



T.C.
FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Fakültesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Lisans Bitirme Projesi

**MS. PAC-MAN OYUNU İÇİN AKILLI
ALGORİTMALAR KULLANILARAK YAZILIM
KONTROLÖRÜ GELİŞTİRİLMESİ**

Hasan GÜLBABA
1621221012

Enes Behlül YENİDÜNYA
1521221048

Bitirme Projesi Danışmanı: Prof. Dr. Ayşe Şima UYAR

İstanbul, Haziran 2020



T.C.
FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Fakültesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Lisans Bitirme Projesi

**MS. PAC-MAN OYUNU İÇİN AKILLI
ALGORİTMALAR KULLANILARAK YAZILIM
KONTROLÖRÜ GELİŞTİRİLMESİ**

Hasan GÜLBABA

1621221012

Enes Behlül YENİDÜNYA

1521221048

Bitirme Projesi Danışmanı: Prof. Dr. Ayşe Şima UYAR

<u>Jüri Üyeleri:</u>	<u>İmza:</u>
Prof. Dr. Ayşe Şima Uyar
Dr. Öğr. Üyesi Berna Kiraz
Öğr. Gör. Musa Aydın

İstanbul, Haziran 2020

ÖNSÖZ

Lisans Bitirme Projesi çalışmamız boyunca bizi destekleyen, projenin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, tecrübesiyle bizi her zaman doğru bir şekilde yönlendiren değerli danışman hocamız Prof. Dr. Ayşe Şima UYAR’a teşekkürü borç biliriz.

Hasan GÜLBABA
Enes Behlül YENİDÜNYA

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Konunun Tanımı.....	1
1.2 Ms. Pac-Man Oyunu	1
1.2.1 Ms. Pac-Man Yarışması	2
1.2.2 Kısmi Algılanabilirlik (Partial Observability)	3
1.2.3 Ms. Pac-Man’ın Harita Görüş Çeşitleri	3
2. PROJE PLANI	4
2.1 Projenin Amacı.....	4
2.2 İş Paketleri.....	4
2.3 Görev Dağılımı.....	4
2.4 Gantt Diagramı.....	5
3. KURAMSAL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI.....	6
3.1 Monte Carlo Ağaç Araması (MCTS)	6
3.2 Ms. Pac-Man Gelişim Süreci ve Kullanılmış Algoritmalar	7
3.3 Hayaletlerin Gelişim Süreci ve Kullanılmış Algoritmalar	8
4. ÇÖZÜMLEME VE TASARIM.....	9
4.1 Ms. Pac-Man Yarışması İçin Sağlanan Sınıflar.....	9
4.1.1 Executor Sınıfı	9
4.1.2 Game Sınıfı	9
4.1.3 MyPacman Sınıfı	9
4.1.4 Hayalet Sınıfları	10
4.2 Hayaletler İçin Oyun İç Mesajlaşma.....	10
4.3 Önerilen Yöntem	10
4.3.1 Ms. Pac-Man İçin Kural Tabanlı Yaklaşım	10
4.3.2 Hayaletler İçin Kural Tabanlı Yaklaşım	10
4.4 Ms. Pac-Man İçin Tasarlanan Kontrolörde Kullanılmış Stratejilerin Akış Çizelgeleri	11
4.4.1 Ms. Pac-Man Kontrolörünü İçin Tasarlanmış Genel Akış Çizelgesi	11
4.4.2 Hayaletlerden Kaçmak İçin Tasarlanan Akış Çizelgesi	12
4.4.3 Yenilebilir Hayaletler ile Tehlikeli Hayaletlerin Aynı Anda Görünür Olması Durumu İçin Tasarlanan Akış Çizelgesi	13

4.4.4	Yenilebilir Hayaletlerin Olduğu Durum İçin Tasarlanan Akış Çizelgesi	14
4.5	Hayaletler İçin Tasarlanan Kontrolörde Kullanılmış Stratejilerin Akış Çizelgeleri	15
4.5.1	Hayalet Kontrolörü İçin Tasarlanan Genel Akış Çizelgesi	15
4.5.2	Hayaletlerin Güç Haplarını Koruma ve Second Guardian Stratejisi	15
4.5.3	Hayaletlerin Güç Hapları Bittikten Sonraki Normal Hapları Koruma Stratejisi	16
4.5.4	Hayaletlerin Ms. Pac-Man'i Görebildiği Durumlarda Kovalama ve Birbirleri ile Mesajlaşma Stratejisi	16
4.5.5	Hayaletlerin Yenilebilir Olduğu Durumdayken Ms. Pac-Man'den Kaçma Stratejisi	17
4.6	Oyun Tarafından Sağlanan Hayaletlerin Strateji ve Akış Çizelgeleri	18
4.6.1	StarterGhost Hayalet Takımı İçin Hazırlanmış Akış Çizelgesi.....	18
4.6.2	StarterGhostComm Hayalet Takımı İçin Hazırlanmış Akış Çizelgesi	19
4.7	Hayaletler İçin Oluşturulan Stratejilerde Karşılaşılan Zorluklar	20
5.	GERÇEKLEME VE TEST	21
5.1	Ms. Pac-Man İçin Tasarlanan Kontrolör İçin Oluşturulan Stratejiler	21
5.1.1	Hayaletlerden Kaçış Stratejisi.....	21
5.1.2	Ms. Pac-Man'in Yenilebilir Durumdaki Hayaletleri Kovalaması.	22
5.1.3	Görünürde Hap Yoksa Daha Önce Gidilmemiş Bir Konuma Gitme Stratejisi	23
5.1.4	Görünürde Yenilebilir Hayaletler ile Tehlikeli Hayaletlerin Olması Durumunda Kaçışa Ya Da Yakalamaya Karar Verme Stratejisi.....	23
5.2	Hayaletler İçin Tasarlanan Kontrolör İçin Oluşturulan Stratejiler	24
5.2.1	Güç Haplarını Koruma Stratejisi	24
5.2.2	Hayaletlerin Ms. Pac-Man'i Kovalama Stratejisi	24
5.2.3	Güç Haplarının Korunmasında Second Guardian Stratejisi	25
5.2.4	Ms. Pac-Man'den Kaçma Stratejisi	26
5.2.5	Tüm Güç Hapları Bittikten Sonra Normal Hapların Koruma Stratejisi	27
6.	DENEYLER VE HESAPLAMALAR	29
6.1	Ms. Pac-Man'in Farklı Özellikteki Hayaletler Karşısında Aldığı Sonuçlar	29
6.1.1	StarterGhost Karşısında Alınan Sonuçlar	29
6.1.2	StarterGhostComm Karşısında Alınan Sonuçlar	31

6.2 Ms. Pac-Man İçin Tasarlanan Kontrolörün Farklı Kontrolörlerle Karşılaştırılması	33
6.3 Ms. Pac-Man Vs Ghost Team Yarışmasında Hayalet Takımlarının Geçmişte Almış Olduğu Skorlar	35
6.4 Geliştirdiğimiz Hayaletlerin Farklı Özellikteki Pacman'lere Karşı Aldığı Sonuçlar.....	35
6.4.1 Geliştirdiğimiz Hayaletlerin StarterPacman'e Karşı Aldığı Sonuçlar	35
6.4.2 Geliştirdiğimiz Hayaletlerin Geliştirdiğimiz Ms. Pac-Man'a Karşı Aldığı Sonuçlar	37
6.5 StarterPacMan'ın Farklı Özellikteki Hayaletlere Karşı Aldığı Sonuçlar	38
6.5.1 StarterGhost'a Karşı Aldığı Sonuçlar	38
6.5.2 StarterGhostComm'a Karşı Aldığı Sonuçlar	39
6.6 Hayaletler İçin Tasarlanan Kontrolörün Farklı Kontrolörlerle Karşılaştırılması	40
7. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	41
8. KAYNAKÇA.....	42

Şekil Listesi

Şekil 1 Ms. Pac-Man Oyunu	2
Şekil 2 PO görüş limiti türleri	3
Şekil 3 Gantt Diagramı	5
Şekil 4 Monte Carlo Ağaç Araması Ağaç Yapısı	6
Şekil 5 Monte Carlo Arama Ağacı Algoritması	7
Şekil 6 Gelişmiş Sinir Ağları.....	7
Şekil 7 Arama Ağacı Algoritması.....	8
Şekil 8 Karınca kolonisi	8
Şekil 9 Ms. Pac-Man Kontrolörünü İçin Tasarlanmış Genel Akış Çizelgesi	11
Şekil 10 Hayaletlerden kaçış için tasarlanmış akış diyagramı	12
Şekil 11 Yenilebilir ile tehlikeli hayaletlerin görüş açısında olması durumu için tasarlanan akış çizelgesi	13
Şekil 12 Yenilebilir hayaletler için tasarlanmış akış çizelgesi	14
Şekil 13 Hayaletler için tasarlanan genel akış çizelgesi.....	15
Şekil 14 Hayaletlerin güç haplarını koruma ve second guardian stratejisi	16
Şekil 15 Hayaletlerin güç hapları bittikten sonraki normal hapları koruma stratejisi	16
Şekil 16 Hayaletlerin Ms. Pac-Man'i görebildiği durumlarda kovalama ve birbirleri ile mesajlaşma stratejisi.....	17
Şekil 17 Hayaletlerin yenilebilir olduğu durumdayken Ms. Pac-Man'den kaçma stratejisi	18
Şekil 18 StarterGhost akış çizelgesi.....	19
Şekil 19 StarterGhostComm akış çizelgesi	20
Şekil 20 Etrafı sarılı Ms. Pac-Man'in davranışları	21
Şekil 21 Tehlikeli hayaletten kaçarken güç hapına yönelme davranışı.....	22
Şekil 22 Güç haplarının tükenmesi durumunda hayaletten kaçılırken haplara yönelinmesi	22
Şekil 23 Ms. Pac-Man'in en yakındaki yenilebilir hayalete yönelme davranışları	23
Şekil 24 Yenilebilir hayaletler ile tehlikeli hayaletlere karşı davranış	23
Şekil 25 Güç haplarını koruma stratejisi	24
Şekil 26 Hayaletlerin Ms. Pac-Man'i kovalama stratejisi.....	25
Şekil 27 Güç haplarının korunmasında <i>second guardian stratejisi</i>	26
Şekil 28 Ms. Pac-Man'den kaçma stratejisi.....	27
Şekil 29 Normal hapların koruma stratejisi.....	28
Şekil 30 StarterGhost'a karşı alınan en yüksek puan.....	30

Şekil 31 StarterGhostsComm’a karşı alınan en yüksek puan	32
Şekil 32 10 ve 100 deneme sonucunda ulaşılan en düşük skorlar	36
Şekil 33 Tasarladığımız hayaletlerin StarterPacman’e karşı en başarılı skoru	37
Şekil 34 10 ve 100 oyun sonucu aldıkları en düşük skor	38
Şekil 35 10 ve 100 tekrar sonucu ulaştıkları en düşük skor	39

Tablo Listesi

Tablo 1 İş paketleri.....	4
Tablo 2 Mesaj türleri	10
Tablo 3 StarterGhost'a karşı oynanan 1000 oyundan alınan sonuçlar	29
Tablo 4 StarterGhost'a karşı oynanan 10 oyundan alınan sonuçlar	31
Tablo 5 StarterGhostsComm'a karşı oynanan 1000 oyundan alınan sonuçlar	32
Tablo 6 StarterGhostsComm'a karşı oynanan 10 oyundan alınan sonuçlar	33
Tablo 7 CIG 2017 yarışmasında ilk 10'a girenlerin aldığı sonuçlar	34
Tablo 8 CIG 2018 yarışmasında tüm katılımcıların aldığı sonuçlar	34
Tablo 9 CIG 2017'e ait skor tablosu.....	35
Tablo 10 CIG 2018'e ait skor tablosu.....	35
Tablo 11 Geliştirdiğimiz hayaletlerin StarterPacman karşısındaki sonuçları	36
Tablo 13 Tasarlanan hayaletlerin tasarlanan Ms. Pac-Man'e karşı aldığı sonuçlar	37
Tablo 14 StarterGhost ve StarterPacman'in 10, 100 ve 1000 oyunluk sonuçları.....	38
Tablo 15 StarterGhostComm ve StarterPacman'in 10, 100 ve 1000 oyunluk sonuçları	39
Tablo 16 Hayaletler veri karşılaştırma grafiği- 1000 tekrar.....	40

MS. PAC-MAN OYUNU İÇİN AKILLI ALGORİTMALAR KULLANILARAK YAZILIM KONTROLÖRÜ GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Geçmişten günümüze tüm canlılar amaçlarını gerçekleştirebilmek için çeşitli algoritmalar kullanmışlardır. Zamanın ilerlemesiyle de yeni araç gereçler kullanarak bu amaçlarını daha kolay gerçekleştirebilir hale gelmişlerdir. Karmaşık problemleri çözebilen bilgisayarlar yaygınlaşmıştır. Biyolojik ve doğal zekanın modellenmesiyle büyük başarılar elde edilmiştir ve gelişmeler akıllı sistemler olarak adlandırılmıştır.

