

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ

PEKİŞTİRMELİ ÖĞRENME VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE
SUÜSTÜ HARBİNİN MODELLENMESİ



RAGIP ZİLCİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
SAVUNMA BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2022

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ

PEKİŞTİRMELİ ÖĞRENME VE
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE
SUÜSTÜ HARBİNİN MODELLENMESİ

RAGIP ZİLCİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
SAVUNMA BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF.DR. AYHAN DEMİRİZ

GEBZE

2022

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF DEFENCE TECHNOLOGIES

**MODELING OF SURFACE WARFARE WITH
REINFORCEMENT LEARNING AND
ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

RAGIP ZİLCİ

**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF DEFENSE SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**THESIS SUPERVISOR
PROF.DR. AYHAN DEMİRİZ**

GEBZE

2022

ÖZET

Bu çalışmada, savaş stratejilerinin yapay zekâ algoritmaları ile hem gerçek hayata en yakın, hem de en uygun sonuçları alacak şekilde belirlenerek savunma sektöründeki harcamalardan tasarruf edilebilecek planlamaların yapılabilmesi veya gerçek harp ortamında ortaya çıkabilecek ihtiyaçların belirlenebilmesi amaçlanmıştır. Literatür araştırması kapsamında deniz harbinde bir mühimmatın isabet durumuna etki eden faktörler araştırılmış ve bu faktörler dikkate alınarak olası bir angajmanda ihtiyaç duyulacak mühimmat miktarları için regresyon yöntemi uygulanmıştır. Regresyon yöntemleri kapsamında yapay sinir ağları kullanılarak suüstü harbindeki bir unsurun diğerine hangi füzeden kaç adet atması gerektiği hesaplanmıştır. Akabinde doğrusal programlama ile söz konusu unsurun üzerinde taşıdığı füzelerin hangisinden kaç adet kullanması gerektiği hesaplanmıştır. Doğrusal programlamadaki karar mekanizmasını mühimmatın regresyon modeli ile belirlenen imha gücü ve bu mühimmatın birim maliyeti oluşturmuştur. Son olarak Q-öğrenme algoritmasıyla herhangi bir deniz harbi rasgele bir şekilde defalarca simüle edilmiş, bu sayede dost ve düşman unsurların harekât tarzlarının optimize edilmesini sağlayan bir model geliştirilmiştir. Modelin geliştirilmesi için kullanılacak algoritmalar literatür araştırmasıyla ortaya çıkarılmıştır. Literatür araştırması sırasında bir deniz harbini simüle eden benzer bir çalışmaya rastlanamamıştır. Bu sebeple bir deniz harp nevi olan suüstü harbinin simüle edilmesini sağlayan bu model ile doğası gereği belirsizlikler taşıyan harp ortamlarında daha doğru stratejilerin daha hızlı bir şekilde geliştirilebilmesine katkı sağlanacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Suüstü Harbi, Q-Öğrenme, Yapay Sinir Ağları, Regresyon, Doğrusal Programlama

SUMMARY

In this study, it is aimed to make plans that can save on expenditures in the defense sector or to determine the needs that may arise in the real war environment by determining the war strategies with artificial intelligence algorithms. Within the scope of the literature research, the factors affecting the accuracy of an ammunition in naval warfare were investigated, and the regression method was applied for the amount of ammunition that would be needed in a possible engagement, taking these factors into account. Within the scope of regression methods, using artificial neural networks, how many missiles should be fired by an platform in surface warfare to another is calculated. Then, with linear programming, it was calculated how many and which missiles it should use. The decision mechanism in linear programming was determined by the regression model of the ammunition and the unit cost of this ammunition. Finally, any naval warfare has been randomly simulated many times with the Q-learning algorithm, thus a model has been developed that optimizes the operational styles of friendly and enemy elements. Algorithms to be used for the development of the model were revealed through literature research. During the literature search, no similar study simulating a naval warfare could be found. For this reason, it is considered that this model, which allows simulating surface warfare, which is a type of naval warfare, will contribute to the development of more accurate strategies more quickly in warfare environments that are inherently uncertain.

Key Words: Surface Warfare, Q-Learning, Artificial Neural Networks, Regression, Linear Programming

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanım Prof.Dr. Ayhan DEMİRİZ'e ve yüksek lisans eğitimim boyunca yanımda bulunarak bana desteklerini esirgemeyen aileme ve çalışma arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2. SUÜSTÜ HARBİ	3
2.1. Suüstü Harbinin Saldırı Konsepti	3
2.2. Suüstü Harbinde Savunma Konsepti	6
2.3. Harp Alanının Bileşenleri	7
2.3.1. Platformlar ve Özellikleri	7
2.3.2. Mühimmatlar ve Özellikleri	8
2.3.3. Harp Ortamını Etkileyen Diğer Faktörler	9
2.3.3.1. Rüzgâr	9
2.3.3.2. Bağlı Nem	11
2.3.3.3. Sıcaklık	11
2.3.3.3. Deniz Durumu	11
3. VERİ SETİNİN TANIMLANMASI	13
3.1. Veri Setinin Bileşenleri	13
3.1.1. Angajman Veri Tabanı	13
3.1.2. Kuvvet Veri Tabanı	14
3.1.3. Güncel Harp Ortamı Verileri	15
3.1.4. Pekiştirmeli Öğrenme İçin İhtiyaç Duyulan Veriler	15
3.2. Sentetik Veri Üretimi	16
3.2.1. Sentetik Veri Üretiminin Nedenleri	16
3.2.2. Angajman Verileri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi	16

3.2.3. Angajman Verilerinin Üretilbileceği Örnek Denklemler	17
3.2.4. Sentetik Olarak Üretilen Örnek Angajman Verileri	18
4. ASKERİ PLANLAMADA KARAR PROBLEMİ	20
4.1. Karar Ortamı ve Karar Süreci	20
4.2. Askeri Planlamada Karar Süreci	20
4.3. Geleneksel ve Modern Karar Süreçleri	21
4.4. Suüstü Harbinde Güncel Yaklaşımlar	21
4.4.1. Gayret Seviyesi Yaklaşımı	22
4.4.2. Tehdide Yönelik ve Olasılıksal Değerlere Göre Analiz	23
4.5. Çalışmanın Problem Sahasındaki Temel Amacı	25
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	26
6. MODEL TASARIMI	30
6.1. Yapay Sinir Ağları	30
6.2. Doğrusal Programlama	32
6.3. Q-Öğrenme Algoritması	33
7. DENEYLER VE GÖZLEMLER	38
7.1. Örnek Senaryo İncelemesi	38
7.1.1. Senaryoya ait Kuvvet Veri Tabanı	38
7.1.2. Senaryoya ait Harp Ortamı Verileri	40
7.1.3. Senaryo için Denenen Çeşitli Hiperparametre Değerleri	40
7.1.4. Öğrenme Grafikleri ve Hiperparametre İlişkisi	40
7.1.5. En İyi ve En Kötü Harekât Tarzlarının Karşılaştırılması	42
7.1.6. Dost Kuvvetin En İyi Harekât Tarzında Mühimmat Sayıları	43
7.1.7. Aynı Harp Ortamındaki Farklı Senaryoların Karşılaştırılması	44
7.2. Farklı Denklemlerle Üretilen Verilerin Sonuçlara Etkisi	47
8. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER	49
8.1. Mevcut Yaklaşımlara Göre Örnek Senaryo Sonuçları	49
8.1.1. Gayret Seviyesi Yaklaşımının Sonuçları	49
8.1.2. Olasılıksal Yaklaşımın Sonuçları	51
8.2. Çalışmamızın Kazanımları	52
8.3. Değerlendirmeler	53
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar Kısaltmalar

x_{ij}, y_j	: Angajman veri tabanı girdileri ve veri etiketleri
α	: Öğrenme oranı
ε	: Keşif oranı
δ	: Yineleme sayısı
kts	: Denizcilikte hız birimi (Knots)
R^2	: Belirleme katsayısı
$\hat{y}_j$	: Tahmin değerleri
$\bar{y}_j$	: Gerçek değerlerin ortalaması
Q_i	: Yapay sinir ağları artık değerleri
w_i	: Yapay sinir ağları ağırlıklar
f	: Yapay sinir ağları transfer fonksiyonu
M_i	: Füze birim maliyeti
T_i	: Füze hedef imha tonajı
S	: Ortam modeli (Environment)
a	: Aksiyon
$Q_{(S, a)}$	: S ortamında a aksiyonuyla elde edilen Q (güncellenmiş ödül) değeri
V	: Durum değeri
γ	: Azaltım faktörü (Discount factor)
r	: Platform başına ödül değeri
R	: Kuvvet bazında ödül değeri
CIWS	: Close In Weapon System (Yakın Silah Sistemi)
ESSM	: Evolved Sea Sparrow Missile (Geliştirilmiş Deniz Zıpkını Füzesi)
TNT	: Trinitrotoluen
AKS	: Atış Kontrol Sistemi
WMO	: World Meteorological Organization (Dünya Meteoroloji Örgütü)
SSM	: Surface to Surface Missile (Sathıtan Satha Güdümlü Füze)
ASM	: Air to Surface Missile (Havadan Satha Güdümlü Füze)
SS	: Savunma Sistemi

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Seyir füzesi.	4
2.2: Satıhtan Satha GÜDÜMLÜ FÜZE.	4
2.3: Torpido.	5
2.4: Havadan Satha GÜDÜMLÜ FÜZE.	5
2.5: a) CIWS, b) ESSM, c) Aster-30.	6
5.1: Makine öğrenmesi yöntemleri.	27
5.2: Tasarlanması Amaçlanan Modelin Detayları.	29
6.1: Geliştirilen algoritmanın işlem sırası.	30
6.2: Yapay sinir ağları şematik gösterimi.	31
7.1: a) Dost yineleme-ödül grafiği, b) Düşman yineleme-ödül grafiği.	40
7.2: a) Dost yineleme-ödül grafiği, b) Düşman yineleme-ödül grafiği.	41
7.3: a) Dost yineleme-ödül grafiği, b) Düşman yineleme-ödül grafiği.	41
7.4: Örnek senaryo en iyi harekât tarzında mühimmat ihtiyaçları.	44
7.5: a) Dost yineleme-ödül grafiği, b) Düşman yineleme-ödül grafiği.	45
7.6: a) Dost yineleme-ödül grafiği, b) Düşman yineleme-ödül grafiği.	45
7.7: a) Dost yineleme-ödül grafiği, b) Düşman yineleme-ödül grafiği.	46
7.8: a) Dost yineleme-ödül grafiği, b) Düşman yineleme-ödül grafiği.	46

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo No:

Sayfa

2.1:	Beaufort rüzgâr şiddeti skalası.	9
2.2:	Douglas skalası ve deniz durumu değerleri.	12
3.1:	Angajman veri tabanı rastgele giriş değişkenleri.	19
3.2:	Sentetik veri üretimi.	19
5.1:	Çeşitli regresyon yöntemlerinin test skorları.	28
6.1:	Önerilen Q-Öğrenme algoritması sözde kodu (pseudo-code).	36
7.1:	Örnek senaryoya ait kuvvet veri tabanı (1).	38
7.2:	Örnek senaryoya ait kuvvet veri tabanının devamı (2).	39
7.3:	Örnek senaryoya ait kuvvet veri tabanının devamı (3).	39
7.4:	Örnek senaryoya ait kuvvet veri tabanının devamı (4).	39
7.5:	Örnek senaryoya ait güncel harp ortamı verileri.	40
7.6:	Örnek senaryoya ait çeşitli hiperparametre değerleri.	40
7.7:	Dost en kötü - düşman en iyi harekât tarzı.	42
7.8:	Dost en iyi - düşman en iyi harekât tarzı.	43
7.9:	Farklı senaryolara göre en uygun hiperparametre değerleri.	47
7.10:	Farklı denklemlerle üretilen verilere göre alınan sonuçlar.	48
8.1:	Gayret Seviyesi Yaklaşımı Mühimmat İhtiyacı Sonuçları.	50
8.2:	Varsayımsal Angajman Olasılıkları.	51
8.3:	Olasılıksal Yaklaşım Mühimmat İhtiyacı Sonuçları.	51

1. GİRİŞ

Ülke güvenliğinin çağın gereklerine uygun olarak sağlanması için savunma yatırımları önem arz etmektedir. Türkiye Cumhuriyeti'nin ülke güvenliğini daha etkin olarak sağlaması ekonomik kaynaklarının etkin kullanımına ve ihtiyaçların gerçek ihtiyaçlarla bağdaşmasına bağlı olduğundan savunma harcamaları üzerinde tasarruf sağlanabilecek herhangi bir çalışmanın son derece kıymetli olduğu değerlendirilmektedir [1].

Bilindiği üzere savunma harcamalarına olan ihtiyaçların belirlenebilmesinin en yegane yolu, olası bir harp veya kriz durumunda nelere ihtiyaç duyulabileceğinin analiz edilmesinden geçmektedir [2]. Bu durumda ise geçmişte yaşanmış olaylardan ders almanın en önemli girdilerden biri olduğu değerlendirilmektedir [3]. Bu sebeple bir suüstü harbini modelleyebilmek için geçmiş angajman durumlarının incelenmesi ve hangi değişkenlerin neleri ne oranda etkileyebileceğinin iyi analiz edilmesi gereklidir. Bu nedenle bu çalışmanın da iskeletini, bir hedefin imha edilebilmesi için ne kadarlık bir mühimmata ihtiyaç duyulabileceği oluşturmaktadır.

Bu incelemede; bir atıcı platformun bir hedefi imha etmek için kullandığı mühimmat miktarları, geçmiş angajman verileri göz önüne alınarak analiz edilmiştir. Fakat söz konusu verilerin gizli ve hassas veriler olabileceği değerlendirildiğinden, çalışma hayali veriler kullanılarak tasarlanmış, gizli olabilecek gerçek verilerin kullanılmasından kaçınılmıştır. Bu sebeple geliştirilen model, gerçek verilere sahip olmayan yetkisiz kullanıcıların gerçek sonuçlar alamayacağı bir modeldir. Bu çalışmada kullanılan hayali veriler, yapılan tahminleme metodolojisinin test performansını ölçebilmek için, belirli bir denkleme göre üretilmiştir.

Modelde ilk aşamada, mevcut atıcı platformların mevcut hedef platformlara taşıdıkları her bir mühimmattan sadece birini kullanacakları varsayıldığında, bu mühimmattan atılması gereken miktarın kaç adet olduğu tahmin edilmektedir. Fakat bu aşamada, platformda yüklü olan mühimmat/mühimmatlardan hangisi/hangilerinin atılması gerektiği problemi ortaya çıkmaktadır.

İkinci aşamada bahse konu problem, her bir mühimmat çeşidinin bir adediyle imha edilebilecek hedef platform tonajları ve birim mühimmat maliyetleri kullanılarak oluşturulan bir doğrusal programlama modeliyle çözülmüştür.

Modelde son olarak, çeşitli özellikleri tanımlanan bir dost ve düşman platform grubu için, pekiştirmeli öğrenmenin Q-öğrenme algoritması kullanılarak optimal bir harekât tarzı belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu optimizasyon yapılırken dost ve düşman kuvvetlerin her ikisinin de kendi harekât tarzlarını deneme yanılma yöntemiyle giderek daha iyi hale getirmeleri esas alınmaktadır. Fakat modelde Q-öğrenme algoritması çalıştırılırken denenen çeşitli harekât tarzlarına yönelik sonuçlar da raporlanabilmektedir. Ayrıca model çeşitli sayılarda ve özelliklerdeki platformların karşılaşmalarının incelenebilmesini de mümkün kılmaktadır. Bu inceleme, dost ve düşman kuvvet unsurlarının bireysel olarak aldıkları ödüllerin toplanması yoluyla Q-öğrenme algoritmasındaki ödül değerlerinin kuvvet bazında analiz edilmesi sayesinde sağlanabilmektedir. Bu sayede çalışmada, çeşitli girdiler altında alınan sonuçlar değerlendirilerek, bu anlamda duyarlılık analizlerinin de yapılabilmesi sağlanabilmektedir.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Bu çalışma ile geliştirilecek model vasıtasıyla çeşitli girdiler altında belirlenen stratejilere göre ortaya çıkan ihtiyaçlar kullanılarak savunma sektöründeki planlama süreçlerine katkıda bulunulabilecektir. Bununla birlikte bu sayede savunma harcamalarına yönelik tasarruf sağlanması ihtimalinin de bulunduğu veya harp ortamında ihtiyaç duyulacak gereksinimlerin daha gerçeğe yakın planlanması için bu alana bir ışık tutulacağı değerlendirilmektedir.

Bu çalışma kapsamındaki suüstü harbi modellemesiyle, bu harp nevi kapsamında belirlenen çeşitli senaryolar için ihtiyaç duyulacak değerli mühimmat (yüksek maliyetli füzeler) sayıları hesaplanabilecektir. Bu sayede söz konusu mühimmatların platformlardaki lançer kapasitelerinin en az ne kadar olması gerektiğine ilişkin bir fikir edinilebilecektir. Ayrıca çalışma sonucunda harp alanındaki düşman unsurlara karşı angajman üstünlüğü sağlayabilmek için bu unsurlardan daha fazla sayıda platforma sahip olmanın gerekliliği de daha net bir şekilde anlaşılmış olacaktır.

