

T.C
İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

SİLAH HEDEF ATAMA PROBLEMLERİ ÇÖZÜMÜNDE YENİ
BİR OPTİMİZASYON MODELİ

Yüksek Lisans Tezi

HİLAL YILMAZ

TEMMUZ 2022

T.C
İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

SİLAH HEDEF ATAMA PROBLEMLERİ ÇÖZÜMÜNDE YENİ
BİR OPTİMİZASYON MODELİ

Yüksek Lisans Tezi

HİLAL YILMAZ

DANIŞMAN

DOÇ. DR. MEHMET FATİH HOCAOĞLU

TEMMUZ 2022

BİLDİRİM

Hazırladığım tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığımı ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt ederim.

Hilal YILMAZ

Danışmanlığını yaptığım işbu tezin tamamen öğrencinin çalışması olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığımı taahhüt ederim.

Doç. Dr. Mehmet Fatih HOCAOĞLU

İMZA SAYFASI

Hilal YILMAZ tarafından hazırlanan ‘Silah Hedef Atama Problemleri Çözümünde Yeni Bir Optimizasyon Modeli’ başlıklı bu yüksek lisans tezi, Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalında hazırlanmış ve jürimiz tarafından kabul edilmiştir.

JÜRİ ÜYELERİ

İMZA

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mehmet Fatih HOCAOĞLU

.....

Kurumu: İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Üyeler:

Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Raşit CESUR

.....

Kurumu: İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Doç. Dr. Gökay AKKAYA

.....

Kurumu: Atatürk Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 04/08/2022

ÖNSÖZ

Silah hedef atama problemleri çözümü için çok amaçlı, angajman süreleri ve güvenlik menzili kriterlerinin de olduğu bir optimizasyon modeli geliştirilip, en kısa sürede en uygun çözüme ulaşma hedeflenerek bu çalışma oluşturulmuştur.

Bu çalışmanın gerçekleşmesindeki katkı ve desteklerinden dolayı danışman hocam Doç. Dr. Mehmet Fatih HOCAOĞLU'na teşekkür ederim.

Her zaman destekleri ile yanımda olan aileme de teşekkürlerimi sunarım.

Hilal YILMAZ

İstanbul, 2022

ÖZET
SİLAH HEDEF ATAMA PROBLEMLERİ ÇÖZÜMÜNDE YENİ BİR
OPTİMİZASYON MODELİ

YILMAZ, Hilal

Yüksek Lisans Tezi, Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mehmet Fatih HOCAOĞLU

Temmuz, 2022. 55 Sayfa.

Gelişen teknolojiler ile silah hedef atama problemleri için yeni yaklaşımlar oluşturularak en iyi sonuca ulaşılmaya çalışılmaktadır. Karar verme süreçleri bu süreçte büyük önem arz etmektedir. Silah atama problemlerinde çözüm yöntemleri; hedefin çeşidi ve miktarı, fırlatma yeri ve zamanı, isabet oranı, önleyici durum, angajman durumu gibi değişken kriterlere göre belirlenmektedir.

Bu çalışmada, optimum silah atamalarını hesaplamak için bir doğrusal olmayan çok amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirilerek belirlenen hedeflere en kısa sürede, en uygun füze sayısı ile verilecek zararın en fazla, varlıkların savunmasında ise verilecek kayıpların en az olmasını hedefleyen en iyi silah atamasının oluşturulması amaçlanmaktadır. Angajmanlar arası geçiş süreleri, güvenli mesafe, hedef mesafesine ve mühimmat tipine göre öldürücülük oranı parametrelerinin de çözüme katılarak, gerçek dünya problemine en yakın, en iyi çözümü ve uygulanabilir sonuçları veren, daha güvenilir sonuçların elde edildiği bir çözüm yönteminin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Çoklu amaç fonksiyonları, angajmanlar arasındaki süreyi bir gezgin satıcı problemine dönüştürerek normalize eden ve problemler birlikte optimize eden bir yöntem geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok Amaçlı Programlama, Doğrusal Olmayan Programlama, Silah Hedef Atama Problemi, Normalizasyon

ABSTRACT

A NEW OPTIMIZATION MODEL IN SOLUTION OF WEAPON TARGET ASSIGNMENT PROBLEMS

YILMAZ, Hilal

Master's Thesis, Department of Engineering Management

Advisor: Assoc. Prof. Mehmet Fatih HOCAOĞLU

July 2022. 55 Pages.

With the advance of technology, new solutions to the issue of weapon target allocation are developed, and the best results are sought after. Processes for making decisions are crucial to this process. The type and amount of the target, the position and time of launch, the hit rate, the preventive situation, and the engagement status are all variables in the methodologies used to solve weapon allocation problems.

The purpose of this study is to develop a non-linear multi-objective optimization model to determine the best weapon target assignments and to build the best weapon assignment that aims to minimize damage to the selected targets in the shortest amount of time, with the most appropriate number of missiles, and to minimize losses in the defense of assets. By including the characteristics of transition durations between engagements, safe distance, target distance and lethality rate according to the ammunition type, it is intended to produce a solution approach that offers the best, most applicable outcomes to the real-world situation. A method has been developed that normalizes the multi-objective functions by transforming the time between engagements into a traveling salesman problem and optimizes the problems together.

Keywords: Multi-Objective Programming, Nonlinear Programming, Weapon Target Allocation Problem, Normalization

İÇİNDEKİLER

BİLDİRİM	i
İMZA SAYFASI	ii
ÖNSÖZ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın İçeriği	1
1.2 Silah Hedef Atama Problemi	2
BÖLÜM 2	6
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	6
BÖLÜM 3	12
3.1 PROBLEMİN TANIMI	12
3.1.1 Hedef Tespiti	13
3.1.2 Tehdit Değerlendirmesi	13
3.1.3 Silah Ataması	14
3.2 Silah Hedef Atama Modeli	15
3.2.1 Matematiksel Model	16
3.2.2 Modelde Problem Oluşturma ve Çözümü	21
BÖLÜM 4	43
SONUÇ ve DEĞERLENDİRME	43
KAYNAKÇA	45
Ek 1: Rassal Problem Üretme Kodu	48

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Hedeflerin Setup Süreleri.....	22
Tablo 2. Problem Çözümleri Değer Tablosu.....	30



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Örnek Problemlerdeki Silah, Hedef, Güvenlik Menzili ve Füze Hızı Miktarları	31
Şekil 2. Problemlerin Pk Değerleri	32
Şekil 3. Problemlerin Stp ve Gsp Değerleri.....	33
Şekil 4. Problemlerin Çözüm Süreleri	34
Şekil 5. Örnek Problemlerin Sonuca Ulaştığı Toplam Çözüm Adımları.....	35
Şekil 6. Toplam Değişken Sayıları	36
Şekil 7. Kısıt Sayıları	37
Şekil 8. Sıfırdan Farklı Değişkenler.....	38
Şekil 9. Pk ve Çözüm Süresi Korelasyon Grafiği	39
Şekil 10. STP ve Çözüm Süresi Korelasyon Grafiği	39
Şekil 11. GSP ve Çözüm Süresi Korelasyon Grafiği	40
Şekil 12. Çözüm Adımı ve Çözüm Süresi Korelasyon Grafiği	40
Şekil 13. Toplam Değişken Sayısı ve Çözüm Süresi Korelasyon Grafiği	41
Şekil 14. Toplam Kısıt Sayısı ve Çözüm Süresi Korelasyon Grafiği	41
Şekil 15. Toplam Sıfırdan Farklı Değişken ve Çözüm Süresi Korelasyon Grafiği	42

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Çalışmanın İçeriği

Günümüze değin süre gelen savaş olgusunun başlangıcı insanoğlunun varlığına dayanmaktadır. İlk çağlardan beri yaşanan savaşlar, ülkelerin güvenliği için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Her dönemde devletlerin güvenlik arayışları artarak sürmektedir. İlk zamanlarda basit silahlar kullanılırken, düzenli ordularla birlikte yeni silah arayışları da artmıştır. Silah teknolojilerindeki ilerlemelere paralel olarak silahlara karşı savunma sistemleri de geliştirilmektedir. Savunma sistemleri ülkeler için stratejik öneme sahip olup, devletlerin savunma sanayisine yaptıkları yatırımlar da artmaktadır. İkinci dünya savaşı, uzun menzilli toplardan artık roketlere ve füzelere geçiş dönemini açmış ve bunun bir sonucu olarak da hava savunma sistemleri ihtiyacı doğmuştur.

Gelişen teknolojiler ile silah atama problemleri için yeni yaklaşımlar oluşturularak en iyi sonuca ulaşılmaya çalışılmaktadır. Karar verme süreçleri bu süreçte büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, optimum silah hedef atamalarını hesaplamak için bir doğrusal olmayan çok amaçlı, dinamik bir optimizasyon modeli geliştirilerek optimum sürede, belirlenen hedeflere optimum füze sayısı ile verilecek zararın en fazla, varlıkların savunmasında ise verilecek kayıpların en az olmasını hedefleyen en iyi silah atamasının oluşturulması amaçlanmaktadır. Mevcut çalışmalarda angajman kuralları büyük kısıt oluşturmaktadır. Diğer çalışmalardan farklı olarak angajmanlar arası geçiş sürelerini de dikkate alarak bir hesaplama oluşturulması hedeflenmiştir.

Bu çalışma dört bölümden oluşmaktadır; İlk bölümde çalışma hakkında ve silah hedef atama problemleri hakkında genel bilgiler yer almaktadır. İkinci bölümde literatürde silah hedef atama problemleri için yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir. Üçüncü bölümde problemin tanımı yapılarak, belirlenen kısıtlar çerçevesinde optimum değerlerle bir model oluşturulup, hesaplamalar yapılarak hedeflenen çözüme ulaşılabilecektir. Son bölümde ise tüm çalışma değerlendirilerek elde edilen sonuçlar açıklanacaktır.

1.2 Silah Hedef Atama Problemi

Silah hedef atama problemleri, belirlenen hedeflere en az sayıdaki silah ile en fazla hasar vermeyi, savunulan öz varlıkların ise hasar oranını en aza indirmeyi amaçlayan bir yaklaşımdır. Hedefi vurma olasılığı yüksek, hayatta kalma olasılığı düşük sistemlerin oluşturulması için çözüm yöntemleri geliştirilmektedir. Var olan silahları, verimli bir şekilde hedeflere atama yaparak, hedefe verilebilecek zararı en yüksek şekilde olması amaçlanır (Manne, 1958)

Silah hedef atama problemleri, dinamik ve statik yapı olarak sınıflandırılmıştır (Patrick ve Michael, 1990). Dinamik yaklaşım, statik yaklaşıma göre daha etkili ve verimli çözüm yöntemi sunmaktadır (Chusilp, Charubhun ve Koanantachai, 2014).

Statik problemlerde, silahların hedeflere atanması tek aşamada gerçekleşmekte olup. problemin tüm değişkenleri önceden bilinmektedir. Statik çözümlerdeki amaç geçici bir savunma için en uygun atamanın belirlenmesidir. Bu problemlerde silah ve hedeflerin zamansal özellikleri önemli değildir.

Hedefin zaman penceresi, hedefin kendisine saldırabilecek bir silahla karşılaşabilme süresidir. Silahın zaman penceresi, hedefin silah tarafından belirlenip, vurulana kadar geçen en az süredir.

Dinamik problemler, statik problemlere göre daha karmaşık yapıda olup çok aşamalıdır. Zaman pencereleri ise silahların aşamalarda kullanımını kısıtlamaktadır. Problemler çok aşamalı katmanlardan oluşmaktadır. Silahlar belirli aşamada hedeflere atanarak, elde edilen sonuçlara göre angajman stratejisi belirlenmektedir. Dinamik çözümün amacı ise, savunma boyunca silahların angajman durumu değerlendirilerek en iyi atamanın belirlenmesidir. Dinamik problemlerin sahip olduğu yetenek, strateji, kaynak ve katılım fizibilite kısıtlamaları problemin karmaşık ve kısıtlı yapıda olmasını sağlamaktadır. Dinamik problemler, gerçek zamanda yaşanacak durumu daha iyi yansıttığından, sonuçların gerçeğe yakın optimum değerlerde çıkması beklenir.

Problem çözümünde doğrusal programlama, doğrusal olmayan programlama ve sezgisel yöntemler kullanılır.

İlk çalışmalarda statik problemler için doğrusal programlama çözümleri ile küçük kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Hedefe yönelik olarak başlayan problemlere, daha sonra kapsama varlık da eklenerek geliştirilmeye devam etmiştir. Kapsamın genişlemesiyle birlikte doğrusal olmayan çözümler denenmeye başlanmıştır.

Problemin kapsamı genişledikçe, karar verme aşamaları da artmaktadır. Günümüze kadar birçok farklı çözüm yöntemleri geliştirilmiştir ancak kesin bir çözüm yöntemi bulunmamaktadır. Geliştirilen yöntemlerde çeşitli algoritmalar kullanılmaktadır. Problemin kapsamı bakımından daha çok meta sezgisel yöntemler tercih edilmektedir. Geliştirilen çözümler, küçük ölçekli problemlerde başarı sağlasa da geniş kapsamlı problemlerde çözüme ulaşmanın uzun zaman alması ve istenen en iyi çözüme ulaşmayı başaramaması, silah atama problemlerinde karşılaşılan sorunlardır.

Silah hedef atama problemlerinde çözüm yöntemleri; hedefin çeşidi ve miktarı, fırlatma yeri ve zamanı, isabet oranı, önleyici durum, angajman durumu gibi değişken kriterlere göre belirlenmektedir.

Hedefe Yönelik Yaklaşım

Hedefe yönelik yaklaşımda, hedeflere verilecek zararın en fazla olması amaçlanarak hedeflere silahların ataması yapılır. Yüksek öncelikli hedefleri olabildiğince imha etmeye çalışır. Denklem 1.1'de hedefe verilecek zararda, hayatta kalmanın en az olması istenerek, amaç fonksiyonu minimizasyon olarak oluşturulmuştur (Ghanbari, Mohammadnia, Sadatinejad ve Alaei, 2021).

$$\min \sum_{j=1}^n V_j \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{x_{ij}} \quad (1.1)$$

Kısıt:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad (1.2)$$

$$j = 1, \dots, n \quad x_{ij} = 0,1 \quad (1.3)$$

Parametreler:

n : hedef

m : silah

V_j : j hedefinin değeri

p_{ij} : i silahının j hedefini öldürme olasılığı

q_{ij} : i silahının j hedefine atanmasıyla hayatta kalma olasılığı $q_{ij} = 1 - p_{ij}$

x_{ij} : i silahının j hedefine atanması

$i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, m$

Varlığa Yönelik Yaklaşım

Varlığa yönelik yaklaşımda ise savunulan varlıkların hayatta kalma oranının en fazla olması amaçlanmaktadır. Hangi hedefin hangi varlığa tehdit oluşturduğunun bilinmesi gerekir.

Genellikle yapılan çalışmaların çoğu statik yöntem üzeredir. Savunma, varlıklarına yönelen hedefleri mümkün olduğunca yok etmeye çalışır. Denklem 1.4, varlıkları korumanın en fazla olması istenerek amaç fonksiyonu maksimizasyon olarak düzenlenmiştir (Ghanbari ve diğerleri, 2021).

$$\max Z = \sum_{k=1}^A W_k \prod (1 - \pi_j) \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{x_{ij}} \quad (1.4)$$

Kısıt:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad (1.5)$$

$$j = 1, \dots, n \quad x_{ij} = 0,1 \quad (1.6)$$

Parametreler:

n : hedef

m : silah

A : savunulan varlık sayısı

W_k : savunulan varlık için koruma değeri

p_{ij} : i silahının j hedefini öldürme olasılığı

π_j : j hedefinin savunulan varlığı imha etmesi olasılığı

q_{ij} : i silahının j hedefine atanmasıyla hayatta kalma olasılığı $q_{ij} = 1 - p_{ij}$

x_{ij} : i silahının j hedefine atanması

$i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, A$

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Silah Hedef Atama Problemi çalışmaları ilk olarak 1958 yılında Manne tarafından başlatılmıştır. Problemin yapısını, optimizasyon ve askeri yöneylem problemlerinde kombinatoryal sınıf olarak tanımlamıştır. Problemin kapsamı (hedef, silah) küçük ölçeklidir. m silah, n hedef, p öldürme olasılığı ve k hedefe yöneltilecek silah sayısı olarak gösterilmiştir. Problemi, doğrusal olmayan ve olasılıklı bir problem çeşidi olarak tanımlamıştır (Manne, 1958).

