayrılan bütçe ile belirli dönemlerde beklenen ihtiyaçlar bilinmektedir. Problemden, bütçe kısıtlarına dikkat ederek ihtiyaçları en iyi düzeyde karşılayabilmek için proje seçimi ve değerlendirmeyi gerçekleştirecek bir çözüm metodolojisi geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel model için parametre girdisi projelere ait etkinlik

katsayılarıdır. Savunma sanayi projelerinin gerçekleştirilmesi askeri birlikler için bir savaş gücü oluşturmaktadır. Orduların bu kuvvet gücünü oluşturan her bir askeri projenin muharebe ortamında gösterdikleri performans, ölümcüllük, etkinlik gibi etmenlere göre belirlenmiş olan silah etkinlik katsayıları bulunmakta ve bu katsayı literatürde Total Lethality Index (TLI) olarak adlandırılmaktadır. TLI değerleri olarak kullanılan etkinlik katsayısı güvenilirlik, doğruluk, hasar ve menzil faktörlerinin çarpılması sonucu hesaplanmaktadır (Dupuy, 1987). Bu etkinlik katsayısı hesaplanırken güvenilirlik faktörü, silahın herhangi bir atış esnasında arıza göstermeme olasılığını; doğruluk faktörü, silahın arıza yapmadığı varsayılarak hedefi vurma olasılığını; hasar faktörü, atış sonrasında hedefin başarılı bir şekilde vurulduğu durumda zayıat miktarını; menzil faktörü, silah sistemlerinin etkili menzilini ifade etmektedir. Bu faktörlerin çarpılması sonucu her proje için hesaplanan TLI etkinlik değerleri oluşturulan katsayısı kullanılmıştır.

TLI değerleri her bir silah sistemi için ayrı olarak belirlenmiştir. Projelerin aynı dönem içerisinde birlikte gerçekleşmesi durumunda etkinlik değerleri tek gerçekleştirilmelerine oranla daha fazla etkinlik değeri getirecektir.

Örnek olarak piyade tüfeği imalatı (A projesi) ile termal silah dürbünü (B projesi) gibi birbirini destekleyen projeleri ele alalım. Piyade tüfekleri ile birlikte kullanılan termal silah dürbünleri, toz, duman gibi muharebe sahası koşulları ve sis, pus gibi doğal engellerin bulunduğu koşullarda gündüz ve gece üstün görüş olanağı sağlayarak silahın etkinliğini arttırmaktadır. Etkinlik değerlerini hesaplarken A ve B projeleri gerçekleştiğinde 3 ve 5 birimlik TLI değerleri olduğunu varsayalım. Farklı dönemlerde tamamlanan bu projelerin toplam etki değeri 8 (3+5) şeklinde kabul edilebilecekken birlikte aynı dönemde tamamlanması sonucunda, toplamında daha fazla bir TLI değeri ortaya çıkacaktır. Bu kapsamda literatür incelendiğinde, benzer bir konunun ele alınmadığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında, birbirini destekleyen projelerin aynı dönem içerisinde gerçekleştirilme durumları ele alınmış, problemin tanımı yapılarak optimal çözümlerin elde edilebilmesi amacıyla doğrusal olmayan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Ardından değişik dönüşüm yöntemleri ile matematiksel model doğrusallaştırılmış ve örnek bir problem üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Optimal etkinlik skoru elde edilirken belirlenen bütçeler dönemsel olarak büyüme oranında arttırılmış ve kalan bütçeler bir sonraki döneme devredilerek en büyük etkinliğin elde edilmesi hedeflenmiştir. Dönemsel olarak incelenen projeler için en

küçük ve en büyük seviyelerde tedarik edilmesi gereken miktarlar belirlenerek en uygun planlamanın yapılması hedeflenmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada ele alınan projelerin yüksek maliyetli olması sebebiyle her proje için ayrılan bütçeyi belirlenen dönemler için optimal şekilde kullanarak beklenen çıktıları elde etmek amaçlanmaktadır.

Çalışmada yer alan bölümler ve konu içeriklerinin tasarımı şu şekildedir: ikinci bölümde askeri ve diğer alanlarda, matematiksel model içeren ve matematiksel modele ile birlikte hibrit çalışmaların yapıldığı uygulamalarla ilgili literatür çalışması mevcuttur. Üçüncü bölümde çalışma konusu gereği savunma sanayi yapısı, özellikleri ve öneminden bahsedilmiştir. Savunma sanayi harcamaları için OECD ülkeleri ve Türkiye için ayrı ayrı analizler yapılmıştır. Dördüncü bölümde çalışmada kullanılacak optimizasyon yöntemleri anlatılmıştır. Beşinci bölüm uygulama bölümüdür. Bu bölümde problem tanımı, geliştirilen matematiksel model ve çözümü ile bulgular yer almaktadır. Problem kapsamında öncelikle doğrusal olmayan programlama modeli önerilmiştir. GAMS programında sonuçların alınmasına müteakip dönüşüm teknikleri kullanılarak oluşturulan modele kısıtlar ilave edilmiş ve doğrusal programlama modeli elde edilmiştir. Elde edilen doğrusal programlama modelinin GAMS programı ile çözülmesinin ardından sonuçlar analiz edilmiştir. Son olarak altıncı bölümde araştırma sonuçları incelenerek projelerin tedarik süreçlerine ilişkin etkinlerinin en büyüklemesini sağlayacak değerler ortaya konularak sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

## 2. PROJE SEÇİMİ ÇALIŞMALARINA YÖNELİK KAYNAK ARAŞTIRMASI

Proje seçimi ve Proje Portföy Yönetimi (PPY) çalışmaları birçok sektörde karşılaşılan karar problemleri arasında yer almaktadır. Sektördeki şirketler için temel anlamda kar elde etme, kurumsal anlamda ise pazardaki yerini sağlamlaştırma ya da artırmada proje seçimi, değerlendirmesi çalışmalarının karar vericiler için stratejik düzeyde önem taşıdığı söylenebilir. Aynı zamanda ülke yönetimini ilgilendiren; eğitim, ekonomi, savunma vb. konulardaki projeler ise başlı başına stratejik kararlardandır. Bu seviyedeki kararlar için proje seçimi ve PPY çalışmaları, şirketlerin performansını olumlu yönde etkileme veya ülkelerin uzun vadede kritik seviyede başarılı sonuçlar alması gibi önemli etkilere sahiptir (Zhang ve ark., 2008).

Proje yönetiminin kapsamı alanına giren proje seçim çalışmaları incelendiğinde bu konudaki geleneksel yaklaşım, projelerin birbirinden bağımsız olarak ele alınmasıdır. Ancak, yapılan araştırmalar projelerin bütünlük şeklinde ele alınması gerektiğini göstermektedir. Proje yönetiminin ilerleyen aşamalarında sağlayacağı faydalar göz önünde bulundurularak bütüncül yaklaşımın özellikle bütçe kısıtlarını dikkate alarak yapılacağı değerlendirilmiştir. Bütçe kısıtlarının sağlayıcısı olarak, PPY yaklaşımının proje seçiminde daha etkili olduğu yapılan çalışmalarda görülmektedir (Padhy, 2017). PPY yaklaşımı, yatırım yapılacak projelerin analitik değerlendirmelere tabi tutulma işlemidir. Projenin yapılması için sermaye ayrılıp ayrılmayacağı, ayrılacak sermaye miktarı, sermayenin projelere dağıtım işlemi vb. konulara PPY yaklaşımı ile karar verilir (Planview, 2019).

Bu kapsamda proje seçim çalışmalarında kullanılan yöntemler literatürde çeşitli sınıflandırmalara tabi tutulmuştur. Askeri ve diğer alanlarda bulunan çalışmalar araştırılmış ve ilk olarak diğer alanlarda ardından askeri alanlarda yapılan çalışmalar olmak üzere özet bir biçimde incelenmiştir.

Golabi ve diğ. (1981) tarafından ABD Enerji Bakanlığı'na güneş enerjisi uygulamaları için portföy seçmeye yardımcı olmak için geliştirilen prosedür anlatılmıştır. Çeşitli finansman süreçlerinde uygulanabilirliği ele alınarak çoklu değerlendirme ölçütleri ile fayda fonksiyonu kullanılarak genel teknik kaliteyi belirten tek bir indeks oluşturulmuştur. Bütçe kısıtlamaları incelenerek portföy seçim problemi tamsayılı doğrusal programlama ile formüle edilmiştir. Portföy seçimi prosedürü başarıyla uygulanmış ve dört güneş enerjisi tedarikinde başarıyla kullanılmıştır. Sonuç

olarak metodoloji ile bir prosedür oluşturulmuş ve yeterli bilgisayar desteğinin gerekliliği saptanmıştır.

Mehrez ve Sinuany-Stern (1983) tarafından kısıtlar altında bölünemeyen projeleri ele alınmış ve fayda yaklaşımı üzerinden karar vericinin her olası proje setinin faydasını bir bütün olarak değerlendirmesini öne sürülmüştür. Karar vericiye bir dizi uygulanabilir proje kümesi sunmak için geliştirdikleri etkileşimli bir yöntem sunmaktadır. Karar verici, bir bütün olarak her bir küme için niteliklerin her birini değerlendirerek uygun kümeler elde etmek için sıfır-bir tamsayı program dizisini kullanmıştır. Belirli bir bütçe altında projelerin katkıları değerlendirilerek elde edilen optimal çözüm fayda değeri en yüksek olan çözüm olmuştur.

Zanakis ve diğ. (1995) tarafından hizmet ve devlet sektörlerinde proje/program değerlendirme, seçim ve fon tahsisi üzerine mevcut yayınlanmış araştırmaların ayrıntılı bir analizi sunulmaktadır. Bu analiz, 93 dergiden 306 makalenin yer aldığı bir ankete dayanmaktadır. Maddi olmayan varlıkları ölçmek için farklı yöntemler kısaca sunulmuş ve endüstriyel olmayan tipik uygulamalarla karşılaştırılmıştır. Çok az sayıda yayının hem değerlendirme hem de tahsisi bütünlük bir süreç olarak ele aldığı ve geçerli araştırmaların sistematik bir sınıflandırmasının bulunmadığı sonucuna varılmıştır. Yayınlanmış araştırmaları modelleme metodolojisi, amaçları, kapsamı ve uygulama alanları açısından kategorize etmek için bir şema geliştirilerek literatüre katkı sağlamıştır.

Chu ve diğ. (1996) tarafından bütçe, zaman ve kaynaklar üzerinde katı kısıtlamaları olan Ar-Ge projeleri için yöneticilerin en uygun plan dizisini seçmelerine yardımcı olacak bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem, zaman ve maliyet analizini kapsayan bir maliyet modelini ve dinamik programlamaya dayalı olarak Ar-Ge projelerini yönetmek için en uygun geliştirme planını sağlayan stratejik seçim algoritması içermektedir. Geliştirilen sistemin başarıya ulaşması için birbirine bağlanan çeşitli alt sistemler oluşturulmuştur. Sonuç olarak benzer türdeki sorunları desteklemek için karar destek sistemi oluşturularak geliştirilmiş ve farklı problemlerde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Khorranshahgole ve Steiner (1998) tarafından rekabet eden projelere fon tahsis ederken kurumsal hedeflerini dâhil etmede üst yönetime yardımcı olmak için yatırım kararlarını ve birbiriyle çelişen hedefleri içeren bir hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Karar verici, hedefleri ve öncelikleri önceden belirlemek için bir grup katılımcıdan fikir birliği sağlamaya yönelik sistematik bir prosedür olan Delphi yöntemi



kullanılmıştır. Hedefler arasındaki öncelik ve her hedef için bir hedef düzeyi belirlenmiştir. Önerilen model ABD İçişleri Bakanlığı tarafından ulaştırma bölümünün kırsal yol projelerini değerlendirmek için doğrudan uygulanmıştır. Önerilen metodolojinin, uygulanan tahsise kıyasla daha adil bir fon dağılımına yol açtığı gösterilmiştir.

Ghasemzadeh ve diğ. (1999) tarafından kuruluşun kaynak sınırlamaları ve projeler arasındaki karşılıklı bağımlılık gibi amaç ve kısıtlamalar ele alınarak optimal bir proje portföyünün seçilmesi ve programlanması için sıfır-bir tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Önerilen modelde kullanılabilir ve tüketilebilir kaynak miktarlarının farklı dönemlerde değiştiği durumlar incelenmiştir. Önerilen model, yalnızca optimal portföye dahil edilmesi gereken projeleri önermekle kalmamış, aynı zamanda her proje için başlangıç dönemi çizelgeleme hususları ile portföye dahil edilebilecek projelerin kombinasyonu üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir.

Lee ve Kim (2000) tarafından bilgi sistemi projeleri için birbirine bağlı projelerin belirlenmesi için uzman görüşleri alınarak analitik ağ süreci kullanılmış ve aday projeler arasındaki ilişkileri yansıtan sıfır-bir hedef programlama modeli önerilmiştir. Çalışma, kaynaklardan tasarruf etmenin bir yolu olduğunu göstererek organizasyonda bilgi sistemi projesi seçildiğinde maliyet tasarrufu sağlandığı görülmüştür. Sonuç olarak uygun bir bilgi sistem projesi seçiminde tüm ticari organizasyonlar için faydalı olduğu belirtilmiştir.

Moralı ve Çelikoğlu (2001) tarafından koşullara bağlı olarak proje seçimi çalışmalarında kaynak tahsisi problemleri, tamsayılı, karma tamsayılı ve doğrusal programlama modeli olarak ifade edildiği belirtilmiştir. Bu matematiksel modellerde amaç, toplam getirinin en yüksek değere ulaştırılmasıdır. İkinci bir amaç olarak kaynakların ayrılacağı faaliyet sayısının en büyükleme eklenerek problemin amaç programlama teknikleri ile çözülebileceğini anlatılmıştır. Desteklenecek projelerin seçimi yapılarak her proje için ayrılması gereken kaynak miktarları belirlenmiş ve problemi amaç programlama modeli ile çözülebileceğini öneren bir çözüm algoritması geliştirilmiştir. Örnek bir problem çözümü ile geliştirilen model, denenmiş ve sonuç olarak bütçeleme ve kaynak tahsisi problemlerinde proje sayısının az olduğu durumlarda halihazırda bulunan matematiksel programlama tekniklerinin yeterli olduğu, proje sayısının çok olması durumunda ise çalışmada verilen algoritma ile yaklaşık çözümlerin elde edilebileceği belirtilmiştir.

Badri ve Davis (2001) tarafından sağlık hizmeti veren kurumlarda etkili bir bilgi sistemi için proje seçimi çalışması yürütülmüştür. Birçok amacın karar modellerine dâhil edilmesini gerektiren bu çalışmada, problemin çeşitli yöntemler ile öncül çalışması yapılarak karar vericinin tercihleri, öncelikleri, faydaları, maliyetleri, proje süreleri ve eğitim durumları ele alınmıştır. Oluşturulan karar modeli, proje seçim verilerine uygulanarak, 0-1 hedef programlama modeli ile çözülmüştür. Sonuç olarak diğer alanlarda da uygulanabilecek bir problem tanımı yapılarak matematiksel modelin geliştirilmesi ana katkısı olmuştur.

Keçek (2005) tarafından günümüzde işletmelerde karşılaşılabilecek sorunların karmaşıklığı ele alınarak çelişen amaçlardan bahsedilmiştir. İlk olarak tamsayılı hedef programlama, ardından dal-sınır tekniği açıklanarak bir dişli işletmesinde hedefler ve kısıtlayıcılar belirlenerek tamsayılı bir hedef programlama modeli önerilmiştir. Geliştirilen model QS ve WINQSB yazılımları ile çözülmüş ve tedarik planının oluşturulmasında karar vericiye yardımcı olmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak yazılımlardan elde edilen çözümlerin sonuçları karşılaştırılarak ulaşılmak istenen hedeflerden beşine ulaşılmış, kalan üç hedefe ise yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Doğanlı (2006) tarafından Türkiye'nin Gümrük Birliği'ne katılması ile birlikte küresel ekonomi konusunda birtakım yükümlülükler ile karşılaşıldığı görülmüştür. Gelişmiş ülkelerin uzun vadeli yatırımlarının öneminden ötürü sermaye bütçeleme sürecinde karar vericilere yardımcı olabilmek maksadıyla doğru yatırımların seçilebilmesi için tamsayılı programlama modeli oluşturmuştur. Oluşturulan model, tekstil sanayinde faaliyetlerini icra eden bir kuruluşun yatırımları kısıtlayıcı faktörleri ele alarak proje seçimlerinin belirlenmesinde kullanmıştır. Sonuç olarak işletme için yatırım projelerinin belirlenmesinde optimal sonuca ulaşılarak gerçekleştirilecek yatırım projeleri belirlenmiş, bazı projelerinde dışarıdan araçlar ile yaptırılabilmesi için iptaline karar verilmiştir.

Mavrotas ve diğ. (2008) tarafından belirli bir karar durumu altında proje seçimi için iki aşamadan oluşan bir yöntem önerilmektedir. Sürecin ilk adımında, öncül bir çalışma olarak çok kriterli bir yaklaşım ile ön sıralama yapılmıştır. Ardından ikinci adım olarak mantıksal kısıtlamaları karşılayan nihai seçimin etkili şekilde yapılabilmesi için tamsayı programlama modeli kullanılmıştır. Önerilen yaklaşımın yenilikçi yanı, tamsayılı programlama aşamasında yaygın olarak kullanılan sırt çantası formülasyonunun düşük maliyetli projelere yönelik eğilimin üstesinden gelerek tamsayılı programlama modelinden elde edilen projelerin nihai seçimi ile çok kriterli

yaklaşımından elde edilen sıralama arasındaki bir uyumu geliştirmiştir. Karar modeline daha fazla serbestlik derecesi sunduğu için mevcut bütçeden yararlanmada daha esnek olduğu gözlenmiştir.

Padhy ve Sahu (2011) tarafından kuruluşun amaçlarına ve kısıtlamalarına dayalı olarak yönetim esnekliğini geliştirmek amacıyla projelerin değerlerini incelemek ve optimal bir proje portföyü seçerek programlamak için 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeline dayanan iki aşamalı bir metodoloji önerilmiştir. Geliştirilen model altı sigma uygulayan bir petrokimya endüstrisinde petrokimyadan bir vaka çalışması aracılığıyla denenmiştir. Önerilen proje portföyü seçim çalışmalarında yaklaşımı test etmek için kaynak kısıtlamalı ortam seçilmiş ve model ayrıntılı bir tartışma ile doğrulanmıştır.

Liu ve Wang (2011) tarafından projelerin seçimi ve çizelgeleme sorunları için zamana bağlı kaynak kısıtlamalarını ele alan bir optimizasyon modeli sunmaktadır. Tüketilen ve yenilenebilir kaynaklar dâhil olmak üzere aday seçilen projelerin toplam kârını en büyükmek amaçlanmıştır. Oluşturulan model farklı dönemsel satın alma stratejileri ve yıllık bütçe endişeleri sebebiyle bütçe sınırlamalarını ve kaynak kısıtlamalarını içerecek çizelgeleme önceliğini ve projeler arasındaki ilişkiyi içermektedir. Aday projeler, iki farklı senaryo için proje seçimi ve çizelgelemesi yapılarak analiz edilmiştir. Sonuç olarak planlamacılara, kaynak kısıtlamalarına göre en uygun portföyün belirlenmesi ve proje seçimi konularında yardımcı olduğu görülmüştür.

Khalili-Damghani ve diğ. (2013) tarafından her ögesi önceden tanımlanmış olan bulanık değerlere göre birkaç gruba ayrılan çok boyutlu çoktan seçmeli bir sırt çantası problemi önerilmiştir. Toplam kârı ve toplam maliyeti birbiriyle çelişen iki amaç olarak kabul problemi çözmek için matematiksel bir yaklaşım ve sezgisel bir algoritma oluşturulmuştur. Yöntemlerden birisi çok amaçlı matematiksel programlama tekniği, ikincisi ise kısmi bağlı numaralandırma ile buluşsal bir algoritmadır. İki farklı yöntemin performansı, farklı çeşitlik ve doğruluk ölçümleri için bir dizi test problemleri ile çözüm üretilmiş ve istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak verimli kısıtlama yöntemi ile önemli ölçüde daha kısa bir hesaplama süresinde çözümler üretileceği görülmüştür.

Khalili-Damghani ve diğ. (2013) tarafından çok dönemli bir planlama ufku boyunca kârları en üst düzeye çıkararak riskleri en aza indiren, belirsiz önceliklere sahip proje portföy seçimi için hedef programlama yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen model,

İdeal Çözümüne Benzerliğe Göre Sıra Tercihi Tekniği (TOPSIS) ve bulanık tercih ilişkilerine dayanmaktadır. TOPSIS, çok amaçlı problemi iki amaçlı bir probleme indirgemek için kullanılmış ve ortaya çıkan iki amaçlı problem, bulanık hedef programlama ile çözülmüştür. Önerilen yaklaşım, çok dönemli planlama ufku ile bulanık çok amaçlı proje seçimi olarak karakterize edilen gerçek hayat problemini çözmek için kullanılmış ve önerilen yaklaşımın performansı, literatürdeki rakip bir yöntemle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar neticesinde sonuç olarak karar vericilerin bulanık üyelik değerlerine ilişkin tercihlerine ilişkin bir çerçeve ve hiyerarşik bir yapı geliştirilmiştir.

Karaman ve Çerçioğlu (2015) tarafından ihtiyaçlara göre kaynakların sınırlı olduğu durumlarda doğru ihtiyaçların belirlenmesinin önemli olduğunu vurgulamıştır. Yapılan çalışmada sınırlı kaynakları doğru ihtiyaçlara atamak maksadıyla kısıtlı kaynaklar altında hastane projelerinin seçimi ele alınmıştır. Bütçe kısıtı altında 6 farklı hastane projesi belirlenen kriterlere göre incelenmiş ve sadece kesikli sayılar alabilen değerlerden dolayı 0-1 hedef programlama modeli kurularak LINDO programı ile çözülmüştür. Çözümler değerlendirilmiş ve sonuç olarak yatırım tutarlarına göre bütçe ve diğer kısıtları sağlayan en iyi hastane alternatifleri seçilerek karar vericiye yardımcı olunmuştur.