Son olarak bu çalışma veriye dayalı kara destek sistemine bir örnek oluşturacağından, doğru veriye sahip olmanın önemi kavranmış olacaktır.

2. SUÜSTÜ HARBİ

Gelişen teknoloji ile birlikte savaş gemilerinin harp yetenekleri artmış, deniz üzerinde icra edilen savaş teknikleri gittikçe karmaşıklaşmıştır. Bu durum kritik işlevlerin zamanında yerine getirilme ihtiyacını vazgeçilmez hale gelmiştir. Savaş gemileri en başta sadece suüstü harp yeteneğine sahip iken, günümüzde bir korvet ya da fırkateyn; suüstü harbi, sualtı harbi, hava savunma harbi ve elektronik harp gibi yeteneklerin hepsine aynı anda sahip olabilmektedir. Bu harp nevilerinin her birinin harekât ortamında kendine has nitelikleri olması bakımından ayrı ayrı incelenmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir [4]. Bu amaçla bu çalışmada suüstü harbi incelenecektir.

Suüstü harbi, deniz harekât ortamında görev icra eden platformların suüstü sathındaki hedeflere karşı saldırı gerçekleştirdikleri bir harp nevidir [5]. Bu harp nevinde saldırıda bulunan yüzer¹, uçar² ve dalar³ platformlar çeşitli güdümlü füzeleri veya torpidoları kullanabilirler.

Teknolojinin gelişmesiyle artan ihtiyaçları daha optimal şekilde karşılamak amacıyla komuta heyetine daha etkin bir karar destek kabiliyeti sağlamanın önemli olacağı değerlendirilmektedir. Bu maksatla bu çalışmada yapay zekâ algoritmalarını kullanarak suüstü harbinde karar desteği sağlayabilecek bir modelin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2.1. Suüstü Harbinin Saldırı Konsepti

Suüstü harbi kapsamında satıhtaki hedeflere karşı saldırı mühimmatları olarak genellikle 4 çeşit füze kullanılmaktadır. Bu füze çeşitleri seyir füzesi, satıhtan satha güdümlü füze, torpido ve havadan satha güdümlü füzelerdir. Aşağıda mühimmat çeşitlerinin nasıl belirlendiği açıklanmaktadır.

¹ Yüzer platformlar; suüstünde bulunan fırkateyn, korvet vb. platformlardır.

² Uçar platformlar, helikopter, silahlı insansız hava aracı, uçak vb. platformlardır.

³ Dalar platformlar olarak denizaltılardan bahsedilmektedir.

- **Seyir Füzesi (Cruise):** Çok fazla ülkede olmayan, yalnızca gelişmiş ülkelerde bulunabilecek yüksek tahrip gücüne sahip ve çok uzun menzillerdeki hedefler için kullanılabilecek, yüksek maliyetli füzelerdir. Yüzer ve dalar platformlardan atılabilmektedirler.



Şekil 2.1: Seyir Füzesi [6].

- **Satıhtan Satha Güzümlü Füze (Surface to Surface Missile - SSM):** Seyir füzelerine göre daha düşük tahrip gücüne sahip ve daha kısa menzillerdeki hedeflere karşı kullanılabilecek füzelerdir. Bu füzeler genellikle orta-uzun mesafede suüstü sathındaki hedeflere karşı kullanılabilmektedir. Yüzer ve dalar platformlardan sahip oldukları güdümlü füzeleri sayesinde koordinatları işaretlenen hedeflere karşı atılabilmekte ve hedefi takip edebilmektedirler.



Şekil 2.2: Satıhtan Satha Güzümlü Füze [7].

- **Torpedo:** Satıhtan satha güdümlü füzelere göre daha düşük tahrip gücüne sahip ve daha kısa menzillerdeki hedeflere karşı kullanılabılırler. Deniz harp tarihinde torpidoların özellikle dalar platformlardan dalar ve yüzer platformlara atılması esas alınmış olsa da yüzer platformlardan dalar ve yüzer platformlara da atılabilmektedirler. Bu çalışma kapsamında bu füze çeşidinin

suüstü harbi kapsamındaki niteliği incelendiğinden yüzer ve dalar platformlardan yüzer platformlara atılabilen çeşitler ilgi alanımıza girmektedir.



Şekil 2.3: Torpido [8].

- **Havadan Satha Gúdümlü Füze (Air to Surface Missile - ASM):** Bir güdümlü füze çeşidi olan bu mühimmatlar genellikle sathıtan satha güdümlü füzelere göre daha düşük tahrip gücüne sahip olabilirler ve daha kısa menzillerdeki suüstü hedeflerine karşı kullanılabilirler. Bu füze çeşitleri uçar platformlara yüklenebilirler ve uçar platformlardan yüzer ve dalar platformlara karşı kullanılabilirler.



Şekil 2.4: Havadan Satha Gúdümlü Füze [9].

2.2. Suüstü Harbinde Savunma Konsepti

Savunmada bulunan hedef platformlar ise çeşitli sathıtan havaya karşı kullanılabilen savunma sistemleriyle bu saldırılara karşı koyabilmektedir. Söz konusu hedefler genel olarak alçak irtifa, orta irtifa ve yüksek irtifa için 3 aşamalı savunma mekanizmasıyla kendilerini korumaya çalışırlar. Bu savunma mekanizmaları ne kadar üstün yeteneğe sahipse platformların saldırılardan korunması açısından o kadar avantajlı olunmaktadır. Çalışmamızda şimdilik belirlediğimiz konseptte uygun bir model geliştirmek amaçlandığından bu savunma sistemlerinin yetenekleri, katsayı (Yüksek:3, Orta:2, Düşük:1) belirlenerek 3 seviyede değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme (alçak irtifa, orta irtifa, yüksek irtifa) her irtifa seviyesi için yapılmıştır. Fakat sonraki çalışmalarda bu çalışmayı geliştirmek için bu değerlendirme daha da detaylandırılabilir.



Şekil 2.5: a) CIWS⁴ [10], b) ESSM⁵ [11], c) Aster-30⁶ [12].

⁴ Close In Weapon System (CIWS), bir çeşit kısa menzilli gemi hava savunma sistemidir [13].

⁵ Evolved Sea Sparrow Missile (ESSM), bir çeşit orta/uzun menzilli gemi hava savunma sistemidir [13].

⁶ Aster-15 ve Aster-30'dan oluşan Aster füze serisi, bir Fransız-İtalyan ortak yapımı dikey olarak fırlatılan karadan havaya füze ailesidir. Aster-30, uzun menzilli hava savunma sistemi olarak son yıllarda gemilerde de kullanılmaya başlanmıştır [13].

2.3. Harp Alanının Bileşenleri

Bir saldırı ve savunma konseptine sahip olan bu harp nevinde herhangi bir harekâtın önceden planlanmaması durumunda beklenmeyen ve istenmeyen sonuçların alınabilmesi içten bile değildir. Yukarıda anlatılan hususlar çerçevesinde harp ortamında sonuçları etkileyen faktörlerin, platformların ve mühimmatların sahip oldukları nitelikler olduğu görülmektedir. Ayrıca bunların yanı sıra harp ortamındaki coğrafi ve oşinografik koşullar da sonuçlara etkide bulunabilmektedir. Bu etkenler aşağıda sırasıyla incelenmiştir.

2.3.1. Platformlar ve Özellikleri

Bir deniz harbinde sahip olunan platformların nitelikleri harbin sonucuna etki edebilecek faktörler arasındadır. Bu platformların sahip oldukları nitelikler ile üzerlerindeki çeşitli sensörler ve sistemlerin nitelikleri ve teknolojik anlamda üstünlükleri harp alanında sonucu etkiler. Aşağıda bahse konu çeşitli niteliklerden tespit edilebilenler sunulmuş ve bu çalışmada kullanılmıştır. Bu çalışmada model tasarlamak amaçlandığından bu gibi hususlarda detaylara girmek tercih edilmemiştir. Fakat uzun vadede söz konusu nitelikler tespit edildikçe çoğaltılarak değişken sayısı artırılabilir.

- **Platform Adı:** Platformların isimleri, model sonucunda en optimal harekât tarzı ortaya konulduğunda hangi platformun hangi platforma angaje olması gerektiğini tanımlayabilmek bakımından önemlidir.
- **Platformun Dost ya da Düşman Bir Unsurluğu Bilgisi:** Yukarıdaki maddede belirtilen hususla aynı sebepten harekât alanındaki bir unsurun dost mu yoksa düşman mı olduğu belirlenmelidir.
- **Platform Sürati:** Platformun sahip olduğu sürat, gelen bir tehditten kurtulmak adına manevra kabiliyetine önemli katkı sağlayabilecek bir niteliktir.
- **Platformun Komuta Kontrol Sisteminin Yaşı:** Platformun komuta kontrol sisteminin yaşı, bu sistemin ne kadar yeni olduğunu, yıllara bağlı eskimeden kaynaklı oluşabilecek arıza durumlarının ne seviyede olabileceği hakkında fikir verir. Daha yeni bir sistem daha az hatayla, daha etkin şekilde çalışabilir.

Bu durumda atış yapan platformların daha isabetli atışlarla daha az mermi yakmasını sağlayabilir. Hedefteki platformun ise savunmasını daha etkin şekilde almasını sağlayabilir.

- **Platformun Yakın-Orta-Uzun Menzil Savunma Sistemleri (SS):** Bir platformun savunma sistemlerinin yetenekleri ne kadar gelişmiş ise o platforma o kadar fazla mermi atılması gerekebilir.
- **Platformun Tonajı:** Bir platformun tonajı ne kadar büyükse isabet olasılığı o kadar yükselir. Fakat büyük platformların imha edilmesi için merminin isabet ettiği nokta bu husustan daha önemlidir. Örneğin isabet eden mermi hedefin önemsiz bir noktasına isabet edebilir ve gemi harekâttan sakıt kalmayabilir. Bu durumda söz konusu hedefin etkisiz hale gelmesi için daha fazla mermi atılması gerekebilir.

2.3.2. Mühimmatlar ve Özellikleri

Her ülkenin donanmasında suüstü harbinde kullanılan ve madde 2.1.'de izah edilen füze çeşitlerinden farklı modellerde ve farklı imha güçlerine sahip mühimmatlar bulunabilmektedir. Bu mühimmatların birbirinden farklı imha güçlerine sahip olmaları harekâtların sonuçlarına etkide bulunabilecek bir husustur. Aşağıda söz konusu mühimmatların harekâtın sonucuna etki edebileceği değerlendirilen nitelikleri açıklanmıştır.

- **Füzenin TNT⁷ Cinsinden Patlayıcı Kütlesi:** Bir füzenin patlayıcı kütlesi ne kadar fazla ise infilak ettiği esnada o kadar fazla enerji açığa çıkarır ve o kadar fazla kütlenin imha edilmesine neden olur. Bu sebeple patlayıcı kütlesi büyük olan bir füze ile bir hedef unsura, patlayıcı kütlesi düşük bir füzeye kıyasla daha az sayıda atmak yeterli olacaktır.

⁷ Trinitrotoluen (TNT); yaygın olarak bomba, mayın ve torpidolarda patlayıcı madde olarak kullanılan bir maddedir. Çeşitli füzelerde ve mühimmatlarda patlayıcı madde olarak TNT'den farklı olan çeşitli maddeler kullanılıyor olsa da bu hususta bir standart sağlamak amacıyla dünyadaki tüm patlayıcı maddelerin güçleri, patlayıcı yüklerinin TNT cinsinden eşdeğeriyle kıyaslanır.

- **Füzenin Platformdaki Atış Kontrol Sistemi (AKS) Yaşı:** Bir füzenin konuşlandığı platform üzerinde, o füze çeşidine uygun bir atış kontrol sistemi bulunur. Örneğin bir satıhtan satha güdümlü füze ile atış yapılacaksa, platform üzerinde satıhtan satha güdümlü füze için atış kontrol sistemi bulunur. Bu husus diğer 3 çeşit füze sistemi (seyir füzesi, torpido, havadan satha güdümlü füze) için de geçerlidir. Söz konusu atış kontrol sistemlerinin yaşı, bu sistemlerin yıllara bağlı eskimesi ve bu çerçevede fonksiyonunu ne seviyede kaybettiği hakkında bize fikir verir. Yeni üretilen bir cihaz eski cihazlara göre hem daha az arıza vermesi ile fonksiyonel üstünlük hem de gelişen teknoloji sebebiyle teknolojik üstünlük sağlar.

2.3.3. Harp Ortamını Etkileyen Diğer Faktörler

Harp ortamında bir harekâtın sonuçlarını yukarıda bahsedildiği üzere kuvvetlerin sahip oldukları platformlar ve mühimmatlar ile bunların güçleri ve nitelikleri üzerinden yorumlayabiliriz. Fakat bunların yanı sıra harekât alanındaki coğrafi ve oşinografik etmenlerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu etkenlere ilişkin açıklamalar aşağıdaki maddelerde sunulmaktadır.

2.3.3.1. Rüzgâr

Rüzgâr şiddeti harekât esnasında platformların manevra kabiliyetine ve atılan füzelerin rotasına etkide bulunabilecek bir faktördür. Rüzgâr şiddetinin etkisini ölçebilmek ve savaş gemilerinde kullanmak maksadıyla İngiliz Amiral Francis Beaufort bir rüzgâr şiddeti skalası geliştirmiştir [13].

Tablo 2.1: Beaufort Rüzgâr Şiddeti Skalası.

Rüzgâr Şiddeti	Adlandırma	Karadaki Durum	Denizdeki Durum
0	Limanlık sakın	Yaprak kıpırdamaz.	Deniz ayna gibi düzdür.
1	Sakin	Dumanlar dikine yükselir.	Deniz yüzeyi balık pulu gibidir. Köpük yoktur.
2	Hafif Rüzgâr	Dumanlar meyilli yükselir.	Kısa ve küçük dalgalar. Dalgalarda çatlama yoktur.
3	Latif Rüzgâr	Rüzgâr yüzde hissedilir, yapraklar sallanır ve hışıldar.	Dalgalar büyür tepeleri çatlar. Uçlarda hafif kırılmalar belirir.

Rüzgâr Şiddeti	Adlandırma	Karadaki Durum	Denizdeki Durum
4	Mutedil Rüzgâr	Yapraklar ve bayraklar devamlı sallanır. Su yüzeylerinde kırıksıklık olur.	Dalgalar uzunlaşır, beyaz köpükler görünmeye başlar.
5	Frişka Rüzgâr	Yapraklı küçük dallar sallanır. Bayraklar düz durur. Durgun sularda dalgalar. Rüzgâr yürüyen insanları rahatsız eder.	Orta büyüklükte dalgalardır ve boyları uzun, serpintilidir.
6	Kuvvetli Rüzgâr	Büyük dallar sallanır. Telgraf telleri ve saçaklar ses verir. Sularda köpüklü dalgalar belirir. Şemsiyeler güç kullanılır.	Büyük dalgalar oluşur, köpüklü dalga başları daha geniştir.
7	Mutedil Fırtına	Bütün ağaçlar sallanır. Rüzgâra karşı güçlkle yürünür.	Dalgalar birbiri üzerine yığılır. Çatlayan dalgaların köpükleri uçuşmaya başlar.
8	Fırtına	Ağaçların ince dalları kırılır. Rüzgâra karşı yürümek imkânsızlaşır.	Uzun ve yüksek orta dalgalar oluşur. Çatlaklar öne doğru kırılır, köpükler uçuşur.
9	Kuvvetli Fırtına	Bazı binalarda hasarlar olur. Baca kapakları sökülür, kiremitler uçar.	Dalgalar yükselir, yuvarlanmaya başlar. Serpintiler görüşü düşürür.
10	Büyük Fırtına	Ağaçları köklerinden söker, binalarda büyük hasar oluşur.	Pek yüksek dalgalar, dalga tepeleri devrilecek gibi uzun ve kesif köpük sahaları oluşur. Denizin yüzeyi beyazdır. Görüş çok azdır.
11	Bora	Yaptığı hasar çok geniştir. Karada pek rastlanmaz. Ardından bereketli yağmurlar getirir.	Çok yüksek dalgalar olur. Küçük gemiler dalgaların arasında bazen görülmez. Deniz yüzü beyaz köpüklerle kaplıdır. Görüş çok bozuktur.
12	Kasırga	Büyük tahribat yapar. Daha çok ekvatorial bölgelerde rastlanır.	Hava köpük ve serpinti ile doludur, deniz bembeyazdır. Görüş tamamen kaybolmuştur.

Tablo 2.1’de görülen rüzgâr şiddeti skalasındaki değerler, rüzgâr şiddetinin ne seviyede olduğunu modele ölçülebilir bir girdi olarak sunmak maksadıyla çalışmamızda kullanılmıştır.

2.3.3.2. Bağıl Nem

Bağıl nem, havanın belirli bir sıcaklıkta taşıyabileceği nem miktarının yüzde kaçını taşıdığını belirtir [13].

Bağıl nemin %100 olması, havanın artık suyla doyurulmuş olması demektir. Bu durumda hava daha fazla su alamayacak ve havaya katılmaya çalışan buhar yoğunlaşarak sıvı haline dönüşecektir. Bağıl nem %100'den küçük bir değerdeyse buharlaşma gözlenir. Mesela havanın bağıl nemi %50 ise yağmur yağma ihtimali olmayabilir fakat bağıl nem oranı %95 ise büyük ihtimalle yağmur yağacaktır.