Akıllı algoritmaların farklı kullanım alanları vardır, bu alanlardan birisi de bilgisayar oyunlarıdır. Son yıllarda üretilen oyunların grafik, animasyon ve ses özelliklerindeki ilerlemelere rağmen birçok bilgisayar oyununun temel işleyiş mantığı birbirine benzemektedir. Akıllı algoritmalar sayesinde bu tekdüzelikten kurtulabilir ve oyun içinde kullanıcıya ya da bilgisayara karşı kendi kendine kararlar alabilecek yazılım kontrolörleri tasarlanabilir.

Akıllı algoritma tekniklerinin uygulandığı en ünlü oyunlardan bir tanesi de Ms. Pac-Man'dir. 1980'lerde popüler olan Ms. Pac-Man, akıllı algoritmalar yardımı ile kendi kendini yönetebilecek ve oyun içinde karar alabilecek kontrolörler aracılığıyla geliştirilebilir. Ayrıca bu tür kontrolörler için uluslararası yarışmalar düzenlenmektedir.

Bu projede 1982 yılında çıkmış olan Ms. Pac-Man oyununa "Ms. Pac-Man Vs. Ghosts Leauge" yarışması tarafından sağlanan arayüz kullanılarak Ms. Pac-Man'i ve hayaletleri kendi kendine yönetecek yazılım kontrolörü tasarlanmıştır. İki adet kontrolörlerden biri Ms. Pac-Man'i yüksek puan alması ve hayaletlere karşı iyi bir oyun ortaya koyması amacıyla tasarlanmışken, diğeri hayaletlerin Ms. Pac-Man'e olabildiğince düşük puan aldırma amacıyla tasarlanmıştır.

Ms. Pac-Man ve hayaletler için harita kısmi gözlemlenebilir durumdadır. Oyuncular yalnızca görüş açıları içindeki noktaları görmekte, geri kalan alanlar hakkındaki bilgiye erişememektedir.

Tasarlanan kontrolörler belli bir an içinde bir sonraki adıma karar verebilmek için 40 ms süreye sahiptir. 40 ms süre içinde kontrolörler oyuncunun gideceği yöne karar vermelidir.

Ms. Pac-Man ve hayaletler için planlanan stratejiler, koda dökülmüş ve oyun tarafından sağlanan farklı özellikteki pacman ve hayaletlere karşı yarıştırlarak kayda değer sonuçlar elde edilmiştir.

Kontrolörler kural tabanlı sistem olacak şekilde tasarlanmış ve geliştirilirken birçok olasılık hesaba katılmıştır. Etrafı sarılı Ms. Pac-Man'in hayaletler arasında uygun bir dönemeç noktası bulup yönelmesi, bir hayaletin Ms. Pac-Man'i görüp diğerlerine konumunu bildirmesi bu stratejiler arasında yer almaktadır.

Kontrolörlerde kullandığımız algoritmalar 40 ms'den daha kısa sürede çalışmaktadır ve oyunda herhangi bir yavaşlamaya neden olmamaktadır.

DEVELOPING SOFTWARE CONTROLLER BY USING SMART ALGORITHMS FOR MS. PAC-MAN

SUMMARY

All living things from the past to the present have used various algorithms to accomplish their goals. With the progress of time, they have become able to achieve these goals more easily by using new tools.

Computers that can solve complex problems have become widespread. great successes have been achieved with the modeling of biological and natural intelligence, and these advances have been called Intelligent Systems.

Intelligent algorithms have different uses, one of which is computer games. Despite advances in the graphics, animation and sound features of games produced in recent years, the basic logic of many computer games is similar.

Thanks to smart algorithms, this uniformity can be avoided and software controllers that can make self-decisions against the user or computer can be designed within the game.

Ms. Pac-Man is one of the most famous games where intelligent algorithm techniques are applied.

Ms. Pac-Man which was popular in the 1980s, can be developed through controllers that can manage themselves and make decisions within the game with the help of smart algorithms. In addition, international competitions are organized for such controllers.

The map is partially observable for Ms. Pac-Man and ghosts. Players only see points within their viewing angles and cannot access information about the remaining areas.

Strategies planned for pacman and ghosts have been put into code and competed against pacman and ghosts with different features provided by the game, achieving remarkable results.

Controllers are designed to be a rule-based system.

1. GİRİŞ

1.1 Konunun Tanımı

Tarihin başlangıcından beri canlılar o anki amaçlarını gerçekleştirebilmek için çeşitli algoritmalar kullanmışlardır. Teknolojinin gelişmesiyle de birçok araç gereç kullanarak bu amaçlarını daha kolay gerçekleştirebilir hale gelmişlerdir. Artan karmaşık problemlerimizi çözdürdüğümüz bilgisayarlar hayatımızın önemli bir parçası haline gelmiştir. Biyolojik ve doğal zekanın modellenmesiyle büyük başarılar elde edilmiştir ve gelişmeler akıllı sistemler olarak adlandırılmıştır.

Akıllı algoritmaların farklı kullanım alanları vardır, bu alanlardan birisi de bilgisayar oyunlarıdır. Son yıllarda üretilen oyunların grafik, animasyon ve ses özelliklerindeki ilerlemelere rağmen birçok bilgisayar oyununun temel işleyiş mantığı birbirine benzemektedir. Ancak akıllı algoritmalar sayesinde bu tekdüzelikten kurtulabilir ve oyun içinde kullanıcıya ya da bilgisayara karşı kendi kendine kararlar alabilecek yazılım kontrolörü tasarlanabilir.

Akıllı algoritma tekniklerinin uygulandığı en ünlü oyunlardan bir tanesi de Ms. Pac-Man'dir. Ms. Pac-Man bu kontrolörler sayesinde kullanıcı müdahalesi olmadan hapları yiyerek ve hayaletlerden kaçarak hayatta kalabilir ve yüksek puanlara ulaşabilir.

1.2 Ms. Pac-Man Oyunu

Ms. Pac-Man, General Computer Corporation tarafından geliştirilmiş olup 1982 yılında Midway tarafından yayınlanmış bir oyundur. 1980 yılında Namco tarafından ilk defa geliştirilen Pacman'ın değiştirilmiş halidir.

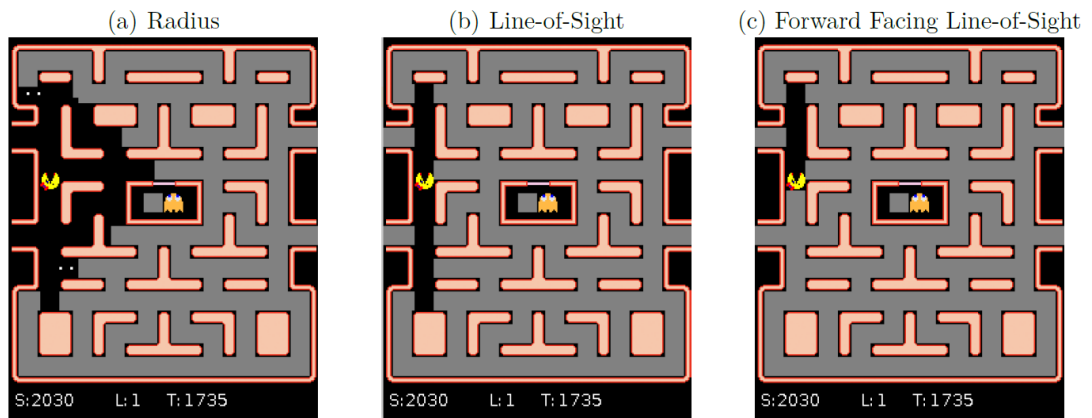
Yarışmada yalnızca Java dili kullanılmalı, performans artırım amacıyla izlek(thread) kullanılmamalıdır. Ayrıca Ms. Pac-Man'ın ve 4 adet hayaletin bir sonraki hamlesi için 40ms süreleri vardır. Bu sürenin tamamını Ms. Pac-Man tek başına kullanabilecekken, hayaletler kendi aralarında paylaşırlar.

1.2.2 Kısmi Algılanabilirlik (Partial Observability)

Kullandığımız platformun bir özelliği de kısmi algılanabilir (PO) olmasıdır. PO, kontrolörün oyunu yalnızca Ms. Pac-Man'ın görüş alanı ile kısıtlı olarak yönetmesi durumudur. Bu durumda kontrolöre giden bilgiler yalnızca o anda oyuncunun görebildiklerinden ibarettir. Örneğin hayaletlerden herhangi birinin konum bilgisi, oyuncu eğer o hayaleti görmekteyse kontrolöre iletilir, ya da oyuncunun görüş alanı dışındaki bir hapın yenilip yenilmediği bilgisine erişilemez.

1.2.3 Ms. Pac-Man'ın Harita Görüş Çeşitleri

Ms. Pac-Man motoru, her biri görüş limiti uygulanan üç PO türünü desteklemektedir. Bunlar Şekil 2'de görüldüğü üzere Yarıçap, Çizgi Görüşü(LOS) ve İleri Yönlü Çizgi Görüşü'dür.



Şekil 2 PO görüş limiti türleri

a) Yarıçap temelli PO: Görüş, Manhattan mesafesi veya Öklid mesafesi kullanılarak Ms. Pac-Man çevresindeki bir yarıçapla sınırlandırılabilir.

b) Çizgi Görüşü: Ms. Pac-Man koridorlardaki düz çizgilerde sınırlı bir mesafe görebilir ve duvarlar görüşünü engeller. Köşelerden hiçbir şey görülemez. Yukarı, aşağı, sağ ve sol yönlerini çizgisel bir biçimde aynı anda görebilir.

c) İleri Yönlü Çizgi Görüşü: Bu, Ms. Pac-Man'ın sadece seyahat ettiği yönde gözlemleyebileceği çizgi görüşü üzerinde ek bir kısıtlamadır.

2. PROJE PLANI

2.1 Projenin Amacı

Yapılan yarışmalarda amaç, Ms. Pac-Man için en yüksek puanı toplaması, hayaletler içinse Ms. Pac-Man'ın en az puanla oyunu bitirmesidir.