Tavana ve ark. (2015) tarafından proje seçim ve kaynak tahsisi konularında, kuruluşların projelerini örgütsel misyon ve hedeflere uygun olarak planlamaları, değerlendirmeleri ile kontrol etmeleri gerektiği ele alınmış ve optimal proje kombinasyonunu seçmek için üç aşamalı hibrit bir yöntem önerilmiştir. İlk tarama için veri zarflama analizi, projeleri sıralamak için ideal çözüme benzerliğe göre tercih sırası tekniği (TOPSIS) ve bulanık bir ortamda en uygun proje portföyünü seçmek için tamsayılı doğrusal programlama kullanılmıştır. Önerilen yöntemin uygulanabilirliğini, algoritmaların ve prosedürlerin etkinliğini göstermek için bir vaka çalışması yapılarak karmaşık proje seçim sorunları hakkında sistematik olarak yönetilebilir, kurumsal amaç ve hedeflerle tutarlı sonuçların elde edildiği görülmüştür.

Perez ve Gomez (2016) tarafından karar vericilerin, gereksinimleri karşılamak ve karlı büyümeyi garanti etmek için bütçe ve farklı kısıtlamalarla karşı karşıya kaldığı anlatılmıştır. Bu sebepten ötürü proje portföylerini seçmek ve çizelgelemek için doğrusal olmayan ikili çok amaçlı matematiksel model önerilmiştir. Bahsi geçen karar görevinde yer alan farklı belirsizliklerin varlığı nedeniyle, modele, karar vericiler tarafından tam olarak bilinmeyen bilgilerin temsil edilmesine izin veren bazı bulanık

parametreler dâhil edilmiştir. Ortaya çıkan problem hem bulanık hem de çok amaçlıdır. Sonuç olarak bu çalışma, karar vericilerin çözüm alanıyla ilgili tam bilgiye dayalı olarak uğraştıkları sorunun karmaşıklığını derinlemesine analiz etmelerine olanak tanıyarak daha kolay ve daha sezgisel bir karar verme prosedürü oluşturulmuştur.

Bhattacharyya ve diğ. (2017) tarafından piyasaların rekabeti üzerine Ar-Ge projeleri yapan firmalar için yatırım yapılması gerektiği vurgulanmış ve proje portföyü probleminde en uygun projelerin seçimi için çalışma yapılmıştır. Ar-Ge projelerinin seçiminde karar vermeyi kolaylaştırmak için bulanık çok amaçlı bir programlama yaklaşımı sunulmaktadır. Kaynak ve bütçe başta olmak üzere çıktıyı en yüksek seviyeye ulaştırarak, maliyet ve riski en aza indiren proje seçimi probleminin çözümü için genetik algoritma ve çok amaçlı genetik algoritma kullanılarak bir vaka çalışması yapılmıştır. Sonuç olarak risk ve maliyeti optimize ederek karar vericilere destek sağlanmıştır.

Perez ve diğ. (2018) tarafından bir proje portföyünün seçilmesinde iyi bir seçim yapabilmek amacıyla sağlam temellere sahip, matematiksel geliştirmenin öneminden bahsedilmiştir. Yapılan çalışmada, içsel belirsizliği bu problemlere dâhil eden klasik yaklaşımı genişleten bir matematiksel model önerilmiştir. Model, proje portföylerinin seçilmesini ve planlanmasını birleştirerek projeler arasındaki uyumsuzluklar, sinerji, zaman sırası gibi farklı ilişkileri ve gerçek durumlarda ortaya çıkan diğer önemli kısıtlamaları belirtmektedir. Sonuç olarak eş zamanlı olarak optimum portföyü ve bununla ilişkili güven seviyeleri aralığını elde eden bir çözümleme prosedürü geliştirilmiştir. Yaklaşımın potansiyelini göstermek için açıklayıcı bir örnek ile gerçek bir uygulama verilmiştir.

Takami ve diğ. (2018) tarafından tereddütlü durumların neden olduğu belirsizliğin yönetilmesi ve projelerin portföyün nihai değeri üzerindeki etkileşim etkisi ile ilgili olarak iki konuya odaklanan proje portföyü seçimi için yeni bir model geliştirilmiştir. Her bir projeye ve onun etkileşimlerine karşılık gelen tereddütlü bulanık bilgileri toplamak için ağırlıklı ortalama kullanılmıştır. Bu çalışmada önceki literatürden farklı olarak etkileşimli proje kümeleri ele alınmış ve bağımlılığı göz önünde bulundurularak proje portföyü seçim problemini optimize etmek için bir doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Sonuç olarak önerilen tekniğin etkinliği, pratik bir örnekle gösterilmiştir.

Guo ve diğ. (2018) tarafından proje yöneticileri için stratejik katkılar ve finansal getiriler olmak üzere iki hedef ele alınarak stratejik açıdan bir proje portföyü seçim

modeli oluşturulmuştur. Kaynakları bütünsel olarak portföy bileşenlerine tahsis ederek çok amaçlı genetik algoritma tasarlanmıştır. Proje portföyünün seçimi, kaynak ve risk kadar teknolojik bağımlılıkları da karşılaması gerektiği göz önüne alınarak modelin etkinliğini doğrulamak maksadıyla gerçek bir durum çözümlenmiştir. Sonuç olarak önerilen algoritmanın iki hedefi aynı anda optimize edebildiğini ve paylaşılan değere ulaşmada tek amaçlı model çözümlerine üstün gelen çözümü koruyabildiğini görülmüştür.

Işık ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada çeşitli teknolojik gelişmeleri bir araya getirerek üretim sistemlerinin artırılmasını vaat eden mevcut fabrika sistemlerinin Endüstri 4.0 fabrikasına dönüştürülmesi için yüksek sermaye yatırımı, personel eğitimi ve değer zincirinin tüm fonksiyonlarını ele alarak iyi bir planlama yapılması gerektiği anlatılmıştır. Endüstri 4.0 çağında başarılı olmak için, en uygun proje portföyünün seçilmesi için bir tamsayılı programlama modeli önerilmiştir. Oluşturulan modelin etkinliğini ve uygulanabilirliğini göstermek için önerilen optimizasyon modeli bir otomotiv üreticisinin Endüstri 4.0 proje alternatiflerine uygulanmıştır. Sonuç olarak yüksek yatırım maliyetleri ve yüksek teknoloji çeşitliliği nedeniyle Endüstri 4.0 projelerinde ekonomik başarı için sorunları çözen etkin ve pratik bir model ortaya çıkarılmıştır.

Tavana ve diğ. (2019) tarafından çok çeşitli siber güvenlik faaliyetlerini kapsayan 10 büyük siber güvenlik projesini değerlendirmesi gereken bir siber güvenlik şirketinin karşılaştığı portföy seçimi sorunu ele alınmıştır. İş değerine, en fazla katkıda bulunan uygun proje setini seçerek yönetmek için proje faydalarını en üst düzeye çıkarmak ve proje risklerini en aza indirmek amacıyla uygun proje portföyünü seçmek için iki aşamalı bir süreç önerilmiştir. Bulanık analitik hiyerarşi sürecini, bulanık çıkarım sistemi ile entegre ederek iki aşamalı hibrit bir matematiksel programlama modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu hibrit çerçeve, bütçe kısıtlamalarını ve proje risklerini dikkate alırken hem nicel hem de nitel kriterleri dikkate alma yeteneği sağlamıştır.

Tavana ve diğ. (2020) tarafından belirsizlik altında karşılıklı bağımlılıkları olan projeleri değerlendirmek ve seçmek için iki aşamalı hibrit çok kriterli karar verme ve karma tamsayılı doğrusal programlama önermektedir. Birinci aşamada alternatif projeleri belirsizlik altında değerlendirmek için ideal çözüme benzerliğe göre tercih sırasına yönelik TOPSIS kullanılmıştır. İkinci aşamada ise iki amaçlı bir karma tamsayılı doğrusal program formüle edilerek ele alınan her senaryo için nicel ve nitel

değerlere sahip portföyler üretilmiştir. Bu portföylerin doğru planlamalar neticesindeki önemi vurgulanmıştır. Sonuç olarak önerilen yaklaşımın uygulanabilirliği ve etkililiği siber güvenlik endüstrisindeki gerçek dünya vaka çalışması aracılığıyla gösterilmiş ve doğrulanmıştır.

Chen ve diğ. (2021) tarafından yapılan çalışmada yatırım getirisi yüksek ve kaynakları bol olan kaliteli denizaşırı petrol projeleri için yatırımcılara zorluklar yaşatan çelişen hedefler üzerine çalışılmıştır. Yatırım portföylerini üç rakip hedef altında optimize etmek için doğrusal olmayan çok amaçlı program geliştirilmiş ve genetik algoritma ile TOPSIS bu algoritmaya entegre edilmiştir. Optimum yatırımcı portföyleri, tercihlere dayalı olarak en iyi çözümü belirlemektedir. Sonuç olarak petrol yatırımları için önerilen yaklaşımın fizibilitesini ve etkinliğini göstermek için bir vaka çalışması yapılmıştır.

Askeri alanda yapılan proje seçimleri çalışmalarına ait kaynak araştırması yapılmış ve aşağıda özet olarak açıklanmıştır.

Newman ve diğ. (2000) tarafından Hava Kuvvetleri Havacılık ve Uzay Araştırmaları Ofisi tarafından 25 yıllık bir ufukta uzay tabanlı sistemlerin araştırma ve geliştirmesinin planlanmasına yardımcı olmak için kullanılan bir tamsayı doğrusal programlama modeli sunulmaktadır. Çalışma, bütçe, talep, kullanılabilirlik ve sistemlerin öncelik ilişkileri ile karşılıklı bağımlılığa yönelik mantık üzerindeki kısıtlamalara bağlı kalırken görev performansındaki eksiklikleri en aza indiren kavramları, mevcut sistemleri içeren bir karmaşıklık ele almaktadır. Bu karmaşıklıklar altından analizler gerçekleştirilmiştir. Karmaşık durumlar altındaki belirsizlikler ele alınmıştır. Bu teknik rapor ile matematiksel bir tanım yapılarak birkaç değişikliğin ayrıntıları verilmiş ve hesaplama deneyimi bildirilmiştir. Geliştirici faktörler kullanılarak değerli araştırma ve geliştirme kavramlarını tanıtılmış, çözüm süresinde önemli bir azalma bulunmuştur.

Brown ve diğ. (2004) tarafından Amerika Birleşik Devletleri askeri tedarikinin planlanması maksadıyla askeri sermaye planlamasındaki karışıklıkların ve problemlerinin optimizasyon tabanlı karar destek modelleri için çalışma yapılmıştır. Geliştirilen matematiksel optimizasyon modelleri ile daha ayrıntılı özelliklerin sergilenmesi sağlanmış ve gerçek dünyadaki uzun vadeli satın alma karar modelleri için her zaman gerekli olan kısımlar ele alınmıştır. İki vaka çalışması ile karar vericilerin yaklaşık bir milyon doları nasıl harcayacaklarına karar vermelerine yardımcı olan pratik

modelleme püf noktaları gösterilmiştir. Bu püf noktalar neticesinde çıkarımlar yapılarak analiz edilmiştir.

Ersöz ve Kabak (2010) tarafından Türk Savunma Sanayisi ile ilgili akademik çalışmalar incelenmiş ve en çok kullanılan çok kriterli karar verme teknikleri ile matematiksel modeller sınıflandırılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde çok kriterli karar verme tekniklerinden en çok analitik hiyerarşi süreci (AHP) ve programlama olarak da hedef programlamanın çok kullanıldığı görülmüştür. Sonuç olarak günümüzde birçok teknik ve yöntemin yer alması sebebiyle sınıflandırması yapılmış ve özellikle Savunma sanayiinde Türkiye’de yapılan çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmüştür.

Kaplan ve Arıkan (2012) tarafından Savunma Sanayinde hava savunma sektöründe faaliyet gösteren askeri sistemlerin bakım ve onarımlarında kullanılacak tezgâh yatırım projelerinin seçimi için tekliflerin değerlendirilerek doğru seçimin yapılabilmesi için bir model geliştirilmiştir. Çok kriterli değerlendirmede, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanılarak dört ana, 15 adet alt kriter belirlenerek ikili karşılaştırmalar ile uzman personelin anketler yoluyla yargıları elde edilmiştir. Sonuç olarak proje seçimi problemleri temel alındığında askeri alanda yatırımların yapılmasında karar vericilere bir fikir vererek teknoloji, Ar-Ge, tedarikçi seçimi gibi alanlarda kullanılabilecek bir çözüm bulunmuştur.

Pecht ve Tishler (2015) tarafından iki ülke arasındaki silahlanma yarışında askeri istihbaratın rolünü değerlendirerek ülkenin savunma kabiliyetine ve devlet bütçesinin optimal dağılımına entegre eden dinamik bir model geliştirilmektedir. İsrail-Suriye silahlanma yarışı için bu modelde alınan veriler kullanılarak planlama ufkunun ilk dönemlerinde savunmadan sivil harcamalara uygun bir bütçe kaymasının kademeli olarak nasıl olması gerektiği üzerine çalışma yapılmıştır. Planlamanın özellikle gelecek dönemler için etkisi göz önünde bulundurulmuştur. Geliştirilen model, İsrail-Suriye silahlanma yarışına uygulanmış ve modelin geçerliliği gösterilmiştir.

Nikou ve Moschuris (2016) tarafından Savunma Bakanlığı'nın çok önemli bir işlevi olan savunma tedariki için devam eden mali kriz incelenerek bir tedarikçi seçmek için daha az öznel ve daha fazla maliyet tasarrufu sağlayan yöntemlerin gerektirmesi amacıyla optimal tedarikçi seçimi üzerine çalışılmıştır. İyi tedarikçileri seçmek ve aralarında optimum sipariş miktarlarını tahsis etmek için çelişen kriterleri birleştirmek için öncül çalışma olarak analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yapılmış, ardından hedef



programlama ile bütünleşik çalışma neticesinde maliyet tasarrufunun uygulanabilir sonuçlarının elde edildiği görülmüştür.

Uçakçioğlu ve Eren (2017) tarafından havacılık alanında yer alan bir işletme için yatırım yapılabilecek 8 ana, 37 alt proje arasından optimum yatırım projelerinin seçimi için öncül çalışma olarak önceliklendirme için uzman kişiler tarafından yapılan anket verileri alınarak çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve VIKOR yöntemleri kullanılmıştır. Ardından hedef programlama yönetimi kullanılarak matematiksel model üzerinde farklı senaryolar uygulanmıştır. Uygulan senaryoların incelenmesi neticesinde analizler elde edilmiştir. Çalışma sonucunda yatırım projelerinin seçimi için karar vericiye yol gösteren sonuçlar elde edilmiştir.

Aydın ve Tamer (2018) tarafından hava savunma sanayine katkıda bulunmak amacıyla tedarikçi seçimi ve değerlendirilmesinin öneminden bahsedilerek doğru tedarikçi seçiminde en iyi sonucun elde edilebilmesi maksadıyla savunma sanayi sektöründe etkili tedarikçi seçimi ve tedarik süreci ile ilgili hibrit bir yaklaşım sunulmuştur. İki aşamalı olarak geliştirilen tedarikçi seçimi problemlerinde hem nicel hem de nitel faktörleri içeren bir karar problemi ele alınarak çözüm sürecinin ilk aşamasında bulanık AHP yöntemi ile hiyerarşik bir model ile ağırlıklar hesaplanmıştır. İkinci aşamada kısıtlayıcı durumlar ile AHP öncelikleri kullanılarak bir hedef programlama modeli oluşturulmuştur. Bulanık AHP ile belirlenen ağırlıklar hedef programlama modelinde hedef ve kısıt olarak iki ayrı şekilde çözülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde doğru tedarikçi seçiminin yapılması stratejik ve taktik kararların son derece önemli olduğu savunma firması için tedarikçi ağının geliştirilerek güçlenebileceği gösterilmiştir.

Proje seçim çalışmalarına ait literatür araştırması için özet bir tablo hazırlanmıştır. Tablo 2.1.'de yalnızca matematiksel model veya matematiksel model ile hibrit çalışmaları içeren çalışmalar; askeri ve diğer alanlarda yapılan çalışmalar olmak üzere 2 başlık altında kaynak taramasında yer alan çalışmalar kategorize edilmiştir.

Yapılan araştırmada proje seçimi tüm sektörleri içerisine alan bir konu olmasından dolayı araştırılan çalışmaların çok farklı sektörlerde uygulandığını belirtmek gerekir. Farklı sektörlerdeki çalışmaların en önemli özelliği ise çalışmaların yoğunlukla bütçe kriteri içerdiği veya doğrudan portföy optimizasyonu üzerine kurulan matematiksel modeller içermesidir. Önerilen matematiksel modelde de savunma sanayii projelerinin ihtiyaçlarına uygun şekilde tasarlanmış bütçe kısıtlamaları mevcuttur.

**Tablo 2.1.** Proje Seçim Çalışmaları ve Çalışma Alanlarına Göre Literatür Taraması

Yıl	Yazar	Proje Seçim Çalışmaları		Çalışma Alanları	
		Matematiksel Model	Matematiksel Model ile Hibrit Çalışmalar	Askeri Alanda	Diğer Alanda
1981	Golabi vd.		✓		✓
1983	Mehrez and Sinuany-Stern	✓			✓
1995	Zanakis vd.	✓			✓
1996	Chu vd.	✓			✓
1998	Khorranshahgole ve Steiner		✓		✓
1999	Ghasemzadeh vd.	✓			✓
2000	Lee and Kim		✓		✓
2000	Newman vd.	✓		✓	
2001	Moralı ve Çelikoğlu		✓		✓
2001	Badri ve Davis	✓			✓
2004	Brown vd.	✓		✓	
2005	Keçek	✓			✓
2006	Doğanlı	✓			✓
2008	Mavrotas vd.		✓		✓
2010	Ersöz ve Kabak		✓	✓	
2011	Padhy ve Sahu	✓			✓
2011	Liu Wang	✓			✓
2012	Kaplan ve Arıkan		✓	✓	
2013	Khalili-Damghani et al.	✓			✓
2013	Khalili-Damghani vd.		✓		✓
2015	Karaman ve Çerçioğlu	✓			✓
2015	Tavana vd.		✓		✓
2015	Pecht ve Tishler	✓		✓	
2016	Perez ve Gomez	✓			✓
2016	Nikou ve Moschuris		✓	✓	
2017	Bhattacharyya vd.	✓			✓
2017	Uçakçioğlu ve Eren		✓	✓	
2018	Perez vd.	✓			✓
2018	Takami vd.		✓		✓
2018	Guo vd.	✓			✓
2018	Işıklı vd.		✓		✓
2018	Aydın ve Eren			✓	
2019	Tavana vd.		✓		✓
2020	Tavana vd.		✓		✓
2021	Chen vd.		✓		✓

### 3. SAVUNMA SANAYİ VE OECD ÜLKELERİ ÜZERİNE İNCELEME

Ülkelerin uluslararası alanda bağımsızlığını, çıkarlarını ve bütünlüğünü korumaya yönelik olarak savunma harcamaları sigorta niteliğindedir. Ülkelerin savunma sanayi alanında yaptığı yatırımlar varoluşlarının bir simgesi olmakta ve vatandaşlarının güvenli bir hayat sürmesini sağlamaktadır. Savunma sanayi ekonomik ve stratejik olarak teknolojik gelişmelerden hemen etkilenmekte ve ülkeler için politik güç oluşturmaktadır. Dolayısıyla teknolojinin kullanılması, ulusal ve uluslararası güvenlik kapsamında değerlendirilmesi ile savunma harcamalarını oluşturan etmenlerin çeşitlendirilmesi kapsamlı bir analiz sürecini ortaya çıkarmaktadır. Pek çok ülkede savunma alanındaki yatırımlar önemli bir gereklilik olmasının yanında boyutlarından dolayı ekonomik olarak ciddi sonuçlar doğurmaktadır.

Savunma harcamalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkisi incelendiğinde bu alanda yapılan yatırımlar sonucunda yapılan AR-GE çalışmaları için harcamalar sayesinde geliştirilen teknolojinin diğer sektörleri de olumlu etkileri literatürde yer alan çalışmalarda vurgulanmaktadır. Her geçen zaman diliminde elektronik teknolojisi alanındaki gelişmeler, özellikle savunma alanında bilgi teknolojilerine olan önemi arttırmaktadır. Ülkelerin, kendi üretimleri ve kontrolü altında olan yazılımlara olan bağıllığı, ileride yaşanabilecek sıkıntıların öngörülerek diğer ülkelere alınan silah sistemlerine olan güven düşüncesini irdelemesine sebep olmaktadır. Bu durumdan ötürü savunma sanayi alanında milli üretimlerin yapılarak dışarıya olan bağıllığın azalmasının önemi ön plana çıkmaktadır. Devletler, savunma sanayilerini oluştururken sergiledikleri esas yaklaşımlar şöyle açıklanabilir (Ziylan, 1997):

- Milli egemenlik kapsamında bir şart olarak savunma sanayinin oluşumu önemlidir.
- Ülkeler savunma sanayi sektörüne önem ve destek vermelidir.
- Savunma teknolojileri desteklenerek geliştirilmeli ve gizliliği sağlanmalıdır.

Savunma sanayine bir devletin ihtiyaç duyma nedenleri şu başlıklar altında belirtilebilir (Karan, 1997):

- Bağımsızlık ve özgürlük,
- Sanayi ve ihracat,
- Jeopolitik konum olarak askeri ve siyasi güç hedefi,
- Ülke içinde istihdam yaratma.