Bağıl nem çöl gibi kurak yerlerde az, ekvatorial bölge ve deniz kıyıları gibi yerlerde fazladır.

Bağıl nemin fazla olması havanın daha yoğun olduğunu, yağmur yağma ihtimalinin ve hava şartlarının kötüleşme ihtimalinin fazla olduğunu gösterir. Bu sebeplerle bağıl nem hareketin sonuçlarına etkide bulunabilecek bir faktördür. Bu değer, yüzde oranı (%) ile ifade edilir.

2.3.3.3. Sıcaklık

Hava sıcaklığı meteorolojik verilerle her gün ölçülen bir değerdir. Çeşitli ölçü birimleri olsa da genellikle celsius (C°) birimi ile ifade edilir. Harekât ortamında bir merminin isabeti veya planlanan bir hareketin aksaksız ilerlemesi için ideal bir sıcaklık değeri olabileceği tahmin edilmektedir. Hava sıcaklığı bu değerden çok fazla veya çok düşük olduğunda personel ve dolayısıyla hareket planları bu durumdan etkilenecektir. Örneğin 55 C° sıcaklıkta veya -55 C° sıcaklıkta yapılan bir hareketin başarısı ile 20 C° sıcaklıkta yapılan bir hareketin başarısı aynı olmayacaktır.

2.3.3.4. Deniz Durumu

Denizcilik terminolojisinde bahsedilen deniz durumu; dalga boyu, dalga periyodu ve güç spektrumunu içeren istatistiklerle oluşturulmuştur. Bu ölçek deniz şamandıraları, dalga radarları veya uydularla takip edilebilmektedir. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO), deniz durumunu ölçekleyebilmek için Douglas Skalasını

kullanır. Bu skala, 1917 yılında İngiliz Amiral H.P. Douglas tarafından geliştirilmiştir. Bu skalada; 0 değeri sığ liman dalgasız bir denizden bahsedilirken, 9 değerinde 14 metre (m)'nin üzerinde yükseklikteki dalgalara sahip olağanüstü deniz koşulları bahsedilir. Bahse konu deniz koşulları, bir harekâtın başarısına harekât alanındaki platformların manevra kabiliyetini sarsarak etkide bulunur. Aşağıdaki tabloda Douglas Skalası ve deniz durumu değerleri sunulmuştur [13].

Tablo 2.2: Douglas Skalası ve Deniz Durumu Değerleri.

Deniz Durumu Değeri	Dalga Yüksekliği (m)	Açıklama
0	Dalga Yok.	Sakin (Cam Gibi)
1	0 - 0.1	Sakin (Dalgalı)
2	0.1 - 0.5	Düz
3	0.5 - 1.25	Hafif
4	1.25 – 2.5	Ilıman
5	2.5 - 4	Kaba
6	4 - 6	Çok Kaba
7	6 - 9	Yüksek
8	9 - 14	Çok Yüksek
9	14 +	Olağanüstü

Tablo 2.2’de görülen değerler, deniz durumunun ne seviyede olduğunu modele ölçülebilir bir girdi olarak sunmak maksadıyla çalışmamızda kullanılmıştır.

3. VERİ SETİNİN TANIMLANMASI

3.1. Veri Setinin Bileşenleri

Çalışmamızda kullanılacak veri setini net bir şekilde anlayabilmek için, bu veri setinin 4 kısımda incelenmesi gereklidir. Bunlardan birincisi, geçmiş harp angajman verilerini kullanarak modelimizin gözetimli makine öğrenmesini sağlayacak olan **angajman veri tabanıdır**. İkincisi güncel harp durumu analiz edilmek istenen kuvvetlere ait verileri barındıran **kuvvet veri tabanıdır**. Üçüncüsü harp ortamındaki meteorolojik ve oşinografik verilerin güncel değerlerini yansıtan **güncel harp ortamı verileridir**. Son olaraksa pekiştirmeli öğrenme kapsamında ödül-ceza mekanizmasının oluşturulması amacıyla **platform ve mühimmat maliyetleri ile Q-Öğrenme algoritmasının ihtiyaç duyduğu bazı hiperparametrelerin** modele girdi olarak sunulması gereklidir. Platform ve mühimmat maliyetlerine ilişkin veriler kuvvetlere ilişkin bilgiler olduğundan kuvvet veri tabanı içerisinde alınır.

3.1.1. Angajman Veri Tabanı

Yukarıda bahsedilen angajman veri tabanı, model sonucunu direkt olarak etkileyebileceği değerlendirilen ve aşağıdaki bilgileri kapsayan çok değişkenli bir veri setidir.

- Atış yapan platformun çeşitli özellikleri.
- Hedef platformun çeşitli özellikleri.
- Atışın yapıldığı mühimmatın çeşitli özellikleri.
- Atışın yapıldığı harp ortamının durumu.
- Hedefin imha olması için atılan mühimmat sayısı.

Angajman veri tabanını oluşturan değişkenlere ilişkin bilgiler aşağıda sunulmuştur. Bu verilerin girdi değişkenleri (x_{ij}) kapsamındakileri müteakip maddelerdedir.

- Atıcı platformun sürati (x_{1j}).
- Atıcı platforma ait komuta kontrol sisteminin yaşı (x_{2j}).
- Hedef platformun sürati (x_{3j}).
- Hedef platform alçak irtifa savunma sistemi yeteneği (x_{4j}).
- Hedef platform orta irtifa savunma sistemi yeteneği (x_{5j}).
- Hedef platform yüksek irtifa savunma sistemi yeteneği (x_{6j}).
- Hedef platformun ton cinsinden ağırlığı (x_{7j}).
- Atışın yapıldığı mühimmatın TNT cinsinden patlayıcı kütlesi (x_{8j}).
- Mühimmat tipine ait platformdaki atış kontrol sisteminin yaşı (x_{9j}).
- Harp ortamındaki rüzgâr durumu (x_{10j}).
- Harp ortamındaki bağıl nem yüzdesi (x_{11j}).
- Harp ortamındaki deniz durumu (x_{12j}).
- Harp ortamındaki sıcaklık (x_{13j}).

Çıktı değişkeni (y_j) ise bahsedilen atıcı platformun, bahsedilen hedefi, bahsedilen mühimmat ile imha edebilmek için yaptığı atış sayısıdır.

3.1.2. Kuvvet Veri Tabanı

Kuvvet veri tabanı şeklinde adlandırdığımız verileri oluşturan değişkenlere ilişkin bilgiler aşağıda sunulmuştur. Bu veriler aslında, yukarıda sunulan angajman veri tabanı üzerinden yapılacak makine öğrenmesi eğitimi sonrasında sistemin tahmin yapabilmesi için sunulması gereken güncel (x_i) girdi değerlerinin oluşturulmasını sağlayan verilerdir. Bu veriler aşağıda sunulduğu üzere 2 kısımda incelenebilir.

Platformlara ait bilgiler:

- Platform adı.
- Platformun bir dost unsur mu, bir düşman unsur mu olduğu bilgisi.
- Komuta kontrol sistemi yaşı.
- Sürati.
- Alçak irtifa savunma sistemi yeteneği.
- Orta irtifa savunma sistemi yeteneği.

- Yüksek irtifa savunma sistemi yeteneği.
- Tonajı.
- Platformun maliyeti.
- Platformda görevli personel sayısı.
- Platformda görevli personelin birim maliyeti.

Suüstü harbinde kullanılmak üzere platform üzerine yüklenmesi öngörülen 4 (dört) adet mühimmat grubuna (Seyir Füzesi, Sathıtan Satha Güdümlü Füze, Torpido ve Havadan Satha Güdümlü Füzeler) ait bilgiler:

- Yüklenecek füzenin adı.
- Yüklenecek füzenin TNT cinsinden patlayıcı kütlesi.
- Füzeye ait platformdaki atış kontrol sisteminin yaşı.
- Yüklenecek füzenin birim maliyeti.

3.1.3. Güncel Harp Ortamı Verileri

Makine öğrenmesi modelinin tahmin yapabilmesi için harp ortamındaki meteorolojik ve oşinografik verilerin güncel değerlerini yansıtan güncel harp ortamı verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler aşağıda sunulmaktadır.

- Harp Ortamındaki Güncel Rüzgâr Durumu (x_{10}).
- Harp Ortamındaki Güncel Bağıl Nem Yüzdesi (x_{11}).
- Harp Ortamındaki Güncel Deniz Durumu (x_{12}).
- Harp Ortamındaki Güncel Sıcaklık (x_{13}).

3.1.4. Pekiştirmeli Öğrenme İçin İhtiyaç Duyulan Veriler

Pekiştirmeli öğrenme için ihtiyaç duyulan veriler 2 kısma ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi en iyi harekât tarzını keşfedebilmek açısından ödöl/ceza mekanizmasının tasarlanmasını sağlayacak olan platform ve mühimmat maliyetlerine ilişkin verilerdir. Bu veriler yukarıda da bahsedildiği üzere kuvvet veri tabanından

alınmaktadır. Söz konusu veriler, bir arada gösterilmesi maksadıyla aşağıda tekrar sunulmuştur.

- Platform Maliyeti.
- Platformda Görevli Personel Sayısı.
- Platformda Görevli Personelin Birim Maliyeti.
- Füze Birim Maliyeti.

Pekiştirmeli öğrenme kapsamında ihtiyaç duyulan 2'nci grup veriler ise Q-Öğrenme modelinde kullanılan bazı hiperparametrelerdir. Bu hiperparametreler aşağıda sunulmuştur.

- Öğrenme Oranı (α).
- Yineleme Sayısı (δ).
- Keşif Oranı (ϵ).

3.2. Sentetik Veri Üretimi

3.2.1. Sentetik Veri Üretiminin Nedenleri

Her ne kadar modelimizi gerçek verilerden yola çıkarak bir makine öğrenmesi eğitimi yapmak üzere tasarlamayı amaçlamış olsak da, gerek ihtiyaç duyulan verilerin günümüze kadar düzenli bir şekilde tutulmuş olmamasından gerekse de söz konusu verilerin (hassas veriler) gizlilik derecesi içerebilme ihtimalinin olabileceği değerlendirildiğinden bu çalışma kapsamında sentetik veriler üretilmiştir. Sentetik veri üretimi ilk olarak angajman verileri arasındaki ilişkiler yorumlanarak bir angajman veri tabanı oluşturmak için yapılmıştır.

3.2.2. Angajman Verileri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi

Angajman veri tabanında bulunan verilerin her biri bir değişkendir. Bu değişkenlerin çıkış değerini nasıl etkileyebileceği yorumlanarak giriş değişkenleri ve

çıkış değeri arasında bağıntılar oluşturulmaya çalışılmıştır. Angajman verileri ve çıkış değeri arasındaki ilişkiler ise aşağıda sunulmuştur.

- Atıcı platformun sürati (x_{1j}) arttıkça çıkış değeri azalır.
- Atıcı platforma ait komuta kontrol sisteminin yaşı (x_{2j}) arttıkça çıkış değeri artar.
- Hedef platformun sürati (x_{3j}) arttıkça çıkış değeri artar.
- Hedef platform alçak irtifa savunma sistemi yeteneği (x_{4j}) arttıkça çıkış değeri artar.
- Hedef platform orta irtifa savunma sistemi yeteneği (x_{5j}) arttıkça çıkış değeri artar.
- Hedef platform yüksek irtifa savunma sistemi yeteneği (x_{6j}) arttıkça çıkış değeri artar.
- Hedef platformun ton cinsinden ağırlığı (x_{7j}) arttıkça çıkış değeri artar.
- Atışın yapıldığı mühimmatın TNT cinsinden patlayıcı kütlesi (x_{8j}) arttıkça çıkış değeri azalır.
- Mühimmat tipine ait platformdaki atış kontrol sisteminin yaşı (x_{9j}) arttıkça çıkış değeri artar.
- Harp ortamındaki rüzgâr durumu (x_{10j}) arttıkça çıkış değeri artar.
- Harp ortamındaki bağıl nem yüzdesi (x_{11j}) arttıkça çıkış değeri artar.
- Harp ortamındaki deniz durumu (x_{12j}) arttıkça çıkış değeri artar.
- Harp ortamındaki sıcaklık (x_{13j}) belirli bir ideal değerden uzaklaştıkça çıkış değeri artar.

3.2.3. Angajman Verilerinin Üretilbileceği Örnek Denklemler

Angajman verileri arasındaki ilişkiler incelendiğinde bazı değişkenlerin artması çıkış değerinin artmasına, bazı değişkenlerin ise azalmasının çıkış değerinin artmasına sebep olabileceği yorumlanmaktadır. Kısacası bu değişkenlerden bazıları ile çıkış değeri arasında doğru orantı varken bazıları arasında ters orantı vardır. Bu yorumlamayı temsil ederek sentetik angajman verilerinin üretilmesi kapsamında bazı rastgele bağıntılar oluşturulmuş ve bu bağıntılar aşağıda sunulmuştur.

$$y_j = \text{Yukarı Yuvarla} \left(\sqrt{\left(\left(\sum_{i=2}^{n=7} x_{ij}^2 \right) + \left(\sum_{i=9}^{n=12} x_{ij}^2 \right) + (x_{13j} - 25)^2 \right) / (x_{1j}^2 + x_{8j}^2)} \right) \quad (3.1)$$

$$y_j = \text{Yukarı Yuvarla} \left(\sqrt[3]{\left(\left(\sum_{i=2}^{n=7} x_{ij}^2 \right) + \left(\sum_{i=9}^{n=12} x_{ij}^2 \right) + (x_{13j} - 20)^2 \right) / (x_{1j}^2 + x_{8j}^2)} \right) \quad (3.2)$$

$$y_j = \text{Yukarı Yuvarla} \left(\sqrt{\left(\left(\sum_{i=2}^{n=7} x_{ij}^4 \right) + \left(\sum_{i=9}^{n=12} x_{ij}^4 \right) + (x_{13j} - 18)^4 \right) / (x_{1j}^4 + x_{8j}^4)} \right) \quad (3.3)$$

$$y_j = \text{Yukarı Yuvarla} \left(\left[\left(\left(\sum_{i=2}^{n=7} x_{ij}^2 \right) + \left(\sum_{i=9}^{n=12} x_{ij}^4 \right) + (x_{13j} - 27)^3 \right) / (x_{1j}^3 + x_{8j}^3) \right]^2 \right) \quad (3.4)$$

x_{ij} : Veri setindeki her bir j satırı için i model girdisi ($i=1,2,3,\dots,13$), ($j=1,2,3,\dots,N$).

y_j : Veri setindeki her bir j satırı için denklem (3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4)'e göre çıkarılan sonuç değeri.

3.2.4. Sentetik Olarak Üretilen Örnek Angajman Verileri

Angajman verileri arasındaki ilişkiler yorumlandığında bu değişkenlerin çıkış değeri ile aralarında doğru orantı mı yoksa ters orantı mı olduğu incelenmiştir. Fakat her bir değişkenin çıkış değerini ne oranda etkilediği hakkında bilgi sahibi olunamadığından çeşitli rastgele denklemler üretilmiştir. Makine öğrenmesi modelimiz bu değişkenler arasındaki bağıntı her ne şekilde olursa olsun giriş ve çıkış değişkenleri verildiğinde bu değişkenler arasındaki bağıntıyı öğrenebilecektir. Bu

çalışmada farklı denklemler oluşturularak her birinin ürettiği verilerle yapılan analizlerin sonuçları karşılaştırılacak, bu sayede hem veri kavramının önemi ortaya çıkarılacak hem de geliştirilecek makine öğrenmesi modelinin giriş ve çıkış değerleri arasındaki farklı bağıntıları da öğrenebileceği ortaya konulacaktır. Bu kapsamda rastgele belirlenmiş olan aynı giriş değişkenleri ile yukarıdaki farklı denklemlerden üretilen çıkış değerleri aşağıda sunulmuştur.

Tablo 3.1: Angajman Veri Tabanı Rastgele Giriş Değişkenleri.

Açıklama	Sembol	Değer
Atıcı Platformun Sürati	$X_{1,1}$	15 kts
Atıcı Platforma Ait Komuta Kontrol Sisteminin Yaşı	$X_{2,1}$	5 yıl
Hedef Platformun Sürati	$X_{3,1}$	20 kts
Hedef Platform Alçak İrtifa Savunma Sistemi Yeteneği	$X_{4,1}$	1 (düşük)
Hedef Platform Orta İrtifa Savunma Sistemi Yeteneği	$X_{5,1}$	3 (yüksek)
Hedef Platform Yüksek İrtifa Savunma Sistemi Yeteneği	$X_{6,1}$	1 (düşük)
Hedef Platformun Ton Cinsinden Ağırlığı	$X_{7,1}$	500 ton
Atışın Yapıldığı Mühimmatın TNT Cinsinden Patlayıcı Kütlesi	$X_{8,1}$	300 kg
Mühimmatın Platformdaki Atış Kontrol Sisteminin Yaşı	$X_{9,1}$	48 yıl
Harp Ortamındaki Rüzgâr Şiddeti	$X_{10,1}$	2
Harp Ortamındaki Nem Yüzdesi	$X_{11,1}$	0.91
Harp Ortamındaki Deniz Durumu	$X_{12,1}$	5
Harp Ortamındaki Sıcaklık	$X_{13,1}$	43 C°

Tablo 3.2: Sentetik Veri Üretimi.