2.2 İş Paketleri

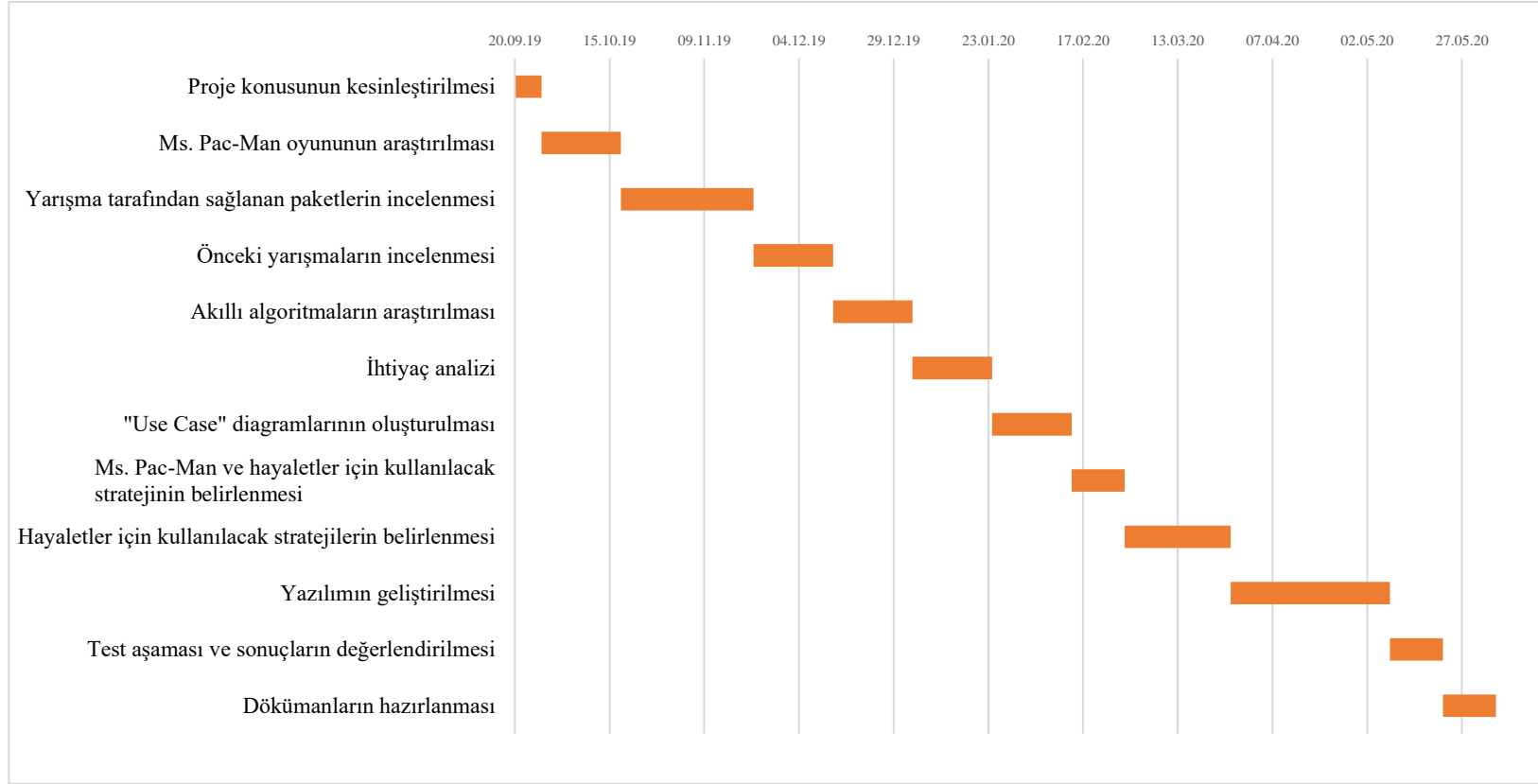
Görev	Başlangıç Tarihi	Süre (Gün)
Proje konusunun kesinleştirilmesi	20.09.19	7
Ms. Pac-Man oyununun araştırılması	27.09.19	21
Yarışma tarafından sağlanan paketlerin incelenmesi	18.10.19	35
Önceki yarışmaların incelenmesi	22.11.19	21
Akıllı algoritmaların araştırılması	13.12.19	21
İhtiyaç analizi	03.01.20	21
"Use Case" çizelgelerinin oluşturulması	24.01.20	21
Ms. Pac-Man için kullanılacak stratejilerin belirlenmesi	14.02.20	14
Hayaletler için kullanılacak stratejilerin belirlenmesi	28.02.20	28
Yazılımın geliştirilmesi	27.03.20	42
Test aşaması ve sonuçların değerlendirilmesi	08.05.20	14
Dökümanların hazırlanması	22.05.20	14

Tablo 1 İş paketleri

2.3 Görev Dağılımı

Projemizi geliştirmeye başlamadan önce Enes Behlül YENİDÜNYA'nın Ms. Pac-Man için, Hasan GÜLBABA'nın hayaletler için kontrolör yazmasına karar verdik.

2.4 Gantt Diagramı



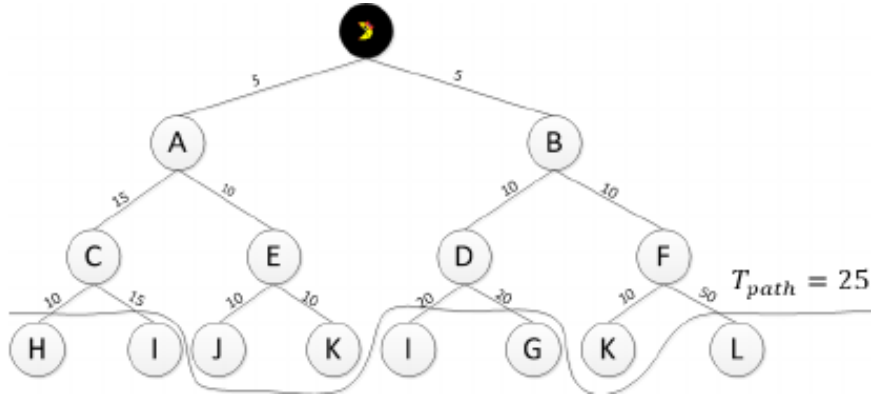
Şekil 3 Gantt Diagramı

3. KURAMSAL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI

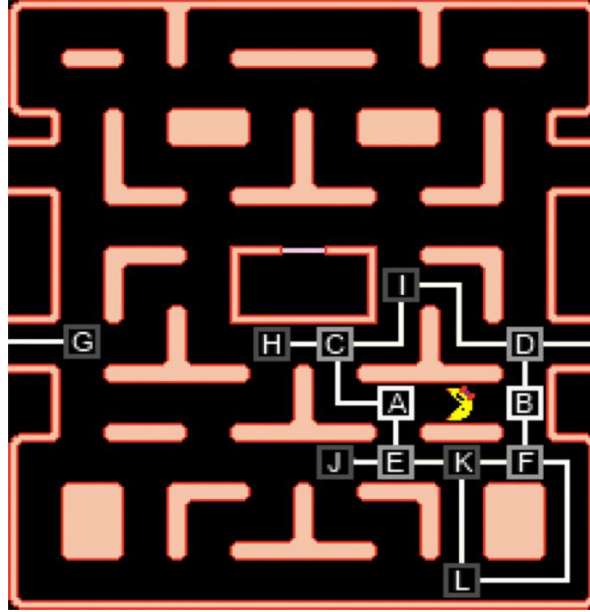
3.1 Monte Carlo Ağaç Araması (MCTS)

Son yıllarda üretilen oyunların grafik, animasyon ve ses özelliklerindeki ilerlemelere rağmen birçok bilgisayar oyununun temel işleyiş mantığının birbirine benzemesi araştırmacıları MCTS gibi farklı oyunlara uygulanabilen algoritmalara yönlendirmektedir.

Monte Carlo Ağaç Araması, bir oyunun anlık durumuna bakarak, bir sonraki duruma götürecek en iyi hamleyi bulmak için belirli sayıda rastgele tahminlerde bulunur.[2] MCTS'nin çalışma şekli, ilk önce bir botun halihazırda sahip olabileceği tüm olası hareketleri görselleştirmektir. Ardından, bu olası hamlelerin her biri için, bir oyuncunun yanıt verebileceği tüm hamleleri analiz eder, daha sonra da tepki olarak yapabileceği tüm olası tepki hamlelerini vb. dikkate alır. [3]



Şekil 4 Monte Carlo Ağaç Araması Ağaç Yapısı

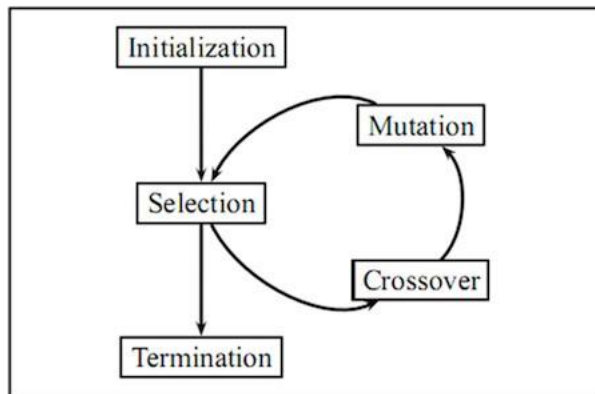


Şekil 5 Monte Carlo Arama Ağacı Algoritması

MCTS kullanan bir bilgisayarın, bir insan bileşenine karşı harekete geçmeden önce geçtiği süreci vurgulamaktadır. Öncelikle sahip olduğu tüm seçeneklere bakıyor, yukarıdaki örnekte bu seçenekler ya savunmak, teknoloji geliştirmek ya da saldırı yapmak. Daha sonra, bundan sonraki her potansiyel hareket için başarı olasılığını öngören bir ağaç oluşturur. Oyuncu bir sonraki hamlesini yaptığında, bilgisayar tekrar ağaç yapım işlemini tekrarlar.

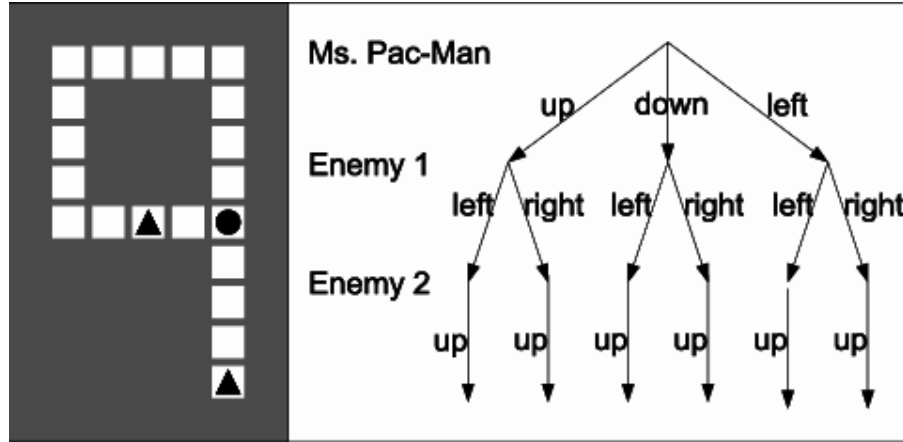
3.2 Ms. Pac-Man Gelişim Süreci ve Kullanılmış Algoritmalar

- Genetik Programlama (Alhejali ve Lucas 2010, 2011, Brandstetter ve Ahmadi 2012),
- Parametrelerin optimizasyonu için Genetik Algoritmalar (Thawonmas 2010),
- Gelişmiş Sinir Ağları (Burrow ve Lucas 2009, Keunhyun ve Sung-Bae 2010),



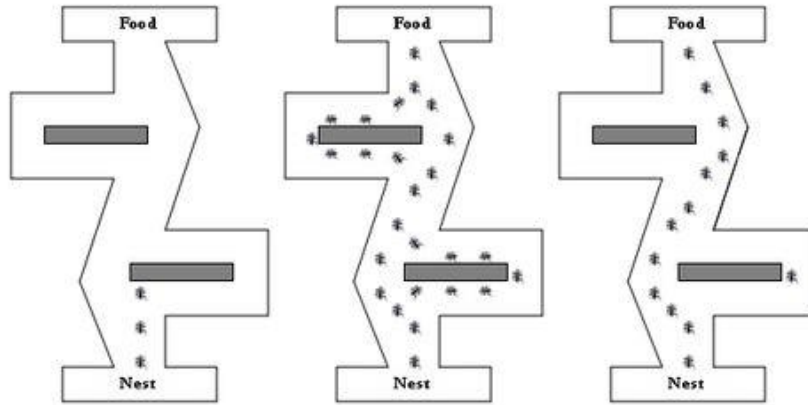
Şekil 6 Gelişmiş Sinir Ağları

- Robles ve Lucas, basit bir **Tree-Search algoritması** kullanarak oyun üzerinde çalışmışlardır.