### 3.1. Savunma Sanayi Yapısı

Sanayi kavramı üretim faktörlerinin başında gelen sermaye ve emeğin kullanımı ile çıktılarının elde edilmesi sürecini kapsayan üretim sürecidir. Geniş anlamda incelendiğinde ise başta girişimcilerin oluşturduğu mal ve hizmeti kullanarak gelir sağlayan durumların birleşimini ifade etmektedir. Gelişen teknolojinin ilave edilmesi ile ürün kalitesinin artırılması ve yeni üretim teknikleriyle maliyetlerin azaltılarak sosyal, ekonomik alanlardaki değişikliklerin tümü sanayileşme olarak tanımlanmaktadır (Karakuş, 2006).

Bu kapsamda savunma sanayi, dışarıdan gelebilecek tehlikelere karşı ülkeyi korumak için, teçhizat ve araç üretimi, mühimmat, silah ve bunların bakım, tadilatlarını içeren bir sanayi olarak karşımıza çıkmaktadır (DPT, 2000). Savunma sanayi, ağır silahlar, toplar, denizaltılar, gemiler, uçaklar, insansız hava araçları, elektronik harp sistemleri gibi proje çıktıları ile savunma sanayi alanı için sivil malzemeler üreten sektörlerin hepsini kapsamaktadır. Bir sanayi üretimini savunma sanayi sektörüne dâhil edebilmek için üretilen ürünün içerik ve hacmi dikkate alınmaktadır. Ürün hacmine bakıldığında, oransal olarak savunma sanayi alanına göre dizayn edilmiş ve bu alan için hazırlanmış ise sektör içinde değerlendirilmektedir. Özel veya kamu kuruluşları bünyesinde hava, kara ve deniz sistemlerinin ihtiyaçları doğrultusunda ana, alt yükleniciler ile tedarikçi firmalar savunma sanayi alanında önem arz etmektedir (Gansler, 1989).

### 3.2. Savunma Sanayi Özellikleri

Diğer sektörler ile birçok benzerliğinin bulunmasına rağmen savunma sanayinin kendine özgü farklılıkları bulunmaktadır. Büyük yatırımlar ile ileri teknoloji, yüksek kalite, üst düzey güvenlik ve gizlilik gibi özelliklerin bu sektörü diğerlerinden farklı kıldığı düşünülmüştür (Dabağır, 2005). Genel anlamda savunma sanayi (Karakuş, 2006);

- Yüksek miktarlarda yatırım içeren,
- Ar-Ge faaliyetlerine ihtiyaç duyulan,
- Gelişmiş teknolojiyi kullanan,
- Ürün veya hizmet çıktılarına has kalite standartlarını ele alan,
- Sınırlı talep gereği üretim sınırları belirten,

- Güvenlik ve gizlilik konularında hassasiyet gerektirerek özel şartlar içeren bir sektör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Savunma ürünlerinin tedarik edilmesinde alım sürecinde yer alan sözleşme ve şartnamenin gerekliliklerinin sağlayarak istenen standartlar içermesi en önemli husus olmakta ve envantere girene kadar geçen sürecin takibi en temel özelliklerin başında gelmektedir (TÜBİTAK, 1998). Bu kapsamda savunma sanayi alt yapısının oluşumunun yüksek maliyetler içerdiği görülmektedir. Fakat bir ülkenin diğer ülkelerin desteğini almadan iç ve dış tehditlere karşılık verebilmesi için envanterinde yer alan silah sistemlerine ve milli teknolojisine ihtiyacı vardır. Bu nedenle kendi üretim çalışmalarını yaparak bunların denetimini ve devamlılığını sağlaması bir zorunluluk olarak düşünülmektedir (Şimşek, 1997).

### 3.3. Savunma Sanayinin Önemi

Ülkeler, geçmişten günümüze silah ve teçhizatlar ile ülkeler arasında yaşanabilecek problemlere karşı kendilerini güvende hissetmek istemişlerdir. Bununla beraber sanayi alanında ileri teknolojiye sahip ülkelerin güçlü konumda yer alması bunun bir göstergesi olmaktadır (Gümüüşdaş, 2010). Milli hedeflerine ulaşabilmek için ülkeler milli güç unsuruna sahip ve hâkim olmaları gerekmektedir. Milli güç anlayışı bu alanda farklı öncelik olarak ifade edilmeleriyle birlikte siyasi ve askeri güç etkenlerinin ön planda olduğu görülmektedir. Devletler için güçlü bir yapıya sahip olabilmek, caydırıcı ve etkin bir savunma sanayi ihtiyacını ön plana çıkarmaktadır. Savunma sanayi genel anlamda incelendiğinde diğer sanayi sektörleri ile bağlantılı ve istihdam katkısı sağlamaktadır. Ülke teknolojisi için gelişen teknolojiye ve ileri bilime sahip olmanın ekonomik açıdan katkıları belirtilmektedir (Dabağır, 2005).

İktisadi açıdan, ülke kalkınma sürecini hızlandırmak için savunma sanayi alanı için ayrılan kaynakların doğru bir şekilde dağıtılması önem arz etmektedir. Bu alanda yapılan yatırımların ekonomik kalkınma modeli ile kapsamlı bir biçimde oluşturulması ve alt yüklenicilere yönelecek yatırımların uygun zaman planlamasına göre yapılması son derece önemlidir. Ülkeler, jeopolitik konumları gereği sosyal, kültürel, siyasi ve ekonomik açıdan savunma sanayisinin güçlü olmasını öne sürmüşlerdir (Yücel, 1997).

Bir ülkenin Ar-Ge faaliyetleri sonucunda ulaştığı teknoloji, güç dengesini etkilemekte ve caydırıcılığını arttırabilmektedir. Bu alana yapılan Ar-Ge çalışmalarının zaman çerçevesinde diğer alanlara aktarılması maliyetleri düşürmede ve rekabet avantajını arttırmada pozitif anlamda değer sağlamaktadır. Bu sebepten dolayı

şirketlerin, geleceği yönlendirmek ve sürekli ön planda olmak için gerekliliklerini gerçekleştirmeleri gerektiği belirtilmiştir (Kaya, 1995).

### 3.4. Proje Yönetimi ve Savunma Sanayi Projeleri

Proje, başlangıç ve bitiş zamanı belirli olan, sınırlı finansman dâhilinde bir amaç ve hedefler doğrultusunda sürdürülebilir duruma getirilmiş planlardır. Yatırım projesi ise önceden belirlenmiş amaca ulaşmak için riskleri doğru şekilde yöneterek kısıtlı kaynaklar altında doğru planlamalar ile belirli bir süre altında tamamlanması gereken faaliyetlerden oluşmaktadır. Öte yandan yatırım projeleri ülkelerin bekasını önemli ölçüde etkileyen faaliyetlerinin tümünü kapsamaktadır.

Savunma sanayi sektöründe birçok projenin birlikte yürütülerek etkili bir şekilde sonuca ulaştırılabilmesi önemlidir. Bu süreçte özellikle beklenen çıktıların başarıya ulaştırılarak elde edilmesi önem arz etmektedir. Savunma sanayi projeleri için proje aşamaları yürütülürken özellikle sektör gereği kritik konumda yer alması sebebiyle silahlı kuvvetlerin ve ülkede bulunan savunma sistemlerinin ihtiyaçları doğrultusunda planlama yapılması gerekmektedir. Problemlerin ve ihtiyaçların belirlenmesine müteakip doğru planlama ve karar verme durumları gerçekleştirilmelidir. Yeni, genişletme, modernleştirme, maliyet azalma türlerinde yatırım projeleri için proje yönetimi doğrultusunda planların yapılması gerekmektedir.

Bu kapsamda genel anlamda proje yönetimi; tüm bilgi, yöntem, araç, gereç ve teknikleri proje ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla uygulanması olarak tanımlanmaktadır (PMI, 2013). İhtiyaçları karşılayabilmek için projenin başlangıcından tamamlanma sürecine kadar belirli bilgi alanlarındaki bilgi, yöntem ve tekniklerden yararlanılmaktadır. Farklı alanlarda farklı işlevleri olan bu teknikler doğrudan veya dolaylı olarak sonuçları etkilemektedir. Proje yönetiminin en temel amacı hazırlığı yapılmış bir projeyi başarılı bir biçimde tamamlayabilmektedir (Newton, 2010). Günümüzde hem ülkeler hem de işletmeler için işgücü nitelikleri küresel yarışlar sebebiyle bu durum değişmiş durumdadır. Proje merkezli yapılan çalışmalar bu değişimin başında yer almaktadır. Bir projenin başarıya ulaşabilmesi için başlangıç, planlama, yürütme, izleme ve kontrol, kapanış süreçlerinin incelenerek proje yönetimi bilgi alanlarının başarıyla yönetilmesi gerekmektedir. Proje yönetimi alanında yapılan tanımlar incelendiğinde proje:

- Amaçları ve hedefleri olan,

- Hizmet, ürün veya konularına göre sonuç çıktısı olan,
- Kalite standartlarına sahip ve gereksinimleri karşılayan,
- Maliyet ve zaman kısıtlarını içeren,
- Koordineli ve kontrollü faaliyetleri kapsayan bir süreç grubudur.

Özellikle proje seçim çalışmaların neredeyse tamamında karşılaşılan bütçe kısıtı önem arz etmektedir. Bu sebepten ötürü doğru bir maliyet analiz ile bütçenin değerlendirilmesi gerekmektedir. Hedefler doğrultusunda başarılı sonuçlara ulaşılabilmesi için proje maliyet yönetiminin özverili bir şekilde oluşturularak yürütülmelidir.

Proje maliyet artan rekabet ortamında işletmeler proje maliyet yönetimi ile varlıklarını koruyarak sürdürmek amacıyla doğru maliyet sonuçlarını elde ederek daha doğru kararlar almakta ve maliyet değişimlerini sürekli olarak izleme fırsatı bulmaktadır. Projelerin gerçekleştirilmesinde kabul edilebilir süreler içerisinde çıktılarının sağlanmasını ve süreçte de kalite düzeyini koruyarak projenin maliyetini azaltma sürecidir (Rad, 2002). Genişletme, yenileme veya modernleştirme faaliyetleri sürecinde üretim ve diğer aşamalarda maliyeti arttırarak verimi arttırmak savunma sanayi projeleri için değerlendirilmesi gereken konuların başında yer almaktadır.

### **3.5. Savunma Harcamalarını Etkileyen Faktörler**

Geçmişten günümüze ülkelerin hedefleri, beka ile birlikte sosyo-ekonomik anlamda daha gelişmiş ve güvenli yaşam standartları sağlamaktır. Bu standartların sağlanabilmesi ulusal ve uluslararası güvenlikten geçmektedir. 1952 yılında Arnold Wolfers'ın "Mutlak Bir Kavram Olarak Ulusal Güvenlik" adlı makalesinde ilk olarak güvenliğe dayalı belirsizlik kavramı ifade edilmiştir. Ulusal güvenlik objektifinden bakıldığında gücün coğrafi dağılımı, güçler arasındaki denge, kullanımına yönelik olarak gücün tercihi ve karar vericiler tarafından oluşan algılardan kaynaklanmaktadır. Savunma hizmeti ciddi oranda kaynak tahsisi gerektirdiği için kamu hizmetleri arasında yer almaktadır. Savunma hizmeti iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Birincisi ülkelerin kendilerine yönelik olarak saldırı gerçekleştirilmesi durumuna karşı caydırıcılık oluşturması; ikincisi ise olağan bir saldırı durumunda savaşılmasıdır. Bu kapsamda vatandaşlar savunma hizmetlerinden birbirleriyle eşit olacak şekilde faydalanmaktadır (Karakaya ve Şahinoğlu, 2020).

Savunma harcamalarının büyüklüğü ülkenin jeopolitik olarak konumu, dış politika tercihleri, ülkenin nüfusu, askeri alanda gelişmeleri ve mevcut tehditlere bağlı olan faktörler etkilemektedir. Bu kapsamda ülkenin ekonomik olarak yapısı ve devlet bütçesinin büyüklüğü savunma harcamalarının belirlenmesinde en önemli faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Askeri harcamaların yapılması kapsamında yer alan başlıklar; savunma alanında araç ve gereçlerin üretilmesi ya da satın alınması, bakım ve onarımların yapılması, AR-GE faaliyetlerinin düzenlenmesi, sivil ve askeri personele ilişkin harcamaları içermektedir. Bu bakımdan incelendiğinde gerek caydırıcılık gerekse saldırılara karşı cevap vermek için yapılan harcamalar barış zamanlarında askeri eğitim ve malzemeler ile araç-gereçlere yönelik giderlerin yapılması gerekmektedir (Aslan, 1998). Ulusal alandan incelendiğinde askeri harcamalar, güvenliği sağlamak için bir maliyet kavramını meydana getirdiği görülmektedir. Bu sebeple fırsat maliyetlerini hesaplamada en iyi yöntem, askeri bütçenin büyümeye yönelik artırıcı etkilerine sahip olan noktaları belirleyerek güvenliği arttırmak için harcamaların düzeyini belirlemektedir. Askeri harcamaların belirli bir kısmı yatırım harcaması olurken bir kısmı da tüketim harcaması olmaktadır (Hewitt, 1992).

### **3.6. Savunma Harcamalarında Kamu ile Özel Sektör İlişkisi**

Özel sektör yatırımları ile kamu sermaye yatırımları arasında yer alan ilişki, savunma harcamalarında bütçelerinden önemli ölçüde pay ayıran ülkeler açısından akademik ve politik düzeyde tartışılmaya yol açmıştır. Savunma sanayinin merkezinde, kamu yatırımlarının yer aldığı öncelikle belirtilmelidir. Birçok ülkede son dönemlerde kamu sermayeli şirketler bu sektörde itici güç olarak karşımıza çıkmaktadır. Küresel ekonomide yer alan yapısal olarak değişimler sonucunda devletlerin sanayileşme politikaları dönüşüme uğramış ve özel sektörün bu alana teşvik edilmesi başlamıştır (Devore, 2014). Günümüzde, devlet teşviki sonucunda özel şirketler doğrudan savunma sanayine katılım sağlamışlardır. Ülkemiz bu katılıma iyi bir örnek olmuştur. Savunma Sanayii Başkanlığı çalışmaları incelendiğinde devletin bu alandaki üretim yeteneklerini kamu alanından özel şirketlere doğru aktarmak hedefiyle çalışmalar yürüttüğü karşımıza çıkmaktadır. Bu kapsamda 2006 yılında 9. Kalkınma Planı (2007-2013) yayınlamış ve kendi kendine yeten, rekabetçi, sanayile bütünlük bir yapıda üretim gerçekleştiren, tasarım üzerinde durulmuştur. AR-GE konularında uluslararası arenada işbirliği faaliyetlerine katılım sağlayan, savunma sanayinin ihtiyaçlarını kendi imkânlarıyla



sürekli olarak karşılayan ve tüm bunları başarmak için ihtiyaç olan altyapı ile teknolojik, yönetsel bilgi birikimi kazandıran bir savunma sanayi oluşturulması hedef olarak belirlenmiştir (Zülfüoğlu, 2021).

Ülkelerin jeopolitik konularına bağlı olarak savunma sanayilerinin şekillendiği görülmektedir. Savunma sanayi alanında yer alan çalışmalar devlet bütçesinin önemli bir payına sahiptir. Bu kapsamda özellikle kamu yatırımları savunma sanayi alanında yer alan alt yüklenicilerin teşvikini sağlamakta ve özel sektör yatırımları üzerine çalışmaları arttırmaktadır. Özel firmaların yenilikçi olmaları bu alanda yapılan çalışmalarda gelişen teknolojinin ilavesiyle diğer sektörleri de olumlu olarak etkilemektedir. Nispeten büyük yatırım yapan firmaların öncü olmasıyla alt yüklenicilerin iş paylaşımı bu alanda etkinliği arttırmaktadır (Frederiksen ve Looney, 1983).

Örnek olarak kaynakları zengin fakat az gelişmiş ülkeler ile kaynakları sınırlı olan ülkeler üzerine çalışmalar yürüterek savunma harcamaları açısından ekonomik büyümenin etkisini incelemiştir. Kaynak açısından zengin ülkelerde ekonomik açıdan büyüme, kaynakları kısıtlı olan ülkelere göre daha fazla olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Devlet destekli olarak savunma sanayi çalışmalarında geliştirilen teknoloji bu alandaki varlığın belirlenmesinde etkili olmaktadır. Öte yandan bu alandaki çalışmaları zorlaştıran en büyük konu yeni teknolojilerin, gizlilik ve güvenlik gerekçeleriyle özel sektör firmalarına kısıtlı şekilde aktarım sağlanması ön plana çıkmaktadır. Dolayısıyla bu tür durumların incelenmesi ekonomik büyüme açısından savunma harcamalarını belirlemektedir.

### **3.7. Savunma Sistemlerinin Temel Askeri Kriterleri**

Savunma sistemlerinin tasarlanması ve tedarik edilmesinde, temel askeri kriter olarak ele alınan güvenilirlik ve emniyet, gizlilik ile standardizasyon kriterlerinin incelenmesi önem arz etmektedir. Ülkeler için savunma sektöründe özgün ve etkili sistemlerin oluşturularak sürdürülebilmesi bu kriterlere bağlıdır. Temel askeri kriterlerin kısaca özetleri aşağıda verilmiştir.

#### **3.7.1. Güvenilirlik ve emniyet**

Bir ülkenin savunma sistemi için en önemli konuları güvenilirlik ve emniyet olmaktadır. Özellikle muharebe için kullanılan sistemlerin emniyetinin sağlanması ve

dış tehditlere karşı korunması için gerekli tedbirlerin alınarak ülke güvenliğini tehlikeye atacak bireylerinden korunması da oldukça önem arz etmektedir. Bununla birlikte askeri şartlar incelendiğinde zaman ve yer bakımından oldukça zor şartlarda çalışma güvencesinin oluşturulması gerektiği görülmektedir (Akıncı, 2007).

### **3.7.2. Gizlilik**

Ülkeler için savunma sektöründe gizlilik, özellikle savunma alanındaki imkân ve kabiliyetler açısından oldukça önem arz etmektedir. Silah sistemlerinin etkili hale gelmesi veya etkilerinin azaltılması, hassas durumların istismarı ve kendilerine karşı bir silah sisteminin geliştirilerek kullanılması açısından olası tehlikeler incelenmelidir (Uslu, 2007).

### **3.7.3. Standardizasyon**

Savunma sektörünün geniş bir kitleye hitap etmesi ve kapsamından dolayı silahlı kuvvetlerin kullanmakta olduğu askeri sistemlerin kullanım kolaylığı, koordinasyonu, eğitimi, ikmali ve lojistiği vb. konularında belirli standartlarının olması gerekmektedir (TÜBİTAK, 1998).

## **3.8. Dünyada Savunma Sanayi**

Ülkelerin hedeflerine ulaşabilmesi ve çıkarlarını gözeterek güvenliğini sağlayabilmesi için gelişen ve değişen teknolojinin savunma sanayiye entegre edilmesi son derece önemlidir. Savunma sanayi alanında teknolojiye hâkim ülkeler savunma sistemlerini üretme ve kullanma gücünü daha rahat ellerinde bulundurmaktadır. Maliyet olarak bakıldığında çok yüksek miktarlara ulaşılsa da kendine özgü üretimler sayesinde diğer ülkelerde bulunmayan ürün ve sistemlerin tedarik edilmesiyle büyük harcamaların geri dönüşleri olmakta ve büyük avantaj sağlamaktadır (Akkaya, 2007).

Savunma sanayi sektörüne bakıldığında ülkeler uluslararası piyasadan silah ve askeri sistemler tedarikine yönelse de kendi bünyelerinde bu alanlardaki yatırımları arttırmışlardır. Ülkeler, lojistik ve ikmal konularında problem yaşamak istemedikleri için savunma sanayilerine daha ileriye taşımak istemektedir.

Savunma hizmetleri devletler tarafından topluma geçmişten günümüze sunulmakta olan eski ve klasik hizmet grubu içerisinde bulunmaktadır. Tarihsel süreç incelendiğinde değişim ve gelişimler ile günümüze kadar savunma hizmetleri devletler

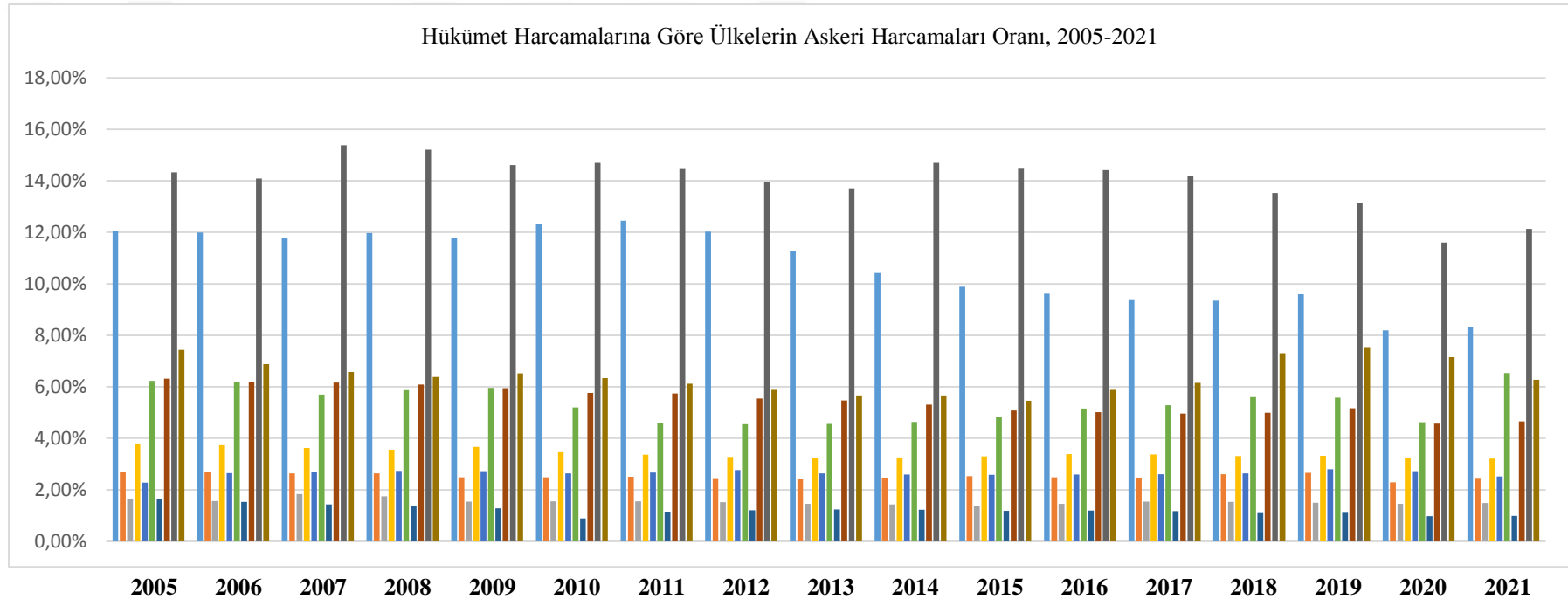
tarafından topluma sunulan son derece önemli bir hizmet olmaktadır. Savunma harcamaları, ülkeler için ulusal egemenliğinin sağlanarak anayasal düzenin korunmasını sağlayan önemli kamusal harcamaların başında gelmektedir. Savunma harcamaları alanında yapılan çalışmalar incelendiğinde karşılaşılan en önemli problem, savunma harcamalarının belirlenmesi ve kapsam bütünlüğü bakımından analiz edilerek doğru planlamanın yapılmasıdır. Genel olarak bu harcamalar askeri personelin giderleri, silah ve teçhizat tedarikleri, elektronik sistemler, harp sistemleri, bakım onarım giderleri ve modernizasyon gibi konularda yapılan harcamaları içermektedir. Savunma sanayi ve savunma harcamaları alanındaki tanımlamalar, her ülke için kendi öncelikleri doğrultusunda değişmekte ve genel tanımlamalar doğrultusunda genişlemekte veya daralmaktadır (Ertekin, 2020).