Denklem Numarası	Çıkış Değeri (y_1): Hedefin İmhası İçin Atılmış Olan Mühimmat Miktarı
3.1	2
3.2	1
3.3	4
3.4	1

4. ASKERİ PLANLAMADA KARAR PROBLEMİ

Karar verme konusu geçmişte olduğu gibi günümüzde de insanlar için ciddi sorunlar teşkil eden önemli bir problemdir. Planlama süreçlerindeki en önemli unsur olan karar verme konusu günümüzde teknolojik imkânların genişlemesiyle birlikte daha geniş bir çerçeveye ulaşmış, bu husus karar vericilerin bu alana daha fazla odaklanmasına sebep olmuştur. Karar vericilerin bu konuya yoğunlaşmasının nedeni, geçmişte tecrübe ve sezgiye dayalı karar verme yöntemleri ile verilen kararların hata frekanslarını, veriye dayalı karar destek sistemleri ve gelişen teknolojik imkânlarla düşürebilmenin mümkün olup olmamasıyla ilgilidir.

4.1. Karar Ortamı ve Karar Süreci

Belirlilik ve belirsizlik durumlarıyla farklı düzeylerde risk içeren ortamlarda karar vermeyi gerektiren durumların olduğu problem sahalarına karar ortamı adı verilmektedir.

Bir problemi etkileyen tüm faktörlerin geniş bir perspektiften ele alınarak; söz konusu problemi tanımlamak, bu problemi çözebilecek çeşitli alternatif yolları tespit etmek, çözümün gerçekleşme ihtimali ve gerçekleşmeme riski gibi hususları dikkate almak, alternatif çözüm yollarından en uygununu seçmek gibi faaliyetlerin tümüne ayrılan süreye ise karar süreci denilmektedir.

Karar süreci içerisinde çeşitli karar ortamları için çeşitli özel durumlar ortaya çıkabilmektedir. Problemin disiplinler arası etkileşimleri, soyut faktörleri değerlendirme ihtiyacı, karmaşık durumlar veya probleme özgü belirli kısıtlar bu özel durumlara örnek olarak verilebilir.

4.2. Askeri Planlamada Karar Süreci

Günümüzde dünyanın tüm ülkeleri, askeri güçlerini etraflıca analiz etmeye ihtiyaç duymaktadır. Bunun sebebi, ülkelerin güvenliğinin teminatı olan silahlı kuvvetlerin, bu görevini etkinlikle yerine getirebilmesi için kendisine tehdit olabilecek unsurları önceden öngörebilmesi ve tedbirlerini almak gereği duymasındandır. Bu

çerçevede gelecek öngörüsüne yönelik çalışmalar, savunma alanında gittikçe önem kazanan bir fonksiyona sahip olmaktadır. Günümüzde savunma sanayiinde teknolojik kabiliyetin üstünlüğü, askeri harekât alanındaki üstünlüğü de sağlayan önemli bir faktör haline gelmiştir. Yeni silah sistemlerine entegre edilen bilgi teknolojisi ürünlerinin de bu kapsamda önemli bir yeri olduğu söylenebilir.

Askeri planlamada karar verme sürecini; karar ortamının bütüncül bir açıdan ele alındığı ve değerlendirildiği, süreç içerisindeki bir alt süreç çıktısının diğer alt sürecin girdisini oluşturduğu bir süreç olarak tanımlayabiliriz. Bu süreçte genel olarak kararların; stratejik, operatif ve taktik aşamada sırasıyla uzun dönemden kısa dönemlere bölünen bir çerçevede alınması esastır. Dolayısıyla bu süreçte taktik aşamada alınan bir yanlış kararın stratejik aşamaya yansımaları büyük olmaktadır. Bu sebeple askeri karar verme süreçlerinde hatalı karar oranındaki küçük bir azalma bile büyük faydalar sağlayabilecek bir öneme sahiptir.

4.3. Geleneksel ve Modern Karar Süreçleri

Karar verme problemlerinde en dikkat çekici husus kuşkusuz karar vericinin en doğru ve en uygun kararı almasını sağlamaktır. Bu amaçla karar verme süreçlerinde çeşitli nitel ve nicel bulgulara dayalı yöntemler kullanılabilir.

Geleneksel süreçlerde yetersiz veri ve teknolojik imkânlar nedeniyle tecrübe, sezgisel yargılar, sınırlı bilgiyle çıkarım yapma zorunluluğu gibi yöntemler dikkate alınmak zorundaydı.

Modern süreçlerde ise ihtiyaç duyulan verilerin düzenli kaydını tutarak veriye dayalı karar verme kavramı, sistematik bir çerçevede problemin incelenmesi, nicel bulgulara dayalı analizlere yoğunlaşmak daha fazla kendini göstermektedir.

4.4. Suüstü Harbinde Güncel Yaklaşımlar

Bir saldırı ve savunma konseptine sahip olan suüstü harbinde herhangi bir harekâtın önceden planlanmaması durumunda beklenmeyen ve istenmeyen sonuçların alınabilmesi içten bile değildir. Harp ortamlarının bilinmezliği, bu nedenle yıllarca harekât planları için önemli bir problem olmuştur. Bu problemin aşılabilmesi için geçmişte çeşitli planlamalar yapılmış olsa da gerek teknolojinin hızla gelişmesi,

gerekse geçmişteki imkânların sınırlı olması günümüzde söz konusu probleme daha modern ve pratik çözümler geliştirilebilmesini mümkün kılmaktadır. Örneğin geçmişte her ihtimale karşı tedbir olması düşünülerek her bir geminin sahip olduğu füze sistemlerine ait lançerlerin (füzelerin gemi üzerine yerleştirildiği kovanlar) kapasitesi kadar doldurulması esas alınmaktaydı. Bu yaklaşımda öngörülen harp süresince kullanılabilecek tüm kaynakların tüketilmesi ve harp süresince gayret seviyesinin korunması esas alınmaktaydı. Fakat bu tip planlamalar tehdit değerlendirmesi olmaksızın yapıldığından ya bütçeye fazla bir yük oluşturmakta, ya da tehdit analiz edilemediğinden planlama yeterli olmayabilmekteydi. Bununla birlikte ekonomik faydası önemsenmeyen alanlarda bu yaklaşım tam olarak terk edilmiş değildir. Bu yaklaşım ekonomik faydası önemsenen alanlarda günümüzde terkedilmiş durumda olup, bunun yerine tehditlerin dikkate alındığı yaklaşımlar benimsenmiştir. Söz konusu tehdide dayalı yaklaşımlarda ise dost ve düşman unsurların harekât alanında hangi angajman planını uygulayacağı hususu uzman görüşlerine dayalı olasılıksal parametrelerle ölçülmekte ve en iyi harekât tarzının keşfi gibi çalışmalar dikkate alınmamaktadır. Buna ilave olarak bu yaklaşımda bizim için esas problem alanı ise platformlar üzerinde yüklü olan mühimmat tipleri arasından hangisinin kullanımının daha maliyet etkin olduğuna yönelik bir hesaplamanın olmayışıdır. Söz konusu yaklaşımda bu husus silah kullanım oranı gibi sübjektif bir parametre ile analiz edilmektedir.

4.4.1. Gayret Seviyesi Yaklaşımı

Gayret seviyesi yaklaşımında tehdit analiz edilmemektedir. Bu yaklaşımda mevcut olan mühimmatın mümkün olan her durumda kullanılacağı kabul edilmektedir. Yani diğer bir ifadeyle sahip olunan füzelerin harcanmasının hedeflerin tamamen imhası ile alakası yoktur.

Bu yaklaşımda mühimmat harcanması eyleminin bu füzeleri taşıyan dost kuvvet unsurlarının tamamen saf dışı kalmasıyla son bulacağı varsayılmaktadır.

Gayret seviyesi yaklaşımını daha somut bir örnekle açıklamak gerekirse; bir muharip uçak, havadan havaya atılan füzeler ve havadan satha atılan füzelerle yüklenmiş olarak pek çok göreve çıkabilir. Bu uçağın düşman kuvvet unsurlarıyla karşılaşmaması durumunda üzerinde yüklü olan mühimmatları kullanması mümkün

değildir. Örneğin bir havadan havaya füzenin kullanılması için bir düşman hava unsurunun tespit edilmesi ve bu hedefe angaje olunması gerekir. Bu tip bir görev, bir dost kuvvet uçağının yapacağı görevlerin az bir kısmını ihtiva eder. Genellikle bir uçak, bir bombardıman görevi için tüm hedefler belirlenmiş olarak ve bu görev için belirli bir mühimmat yüküyle uçak tamamen yüklenmiş olarak, yani göreve tahsisli mühimmatlar ile göreve çıkar. Daha özet bir ifadeyle bombardıman maksatlı bu uçaklar, mevcut oldukları, saf dışı kalmadıkları sürece ve harp devam ettiği sürece mühimmat tüketimi devam eder. Bu tip bir görevde kullanılacak mühimmatların ekonomik değeri düşük olduğundan bu mühimmatlardan tasarruf etmek öncelikli bir hedef olarak görülmez. Fakat uçağın bombardıman görevi değil de havada tespit ettiği düşman uçağını imha etmesi gerekiyorsa havadan havaya atılabilen ekonomik değeri yüksek, teknolojik yapısı daha gelişmiş güdümlü füzeleri kullanması gerekir. Bu tip mühimmatlar için tasarruf önemlidir.

Bu örnekten de görüleceği üzere ekonomik olarak daha değerli, teknolojik olarak daha gelişmiş olan mühimmatlar için bir tasarrufa gitmek gerektiğinden tehdide yönelik analizler yapmak gereği duyulmuştur. Gayret seviyesi yaklaşımının ise daha basit ve ucuz mühimmatlar için uygun olabileceği değerlendirilmektedir.

Çalışmamızda ele aldığımız askeri planlamada karar problemi kapsamında suüstü harbinde ihtiyaç duyulacak mühimmat kaynağının analiz edilmesi için gayret seviyesi yaklaşımına göre tehdit senaryosunun da dikkate alındığı, belirlilik düzeyi daha yüksek bir benzetim modelinin geliştirilmesinin gerekli olduğu değerlendirilmektedir.

4.4.2. Tehdide Yönelik ve Olasılıksal Değerlere Göre Analiz

Tehdide yönelik yaklaşımın temel prensibi, bir mühimmatın tespit edilen bir hedefin imhasına yönelik harcanması gerektiğidir. Burada tehdidin imhası için ne kadar mühimmat harcanması gerekiyorsa o kadar mühimmatın tüketilmesi, bu noktadan sonra mühimmat tüketiminin kesilmesi esas alınmaktadır.

Bu yaklaşıma göre herhangi bir hedefin tespiti gerçekleşmediğinde veya hedefler yanlış/sahte tespit edildiğinde mühimmat tüketilmez.

Eğer düşman kuvvet unsurlarının bir harp alanına, muhtemel bir harpte, sürebileceği platform sayısı sınırlı ise, sadece bu sınırlı sayıdaki platformun imhasına

yönelik hesaplama yapmanın mantıklı olacağı bu yaklaşımda kabul edilir. Yani bu yaklaşımda mühimmat tüketiminin, mühimmat harcayan dost kuvvet unsurlarının sayısından bağımsız olarak, düşmana ait unsurların tamamen imha edilmesiyle son bulacağı varsayılır. Bu tip bir planlama gayret seviyesi yaklaşımına göre daha maliyet etkin bir yaklaşım olsa da bu planlama sürecinde de bir takım geliştirilmesi gereken hususların olduğu değerlendirilmektedir. Örneğin bu yaklaşımda bir dost unsurun bir düşman unsuru imha etmek için atması gereken mühimmat miktarları hesaplanırken bu hususla alakalı geçmiş angajman verilerinin yeterli olmamasından kaynaklı olarak bu değerler birtakım sübjektif uzman görüşlerine dayanan parametrelerle hesaplanmaya çalışılmaktadır. Bu parametrelere örnek olarak silah vuruş olasılığı ve silah arıza olasılığı gibi oldukça muğlak olasılıklar örnek olarak verilebilir.

Çalışmamızda bu gibi muğlak değerlerden kurtulmak adına dost ve düşman unsurlara ait çeşitli girdilerle makine öğrenmesi yapılarak, bir dost unsurun bir düşman unsuru imha etmek için atması gereken mühimmat miktarlarının hesaplanması esas alınmıştır.

Buna ilave olarak, bahse konu yaklaşımda angajman karşılaşmaları için de yine sübjektif yargılara dayanan olasılıksal parametrelerin kullanılması benimsenmektedir. Bu olasılıksal parametreler temel olarak, konu hakkında uzman kişilerin görüşlerinin alınmasıyla örneğin bir dost unsurun bir düşman unsurla harp alanında karşılaşma olasılığının ne olduğunu ifade eder. Bu yaklaşımda problem sahası olarak ele alınması gereken husus, önceden belirlenen bu olasılıkların gerçek harekât alanında tutmaması durumunda yapılan planlamanın, harpteki başarıya gölge düşürebileceğidir.

Bu gibi olasılıksal bir yaklaşımdan farklı olarak, harpte en ekonomik kaynak ihtiyacıyla en iyi sonucu almaya yönelik olarak dost ve tehdit unsurların maliyet ve çeşitli nitelikleri açısından değerlendirilerek en iyi harekât tarzının yani en iyi angajman planının (en maliyet etkin füze atış kombinasyonu ve en iyi angajman eşleşmesi) ne olduğunu önceden planlamaya yönelik bir yaklaşımı çalışmamızda ele almanın uygun olduğu değerlendirilmiştir.

4.5. Çalışmanın Problem Sahasındaki Temel Amacı

Sonuç itibariyle askeri planlama kapsamında bir karar verme problemini ele alan çalışmamız, belirli bir çıkarım yapabilmek için geçmiş angajman verilerinin düzenli bir kaydını tutmayı ve günümüzde bu anlamda düzenli bir veri tabanına sahip olamamaktan dolayı yapılan birçok varsayımın ortadan kaldırılarak daha doğru ve hızlı sonuçlar alabilmeyi amaçlamaktadır.

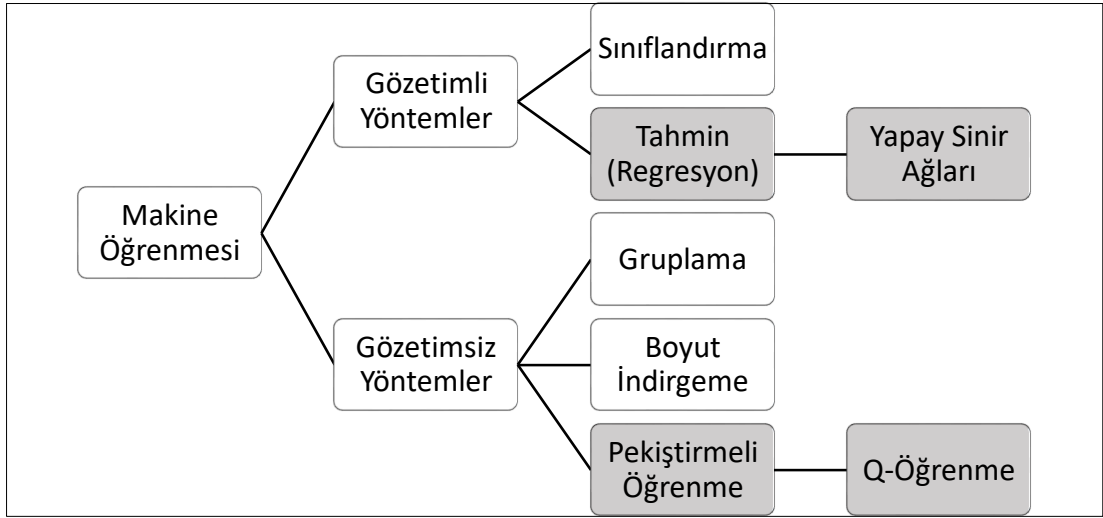
Bu bağlamda geçmişteki angajman verilerinin uygun şekilde tasnif edilerek depolanması, bilimsel olarak analiz edilmesi ve gelecekte oluşma ihtimali olan angajmanlara yönelik bilimsel tahminler yapılması, bu sayede planlamaların doğru ve etkili yapılmasıyla ülkemizin prestij ve güç kazanacağı değerlendirilmektedir.

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çalışmamız kapsamında belirlenen problemin çözülmesi için literatür incelendiğinde angajman verilerinden yararlanarak atılması gerekli mühimmat miktarı tahminlemesi için yapay zekâ yöntemleri içerisinde bulunan makine öğrenmesi regresyon yöntemi ve en iyi harekât tarzının keşfedilmesi için pekiştirmeli öğrenme yöntemleri karşımıza çıkmıştır. Bu çalışmanın kapsamına giren regresyon yöntemleri ve simülasyon çalışmalarını araştırmak amacıyla literatür incelendiğinde, farklı alanlardaki benzer çalışmalara rastlanılmıştır [14, 15, 16, 17]. Fakat bir suüstü harbinin spesifik olarak modellendiği bir çalışmaya rastlanılamamıştır. Bu sebeple regresyon ve yapay zekâ yöntemleri kapsamına giren çeşitli metotlar incelenerek bu çalışmaya entegre edilebilecek algoritmalar ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır [18].

Bu bağlamda 3 aşamadan oluşan çalışmamızın ilk aşamasını oluşturan makine öğrenmesi regresyon yöntemlerinin detayları araştırılmış, 2'nci aşamada ise mühimmat etki gücünün ve birim maliyetinin doğrusal değişkenler olmalarından dolayı bir atıcı unsurun bir hedef unsura atış yapacağı en iyi mühimmat kombinasyonu için doğrusal programlama yönteminin kullanımının uygun olduğu değerlendirilmiştir.