Şekil 7 Arama Ağacı Algoritması

- **Ant Colonies (Martin ve ark.2010),**



Şekil 8 Karınca kolonisi

- Monte Carlo Ağacı Arama (Samothrakis ve ark.2011, Ikehata ve Ito 2011, Alhejali ve Lucas 2013)

3.3 Hayaletlerin Gelişim Süreci ve Kullanılmış Algoritmalar

- Monte Carlo Ağacı Arama (Nguyen and Thawonmas 2011, 2013),
- Etki Haritaları (Svensson ve Johansson 2012),
- Sinir Ağları (Jia-Yue ve ark.2011),
- Genetik Algoritma + Kuralları (Gagne ve Congdon 2012),
- Bayan Pac-Man ve Ghosts denetleyicilerinin Rekabetçi Birlikte Evrimi (Cardona ve ark. 2013).

4. ÇÖZÜMLEME VE TASARIM

Kontrolör oluşturmada önce yarışma tarafından sağlanan paketi analiz etmek, oyun için gerekli algoritmayı geliştirebilmek adına önem arz etmektedir.

4.1 Ms. Pac-Man Yarışması İçin Sağlanan Sınıflar

Ms. Pac-Man oyunu, Game, Executor, MyPacman (Ms. Pac-Man) ve MASController (Hayaletler) ana sınıflarının ortaklaşa çağrılmasıyla çalışır. Main sınıfı içinde Executor nesnesi oluşturulur ve oluşturulan bu nesneye Ms. Pac-Man ve hayaletlerden oluşan bir kontrolör dizisi parametre olarak verilir.

4.1.1 Executor Sınıfı

Executor sınıfı aracılığıyla bir adet Game nesnesi, hayaletler ve Ms. Pac-Man için kontrolörler oluşturulur. 40 ms aralıklarla sürekli olarak, oyun, Ms. Pac-Man ve hayaletler güncellenir.

4.1.2 Game Sınıfı

Game sınıfı içinde, oyunun oynandığı labirent nesnesi, hayaletler, haplar, hapların yenildiği bilgisi, skor, oyunun bitip bitmediği gibi bilgiler tutulur. Kontrolör yazabilmek gerekli olan tüm bilgiler bu sınıftadır. Sınıfa ait metotlar çağrılarak bu bilgilere erişilir.

4.1.3 MyPacman Sınıfı

MyPacman sınıfı, kontrolörü oluşturduğumuz sınıftır, Ms. Pac-Man'in hareket stratejisi belirlenir. Başlangıçta bu sınıf Ms. Pac-Man'i rastgele hareket ettirecek basit kodlardan oluşur ve yarışmacıların bu sınıfta yaptığı değişikliklerle daha yüksek puan alması beklenir.

Yarışmacı, bu sınıf içindeki getMove metodunu düzenleyerek bir sonraki oyun adımı için Ms. Pac-Man'in hareket etmesi gereken yönü belirler. Bu yönler, yukarı, aşağı, sağ ve sol olacak şekilde 4 adettir. Oyun çalıştığı sürece bir döngü halinde sürekli olarak koşan getMove metodu, her bir oyun adımı için gereken yönü bu şekilde sağlar.

4.1.4 Hayalet Sınıfları

4 adet hayaletin her biri için kendi adları ile oluşturulan sınıflardır. Bu sınıflar hayaletler için kontrolör oluşturmada kullanılır. MyPacman sınıfında olduğu burada da hayaletlerin hareket stratejileri belirlenir.

4.2 Hayaletler İçin Oyun İçi Mesajlaşma

Oyunun PO olmasından dolayı hayaletler birbirleri arasında iletişime ihtiyaç duymaktadır. Ms. Pac-Man'ın görüldüğü son konum, güç hapına olan mesafesi gibi önemli bilgiler hayaletler arası iletilir.

Mesaj tipi	Tanım
Pacman seen	Pacman in görüldüğünü diğer hayaletlere iletme mesajı
I am	Mesajı gönderenin nerede olduğunu bildiren mesaj
I am heading	Mesajı gönderenin nereye gittiğini bildiren mesaj

Tablo 2 Mesaj türleri

4.3 Önerilen Yöntem

Daha önce Ms. Pac-Man için yapılan çözümlere bakıldığında, Kural Tabanlı Sistemler, Monte Carlo Arama Ağacı, Evrimsel Algoritmalar, Yapay Sinir Ağları ve Takviyeli Öğrenme gibi yöntemlerin kullanıldığını görüyoruz. [4]

4.3.1 Ms. Pac-Man İçin Kural Tabanlı Yaklaşım

Projemizi geliştirmeye başladığımızda ilk olarak kural tabanlı bir geliştirme yaptık. Aldığımız sonuçları yarışmada alınan sonuçlarla karşılaştırınca başarılı olduğunu gördük ve proje süremiz boyunca kural tabanlı sistemler kullanarak geliştirmede bulunduk.

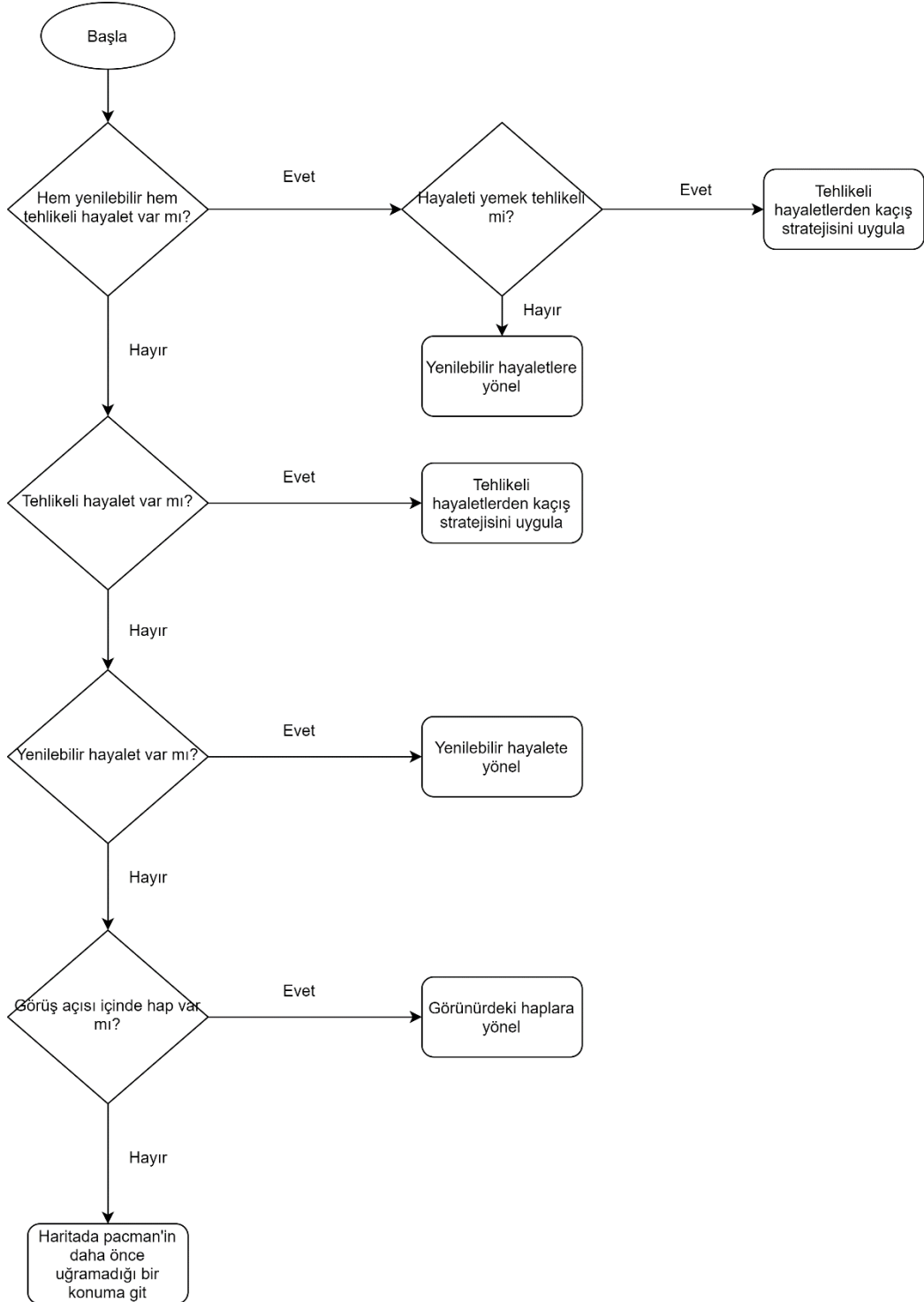
4.3.2 Hayaletler İçin Kural Tabanlı Yaklaşım

Ms. Pac-Man için geçerli olan durum hayaletler için de geçerlidir.