1966 yılında Day tarafından çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Problemin büyüklüğü ve verilerin karmaşıklığının çözüm için sorun oluşturduğunu belirterek, yöntemde iyileştirme amaçlı yaptığı çalışmalarda, öncelikle problemi alt problemlere bölüp, hedeflere ayırarak istenen sonuca ulaşmada kolaylık sağlamıştır. Problemi üç alt bölüme ayırmıştır. İlk aşamada fonksiyonel bağ için hesaplamalar yapılır. Hedeflere verilecek hasarı maksimize etmek amaçlanarak hasar fonksiyonu oluşturulur. Hedeflere atanacak silah sayıları belirlenir. Maksimum hasara ulaşmak için problem daha küçük parçalara ayrılır. İkinci aşamada ise, silahların nasıl atanacağı belirlenir. İlk bölümde oluşan sonuçlara göre büyük ölçekli doğrusal olmayan algoritma kullanılarak yapılan hesaplamalarla optimum silah ataması gerçekleştirilir. Son aşamada ise her bir silahın hedefe atanması için optimal istenen sıfır noktası ve patlama yüksekliği verileri elde edilir (Day, 1966).

1990 yılında Patrick ve Michael, problemi dinamik ve statik olarak iki sınıfa ayırarak çözüme farklı bir yaklaşım sunmuştur. Daha önceki silah hedef atama çalışmalarında hedefe yönelik çözümler üretilirken, bu yeni çalışmada varlık tabanlı problemler için çözüm geliştirilmiştir. Statik sınıflı çözümde, varlık tabanlı atama için bir algoritma geliştirilerek alt en iyi değerli çözüm üretilmiştir. Dinamik çözümde ise optimum değer üst sınırını elde etmek için bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada, dinamik yöntemin performansının statik yöntemle göre iki kat daha iyi olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmaya göre dinamik yöntemde problem bölümlere ayrılır. Silahlar, bölümlerde belirlenen zaman aralıklarında hedeflere ateşlenir. Her bölümdeki angajman sonuçları değerlendirilerek sonraki bölümlerde verilecek

kararlarda kullanılır. Değerlendirme sonrasında, kalan silahların bir bölümünün sağ kalan hedeflere ataması gerçekleştirilir. Bu atama sonrasında da hedefin sağ kalması ya da yok edilmesi verilerini içeren angajman sonuçlarına göre değerlendirme yapılarak, süreç tekrarlanır. Statik yöntemde ise, her bir silah ve hedef ikilisine öldürme olasılığı değeri atanır. Bir silahın hedefle olan angajmanının diğer tüm hedef ve silahlardan bağımsız olduğu, aynı şekilde bir hedefin de varlık üzerindeki etki de diğer tüm varlık ve hedeflerden bağımsız olduğunu belirtir. Varlığın miktarı ve öldürme olasılığı değerleri sabitlenirse, saldırı yoğunluğuna karşı savunma gücünü korumak için silahların sayısının da artırılması gereklidir (Patrick ve Michael, 1990).

2003 yılında Lee ve diğerleri, hedef tabanlı statik silah hedef atama problemleri için meta sezgisel yöntemlerden açgözlü öjenik ile genetik algoritmanın birleşimi memetik bir algoritma oluşturmuştur. Öjenik araması, öncelikle mevcut adaya yakın daha iyi bir aday bulduktan sonra diğer bölüme geçmeyi amaçlayan bir yerel arama biçimidir. Genellikle genetik algoritmalarda arama performansını iyileştirmek için kullanılır. Aç gözlü algoritmalarındaki çaprazlama ve mutasyon özellikleri nedeniyle genetik algoritmalarındaki yerel en iyi seçiminde aksaklıklar oluşabilmektedir. Bu çalışmada öjenik algoritması, yerel en iyiyi belirlemek için kullanılmıştır. Algoritmanın genel kullanımından farklı olarak var olan kromozomu aç gözlü yaklaşım ile yeniden düzenlemektir. Oluşturulan yeni algoritma performansının daha önceki algoritma çalışmalarına göre daha arttığını belirtmiştir (Lee, Su ve Lee, 2003).

Devam eden yıllarda çeşitli algoritmalar, dinamik programlama, dal ve sınır algoritmaları kullanılmıştır. Bu yaklaşımlar, küçük ölçekli problemlerin çözümünde kolaylık sağlarken, büyük kapsamlı uygulamalarda istenen verimi sağlayamamıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte çözüm yöntemlerine yeni algoritmalar eklenmiştir. Meta sezgisel algoritmalar, hibrit algoritmalar kullanılmaya başlanmıştır (Huaiping, Jingxu, Yingwu ve Hao, 2006).

2007 yılında Ahuja ve diğerleri, hedef tabanlı dal ve sınır yöntemlerini kullanarak orta derece büyüklükteki problemler için kesin ve sezgisel algoritmalar ile statik bir çözüm yöntemi geliştirmiştir. Bu ölçekteki problemlerin çözümü için kullanılan ilk örtük numaralandırma algoritması olduğunu belirtir. Tam sayılı doğrusal programlama ve ağ akışı tabanlı alt sınır yöntemleri ile minimum maliyet fonksiyonunu oluşturarak büyük ölçekli problemlerin çözümünü de en az sürede hesaplamıştır. Dal ve sınır algoritmasının içeriğinde dallanma, alt sınır ve arama

yöntemleri bulunur. Dallanma yöntemi, dalın her bir bağlantısı için en iyi silah hedef eşleştirmesi belirlenerek, sonraki aşamaya atanır. Üst sınırı hedeflerin hayatta kalma değerleridir. Alt sınır yöntemi, üç bölümden oluşur. Genelleştirilmiş ağ akışı, minimum maliyet akışı ve maksimum marjinal getiridir. Genelleştirilmiş ağ akışı, en iyi alt sınır değerlerini verir fakat hesaplama zamanı uzundur. Minimum maliyet akışı, hedef sayısının silah sayısından az ya da eşit olduğunda en iyi alt sınır değerlerini oluşturur. Maksimum marjinal getiri, çalışma süreleri düşük olmakla birlikte daha verimli bir yöntemdir. Bu çalışmada ise verim sağlamamıştır. Arama yöntemi, küçük ölçekli problemler için genişlik öncelikli, büyük ölçekli ise derinlik öncelikli arama yöntemleri uygulanmıştır. Çalışmada doğrusal olmayan tam sayılı programlama problemler için şebeke akış çözüm yönteminin bir sezgisel uygulaması geliştirilmiştir. Minimum maliyetli akış problemlerinin doğrusal olmayan tam sayılı problemlere alt sınır oluşturmak için kullanılabilirliğini de gösterir. Bu şekilde en iyiye yakın bir çözüm elde edilmiştir (Ahuja, Kumar, Jha ve Orlin, 2007).

2009 yılında Chen ve diğerleri, dinamik atama yöntemi için kısıtlamaları olan varlığa yönelik açgözlü yerel aramaya dayalı memetik bir algoritma geliştirmiştir. Bu kısıtlamalar; yetenek, strateji, kaynak ve angajman fizibilite kısıtlamalarıdır. Karar üretme aşamasını iyileştirmek için atama çiftlerinin permütasyonu olan sanal bir vekil oluşturulur. Sanal vekilde çalışan yapı ile kısıtlamalar karşılanır. Evrimsel algoritmanın içeriğinde bir genetik ve iki de memetik algoritma bulunur. Oluşturulan yeni algoritmanın memetik ve genetik algoritmaya göre daha az sürede iyi sonuçlar vermiştir (Chen, Xin, Peng, Dou ve Zhang, 2009).

2011 yılında Ni ve diğerleri, büyük ölçekteki silah hedef atama problemlerinin hızlı ve en iyi sonuçla çözümü için Lagrange çarpanları kullanılarak, yinelemeli yaklaşım olarak gevşeme yöntemini denemiştir. Lagrange gevşemesini iki alt probleme ayırarak, bu alt bölümlerin yapılarına uygun en iyi çözüm yöntemini kullanır. Ardından Lagrange çarpanları güncellenir. Bu işlem tekrarlanarak hesaplama tamamlanır. Bu şekilde iki bölüme ayırma yöntemi ile her bir problemin çözümü kolaylaşarak, tüm problemin çözümünü daha kısa sürede ve verimli bir şekilde en iyiye yakın sonuca ulaştırmıştır (Ni, Yu, Ma ve Wu, 2011).

Son yıllarda ise kural tabanlı sistemlerle çözüm yöntemleri tercih edilmektedir. Bu çözümler karmaşık problemlerde hesaplama verimliliği sunmaktadır (Ni ve diğerleri, 2011).

2011 yılında Xin ve diğerleri, dinamik atama yönteminde oluşan sorunlar için kural tabanlı buluşsal bir yöntem geliştirmiştir. Katılım fizibilitesine sahip varlık tabanlı dinamik problemler için yapılan bir çalışmadır. Algoritma, dinamik yöntemin alan bilgisinden yararlanarak, fonksiyon değerlendirmesi olmadan atama gerçekleştirebilir. Dinamik problemlerde tüm kısıtlamaların gerçekleştirilmesi fonksiyon değerlendirmesinin çok uzun süre aldığını belirterek bu yöntemle karar vermenin daha kısa zaman aldığını belirtir. Çalışmada karar verme etkinliği ve hesaplama verimliliğinde yöntem başarılı olmuştur. Karar verme aşamasında Monte Carlo simülasyonu ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Geliştirilen yöntem büyük ölçekli problemleri Monte Carlo yöntemine göre daha kısa sürede çözmektedir (Xin, Chen, Peng, Dou ve Zhang, 2011).

2013 yılında Hoccoğlu ve Ünver, statik problemler için simülasyon işletiminde kural tabanlı dinamik bir çözüm yöntemi geliştirmiştir. Hedefin komuta kontrol yapısına göre oluşturulan statik çözüm modelinde, angajman zaman gecikmesi de eklenerek daha hızlı çözüm yöntemi oluşturulmuştur. Geliştirilen modelde problem, hedef değerlendirme ve silah hedef eşleştirme olarak iki aşamadan oluşmaktadır. Problemin savunma öncelikli ve hedef öncelikli olmak üzere iki ana teması bulunur. Savunma öncelikli, savunulan varlığın olduğu, savunma değerinin yüksek tutulduğu yapıdır. Hedef öncelikli ise sağ kalma oranının düşük olduğu yapıdır. Modelde çözüm merkezi, otonom, merkezi ve koordineli komuta kontrol yapılarına uygun olarak oluşturulmaktadır. Savunulan tesis başına düşen hedef sayısının düşük olduğu durumlarda, hedef öncelikli stratejinin daha yüksek başarı sağlaması beklenir. Modele angajman süre gecikmelerinin eklenmesiyle problem ölçeği büyütülmüş, statik model seçilerek hızlı sonuçlara ulaşılmıştır (Hoccoğlu ve Ünver, 2013).

2014 yılında Şahin ve Leblebicioğlu tarafından kural tabanlı bulanık yaklaşık akıl yürütme metodu kullanılarak ızgara bölümlleme yaklaşımı geliştirilmiştir. Atama kuralları belirlenerek, bir kural tabanlı çözüm oluşturma amaçlanmaktadır. Önemli yerlerin ölçeğinin daha küçük ızgaralara bölünmesi ile hesaplama yapılır. ızgara seçimi, bölümü ve sayısının belirlenmesi kural tabanlı yöntemlerde sonucu etkilemektedir. Bir grup verinin duyarlılık analizine bağlı olarak girdi değişkenlerinin ızgara bölümlleme ile bulanık karar verici metodu tasarlanır. Gerçek olaylara dayalı örneklenmiş atamaya uygulanarak, test edilir. Elde edilen sonuçlara göre silah ataması yapılır. Bu tekniğin kullanıldığı ilk çalışma olarak belirtilmektedir (Şahin ve Leblebicioğlu, 2014).

2014 yılında Chusilp ve diğerleri, Carleton hasar fonksiyonu ve Öldürme olasılığı (Pk) matrisi kullanarak silahların verimliliğini Monte Carlo simülasyonu ile ölçmüştür. Problem için oluşturulan simülasyonlardan, ilkinde Carleton hasar fonksiyonu, diğerinde ise öldürme olasılığı (Pk) matrisi denenmiştir. Carleton hasar fonksiyonu daha çok silah hedef etkileşim analizinde kullanılmaktadır. Gerçek öldürücülük değerlerinin basitleştirilerek oluşturulduğu fonksiyondur. Bu çalışmada Carleton fonksiyonlu Monte Carlo simülasyonundan elde edilen sonuçların, öldürme olasılığı (Pk) matrisli simülasyon sonucu oluşan değerlerden farkını bulma amaçlanmıştır. İki simülasyon sonuçlarında farklar bulunmakta olup etki büyüklüğü az olmaktadır (Chusilp, Charubhun ve Koanantachai, 2014).

2016 yılında Zhou ve diğerleri, kısıtlı statik problemler için parçacık sürüsü optimizasyonu algoritması geliştirilmiştir. Genetik algoritma ve parçacık sürü algoritması kullanılarak, tek silahın birden fazla hedefe atanarak optimize edilebilmesi için yeni bir yöntem denenmiştir. Algoritmada oluşturulan bir silah düzeneği birden fazla hedefe ya da aynı hedefe birden fazla atama yapılabilmektedir. Silah hedef eşleme, silah miktarı ve atış menzili kısıtlamalarını sağlar. Yeni algoritma parçacık sürüsü algoritmasına genetik algorithmadan mutasyon ve çaprazlamayı eklenerek oluşturulur. Simülasyon sonuçlarına göre bu algoritma kısıtlı statik problemlerde standart genetik algoritma ve parçacık sürüsü algoritmalarına göre verimin yüksek olduğunu göstermektedir (Zhou, Li, Zhu ve Wang, 2016).

2019 yılında Jang ve diğerleri, makine öğrenmesi modeli ile isabet olasılığını tahmin eden uyarlanabilir bir model geliştirmiştir. Silah atama problemlerindeki kısıtlardan (hedef sayısı, fırlatma süreleri, isabet olasılığı) dolayı hesaplamalardaki sorunların azaltılması amaçlanmaktadır. Makine öğrenim modeli oluşturulmuştur. Uyarlanabilir model, radar verilerini kullanarak hedeflerin angajman durumu bilgisini tahmin eden isabet olasılığına bağlı olarak, radar tarama esnasında silah atama kararları verebilmektedir. Uçuş bilgileri ve isabet değerleri arasındaki olasılık bağı bilgilerini verebilecek bir model de algoritmaya eklenmiştir (Jang, Yoon, Kim ve Kim, 2019).

2019 yılında Hoccoğlu tarafından geliştirilen çözümde, doğrusal olmayan çok amaçlı bir model oluşturulmuş, hedef programlama modeline dönüştürülmüştür. Çözümde silah atamalarını, angajman süreleri ile eniyileme yaparak, hedefin sağ kalma ihtimalini en düşük olması hedeflenmektedir. Modelde, otonom, merkezi ve koordineli komuta ve kontrol fonksiyonları bulunur. İki model geliştirilmiştir. İlkinde,

silah miktarı bilinen, en az miktarda silah kullanılarak sağ kalma ihtimalini en düşük seviyeye getirmektir. İkincide ise sağ kalma ihtimalinin olmadığı bir durum için gereken silah sayısını belirlemek amaçlanmıştır. Geliştirilen çözüm, en iyi silah atama sonucu vererek, aynı zamanda çoklu savunma sistemleri için angajman sürelerini de hesaplayabilmektedir (Hocaoğlu, 2019).

2021 yılında Lu ve Chen tarafından, büyük ölçekli problemleri doğrusal programlama yöntemiyle çözüm geliştirmiştir. Algoritmada, doğrusal programlama için sütun sayılarının fazla olduğundan sütun numaralandırma ve dal ve sınır tekniği kullanılmıştır. Algoritmaya silah miktarının sınırlandırılması ve yeni geliştirilen silah hakimiyeti teknikleri ilave edilmiştir. Silah türleri bağımsız olarak değerlendirilmiştir. Numaralanacak sütunların sayısı, silah miktarının sınırlandırılması ve silah hakimiyetinden alınan sonuçlara göre büyük miktarda azaltılarak, problemin çözümü büyük ölçüde kolaylaşmıştır. Böylelikle büyük boyutlu problemlerin daha önceki denenmiş yöntemlere göre daha kısa sürede ve daha verimli bir şekilde çözümü sağlanmıştır (Lu ve Chen, 2021).