Makine öğrenmesi çalışmaları incelendiğinde; bu metodolojinin genel olarak gözetimli ve gözetimsiz yöntemler olarak ikiye ayrıldığı, bu çalışmada kullanılan regresyon (tahmin) yönteminin ise gözetimli yöntemler içerisinde bulunduğu tespit edilmiştir [19]. Ayrıca yine makine öğrenmesi yöntemlerinden faydalanan çalışmamızın üçüncü aşamasında da en iyi harekât tarzının (harekât alanındaki unsurlar için en iyi angajman eşleşmelerinin) keşfedilebilmesi için gözetimsiz yöntemler kapsamına dâhil olan pekiştirmeli öğrenmenin Q-öğrenme metodu kullanılmıştır [20]. Aşağıdaki şekilde makine öğrenmesi yöntemlerinin yukarıda anlatılan bilgiler kapsamındaki bir şeması sunulmaktadır [16, 18, 19].



Şekil 5.1: Makine Öğrenmesi Yöntemleri.

Şekil 5.1’de görüldüğü üzere çalışmamızda kullanacağımız yapay zekâ yöntemleri regresyon ve pekiştirmeli öğrenme yöntemleridir. Pekiştirmeli öğrenme kapsamında literatür detaylı olarak incelendiğinde [21]; problemimizin iki farklı ve birden fazla etmen barındıran bir oyunun simüle edilmesi problemi olduğu tespit edilmektedir. Bu bilgiden hareketle çalışmamızda; her iki kuvvet grubu için keşfedilen çeşitli harekât tarzlarını karşılaştırabilmek amacıyla Q-Learning (Q-Öğrenme) yönteminden faydalanılmasının uygun olduğu değerlendirilmiştir. Bu yöntemin, çok etmenli karşıt iki topluluğu barındıran bir ortamda alınan ödül değerlerini optimize etmesi, her iki topluluğun en iyi harekât tarzlarını keşfetmesi ve öğrenmesi amaçlanmıştır. Bu yöntem, harp alanındaki her bir unsurun deneme yanılma yöntemiyle elde ettiği ödülleri hafızaya kaydederek ve hafızadaki bu değerler üzerinden kuvvet grubunun toplam ödül değerini maksimize ederek öğrenmeyi gerçekleştirmektedir.

Diğer taraftan ilk aşamada bahsedilen regresyon yöntemleri kapsamında, bu amaçla kullanılabilecek çeşitli metotlar [19] üzerinde deneyler yapılmış ve en iyi sonucu veren metodun çalışma kapsamında kullanılması esas alınmıştır.

Bu amaçla, regresyon yöntemleri ile yapılan tahminlerin gerçek değerlere ne kadar yaklaştığının test edilmesi gerekmektedir. Bunun için R^2 sembolü ile gösterilen bir test başarımlı belirleme katsayısı kullanılmıştır. Bu değer bir regresyon modelinin ne kadar iyi tahmin yaptığı (regresyon çizgisinin gerçek verilere ne kadar iyi yaklaştığı) hakkında bilgi sağlayan bir ölçüdür. Bu nedenle söz konusu değer,

gelecekteki sonuçları tahmin etmek için veya hipotezlerin test edilmesi için istatistiksel bir model kullanıldığında önemli bir ölçüttür. Bahse konu ölçüt, 0 ve 1 arasında değişen, 1'e ne kadar yakın olursa tahminleyicinin performansının o kadar yüksek olduğunu ifade eden bir orandır. Bu değer, denklem 5.1.'de belirtildiği şekilde hesaplanmaktadır [22].

$$R^2 = \frac{\sum (y_j - \hat{y}_j)^2}{\sum (y_j - \bar{y}_j)^2} \quad (5.1)$$

- $\hat{y}_j$: Her bir j değeri için tahmin edilen y değerleri.
 $\bar{y}_j$: Gerçek y değerlerinin ortalaması.
 $\sum (y_j - \hat{y}_j)^2$: Artıkların Kareleri Toplamı.
 $\sum (y_j - \bar{y}_j)^2$: Ortalamaya Uzaklığın Kareleri Toplamı.

Yukarıdaki açıklamalar dikkate alınarak geliştireceğimiz modelde kullanılabilecek çeşitli regresyon yöntemleri denklem 3.1.'den elde edilen verilerle çalıştırılmış ve her bir yöntem için elde edilen test sonuçları aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 5.1: Çeşitli Regresyon Yöntemlerinin Test Skorları.

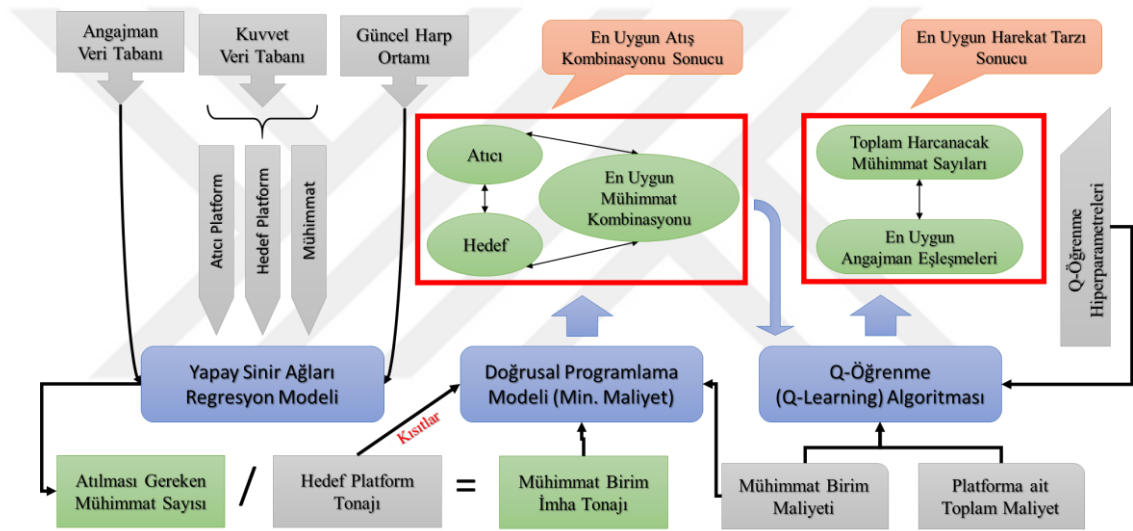
Makine Öğrenmesi - Regresyon Yöntemi	R ² Skoru
Çok Değişkenli Doğrusal Tahminleyici (Multiple Linear Regressor)	0.7510
Karar Ağacı Tahminleyici (Decision Tree Regressor)	0.7822
Rastgele Orman Tahminleyici (Random Forest Regressor)	0.7841
Yapay Sinir Ağları Tahminleyici (Artificial Neural Network Regressor)	0.9672

Tablo 5.1'de görüldüğü üzere çeşitli regresyon yöntemleri üzerinde yapılan deneylerden alınan sonuçlara göre, çalışmamızın ilk kısmındaki regresyon yöntemi için yapay sinir ağları kullanımının uygun olduğu, bu yöntemin gerçeğe yakın ve etkili sonuçlar vereceği tespit edilmiştir.

Buna göre yapılan literatür araştırması sonucunda, çalışmanın her bir aşamasında aşağıda belirtilen yöntemlerin kullanılması esas alınmıştır.

- İlk aşamada **yapay sinir ağları regresyon** yöntemi.
- 2'nci aşamada **doğrusal programlama optimizasyon** yöntemi.
- 3'üncü ve son aşamada pekiştirmeli öğrenme kapsamındaki **Q-Öğrenme** yöntemi.

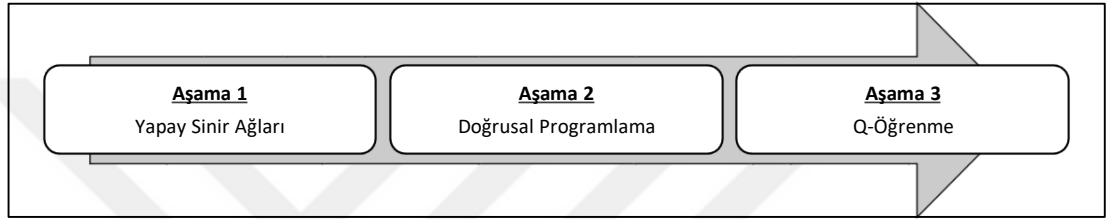
Bu doğrultuda tasarlanması amaçlanan modelin her aşamasına ilişkin detaylar aşağıdaki şemada sunulmuştur.



Şekil 5.2: Tasarlanması Amaçlanan Modelin Detayları.

6. MODEL TASARIMI

Tanımladığımız harekât araştırması probleminin ne şekilde çözülebileceğini belirlemek amacıyla bir literatür araştırması yaptık ve buraya kadar çözümü getirecek olan algoritmanın ana hatlarını ve algoritmamız için ihtiyaç duyulan veri setlerini tanımladık. Bu kısımda ise artık geliştirdiğimiz algoritmanın matematiksel detayları sunulacaktır. Aşağıdaki şemada algoritmamızda kullandığımız sayısal metotların işlem sırası sunulmuştur.



Şekil 6.1: Geliştirilen Algoritmanın İşlem Sırası.

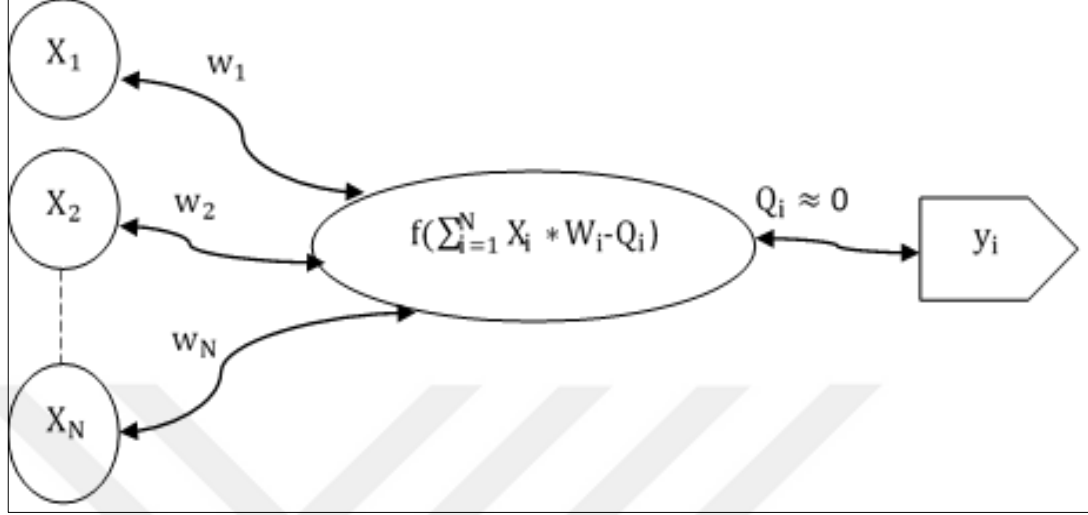
Şekil 6.1’de görüldüğü üzere geliştirdiğimiz algoritma, her aşamasında farklı bir yöntemin kullanıldığı 3 aşamadan oluşmaktadır. Bu algorithmada 2’nci aşama 1’inci aşamanın çıktıları, 3’üncü aşama ise 2’nci aşamanın çıktıları kullanmaktadır. Buna göre geliştirilen algoritmanın her aşamasına ait detaylar aşağıda sunulmuştur.

6.1. Yapay Sinir Ağları

Geliştirilen modelin ilk aşamasında kullanılan yapay sinir ağları yönteminin bazı bileşenleri bulunmaktadır. Bunlar; **girdiler**, **ağırlıklar**, **transfer fonksiyonu** ve **artıklardır**.

Klasik bir yapay sinir ağları modeli, girdi değerlerini ağırlık değerleriyle çarparak transfer fonksiyonu üzerinden bir tahminde bulunur. Bu tahmin, y gerçek değeri ile karşılaştırılarak aradaki fark (yani artık) değeri bulunur. Sonrasında geri yayılım mekanizmasıyla bu artık değerini sıfıra yakınsayarak minimize etmeyi amaçlayan ağırlık değerleri model tarafından öğrenilir.

Bu öğrenme sayesinde verilen girdiler üzerinden doğruluk oranı yüksek olan tahminleri yapabilecek bir transfer fonksiyonu geliştirilmiş olur. Yapay sinir ağlarının bu öğrenme mekanizmasını görselleştiren bir şema aşağıda sunulmuştur.



Şekil 6.2: Yapay Sinir Ağları Şematik Gösterimi.

Şekil 6.2’de görselleştirilen öğrenme mekanizmasının matematiksel gösterimi aşağıda sunulmuştur [23].

$$y = f(\sum_{i=1}^N X_i * W_i - Q_i) \quad ; \quad X_i = (X_1, X_2, \dots, X_N) \in R \quad (6.1)$$

X_i	:	Giriş Değerleri
Q_i	:	Artıklar
w_i	:	Ağırlıklar
f	:	Transfer Fonksiyonu
y	:	Çıkış Değeri

6.2. Doğrusal Programlama

Yapay sinir ağları regresyon modeli üzerinden yapılan tahminler sonrasında elimize ulaşan çıktılar, her bir platformun her bir hedefe karşı, üzerindeki her bir füze çeşidinden (bu füze çeşitlerinden yalnızca biri kullanıldığı takdirde) kaç adet atılması gerektiğidir.

Burada ise söz konusu füze çeşitlerinin bir adedinin hedef imha tonajı ve maliyetini kullanarak en maliyet-etkin atış kombinasyonunun çıkarılması gerekmektedir.

Örneğin bir atıcı platformun üzerinde bir suüstü harbinde kullanılabilecek 4 adet füze çeşidi varsa; bu füzelerden yalnızca birini, ikisini, üçünü veya hepsini belirli sayılarda kullanması en maliyet-etkin çözümü verebilecektir.

Bu çözümü belirleyecek olansa söz konusu füzelerin hedef imha tonajları ve maliyetleri olacaktır. Doğal olarak hedef imha tonajı çok yüksek, maliyeti ise çok düşük olan bir füzenin kullanılması akla en yatkın olan seçenektir. Bu bilgiler ışığında geliştirilmiş olan doğrusal programlama modeli aşağıda sunulmuştur [24].

$$\text{Min. } Z = x_{ij} * M_i \quad (6.2)$$

Kısıtlar:

$$x_{ij} * T_i \geq \text{Tonaj}_j \quad (6.3)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (6.4)$$

i : Seyir Füzesi, Satıhtan Satha Güzümlü Füze, Torpido, Havadan Satha Güzümlü Füze

j : Hedef Platform No

x_{ij} : j'inci hedefe karşı, belirli bir atıcı platformdaki i'inci füzeden atılacak miktar

M_i : Belirli bir atıcı platformdaki i'inci füzenin maliyeti

T_i : Belirli bir atıcı platformdaki i'inci füzenin hedef imha tonajı

Tonaj_j : j'inci hedef platformun tonajı

6.3. Q-Öğrenme Algoritması

Bu noktaya kadar harp ortamındaki kazanç-kayıp durumları simüle edilecek olan platformların birbirlerini imha edebilmeleri için atmaları gereken en maliyet-etkin füze çeşitleri ve sayılarının belirlenmesi modellenmiştir.

Fakat bu noktadan sonra ortaya en kazançlı duruma ulaşabilmek için hangi dost unsurun hangi düşman unsura angaje olması gerektiği yani hangi harekât tarzının izleneceği problemi çıkmaktadır. Bu problemin çözümü için harbin çok kez tekrarlanması ve her tekrarda alınan sonuçların kaydedilmesi gerekmektedir. Bu sayede bu kayıtlar üzerinden deneme yanılma yöntemiyle bir öğrenme gerçekleştirilebilecektir.

Söz konusu öğrenme süreci, hem dost platform grubu için, hem de düşman platform grubu için ayrı ayrı gerçekleştirilmelidir. Bu sayede ise dost platform grubu için keşfedilen çeşitli harekât tarzları ile düşman platform grubu için keşfedilen çeşitli harekât tarzları birbirleriyle karşılaştırılabilecektir. Dost ve düşman grupların keşfettikleri en iyi harekât tarzları da bu sayede karşılaştırılarak nash dengesine [25] ilişkin yorumlar yapılabilecek ve bu denge durumundaki sonuçlar elde edilebilecektir.