4.4 Ms. Pac-Man İçin Tasarlanan Kontrolörde Kullanılmış Stratejilerin Akış Çizelgeleri

4.4.1 Ms. Pac-Man Kontrolörünü İçin Tasarlanmış Genel Akış Çizelgesi

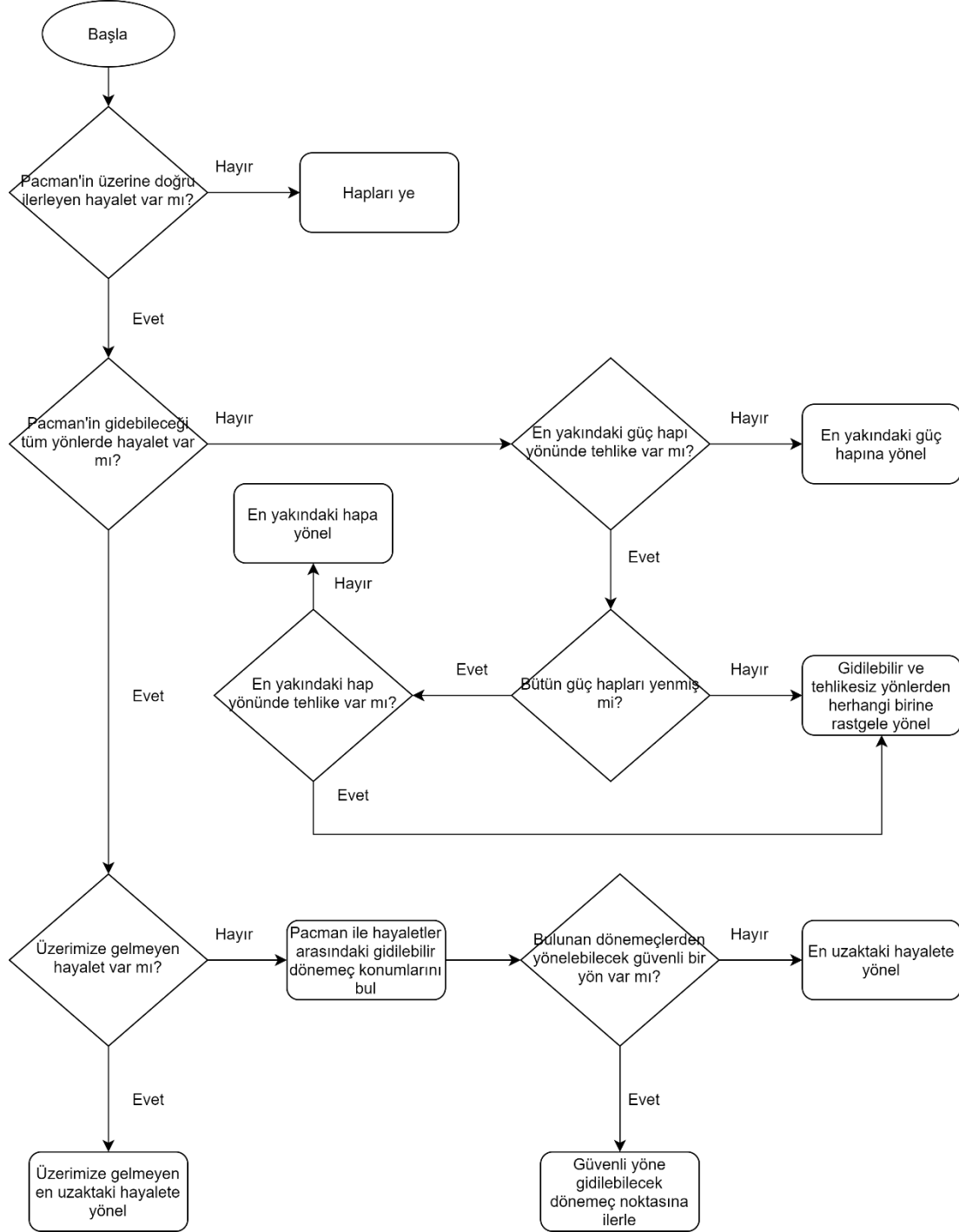
Ms. Pac-Man için tasarlanan kontrolörün genel akış çizelgesi Şekil 9’da görüldüğü gibidir. Ms. Pac-Man, görüş açısı içindeki hayaletleri ve hapları göze alarak döneceği yöne karar verecektir.



Şekil 9 Ms. Pac-Man Kontrolörünü İçin Tasarlanmış Genel Akış Çizelgesi

4.4.2 Hayaletlerden Kaçmak İçin Tasarlanan Akış Çizelgesi

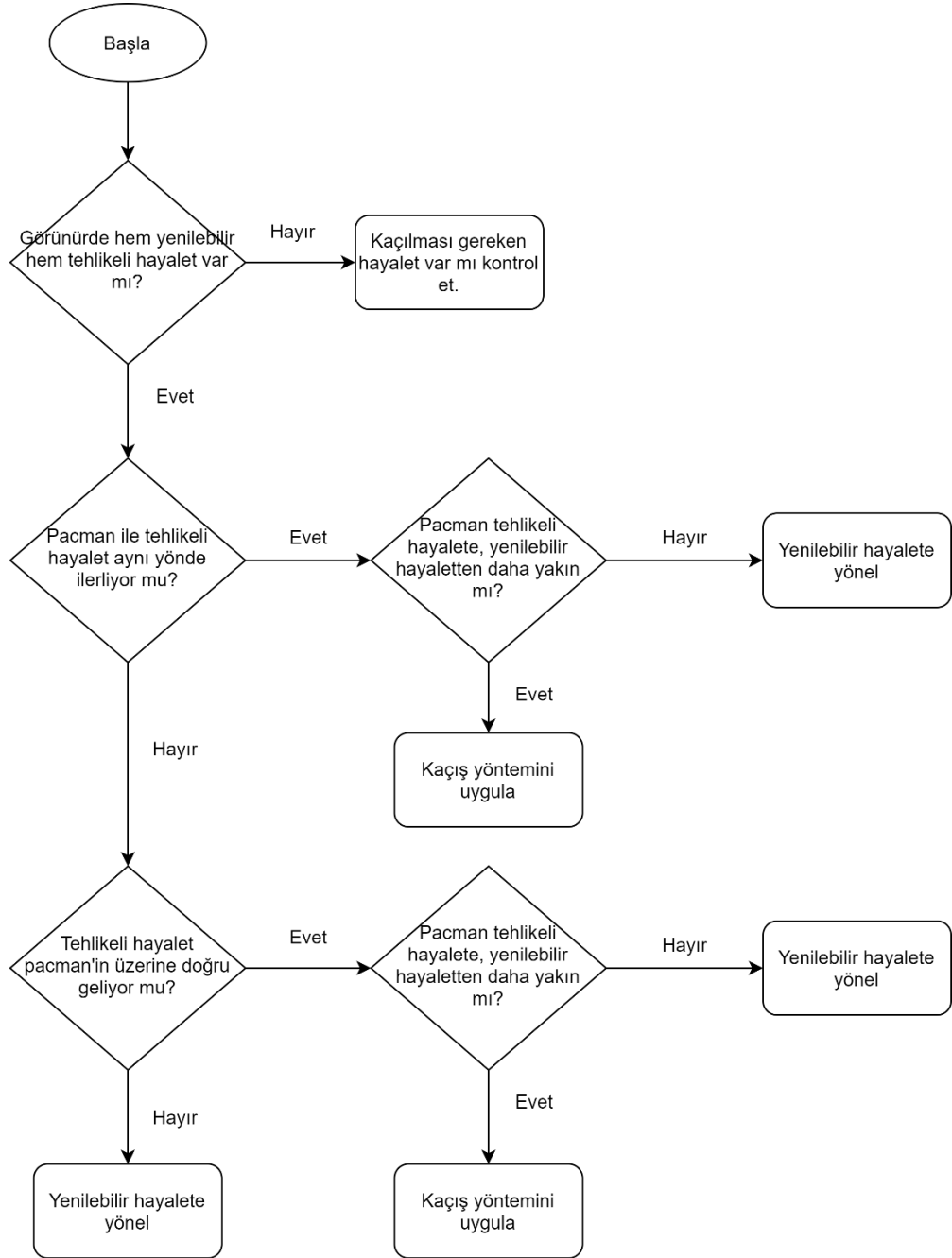
Ms. Pac-Man'ın yüksek puan alabilmesi için hayaletlerden kaçarak can kaybetmemesi gerekmektedir. Kaçış esnasında oluşturulması ve kontrol edilmesi gereken birçok mekanizma vardır. Şekil 10'da hayaletlerden kaçmak için tasarlanan akış çizelgesi yer almaktadır.



Şekil 10 Hayaletlerden kaçış için tasarlanmış akış diyagramı

4.4.3 Yenilebilir Hayaletler ile Tehlikeli Hayaletlerin Aynı Anda Görünür Olması Durumu İçin Tasarlanan Akış Çizelgesi

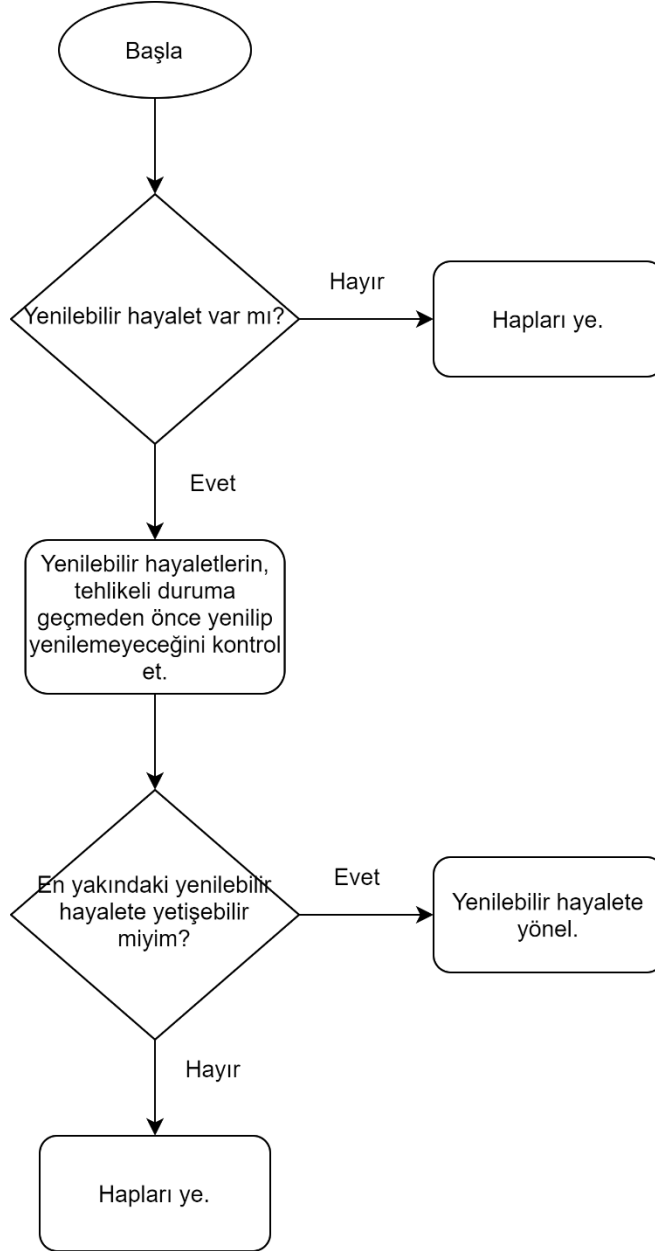
Yenilebilir hayaletler ile tehlikeli hayaletler aynı anda Ms. Pac-Man'ın görüş açısı içinde bulunabilirler. Bu olay gerçekleştiğinde kimi zaman kaçış stratejisi uygulamak, kimi zaman da puan kazanmak için hayaleti yeme stratejisi uygulamak gerekir. Bu durumun akış çizelgesi Şekil 11'de yer almaktadır.



Şekil 11 Yenilebilir ile tehlikeli hayaletlerin görüş açısında olması durumu için tasarlanan akış çizelgesi

4.4.4 Yenilebilir Hayaletlerin Olduğu Durum İçin Tasarlanan Akış Çizelgesi

Ms. Pac-Man'ın yüksek puan alabilmesi için, yenilebilir durumdaki hayaletleri yiyerek puan toplaması gerekmektedir. Bu durum için tasarlanan akış çizelgesi Şekil 12'de gösterilmektedir.