BÖLÜM 3

3.1 PROBLEMİN TANIMI

Silah hedef atama problemleri hakkında yapılan mevcut çalışmaların büyük bölümünü statik çalışmalar oluşturmaktadır. Bu çalışmalarda, kısıtlar nedeniyle küçük ölçekli problemler verimli bir şekilde çözülürken, daha büyük kapsamlı problem çözümünde aksaklıklar yaşanmaktadır.

Dinamik çözümler statik yöntemlere göre daha karmaşık yapıdadırlar. Silahların angajman durumu değerlendirilerek en iyi atama belirlenir. Gerçek durumu anlattığı için sonuçlar da gerçeğe yakın olmaktadır.

Problem, hedef değerlendirme ve silah hedef eşleştirme bölümlerinden oluşur.

Savunma ağırlıklı, hasar oranının en az ve hayatta kalma oranının en fazla olması beklenildiği yöntemdir. Hedef ağırlıklı ise imha oranının en fazla ve hayatta kalma oranının en az olduğu yöntemdir.

Hedeflenen çalışmada, bir doğrusal olmayan çok amaçlı optimizasyon modeli geliştirilip, optimum silah hedef atamalarının yapılarak en kısa sürede, belirlenen hedeflere optimum füze sayısı ile verilecek zararın en fazla, varlıkların savunmasında verilecek kayıpların en az olmasını hedefleyen en iyi silah hedef atamasının oluşturulması amaçlanmaktadır.

Diğer çalışmalardan farklı olarak angajman sürelerinin de dikkate alınıp, büyük kısıt oluşturan angajman sıralamasını da belirleyerek bir hesaplama yapılacaktır. Güvenlik mesafesindeki hedefe ateş atılmama, sabit namlu olmadığı için hedefler arası geçişten gelen süreyi değerlendirme, ateşleme zamanını iyi ayarlayarak hedefin, güvenlik mesafesi alanına girmeden hedefi vurması, hedeflere yönelme sırasının hesaplanması, mühimmatın hedefe olan etkisi sıfır olursa mühimmatın hedefe atılmaması kriterlerinin karşılandığı bir modelin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Dinamik yapıda, başarı oranı yüksek bir çözüm amaçlanmış olup, belirlenmiş çeşitli ölçütlerin karşılanması gereklidir. Bu ölçütler;

- Hedeflerin öneminin belirlenmesi, atış sırasına karar verilmesi ve önce hangi hedefin vurulacağının seçilmesi,
- Silah ile hedef arasındaki mesafe hesaplamasını doğru yaparak atış başarı oranını arttırmak, mevzi dışındaki hedeflerdeki başarısızlığı önlemek,
- Silah atamasının doğru yapılıp, hedefe yönlendirilmesini sağlamak,
- Hedefe isabet süresi en kısa zamanda en verimli bir şekilde oluşturularak, başarıya ulaşmaktır.

Silah Hedef eşleştirme problemleri, optimizasyon problemlerinin askeri optimizasyon alanındaki çalışmaları konu alan bir türü olup, var olan silahları, hedeflere uygun bir şekilde eşleştirerek başarıya ulaşmak amaçlanmıştır.

Silah hedef atama problemlerini oluşturan yapılar; varlık, silah, tehdit ve komuta kontroldür.

Savunma sistemlerinin görevi, savunulan varlıkları düşman hedeflerine karşı korumaktır. Savunulan varlıklar, stratejik olarak önemli varlıklardır. Çözüm modeli, hedefin tespiti, hedef değerlendirmesi ve silah ataması bölümlerinden oluşur.

3.1.1 Hedef Tespiti

Hedeflerin, savunulan varlıklara yönelik oluşturduğu tehdidi değerlendirebilmek ve uygun önlemlere karar verebilmek için, çözümün hedefleri tespit etme yeteneklerine sahip olması gerekir. Hedefin mevcut konumu ve hareketleri tahmini edilerek hedef belirlemesi yapıp, hedef tanımlanır.

3.1.2 Tehdit Değerlendirmesi

Tehdit değerlendirmesi, savunma sistemleri için önemli bir bölümdür. Hedef izleme süreçlerinden edinilen bilgilere göre tespit edilen hedeflerinin, savunulan varlıklara yönelik oluşturduğu tehdidin seviyesini çeşitli hesaplamalar ile belirlenir.

Hedef değerlendirme yapılarak, silah hedef çiftleri birçok kritere göre karşılaştırılır. Hedef değerlendirme döngüsü, yeni bir tespit alındığında ve mevcut tespit edilen hedefte herhangi bir değişiklik meydana geldiğinde tekrarlanır. Belirlenen tehdit varlığı sürekli değiştiği için tehdit değerlendirme devamlı bir süreçtir.

Hedef değerlendirme, mesafe, yetenek ve amaç kriterlerine uygun olarak yapılır.

Mesafe, hedefin savunulan bölgeye olan mesafesine göre değerlendirilir. Kısa mesafede bulunması hedefin önceliğini artırır.

Yetenek, hedefin savunulan bölgeye verebileceği hasarı gösterir. Sahip olduğu silahların özellikleri, miktarı gibi etmenler değerlendirmede etkilidir.

Amaç, hedefin vereceği hasar için sahip olduğu ilgi ve kararlılıktır. Amaç belirlemede, hedefin hızı, yönü, taşıdığı yükü, savunulan bölgeye olan mesafesi ve yaklaşma yönü gibi değişkenler kullanılır.

Hedeflerin içeriği, sıralanışı, hacmi, miktarı, savunma bölgesine olan mesafesi, kullanılan mühimmatın özellikleri gibi ölçütler hedef değerlendirmesi kararlarında etkilidir.

Hedef değerlendirme ölçütleri ile önceliği yüksek hedefler belirlenir. Hasar değeri, hasar oranının en az olan olması ile önceliği yükselir. Önceliği yüksek hedef, hedeflerin türlerine göre öncelikleri belirlenerek kurallar oluşturulur.

3.1.3 Silah Ataması

Silah ataması savunulan varlıkları korumak için belirlenen tehditlere karşı en uygun olarak silah kaynaklarını atamasıdır. Silah hedef atama problemleri, bu amaçla yapılan optimizasyon problemleridir. Hedefe yönelik silah ataması ve varlığa yönelik silah ataması problemi çeşitleri vardır. Silah atama problemleri çözümlerinde farklı yaklaşımlar da bulunur.

Hedefe atanacak silahların belirlenmesi için tekli ve çoklu platform yaklaşımı kullanılır.

Tekli platform yaklaşımı; belirlenen hedeflere karşı kendini savunmak için uygun silahlar seçilmesidir. Bu durumda genellikle savunma ve savunulan varlık aynıdır. Kuvvetlerin koordinasyonu yaklaşımı; savunulan varlıklar için tehdit oluşturan hedefleri ve onları karşılık vermek için en uygun silahların belirlenmesi için gerekli değerlendirmeleri yapan komuta kontrol merkezini belirtir. Bu durumda savunma ve savunulan varlık farklıdır.

Çözüm aşamaları görevler bütününden oluşmaktadır. Bu görevler komuta kontrol birimleri arasında paylaşılır. Görev paylaşımı, komuta kontrol mimarilerine göre oluşturulur (Hocaoğlu ve Ünver, 2013).

Tehdit değerlendirmesinde en önemli unsurlardan biri de komuta kontrol yapılarıdır.

Merkezi komuta kontrol; savunma alanları ve savunma silahları merkezi bir komuta kontrol tarafından yönetildiği sistemdir. Tehdit değerlendirme ve silah atama işlemleri alt komuta birimleri de göz önünde bulundurularak tek bir merkezden kontrol edilir.

Koordineli komuta kontrol; savunma grupları belirlenen tehditlerin ve tehdit değerlendirme sonuçlarını bağlantılı oldukları komuta kontrol birimi ile paylaşırlar. Komuta kontrol biriminden alınan bilgiler optimizasyon girdilerine eklenir.

Otonom komuta kontrol; komuta kontrol birimleri bireysel olarak çalışırlar. Yapılan değerlendirmeler kendi yetki alanına aittir. Komuta kontroller arasında veri paylaşımı yoktur (Hocaoğlu ve Ünver, 2013).

Tekli hedef yaklaşımı; tüm hedefler gözlemlenir, silahlar hedeflere sırayla atanır. En uygun silahın hedeflerin önceliklerine göre ataması yapılır. Yüksek öncelikli hedeflerden başlanarak, sırayla düşük öncelikli hedeflere kadar silah hedef eşleştirilerek atama yapılmasıdır. Atamada aç gözlü algoritma kullanılır.

Çoklu hedef yaklaşımı; silahların, atamanın en iyi olması için var olan hedeflere eşzamanlı olarak atanmasını belirtir. Bu problemlerde amaç fonksiyonu ve kısıtlara bağlı olarak optimize edilmesidir. Amaç fonksiyonunun optimizasyonu ve belirli kısıtların çözüme katılmasıyla sonuca ulaşılır.

Atış kurallarına bağlı kalarak silah hedef çifti oluşturulur. İzin verilen hedeflere silahlarla atış yapılır.

Silah hedef eşleştirme problemleri çözümünde kullanılan en basit yaklaşımın; statik, hedef tabanlı, tek amaçlı, tekli platform modeli olduğu, en karmaşık yaklaşımın ise dinamik, varlık tabanlı, çok amaçlı ve kuvvetlerin koordinasyonu modeli olduğu belirtilir (Ghanbari ve diğerleri, 2021).

3.2 Silah Hedef Atama Modeli

Oluşturulan silah hedef eşleştirme modelinde, hedef tabanlı, statik, çok amaçlı, tekli platform yaklaşımı kullanılmıştır.

Optimizasyon modelinde amaçlanan hedefler; hayatta kalma olasılığını en aza indirmek, savunulan varlık kaybını en aza indirmek, savunma sahası bölgelerinde hedef uçuş süresini en aza indirmek, füze kullanımını optimize etmek ve kurulum sürelerini karşılamaktır.

Model varsayımları:

1. Hedefler tespit edilerek tanımlanır.
2. Hedeflerin türüne göre değerler verilir.
3. Atış kuralları belirlenir. Angajmanlı, tek atışlı model tasarlanmıştır.
4. Tüm hedeflerin vurulması gerekir fakat tüm silahların kullanılma zorunluluğu yoktur.

Çözüm algoritması, hedef değerlendirme ve silah ataması aşamalarından oluşur. Amaç fonksiyonu ve belirtilen kısıtlara göre modelin çözümü sağlanıp, en iyi sonuca ulaşarak, verilecek hasarın maksimum olması amaçlanır. Modele, füze sayısı, füze hızı, güvenlik menzili değerleri verilir. Silahın öldürme olasılığı ve tehdit değerleri hesaplamaları yapılır. Hesaplamalar sonucunda hangi hedefin, hangi mühimmat ile angaje olacağını belirler. Bir hedef için, savunmadan sadece biri bir angajman yapabilir. Tüm silahların hedeflere aynı anda atanması gerekir. Tüm hedeflerin vurulması gerekir. Hedeflerin sağ kalma olasılığını en aza indirmek için birden fazla atış yapılabilir.

3.2.1 Matematiksel Model

Model Parametreleri

n : hedef

m : silah

W_j : j tehdit değeri

D_j : j tehdidi ile olan uzaklık

W_i : i tipi mühimmatlarının sayısı

SD : Güvenlik Menzili

T_j : j tehditlerin sayısı

p_{ij} : i mühimmatının j hedefini öldürme olasılığı

f_i : i mühimmatının hızı

h_{ij} : hedefler arası geçiş

m_i : i mühimmatının güvenlik menzili

q_{ij} : i mühimmatının j hedefine atanmasıyla hayatta kalma olasılığı $q_{ij} = 1 - p_{ij}$

$Setup_{ij}$: i mühimmatının j hedefine yapacağı atışlar arası süre

x_{ij} : i mühimmatı j hedefine atanırsa = 1 değilse = 0

$i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n$

Amaç Fonksiyonu

Problem çok amaçlı olarak modellenmiştir. Birinci amaç tehditlerde en fazla imhayı ve ikinci amaç hedefler arası gezinimi en azlamayı hedefler.

Problemin çözümü için amaç fonksiyonu tehditlerin ölme olasılıklarını maksimize edecek şekilde oluşturulur. Mühimmat türleri öldürme olasılığı (p değeri) farklılaştırılarak oluşturulmuştur.

Hedefin i silahı ile vurulması ile hayatta kalma olasılığı $(1 - p_{ij})^{x_{ij}}$ dir.

Verilecek en fazla zarar için amaç fonksiyonu max olarak alınmıştır. Her bir silah hedef çifti için angajmanlar birbirinden bağımsızdır. Silahlar ateşlendikten sonra hedefin hayatta kalma olasılığı $\prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{x_{ij}}$ dir. j hedefine atanan i silahlarının sayısı toplam silah sayısını aşamaz ve bir hedefe birden fazla mühimmat atılabilir.

$$Max Z_1 = \sum_{j=1}^n V_j \prod_{i=1}^m \frac{(1 - p_{ij})^{x_{ij}}}{MaxPk} \quad (2.1)$$

$$Min Z_2 = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \frac{Setup_{ij} h_{ij}}{MaxSetup} - MaxSetup \quad (2.2)$$

Denklem 2.1'de V_{ij} , j hedefinin değerini simgeler. p_{ij} , i silahının j hedefini yok etme olasılığını gösterir. Amaç fonksiyonun maksimize edilmesi hedefe verilecek zararın en fazla, hayatta kalma olasılığını ise en az olmasını sağlar. Bir hedefe farklı silahlar atanabilir.

Problemin ikinci amaç denklemi (2.2), hedefler arasındaki sıralamanın minimum geçiş süresini en azlamayı amaçlar.

Problem çok amaçlı olduğu için iki amacın birleştirilerek çözülmesinde normalizasyon gerekir. Bu amaçla, öldürme olasılığı ve hedefler arası geçiş süreleri maksimum değerlerine bölünerek normalize edilmişlerdir. Öldürme olasılığı maksimum değeri hedeflerin tümünün imha edilmiş olmasıyla mümkündür ve $MaxPk=hedef\ sayısı \times 1$ olarak hesaplanır.

$$Max Z = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^m Setup_{ij} h_{ij} \quad i \neq j \quad (2.3)$$

Hedefler arası geçişin en yüksek değeri ise hedefler arasındaki turun, bir maksimum amaç fonksiyonlu bir gezgin satıcı problemi (GSP) olarak ele alınmasıyla çözülür (Denklem 2.3) ve amaç fonksiyonu değeri $MaxSetup$ olarak belirlenir. Hedefler arası angajman geçişi için tanımlanan gezgin satıcı problemi aşağıda tanımlanmıştır. Problem bir ön çözüm olarak gerçekleştirilerek maksimum hedefler arası gezinim süresi bulunur ve bulunan süre probleme bir girdi olarak tanımlanır. GSP aşağıdaki şekilde modellenir. Çıktısı olan $MaxSetup$ amaç denkleminde toplam olarak ve hedefler arası geçiş süresinin oranlandığı değişken olarak yer alır (Denklem 2.4).

$$MaxSetup = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n s_{ij} \quad i \neq j \quad (2.4)$$

Burada $i = 0$ ve $j = 0$ namlunun ilk konumunu gösterir ve hedeflerden birine dönük değildir. S_{0i} başlangıç konumundan i hedefine, S_{i0} i hedefinden silah serbest (herhangi bir hedefin hedef alınmadığı durum) duruma geçişi ifade eder.

Aşağıdaki kısıt grubu, i hedefinden j hedefine mutlaka dönüleceğini ifade eder (Denklem 2.5).

$$\sum_{i=0}^n s_{ij} = 1 \quad j = \{1, \dots, n\} \quad (2.5)$$

Aşağıdaki kısıt grubu, j hedefine bir i hedefinden gelindiğini ifade eder (Denklem 2.6).

$$\sum_{j=0}^n s_{ij} = 1 \quad j = \{1, \dots, n\} \quad (2.6)$$

Alt döngü oluşturmama kısıtları (Denklem 2.7);

$$s_{ij} + s_{ji} \leq 1 \quad i, j = \{1, \dots, n\} \quad i \neq j \quad (2.7)$$

Modelde s değişkeni kullanılması gezgin satıcı probleminin bağımsız olarak maksimum amaçlı çözümüyle ulaşılabilecek en yüksek gezinim süresini problemten bağımsız olarak bulmak içindir.