Dar anlamda savunma harcamaları, savunma hizmetleri alanına tahsis edilmiş bütçe doğrultusunda askeri ve sivil personellerin harcamaları, silah ve teçhizat tedarikleri, Ar-Ge çalışmaları ile bakım onarım faaliyetleri olarak tanımlanabilir. Bu harcamalara ilaveten ülke genelinde güvenliği sağlayan personellere yapılan harcamalar, sivil savunma ve depolama tesisleri, uluslararası alanda diğer ülkelerin organizasyonlarına yapılan harcamalar geniş anlamda savunma harcamaları olarak kabul görmektedir (Tüğen, 1988).

Ülkelerin ulusal güvenliğini sağlayarak yerli ve milli teknolojilere bütçe ayırması ve Ar-Ge faaliyetleri kapsamında çalışmalar yürütmesi önem arz etmektedir. Bu sebeple ülkelerin savunma harcamalarına ayırdıkları bütçeler yıllara oranla değişiklik göstermekte özellikle gelişen ve değişen teknoloji ile bu harcama oranları değişiklik göstermektedir. Yaşanan küresel problemler ve krizlerde savunma sanayi alanına ayrılan bütçe oranını doğrudan etkilemektedir.

Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) ile Stockholm Uluslararası Barış Araştırmaları Enstitüsü (SIPRI) raporlarında yer alan verilen incelenerek 2005-2021 yılları arasında küresel savunma harcamaları bakımından yüksek ekonomilere sahip ülkeler ve bu ülkelerdeki askeri harcamalarının hükümet harcamaları yüzdelere göre oransal miktarları Şekil 3.1’de verilmiştir.

Belirli olarak incelenen bir zaman aralığında üretilen bütün ürünlerin piyasa değerine oranla ekonomik ölçüsü olarak belirtilen gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) üzerinden OECD ülkeleri verileri 2005-2021 tarih aralığına göre Şekil 3.2’de incelenmiştir.



	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ABD	12.05%	12.00%	11.79%	11.97%	11.78%	12.33%	12.44%	12.02%	11.25%	10.42%	9.89%	9.62%	9.36%	9.35%	9.60%	8.20%	8.32%
Japonya	2.69%	2.69%	2.64%	2.63%	2.49%	2.49%	2.50%	2.46%	2.41%	2.48%	2.52%	2.48%	2.47%	2.60%	2.66%	2.29%	2.47%
Avusturya	1.66%	1.56%	1.83%	1.75%	1.54%	1.55%	1.55%	1.52%	1.45%	1.43%	1.37%	1.46%	1.54%	1.53%	1.50%	1.45%	1.48%
Fransa	3.80%	3.74%	3.63%	3.56%	3.67%	3.46%	3.36%	3.28%	3.23%	3.26%	3.30%	3.38%	3.38%	3.31%	3.32%	3.25%	3.21%
Almanya	2.28%	2.65%	2.70%	2.74%	2.72%	2.63%	2.67%	2.76%	2.64%	2.60%	2.58%	2.59%	2.61%	2.63%	2.80%	2.73%	2.52%
Yunanistan	6.23%	6.17%	5.69%	5.87%	5.96%	5.19%	4.58%	4.55%	4.55%	4.64%	4.81%	5.15%	5.29%	5.60%	5.58%	4.62%	6.53%
İrlanda	1.64%	1.53%	1.43%	1.39%	1.28%	0.89%	1.15%	1.21%	1.24%	1.23%	1.18%	1.19%	1.17%	1.13%	1.14%	0.97%	0.98%
İngiltere	6.31%	6.18%	6.16%	6.09%	5.95%	5.76%	5.74%	5.54%	5.46%	5.31%	5.08%	5.01%	4.96%	5.00%	5.17%	4.56%	4.66%
İsrail	14.33%	14.09%	15.38%	15.21%	14.61%	14.69%	14.49%	13.95%	13.71%	14.69%	14.49%	14.41%	14.19%	13.52%	13.13%	11.61%	12.14%
Türkiye	7.43%	6.88%	6.58%	6.38%	6.52%	6.33%	6.12%	5.88%	5.67%	5.66%	5.46%	5.88%	6.15%	7.30%	7.54%	7.16%	6.27%

**Şekil 3.1.** Ülkeler için hükümet harcamalarının oransal olarak asker harcamalara düşen payları

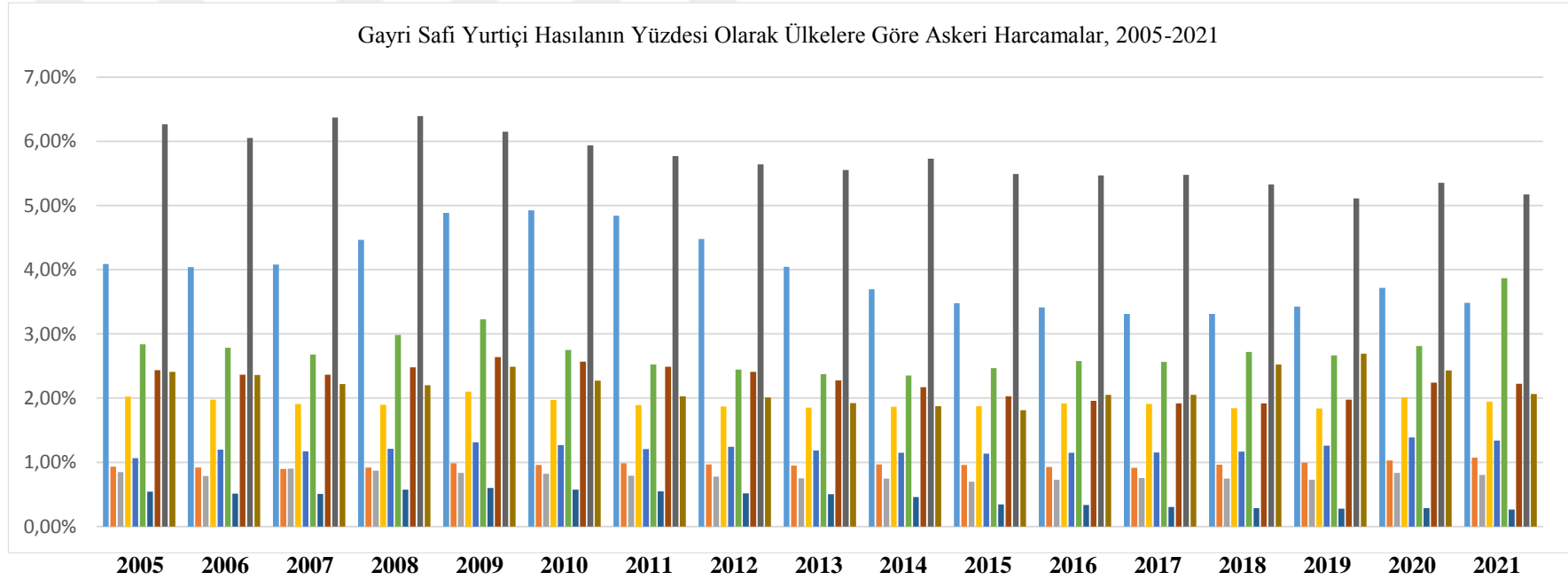
**Kaynak:** a) <https://data.oecd.org/gga/general-government-spending.htm#indicator-chart>

b) <https://sipri.org/databases/milex>

Tabloda görüldüğü üzere askeri harcamaların hükümet harcamaları oranına göre en fazla olan ülke İsrail'dir. Başka bir ifade ile İsrail, milli gelir kapsamında savunma harcamalarına en fazla pay ayıran ülke olarak karşımıza çıkmaktadır. OECD ülkeleri arasında İsrail'den sonra ABD, Türkiye, Yunanistan, İngiltere ve Fransa savunma harcamalarına en fazla pay ayıran ülkeler olduğu görülmektedir. Savunma harcamaları ortalamaları İsrail %14.02, ABD %10.65, Türkiye %6.36, Yunanistan %5.30, İngiltere %5.41, Fransa %3.40, Almanya %2.66, Japonya %2.53, Avusturya %1.54 ve İrlanda %1.22 olduğu görülmektedir. Bu kapsamda ortalama olarak ülkelerin savunma harcamalarına ayırdığı bütçe ortalama %5.34 oranla karşımıza çıkmaktadır.

2005-2021 tarihleri arasında İsrail ortalama %14.02 ile en fazla savunma harcaması yapan ülke konumundadır. Ülkelerin genel ortalaması ile karşılaştırıldığında bu alanda yaklaşık 3 katı daha fazla harcama yaptığı görülmektedir. ABD'nin savunma harcamalarına bakıldığında ABD özellikle 11 Eylül 2001 ve sonrasında farklı bir savunma stratejisi ile ilerleyerek artış yönlü bir savunma politikası benimsemiş ve 2005 yılından itibaren bu alana ayırdığı bütçe önemli seviyelerde seyretmiştir. Türkiye savunma harcamaları için kademeli olarak ilerlemiş ve ortalama %6.42 oranı çevresinde harcamalarını gerçekleştirmiştir. En az savunma harcamaları 2012-2016 yılları arasında olmuş ve %6 seviyesi altına inmiştir. 2017 yılına kadar süreç böyle devam etmiş, bu yıldan itibaren %7 seviyelerine çıkararak artış göstermiştir. Türkiye'nin savunma harcamaları incelendiğinde OECD ülkeleri arasında ortalamanın üstünde savunma alanına bütçe ayırdığı ve bu alanda çalışmalar yaptığı görülmektedir.

OECD ülkeleri içerisinde savunma harcamaları en az seviyede olan ülkeler sırasıyla Fransa, Almanya, Japonya, Avusturya ve İrlanda'nın 2005-2021 tarihleri arasında %2.27 ortalama ile hükümet harcamaları yüzdesi olarak yapılmıştır. Almanya, 2005 yılında %2.28 ile askeri harcamalarını gerçekleştirmiş ve 2021 yılına kadar dalgalanma göstermeden bu seviyelerde kalarak %2.52 ile 2021 sonunda harcamalarını gerçekleştirmiştir. Fransa, 2005 yılında %3.80 ile harcamasını gerçekleştirirken 2013 yılına kadar harcama oranı azalış göstererek %3.23 seviyelerini inmiş, ardından harcamaları bu seviyelerde kalarak 2021 yılına kadar devam etmiştir. Japonya OECD ülkeleri arasında savunmaya en az yatırım yapan ülkelerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. %2.53 ortama ile hep bu seviyeler çevresinde harcamalarını gerçekleştirmiş, yüksek miktarlarda ne artış ne de azalış görülmektedir. Grafiğe bakıldığında yaşanan olaylardan gelişen teknolojiye kadar belirli oranlarda değişimler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Gayri safi yurtiçi hasıla oranlarına göre ülkelerin askeri harcamaları

Kaynak: a) <https://data.oecd.org/gga/general-government-spending.htm#indicator-chart>

b) <https://sipri.org/databases/milex>

Savunma harcamaları, hükümet harcamalarına göre incelendiğinde yüzdesel olarak savunma harcama paylarına GSYH oranı için benzer nitelikte sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Şekil 3.2 incelendiğinde GSYH oranı en fazla olan ülke İsrail olarak karşımıza çıkmaktadır. OECD ülkeleri içerisinde savunma sektöründe GSYH'de ABD, İngiltere, Fransa, Türkiye ve Yunanistan ön plana çıkmaktadır. %5.72 ortalama ile İsrail, %3.98 ile ABD, %2.74 ile Yunanistan, %2.26 ile İngiltere, %2.20 ile Türkiye, %1.92 ile Fransa, %1.21 ile Almanya %0.96 ile Japonya, %0.79 ile Avusturya ve %0.44 ile İrlanda 2005-2021 yıllarında ülkelerin ortalamalarıdır.

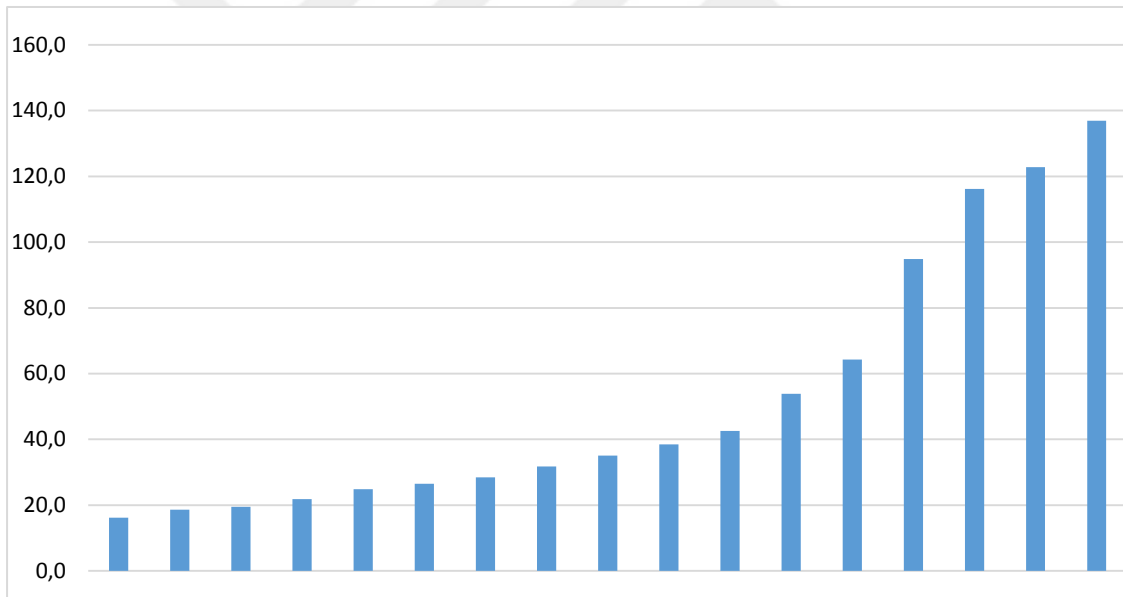
2005 yılında GSYH oranı İsrail için %6.26 olarak hesaplanmış ve 2007 yılında %6.37'lik oran dışında düşük oranlarda azalmalar ile 2021 yılında GSYH oranı %5.17 olmuştur. ABD 2005 yılından 2010 yılına kadar artarak devam eden bir oran ile %4.92'lik oran, 2021 yılına kadar azalış göstererek %3.48 ile 16 yılının ortalaması altında kalmıştır. Yunanistan 2020 yılına kadar ortalama olarak %2.67 oranında seyrederken 2021 yılında %3.87 ile tüm yılların üzerinde bir orana ulaşmıştır. İngiltere 2009 yılında %2.64 ile en yüksek seviyesini yakalamış sonrasında GSYH oranı azalış göstererek 2015'na kadar %2 oranının üzerindeyken 2020 yılına kadar %2 seviyesinin altına inmiş ardından tekrar eski seviyelerine dönmüştür. Türkiye 16 yılın ortalaması %2.20 ölçülmüştür. 2005 yılında GSYH oranı %2.41 ile başlamış ve 2012 seviyelerine kadar azalış göstererek %2 oranının altına düşmüştür. Bu yıldan itibaren 2019 yılına kadar artarak devam etmiş ve 16 yılın en yüksek oranını %2.69 ile bu yılda gerçekleştirmiştir. Fransa için düşük miktarlarda artış azalış gerçekleşmiş ve 16 yılın ortalaması alındığında %1.92 çevresinde ilerlemiştir. Almanya 2020 yılına kadar %1.19 ortalama ile pay ayrılırken 2020 yılında %1.39 ile en yüksek payı ayırmış ve 2021 yılında bu oran %1.34 olmuştur. Japonya 16 yılın ortalaması %0.96 oranı ile sert artış azalışlar göstermeden hep bu seviyelerde harcamalarını devam ettirmiştir. Avusturya ve İrlanda için OECD ülkeleri arasında askeri harcama oranları düşük seviyelerde gerçekleştirilmiştir.

OECD ülkelerinin hükümet tarafından savunma harcamalarına ayrılan oranları ile GSYH oranları incelendiğinde 2008 yılına kadar çok fazla artış azalış göstermeden ilerlediği görülmektedir. 2008 yılında ABD'de küresel ekonomik krizin olması sebebiyle genel olarak değerlendirildiğinde OECD ülkeleri bu krizden etkilenmiş ve savunma harcamalarında düşüşlerin yaşandığı söylenebilir. 2021 yılına kadar belirli dönemlerde görülen artış ve azalışlar ülke genelinde ortalamalara yakın seyirde devam etmiştir.

### 3.9. Türkiye’de Savunma Sanayi

Türkiye, savunma sanayii alanındaki ihtiyaçlarını karşılayabilmek için milli kaynakları yerine uzun yıllar boyunca dış kaynaklara yönelmiştir. Bu dönemde yerli sanayiye olan teşviklere rağmen politikalar sebebiyle savunma sanayi alanında istenen seviyelerde gelişim olmadığı belirtilmektedir (Köseoğlu, 2010).

Türkiye’de savunma sanayi alanındaki çalışmalar ilk olarak Makine Kimya Endüstrisi’nin kurulumu ile başlamıştır. Kara Kuvvetleri Güçlendirme Vakfı’nın ve Askeri Elektronik Sanayi’nin (ASELSAN) 1975 yılında kurulması önemli bir gelişme olmuştur. Akabinde 1985 yılında Savunma Sanayi Müsteşarlığı kurulmuştur. 90’lı yıllardan itibaren savunma sanayi politikaları bilim ve sanayi eşliğinde ortaya çıkmaya başlamıştır. 2000’li yıllarda TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından gerçekleştirilen Vizyon 2023 çalışması ile savunma sanayine ve Ar-Ge faaliyetlerine verilen değerin arttığı görülmektedir (Zaim 2006).



2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
16	19	20	22	25	27	28	32	35	38	43	54	64	95	116	123	137

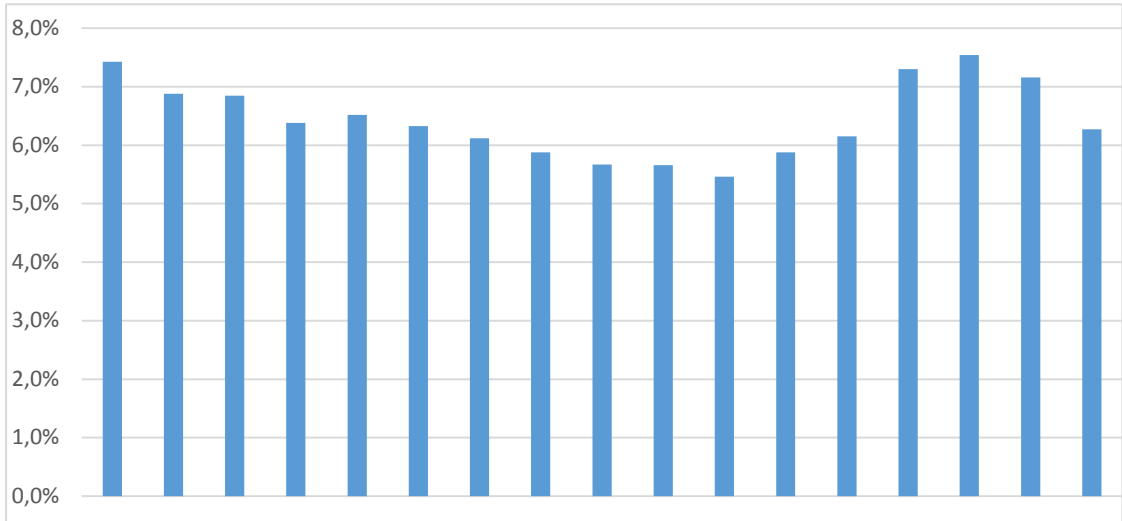
**Şekil 3.3.** Türkiye’nin 2005-2021 yıllarında gerçekleştirdiği askeri harcamalar (Milyar TL)

**Kaynak:** a) <https://data.oecd.org/gga/general-government-spending.htm#indicator-chart>  
b) <https://sipri.org/databases/milex>

Şekil 3.3’de Türkiye’nin 2005 yılında gerçekleştirmiş olduğu askeri harcamaları incelendiğinde 2005 yılında 16 milyar TL’lik bir harcama karşımıza çıkmaktadır. 2008 yıllarına kadar 20 milyar TL’nin altında kalan harcamalar bu yıldan itibaren kademeli olarak artmaya devam ederek 20 milyar TL üzerinde kapanış yapmıştır.