Çalışmamızda, bahsedilen söz konusu çözümler için Q-Öğrenme yönteminin kullanılması esas alınmıştır. Q-Öğrenme yönteminin temel fikri, bir Q fonksiyonunu tanımlayabilmek ve bu fonksiyon üzerinden oluşturulacak bir Q tablosunu hafızaya kaydetmektir. Sıralı aksiyonların gerçekleştirildiği bir problem için Q fonksiyonunun genel gösterimi aşağıda sunulmuştur [20].

$$Q_{(s,a)} = r_{(s,a)} + \gamma * \sum p_{(s'|s,a)} * V_{(s',a)} \quad (6.5)$$

S : Ortam modeli $\left(S_{(dost,düşman)} \vee S_{(düşman,dost)} = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \dots & 0 \end{bmatrix} \right)$

a : Ortamdaki tüm muhtemel aksiyonlar

$Q_{(s,a)}$: S ortamında a aksiyonuyla elde edilen Q değeri

- $r_{(s,a)}$: S ortamında a aksiyonuyla elde edilebilecek ödül (r) değeri⁸
- γ : Azaltım faktörü (Discount Factor)⁹
- $p(s'|s,a)$: S ortamındaki a aksiyonlarının her birinin harekât tarzı olarak seçilme olasılığı
- $v_{(s',a)}$: S ortamındaki a aksiyonuyla elde edilen durum değeri¹⁰ ($\max Q'_{(s',a')}$)

Yukarıdaki denklem Q-Öğrenme algoritmasının çok genel bir gösterimidir. Pekiştirmeli öğrenme problemlerinde modeller, problemlerin içerisinde bulunduğu koşullardan yani ortam şartlarından etkilenecek özelleşmektedir. Problemimizdeki ortam şartlarını yorumlayacak olursak öncelikle aksiyon olasılıklarımızın eşit olduğunu düşünebiliriz. Yukarıdaki denklemde her bir aksiyonun eşit olasılığa sahip olduğu değerlendirildiğinde, yeni bir Q değeri aşağıdaki denklemde sunulduğu şekilde hesaplanmaktadır.

$$\text{Yeni } Q_{(s,a)} = Q_{(s,a)} + \alpha * [r_{(s,a)} + \gamma * \max Q'_{(s',a')} - Q_{(s,a)}] \quad (6.6)$$

Problemimizin ortam şartlarını yorumlamaya devam ettiğimizde harp ortamında karşılaşacak olan platformların hedefleriyle karşılaştıkları takdirde bu hedefleri imha etmeleri gerektiği değerlendirilmektedir.

⁸ $r = \text{İmha Edilen Platform Maliyeti} - \text{Atılan Füze Sayısı} * \text{Birim Füze Maliyeti}$

⁹ Azaltım faktörü, bir etmenin ortamı ne kadar iyi bildiğini gösteren ve bu etmenin olduğu yerde kalacağını mı yoksa bir aksiyonda bulunacağını mı belirleyen olasılıksal bir parametredir. 0 ile 1 arasında bir değer alır. 1 değeri etmenin ortamı tam olarak bildiğini göstermektedir.

¹⁰ Durum değeri, bir etmenin içinde bulunduğu durumdan ve o durumu takip eden diğer durumlardan bekleyebileceği ödüllerin toplamıdır. Ödüller anlık olarak neyin iyi neyin kötü olduğunu ifade ederken, durum değeri uzun vadede neyin iyi neyin kötü olduğunu ifade eder.

Her bir atıcı platformun hedeflediği platforma angajman gerçekleştirdiğinde bu hedefi imha etmesi esas alındığından, bu platformlar birbirleriyle en fazla bir kez karşılaşabileceklerdir. Bu nedenle bu problemde denklem 6.6'daki durum değeri yalnızca bir durum için hesaplanmaktadır. Bu sebeple problemde sıralı aksiyonlar gerçekleştirilmediğinden, azaltım faktörünün (γ) ve durum değerinin (v) bir önemi kalmamakta, içinde bulunulan durumda alınan tek aksiyon üzerinden hesaplama yapılmaktadır.

Buna ilave olarak, denklem 6.6'daki öğrenme oranı (α) değerinin çarpıldığı parantez de açıldığında, problemimizde yeni Q değerlerinin hesaplanacağı denklem aşağıda sunulan denkleme dönüşmektedir.

$$\text{Yeni } Q_{(s,a)} = (1 - \alpha) * Q_{(s,a)} + \alpha * (r_{(s,a)}) \quad (6.7)$$

- α : Öğrenme oranı, araştırılan durum aksiyonundan alınacak ödül ile çarpılır.
- $1-\alpha$: Öğrenmeme oranını ifade eder, bu nedenle bir önceki Q değeriyle çarpılır.

Son olarak çalışmada modele verileri sunulan her bir platformun birbirlerinin atış menziline oldukları, bu sebeple her bir platformun birbiriyle angajman gerçekleştirebileceği varsayılmıştır.

Bu bağlamda, yukarıda açıklanan matematiksel model kullanılarak her bir yineleme için hafızaya kaydedilen Q değerleri, belirlenen bir yineleme sayısı (δ) tekrarınca birbiriyle karşılaştırılmış, en iyi ödül değerini veren yineleme sayısı ve bu yinelemedeki harekât tarzı öğrenilmeye çalışılmıştır. Çalışmada her iki rakip grubun kendi harekât tarzını geliştirmesi için kullanılan Q-Öğrenme algoritmasına ait sözde kod (pseudo-code) aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 6.1: Önerilen Q-Öğrenme Algoritması Sözde Kodu (Pseudo-Code).

Önerilen Q-Öğrenme Algoritması	
1.	$R_{\text{önceki}}=0$
2.	S ortam modeli=0
3.	For $\rightarrow \delta$
4.	İf $\rightarrow \varepsilon > (0-1 \text{ arasında rasgele bir gerçel sayı})$
5.	S matrisine 0 veya 1 olarak $\begin{pmatrix} 0 & \dots & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \dots & 0 \end{pmatrix}$ rasgele değerler ata.
6.	For $\rightarrow$ Her bir düşman platform için;
7.	Yeni $Q_{(s,a)} = (1 - \alpha) * Q_{(s,a)} + \alpha * (r_{(s,a)})$
8.	$R = \text{topla}(\text{Yeni } Q_{(s,a)})$
9.	İf $\rightarrow R > R_{\text{önceki}}$
10.	R'yi hafızaya kaydet.
11.	S ortam modelini hafızaya kaydet.
12.	For $\rightarrow$ Her bir dost platform için;
13.	Yeni $Q_{(s,a)} = (1 - \alpha) * Q_{(s,a)} + \alpha * (r_{(s,a)})$
14.	$R = \text{topla}(\text{Yeni } Q_{(s,a)})$
15.	İf $\rightarrow R > R_{\text{önceki}}$
16.	R'yi hafızaya kaydet.
17.	S ortam modelini hafızaya kaydet.

Tablo 6.1’de görüldüğü üzere algoritma kapsamında, öncelikle harekât tarzı (S ortam modeli) ve ödül değeri için bir başlangıç değeri atanmaktadır. Sonrasında yineleme sayısı büyüklüğünce bir döngü oluşturulmaktadır. Bu döngü içerisinde öncelikle daha önce modele girdi olarak sunulan keşif değerine ilişkin bir koşul bulunmaktadır. Bu koşula göre eğer döngü içerisinde, 0 ve 1 arasında ürettiğimiz rastgele bir değer, keşif değerimizden küçükse rastgele bir harekât tarzı üretilmektedir.

Devamında her bir dost ve her bir düşman platform için söz konusu harekât tarzıyla elde edilen platform başına ödül değerleri ve bu değerlerin toplanmasıyla kuvvetlere ait toplam ödül değerine ulaşılmaktadır.

Bu ödöl değeri, bir önceki döngüden alınan ödöl değeriyle karşılaştırılarak büyük olan ödöl değeri ve bu değerin elde edildiğı harekât tarzı, bir sonraki döngüde tekrar hangi ödöl değeri için daha büyük olduğuna karar vermek amacıyla hafızaya kaydedilmektedir.

Bu vesileyle hafızaya kaydedilmiş olan ödöl değeri küçükten büyüğe doğru sıralanmaktadır. Bu sayede son döngüde ulaşılacak en iyi toplam ödöl değeri için alınabileceğı en iyi harekât tarzı elde edilmektedir.



7. DENEYLER VE GÖZLEMLER

Bu kısımda bir suüstü harbinin simüle edilerek alınan sonuçların analiz edilmesi maksadıyla geliştirilen ve yukarıda detayları anlatılan model üzerinde, çeşitli sayılardaki dost ve düşman platform karşılaşmalarının sonuçları araştırılmıştır. Modelin doğrulamasını yapmak amacıyla araştırılan sonuçlar analiz edilmiştir. Ayrıca platform sayılarındaki değişimin, modelin öğrenme başarısı için hangi değerlerdeki hiperparametrelere ihtiyaç duyduğu incelenmiştir. Buna ilave olarak modelin giderek daha iyi bir harekât tarzı keşfettiği de ortaya konulmuştur.

7.1. Örnek Senaryo İncelemesi

İlk olarak özdeş 2 adet dost platform ve 2 adet düşman platformun bir harekât alanında suüstü harbi kapsamında karşılaştığı bir senaryo incelenmiştir. Söz konusu senaryoya ait veriler gerçek değerleri yansıtmamakta olup, rastgele oluşturulmuş ve aşağıdaki maddelerde sunulmuştur.

7.1.1. Senaryoya ait Kuvvet Veri Tabanı

Tablo 7.1: Örnek Senaryoya ait Kuvvet Veri Tabanı (1).

Platform No	Platform Sürati	Komuta Kontrol Sistem Yaşı	Yakın Menzil SS	Orta Menzil SS	Yüksek Menzil SS	Platform Tonajı
Platform_21	20	5	1	2	1	750
Platform_22	20	5	1	2	1	750
Platform_161	20	5	1	2	1	750
Platform_171	20	5	1	2	1	750

Tablo 7.2: Örnek Senaryoya ait Kuvvet Veri Tabanının Devamı (2).

CRUISE Adı	CRUISE TNT	CRUISE AKS Yaşı	CRUISE Birim Maliyet	SSM Adı	SSM TNT	SSM AKS Yaşı	SSM Birim Maliyet
CRUISE_1	250	7	1.4	SSM_1	80	10	1
CRUISE_1	250	7	1.4	SSM_1	80	10	1
CRUISE_1	250	7	1.4	SSM_1	80	10	1
CRUISE_1	250	7	1.4	SSM_1	80	10	1

Tablo 7.3: Örnek Senaryoya ait Kuvvet Veri Tabanının Devamı (3).

Torpedo Adı	Torpedo TNT	Torpedo AKS Yaşı	Torpedo Birim Maliyet	ASM Adı	ASM TNT	ASM AKS Yaşı	ASM Birim Maliyet
TORPİDO_1	30	5	0.3	YOK	YOK	YOK	0
TORPİDO_1	30	5	0.3	YOK	YOK	YOK	0
TORPİDO_1	30	5	0.3	YOK	YOK	YOK	0
TORPİDO_1	30	5	0.3	YOK	YOK	YOK	0

Tablo 7.4: Örnek Senaryoya ait Kuvvet Veri Tabanının Devamı (4).

Tarafı	Platform Birim Maliyet	Platform Personel Sayısı	Birim Personel Maliyeti	Platform Toplam Maliyet
DOST	250	300	0.25	346
DOST	250	300	0.25	346
DÜŞMAN	250	300	0.25	346
DÜŞMAN	250	300	0.25	346

7.1.2. Senaryoya ait Harp Ortamı Verileri

Tablo 7.5: Örnek Senaryoya ait Güncel Harp Ortamı Verileri.

Güncel Harp Ortamı Verisi	Değeri
Rüzgâr Şiddeti	3
Bağıl Nem	% 70
Deniz Durumu	3
Sıcaklık	20 C°

7.1.3. Senaryo için Denenen Çeşitli Hiperparametre Değerleri

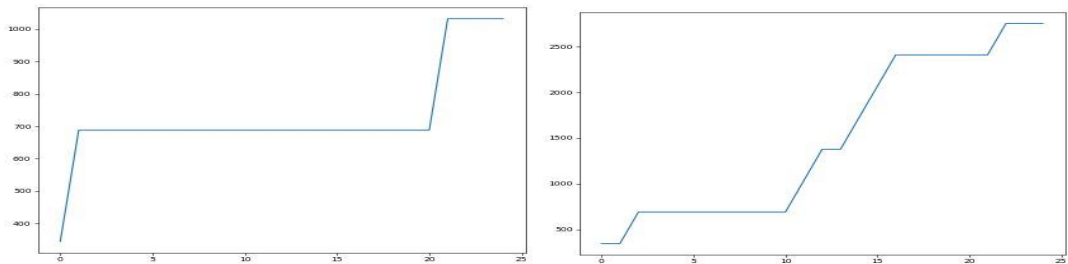
Tablo 7.6: Örnek Senaryoya ait Çeşitli Hiperparametre Değerleri.

Hiperparametre	Değer	Değer	Değer
α	0.5	0.7	0.8
ε	0.5	0.7	0.8
δ	25	50	100

7.1.4. Öğrenme Grafikleri ve Hiperparametre İlişkisi

Yukarıdaki senaryo verileri ile model çalıştırıldığında, çeşitli hiperparametre değerlerinin modeldeki öğrenme performanslarının da karşılaştırılarak hiperparametreler ile modelin öğrenme performansı arasındaki ilişki araştırılmıştır.

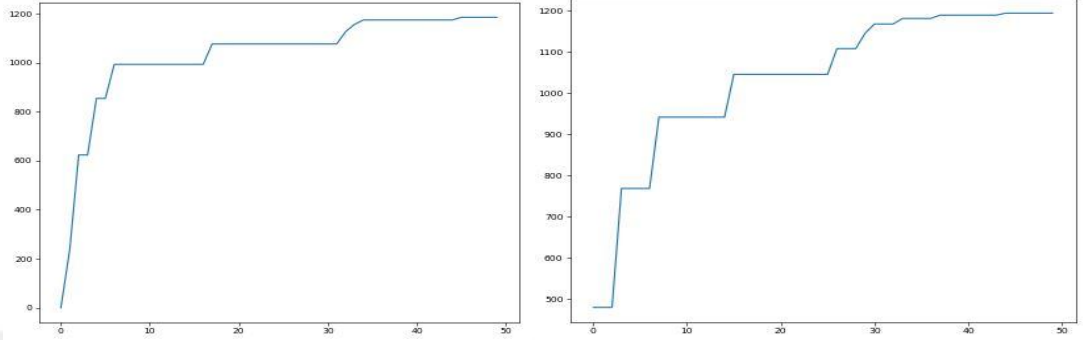
Bu çerçevede hiperparametre değerleri $\alpha=0.5$, $\varepsilon=0.5$, $\delta=25$ alındığında modelin öğrenme performansı aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



Şekil 7.1: a) Dost Yineleme-Ödül Grafiği, b) Düşman Yineleme-Ödül Grafiği.

Şekil 7.1 incelendiğinde söz konusu hiperparametre değerlerinin modelin öğrenme performansı açısından uygun olduğu söylenemez.

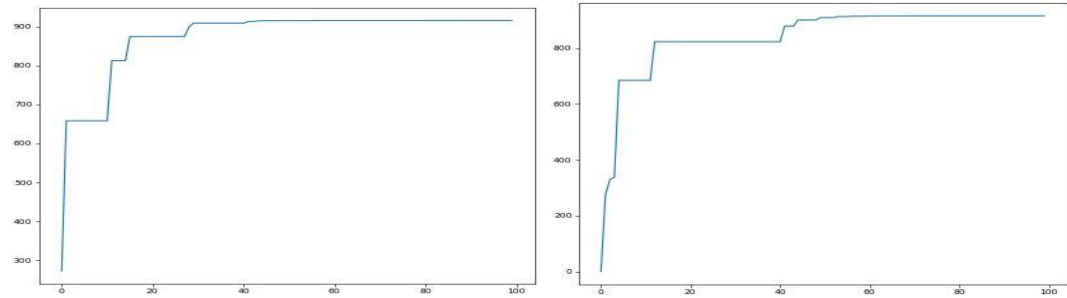
Hiperparametre değerleri $\alpha=0.7$, $\varepsilon=0.7$, $\delta=50$ alındığında modelin öğrenme performansı aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



Şekil 7.2: a) Dost Yineleme-Ödül Grafiği, b) Düşman Yineleme-Ödül Grafiği.

Şekil 7.2 incelendiğinde söz konusu hiperparametre değerlerinin modelin öğrenme performansı açısından nispeten daha uygun olduğu söylenebilir.

Son olarak hiperparametre değerleri $\alpha=0.8$, $\varepsilon=0.8$, $\delta=100$ alındığında modelin öğrenme performansı aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



Şekil 7.3: a) Dost Yineleme-Ödül Grafiği, b) Düşman Yineleme-Ödül Grafiği.

Şekil 7.3 incelendiğinde, her iki grafik için de yineleme sayıları arttıkça ödül değerlerinin arttığı, fakat bir noktadan sonra artık yineleme sayıları arttıkça ödül değerlerinin sabitlendiği görülmektedir. Bu kapsamda belirlediğimiz senaryo için söz konusu hiperparametre değerlerinin modelin öğrenme performansı açısından uygun olduğu, dolayısıyla yeni bir hiperparametre kombinasyonunu denemeye gerek olmadığı değerlendirilmektedir.

7.1.5. En İyi ve En Kötü Harekât Tarzlarının Karşılaştırılması

Yukarıdaki maddelerde yapılan deneylerle, oluşturduğumuz modelin giderek daha iyi harekât tarzlarını üreten sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu kısımda bu gözlem ve değerlendirmelerin ispatı niteliğini taşıyan bir deney yapılacaktır. Modelimiz ile dost ve düşman kuvvetlerin en iyi, en kötü veya en iyi ya da en kötü olmayan herhangi bir harekât tarzının sonuçları da görüntülenebilmektedir. Dolayısıyla bu deneyde modelimizin üretmiş olduğu angajman eşleşmelerinin, dost kuvvetin hem en iyi harekât tarzına hem de en kötü harekât tarzına göre ortaya konulmasının ve karşılaştırılmasının uygun olduğu değerlendirilmektedir.