Aşağıda görülen model kısıtlarında ve amaç denklemi stp bileşeninde yer alan h değişkeni ise, angajman boyunca hangi hedefler arasında gezinildiğini gösterir. Bu anlamda s değişkenleri en kötü durum çözümünü verirken, h değişkenleri uygulanan geçerli durumu gösterir. (Denklem 2.8, 2.9, 2.10)

$$\sum_{i=0}^n h_{ij} = y_j, j = \{0, \dots, n\} \quad (2.8)$$

$$\sum_{j=0}^n h_{ij} = y_i, i = 1 \dots m \quad (2.9)$$

$$h_{ij} + h_{ji} \leq 1, i = \{0 \dots m\}, j = \{0 \dots n\} \quad i \neq j \quad (2.10)$$

Burada y_i değişkeni hedefe angaje olup olunmadığı gösterir.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq W_i \quad i = 1, \dots, m \quad (2.11)$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ ve tamsayı } i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (2.12)$$

Denklem 2.11, i tipinde kullanılabilir mühimmatın W_i sayısı ile sınırlı olduğu ve tümünün kullanımının zorunlu olmadığını gösterir. Denklem 2.12, i ve j 'nin tam sayı olması gerektiğini belirtir.

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n \quad (2.13)$$

$$x_{ij} = 1 \quad i \text{ silahı } j \text{ hedefine atanmıştır} \quad (2.14)$$

$$x_{ij} = 0 \quad i \text{ silahı } j \text{ hedefine atanmamıştır} \quad (2.15)$$

Denklem 2.13, j hedefine en fazla bir mühimmat atılabileceğini gösterir.

Güvenlik Menzili Kısıtları: Aşağıda görülen iki kısıt güvenlik menzili içerisinde ateş edilmesini engeller. Kısıtlar IF mantıksal operatörünün matematiksel ifadesidir. Eğer hedef güvenlik menzili içerisinde ise $y_i = 0$ olur (Denklem 2.16) ve bu durumda hedef için mühimmat ataması yapılmaz. İkinci kısıt bileşeni, bir önceki angajmandan hedefe geçiş süresinde (*Setup*) mühimmatın aldığı mesafe ve hedefin güvenlik menziline olan mesafesi toplamı güvenlik menzilinden büyük olmalıdır. Bu durumda $y_i = 1$ (Denklem 2.17) olur ki bu ikinci kısıt bileşeninin aktif olması sonucunu doğurur ve hedefe ateş edilme izni verilir.

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq 0 + M y_i \quad (2.16)$$

$$\left(\sum_{i=1}^m x_{ij} \right) x (D_j - SD) + V_j x \left(\sum_{i=1}^m Setup_{ij} h_{ij} \right) \geq SD - M (1 - y_i) \quad (2.17)$$

$$\sum_{j=0}^n x_{ij} \geq y_j \quad j = 1, \dots, n \quad (2.18)$$

$$\sum_{j=0}^n x_{ij} \leq y_j \quad j = 1, \dots, n \quad (2.19)$$

Eğer silah sayısı hedeften az ise denklem 2.18, tersi durumdaysa denklem 2.19 geçerlidir.

$$\sum_{i=0}^n h_{ij} = y_j \text{ her } j = 0 \dots n \text{ için } i \neq j \quad (2.20)$$

Denklem 2.20, silah sisteminin bir hedeften diğer bir hedefe geçeceğini ve geçmesi gerektiğini ifade eder. $j = 0$ silahın başlangıç durumuna karşılık gelir ve başlangıçta herhangi bir hedefe dönük değildir.

$$h_{ij} + h_{ji} \leq 1 \quad (2.21)$$

Denklem 2.21, aynı hedefe iki kez angaje olunamayacağını ifade eder.

Normalize edilmiş bu iki amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde birleştirilir (Denklem 2.22).

$$Max Z = Z_1 + Z_2 = \sum_{j=1}^n V_j \prod_{i=1}^m \frac{(1 - p_{ij})^{x_{ij}}}{MaxPk} + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \frac{Setup_{ij} h_{ij}}{MaxSetup} - MaxSetup \quad (2.22)$$

3.2.2 Modelde Problem Oluşturma ve Çözümü

Algoritma modelinin amacı, belirlenen kriterler için optimum değerler belirlenip, karar verme süresini en aza indirerek, istenilen başarı oranına en az mühimmat kullanarak ulaşmaktır.

Modele, Python programlama dili kullanılarak geliştirilen kod ile silah sayısı, hedef sayısı, füze hızı ve güvenlik menzili değerleri verilerek optimizasyon problemleri oluşturuldu. Hazırlanan problemler Lingo programında hesaplanarak, optimum çözüme ulaşıldı. Hesaplama sonuçları Tablo-1’de gösterilmiştir. Tabloda değişken sayıları, kısıt sayıları ve sıfır olmayan değerler, çözüm adımı, pk , stp , GSP değerleri ve çözüme ulaşılan toplam süre verileri bulunur.

Örnek Problem

Silah Sayısı: 6

Hedef Sayısı: 4

Güvenlik Menzili: 3

Füze Hızı: 850

Verilere Göre Oluşturulan Model

Tablo 1. Hedeflerin Setup Süreleri

	Hedefler Arası Geçiş (Setup) Süreleri				
Hedef	0	1	2	3	4
0	∞	0.50	4.40	1.4	4.6
1	3.95	∞	2.9	2.15	1.3
2	0.55	0.95	∞	1.45	2.8
3	4.30	2.6	2.7	∞	4.1
4	4.25	4.05	2.4	3.0	∞

Oluşturulan Model:

$GSP = 0.5*s_{0_1} + 4.4*s_{0_2} + 1.4*s_{0_3} + 4.6*s_{0_4} + 3.95*s_{1_0} + 2.9*s_{1_2} + 2.15*s_{1_3} + 1.3*s_{1_4} + 0.55*s_{2_0} + 0.95*s_{2_1} + 1.45*s_{2_3} + 2.8*s_{2_4} + 4.3*s_{3_0} + 2.6*s_{3_1} + 2.7*s_{3_2} + 4.1*s_{3_4} + 4.25*s_{4_0} + 4.05*s_{4_1} + 2.4*s_{4_2} + 3.0*s_{4_3};$

! GSP Sonu;

! Bu problem 4 hedef ve 6 silah için rassal olarak oluşturulmuştur.

! x_{ij} : i silah dizini, j hedef dizini, eğer i silahı j hedefine ateşlenirse $x_{ij} = 1$ değilse $x_{ij} = 0$;

$\max = pK/4 - \text{stp}/\text{GSP} + \text{GSP}$;

$$pK = (1 - (1 - 0.97)^{x_{1_1}} (1 - 0.81)^{x_{2_1}} (1 - 0.97)^{x_{3_1}} (1 - 0.94)^{x_{4_1}} (1 - 0.98)^{x_{5_1}} (1 - 0.94)^{x_{6_1}}) + (1 - (1 - 0.97)^{x_{1_2}} (1 - 0.81)^{x_{2_2}} (1 - 0.97)^{x_{3_2}} (1 - 0.94)^{x_{4_2}} (1 - 0.98)^{x_{5_2}} (1 - 0.94)^{x_{6_2}}) + (1 - (1 - 0.97)^{x_{1_3}} (1 - 0.81)^{x_{2_3}} (1 - 0.97)^{x_{3_3}} (1 - 0.94)^{x_{4_3}} (1 - 0.98)^{x_{5_3}} (1 - 0.94)^{x_{6_3}}) + (1 - (1 - 0.97)^{x_{1_4}} (1 - 0.81)^{x_{2_4}} (1 - 0.97)^{x_{3_4}} (1 - 0.94)^{x_{4_4}} (1 - 0.98)^{x_{5_4}} (1 - 0.94)^{x_{6_4}});$$

! Gezgin Satıcı Problemi;

$s_{0_1} + s_{0_2} + s_{0_3} + s_{0_4} = 1$;

$s_{1_0} + s_{1_2} + s_{1_3} + s_{1_4} = 1$;

$s_{2_0} + s_{2_1} + s_{2_3} + s_{2_4} = 1$;

$s_{3_0} + s_{3_1} + s_{3_2} + s_{3_4} = 1$;

$s_{4_0} + s_{4_1} + s_{4_2} + s_{4_3} = 1$;

$s_{0_1} + s_{0_2} + s_{0_3} + s_{0_4} = 1$;

$s_{1_0} + s_{2_0} + s_{3_0} + s_{4_0} = 1$;

$s_{0_1} + s_{2_1} + s_{3_1} + s_{4_1} = 1$;

$s_{0_2} + s_{1_2} + s_{3_2} + s_{4_2} = 1$;

$s_{0_3} + s_{1_3} + s_{2_3} + s_{4_3} = 1$;

$s_{0_4} + s_{1_4} + s_{2_4} + s_{3_4} = 1$;

$s_{1_0} + s_{2_0} + s_{3_0} + s_{4_0} = 1$;

$s_{0_1} + s_{1_0} \leq 1$;

$s_{0_2} + s_{2_0} \leq 1$;

$s_{0_3} + s_{3_0} \leq 1$;

$s_{0_4} + s_{4_0} \leq 1$;

$$s1_0+s0_1 \leq 1;$$

$$s1_2+s2_1 \leq 1;$$

$$s1_3+s3_1 \leq 1;$$

$$s1_4+s4_1 \leq 1;$$

$$s2_0+s0_2 \leq 1;$$

$$s2_1+s1_2 \leq 1;$$

$$s2_3+s3_2 \leq 1;$$

$$s2_4+s4_2 \leq 1;$$

$$s3_0+s0_3 \leq 1;$$

$$s3_1+s1_3 \leq 1;$$

$$s3_2+s2_3 \leq 1;$$

$$s3_4+s4_3 \leq 1;$$

$$s4_0+s0_4 \leq 1;$$

$$s4_1+s1_4 \leq 1;$$

$$s4_2+s2_4 \leq 1;$$

$$s4_3+s3_4 \leq 1;$$

! Grup 1: Bir füze bir hedefe atılır ;

$$x1_1+x1_2+x1_3+x1_4 \leq 1;$$

$$x2_1+x2_2+x2_3+x2_4 \leq 1;$$

$$x3_1+x3_2+x3_3+x3_4 \leq 1;$$

$$x4_1+x4_2+x4_3+x4_4 \leq 1;$$

$$x5_1+x5_2+x5_3+x5_4 \leq 1;$$

$$x6_1+x6_2+x6_3+x6_4 \leq 1;$$

! Grup 2: Bir hedefe sıfır veya birden fazla füze atılabilir ;

$$x1_1+x2_1+x3_1+x4_1+x5_1+x6_1 \geq y1;$$

$$x1_2+x2_2+x3_2+x4_2+x5_2+x6_2 \geq y2;$$

$$x1_3+x2_3+x3_3+x4_3+x5_3+x6_3 \geq y3;$$

$$x1_4+x2_4+x3_4+x4_4+x5_4+x6_4 \geq y4;$$

$$M=999999999999999999;$$

! Grup 3: Toplam mühimmat kısıtı;

$$x1_1+x2_1+x3_1+x4_1+x5_1+x6_1+x1_2+x2_2+x3_2+x4_2+x5_2+x6_2+x1_3+x2_3+x3_3+x4_3+x5_3+x6_3+x1_4+x2_4+x3_4+x4_4+x5_4+x6_4 \leq 6;$$

! Grup 4: Güvenlik Menzili içinde kalan hedefe ateş edilmeme kısıtları;

$$(x1_1+x2_1+x3_1+x4_1+x5_1+x6_1) \leq 0+M*y1;$$

$$(x1_1+x2_1+x3_1+x4_1+x5_1+x6_1)*9000+236.11111111111111*(0.5*h0_1+0.95*h2_1+2.6*h3_1+4.05*h4_1) \geq 3.30000000000000003-M*(1-y0);$$

$$@bin(y1);$$

$$(x1_2+x2_2+x3_2+x4_2+x5_2+x6_2) \leq 0+M*y2;$$

$$(x1_2+x2_2+x3_2+x4_2+x5_2+x6_2)*33000+236.11111111111111*(4.4*h0_2+2.9*h1_2+2.7*h3_2+2.4*h4_2) \geq 3.30000000000000003-M*(1-y1);$$

$$@bin(y2);$$

$$(x1_3+x2_3+x3_3+x4_3+x5_3+x6_3) \leq 0+M*y3;$$

$$(x1_3+x2_3+x3_3+x4_3+x5_3+x6_3)*12000+236.11111111111111*(1.4*h0_3+2.15*h1_3+1.45*h2_3+3.0*h4_3) \geq 3.30000000000000003-M*(1-y2);$$

$$@bin(y3);$$

$$(x1_4+x2_4+x3_4+x4_4+x5_4+x6_4) \leq 0+M*y4;$$

$$(x1_4+x2_4+x3_4+x4_4+x5_4+x6_4)*21000+236.11111111111111*(4.6*h0_4+1.3*h1_4+2.8*h2_4+4.1*h3_4) \geq 3.30000000000000003-M*(1-y3);$$

$$@bin(y4);$$

!Toplam Setup süresi;

$$stp=0.5*h0_1+4.4*h0_2+1.4*h0_3+4.6*h0_4+3.95*h1_0+2.9*h1_2+2.15*h1_3+1.3*h1_4+0.55*h2_0+0.95*h2_1+1.45*h2_3+2.8*h2_4+4.3*h3_0+2.6*h3_1+2.7*h3_2+4.1*h3_4+4.25*h4_0+4.05*h4_1+2.4*h4_2+3.0*h4_3;$$

!Grup 5: Bekleme durumundan ilk angajmana geçiş kısıtları ;

$$h1_0+h2_0+h3_0+h4_0=y0;$$

$$h0_1+h2_1+h3_1+h4_1=y1;$$

$$h_{0_2}+h_{1_2}+h_{3_2}+h_{4_2}=y_2;$$

$$h_{0_3}+h_{1_3}+h_{2_3}+h_{4_3}=y_3;$$

$$h_{0_4}+h_{1_4}+h_{2_4}+h_{3_4}=y_4;$$

$$h_{0_1}+h_{0_2}+h_{0_3}+h_{0_4}=y_0;$$

$$h_{1_0}+h_{1_2}+h_{1_3}+h_{1_4}=y_1;$$

$$h_{2_0}+h_{2_1}+h_{2_3}+h_{2_4}=y_2;$$

$$h_{3_0}+h_{3_1}+h_{3_2}+h_{3_4}=y_3;$$

$$h_{4_0}+h_{4_1}+h_{4_2}+h_{4_3}=y_4;$$

!Başlangıçta seçilen hedeften tekrar başlangıç durumuna geçilemez;

$$h_{0_1}+h_{1_0} \leq 1;$$

$$h_{0_2}+h_{2_0} \leq 1;$$

$$h_{0_3}+h_{3_0} \leq 1;$$

$$h_{0_4}+h_{4_0} \leq 1;$$

$$h_{1_2}+h_{2_1} \leq 1;$$

$$h_{1_3}+h_{3_1} \leq 1;$$

$$h_{1_4}+h_{4_1} \leq 1;$$

$$h_{2_3}+h_{3_2} \leq 1;$$

$$h_{2_4}+h_{4_2} \leq 1;$$

$$h_{3_4}+h_{4_3} \leq 1;$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, i, j = \{1, \dots, n\}$$

$$h_{ij} \in \{0,1\}, i, j = \{0, \dots, n\}$$

$$s_{ij} \in \{0,1\}, i, j = \{0, \dots, n\}$$

Sonuç:

Problemin çözümünde hedefler arası maksimum gezinim süresi GSP=17.95 saniye bulunmuştur. Optimum angajman süresi (gezinim süresi) ise STP = 7.75 saniye olarak hesaplanmıştır.

Local optimal solution found.