2005 yılından 2021 yılına kadar hiç azalış göstermeden her yıl askeri alanda yapılan harcamalar artmıştır. 2015 yılına kadar askeri harcamalar yıllık kademeli olarak yapılmıştır. 2015 yılında 42 milyar TL'lik savunma sanayi harcaması, 2016 yılında 53.8 milyar TL'ye yükselmiştir. 2017 yılında 64 milyar TL olan askeri harcamalar, bir yılda 30 milyar TL artarak 2018 yılında 94 milyar TL'yi bulmuştur. Bu artış trendi devam ederek 2021 yılında askeri alanda yapılan harcamalar 136 milyar TL'ye ulaşmıştır. 2005 yılından itibaren her sene savunma sanayi alanında yapılan yatırımlar artmaktadır. Özellikle bu harcamalar 2015 yılından itibaren yüksek artış oranları ile karşımıza çıkmakta ve savunma sanayine olan önem görülmekte ve bu alana ayrılan bütçe sürekli artış göstermektedir.



2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
7.43	6.88	6.85	6.3	6.52	6.33	6.12	5.88	5.67	5.66	5.46	5.88	6.15	7.30	7.54	7.16	6.27

**Şekil 3.4.** 2005-2021 yıllarında Türkiye'nin askeri harcamalarının bütçe harcamalarına göre payı

**Kaynak:** a) <https://data.oecd.org/gga/general-government-spending.htm#indicator-chart>

b) <https://sipri.org/databases/milex>

Şekil 3.4'de Hükümet harcamaları üzerinden askeri harcamalar incelendiğinde 2005 yılında gerçekleştirilen harcamaların %7.43'ü savunma sanayi alanında gerçekleştirilmiştir. 2006 yılında bu oran %6.88'e gerilemiş ve düşük azalış miktarları ile 2015 yılında %5.46'lık bir oran karşımıza çıkmaktadır. 2015 yılından itibaren 2019 yılına kadar askeri alana ayrılan bütçe artış göstermiş ve %7.54 ile en yüksek orana ulaşmıştır. 2020 yılında %7.16, 2021 yılında ise %6.27 olarak analiz edilmiştir. 2005 yılından 2021 yılına kadar savunma sanayi alanına ayrılan payların ortalaması %6.42 olarak hesaplanmıştır. 17 yıllık süreç incelendiğinde askeri harcamalara ayrılan payın hep ortalama çevresinde seyrettiği ve öneminin hiç azalmadığı görülmektedir.

## 4. OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ

Çalışmada, savunma sanayinde sektöründe yer alan projeler değerlendirilerek bu projeler için ayrılan bütçe ile beklenen çıktılarının en büyükleme için doğrusal olmayan bir matematiksel model oluşturulmuştur. Oluşturulan matematiksel model, doğrusal olmayan programlama yapısından dönüştürme teknikleri ile doğrusal programlama modeline dönüştürülerek çözülmüştür. Bu kapsamda, matematiksel modelin yapısı, türleri, doğrusal ve doğrusal olmayan programlama konuları aşağıda özetlenmiştir.

### 4.1. Optimizasyon

Problemlerin farklılık göstermesi ve bu problemlerin çözümleri için birden fazla alternatifin bulunması durumunda işletmeler bunların arasından bir tanesini kabul etmek zorunda kalmaktadır. Alternatif çözümler araştırılarak amacı en iyileyen çözümün bulunması için değişik çalışmalar yürütülmektedir. Bu kapsamda, alternatiflerin incelenerek en iyisinin belirlenmesi optimizasyon olarak tanımlanabilir. Karim (2023) hedefler doğrultusunda, amacı veya bir performans kriterini en yüksek veya en düşük sonuçlara göre bir dizi alternatif arasından uygun seçilmesi olarak tanımlamaktadır.

Örnek olarak işletmeler için finansal kaynakların etkin şekilde kullanılarak en fazla kazancın elde edilmesi, en düşük maliyetlerin belirlenmesinden bahsedilebilir. Dolayısıyla kaynak ve bütçe planlaması ile en iyi şekilde planlamanın yapılması bir optimizasyon problemidir.

### 4.2. Model Kurma

Bir amaç doğrultusunda teori veya sistemin özelliklerini ve çıktılarını önceden kestirebilmek maksadıyla fiziksel veya matematiksel olarak yapılan tanımlamaları model denir. Günlük hayatta karşılaşılan problemlerin çözüme kavuşturulmasında hemen gerçek sonuçlara ulaşılmasının mümkün olmadığı durumlar olmaktadır. Bunun yerine problemlerin matematiksel ifadeler ile bilgisayar programları kullanılarak modellenerek çözüme kavuşturulması gerekmektedir. Problemlere özgü olan bu modeller için en önemli kısım problemi çok iyi temsil etmesidir. Dolayısıyla problem türüne ve modeline göre farklı çözümler kullanılmaktadır.

Model kurmada asıl amaç; üzerinde çalışılan konunun doğru ve kolay şekilde anlaşılmasını sağlayarak karşılaşılan muhtemel durumlar üzerinden analizler gerçekleştirmektedir. Hammadde, enerji, bütçe, doğal kaynaklar gibi durumları içeren

modeller gerçek değerlerin boşa harcanmasını engelleyerek en etkin sonuçlara ulaşılması için alınması gereken tedbirleri içermektedir. İşletmeler bünyesinde yürütülen faaliyetler için ileriye dönük doğru bir planlamanın yapılarak geleceğe yönelik verilecek kararların doğruluğu önem arz etmektedir. Bu karar verme sürecini etkileyen üç durumdan söz edilebilir:

- Problem tabanlı karar değişkenlerinin belirlenmesi,
- Hedefler doğrultusunda karar değişkenlerine bağlı bir amaç fonksiyonun oluşturulması,
- Hedeflere ulaşılmasını engelleyecek kısıtların tespit edilmesi (Bakır ve Altunkaynak, 2003).

Yukarıda belirtildiği gibi ihtiyaç duyulan modelin oluşturularak geliştirilebilmesi için önce karar değişkenleri tanımlanmalıdır. Doğru ve tam bir tanımlama sonucunda amaç fonksiyonunun oluşturulması gerekmektedir. Karar problemlerinde modeli kurularak optimal sonuca ulaşılması gerekmektedir. Bu sebeple yöneylem araştırması için modelin oluşturulması çok önemlidir. Yöneylem araştırmasında genel olarak amaç fonksiyonu, en büyük veya en düşük değeri sağlayacak şekilde oluşturulmaktadır (Doğan, 1995). Modeli kurulum aşamasında karar değişkenlerine bağlı olarak oluşturulan amaç fonksiyonu ile kısıtlar doğrusal veya doğrusal olmayan denklemlerle ifade edilebilir. Matematiksel modelin oluşturulmasına göre tamsayı veya kesirli sonuçlar elde edilebilir.

### 4.3. Model Tipleri

Ralphs (2005), tarafından modeller iki grup altında somut ve soyut olarak toplanmıştır. Yöneylem araştırması alanının konuları incelendiğinde matematiksel modeller doğrusal, doğrusal olmayan, stokastik ve tamsayılı olmak üzere 4 başlık altında toplanmıştır. Bu başlıkların yanı sıra sınıflandırma şu şekilde yapılabilir (Binay ve ark., 2001):

- İkonik modeller; gerçek bir nesneyi temsil ederek fiziksel model olan ve farklı boyutlarda ifade edilmiş görsel materyallerdir.
- Analog (çizgisel) model; gerçek bir nesne veya olayın farklı özelliklerini çizgisel olarak ifade eden modellerdir.
- Matematiksel model; gerçek bir olay veya nesnenin çeşitli matematiksel semboller, harfler ve rakamlar ile ifade edilmesidir.

Yöneylem araştırması alanında optimizasyon problemleri için yukarıda verilen model türlerinden matematiksel model kullanılmaktadır. Bu alanda model yapılarına göre kullanılan deterministik ve olasılıklı modeller Tablo 5.1’de verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Yöneylem araştırması modellerinin sınıflandırılması

<b>Deterministik Modeller</b>	<b>Olasılıklı (Rassal) Modeller</b>
Doğrusal Programlama	Markov Zincirleri
Hedef Programlama	Kuyruk Teorisi
Ulaştırma ve Atama Modelleri	Karar Analizi
Doğrusal Olmayan Programlama	Simülasyon
Oyun Teorisi	Tahmin Modelleri
Deterministik Dinamik Modeller	Güvenilirlik Analizi
Deterministik Stok Modelleri	Olasılıklı Dinamik Programlama
Şebeke (Ağ) Analizi	Olasılıklı Stok Modelleri
CPM ve PERT ile Proje Planlama	

Tablo 4.1’de görüldüğü üzere deterministik ve olasılıklı modellerin birçok alt modeli bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında ele alınan problemin çözümünü gerçekleştirmek için doğrusal olmayan programlama ve doğrusal programlama ile onun bir alt dalında yer alan tam sayılı doğrusal programlama yöntemi analiz edilmiştir.

Deterministik model içerisinde yaygın olarak kullanılan doğrusal programlama, faaliyetlere sınırlı kaynakların en uygun şekilde dağıtılmasını sağlamak için geliştirilen bir matematiksel model kurma yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır (Kara, 1986). Doğrusal programlama modellerinde, amaç ve kısıtların belirlenmesinde katsayı ilişkilerinin doğrusal olduğu varsayılmaktadır (Özkan, 1998).

Deterministik modeller içerisinde yaygın olarak kullanılan ve doğrusal programlamanın bir alt türü olarak tamsayılı doğrusal programlama karşımıza çıkmaktadır. Bu model, değişkenler, amaç fonksiyonu ve kısıt denklemlerinin tümünün tamsayılı değer almasını ve negatif olmaması koşullarını içermekte ve 0-1 tamsayılı, tüm tamsayılı ve karma tamsayılı modeller olmak üzere üçe ayrılmaktadır (McCarl ve ark., 1997).

#### **4.4. Doğrusal Programlama**

Eldeki sınırlı kaynakların uygun şekilde dağıtılarak optimum planlamayı belirlemede kullanılan bir tekniktir. Doğrusal programlama problemleri, matematiksel model altında kısıtlayıcıların analizi ile gerçekleştirilen fonksiyonun en küçükleme veya en büyükleme olarak ifade edilebilir (Doğan, 1995).

Doğrusal programlamanın kullanımı işletme problemlerinin analizi için önemli bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. Ekonomik olarak karar verme süreçlerinde özellikle doğrusal programlama tekniği uygulanmaktadır. Doğrusal programlamanın amacı, kısıtlayıcı durumları ve metodu şartların doğrusal fonksiyon ile değerlendirilmesi varsayımını içermektedir. Optimal kararın verilebilmesi için mevcut şartların ekonomik çerçevede etkin olarak kullanılabilmesi sağlanmaktadır. Askeri problemlerden endüstriyel problemlere üretim ve hizmet sektöründe birçok alanda kullanılabilen geniş bir yelpazede uygulanabilmektedir.

#### **4.4.1. Doğrusal programlama probleminin yapısı ve modellerinin kurulması**

Bir problemin doğrusal programlama yöntemi ile çözülebilmesi için doğru şekilde tanımlanabilmesi gerekmektedir. Öncelikle karar verici, problem doğrultusunda elindeki imkânları ve ulaşmak istediği sonucu doğru bir şekilde belirlemelidir. Bu doğrultuda aşağıdaki tanımlamalara dikkat edilmesi gerekmektedir.

Amaç fonksiyonu, uygun sonuçlara ulaşılabilmesi için net bir şekilde tanımlanmalıdır. Tanımlanan amaç niceliksel olarak ifade edilmelidir. Amaç fonksiyonu, maliyet için en küçükleme veya kâr için en büyükleme olabilir. Amaç fonksiyonu değerini, en küçük veya en büyük değere ulaştırmak için karar değişkenlerinin değerlerinin bulunmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Problem türüne göre kullanılan parametreler değişiklik gösterir.

Değişkenler, problem kapsamında bilinmeyenleri veya aranılan unsurları ifade etmektedir. Proje seçimi problemlerinde genelde miktar yer almaktadır. Bu değişken belirlenirken tedarik sürecinde modele yeni değişkenler getirebileceği dikkate alınarak kabul edilebilir ölçülerin belirlenmesi gerekmektedir.

Parametreler, incelenen problemi etkileyen faktörlerin matematiksel olarak modelde ifade edilmesi sürecini kapsar. Problem doğrultusunda faktörler belirlenerek katsayılar yardımıyla değişkenler arasındaki ilişkiyi kuran değerler belirlenir.

Kısıtlar, sınırlı kaynakların yürütülerek işlenmesinde işletmeler için önemlidir. Bu sınırlı kaynaklar, hammadde miktarı, finansal olanaklar, işgücü vb. olmakta ve kısıt olarak adlandırılmaktadır. Sorunlara özgü olarak durumların ortaya çıkardığı sınırlar olarak tanımlanmaktadır.

Negatif olmama koşulu, modellerde yer alan faaliyetleri kapsayarak problem kapsamında işletmeler için çıktılarının negatif olmadığı durumları içerir. İşletmeler için tedarik problemlerinde faaliyet üretim yapılırsa pozitif, yapılmaz ise değer sıfır olur.

Dolayısıyla bu koşul değişkenlerin sıfır veya sıfırdan büyük olmaları için denklem sistemi içerisinde yer alır (Teyyar, 1996).

Matematiksel bir modelin çözüm aşamasında soruna yönelik olarak değişkenler belirlenmektedir. Ardından amaç hedefler doğrultusunda amaç fonksiyonu ile kısıtlayıcıların değişkenler ile bir matematiksel fonksiyon olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Doğrusal programlama modelinde sırasıyla aşağıdaki adımlar uygulanmaktadır (Tolunay, 1980):

- Verilerin elde edilmesi,
- Probleme özgü modelin oluşturulması,
- Model için çözüm yönteminin araştırılması

Doğrusal programlama tekniğinin karar problemlerinde uygulanabilmesi için Doğan(1995):

- Amaç fonksiyonu ve kısıtlar tanımlanmalı,
- Alternatif kararların elde edilmesi mümkün olmalı,
- Değişkenlerin birbirleriyle ilişkileri olmalı,
- Kullanılması planlanan kaynakların arzının sınırlı olması,
- Değişkenler arasında oluşturulan bağlantının doğrusal olması gerekmektedir.

Modelin oluşturulabilmesi ve uygulanabilmesi için doğrusal programlama unsurlarının belirtilerek temel varsayımlar gösterilmelidir. Genelde bütün problemlerde temel varsayımlar kullanılmaktadır. Bu nedende bu varsayımlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Doğrusallık, oluşturulacak modelde yer alan girdi ve çıktıların katsayıları arasındaki bağlantının doğrusal olduğu varsayılmaktadır.
- Kaynakların sınırlı olması durumunda işletmeler, sınırlı kaynaklar için doğru planlamalar yaptığı takdirde hedeflerine ulaşabilirler.
- Negatif olmama koşulu ile doğrusal programlama kapsamındaki değişkenlerin tamamı sıfır ya da sıfırdan büyük olmalıdır. Bu varsayımın amacı negatif üretimin yapılamamasıdır (Öztürk, 2002).
- Toplanabilirlik durumu ile değişkenlerin amaç fonksiyonuna olan katkıları birbirinden farklı ve bağımsız olmaktadır. Sistem için toplam çıktı hesabında karar değişkenleri katkılarının toplamı hesaplanmaktadır.
- Bölünebilirlik durumu ile birçok üretim faaliyetinde kullanılan kaynaklar ile ortaya çıkan ürünler bölünebilme özelliğine sahiptir.

- Belirlilik durumu ile doğrusal programlama modellerinde birim başına elde edilen kâr miktarı, ürün miktarı ve faktör miktarları gibi ekonomik değerlerin sabit olması varsayımı bulunmaktadır.

#### **4.4.1.1. Tamsayılı doğrusal programlama modelleri**

Doğrusal programlama modellerinin sonuçları incelendiğinde tamsayılı olmayan pozitif değerler ile karşılaşılmaktadır. Gerçek hayat problemlerine bakıldığında, insan makine gibi bölünemeyen unsurlar bulunmaktadır. Bu sebepten ötürü sonuçların tamsayılı değerler olmasına ihtiyaç duyulduğundan tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir (Tulunay, 1980). Tamsayılı doğrusal programlama modellerinde sonuçlar tamsayılı olmak zorundadır. Doğrusal programlama ile tamsayılı doğrusal programlama modeli karşılaştırıldığında tek fark karar değişkenlerinin tamsayılı değer alma koşuludur (Öztürk, 2002). Tamsayılı doğrusal programlama modelleri incelendiğinde karar değişkenlerinin tamamının tamsayı olmadığı durumlar ile karşılaşılmaktadır. Bu nedenle üç çeşit tamsayılı doğrusal programlama modeli bulunmaktadır (Binay ve ark., 2001):

- Tüm Tamsayılı Programlama Modeli
- Karma Tamsayılı Programlama Modeli
- Sıfır-Bir Tamsayılı Programlama Modeli

##### **4.4.1.1.1. Tüm tamsayılı programlama modeli**

Çözülen model sonucunda tüm değişkenlerin tamsayılı değerler aldığı doğrusal programlama modelleridir (Ogryczak ve Zorychta, 1996). Günlük yaşamdaki problemler ele alındığında ulaşılmak istenen sonuçlar genel olarak tamsayılı değerler olmaktadır. Tüm tamsayılı programlama modellerinde tamsayı olması gereken değerler değişkenlerdir. Amaç fonksiyonunun tamsayı olma zorunluluğu yoktur.

##### **4.4.1.1.2. Karma tamsayılı programlama modeli**

Tamsayılı doğrusal programlama modellerinde değişkenlerin tamamı en iyi çözümde tamsayılı değerleri ifade etmektedir. Bununla beraber sadece bazı değerlerin tamsayılı olması problemleri karma tamsayılı programlama modelleri olarak ifade edilmektedir (Winston, 1994).

#### 4.4.1.1.3. Sıfır – Bir (0-1) tamsayılı programlama modeli

Problemler doğrultusunda bazı durumlarda değişkenler mantıksal ilişkiler ile ifade edilmektedir. Dolayısıyla bu değişkenler sıfır ya da bir değerlerini almakta ve yalnızca ikili değer barındırmaktadır (Sanjeeb, 2002). Bu sebepten ötürü de ikili (binary) değişken olarak adlandırılmaktadır.

### 4.5. Doğrusal Olmayan Programlama Modelleri

Amaç fonksiyonu ve kısıtlar incelendiğinde en az birinin doğrusal olmadığı durumda kullanılan bir optimizasyon problemi çözme süreci olarak ifade edilmektedir. Model içeriğinde yer alan tüm fonksiyonların en az bir teriminde üslü ifade veya iki değişkenin çarpımının olması durumu, problemin doğrusal olmayan model olması için yeterlidir.

#### 4.5.1. Doğrusal olmayan programlama modelinin gelişimi

Doğrusal programlama modeli, karar vericileri birçok alanda çözüme kavuşturmakla beraber bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. İşletmeler için doğrusal programlama tekniği, problem doğrultusunda girdiler ve çıktılar arasında doğrusal olarak bir ilişki olduğu varsayımına dayanmaktadır. Dolayısıyla, modelde amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcı durumlar doğrusal olarak tanımlanmaktadır. Pratik uygulamalarda çözülmek istenen problemlerin birçoğunda, amaç fonksiyonu veya kısıtlar için şartlar doğrusal olmamaktadır. Doğrusal olmayan bu problemlerdeki ifadeler için doğrusal ifadeler kullanılabilir (Öztürk, 1994).

Gerçek yaşamdaki problemlerin doğrusal olmayan yapıları bu alanda çalışan araştırmacıları bir miktar sınırlandırmaktadır. Maliyet fonksiyonları, bütçe ve tedarik fonksiyonu doğrusal olmayan özellikleri barındırabildikleri gibi model içerisinde bazı değişkenleri de doğrusal olmamaktadır. Bu sebepten ötürü araştırmacılar yeni modeller veya ilave kısıtlar bulmaya çalışarak doğrusal olmayan yapıları çözebilecek matematiksel model oluşturmaya yönelmişlerdir (Bahtiyar, 1989). Doğrusal olmayan programlamaya karşı duyulan ilgi ve güven 1960'lerden sonra artmıştır.

Doğrusal programlama modeli, amaç fonksiyonu ve kısıtları doğrusal olan veya varsayım olarak doğrusallığa dayanan kısıtlayıcı şartlardan meydana gelmektedir. Buna ilaveten üretim ve maliyet süreçlerinde negatif olamaması sebebiyle pozitiflik şartı da bulunmaktadır. Gerçek hayattan bir problem ele alındığında amaç fonksiyonu nadiren



doğrusal olmaktadır. Örneğin çalışmamızda üretim düzeylerinin değişiklik göstermesi sebebiyle birim maliyetler projeler için farklılık göstermektedir. Bu farklılıklara ek olarak tedarik miktarına bağımlı etkinlik seviyelerinin elde edilmesi için fonksiyonel bir yapı oluşmakta ve model doğrusal olmayan bir yapı olmaktadır. Matematiksel model problemleri genel olarak amaç fonksiyonu değeri en küçük veya en büyük olacak şekilde oluşturulmaktadır. Doğrusal ve doğrusal olmayan programlama modeli özel bir sınıf olarak karşımıza çıkmaktadır.