Bu bağlamda dost kuvvetin en kötü harekât tarzına karşılık düşman kuvvetin en iyi harekât tarzını uyguladığını düşünürsek modelimiz aşağıdaki tabloda sunulan angajman eşleşmelerini vermektedir.

Tablo 7.7: Dost En Kötü - Düşman En İyi Harekât Tarzı.

Açıklama	Atıcı Platform	Hedef Platform
Dost Angajmanı	Platform_21	Platform_171
Dost Angajmanı	Platform_22	Platform_171
Düşman Angajmanı	Platform_161	Platform_21
Düşman Angajmanı	Platform_171	Platform_22

Tablo 7.7 incelendiğinde düşman kuvvetin en iyi harekât tarzına karşılık dost kuvvetin en kötü harekât tarzını uygulaması, her iki kuvvetin tamamen eşit güçlerde olmasına rağmen, dost platformların tüm gücünü tek bir düşman platforma odaklamasına ve bu nedenle savaşı kaybetmesine sebep olmaktadır.

Düşman kuvvetin en iyi harekât tarzına karşılık dost kuvvetin de en iyi harekât tarzını uyguladığını düşünürsek modelimiz aşağıdaki tabloda sunulan angajman eşleşmelerini vermektedir.

Tablo 7.8: Dost En İyi - Düşman En İyi Harekât Tarzı.

Açıklama	Atıcı Platform	Hedef Platform
Dost Angajmanı	Platform_21	Platform_171
Dost Angajmanı	Platform_22	Platform_161
Düşman Angajmanı	Platform_161	Platform_21
Düşman Angajmanı	Platform_171	Platform_22

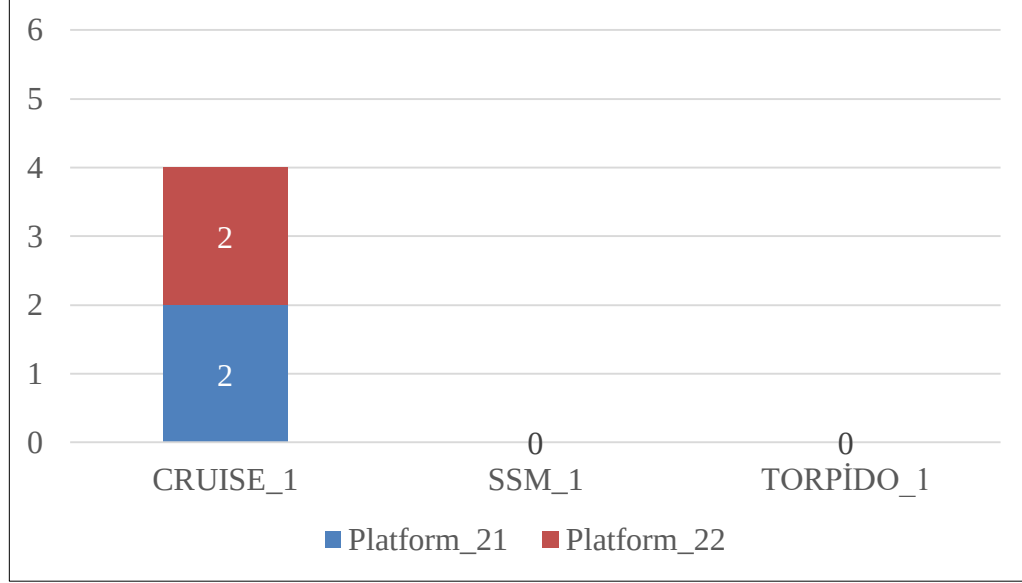
Tablo 7.8 incelendiğinde düşman kuvvetin en iyi harekât tarzına karşılık dost kuvvetin de en iyi harekât tarzını uygulaması, dost platformların daha iyi bir angajman eşleşmesi ile savaşı kaybetmemesine, tüm platformlar özdeş ve eşit güçlerde olduğundan beklendiği gibi tüm platformların birbirini imha ettiği ve savaşın denge durumunda sonuçlandığı bir neticeyi ortaya çıkarmıştır.

Modelden alınan bu sonuçlar aynı zamanda giderek daha iyi sonuçlar veren harekât tarzlarının geliştirildiğini de kanıtlamaktadır.

7.1.6. Dost Kuvvetin En İyi Harekât Tarzında Mühimmat Sayıları

Modelimiz ile dost kuvvetin seçilen her hangi bir harekât tarzına göre harp alanında dost platformların üzerlerinde yüklü olan hangi mühimmatlardan ne kadarlık bir mühimmat sarfiyatına ihtiyaç duyacağı da hesaplanabilmektedir.

Bu kapsamda madde 3.2.4'te detayları açıklandığı üzere denklem 3.1'den üretilen sentetik veriler dikkate alınarak ortaya çıkarılan mühimmat ihtiyaçları aşağıdaki şekilde sunulmuştur.

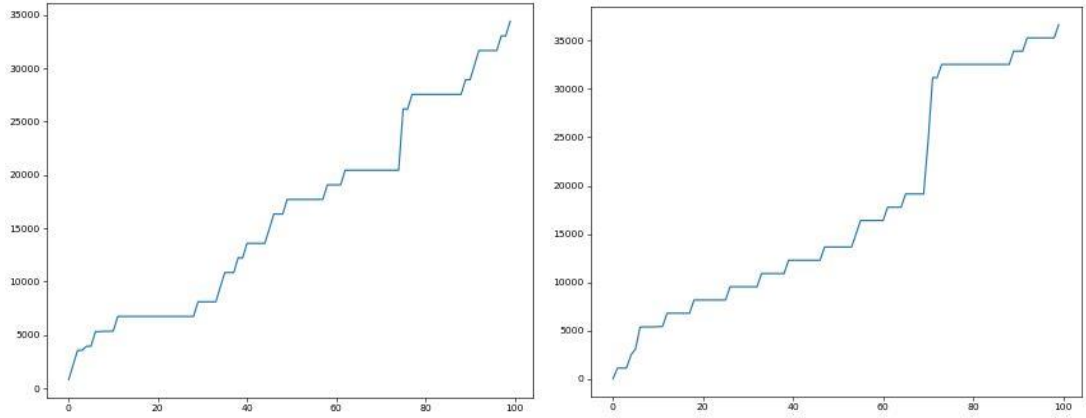


Şekil 7.4: Örnek Senaryo En İyi Harekât Tarzında Mühimmat İhtiyaçları.

7.1.7. Aynı Harp Ortamındaki Farklı Senaryoların Karşılaştırılması

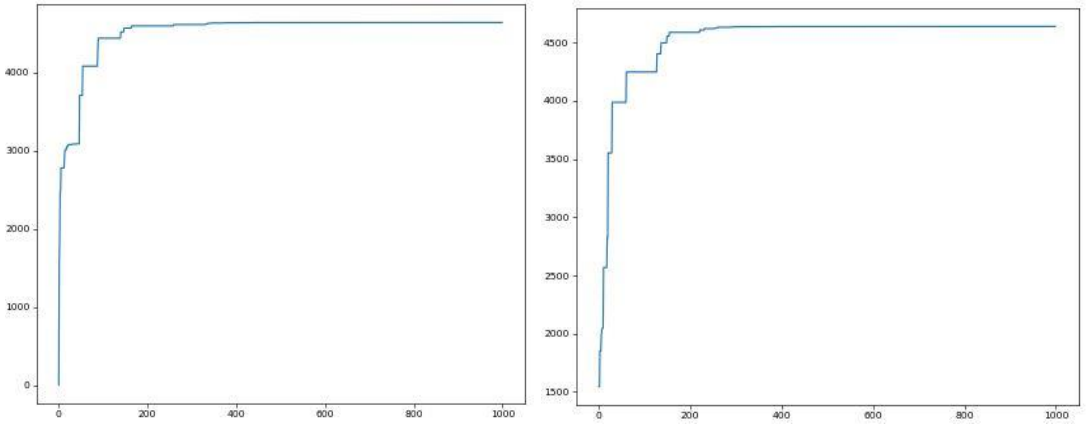
Yukarıdaki işlemler **dost ve düşman kuvvetlerin 2'şer özdeş platforma sahip oldukları varsayılarak** yapılmış ve söz konusu senaryoya ait sonuçlar gözlemlenmiştir. Bu gözlemlere göre bahse konu senaryoda Q-Öğrenme hiperparametre değerleri $\alpha=0.8$, $\epsilon=0.8$, $\delta=100$ olarak alındığında modelimizin öğrenme performansının iyi olduğu ve modelimiz ile mantıklı sonuçların alındığı görülmüştür. Eğer aynı harp ortamında farklı senaryolara ait sonuçları inceleyecek olursak, örneğin senaryodaki platform sayılarını artıracak olursak modelin öğrenmesi gereken verilerin miktarı artacağından öğrenme performansının da artırılması gerektiği kıymetlendirilmektedir. Buna mukabil senaryodaki platform sayılarını azaltacak olursak öğrenilmesi gereken verinin miktarı azalacağından aynı hiperparametre değerleriyle (öğrenme oranı, keşif oranı ve yineleme sayısı) öğrenme performansının gereksiz şekilde fazla olacağı, bunun yerine öğrenme performansının azaltılarak bu anlamda optimal bir dengeye ulaşılması gerektiği düşünülmektedir.

Bu çerçevede örneğin aynı harp ortamındaki yeni bir senaryonun **7 adet dost ve 6 adet düşman özdeş platformun karşılaşması** olduğunu düşünelim. Bir önceki senaryo ile aynı değerlere sahip hiperparametrelerle modelimizi çalıştırdığımızda dost ve düşman kuvvetler için yineleme sayısına göre ödül grafikleri aşağıdaki şekillerde sunulduğu gibi oluşmaktadır.



Şekil 7.5: a) Dost Yineleme-Ödül Grafiği, b) Düşman Yineleme-Ödül Grafiği.

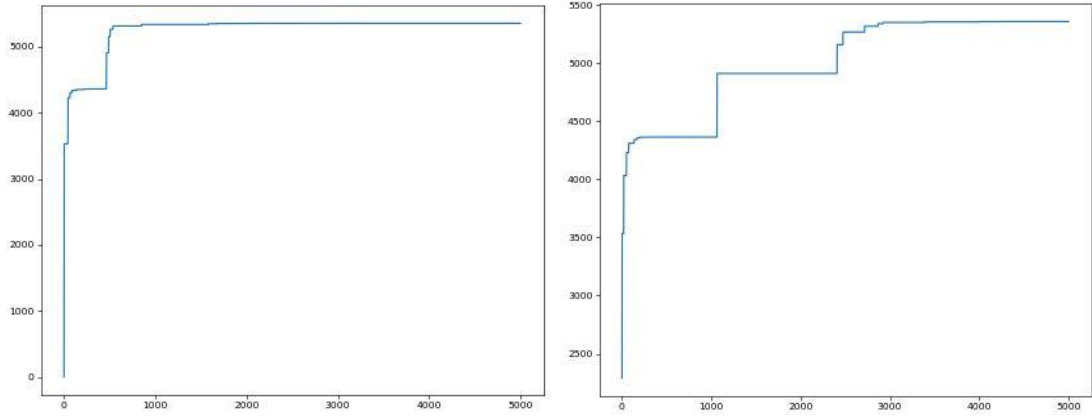
Şekil 7.5 incelendiğinde aynı hiperparametre değerleriyle öğrenme performansının yeterli olmadığı görülmektedir. Bu kapsamda madde 7.1.3 ve 7.1.4'de yapılan işlemler tekrarlandığında bu senaryo için en uygun hiperparametre değerlerinin $\alpha=0.9$, $\epsilon=0.9$, $\delta=1000$ şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Bu senaryoda söz konusu hiperparametre değerleriyle modelimizi çalıştırdığımızda dost ve düşman kuvvetler için yineleme sayısına göre ödül grafikleri aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



Şekil 7.6: a) Dost Yineleme-Ödül Grafiği, b) Düşman Yineleme-Ödül Grafiği.

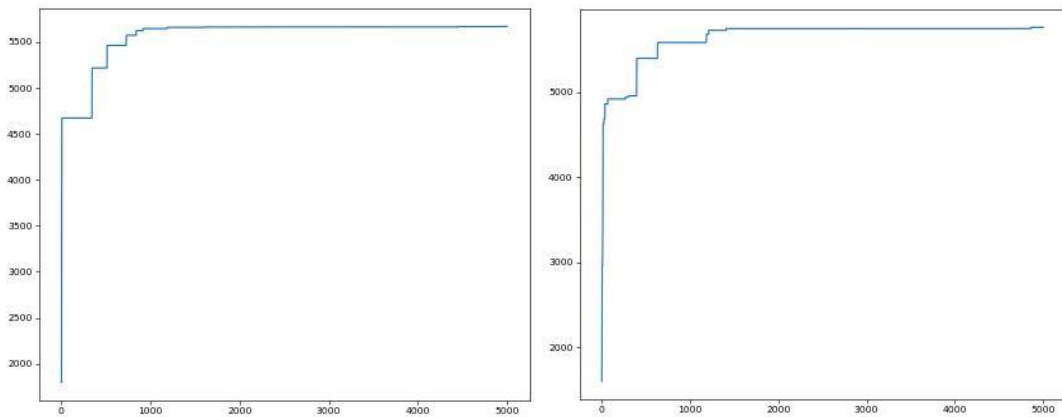
Aynı harp ortamında platform sayılarını biraz daha artırarak yeni bir senaryonun **10 adet dost ve 9 adet düşman özdeş platformun karşılaşması** şeklinde olduğunu düşünelim. Bu durumda madde 7.1.3 ve 7.1.4'de yapılan işlemler tekrarlandığında bu senaryo için en uygun hiperparametre değerlerinin $\alpha=0.95$, $\epsilon=0.95$, $\delta=5000$ şeklinde olduğu tespit edilecektir. Söz konusu hiperparametre

değerleriyle bu senaryo için modelimiz çalıştırıldığında alınan, dost ve düşman kuvvetlerin yineleme sayılarına göre ödül grafikleri aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



Şekil 7.7: a) Dost Yineleme-Ödül Grafiği, b) Düşman Yineleme-Ödül Grafiği.

Yukarıda incelediğimiz senaryoları dost ve düşman platformların tümünün özdeş olduğunu varsayarak değerlendirdik. Fakat platformlar birbirinden farklı özellikte olsalardı da bu durum öğrenilmesi gereken veri miktarını etkilemediğinden hiperparametrelerde herhangi bir değişime gidilmesine gerek olmayacaktır. Bu durumu kanıtlamak maksadıyla bir önceki senaryoyla aynı platform sayılarında olacak şekilde **10 adet dost ve 9 adet düşman birbirinden farklı özelliklere sahip** platformun karşılaşacağı bir senaryoyu inceleyelim. Bu durumda bir önceki senaryo ile aynı hiperparametre değerleri kullanılarak modelimizi çalıştırdığımızda alınan, dost ve düşman kuvvetlerin yineleme sayılarına göre ödül grafikleri aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



Şekil 7.8: a) Dost Yineleme-Ödül Grafiği, b) Düşman Yineleme-Ödül Grafiği.

Şekil 7.8’de de görüldüğü üzere platformların çeşitli özellikleri taşımasının modelin öğrenme performansına etkisi olmamaktadır. Fakat model senaryodaki platform sayıları ve buna mukabil veri miktarı arttıkça öğrenme performansının arttırılmasına dolayısıyla Q-Öğrenme hiperparametrelerinin değerlerinin uygun miktarda artırılmasına ihtiyaç duymaktadır.

Bu kapsamda yukarıda yapılan işlemlere mukabil bu konuda bir özet bilgi ihtiva etmesi açısından artan platform sayılarına göre ihtiyaç duyulacak hiperparametre değerleri aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 7.9: Farklı Senaryolara Göre En Uygun Hiperparametre Değerleri.

Dost Platform Sayısı	Düşman Platform Sayısı	Platform Özellikleri	α	ϵ	δ
2	2	Özdeş	0,8	0,8	100
7	6	Özdeş	0,9	0,9	1000
10	9	Özdeş	0,95	0,95	5000
10	9	Farklı	0,95	0,95	5000

7.2. Farklı Denklemlerle Üretilen Verilerin Sonuçlara Etkisi

Buraya kadar yapılan işlemlerle genel olarak modelimizin doğru sonuçlar ürettiğini ve öğrenme performansının iyi olduğunu kanıtlamaya, bunun yanı sıra senaryolara göre ihtiyaç duyulacak Q-Öğrenme hiperparametrelerinin ne şekilde olabileceğine yönelik deneyler ve gözlemler yapılmıştır.

Bu kısımda ise deney ve gözlemler kapsamındaki son konumuz olarak, sentetik veri üretimi bölümü içerisindeki madde 3.2.3’te değinilen farklı denklemlerin modelin ürettiği mühimmat ihtiyacı sonuçlarına ne şekilde etki ettiği incelenecektir.

Bu kapsamda modelimiz, madde 7.1’de incelediğimiz örnek senaryo, yani 2’şer adet özdeş dost ve düşman platformun karşılaşması senaryosu için denklem 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4 üzerinden üretilen angajman veri tabanlarıyla çalıştırıldığında dost kuvvetin en iyi harekât tarzı için alınan mühimmat ihtiyacı sayıları aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 7.10: Farklı Denklemlerle Üretilen Verilere Göre Alınan Sonuçlar.