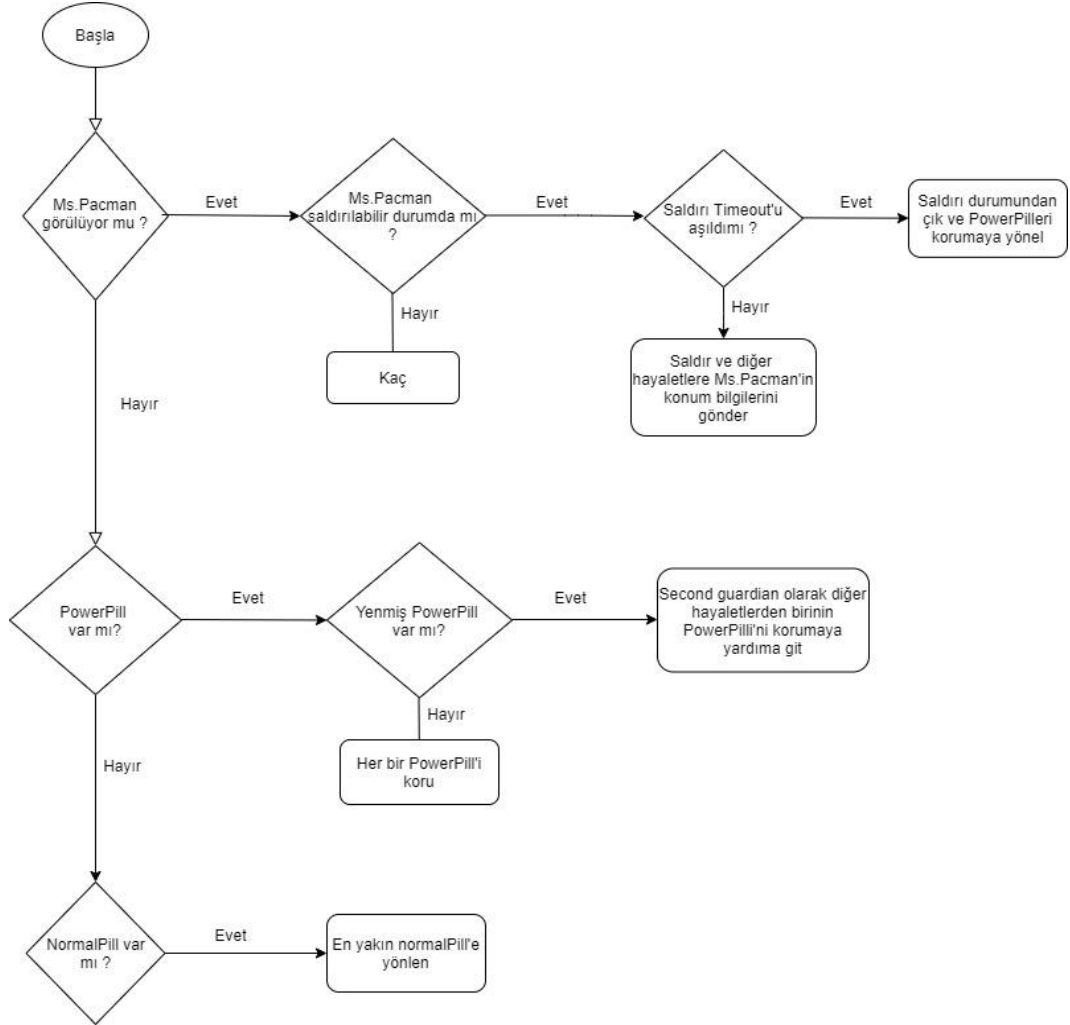


Şekil 12 Yenilebilir hayaletler için tasarlanmış akış çizelgesi

4.5 Hayaletler İçin Tasarlanan Kontrolörde Kullanılmış Stratejilerin Akış Çizelgeleri

4.5.1 Hayalet Kontrolörü İçin Tasarlanan Genel Akış Çizelgesi

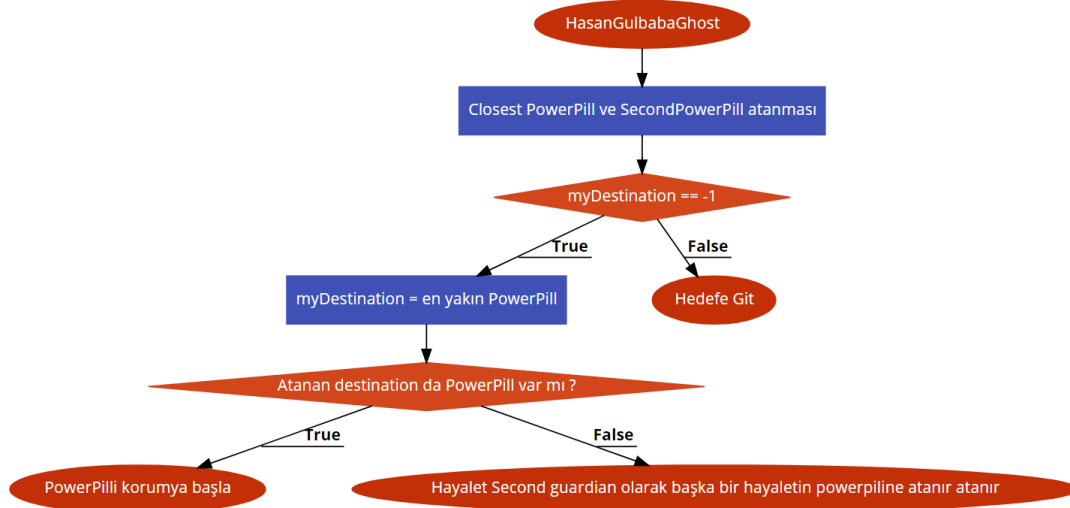
Hayaletler için tasarlanan kontrolörün genel akış çizelgesi Şekil 13'teki gibidir. Hayaletler, görüş açısı içindeki Ms. Pac-Man, güç hapları ve normal hapları göze alarak döneceği uygulayacağı stratejiye karar verir.



Şekil 13 Hayaletler için tasarlanan genel akış çizelgesi

4.5.2 Hayaletlerin Güç Haplarını Koruma ve Second Guardian Stratejisi

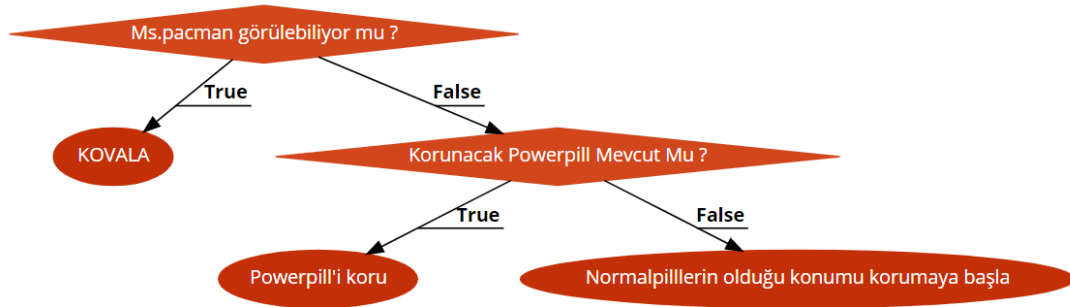
Hayaletlerin temel amacı Ms. Pac-Man'a mümkün olduğu kadar az puan aldırarak olduğu için öncelik olarak güç haplarını koruyarak yüksek puan alması önlenmeye çalışılmıştır. Eğer koruduğu güç hapi yenen bir hayalet var ise o hayalet gidebildiği ilk güç hapi'ne gider ve diğer hayaletler ile başka bir güç hapi'ni korumaya devam eder. Şekil 14 bu durumun akış çizelgesidir.



Şekil 14 Hayaletlerin güç haplarını koruma ve second guardian stratejisi

4.5.3 Hayaletlerin Güç Hapları Bittikten Sonraki Normal Hapları Koruma Stratejisi

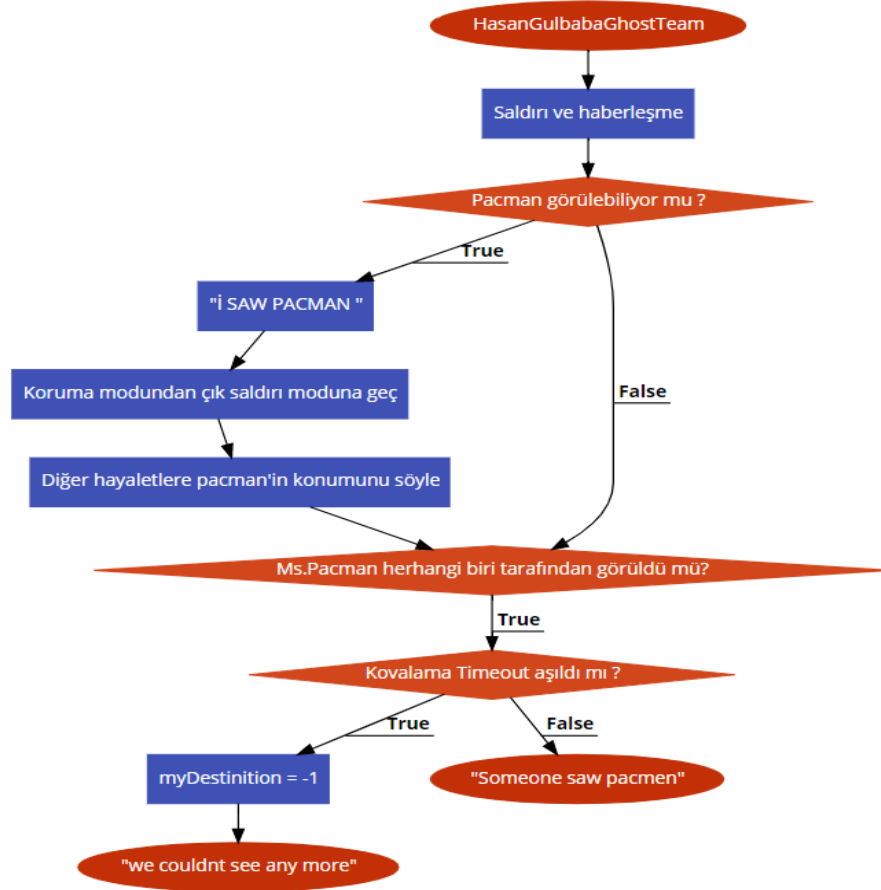
Eğer Ms. Pac-Man tüm güç haplarını yer ise hayaletlerimizin yeni stratejisi korunması gereken en yakındaki normal haplara gider.



Şekil 15 Hayaletlerin güç hapları bittikten sonraki normal hapları koruma stratejisi

4.5.4 Hayaletlerin Ms. Pac-Man'i Görebildiği Durumlarda Kovalama ve Birbirleri ile Mesajlaşma Stratejisi

Eğer hayaletler herhangi bir strateji içerisinde Ms. Pac-Man'i görürse ve Ms. Pac-Man yenilebilir durumda ise hayaletler Ms. Pac-Man'i görebildiği an kovalamaya başlar. Bu işlemi gerçekleştirirken birbirleri ile iletişime geçerek Ms. Pac-Man'i doğru konumunda yakalama stratejisidir.



Şekil 16 Hayaletlerin Ms. Pac-Man'i görebildiği durumlarda kovalama ve birbirleri ile mesajlaşma stratejisi

4.5.5 Hayaletlerin Yenilebilir Olduğu Durumdayken Ms. Pac-Man'den Kaçma Stratejisi

Ms. Pac-Man güç haplarından herhangi birini yemesi durumunda hayaletlerimiz yenilebilir duruma geçer. Bu strateji hayaletlerin Ms. Pac-Man'in bir güç hapı yediği zaman kaçma stratejisidir.



Şekil 17 Hayaletlerin yenilebilir olduğu durumdayken Ms. Pac-Man'den kaçma stratejisi

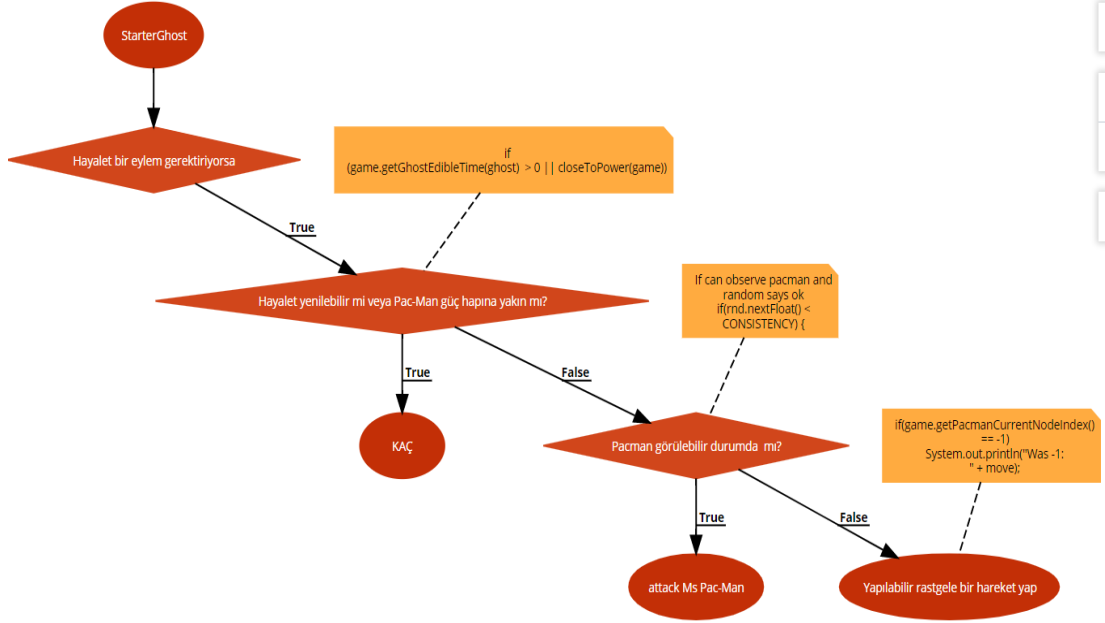
4.6 Oyun Tarafından Sağlanan Hayaletlerin Strateji ve Akış Çizelgeleri

4.6.1 StarterGhost Hayalet Takımı İçin Hazırlanmış Akış Çizelgesi

Ms. Pac-Man oyunu içerisinde yarışmacılara oyun tarafından verilen hayaletlerden ilki starterghost hayalet algoritmasıdır. Bu algoritmanın temel işleyişi şekilde gösterilmiştir.