#### 4.5.2. Doğrusal olmayan programlama modelinin yapısı

Yönetim bilimi ve yöneylem araştırmasındaki birçok optimizasyon problemi, doğrusal olmayan programlama biçiminde formüle edilmiştir (Negrello, Gosselet, Rey, 2021). Konveks olmayan yapıları nedeniyle, bu tür bir problem için en uygun çözümü bulmak için etkili bir yöntem yoktur (Bertsimas, Dunn, Wang, 2021). Doğrusal programlama problemleri için temel varsayım, lineer ifadeler ile bütün fonksiyonların oluşturulması ve çözüme kavuşturulmasıdır. Fakat bunu pratikte gerçekleştirmek zordur. Bu sebepten ötürü doğrusal olmayan programlama modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Böyle bir problem, genel olarak aşağıdaki şekilde verilmektedir (Tulunay, 1987)

- Amaç denklemi

$$z_{maks/min} = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (4.1)$$

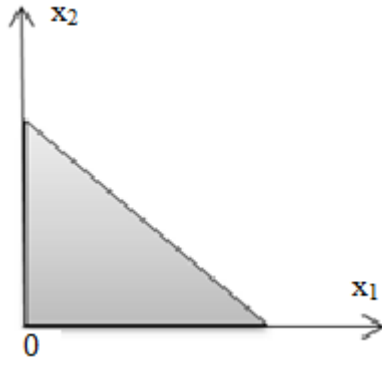
- Kısıtlayıcı şartlar:

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_i \quad i = 1, \dots, m \quad (4.2)$$

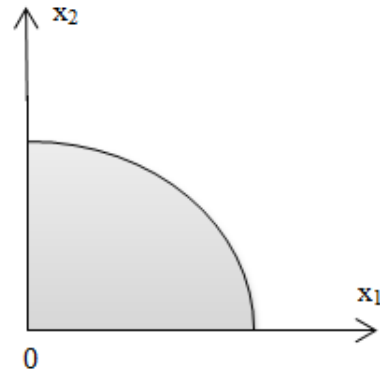
- Pozitiflik şartı:

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \quad (4.3)$$

Doğrusal programlama için bir adet konveks (dışbükey) küme, sınırlı sayıda doğrusal olan kısıtlayıcıların kesişmesi ile meydana gelmekte ve sınırlı sayıda uç noktalar içermektedir. Uygun çözüm alanı için Şekil 4.1'de amaç fonksiyonunun doğrusal olduğu ve uygun çözüm alanlarının köşe noktalarında yer aldığı durum verilmiştir. Uygun çözüm alanı konveks olduğu durumda sonsuz sayıda uç noktasının olduğu durum Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Uygun çözüm alanı



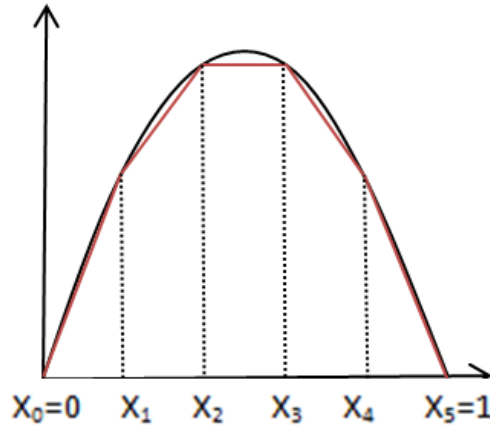
Şekil 4.2. Konveks durumda uygun çözüm alanı

Doğrusal olmayan bir programlama modeli için kabul edilebilir hesaplama süresinde genel bir optimum bulmak, optimizasyon teorisindeki en büyük zorluklardan biri olarak bilinmektedir. Doğrusal olmayan programlama problemleriyle karşılaştırıldığında, doğrusal formlar çözüm sürecini yönlendirir ve çok daha düşük hesaplama süresine sahiptir (Pauer, Török, 2021).

Bu nedenle, optimizasyon modellerinden doğrusal programlama biçimleri, genellikle doğrusal olmayan biçimleri çözmek yerine tercih edilmektedir. Doğrusal olmayan terimlerle optimizasyon problemlerini çözmek için genel olarak benimsenen yöneylem araştırması teknikleri, iki grupta sınıflandırılabilir. İlk grup, doğrusal olmayan denklemlerin veya fonksiyonların, geçerli eşitsizlikler yaratmak için tam eşdeğer bir doğrusal programlama formülasyonu ile değiştirildiği dönüşümleri içermektedir. İkincisi ise ilgi noktası çevresinde en az sapmaya sahip doğrusal olmayan bir fonksiyonun veya ayrı düz çizgi parçalarının eşdeğerini bulan doğrusal yaklaşımlardır.

Doğrusal programlama modeline dönüşüm genellikle orijinal doğrusal olmayan modelde geçerli eşitsizliklerin uygulanmasıyla birlikte belirli manipülasyonlar ve ikameler gerektirmektedir. Değiştirilen problemi çözdükten sonra, başlangıçtaki karar değişkenlerinin optimal değerleri dönüşümü tersine çevirerek kolayca belirlenebilir. Ayrıca, karmaşık doğrusal olmayan fonksiyonların daha basit olanlarla değiştirilmesi, yaygın yöneylem araştırması tekniklerinden biri olarak kabul edilmektedir (Dulebenets, 2016). Matematikte, bir fonksiyonun doğrusal yaklaşımı, hesaplama amaçları için bir dizi doğrusal parçaya dayanan bir yaklaşımı içermektedir. Doğrusal yaklaşımlar, doğrusal olmayan optimizasyon modellerini çözmek için genellikle parçalı veya birinci dereceden yöntemler gibi sonlu fark yöntemleri tarafından benimsenmektedir. Şekil 4.3'te gösterildiği gibi, bilinen bir eğriye doğrusal bir yaklaşım, eğri bölünerek ve

noktalar arasında doğrusal interpolasyonlar kullanılarak elde edilebilir. Parçalı yaklaşımlar, mühendislik ve matematiğin birçok alanında önemli bir rol oynamaktadır (Pasha vd., 2020).



Şekil 4.3. Doğrusal olmayan bir fonksiyon ve parçalı doğrusal yaklaşım

Ek değişkenler ve kısıtlamalar kullanılarak, parçalı doğrusal yaklaşım, doğrusal olmayan bir fonksiyonla orijinal probleme uyan alternatif bir doğrusal fonksiyon oluşturur. Bu tekniğin özel amacı, tek değişkenli tek değerli bir fonksiyonu bir dizi doğrusal bölümlerle tahmin etmektir.  $[a, b]$  aralığında ayarlanan  $f(x)$  fonksiyonunun parçalı doğrusal yaklaşımı, aynı aralıkta bir dizi doğrusal parça tarafından temsil edilen yakın bir  $g(x)$  fonksiyonuna yaklaştırır ve  $g(x)$ ,  $[a, b]$ 'deki her  $x$  için  $g(x) = c + dx$  olarak gösterilebilir (Cameron, 1966). Yeni doğrusallık, önceki doğrusal olmayan optimizasyon problemi, kullanımı çok daha kolay ve lineer olmayan muadillerinden daha verimli olan ortak doğrusal programlama yaklaşımlarıyla çözülebilmektedir (Bradley, Hax ve Magnanti, 1977).

Dönüşüm ve doğrusal yaklaşım prosedürlerini içeren yeniden formülleştirme teknikleri, problemlerin boyutunu artırsa da problemin temsilini gerçekleştirebilir. Doğrusal programlamadaki son gelişmeler göz önüne alındığında, bu teknikler, daha sıkı bir temsili dâhil ederek, çeşitli kesin veya sezgisel çözüm yaklaşımları içindeki problemlerin çözülebilirliğini arttırmaktadır. Geçmişte, doğrusal programlama temsilleriyle ilgili dönüşüm süreci üzerine önemli sayıda çalışma yapılmıştır (Wolsey, 1989). Optimizasyon modellerinin doğrusal olmayan bileşenlerini, doğrusal programlama eşdeğerlerine dönüştürmek için yaygın olarak kullanılan araştırma tekniklerini içeren dönüşüm teknikleri bulunmaktadır (Asghari vd., 2022).

## 5. UYGULAMA VE SONUÇLARI

Bu tez çalışması kapsamında, ülkemizde gerçekleştirilen savunma sanayi projelerinin seçimi ve planlaması için ele alınan problem tanımı ve oluşturulan matematiksel model önerisi aşağıda verilmiştir.

### 5.1. Problem Tanımı

Savunma sektöründe gerçekleştirilen savunma harcamaları, kısıtlı kaynaklar altında tahsis edilen bütçe miktarı ile ülke ekonomisinin önemli bir payına sahiptir. Bu bağlamda kaynakların etkili ve verimli bir şekilde kullanılarak ülkelerin gerçekleştirmek istediği savunma sanayi projelerinin seçim sürecine yönelik olarak yapılan planlama çalışmaları önemlidir. Yanlış yapılan planlamalar neticesinde ülkelerin kaynakları boşa harcanmakta ve ekonomiyi olumsuz etkileyerek ülkelerin uluslararası alanda saygınlıklarının azalmasına sebep olabilmektedir. Savunma sektöründe uzun dönemli planlamalara ihtiyaç duyulmakta ve yüksek bütçeli projelerin koordineli ve eşgüdümlü yürütülmesi önem arz etmektedir.

Çalışmamızda, savunma sanayi sektörü içerisinde yer alan kara, hava, yer savunma ve hava savunma olmak üzere 4 başlık altında projeler ele alınmıştır. Ülkemizin istek ve ihtiyacı doğrultusunda hedeflenen çıktılara ulaşılabilmesi için 10 dönemlik süreç içerisinde tedarik planının oluşturulması gerekmektedir. Projeler, karmaşık faaliyetlerinden oluşmakta ve yüksek maliyet içermektedir. Aynı zaman dilimlerinde eş güdümlü olarak yürütülmesi gereken projeler bulunmakta ve dönem sonunda bu projelerin entegre şekilde kullanılması ile ihtiyaçların karşılanarak beklenen verimin artırılması hedeflenmektedir.

Gelişen ve değişen teknolojinin, savunma sektörüne entegre edilmesiyle yerli ve milli üretimler ülkemizin saygınlığı ve caydırıcılığı açısından doğru planlamalar ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Gerçekleştirilecek bu projelerin çıktılarının en büyük seviyede tutulabilmesi için etkinlik değerleri ele alınmıştır. Projelerin etkinlik değerleri 1987 yılında DUPUY tarafından gerçekleştirilen çalışmada Total Lethality Index (TLI) olarak ele alınmış ve belirlenen bu etkinlik değerleri çalışmamızda kullanmıştır (Dupuy, 1987). Savunma sektöründe projelerin gerçekleştirilmesi ülkeler açısından kara, hava ve deniz hâkimiyetinin sağlanarak ulusal güvenliği artırılması açısından bir savaş gücü oluşturmaktadır. Muharebe ortamında, orduların kuvvet gücünü gösteren ve her bir silah sistemi için ölümcüllük, performans gibi etmenlerinin belirlenmesiyle silah etkinlik

katsayıları hesaplanmış ve literatürde bu değer Total Lethality Index (TLI) olarak adlandırılmıştır. TLI değerleri, güvenilirlik, doğruluk, hasar ve menzil faktörlerini içeren 4 bileşenin çarpımı ile hesaplanmaktadır. Projelerde yer alan her bir silah sistemi için hesaplanan TLI değerleri kullanılarak toplam etkinliğin en büyüklenmesi istenmektedir.

Bu kapsamda projelerin gerçekleştirilmesinde her bir projenin ayrı ayrı etkinlik değerlerinin alınmasına ek olarak aynı dönem içerisinde birbirini destekleyen projeler ilave etkinlik değeri getirmektedir. Giriş bölümünde örnek olarak verilen tüfek imalatı ile termal silah dürbünü projeleri gibi birbirini destekleyen projeler aynı dönem içerisinde gerçekleştirilerek entegre edildiğinde birlikte daha fazla etkinlik değeri sağlayarak performansı arttırmaktadır. Literatür incelendiğinde bu konu ile karşılaşılmadığı görülmüş ve birbirini destekleyen projelerin entegre edilerek kullanılmaları neticesinde ilave olarak elde edilen etkinlik değeri hesabı ile toplam etkinlik değerinin en büyüklenmesi konusu ilk kez çalışılmıştır. Dolayısıyla ele alınan projelerin yüksek maliyetli oluşu, karmaşık yapısı sebebiyle kısıtlı kaynakları optimal şekilde kullanarak etkinlik değerini en büyükmek için bir çözüm metodolojisi uygulanmıştır.

## 5.2. Matematiksel Model

Bu tez çalışmasında 12 adet farklı türdeki projenin, 10 dönemlik tedarik planını gerçekleştirmek için matematiksel model oluşturulmuştur. Tablo 5.1’de proje bilgileri verilmiştir.

**Tablo 5.1.** Proje bilgileri

Proje Numarası	Proje Türü
1, 2, 3	Kara Projeleri
4, 5, 6	Hava Projeleri
7, 8, 9,	Yer Savunma Projeleri
10, 11, 12	Hava Savunma Projeleri

Oluşturulan matematiksel modelde kullanılan indisler ve parametreler aşağıda belirtilmiştir.

### İndisler

$i$  = proje numarası

$j$  = proje çiftleri için kullanılan proje numarası

$t$  = dönem numarası

### Parametreler

$e_i$  = i. projenin etkinlik değeri

$c_i$  = i. projenin birim maliyeti

$k_t$  = t. dönemdeki bütçe

$l_t$  = t. dönemde istenen etkinlik puanı

$b_t$  = t. dönemde tedarik edilmesi gereken minimum miktar

$d_t$  = t. dönemde tedarik edilmesi gereken maksimum miktar

$a_{it}$  = i. projeden t. dönemde tedarik edilmesi gereken minimum miktar

$v_{it}$  = i. projeden t. dönemde tedarik edilmesi gereken maksimum miktar

$m_{ij}$  = i. proje ile j. proje çiftleri için aynı dönemde gerçekleşmesi durumundaki katsayı miktarı

$G$  = Toplam bütçe

### Karar Değişkenleri

$x_{it}$  = i. projeden t. dönemde tedarik edilen miktar

$k_{it}$  = i. proje t. dönemde tedarik edilirse=1

d.d.=0

$s_t$  = t döneminden t+1 dönemine devreden bütçe

$p_t$  = t dönemindeki toplam bütçe

Oluşturulan matematiksel model, amaç fonksiyonu ve probleme özgü 12 farklı kısıt grubundan oluşmaktadır.

En Büyük  $Z$  =

$$\sum_{i=1}^{12} \sum_{t=1}^{10} e_i x_{it} + \sum_{i=1}^{12} \sum_{t=1}^{10} e_i x_{it} \left( \sum_{j=1, i \neq j}^{12} m_{ij} k_{it} k_{jt} \right) + \sum_{j=1}^{12} \sum_{t=1}^{10} e_j x_{jt} \left( \sum_{i=1, i \neq j}^{12} m_{ij} k_{it} k_{jt} \right) \quad (5.1)$$

5.1 numaralı denklem, amaç fonksiyonudur ve tedarik edilen projelerin etkinlik değerlerini en büyükler. Tedarik edilen projelerinin birbirleriyle etkileşimleri mevcuttur. Bu etkileşim neticesinde etkileşimli proje çiftleri aynı dönem gerçekleştirilirse ekstra skor katsayısı kadar etkinlik değeri getirmektedir. 10 yıllık bir süre içerisinde tedarik edilecek savunma sanayi projelerinden elde edilecek nihai etkinlik değerinin artmasını sağlayacak tedarik planını oluşturur.

$$\sum_{i=1}^{12} c_i x_{it} + s_t = p \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.2)$$

5.2 numaralı denklem, dönemlik bütçe kısıtıdır. Tedarik edilen projelerin o dönemdeki bütçeyi aşmasını engeller ve bütçenin arta kalan kısmının devredilmesini sağlar. Kamu kurumlarında devlet tarafından ayrılan bütçe yıllara bağlı olarak aktarılır ve değişiklik gösterir. Kamu kuruluşları kendilerine ayrılan bu bütçeyi kendi yılı içinde en verimli şekilde kullanır ve kullanılmayan kısmını da diğer yıla aktarır.

$$p_t = k_t + s_{t-1} \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.3)$$

5.3 numaralı denklem, bütçe devir kısıtıdır. O dönemki toplam bütçenin o dönem için tahsis edilen bütçe ve bir önceki dönemden arta kalan bütçe ile ilişkilendirilmesini sağlar.

$$\sum_{i=1}^{12} \sum_{t=1}^{10} c_i x_{it} \leq G \quad (5.4)$$

5.4 numaralı denklem, toplam bütçe kısıtıdır. Yapılan 10 dönemlik tedarik planının toplam bütçeyi aşmasını engeller. Böylece devlet politikaları gereği uzun dönemli planlamalarda kamu kurumlarına ayrılması planlanan bütçenin aşılmadan hedeflere ulaşılmasını sağlayacak savunma sanayi projelerinin tedarik planı oluşturulur.

$$\sum_{i=1}^{12} e_i x_{it} \geq l_t \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.5)$$

5.5 numaralı denklem, yıllık etkinliğin belirlenen minimum değerinin altında kalmasını engeller. Böylece 10 yıllık dönemin sonunda ulaşılması istenen hedefe her yıl belirli miktarda artışlarla ulaşılması sağlanır.

$$\sum_{i=1}^{12} x_{it} \leq d_t \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.6)$$

$$\sum_{i=1}^{12} x_{it} \geq b_t \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.7)$$

5.6 ve 5.7 numaralı denklemler, t döneminde tedarik edilmesi planlanan minimum ve maksimum proje miktarı sınırlarını belirler. Böylece dönemlerdeki tedarik edilebilecek projelere alt ve üst sınırlar getirilerek oluşabilecek koordinasyon ve temin eksikliğinin önüne geçilir.

$$x_{it} \leq v_{it} \quad i = 1, \dots, 12 \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.8)$$

$$x_{it} \geq a_{it} \quad i = 1, \dots, 12 \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.9)$$

5.8 ve 5.9 numaralı denklemler, t döneminde tedarik edilmesi planlanan i ürününün minimum ve maksimum sınırlarını belirler. Bu sayede belirli bir gruptaki projelerin fazla sayıda yapılması engellenerek tüm alanlardaki hedeflere ulaşılmasını sağlayacak tedarik planının oluşmasına yardımcı olur. Dönemlik i ürününün minimum sınırları t. döneme kadar olan dönemlerde tedarik edilen miktardan fazla olması sağlanmaktadır.

$$x_{it} \leq M k_{it} \quad i = 1, \dots, 12 \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.10)$$

$$k_{it} \leq x_{it} \quad i = 1, \dots, 12 \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.11)$$

5.10 ve 5.11 numaralı denklemler, i. projesinin tedarik edilmesi durumunda  $k_{it}$  ikili değişkenine değer aldırılmaktadır. Amaç fonksiyonunda ekstra skor katsayısını getirecek proje çiftleri için ilgili kısmın aktif edilmesini ve i. ile j. projelerin etkinliklerini  $m_{ij}$  oranında artmasını sağlamaktadır.

$$x_{it}, p_t, s_t \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad (5.12)$$

5.12 numaralı kısıt ise karar değişkenlerinin pozitif ve tamsayı olma zorunluluğunu ifade eder.

Oluşturulan matematiksel model incelendiğinde amaç fonksiyonunda yer alan iki değişkenin çarpılması sebebiyle matematiksel model doğrusal olmayan yapıya sahiptir. Doğrusal olmayan terimlerin kullanılması genellikle optimizasyon modelinin hesaplama karmaşıklığını ve onu çözmek için gereken hesaplama süresini artırmaktadır. Bu sebeple genellikle doğrusal olmayan modelleri çözmek yerine doğrusal programlama modellerini çözmek tercih edildiğinden literatürdeki dönüşüm teknikleri kullanılarak doğrusal olmayan yapıdaki matematiksel model, doğrusal yapıya dönüştürülmüştür.

Literatürde yer alan dönüşüm teknikleri, orijinal doğrusal olmayan programların tam dönüşümleri olarak karşımıza çıkmaktadır (Asghari ve ark., 2022). Çalışmamızda amaç fonksiyonunda yer alan ikili değişkenlerin çarpımı ile ikili ve sürekli



değişkenlerin çarpımı fonksiyonlarından kaynaklanan doğrusal olmayan problem için doğrusallaştırma tekniği kullanılmıştır.

İlk olarak  $k_{it}$   $k_{jt}$  ikili karar değişkenlerinin çarpımı için yaygın bir doğrusallaştırma tekniği kullanılmıştır. Önerilen doğrusallaştırma yöntemi, bazı teorik ve sayısal tekniklere dayanmaktadır (Rahil, 2012). İki adet ikili değişkeni ele alalım.  $i \in \{1, \dots, m\}$  ve  $j \in \{1, \dots, n\}$  olduğu durumda ikili değişkenlerin çarpılmasından kaynaklanan  $x_i$  ve  $y_j$  terimini doğrusallaştırmak için ek bir ikili değişkenle değiştirilmesi gerekmektedir (Asghari ve ark., 2022).

$$z_{ij} = x_i y_j \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (5.13)$$

Doğrusal olmayan terimi içeren modele, aşağıda yer alan kısıtların ilave edilmesi ile model doğrusallaştırılabilir.

$$z_{ij} \leq x_i \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (5.14)$$

$$z_{ij} \leq y_j \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (5.15)$$

$$z_{ij} \geq x_i + y_j - 1 \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (5.16)$$

$$z_{ij} \in \{0,1\} \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (5.17)$$

Bu kısıtlamaların eklenmesi ile geçerliliğini incelemek ve  $x_i$  ve  $y_j$  ikili değişkenlerinin değerlerini değiştirerek oluşan tüm olası senaryolar Tablo 5.2’de listelenmiştir.