Objective value:	18.50342
Extended solver steps:	1113
Total solver iterations:	17136

Variable	Value	Reduced Cost
GSP	17.95000	0.000000
S0_2	1.000000	-0.6656346
S1_0	1.000000	0.000000
S2_3	1.000000	0.000000
S3_4	1.000000	0.000000
S4_1	1.000000	-0.9728505
PK	3.940700	0.000000
STP	7.750000	0.000000
X4_1	1.000000	0.1153502E-01
X6_1	1.000000	0.1856819E-01
X5_2	1.000000	0.9779550E-02
X1_3	1.000000	0.000000
X2_4	1.000000	0.1008875E-01
X3_4	1.000000	0.2130193E-01
Y1	1.000000	0.8077994E-01
Y2	1.000000	0.4735376E-01
Y3	1.000000	0.1838440
Y4	1.000000	0.1197772
H3_1	1.000000	0.000000
H4_2	1.000000	0.000000
H2_3	1.000000	0.000000

Angajman Sıralaması

Sonuç kısmındaki verilere göre; her adımda bir silah ve bir hedef seçilerek sıralama oluşturulmuştur. İlk olarak dördüncü silah ilk hedefi vurmuştur. Daha sonra altıncı silah da ilk hedefi vurmuştur. Üçüncü adımda beşinci silah ikinci hedefi, dördüncü adımda birinci silah üçüncü hedefi, beşinci adımda ikinci silah dördüncü hedefi ve son olarak ise üçüncü silah dördüncü hedefi vurarak tamamlanmıştır. Tüm silahlar kullanılarak, tüm hedefler vurulmuştur.

Modelin Çözümü

Model, AMD FX 6300 6 çekirdek 3.5 ghz işlemcili ve 8 gb ram özelliklerine sahip bilgisayar kullanılarak çözüme ulaşılmıştır.

- Füze sayısı 2 ile 10 adet aralığında,
- Hedef ise 2 ile 8 aralığında,
- Menzil uzaklığı 2 ile 3 km aralığında,
- Füze hızı 800 ile 900 km/sa aralığındadır (Şekil 1).

Füze ve hedef sayılarının büyüklüğü ile programın çalışma süresi arasında doğru orantı bulunmaktadır. Sayılar 5'in üzerinde olduğunda programın hesaplama süresi de belirgin bir şekilde artmaktadır. Güvenlik menzili ve füze hızı programın hesaplama süresini ciddi bir şekilde etkilememektedir.

Çözüme ulaşılan en kısa süre: 0,17 saniye (2 silah, 2 hedef), en uzun süre ise 1844 (9 silah, 6 hedef) saniye olarak hesaplanmıştır (Şekil 4). Çözüme ulaşılan en kısa çözüm adımı: 5 adım, en uzun olarak 293394 adım (Şekil 5) ölçülmüştür. Değişkenlerde ise 228 (Şekil 6), kısıtlarda 181 (Şekil 7), sıfırdan farklı değişkenlerde ise 1064 sayısı (Şekil 8) en yüksek değer olarak bulunmaktadır. Silah sayısı olarak en yüksek 10, en düşük 2 seçilerek çözüme ulaşılmıştır. Hedeflerde ise en yüksek değer 10, en düşük değer ise 3 olarak seçilmiştir. Füze hızı değeri en yüksek 900, en düşük 800, güvenlik menzili ise en düşük 2, en yüksek ise 3 olarak seçilmiştir. Pk değerlerinde en düşük 1.79, en yüksek değer ise 6.19 olarak ölçülmüştür (Şekil 2). Stp, 4.5 saniye değerle en düşük, 10.6 saniye değerle en yüksek (Şekil 3). Gsp, 7.8 saniye en düşük, 40.25 saniye en yüksek değerlerindedir (Şekil 3).

Geliştirilen algoritma modeli amaçlanan başarıya ulaşarak, oluşturulan problemlerin tümünde optimum çözüme ulaşmıştır.

Modelin çözüm süresi ile değerler ve değişkenler arası korelasyon bağlantısı incelendiğinde, Pk değerinin çözüm süresi ile arasındaki korelasyon değeri 0.5

hesaplanmıştır, orta düzeyde bir bağlantı bulunur. şekil 9'de pozitif yönlü bir korelasyon olduğunu gösterir. Stp ile olan korelasyon 0.3 değerindedir. Orta düzey bir bağlantı olup, pozitif yönlüdür (şekil 10). Gsp ile olan bağlantısı, Stp'ye yakın bir değerde olup, 0.3'tür. Orta düzey bir bağlantı ve pozitif yöndedir (şekil 11). Çözüm adımı ile çözüm süresi arasındaki bağlantı yüksek düzeyde olup, değeri 0.99 ve pozitif yönlüdür (şekil 12). Toplam değişkenlerle olan bağlantı değeri 0.45, orta düzey bağlantı ve pozitif yönündedir (şekil 13). Toplam kısıtlarda 0.33, orta düzey ve pozitif yönlüdür (şekil 14). Sıfırdan farklı değişkenlerde de orta düzeyde, değeri 0.45 ve pozitif yöndedir (şekil 15).

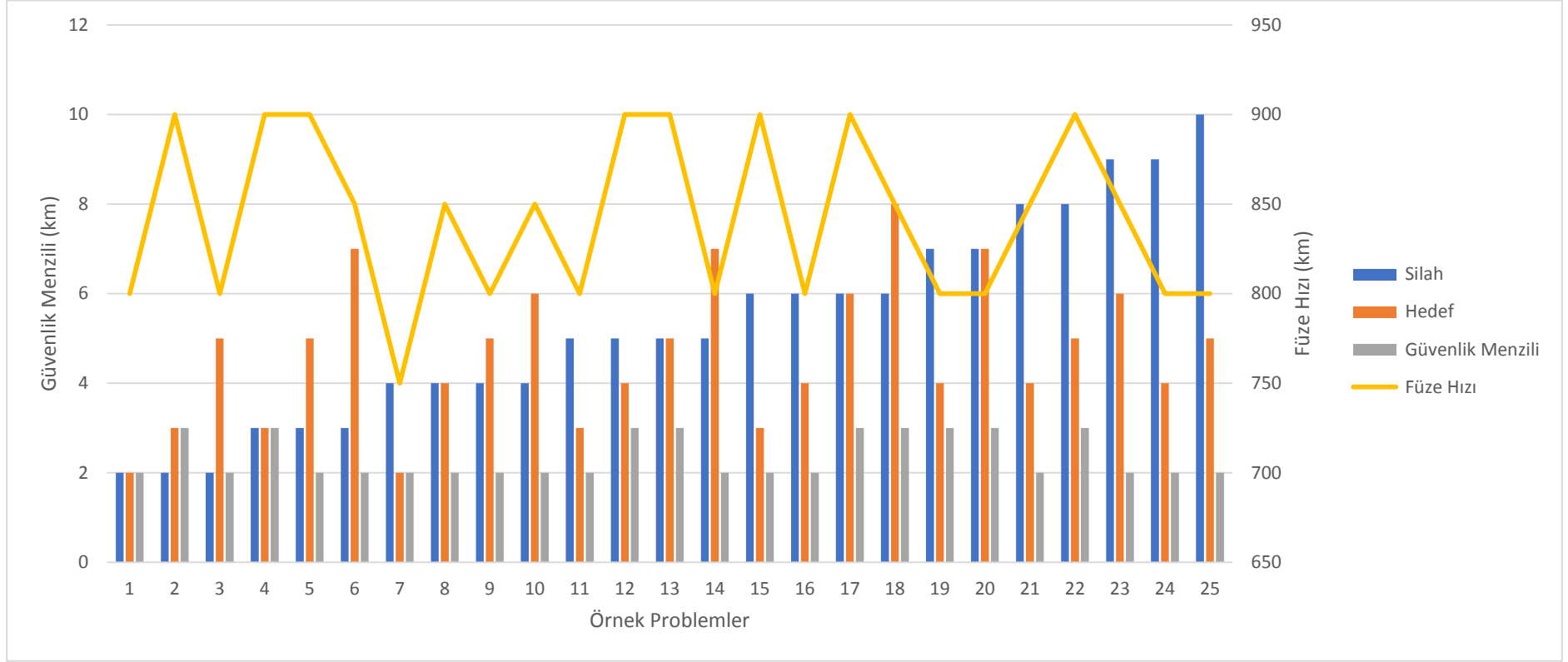


Lingo Programı ile Çözülen Problemlerin Performans Tablosu

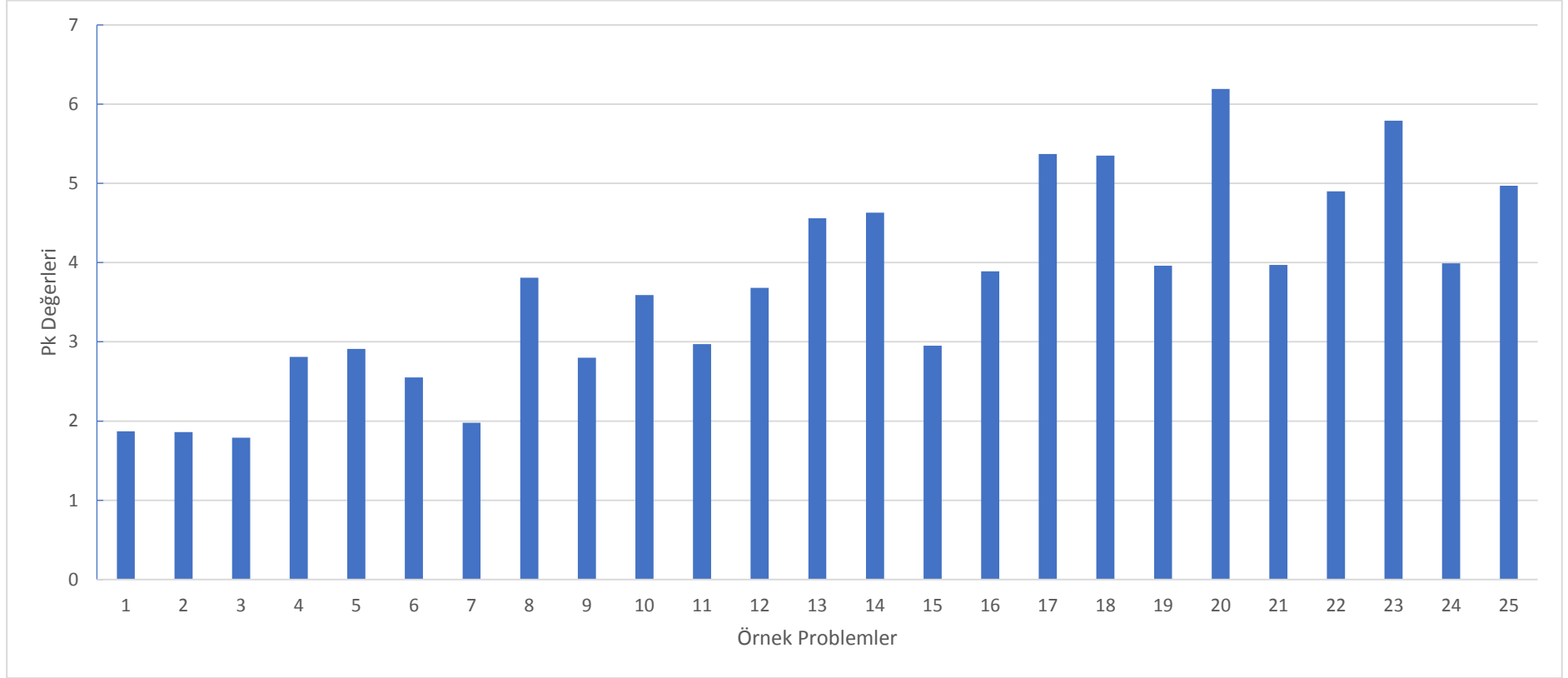
Tablo 2. Problem Çözümleri Değer Tablosu

Örnek No	Silah	Hedef	Güvenlik Menzili	Füze Hızı	Kullanılan Silah	Değişkenler			Kısıtlar		Sıfırdan Farklı		Çözüm Adımı	Pk	Stp	Gsp	Süre (sn)
						Toplam	Doğrusal Olmayan	Tamsayı	Toplam	Doğrusal Olmayan	Toplam	Doğrusal Olmayan					
1	2	2	2	800	2	30	6	26	36	2	104	6	5	1.87	7.15	7.8	0.17
2	2	3	3	900	2	47	8	43	52	2	182	8	13	1.86	2.75	10.9	0.38
3	2	5	2	800	2	93	12	89	93	2	398	12	115	1.79	7.7	22	1.84
4	3	3	3	900	3	51	11	47	53	2	200	11	17	2.81	7.95	13.9	0.26
5	3	5	2	900	3	99	17	95	94	2	425	17	178	2.91	4.5	22.05	2.34
6	3	7	2	850	3	163	23	159	147	2	736	23	575	2.55	5.15	34	10.70
7	4	2	2	750	4	36	10	32	38	2	128	10	20	1.98	3.85	9.15	0.22
8	4	4	2	850	4	78	18	74	73	2	324	18	42	3.81	5.6	15.7	0.72
9	4	5	2	800	4	105	22	101	95	2	458	22	58	2.8	6.5	22.35	1.19
10	4	6	2	850	4	136	26	132	120	2	608	26	1911	3.59	4.95	27.6	14.60
11	5	3	2	800	5	59	17	55	55	2	236	17	156	2.97	4.6	16.4	0.94
12	5	4	3	900	5	83	22	79	74	2	352	22	146	3.68	6.65	16.35	1.95
13	5	5	3	900	5	111	27	107	96	2	488	27	1092	4.56	12.7	24.8	4.75
14	5	7	2	800	5	179	37	175	149	2	820	37	3386	4.63	7.4	35.2	34.57
15	6	3	2	900	6	63	20	59	56	2	254	20	93	2.95	8.45	15.55	1.11
16	6	4	2	800	6	88	26	84	75	2	370	26	1015	3.89	6.2	22.65	5.89
17	6	6	3	900	6	150	38	146	122	2	680	38	5648	5.37	10	27.45	39.97
18	6	8	3	850	6	228	50	224	181	2	1064	50	77817	5.35	10.6	40.25	649.84
19	7	4	3	800	7	93	30	89	76	2	400	30	1835	3.96	10.1	17.3	12.85
20	7	7	3	800	7	195	51	191	151	2	897	51	17368	6.19	10.6	33.2	161.97
21	8	4	2	850	8	98	34	94	77	2	424	34	5755	3.97	8.55	17.7	46.37
22	8	5	3	900	8	129	42	125	99	2	578	42	18664	4.9	12.8	23.35	101.95
23	9	6	2	850	9	171	56	167	125	2	788	56	290294	5.79	10.45	24.9	1844.18
24	9	4	2	800	9	103	98	99	78	2	448	38	21226	3.99	7.55	20.35	100.07
25	10	5	2	800	10	141	52	137	101	2	638	52	293394	4.97	8.5	26.85	1498.22