Sunulan bu algoritma içerisinde hayaletlerin birbirleri arasında bir haberleşme mekanizması yoktur. Algoritma kural tabanlı sistem olarak geliştirilmiştir. Hayaletler bir eylem gerektirdiği zaman ilk olarak hayaletlerin yenilebilir mi ve Ms. Pac-Man'in konum bilgisine bakarak hareketini belirler. Ms. Pac-Man güç hapına yakın ise ve hayaletler yenilebilir durumda ise kaçma modu devreye girer.

Bu şartın sağlanmadığı zamanlarda Ms. Pac-Man'in görülüp görülmediğine göre bir hareket belirlenir. Eğer Ms. Pac-Man görülebilir durumda ise kovalama modu devreye girer aksi durumda rastgele bir hareket seçilir.



Şekil 18 StarterGhost akış çizelgesi

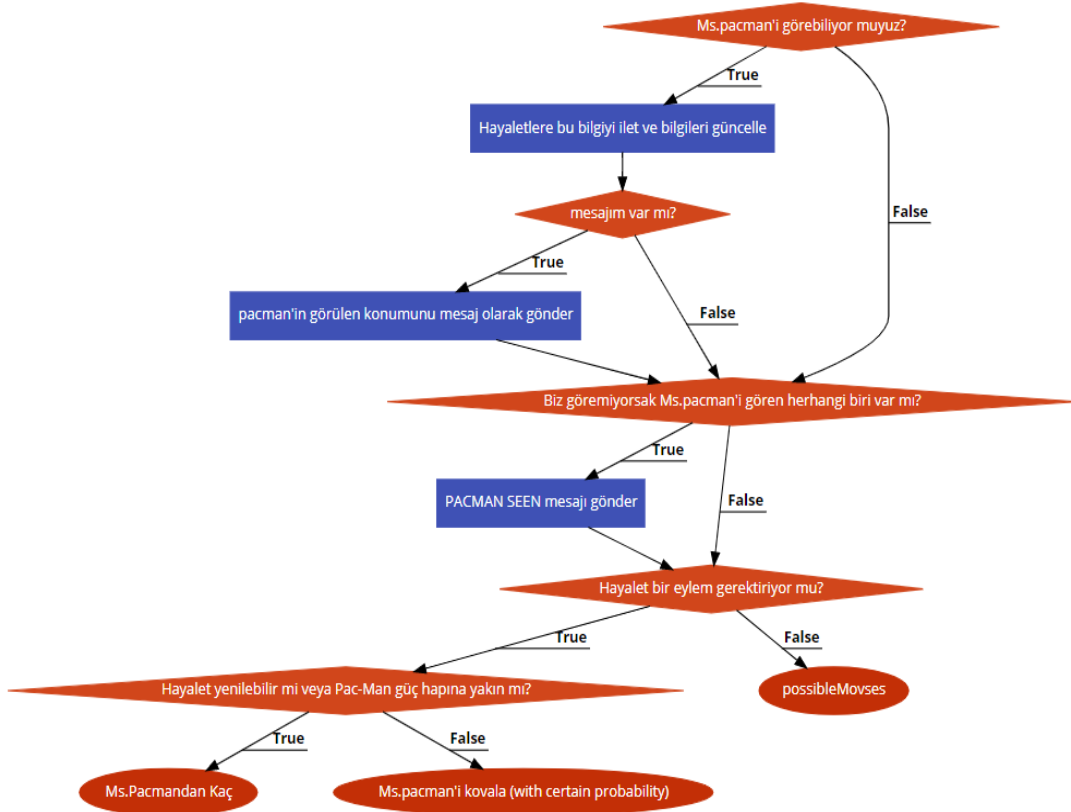
4.6.2 StarterGhostComm Hayalet Takımı İçin Hazırlanmış Akış Çizelgesi

Verilen bu algoritmanın StarterGhost hayalet algoritmasından en önemli farkı hayaletler arası bir iletişim olmasıdır. Algoritmanın temel işleyişi şekilde gösterilmiştir.

Hayaletler ilk olarak Ms. Pac-Man'i görüldü bilgisini aldığı zaman kendi bilgisini günceller ve bu bilgiyi diğer hayaletlere iletir. Ms. Pac-Man oyun içerisinde hayaletler tarafından görüldü zaman diğer hayaletlere "PACMAN SEEN" mesajı gönderilir.

Ms. Pac-Man'in görülemediği durumlarda hayaletler herhangi bir moda uygun değilse mümkün olan hamlelerden birisini yaparak haritada devam eder.

Hayaletler yenilebilir veya Ms. Pac-Man güç hapına yakınsa kaçma stratejisi uygulanır aksi durumda belirli bir olasılık değeri ile kovalama moduna geçilir.



Şekil 19 StarterGhostComm akış çizelgesi

4.7 Hayaletler İçin Oluşturulan Stratejilerde Karşılaşılan Zorluklar

Projemizi yaparken karşılaştığımız en büyük zorluk oyun içinde bize sunulan ortamın kısmi gözlemlenebilir (Partially Observable) olması. Bu ortamda zorlanmamızın sebebi ise oyun içindeki tüm noktaları (haplar, güç haplarının konumları gibi) kısmi gözlemlenebilirlik özelliği nedeniyle göremememizdir.

Hayaletler için karşılaşılan diğer önemli bir zorluk ise her bir hayaletin oyun içinde ayrı kişilikleri vardır ve hayaletler bu kişiliklerine göre hareketler sergilemektedir. Her bir hayaletin oyun içinde nasıl davrandığını anlamak ve ona göre çözümleme yapmak gereklidir. Hayaletler kimi zaman tahmin edilemeyecek davranışlar sergiler.[5]

Hayaletler asla seyahat yönlerini tersine çevirmeyi seçemezler. Hayaletler bir dönemeç (junction) noktasına gelmeden oyun içerisindeki bir koridordan gittiği yönün tersine bir işlem gerçekleştiremez. Bu kısıtlamanın anlamı, bir hayalet sadece iki çıkışlı bir döşemeye girdiğinde, her zaman aynı yönde devam edeceğidir. Bununla birlikte, bu kuralın bir istisnası vardır, bu da hayaletler kovalama veya taramadan başka bir moda geçtiği zaman yön değiştirme işlemini gerçekleştirebilirler.

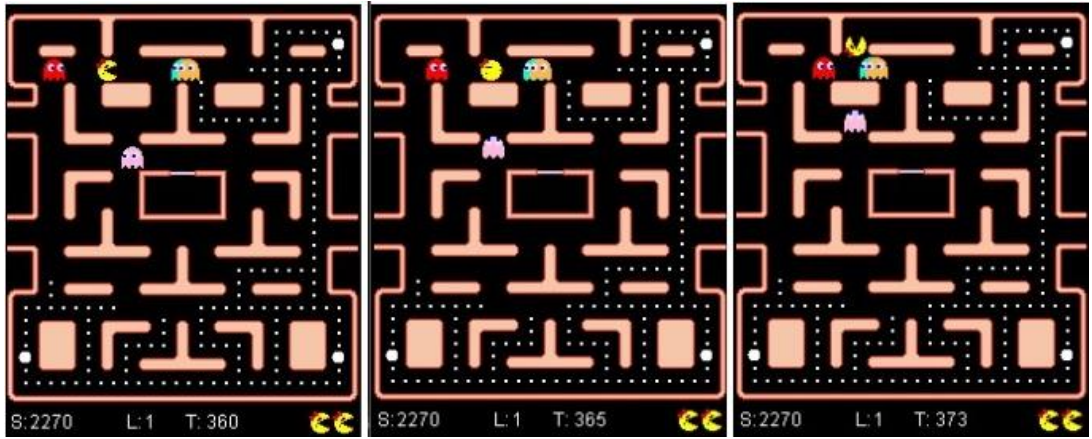
5. GERÇEKLEME VE TEST

5.1 Ms. Pac-Man İçin Tasarlanan Kontrolör İçin Oluşturulan Stratejiler

5.1.1 Hayaletlerden Kaçış Stratejisi

İlk olarak görünürdeki tehlikeli hayaletin, Ms. Pac-Man'e göre hangi yönde oldukları bulunuyor. Bu işlem sonucunda o anda Ms. Pac-Man için gidilmesi tehlikeli olan yönler belirlenmiş oluyor. Bunun yanı sıra, görünürdeki tehlikeli hayaletlerin Ms. Pac-Man'in üzerinde doğru ilerleyip ilerlemediği de kontrol ediliyor. Kaçış durumuna geçmek için en az 1 hayaletin Ms. Pac-Man'in üzerinde doğru ilerlemesi gerekiyor.

Eğer Ms. Pac-Man'in gidebileceği yönlerin tümü tehlikeliyse -etrafı sarılıysa-, tehlikeli hayaletler ile Ms. Pac-Man arasındaki tüm dönemeç noktaları kontrol edilir. Ms. Pac-Man bir dönemeç noktasına tehlikeli hayaletlerden daha yakınsa ve o noktadan gidilebilecek yönler güvenli ise, dönemece doğru ilerler. Şekil 20'de bu durum görselleştirilmiştir.



Şekil 20 Etrafı sarılı Ms. Pac-Man'in davranışları

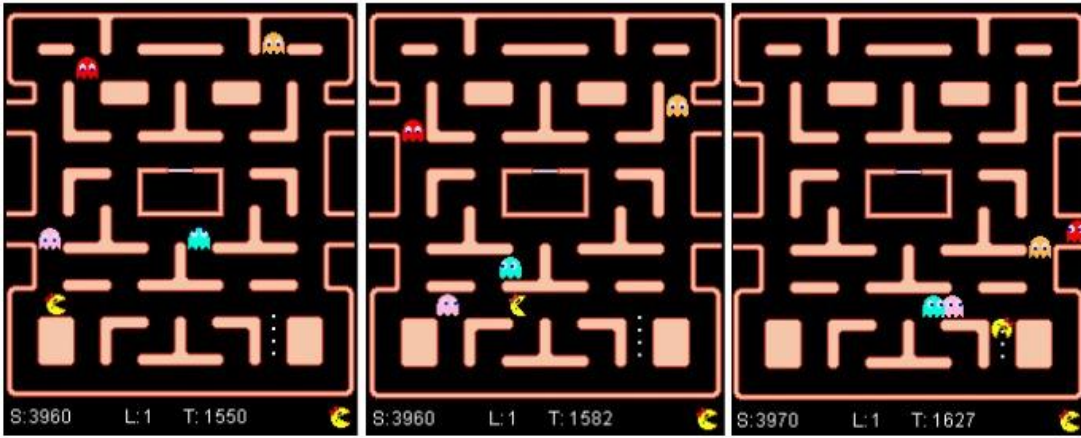
Ms. Pac-Man'in etrafı tehlikeli hayaletlerle sarılı değilse, yani gidilebilecek güvenli yönler varsa ve en yakındaki güç hapına gitmek için dönülmesi gereken yön bu yönler arasındaysa, en yakındaki güç hapına yönelir. Şekil 21'de bu davranış yer almaktadır.