**Tablo 5.2.** İkili değişkenlerin tüm olası durumları ( $z = xy$ )

$x$	$y$	$xy$	Durum	Sonuç
0	0	0	$z \leq 0$	$z = 0$
			$z \leq 0$	
			$z \geq -1$	
			$z \in \{0,1\}$	
0	1	0	$z \leq 0$	$z = 0$
			$z \leq 1$	
			$z \geq 0$	
			$z \in \{0,1\}$	
1	0	0	$z \leq 1$	$z = 0$
			$z \leq 0$	
			$z \geq 0$	
			$z \in \{0,1\}$	
1	1	1	$z \leq 1$	$z = 1$
			$z \leq 1$	
			$z \geq 1$	
			$z \in \{0,1\}$	

İkinci olarak  $k_{it}k_{jt}$  çarpımı için tanımlanan ikili karar değişkeni olan ek karar değişkeni ile  $x_{it}$  tedarik edilen miktarı temsil eden karar değişkeni çarpımı için yaygın bir doğrusallaştırma tekniği kullanılmıştır. Bir dizi yeni kısıtlamaya tabi olan yeni bir değişken için  $x_i$ ,  $i \in \{1, \dots, m\}$  bir ikili değişken olsun.  $y_j$  ise  $0 \leq y_j \leq u_j$  ( $j \in \{1, \dots, n\}$ ) olan sürekli bir değişken olsun. İkili ve sürekli değişken çarpımını doğrusallaştırmak için, onu yardımcı değişken  $z_{ij}$  ile değiştirerek aşağıdaki kısıtları eklememiz gerekmektedir.

$$z_{ij} \leq y_j \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (5.18)$$

$$z_{ij} \leq u_j x_i \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (5.19)$$

$$z_{ij} \geq y_j + u_j (x_i - 1) \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (5.20)$$

$$z_{ij} \in \{0,1\} \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (5.21)$$

Burada  $u_i$ , yeterince büyük bir sayı ile değiştirilebilir. Bu kısıtlamaların geçerliliği ve tüm olası senaryolar Tablo 5.3'te verilmiştir. Bu yöntemin uygulanmasıyla ilgili örneklerle sıkça karşılaşılmaktadır (Asghari ve ark. 2020; Mojtahedi ve ark., 2021).

**Tablo 5.3.** İkili ve sürekli değişkenin çarpımının tüm olası durumları ( $z = xy$ )

$x$	$y$	$xy$	Durum	Sonuç
0	$m: 0 \leq m \leq u$	0	$z \leq m$	$z = 0$
			$z \leq 0$	
			$z \geq m - u$	
			$z \geq 0$	
1	$m: 0 \leq m \leq u$	$m$	$z \leq m$	$z = m$
			$z \leq u$	
			$z \geq m$	
			$z \geq 0$	

Doğrusal olmayan programlama modeli, yukarıda yer alan dönüştürme teknikleri yardımıyla doğrusal hale getirilmiştir. Dönüşüm teknikleri kullanılarak doğrusal olmayan programlama modelinde gerçekleştirilen değişiklikler ve ilave kısıtlar ile elde edilen doğrusal programlama modeli aşağıda verilmiştir.

### Ek Parametre

$u_t$  = Sürekli ve ikili değişkenin çarpılması sonucu doğrusal hale getirebilmek için kullanılan değer

### Ek Karar Değişkenleri

$d_{ijt}$  =Doğrusallaştırma tekniği için  $k_{it}$  ile  $k_{jt}$  , 1 değerini aldığıında = 1  
d.d.=0

$r_{ijt}$  =Doğrusallaştırma tekniği için  $d_{ijt}$  ile  $x_{it}$  çarpımından gelen miktar  
d.d.=0

$f_{ijt}$  = Doğrusallaştırma tekniği için  $d_{ijt}$  ile  $x_{jt}$  çarpımından gelen miktar  
d.d.=0

İlave parametre ve karar değişkenleri ile oluşturulan doğrusal programlama modeli için amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{En Büyük } z = & \sum_{i=1}^{12} \sum_{t=1}^{10} e_i x_{it} + \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{12} \sum_{t=1}^{10} m_{ij} e_i r_{ijt} + \\ & \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{12} \sum_{t=1}^{10} m_{ij} e_j f_{ijt} \end{aligned} \quad (5.22)$$

5.22 numaralı denklem doğrusal hale getirilen modelin amaç fonksiyonudur ve tedarik edilen projelerin etkinlik değerlerini en büyüklemektedir.

$$d_{ijt} \leq k_{it} \quad i = 1, \dots, 12 \quad j = 1, \dots, 12 \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.23)$$

$$d_{ijt} \leq k_{jt} \quad i = 1, \dots, 12 \quad j = 1, \dots, 12 \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.24)$$

$$d_{ijt} \geq k_{it} + k_{jt} - 1 \quad i = 1, \dots, 12 \quad j = 1, \dots, 12 \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.25)$$

5.23, 5.24 ve 5.25 numaralı kısıtlar, doğrusallaştırma tekniğinin uygulanabilmesi için kullanılmaktadır. Doğrusallaştırma tekniğinin uygulanabilmesi için ek bir değişken eklenerek ikili değişkenlerin çarpımı ile değiştirilmektedir. Böylece ikili değişkenlerin çarpımı yerine ek değişken kullanılmakta ve doğrusal programlama modelinin elde edilmesi sağlanmaktadır.

$$r_{ijt} \leq x_{it} \quad i = 1, \dots, 12 \quad j = 1, \dots, 12 \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.26)$$

$$r_{ijt} \leq u_t x_{d_{ijt}} \quad i = 1, \dots, 12 \quad j = 1, \dots, 12 \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.27)$$

$$r_{ijt} \geq x_{it} + u_t x_{(d_{ijt} - 1)} \quad i = 1, \dots, 12 \quad j = 1, \dots, 12 \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.28)$$

5.26, 5.27 ve 5.28 numaralı kısıtlar, doğrusallaştırma tekniğinin uygulanabilmesi için kullanılmaktadır. Sürekli ve ikili değişkenin çarpımı sonucu doğrusal olmayan programlama modeli ortaya çıkmaktadır. Doğrusallaştırma tekniğinin uygulanabilmesi için ek bir değişken eklenerek ikili ve sürekli değişken çarpımı ile değiştirilmektedir.

Böylece ek değişken kullanılmakta ve doğrusal programlama modelinin elde edilmesi sağlanmaktadır.

$$f_{ijt} \leq x_{jt} \quad i = 1, \dots, 12 \quad j = 1, \dots, 12 \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.29)$$

$$f_{ijt} \leq u_t d_{ijt} \quad i = 1, \dots, 12 \quad j = 1, \dots, 12 \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.30)$$

$$f_{ijt} \geq x_{jt} + u_t x (d_{ijt} - 1) \quad i = 1, \dots, 12 \quad j = 1, \dots, 12 \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.31)$$

5.29, 5.30 ve 5.31 numaralı kısıtlar, doğrusallaştırma tekniğinin uygulanabilmesi için kullanılmaktadır. Sürekli ve ikili değişkenin çarpımı sonucu doğrusal olmayan programlama modeli ortaya çıkmaktadır. Doğrusallaştırma tekniğinin uygulanabilmesi için ek bir değişken eklenerek ikili ve sürekli değişken çarpımı ile değiştirilmektedir. Böylece ek değişken kullanılmakta ve doğrusal programlama modelinin elde edilmesi sağlanmaktadır.

$$d_{ijt} \in \{0,1\} \quad i = 1, \dots, 12 \quad j = 1, \dots, 12 \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.32)$$

$$e_{ijt}, f_{ijt} \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad i = 1, \dots, 12 \quad j = 1, \dots, 12 \quad t = 1, \dots, 10 \quad (5.33)$$

5.32 numaralı kısıt karar değişkelerinin 0 veya 1 değeri alma zorunluluğunu, 5.33 numaralı kısıt ise karar değişkenlerinin pozitif ve tamsayı olma zorunluluğunu ifade eder.

Yukarıdaki tanımlamalar ve dönüşümler ışığında, bu tez çalışması kapsamında ele alınan savunma sanayi projelerinin seçimi ve planlaması problemi için optimal çözümü elde eden matematiksel model aşağıdaki gibidir.

*En Büyük* (5.22)

Kısıtlar: (5.2) – (5.12), (5.23) – (5.33)

### 5.3. Savunma Sanayi Projelerine Üzerine Örnek Bir Uygulama

Oluşturulan matematiksel modelin geçerliliğini test etmek için verileri jenerik olarak belirlenmiş bir test problemi oluşturulmuştur. Projelerin etkinlik skorlarını gösteren  $e_i$  değerleri ise Dupuy (1987), tarafından yapılan çalışmada yer alan TLI değerleri alınarak modele dâhil edilmiştir. G, toplam bütçe değeri 29000 olarak modele girilmiştir. Ayrıca, daha gerçekçi bir bütçe kısıtı oluşturmak için modelde kullanılan dönemlik bütçe parametresi Türkiye Cumhuriyeti'nin son 10 yıllık büyüme oranlarının ortalaması alınarak her dönemde arttırılmıştır.

Kurulan matematiksel model tedarik edilen miktar ile etkinlik değerinin çarpımı ile birbirini destekleyen projelerin ilave olarak getirdiği etkinlik değeri toplamını en büyüklerken dönemlere ait sâri bütçenin ve toplam bütçenin aşmasını da engeller. Ayrıca dönemlerde elde edilmesi gereken minimum etkinlik puanını sağlarken dönemlerde istenen miktardan az veya fazla projenin tedarik edilmesinin de önüne geçmektedir. Öte yandan model karar verici tarafından modele girilen hangi dönemde hangi projeden tedarik edilecek en küçük ve en büyük miktarlara göre optimal çözüm üretmektedir. Test probleminde kullanılan ve yukarıda açıklanan projelere ve dönemlere ait parametreler ve diğer parametreler Tablo 5.4'te özet halinde sunulmuştur.

**Tablo 5.4.** Projelere ve dönemlere ait parametreler

Proje No	$c_i$	$e_i$	Dönem No.	$k_t$	$l_t$	$b_t$	$d_t$
1	102	1533	1	2000	6600	10	100
2	86	1033	2	2200	6800	12	105
3	4	12	3	2400	7000	14	110
4	130	1767	4	2600	7200	16	115
5	96	1083	5	2800	7400	18	120
6	10	75	6	3000	7600	20	125
7	15	114	7	3200	7800	22	130
8	30	210	8	3400	8000	24	135
9	10	80	9	3600	8200	26	140
10	90	950	10	3800	8400	28	145
11	28	350					
12	20	280					

**Tablo 5.5.** Dönemlere bağlı tedarik edilmesi istenilen en az proje miktarları

$a_{it}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
10	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0



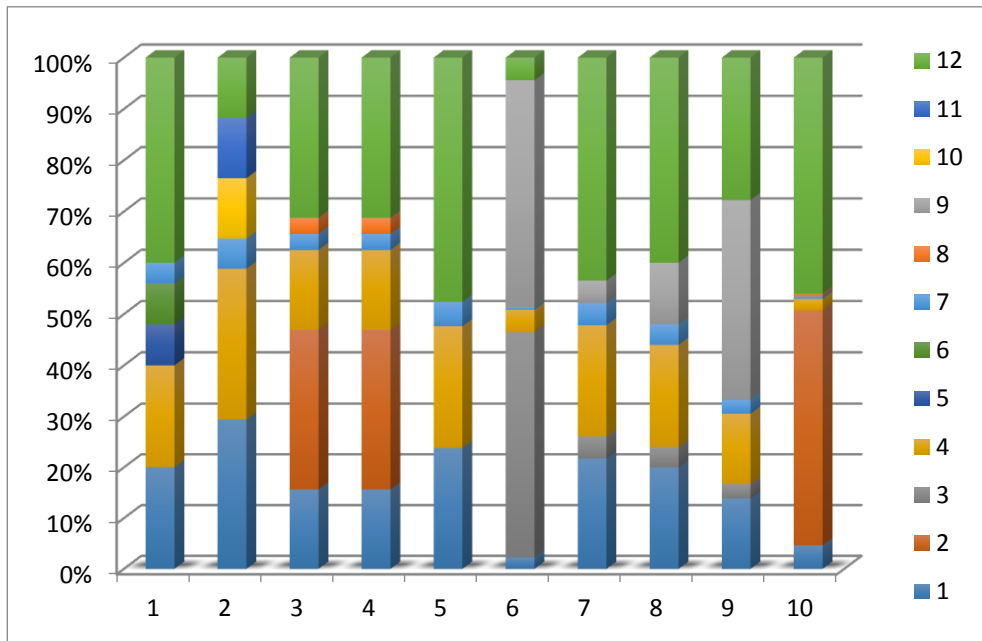
#### 5.4. Model Çözümü ve Bulgular

Yukarıda verilen parametreler ile matematiksel model GAMS 24.3 programında kodlanmış CPLEX 12.0 versiyonu ile i7 3.00 GHz işlemcili 16 GB RAM kapasiteli bir bilgisayarda çözülmüştür. Bunun sonucunda elde edilen hangi projelerden hangi dönemde ne miktarda çıktı gerçekleştirilmesi gerektiğini gösteren  $x_{it}$  karar değişkeninin değerleri Tablo 5.8’de gösterilmiştir.

**Tablo 5.8.** Projelerin dönemlik olarak tedarik miktarları

Projeler	Dönemler									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10
2			10	10						100
3						100	1	1	1	
4	5	5	5	5	5	10	5	5	5	5
5	2									
6	2									
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8			1	1						1
9						100	1	3	14	
10		2								
11		2								
12	10	2	10	10	10	10	10	10	10	100

Elde edilen  $x_{it}$  değerlerine göre yıllık yüzdesel olarak projelerin gerçekleştirilme oranına ait grafik Şekil 5.1’de verilmiştir.



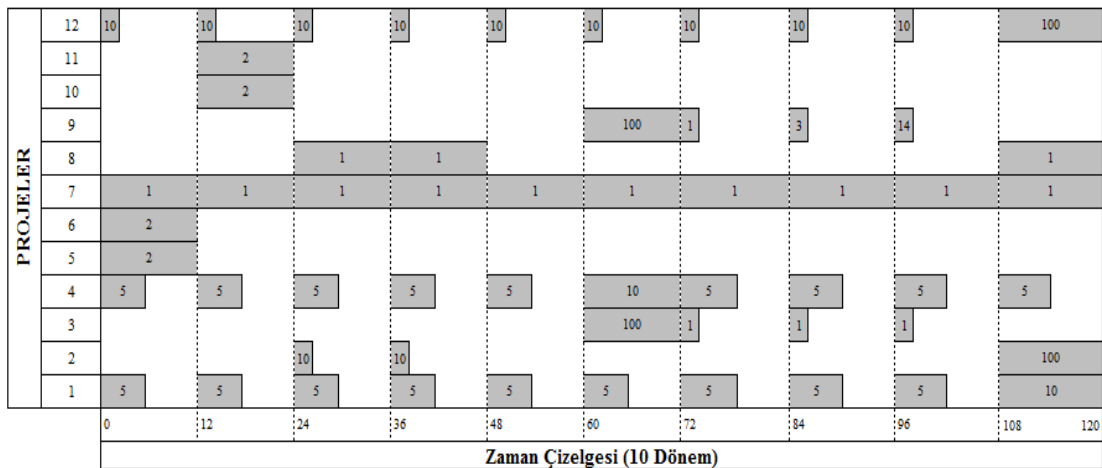
**Şekil 5.1.** Yıllık yüzdesel olarak projelerin gerçekleştirilme oranları

Birbirini destekleyen projelerin birlikte gerçekleştirilme durumlarında elde edilen ilave etkinlik değerleri ile toplam etkinliği en büyükleyen matematiksel model çözüldüğünde bu projelerin aynı dönemlerde tedarik edildiği Tablo 5.9'da görülmektedir.

**Tablo 5.9.** Birbirini destekleyen proje çiftlerinin aynı dönemlerde tedarik edilmesi

Etkileşimli Projeler	Dönemler									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2			10	10						100
8			1	1						1
3						100	1	1	1	
9						100	1	3	14	
4	5	5	5	5	5	10	5	5	5	5
12	10	2	10	10	10	10	10	10	10	100
5	2									
6	2									

Elde edilen çözüm incelendiğinde PPY kapsamında hangi projeden hangi dönemde hangi miktarda çıktı gerçekleştirilmesi gerektiğini gösteren  $x_{it}$  karar değişkeninin değerlerinin karar verici tarafından belirlenen kısıtlara uygun olarak belirlendiği ve toplam etkinlik değerini en büyükleyecek şekilde oluşturulduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca dönemlere ait bütçenin kullanılmayan kısmının diğer döneme aktarıldığı ve planlama ufkunun sonunda tüm bütçenin aşılmadan kullanılabilceği kadar ki kısmının kullanıldığı görülmüştür. Ulaşılan sonuçların daha ayrıntılı ele alınabilmesi için 120 ay (10 yıl) sürecini kapsayan proje gerçekleştirme planı Şekil 5.2'de sunulmuştur.



**Şekil 5.2.** 120 ay (10 yıl) kapsayan proje gerçekleştirme planı



PPY sürecinde oluşturulan gerçekleştirme planı incelendiğinde yıllara sâri bütçenin aşılardan gerçekleştirilecek olan savunma sanayi projelerinden elde edilecek etkinlik değerlerini en büyükleyecek şekilde oluşturulduğu gözlemlenmiştir. Oluşturulan PPY sürecinde projeler gösterilmiştir. Her bir projenin gerçekleştirme süresinin farklı olduğu göz önüne alındığında 120 aylık planlama ufkunda şekildeki gibi bir plan oluşmaktadır. Özellikle birbirini destekleyen projelerin aynı dönemler içinde tedarik edildiği görülmektedir.

Dönemlik olarak tedarik miktarları incelendiğinde en az istenen çıktılar sağlanmış ve en fazla gerçekleştirilmesi gereken miktar aşılammıştır. Projeler, eşgüdümlü bir şekilde yürütülerek 10 dönem boyunca tedarik planlaması yapılmıştır. Özellikle birbirini destekleyen projelerin aynı dönemlerde tedarik edildiği görülmektedir. Bu da projelerin o dönemlerde tedarik edilerek kullanılması durumunda performansı arttıracaktır. Özellikle ele alınan problemde, Planlama Programlama Bütçeleme Sistemi (PPBS) ile uzun vadeli planlamalarda büyüme oranında savunma sanayine ayrılan bütçenin artışı ile birlikte dönemlik olarak istenilen etkinlik miktarı arttırılarak kademeli ilerleme sağlanmıştır.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Savunma sanayinde ülkelerin stratejik hedef planına göre yürütülen projeler, yüksek bütçeli, yıllara sâri olarak uzun dönemde gerçekleşen, altyapı oluşturulması gereken, yapısı açısından diğer sektörlere göre birçok farklılıklar gösteren projelerdir. Projelerin birbirini takip etmesi, eş güdüm içerisinde yürütülmesi, uzun yıllara sâri olması, gayrisafî milli hasıladan önemli bir pay içermesi ve belirli oranda dönemlik kaynak tahsisi zorunluluğu gibi sebeplerden dolayı; PPY sürecinde projelerin seçilmesi, planlanması, tasarlanması, üretilmesi, geliştirilmesi hayati önem arz eden konular olarak görülmektedir. Bu süreçte özellikle planlama ufku süresince ülke güvenliğinin sağlanmasına yönelik gerçekleşmesi planlanan projelerden hangilerinin seçileceği ve seçilen projelerden elde edilecek çıktı miktarlarının ne olacağı karar vericileri en çok zorlayan aşama olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışmada bu kapsamda genel olarak karar vericilerin daha doğru kararlar vermesini sağlamak adına proje seçimi için bir doğrusal programlama modeli önerisi yapılmıştır. Oluşturulan model  $t$  dönemini kapsayan bir planlama ufku içerisinde  $i$  tane projeyi değerlendirerek hangi dönemde hangi projenin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği, gerçekleşmesi durumunda hangi miktarda çıktı elde edileceğini karar vericiye sunmaktadır.

PPY sürecinin en önemli aşaması her bir projede yer alan silah sistemlerine ilişkin Dupuy (1987) tarafından geliştirilen ve gerçek muharebe ortamında silah sistemlerinin etkinliğini gösteren TLI'den elde edilen etkinlik değerleri ile en yüksek etkinliğin elde edilmesidir. Bu sayede TLI'den elde edilen etkinlik değerleri ile projelerin ilişkileri kullanılarak bütünsel planlama yaklaşımı uygulanmıştır.

Savunma sanayinde yürütülen faaliyetler, son dönemdeki teknolojik gelişmelere paralel olarak ve yapısı gereği çok farklı karmaşık sistemlerden oluştuğu ve birden fazla projeyi kapsadığı için, bu projelerin bütüncül bir yapıda, eş güdümlü bir biçimde ve aynı sayıda çıktı sağlayacak şekilde gerçekleşmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada yazındaki çalışmalar incelendiğinde daha öncesinde bu konu ile karşılaşmadığı görülmüştür. Projelerin etkinlik değerleri ile birbirini destekleyen projelerin aynı dönem içerisinde gerçekleştirilmesi ve entegre şekilde kullanılarak ilave etkinlik değeri getirilerek en büyük etkinlik değerinin elde edilmesi sağlanarak çalışmamızda ilk kez ele alınmıştır.

Savunma sanayinde yürütülen projeler uzun vadeli olduğu ve çoğu zaman yıllara sâri olarak gerçekleşmesi gerektiği için bu projelere tahsis edilen yıllık başlangıç

bütçesine bir önceki yıldan devreden bütçede de ilave edilmektedir. Bu çalışmada da devirli bütçe yapısı göz önünde bulundurularak bu tür bütçe yapılarını daha iyi modelleyebilen kapsamlı optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, modelin toplam etkinliği en büyükmek için ilgili yıllara ait toplam (başlangıç ve devreden kısmı) bütçeyi etkin bir şekilde kullandığı, gerekli dönemlerde bütçenin belli bir kısmının diğer dönemlere aktararak toplam etkinliği daha fazla arttıracak projelere ilave kaynak tahsis imkânı sağladığı görülmektedir. Kısacası, geliştirilen bu model ile karar vericilerin vermesi gereken stratejik seviye kararlar için daha gerçekçi ve gerçek hayat problemlere çözüm önerisinde bulunan bir planlama ufku oluşturulmaktadır.

Geliştirilen model jenerik sayısal verilerle oluşturulan örnek test problemi üzerinde çalıştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde modelin karar vericinin isteklerini gerçekleştirecek şekilde esnek bir yapıda olduğu ve PPY kapsamında karar vericilere çok yönlü bakış açısı kazandırdığı düşünülebilir. Tüm bu çıkarımların sonunda geliştirilen modelin doğruluğunun ve geçerliliğinin jenerik verilerle oluşturulan test problemi ile kanıtlandığı değerlendirilmektedir.