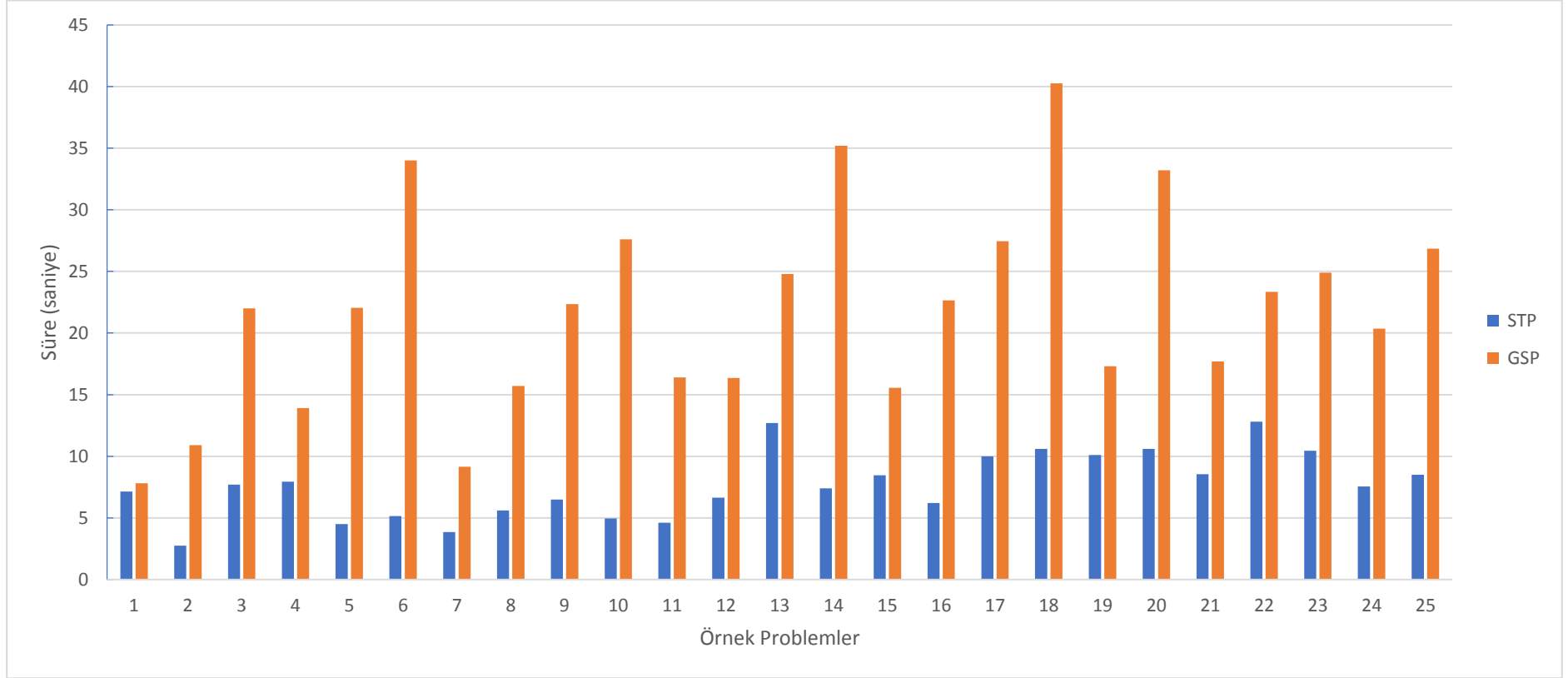
Şekil Listesi



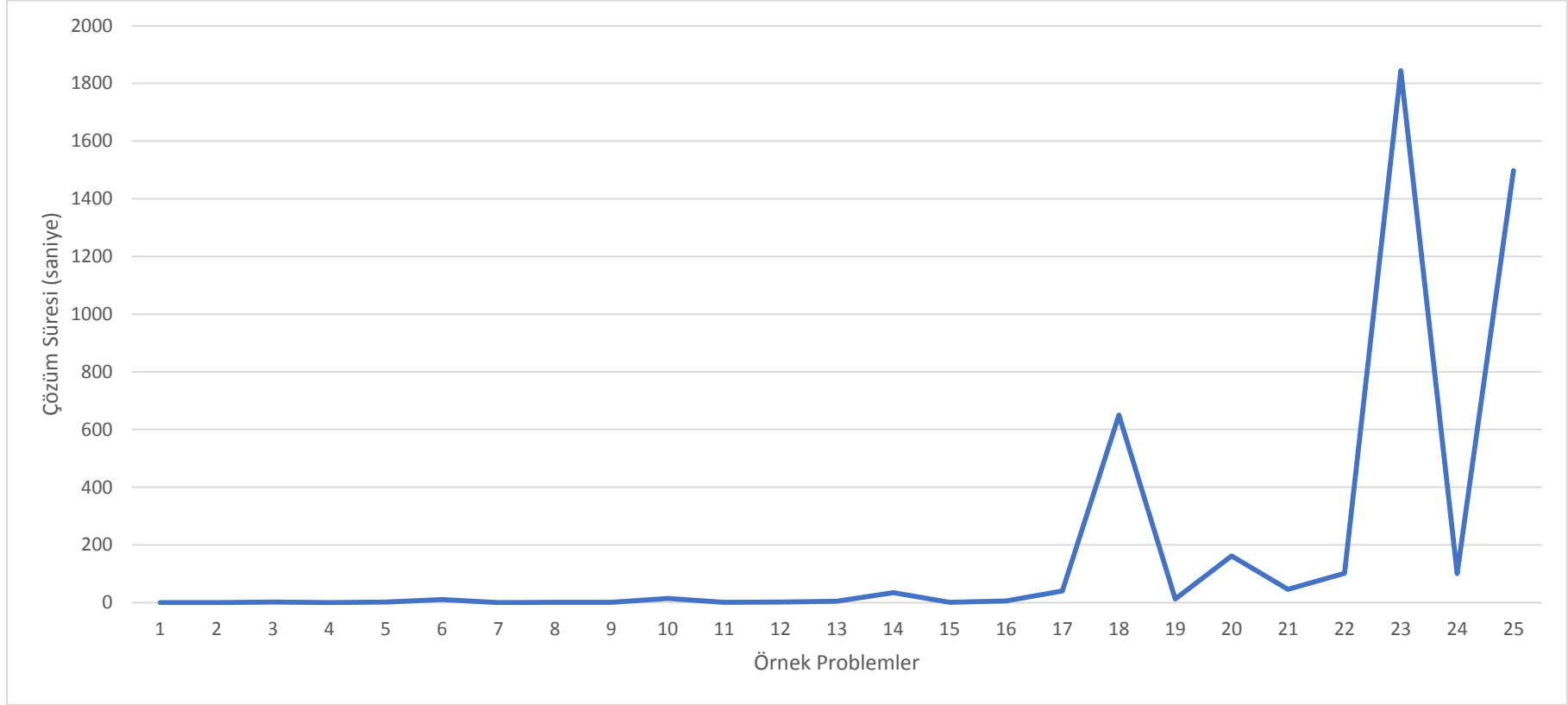
Şekil 1. Örnek Problemlerdeki Silah, Hedef, Güvenlik Menzili ve Füze Hızı Miktarları



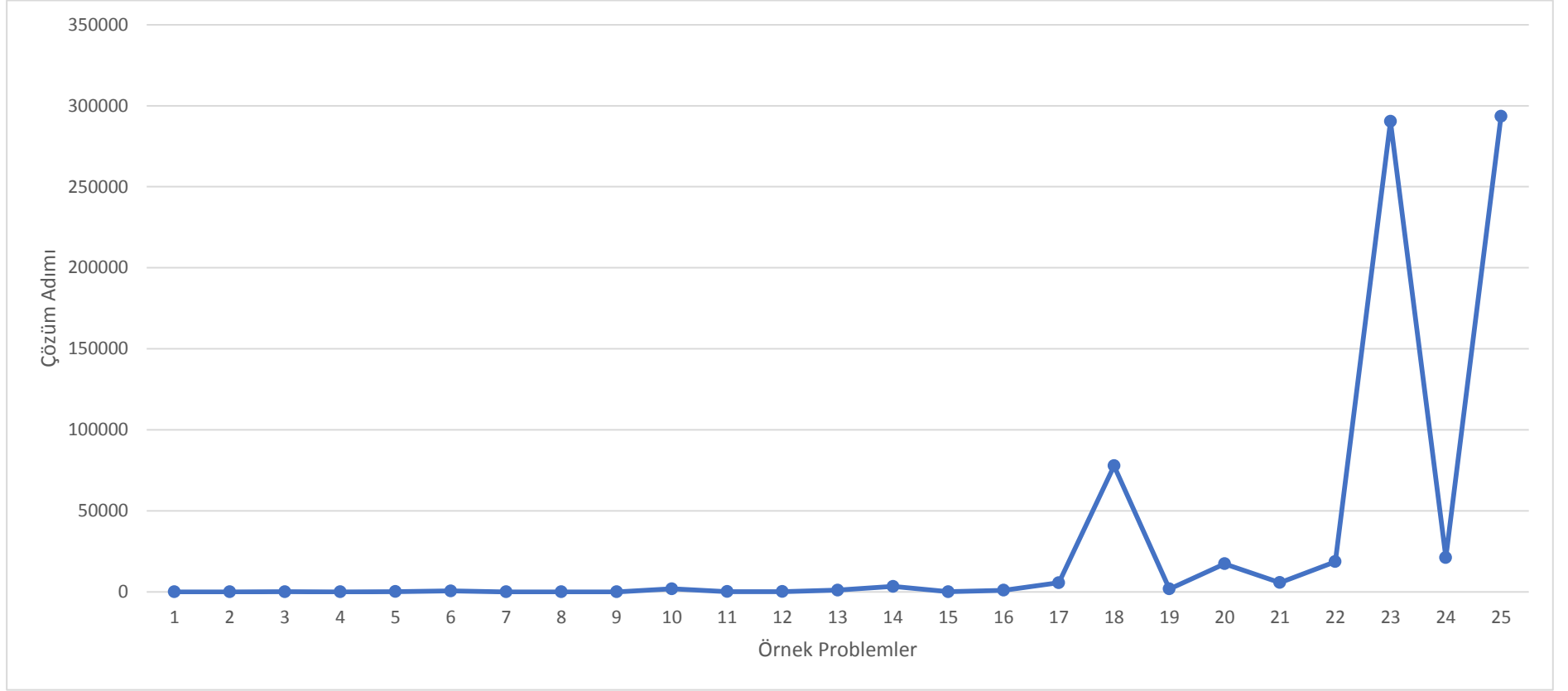
Şekil 2. Problemlerin Pk Değerleri



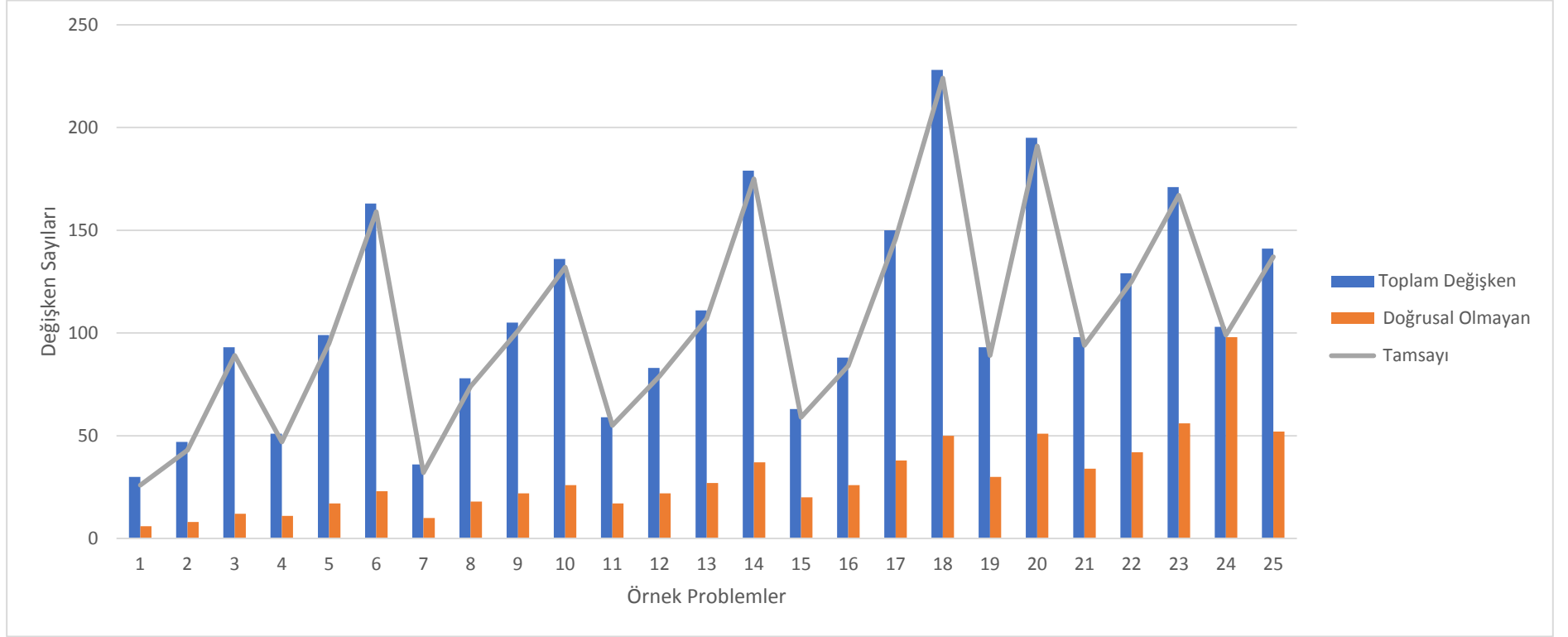
Şekil 3. Problemlerin Stp ve Gsp Değerleri



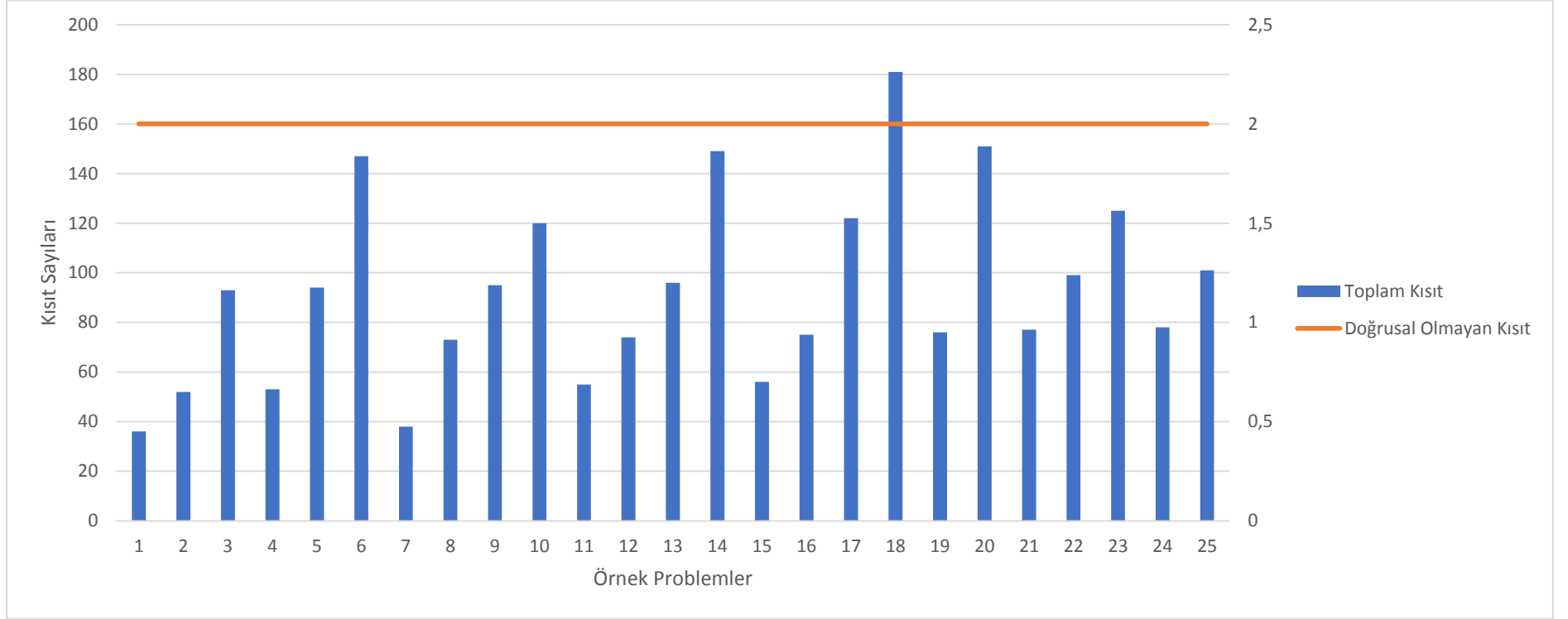
Şekil 4. Problemlerin Çözüm Süreleri



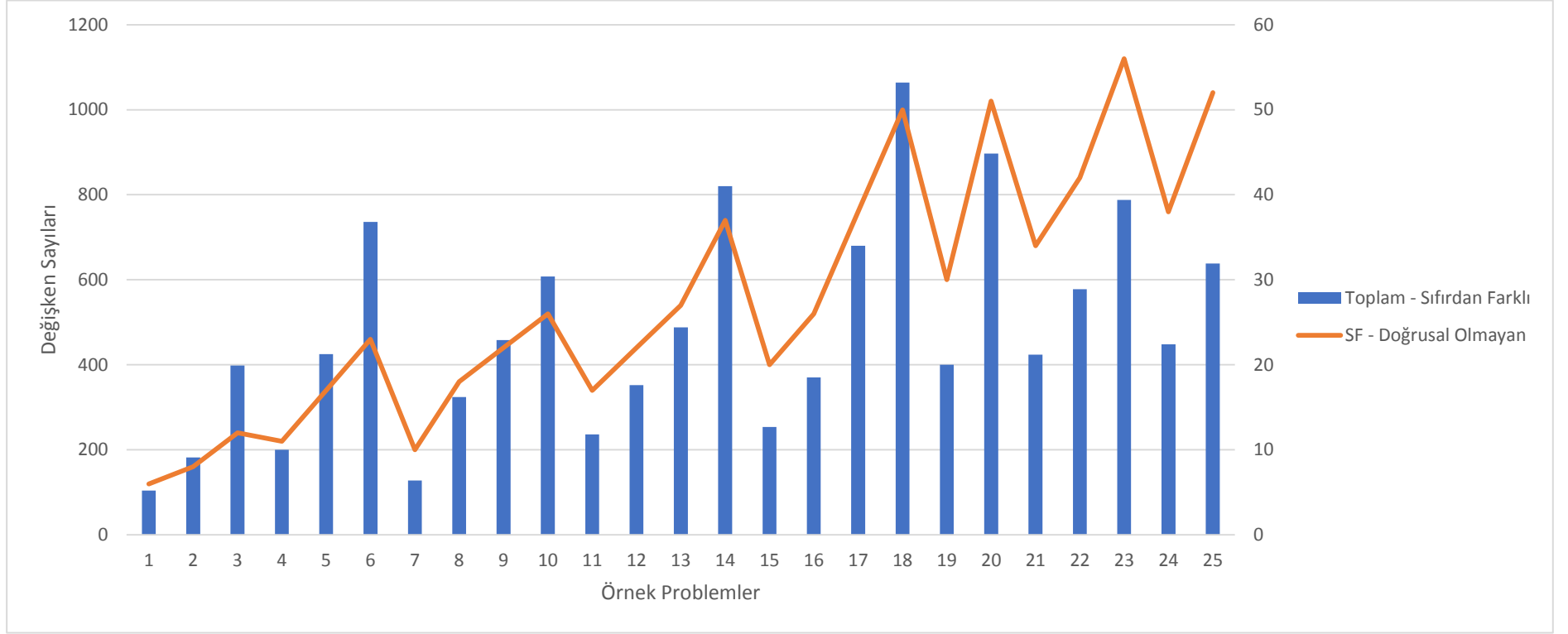
Şekil 5. Örnek Problemlerin Sonuca Ulaştığı Toplam Çözüm Adımları