Denklemler Numarası	Platform_21		Platform_22	
	Füze Adedi	Füze Adı	Füze Adedi	Füze Adı
3.1	2	CRUISE_1	2	CRUISE_1
3.2	1	SSM_1	1	SSM_1
3.3	1	SSM_1	1	SSM_1
3.4	155	Torpedo_1	155	Torpedo_1

Tablo 7.10’da görüldüğü üzere farklı denklemlerle üretilen sentetik verilerden eğitim yapan model, denklem 3.2 ve denklem 3.3 birbirine yakın denklemler olduğundan benzer sonuçlar vermiş, fakat denklem 3.1 ve 3.4 tamamen farklı denklemler olduklarından sapması oldukça yüksek olan farklı sonuçlar döndürmüşlerdir.

Bu noktada sonuçlara direkt olarak etkide bulunan veri faktörünün önemi ortaya çıkmaktadır.

Ayrıca, çalışmamız veri analizi konusundan ziyade suüstü harbi kapsamında belirlenen bir senaryoya göre tahmin yapan ve en iyi harekât tarzını keşfeden bir modelin geliştirilmesi kapsamındadır. Eğer bu çalışma ile geliştirilen model, gerçek değerlerle çalıştırılmak istenirse daha doğru sonuçların alınabilmesi için öncelikle veri analizi ve veri ön işleme çalışmaları yapılmalı, verideki aykırılıklar temizlenmeli ve veri makine öğrenmesine uygun hale getirilmelidir.

8. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

8.1. Mevcut Yaklaşımlara Göre Örnek Senaryo Sonuçları

Çalışmamızın sonuçlarını mevcut yaklaşımlarla karşılaştırmak ve çalışma ile edindiğimiz kazanımın somut olarak ifade edilmesi maksadıyla, özdeş 2 adet dost platform ve 2 adet düşman platformun bir harekât alanında suüstü harbi kapsamında karşılaştığı, deneyler ve gözlemler bölümünde de bahsedilen, örnek senaryonun bu kısımda da kullanılmasının uygun olacağı kıymetlendirilmektedir. Gayret seviyesi yaklaşımı hariç diğer yaklaşımlarda standardı sağlayarak kıyaslamamanın doğru ve mantıklı olabilmesi bakımından atılması gerekli mühimmat sayılarının hesabında sentetik veri üretimi bölümünde bahsedilen denklem 3.1 ile üretilen verilerden alınan değerler kullanılmıştır.

8.1.1. Gayret Seviyesi Yaklaşımının Sonuçları

Gayret seviyesi yaklaşımı ile örnek senaryoyu modelleyebilmek için öncelikle gayret seviyesi yaklaşımının son derece basit olan matematiksel modelini ortaya koymak gerekmektedir. Bu bağlamda söz konusu model aşağıdaki denklemde sunulmuştur.

$$\sum_{j=\text{Mühimmat Tipi İndisi}}^{i=\text{Dost Platform İndisi}} \text{Harp Süresi} * \text{Dost Platform Mühimmat Lançer Kapasitesi}_{i,j} \quad (8.1)$$

Sonrasında ise modelin ihtiyaç duyduğu lançer kapasitesi miktarlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu değerler genellikle her bir dikey atış sistemine yerleştirilecek miktarlarla ortaya çıkmakta olup, genellikle suüstü harbinde gemilerin her bir dikey atış sistemine 8 adet füze yerleştirilebilmektedir. Gemiye yerleştirilen dikey atış sisteminin sayısına göre ise bu değer tam olarak ortaya çıkmaktadır. Örneğin gemiye bir mühimmat tipi için 4 adet dikey atış sistemi yerleştirilmişse ve her bir sistemde 8 adet füze bulunuyorsa bu geminin söz konusu mühimmat tipi için 32 adet

kapasitesi var demektir. Biz çalışmamızda bu anlamda ne denli bir tasarruf olduğunu göstermek adına örnek senaryomuzdaki dost platformlarımızın her bir mühimmat tipi için 1 adet atıcı sisteme ve dolayısıyla 8 füzelik bir kapasiteye sahip olduğunu varsaydık. Harp süresi ise, 1 kez hesaplama yapmak için, 1 gün olarak kabul edilmiştir.

Tablo 8.1: Gayret Seviyesi Yaklaşımı Mühimmat İhtiyacı Sonuçları.

Platform_21		Platform_22		Maliyet (M\$)
Füze Adedi	Füze Adı	Füze Adedi	Füze Adı	
8	CRUISE_1	8	CRUISE_1	22,4
8	SSM_1	8	SSM_1	16
8	Torpedo_1	8	Torpedo_1	4,8
Toplam Maliyet				43,2
Çalışmamız: 4 adet CRUISE_1				5,6

Tablo 8.1’de de görüldüğü üzere bu yaklaşımda tüm platformların üzerinde bulunan tüm mühimmatların harp süresince kullanılmaları esas alınmaktadır. Bu tip bir yaklaşımda doğru bir planlamaya ulaşabilmek, bir şans eseri gerçekten ihtiyaç duyulacak miktarların bu sayılara uymasıyla mümkün olabilecektir. Askeri planlamalarda ise şansa güvenmek mantıklı bir yaklaşım değildir.

Örneğin örnek senaryomuzda atılması gerekli mühimmat miktarlarının denklem 3.1 üzerinden sentetik olarak üretilen verilerle eğitim yapılarak bulunduğu sonuçları dikkate alalım. Söz konusu durumda senaryomuzda dost platformlarımızın toplam 4 adet CRUISE_1 füzesine sahip olmasının yeterli olacağı ortaya çıkarılmıştı. Bu durumda gayret seviyesi yaklaşımına göre hesaplama yapılsaydı maliyet açısından yaklaşık $(43,2/(4*1,4)=7,71)$ 8 kat zarar edilecekti.

Elbette ki atılması gerekli miktarları ürettiğimiz veriler gerçek değerler olmadıklarından burada bir kıyaslama yapmak pek bir anlam ifade etmeyebilir. Örneğin gerçek verilerle üretilecek bir atılması gereken miktar sonucuna göre gayret seviyesinin ürettiği bu sonuçlar tam örtüşe de bilir. Fakat bu noktada bu yaklaşım, tehdidi analiz ederek bir sonuca ulaşmadığından bize doğru sonuca ulaşacağı konusunda bir garanti vermez.

8.1.2. Olasılıksal Yaklaşımın Sonuçları

Olasılıksal yaklaşım ile örnek senaryoyu modelleyebilmek için örnek senaryodaki dost unsurların muhtemel bir senaryoda üzerlerindeki mühimmatları hangi olasılıklarda kullanacaklarını gösteren sübjektif değerleri ortaya koymak gerekmektedir. Örneğin platform_21 ve platform_22 olarak adlandırdığımız dost platformların üzerlerinde yüklü olan CRUISE_1, SSM_1 ve Torpido_1 olarak adlandırdığımız füzeleri çeşitli olasılıklarda kullandıklarını varsayalım. Varsayım olarak belirlediğimiz bu olasılıklar aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 8.2: Varsayımsal Angajman Olasılıkları.

Varsayım No	CRUISE_1	SSM_1	Torpido_1
1	0,3	0,35	0,35
2	0,4	0,3	0,3
3	0,5	0,25	0,25
4	0,6	0,2	0,2
5	0,7	0,15	0,15

Bu olasılıkları dikkate alarak 5 ayrı varsayıma göre 5 ayrı sonuç, yine atılması gereken miktarların denklem 3.1 vasıtasıyla yapılan makine öğrenmesi tahmin metodu ile bulunan değerler üzerinden analiz edilmiştir. Bu analize göre alınan sonuçlar aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 8.3: Olasılıksal Yaklaşım Mühimmat İhtiyacı Sonuçları.

		CRUISE_1	SSM_1	Torpido_1	Maliyet (M\$)
Varsayım No	1	2	5	12	11,4
	2	2	5	11	11,1
	3	2	4	9	9,5
	4	3	3	7	9,3
	5	3	3	6	9
Çalışmamız		4	0	0	5,6

Tablo 8.3 incelendiğinde, CRUISE_1 füzesine verilen olasılık değeri arttıkça sonucun maliyeti de o kadar azalmaktadır. Eğer CRUISE_1 füzesine verilen olasılık değeri %100, diğer füzelerin olasılık değerleri %0 olarak verilseydi en iyi sonuç bulunacaktı. Bunun nedeni CRUISE_1 füzesine tanımladığımız nitelikler gereği diğer füzelere göre imha gücü ve birim maliyeti bakımından en maliyet etkin mühimmat olmasından kaynaklanmaktadır. Fakat olasılıksal değerlere dayanan bu çözüm yaklaşımı subjektif görüşlere göre girdiler aldığından en iyi çözümü verecek olan olasılık değerlerine belki ulaşacak, belki de ulaşamayacaktı.

Örneğin bu yaklaşım kullanılarak yapılacak bir planlamada eğer olasılık değerleri 1 no'lu varsayımdaki gibi verilseydi, toplam 4 adet CRUISE_1 füzisinin yeterli olacağı ortaya çıkarılan örnek senaryomuz için 2 adet CRUISE_1, 5 adet SSM_1 ve 12 adet Torpido_1 füzelerine ihtiyaç olacağı hesaplanacaktı. Bu durumda maliyet, gerçekten ihtiyaç duyulan maliyetin iki katına çıkacak ve zarar edilecekti.

Bu yaklaşımda da elbette ki silah kullanım olasılıkları olarak verilecek değerler gerçekten ihtiyaç duyulacak değerlerle örtüşebilir. Örneğin bahsettiğimiz senaryo için subjektif olarak verilen değerlerin %100 CRUISE_1 füzisinin kullanımına yönelik verilmesi ihtimali de vardır. Fakat bu durum, verilen bu değerlerin gerçekten ihtiyaç duyulacak sayılarla örtüşmesinin şansa bağlı olduğu gerçeğini değiştirmeyecektir. Yukarıda da bahsedildiği gibi askeri planlamaları şansa bırakmak, ülke güvenliği üzerinde kumar oynamak gibi olacağından, böyle bir yaklaşımın askeri planlamalarda mantıklı olmayacağı değerlendirilmektedir.

8.2. Çalışmamızın Kazanımları

Yukarıda bahsettiğimiz mevcut yöntemlerle çalışmamız kapsamında geliştirdiğimiz yöntemi kıyaslayacak olursak, geliştirdiğimiz yapay zekâ ve doğrusal programlama destekli modelin daha maliyet etkin sonuçları üretmek konusunda daha güvenilir olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Bununla birlikte, geliştirdiğimiz modelin 3'üncü aşamasındaki pekiştirmeli öğrenme ile en iyi harekât tarzının keşfedilmesi yani en iyi angajman eşleşmesinin ortaya çıkarılması sayesinde (otonom davranabilme) en iyi harekât tarzını öğrenip uygulatabilecek bir yapay zekâ yazılımının geliştirilmesi ve farklı harekât tarzlarına göre duyarlılık analizleri yapılabilmesi çalışmamızın bir diğer kazanımıdır.

8.3. Değerlendirmeler

Bu çalışmada suüstü harbinin yapay zekâ yöntemlerinden faydalanılarak simüle edilmesi ve alınan sonuçların analiz edilmesi amaçlanmıştır. Yukarıda yapılan deneyler ve gözlemlerle çalışmanın gerçekçi sonuçlar ürettiği ve yukarıdaki açıklamalarla mevcut yaklaşımlara göre daha güvenilir olduğu ortaya konulmuştur.

Bu sebeple çalışmada geliştirilen model sayesinde savunma sektöründeki planlamaların daha gerçekçi ve güvenilir şekilde yapılabilmesinin sağlanabileceği değerlendirilmektedir.

Ayrıca modelin veriye dayalı karar destek anlamında geliştirilen bir çalışma olmasından hareketle, verilerin ne kadar titizlikle (özenle) ve doğruluğuna dikkat edilerek toplandığı çalışmanın sonuçlarına direkt olarak etki eden bir faktördür. Bu bakımdan geleceğin dünyasında bu ve bunun gibi veriye dayalı karar destek sistemlerinin giderek artacağı öngörüldüğünden veri toplama süreçlerinin titizlikle yürütülmesinin ve bu konuya yüksek önem derecesindeki yönelimin ülkemizin savunma planlama süreçlerinin başarısı ve dolayısıyla bekası açısından gerekli olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Vizyon 2023 Projesi Savunma, Havacılık ve Uzay Paneli (Panel Raporu), TÜBİTAK, Temmuz 2003.
- [2] Global Strategic Trends out to 2045 (2014), İngiltere Savunma Bakanlığı, DCDC Strategic Trends Programme, Ağustos 2014.
- [3] MEVLÜTOĞLU, A., Modelleme ve Simülasyon Teknolojilerinin Tedarik Süreç Yönetiminde Kullanılması ve Simülasyon Tabanlı Tedarik Yöntemi, Savunma Sanayii Gündemi Dergisi, 2010.
- [4] Web 1, (2022), <https://t.ly/PnUF>, (havelan/Advent), (Erişim Tarihi: 15/06/2022).
- [5] Surface Warfare: The Competitive Edge, US Navy Mil, 2022.
- [6] Web 2, (2022), <https://t.ly/IujT>, (sonar2050.org), (Erişim Tarihi: 18/06/2022).
- [7] Web 3, (2022), <https://t.ly/pMmT>, (seaforces.org), (Erişim Tarihi: 18/06/2022).
- [8] Web 4, (2022), <https://t.ly/Ja5U>, (pbs.twimg.com), (Erişim Tarihi: 18/06/2022).
- [9] Web 5, (2022), <https://t.ly/H1P>, (defence-ua.com), (Erişim Tarihi: 18/06/2022).
- [10] Web 6, (2022), <https://t.ly/7APe>, (upload.wikimedia.org), (Erişim Tarihi: 18/06/2022).
- [11] Web 7, (2022), <https://t.ly/dyH4>, (seaforces.org), (Erişim Tarihi: 18/06/2022).

- [12] Web 8, (2022), <https://t.ly/MjLI>, (pbs.twimg.com), (Erişim Tarihi: 18/06/2022).
- [13] Web 9, (2022), <https://t.ly/8A4I> (wikipedia/CIWS), <https://t.ly/Voxp> (wikipedia/ESSM), <https://t.ly/GJTz> (wikipedia/Aster-30), <https://t.ly/Wi83> (wikipedia/rüzgar), <https://t.ly/KFKJ> (wikipedia/bağıl nem), <https://t.ly/J6FC> (wikipedia/deniz durumu) (Erişim Tarihi: 18/06/2022).
- [14] Jamal Khamis El-Mahelawi, Jinan Usama Abu-Daqah, Rasha Ibrahim Abu-Latifa, Bassem S. Abu-Nasser & Samy S. Abu-Naser, (2020). Tumor Classification Using Artificial Neural Networks. International Journal of Academic Engineering Research (IJAER) 4 (11):8-15.
- [15] Xiangjun Wang, Junxiao Song, Penghui Qi, Peng Peng, Zhenkun Tang, Wei Zhang, Weimin Li, Xiongjun Pi, Jujie He, Chao Gao, Haitao Long, Quan Yuan, (2021). SCC: an efficient deep reinforcement learning agent mastering the game of StarCraft II. Proceedings of.
- [16] Abhishek Badki, Alejandro Troccoli, Kihwan Kim, Jan Kautz, Pradeep Sen, Orazio Gallo, (2020). Bi3D: Stereo Depth Estimation via Binary Classifications. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2020, pp. 160.
- [17] H. Zhu, Yonglin Lei, and Yifan ZhU, (2020). Model-Driven Combat Effectiveness Simulation Systems Engineering. Defence Science Journal, Vol. 70, No. 1, January 2020, pp. 54-59, DOI: 10.14429/dsj.70.12777.
- [18] Awni Ahmed Al-Mobayed, Youssef Mahmoud Al-Madhoun, Mohammed Nasser Al-Shuwaikh & Samy S. Abu-Naser, (2020). Artificial Neural Network for Predicting Car Performance Using JNN. International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS) 4 (9):139.

- [19] Alex Smola and S.V.N. Vishwanathan, Introduction to Machine Learning, October 2010, Cambridge University Press.
- [20] Richard S. Sutton and Andrew G. Barto, Reinforcement Learning: An Introduction, The MIT Press, 2015.
- [21] Weiren Kong & Deyun Zhou & Zhen Yang & Kai Zhang and Lina Zen (2020). Maneuver Strategy Generation of UCAV for within Visual Range Air Combat Based on Multi-Agent Reinforcement Learning and Target Position Prediction. Appl. Sci.2020, 10, 5198; doi:10.3390.
- [22] Davide Chicco, Matthijs J. Warrens and Giuseppe Jurman, The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation, Peer J Computer Science Journal, 5 July 2021, DOI 10.7717/peerj-c.
- [23] Crescenzo Gallo, Artificial Neural Networks Tutorial, Department of Clinical and Experimental Medicine, University of Foggia, 2015.
- [24] Hamdy A.Taha, Operations Research An Introduction, University of Arkansas, Pearson, Pearson Education Limited, 2017.
- [25] Sema Yılmaz GENÇ ve Hamza KADAH, Oyun Teorisi ve Nash'in Denge Stratejisi, Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Nisan 2018.