Çalışmada elde edilen bulgular kullanılan parametrelerden elde edilen sonuçlar ile sınırlıdır. Modelde yer alan proje sayısı, projelerin etkinlik değerleri, yıllık istenilen etkinlik değerleri, her dönemde projeler için belirlenen maksimum ve minimum çıktı miktarları ve diğer karar vericinin belirleyebileceği parametrelerin değişmesi sonucu ulaşılan sonuçlarında değişeceği gerçeği göz önünde bulundurulmalıdır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda hedef programlama modeli geliştirilerek yıllara sâri bütçelerden ne kadar sapmalarla, belirlenecek olan hedef etkinlik değerlerine hangi oranda ulaşılabileceğine dair çalışmalar yapılabilir. Savunma sanayii projelerinde yer alan sistemlerin TLI değerleri ülkelerin jeopolitik risk durumu, teknolojik gelişim seviyesi, dünyadaki çatışma ortamı ve komşu ülkelerle olan ilişkiler vb. farklı boyutlar dikkate alınarak bu sistemlere ilişkin etkinlik değerleri yeniden hesaplanıp optimizasyon modeline dahil edilebilir. Ayrıca, yüksek enflasyonist bir ortamda bulunan ülkeler için ülkenin para birimi sürekli değer kaybetmesi nedeniyle devirli bütçede kullanımına yönelik olarak modele ilave kısıtlar dâhil edilebilir.

## KAYNAKLAR

- Akıncı, E. (2007). Türk Savunma Sanayiinde Teknoloji ve Strateji, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akkaya, İ. (2007). Gelişen Teknolojinin Türk savunma Sanayine ve Silahlı Kuvvetlerin Modernizasyonuna Olan Etkilerinin Ekonomik Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Asghari, M., Fathollahi-Fard, A. M., Mirzapour Al-e-hashem, S. M. J., & Dulebenets, M. A. (2022). Transformation and linearization techniques in optimization: A state-of-the-art survey. *Mathematics*, 10(2), 283.
- Asghari, M.; Mirzapour Al-e-hashem, S.M.J. A Green Delivery-Pickup Problem for Home Hemodialysis Machines; Sharing Economy in Distributing Scarce Resources. *Transp. Res. Part E* 2020, 134, 101815.
- Aslan, M. H. (1998). Hizmet Ekonomisi, İstanbul: Alfa Yayınevi.
- Aydın, Y., & Tamer, E. (2018). Hava savunma sanayii alt yüklenici seçiminde bulanık mantık altında çok kriterli karar verme ve hedef programlama yöntemlerinin kullanılması. *Journal of Aviation*, 2(1), 10-30.
- Badri, M. A., Davis, D., & Davis, D. (2001). A comprehensive 0–1 goal programming model for Project selection. *International Journal of Project Management*, 19(4), 243-252. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(99\)00078-2](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00078-2)
- Bahtiyar, B. (1989). Doğrusal Olmayan Programlama Modellerinden Quadratik Programlamanın Süt ve Süt ürünlerinin üretim Planlamasında Uygulanması (Doctoral dissertation, Bursa Uludag University (Turkey)).
- Bakır, M. A., Altunkaynak, B., Tamsayılı Programlama Teorisi, Modeller ve Algoritmalar, Nobel Yayınevi, Ankara, 2003.
- Bertsimas, D.; Dunn, J.; Wang, Y. Near-optimal nonlinear regression trees. *Oper. Res. Lett.* 2021, 49, 201–206.
- Bhattacharyya, R., Kumar, P., & Kar, S. (2011). Fuzzy R&D portfolio selection of interdependent projects. *Computers & Mathematics with Applications*, 62(10), 3857-3870. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2011.09.036>
- Binay S., Aygüneş H., Çetin A., Oral H., Güneri A. F., Dalgıç N., "Yöneylem Araştırması", Kâra Harp Okulu Basımevi, Ankara, 2001.
- Bradley, S.P.; Hax, A.C.; Magnanti, T.L. *Applied Mathematical Programming*; Addison-Wesley: Reading, MA, USA, 1977.
- Brown, G. G., Dell, R. F., & Newman, A. M. (2004). Optimizing military capital planning. *Interfaces*, 34(6), 415-425.
- Cameron, S.H. Piece-wise linear approximations. In Technical Report CSTN-106; Computer Science Division, IIT Research Institute: Chicago, IL, USA, 1966.

- Chen, H., Li, X. Y., Lu, X. R., Sheng, N., Zhou, W., Geng, H. P., & Yu, S. (2021). A multi-objective optimization approach for the selection of overseas oil projects. *Computers & Industrial Engineering*, 151, 106977. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106977>
- Chu, P. Y., Hsu, Y. L., & Fehling, M. (1996). A decision support system for project portfolio selection. *Computer in Industry*, 32(2), 141–149. [https://doi.org/10.1016/S0166-3615\(96\)00067-X](https://doi.org/10.1016/S0166-3615(96)00067-X)
- Co, H. C., & Chew, K. S. (1997). Performance and R&D expenditures in American and Japanese manufacturing firms. *International Journal of Production Research*, 35(12), 3333-3348.
- Coşkun, O. ve Ekmekçi, İ. (2012). Bir İnşaat Projesinin Evreleri İle Zaman Ve Maliyet Analizinin Proje Yönetim Teknikleri Vasıtasıyla İncelenmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (20): 39-53.
- Çelikoğlu, C. C., & Moralı, N. (2001). Proje Seçimi ve Kaynak Planlaması İçin Bir Algoritma.
- Dabağır, C. (2005). Savunma Sanayiinin Durumu ve Dışa Bağımlılığın Azaltılması Yönünde Uygulaması Gereken Stratejiler ve Özel Sektörün Bu Konudaki Katkılarının İncelenmesi, Harp Akademileri Komutanlığı Stratejik Araştırmalar Enstitüsü Savunma Kaynakları Yönetimi Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Devlet Planlama Teşkilatı. (2000). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Makine İmalat Sanayii Özel İhtisas Komisyon Raporu, DPT : 2536-ÖİK: 552.
- Devore, MR (2014). Defying convergence: Globalisation and varieties of defence-industrial capitalism. *New Political Economy*, 20(4), 569–593.
- Doğan, İ., “Yöneylem Araştırması Teknikleri ve İşletme Uygulamaları”, Bilim Teknik Yayınevi, 1995.
- Doganli, B. (2006). Tamsayili Programlama Yönteminin Sermaye Bütçelemesi Konusuna Uygulanması ve Bir Tekstil İşletmesi Uygulanması. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (29).
- Dulebenets, M.A. Advantages and disadvantages from enforcing emission restrictions within emission control areas. *Marit. Bus. Rev.* 2016, 1, 107–132.
- Dupuy, T. N. (1987). *Understanding War: History and Theory of Combat*. Paragon House.
- Ersöz, F., & Kabak, M. (2010). Savunma sanayi uygulamalarında çok kriterli karar verme yöntemlerinin literatür araştırması. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 9(1), 97-125.
- Ertekin, Ş. (2020). "Savunma Harcamalarının Bütçe Açıkları Üzerindeki Etkisi: Seçilmiş Oecd Ülkeleri Üzerine Panel Veri Analizi" *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (41),460-474.

- Frederiksen ve Looney (1983) Frederiksen, PC & Looney, RE (1983). Defense expenditures and economic growth in developing countries. *Armed Forces & Society*, 9(4), 633-645. <https://doi.org/10.1177/0095327X8300900406>
- Gansler, Jacques. *Affording Defense*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts and London, 1989.
- Ghasemzadeh, F., Archer, N. P., & Iyogun, P. (1999). A zero-one model for project portfolio selection and scheduling. *Journal of Operational Research Society*, 50(7), 745–755.
- Gholz, E., & Sapolsky, H. M. (1999). Restructuring the US defense industry. *International security*, 24(3), 5-51.
- Graves, S. B., & Langowitz, N. S. (1996). R&D productivity: a global multi-industry comparison. *Technological Forecasting and Social Change*, 53(2), 125-137.
- Golabi, K., Kirkwood, C. W., & Sicherman, A. (1981). Selecting a portfolio of solar energy Project susing multiattribute preference theory. *Management Science*, 27(2), 174-189. <https://doi.org/10.1287/mnsc.27.2.174>
- Guo, Y., Wang, L., Li, S., Chen, Z., & Cheng, Y. (2018). Balancing strategic contributions and financial returns: a project portfolio selection model under uncertainty. *Soft Computing*, 22(16), 5547- 5559. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3294-7>
- Gümüşdaş, E. (2010). “Türkiye’de Savunma Sanayii ve Savunma Harcamalarının Ekonomideki Yeri”, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi.
- Hewitt, D. (1992). Military Expenditures Worldwide: Determinants and Trends 1972-1988. *Journal of Public Policy*, 105-152.
- Isikli, E., Yanik, S., Cevikcan, E., & Ustundag, A. (2018). Project portfolio selection for the digital transformation era. In *Industry 4.0: Managing the digital transformation*, 105-121, Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_6)
- Kaplan, S. (2007). Hava savunma sektörü tezgah yatırım projelerinin bulanık AHP ile değerlendirilmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Kaplan, S., & Arikan, F. (2012). Hava Savunma Sektörü Tezgah Yatırım Projelerinin Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi İle Değerlendirilmesi. *Journal Of Aeronautics & Space Technologies/Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 5(3).
- Kapletia, D., & Probert, D. (2010). Migrating from products to solutions: An exploration of system support in the UK defense industry. *Industrial Marketing Management*, 39(4), 582-592.
- Karagol, E., & Palaz, S. (2004). Does defence expenditure deter economic growth in Turkey? A cointegration analysis. *Defence and Peace Economics*, 15(3), 289-298.

- Karakaya, C. ve Şahinoğlu, T. (2020). Savunma Harcamaları ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Örneği. *Business and Economics Research Journal*, 11(2), 335-351.
- Karakuş, A. (2006). Türk Savunma Sanayinin Gelişimi, Türkiye'nin Savunma Harcamalarının Boyutları ve Bazı NATO Ülkeleri İle Karşılaştırmalı Ekonometrik Analizi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Harekat Araştırması Ana Bilim Dalı.
- Karaman, B., & Çerçioğlu, H. (2015). 0-1 hedef programlama destekli bütünleşik ahp-vikor yöntemi: hastane yatırımı projeleri seçimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(4).
- Karan, B. (1997), "Türk Savunma Sanayinin Mevcut Durumu ve Geleceğe Yönelik İhtiyaçları", Savunma Sanayiindeki Teknolojik Gelişmeler Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Cilt 1, 5-6 Haziran 1997, KHO Öğretim Başkanlığı, Teknik Bilimler Bölümü, Ankara, s. xvii.
- Kaya, S.K. (1995). Savunma Sanayiinde Ar-Ge Faaliyetlerinin Önemi, İnci Sistem Mühendisliği ve Savunma Uygulamaları Sempozyumu, Ankara, 12-13 Ekim.
- Keçek, G. (2005). Bir dişli fabrikasında tamsayılı hedef programlama uygulama denemesi.
- Khalili-Damghani, K., Nojavan, M., & Tavana, M. (2013). Solving fuzzy Multidimensional Multiple Choice Knapsack Problems: The multi-start Partial Bound Enumeration method versus the efficient epsilon-constraint method. *Applied Soft Computing*, 13(4), 1627-1638. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2013.01.014>
- Khalili-Damghani, K., Sadi-Nezhad, S., & Tavana, M. (2013). Solving multi-period project selection problems with fuzzy goal programming based on TOPSIS and a fuzzy preference relation. *Information Sciences*, 252, 42-61. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2013.05.00526>
- Khorranshahgole, R., & Steiner, H. M. (1998). Resource analysis in Project evaluation, a multicriteria approach. *Journal of Operational Research Society*, 95(2), 795-803. <https://doi.org/10.1057/jors.1998.139>
- Kırmızı, M. (2016). Proje Yönetim Metodolojileri ve Örnek Bir ERP Proje Yönetimi Metodolojisinin Değerlendirilmesi. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14370.32961>
- Kocakulak, M. (1997). Proje yönetim danışmanlığı yapan firma bakışıyla proje yönetim sistemi ve uygulama örneği, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, FBE, İstanbul, 1997, S.4,9,10,13.
- Köseoğlu, A.M. (2010). Milli Savunma Sanayiinde Yeniden Yapılanma ve Sosyal Politikalara Etkisi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
- Kwak, Y. H., & Ibbs, C. W. (2002). Project Management Process Maturity (PM) 2 Model. *Journal Of Management In Engineering*, 18(3), 150-155.

- Lee, J. W., & Kim, S. H. (2000). Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection. *Computers & Operations Research*, 27(4), 367-382. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(99\)00057-X](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(99)00057-X)
- Lee, J. G., & Park, M. J. (2020). Evaluation of technological competence and operations efficiency in the defense industry: The strategic planning of South Korea. *Evaluation and program planning*, 79, 101775.
- Liu, S. S., & Wang, C. J. (2011). Optimizing project selection and scheduling problems with time-dependent resource constraints. *Automation in Construction*, 20(8), 1110-1119.
- Mavrotas, G., Diakoulaki, D., & Kourentzis, A. (2008). Selection among ranked projects under segmentation, policy and logical constraints. *European Journal of Operational Research*, 187(1), 177-192. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.03.010>
- McCarl A. B., ve Spreen T. H., "Operations Research", Academia Press, Washington, 1997.
- Mehrez, A., & Sinuany-Stern, Z. (1983). An interactive approach to project selection. *Journal of Operational Research Society*, 34, 621-626. <https://doi.org/10.1057/jors.1983.143>
- Mojtahedi, M.; Fathollahi-Fard, A.M.; Tavakkoli-Moghaddam, R.; Newton, S. Sustainable vehicle routing problem for coordinated solid waste management. *J. Ind. Inf. Integr.* 2021, 23, 100220.
- Mowery, D. C. (2012). Defense-related R&D as a model for "Grand Challenges" technology policies. *Research Policy*, 41(10), 1703-1715.
- Munns, A. K., & Bjeirmi, B. F. (1996). The role of project management in achieving project success. *International journal of project management*, 14(2), 81-87.
- Negrello, C.; Gosselet, P.; Rey, C. Nonlinearly Preconditioned FETI Solver for Substructured Formulations of Nonlinear Problems. *Mathematics* 2021, 9, 3165.
- Newman, A. M., Brown, G. G., Dell, R. F., Giddings, A., & Rosenthal, R. E. (2000). An integer-linear program to plan procurement and deployment of space and missile assets. Naval Postgraduate School Monterey Ca Dept Of Operations Research.
- Newton, R. (2010). *Project Management Step by Step*. Optimist: İstanbul
- Nikou, C., & Moschuris, S. J. (2016). An integrated approach for supplier selection in military critical application items. *Journal of Public Procurement*.
- Özkan, Ş., *Yöneylem Araştırması*, Atatürk Ün. İ.İ.B.F., Z.F. Fındıkoğlu Araştırma Merkezi Yayınları, Yayın No:210, Erzurum, 1998.
- Öztürk, A., "Yöneylem Araştırması", Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa, 1994 Basımı. "Yöneylem Araştırması", Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa.



- Padhy, R. (2017). Six Sigma project selections: a critical review. *International Journal of Lean Six Sigma*. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2016-0025>
- Padhy, R. K., & Sahu, S. (2011). A Real Option based Six Sigma project evaluation and selection model. *International Journal of Project Management*, 29(8), 1091-1102. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.01.011>
- Pasha, J.; Dulebenets, M.A.; Kavooosi, M.; Abioye, O.F.; Theophilus, O.; Wang, H.; Kampmann, R.; Guo, W. Holistic tactical-level planning in liner shipping: An exact optimization approach. *J. Shipp. Trade* 2020, 5, 8.
- Pauer, G.; Török, Á. Binary integer modeling of the traffic flow optimization problem, in the case of an autonomous transportation system. *Oper. Res. Lett.* 2021, 49, 136–143.
- Pecht, E., & Tishler, A. (2015). The value of military intelligence. *Defence and Peace Economics*, 26(2), 179-211.
- Perez, F., & Gomez, T. (2016). Multiobjective project portfolio selection with fuzzy constraints. *Annals of Operations Research*, 245(1), 7-29. <https://doi.org/10.1007/s10479-014-1556-z>
- Perez, F., Gomez, T., Caballero, R., & Liern, V. (2018). Project portfolio selection and planning with fuzzy constraints. *Technological Forecasting and Social Change*, 131, 117-129. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.07.012>
- Planview, (2019), Project Portfolio Management Defined, Accessed April 7 2022. <https://www.planview.com/resources/articles/project-portfolio-management-defined/>
- PMI-EF. (2013). Project management toolkit for youth. Project Management Institute, Newtown Square, USA.
- Proje Yönetimi Bilgi Birikim Kılavuzu (PMBOK Kılavuzu). Pennsylvania : Project Management Institute, 2013. ISBN: 978-605-88947-2-3.
- Rad, F. P. (2002). Project estimating and cost management. USA: Management Concepts Inc.
- Rahil, A. Linearization of Mixed Integer Programming. 2012. Available online: [www.iems.ucf.edu/qzheng/grpmbtr/seminar/Anees\\_Linear\\_General\\_Slides.pdf](http://www.iems.ucf.edu/qzheng/grpmbtr/seminar/Anees_Linear_General_Slides.pdf)
- Ralphs T., (2005). “Discrete Optimization”, <http://www.leigh.edu/~tkr2>, son erişim tarihi: Nisan.
- Rogerson, W. P. (1994). Economic incentives and the defense procurement process. *Journal of Economic Perspectives*, 8(4), 65-90.
- Sanjeeb, D., “IBM Research Report, Exponential Lower Bounds on the Lengths of Some Classes of Branch-and- Cut Proofs”, Newyork, 2002.

- Şimşek, G. (1997). “Savunma Sanayii Politikası ve Stratejisi”, Savunma Sanayiindeki Teknolojik Gelişmeler Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. xi, Ankara: KHO Öğretim Başkanlığı, Teknik Bilimler Bölümü.
- Takami, M. A., Sheikh, R., & Sana, S. S. (2018). A Hesitant Fuzzy Set Theory Based Approach for Project Portfolio Selection with Interactions under Uncertainty. *J. Inf. Sci. Eng.*, 34(1), 65-79. <https://doi.org/10.6688/JISE.2018.34.1.5>
- Tavana, M., Keramatpour, M., Santos-Arteaga, F. J., & Ghorbaniane, E. (2015). A fuzzy hybrid Project portfolio selection method using data envelopment analysis, TOPSIS and integer programming. *Expert Systems with Applications*, 42(22), 8432-8444. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.06.057>
- Tavana, M., Khosrojerdi, G., Mina, H., & Rahman, A. (2019). A hybrid mathematical programming model for optimal project portfolio selection using fuzzy inference system and analytic hierarchy process. *Evaluation and Program Planning*, 77, 101703. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2019.101703>
- Tavana, M., Khosrojerdi, G., Mina, H., & Rahman, A. (2020). A new dynamic two-stage mathematical programming model under uncertainty for project evaluation and selection. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106795. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106795>
- Teyyar T. , İ., “Tamsayılı Programlama ve Lastik Sanayii Üzerine Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 1996.
- Tulunay, Y., “Matematiksel Programlama ve İşletme Uygulamaları”, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayınları, No:108, İstanbul, 1980.
- TÜBİTAK (1998). Savunma Sanayii ve Tedarik, Ülkemizin Bilim ve Teknoloji Yeteneğinin Yükseltilmesini Esas Alan Bir Yaklaşım (1998), Bilim ve Teknoloji Strateji ve Politika Çalışmaları TÜBİTAK BTP 98/01 Ocak 1998.
- Tüğen, K. (1988). Dünyada ve Türkiye’de Savunma Harcamalarındaki Gelişmeler ve Ekonomik Etkileri. *Dokuz Eylül Üniversitesi İİBF Dergisi*, 3(2), 285-302.
- Uçakcıoğlu, B., & Eren, T. (2017). Hava savunma sanayinde yatırım projelerinin çok ölçütlü karar verme ve hedef programlama ile seçimi. *Journal of Aviation*, 1(2), 39-63.
- Uslu, F. Ş. (2007). Türkiye’de Savunma Harcamalarının Finansmanı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı.
- Yücel. H, (1997). “Bilim-Teknoloji Politikaları ve 21. Yüzyıl Toplumu”, DPT Sosyal Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 127s. <http://ekutup.dpt.gov.tr/bilim/yucelih/biltek.pdf> (10.10.2005)
- Winston, W. L. “Operations Research”, Wadsworth Publishing Company, Belmont, California, 1994.
- Wolsey, L.A. Strong formulations for mixed integer programming: A survey. *Math. Program.* 1989, 45, 173–191.

- Zaim, M. (2006). "Politikalardan Projelere: Savunma Sanayinde Stratejik Yönetim Sistemi Gereksinimi" SAVTEK 2006, Savunma Teknolojileri Kongresi 29-30 Haziran 2006, ODTÜ, Ankara
- Zanakis, S. H., Mandakovic, T., Gupta, S. K., Sahay, S., & Hong, S. (1995). A review of program evaluation and fund allocation methods within the service and government sectors. *Socio662 Economic Planning Sciences*, 29(1), 59-79. [https://doi.org/10.1016/0038-0121\(95\)98607-W](https://doi.org/10.1016/0038-0121(95)98607-W)
- Ziylan, A. (1997), 5-6 Haziran "Savunma Sanayiinin Gelişmesinde Dünyadan Örnekler ve Türkiye", Savunma Sanayiindeki Teknolojik Gelişmeler Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Cilt 1, 5-6 Haziran 1997, KHO Öğretim Başkanlığı, Teknik Bilimler Bölümü, Ankara, s. 4.
- Zhang, W., Hill, A. V., Schroeder, R. G., & Linderman, K. W. (2008). Project management infrastructure: The key to operational performance improvement. *Operations Management Research*, 1(1), 40-52. <https://doi.org/10.1007/s12063-008-0008-9>
- Zülfüoğlu, Ö. (2021). Savunma harcamaları ekonomik büyüme ilişkisi: OECD ülkeleri üzerine bir inceleme. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 30(2), 139-153.