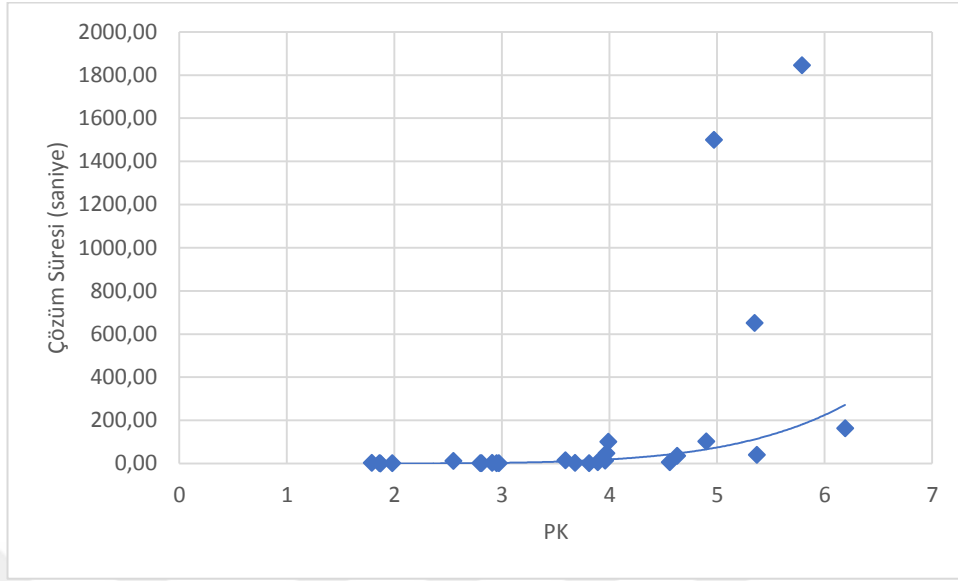
Şekil 6. Toplam Değişken Sayıları



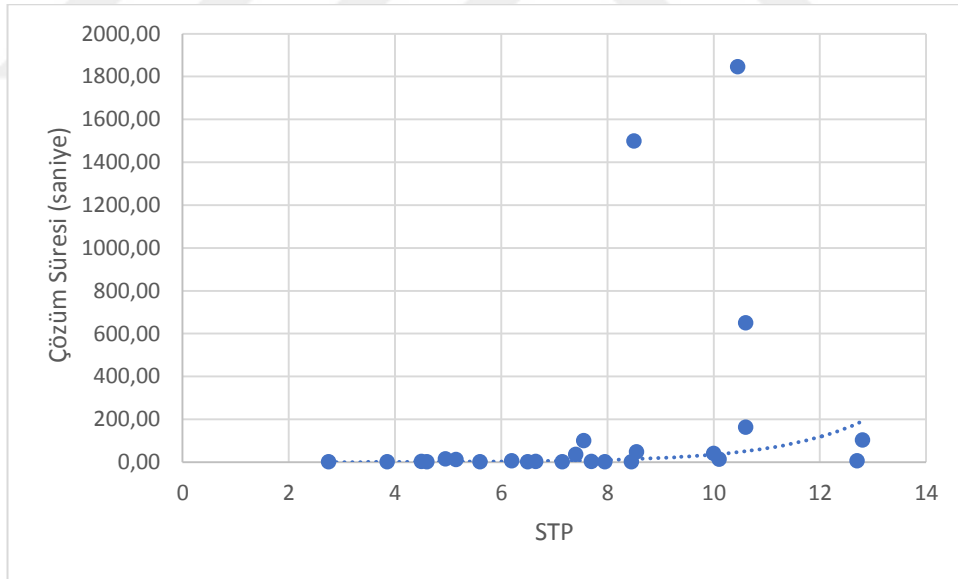
Şekil 7. Kısıt Sayıları



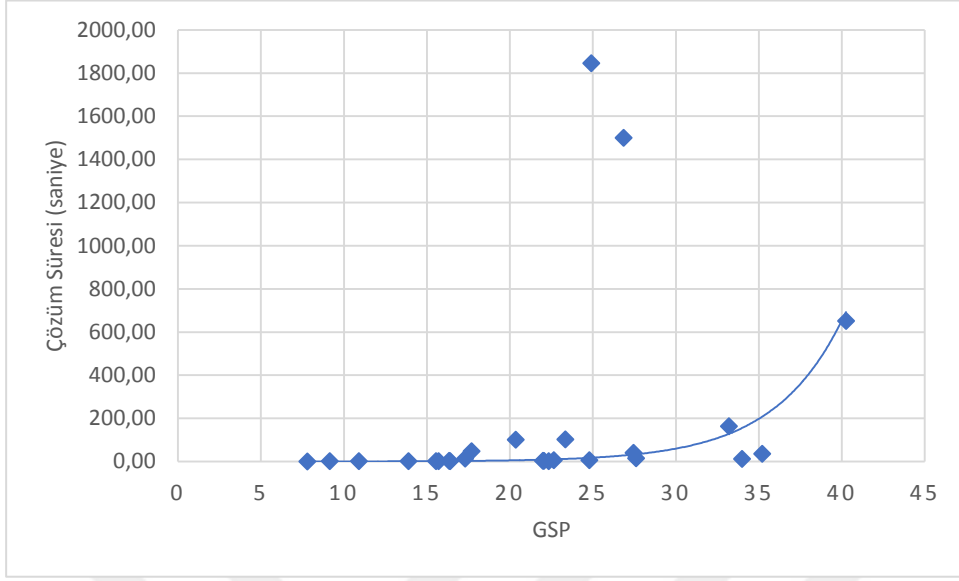
Şekil 8. Sıfırdan Farklı Değişkenler



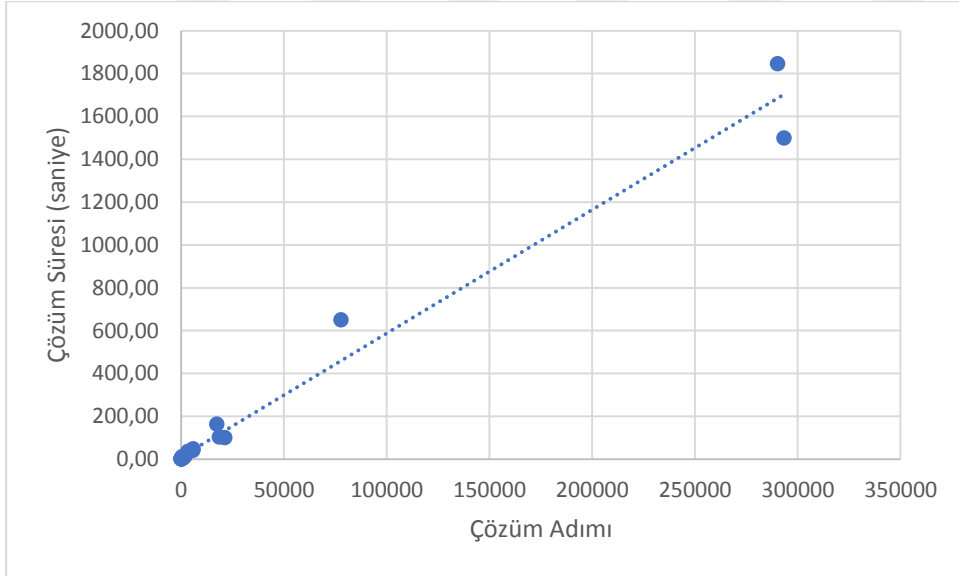
Şekil 9. Pk ve Çözüm Süresi Korelasyon Grafiği



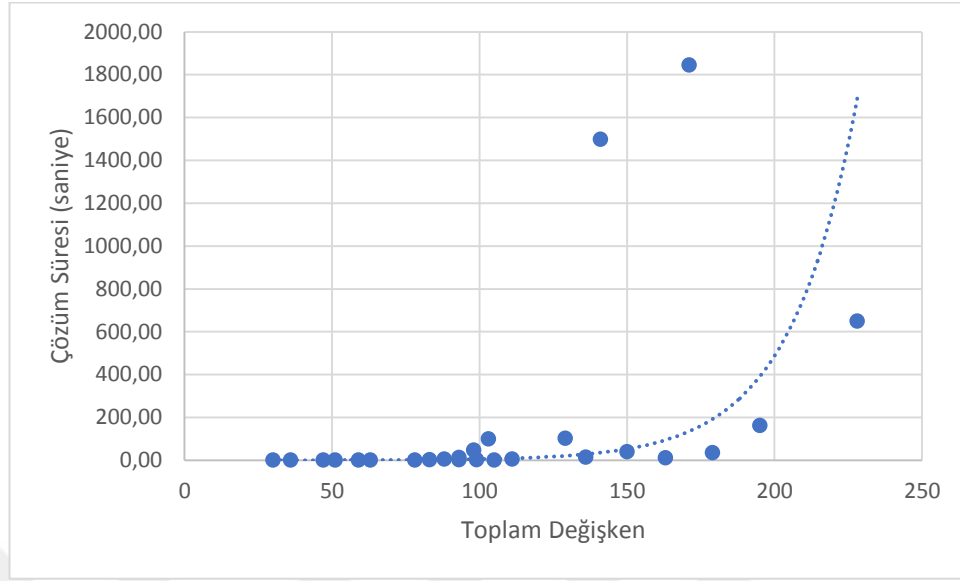
Şekil 10. STP ve Çözüm Süresi Korelasyon Grafiği



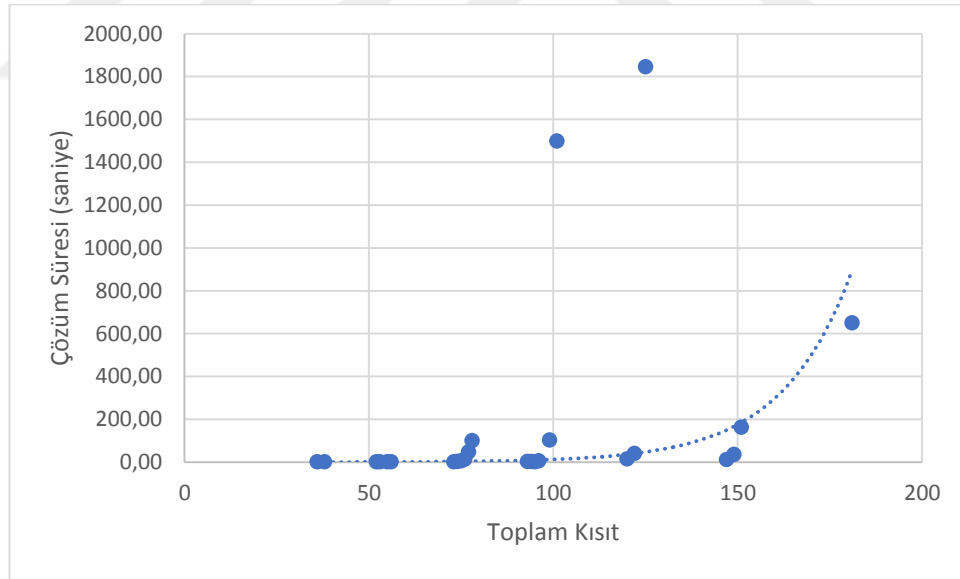
Şekil 11. GSP ve Çözüm Süresi Korelasyon Grafiği



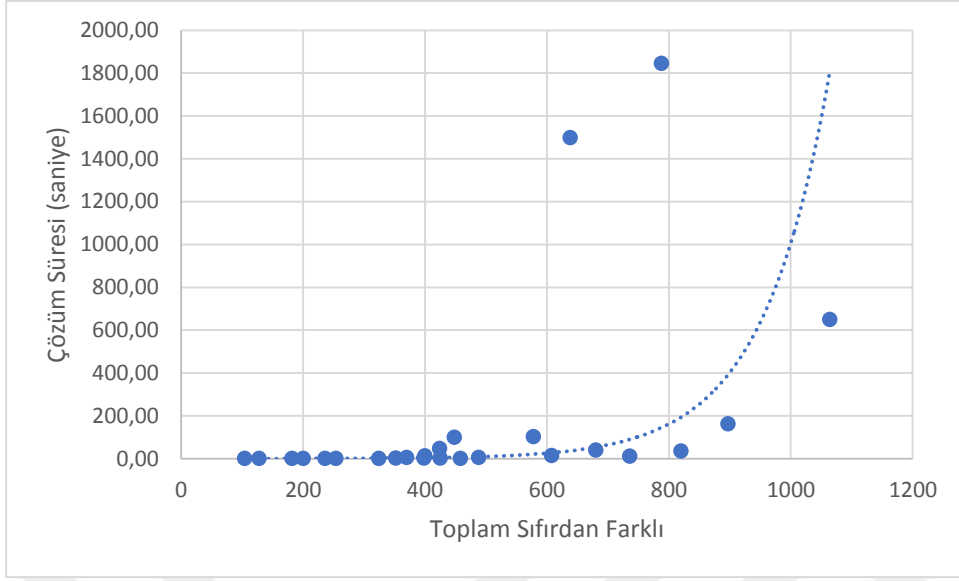
Şekil 12. Çözüm Adımı ve Çözüm Süresi Korelasyon Grafiği



Şekil 13. Toplam Değişken Sayısı ve Çözüm Süresi Korelasyon Grafiği



Şekil 14. Toplam Kısıt Sayısı ve Çözüm Süresi Korelasyon Grafiği



Şekil 15. Toplam Sıfırdan Farklı Değişken ve Çözüm Süresi Korelasyon Grafiği

BÖLÜM 4

SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, silah hedef atama problemi çözümü için çok amaçlı, angajman süreleri ve güvenlik menzili kriterlerinin de hesaplama katılmasıyla kısa sürede en uygun çözüme ulaşma hedeflenmiştir. Çok amaçlı optimizasyon problemi modellemede, amaçların birleştirilerek normalizasyon ile çözümü sağlanmıştır. Normalizasyon her bir amacın maksimum değeri belirlenerek gerçekleştirilmiştir.

Angajmanlar arası süre, diğer bir ifadeyle, bir hedeften diğer bir hedefe geçiş bir gezgin satıcı problemi olarak tanımlanmış ve maksimum değeri hesaplanarak normalize edilmiştir. Gezgin satıcı probleminin maksimizasyon amaçlı çözümü silah atama optimizasyonu ile birlikte çözülmüş önceden çözümlenmiş optimum değer problemine girdi olarak eklenmemiştir. Hedefler sıralanarak, hangi hedefe önce ateş edilmesi sağlanmıştır. Hedefe, güvenlik menzili içerisinde ateş edilemez kuralı uygulanarak, karar mekanizması oluşturulmuştur. Bir hedefe silahın atanıp, atanmamasına karar verilmiştir. Mühimmat hızı ile dinamik bir simülasyon modeli oluşturulmuştur.

Bu amaçla, maksimum hedefler arası geçişi hesaplayan optimizasyon modeliyle, silah atama optimizasyondaki hedefler arası geçiş değişkenleri farklı tanımlanmıştır. Amaç fonksiyonunun iki bileşeninden biri olan öldürme olasılığına ait maksimum değer tüm hedeflerin imha edilmesidir, bu da hedef sayısı ile %100 olasılığın çarpım toplamıdır. Diğer bir ifadeyle, öldürme olasılığı değerinin (P_k) maksimize edilmesine tüm hedeflerin yok edilmesi ile ulaşılır ve bu değer hedef sayısıdır.

Güvenlik menzili ve angajman süreleri amaç fonksiyonu ve birçok kısıt ile oluşturulan algoritma modelinin maksimizasyonu ile Python programlama dilinde kodlanarak bir optimizasyon problemi üretilmiş daha sonra Lingo programında problemin çözümü sağlanarak, optimum sonuç elde etmek için kullanılmıştır.

Çözümde ulaşılan sonuçlara göre, geliştirilen algoritma modeli başarı sağlamıştır. Bu çalışma, silah hedef atama problemlerinin çözümünde yeni bir yaklaşım modeli sunarak, yapılacak çalışmalarla geliştirilerek, çok daha iyi sonuçlar veren bir

algoritma oluşturulabilir. Grafiklerden de görülebileceği gibi, hedef ve mühimmat sayısının çarpımı ile yükselen bir çözüm süresiyle karşılaşmıştır.

Optimizasyon modeli angajman sıralaması, füzelerin hızlarını hesaba dahil ederek, tespit esnasında değil imha aşamasında güvenlik menzili içerisinde olup olmama şartının modellenmesi, hareketli namluya sahip savunma sistemlerinin modellenmesi ve farklı füze tiplerinin modele dahil edilmesi gibi önemli farklılıklar modele dahil edilmiştir.



KAYNAKÇA

- Ahuja, R., Kumar, A., Jha, K., & Orlin, J. (2007). Exact and Heuristic Algorithms for the Weapon-Target Assignment Problem. *Operations Research*, 55, 1136-1146.
- Athans, M. (1987). Command and control (C2) theory: A challenge to control science. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 32(4), 286-293.
- Hasan, M. B., & Barua, Y. (2020). Weapon Target Assignment. İçinde *Concepts, Applications and Emerging Opportunities in Industrial Engineering*. IntechOpen.
- Brown, G., Carlyle, M., Diehl, D., Kline, J., & Wood, K. (2005). A Two-Sided Optimization for Theater Ballistic Missile Defense. *Operations Research*, 53(5), 745.
- Chen, J., Xin, B., Peng, Z., Dou, L., & Zhang, J. (2009). Evolutionary decision-makings for the dynamic weapon-target assignment problem. *Science in China Series F: Information Sciences*, 52(11), 2006.
- Chusilp, P., Charubhun, W., & Koanantachai, P. (2014). Monte Carlo Simulations of Weapon Effectiveness Using Pk Matrix and Carleton Damage Function. *International Journal of Applied Physics and Mathematics*, 4, 280-285.
- Çetin, E., & Tolun, S. (2006). A weapon–target assignment approach to media allocation. *Applied Mathematics and Computation*, 175, 1266-1275.
- Day, R. H. (1966). Allocating Weapons to Target Complexes by Means of Nonlinear Programming. *Operations Research*, 14(6), 992-1013.
- Ghanbari, A. A., Mohammadnia, M., Sadatinejad, S. A., & Alaei, H. (2021). A Survey on Weapon Target Allocation Models and Applications. *Computational Optimization Techniques and Applications*. IntechOpen.
- Hocaoğlu, M. F. (2019). Weapon target assignment optimization for land based multi-air defense systems: A goal programming approach. *Computers and Industrial Engineering*, 128(C), 681-689.
- Hocaoğlu, M., & Ünver, S. (2013). Kural Tabanlı Silah-Hedef Eşleştirme ve Hedef Değerlendirme Optimizasyonu. *Usmos 2013* (Pp.259-266). Ankara, Turkey

- Huaiping, C., Jingxu, L., Yingwu, C., & Hao, W. (2006). Survey of the research on dynamic weapon-target assignment problem. In *Journal of Systems Engineering and Electronics* (Vol. 17, Issue 3, pp. 559–565). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- Cai, H., Liu, J., Chen, Y., & Wang, H. (2006). Survey of the research on dynamic weapon-target assignment problem. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 17, 559-565.
- Johansson, F. (2010). *Evaluating the performance of TEWA systems*.
- Jinshuai, Y., Jin, L., Yi, W., Tong, W., & Zhanqiang, L. (2017). *Optimization of weapon-target assignment problem by intuitionistic fuzzy genetic algorithm*.
- Jang, J., Yoon, H. G., Kim, J. C., & Kim, C. O. (2019). Adaptive Weapon-to-Target Assignment Model Based on the Real-Time Prediction of Hit Probability. *IEEE Access*, 7, 72210-72220.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C., & Vecchi, M. (1983). Optimization by Simulated Annealing. *Science (New York, N.Y.)*, 220, 671-680.
- Kline, A., Ahner, D., & Hill, R. (2019). The Weapon-Target Assignment Problem. *Computers and Operations Research*, 105(C), 226-236.
- Lai, C.-M., & Wu, T.-H. (2019). Simplified swarm optimization with initialization scheme for dynamic weapon–target assignment problem. *Applied Soft Computing*, 82(C).
- Lee, Z.-J., Su, S.-F., & Lee, C.-Y. (2003). Efficiently solving general weapon-target assignment problem by genetic algorithms with greedy eugenics. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part B, Cybernetics: A Publication of the IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society*, 33(1), 113-121.
- Lu, Y., & Chen, D. Z. (2021). A new exact algorithm for the Weapon-Target Assignment Problem. *Omega*, 98(C).
- Manne, A. S. (1958). A Target-Assignment Problem. *Operations Research*, 6(3), 346-351.
- Matlin, S. (1970). A Review of the Literature on the Missile-Allocation Problem. *Operations Research*, 18(2), 334-373.

- Ni, M., Yu, Z., Ma, F., & Wu, X. (2011). A Lagrange Relaxation Method for Solving Weapon-Target Assignment Problem. *Mathematical Problems in Engineering*, 2011.
- Hosein, P. A., & Athans M., (1990). Preferential Defense Strategies. Part I: The Static Case. MIT, Laboratory for Information and Decision Systems.
- Hosein, P. A., & Athans M., (1990). Preferential Defense Strategies. Part II: The Dynamic Case. MIT, Laboratory for Information and Decision Systems.
- Hosein, P. A., & Athans, M. (1990). *An Asymptotic Result for the Multi-Stage Weapon-Target Allocation Problem*. MIT, Laboratory for Information and Decision Systems.
- Şahin, M., & Leblebicioglu, K. (2014). Approximating the optimal mapping for weapon target assignment by fuzzy reasoning. *Information Sciences*, 255, 30-44.
- Xin, B., Chen, J., Peng, Z., Dou, L., & Zhang, J. (2011). An Efficient Rule-Based Constructive Heuristic to Solve Dynamic Weapon-Target Assignment Problem. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*.
- Zhang, K., Zhou, D., Yang, Z., Zhao, Y., & Kong, W. (2020). Efficient Decision Approaches for Asset-Based Dynamic Weapon Target Assignment by a Receding Horizon and Marginal Return Heuristic. *Electronics*, 9, 1511.
- Zhou, Y., Li, X., Zhu, Y., & Wang, W. (2016). *A discrete particle swarm optimization algorithm applied in constrained static weapon-target assignment problem*. 3118-3123.

Ek 1: Rassal Problem Üretme Kodu

```
import random
weapon=int(input("Silah Sayısı "))
target= int(input("Hedef Sayısı "))
minMenzil=int(input("Güvenlik menzili "))
goallist=[]
constraints =[]
v=int(input("Füze hızı "))
values=[]
pk=[]

for i in range(target):
    values.append(random.randint (60,100))

for i in range(weapon):
    pk.append(random.randint (80,100)/100)

Istem=[]
for i in range(target+1):
    Istem.append(i)

setup=[]
setupD={}
toplamSetup=0
for i in Istem:
    satir=[]
    for j in Istem:
        if (i==j):
            satir.append(-1)
            setupD[i*10+j]=-1
    else:
        rndSetup=random.randint(10,100)/20
```

```

        setupD[i * 10 + j] = rndSetup
        satir.append(rndSetup)
        toplamSetup += rndSetup
    setup.append(satir)

print("Setup")
for i in setup:
    print (i)
distances=[]
constraints.append("!! Gezgin Satıcı Problemi;")

trvSalesman="GSP ="
for i in lstem:
    for j in lstem:
        if (i!=j):
            trvSalesman+= str(setupD[i*10+j]) + "*"s+str(i)+"_"+str(j) +"+"

trvSalesman=trvSalesman[:-1]+";"
print(trvSalesman)
lstemX=lstem+[0]
for i in lstemX:
    gspKst=""
    for j in lstem:
        if (i!=j):
            gspKst += "s" + str(i)+"_"+str(j) +"+"
    gspKst=gspKst[:-1]+"=1;"
    constraints.append(gspKst)

lstemY=lstem+[0]
for i in lstemY:
    gspKst=""
    for j in lstem:
        if (i!=j):
            gspKst += "s" + str(j)+"_"+str(i) +"+"
    gspKst=gspKst[:-1]+"=1;"

```

```

constraints.append(gspKst)

for i in lstem:
    for j in lstem:
        if (i!=j):
            gspKst ="s" + str(i)+"_" +str(j) +"+" + "s" + str(j)+"_" +str(i) +"<=1;"
            constraints.append(gspKst)

goallist.append("! GSP Sonu;")
for i in range(target):
    distances.append(random.randint(int(int(minMenzil)/10),int(minMenzil)*20))

goals=[]
goallist.append("! Bu problem "+str(target)+ "hedef ve "+str(weapon)+"silah için
rassal olarak oluşturulmuştur.;" )
goallist.append("! xij: i silah dizini, j hedef dizini, eğer i silahı j hedefine ateşlenirse xij
=1 değilse xij=0;")

for j in range(target):
    goal = ""
    for i in range(weapon):
        r=""*""
        goal += "(1-"+str(pk[i])+")^x"+str(i+1)+"_" +str(j+1)+r

    goal=goal[:-1]
    goal = "("+str(1)+"-"+goal+")"
    goals.append(goal)
goal ="pK="
for i in goals:
    goal +=i +"+"

goal = goal.rstrip(goal[-1])
goalA=goal+";";
goal="pK/"+str(target)+"-"+ "stp/GSP"

```

```

goallist.append("max =" + goal + " + GSP;")
goallist.append(goalA)

# const G1

if (target < weapon):
    constraints.append("! Grup 1: Bir füze bir hedefe atılır ;")
else:
    constraints.append("! Grup 1: Bir füze bir füze atılır veya atılmaz;")

for i in range(weapon):
    cnst= ""
    for j in range(target):
        if (j==target-1):
            r=""
        else:
            r="+"
        ara="*("
        for k in range(target+1):
            if k==j+1:
                continue
            ara += "h"+str(k)+"_"+str(j+1) + "+"
        l = len(ara)
        ara = ara[:l - 1]
        ara+=")"
        cnst += "x"+str(i+1)+"_"+str(j+1) + r##+ara+r
    sgn="<=1"
    if (target<weapon):
        sgn="<="
        vl="1"
    else:
        sgn="<="
        vl="1"

    cnst +=sgn+vl

```

```

constraints.append(cnst+";")

if (target < weapon):
    constraints.append("! Grup 2: Bir hedefe sıfır veya birden fazla füze atılabilir ;")
else:
    constraints.append("! Grup 2: Bir hedefe bir veya sıfır füze ateşlenebilir;")

for i in range(target):
    cnst= ""
    for j in range(weapon):
        if (j==weapon-1):
            r=""
        else:
            r="+"
        cnst += "x"+str(j+1)+"_"+str(i+1) +r
    sgn="="
    if (weapon<target):
        sgn="<="
        vl="y"+str(i+1)
    else: # (weapon>=target):
        sgn = ">="
        vl="y"+str(i+1)
    cnst +=sgn+vl
    constraints.append(cnst+";")
constraints.append("M=999999999999999999;")
constraints.append("! Grup 3: Toplam mühimmat kısıtı;")
cnst = ""

for i in range(target):
    for j in range(weapon):
        cnst += "x"+str(j+1)+"_"+str(i+1) + "+"
l = len(cnst)
cnst = cnst[:l - 1]
cnst += "<="+str(weapon)+";"
constraints.append(cnst)

```

```
constraints.append("! Grup 4: Güvenlik Menzili içinde kalan hedefe ateş edilmeme  
kısıtları;")
```

```
for i in range(target):
```

```
    s="("
    for j in range(weapon):
        if (j==weapon-1):
            r=""
        else:
            r="+"
        s += "x"+str(j+1)+"_"+str(i+1) + r
    s += ")"
    constraints.append(s+"<=0+M*y"+str(i+1)+";")
    s += "*"
    p="("
    for k in range(target+1):
        if (k==i+1):
            continue
        p += str(setup[k][i+1]) + "*h" + str(k) + "_" + str(i + 1) + "+"
    p= str(v*1000/3600)+"*"+p.rstrip(p[-1])
    rr=s+str((distances[i]-minMenzil)*1000)+"*"+p+">="+str(minMenzil*1.1)+"-M*(1-  
y"+str(i)+")"#+""+str(v)
    constraints.append(rr+";")
    constraints.append("@bin(y" + str(i+1) + ");")
cstp="stp="
for i in range (target+1):
    for j in range (target+1):
        if (i==j):
            continue
        cstp += str(setup[i][j])+""*h"+str(i)+"_"+str(j) +""

cstp = cstp.rstrip(cstp[-1])
constraints.append("!Toplam Setup süresi;")
constraints.append(cstp+";")
```

```
constraints.append("!Grup 5: Bekleme durumundan ilk angajmana geçiş kısıtları ;")
```

```
for i in range(target+1):
    cnst=""
    for j in range(target+1):
        if (i==j):
            continue
        cnst += "h"+str(j)+"_"+str(i) + "+"
    cnst = cnst.rstrip(cnst[-1])
    cnst += "=y" + str(i)+";"
    constraints.append(cnst)
```

```
for j in range(target+1):
    cnst=""
    for i in range(target+1):
        if (i==j):
            continue
        cnst += "h"+str(j)+"_"+str(i) + "+"
    cnst = cnst.rstrip(cnst[-1])
    cnst += "=y" + str(j)+";"
    constraints.append(cnst)
```

```
constraints.append("!Başlangıçta seçilen hedeften tekrar başlangıç durumuna geçilemez;")
```

```
for i in range(target+1):
    cns=""
    for j in range(i,target+1):
        if (i==j):
            continue
        cns = "h"+str(i)+"_"+str(j) + "+" + "h"+str(j)+"_"+str(i)+"<=1"
        constraints.append(cns+";")
```

```
for i in range(weapon+1):
    cns=""
    for j in range(target+1):
```

```

        cns = "@bin(x"+str(i+1)+"_"+str(j+1)+")"
        constraints.append(cns+";")

for i in range(target+1):
    for j in range(target+1):
        if (i==j):
            continue
        cns = "@bin(h"+str(i)+"_"+str(j)+")"
        constraints.append(cns+";")

for i in lstem:
    for j in lstem:
        constraints.append("@bin(s"+str(i)+"_"+str(j)+");")

f=open("D:/temp/Problem"+str(target)+"_"+str(weapon)+".txt", "w")
for g in goallist:
    print(g)

for i in constraints:
    print(i)

f.close()

```