Şekil 21 Tehlikeli hayaletten kaçarken güç hapına yönelme davranışı

En yakındaki güç hapı yönünde tehlike varsa gidilebilecek güvenli yönlerden rastgele bir tanesine yönelinir.

Tüm güç haplarının tükenmesi durumunda tehlikeli hayaletler tarafından kovalanırken, bir sonraki seviyeye geçebilmek adına, yenmemiş haplara yönelinir. Bu davranış Şekil 22’de gösterilmiştir.

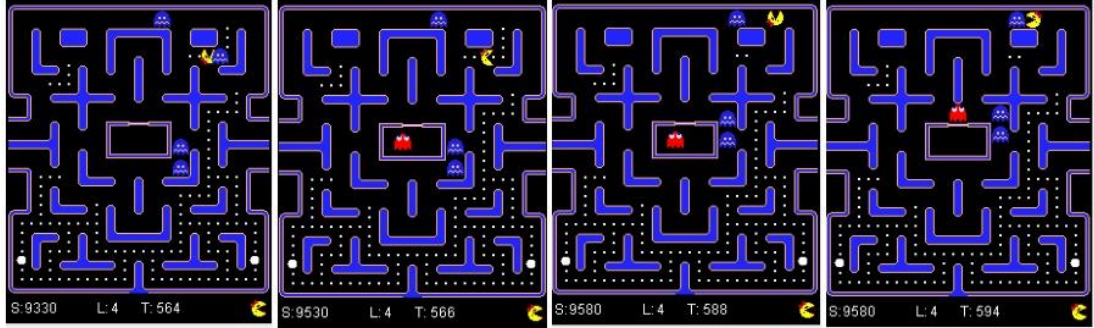


Şekil 22 Güç haplarının tükenmesi durumunda hayaletten kaçılırken haplara yönelinmesi

5.1.2 Ms. Pac-Man’ın Yenilebilir Durumdaki Hayaletleri Kovalaması

Ms. Pac-Man’ın kaçmasını gerektiren bir durum yoksa ve görünürde yenilebilir hayaletler varsa, en yakındaki yenilebilir hayaletle doğru yönelinir. Bu işlemden önce, yenilebilir durumdaki hayaletin yenilebilir durumdan tehlikeli duruma geçme süresi, Ms. Pac-Man’e olan uzaklığıyla mukayese edilir. Eğer Ms. Pac-Man’ın hayaletle giderken geçireceği süre yeterliyse, yenilebilir hayaletle doğru yönelme gerçekleşir. Şekil 23’te birinci görselde sağında hayalet bulunan Ms. Pac-Man, ikinci görselde

hayaleti yiyerek kafese gönderir, o andan itibaren görüş açısında hiç hayalet yoktur fakat üçüncü görselde solunda bulunan hayalet görüş açısına girer ve kovalamaca başlar.



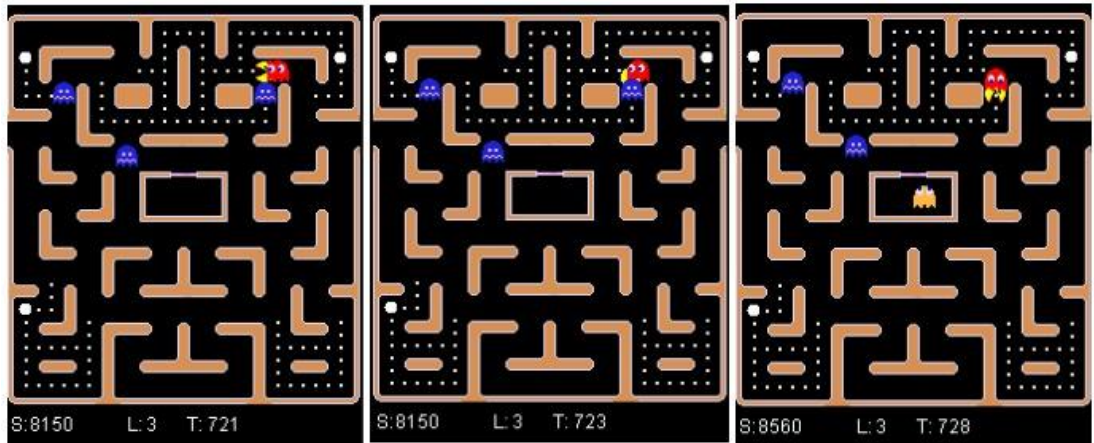
Şekil 23 Ms. Pac-Man'in en yakındaki yenilebilir hayalete yönelme davranışları

5.1.3 Görünürde Hap Yoksa Daha Önce Gidilmemiş Bir Konuma Gitme Stratejisi

Görüş açısı içinde hap yoksa daha önce ziyaret edilmiş tüm konumların saklandığı bir veri yapısı kullanılarak ziyaret edilmemiş konumlar bulunur ve Ms. Pac-Man bunlar arasından en yakın olana yönlendirilir. Bu sayede görünürde hayalet ve hap olmadığı durumlarda Ms. Pac-Man kararsız kalmaz ve yenmemiş haplara yönelmiş olur.

5.1.4 Görünürde Yenilebilir Hayaletler ile Tehlikeli Hayaletlerin Olması Durumunda Kaçışa Ya Da Yakalamaya Karar Verme Stratejisi

Oyun esnasında yaşanabilecek birçok farklı durum olmaktadır. Bunlardan bir tanesi de Ms. Pac-Man'ın görüş açısına yenilebilir hayaletler ile tehlikeli hayaletlerin aynı anda girmesidir. Bu durumda eğer Ms. Pac-Man yenilebilir hayalete, tehlikeli hayaletten daha yakınsa yenilebilir hayalete yönelir, aksi durumda ise tehlikeli hayaletten kaçır.



Şekil 24 Yenilebilir hayaletler ile tehlikeli hayaletlere karşı davranış

5.2 Hayaletler İçin Tasarlanan Kontrolör İçin Oluşturulan Stratejiler

5.2.1 Güç Haplarını Koruma Stratejisi

Her bir güç hapı hayaletler daha kafeslerinden çıkmadan bir dizide tutulur. Hayaletler kafesten sırayla çıkarlar ve her bir hayalet kafesten çıkar çıkmaz bir güç hapı ataması gerçekleştirilir ve hayaletin hedefi verilen güç hapının konumu olur tüm hayaletler sırayla çıktıklarında 4 güç hapı ayrı ayrı 4 hayalete atanmış olur ve koruma işlemi başlar.



Şekil 25 Güç haplarını koruma stratejisi

Oyunda Ms. Pac-Man her yendiği zaman hayaletler kafesten tekrar başlar bu yüzden tekrar güç hapı ataması yapılır ama her hayalet önceki durumdaki güç hapına gitmesi kesin değildir hayaletlere sırayla atanma işlemi sıra hangi güç hapında ise o güç hapının sırayla hayaletlere atanmasını gerçekleştirir.

5.2.2 Hayaletlerin Ms. Pac-Man’i Kovalama Stratejisi

Hayaletler her zaman üç olası moddan birindedir: kovalama, tarama veya kaçma. Hayaletler herhangi bir modda iken eğer Ms. Pac-Man’i görebilecek duruma gelirler ise o an bulunduğu modu bırakır ve tek stratejisi Ms. Pac-Man’i yakalamak olur. Kovalama işlemi gerçekleşirken eğer hayaletler verdiğimiz belli bir süre içerisinde Ms. Pac-Man’i yakalayamaz ise hayaletler yani “kovalamaTimeout” aşıldı ise hayaletler Ms. Pac-Man’i kovalamayı bırakır ve tekrar eski stratejisi olan güç haplarını kovalamaya başlarlar. Buradaki amaç Ms. Pac-Man yakalanamıyor ise Ms. Pac-Man’i

yakalamak için hayaletler arasında bir iletişim kullanılarak Ms. Pac-Man'ın doğru konumda ve kısa sürede yakalanması amaçlanmıştır. Bu işlem Şekil 26'da gösterilmiştir.



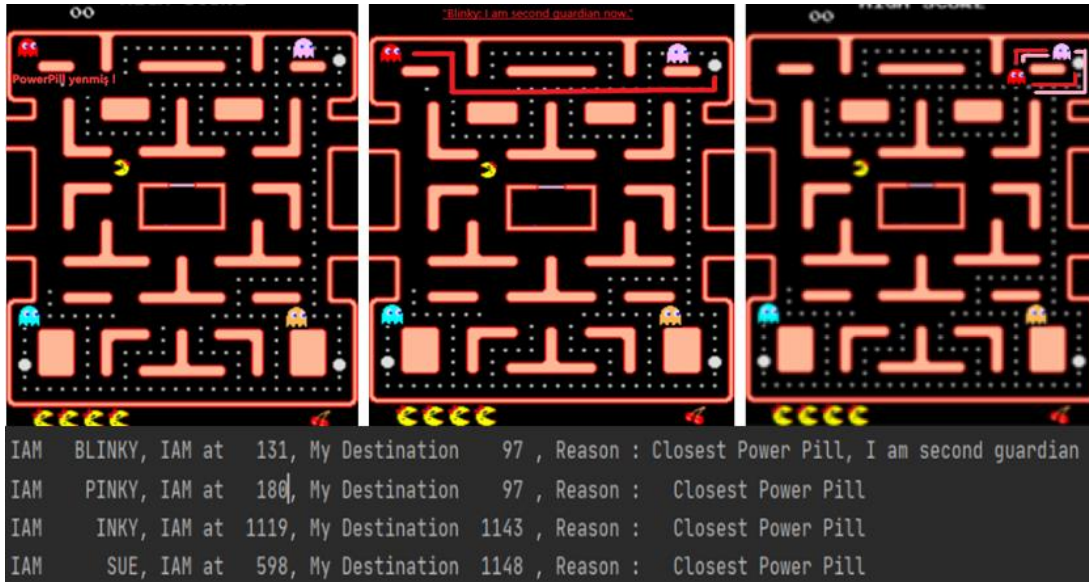
Şekil 26 Hayaletlerin Ms. Pac-Man'i kovalama stratejisi

Eğer hayaletlerden herhangi biri Ms. Pac-Man'i görür ise diğer hayaletlere "I SAW PACMAN" mesajı ve Ms. Pac-Man'i gördüğü konumu göndererek diğer hayaletlerin de Ms. Pac-Man'in bulunduğu konuma gelmelerini sağlar. Diğer hayaletler ise oyun içindeki hayaletlerden herhangi birinin Ms. Pac-Man'i görmesi durumunda "SOMEONE SAW PACMAN" mesajını alır ve Ms. Pac-Man'in konum bilgisini alarak o hedefe doğru en kısa yol algoritması ile gidilir.

5.2.3 Güç Haplarının Korunmasında Second Guardian Stratejisi

Bu strateji hayaletler kendi korumakla görevli olduğu güç hapını koruyamadığı zaman gerçekleşir. Ms. Pac-Man oyun içerisindeki 4 adet güç hapından herhangi birini yediği zaman yediği güç hapını koruyan hayaletimiz için bu strateji devreye girer ve hayalet mevcut olan yenmemiş en yakın diğer bir güç hapına giderek o konumdaki güç hapını koruyan hayalet ile artık o güç hapını korumaya başlar ve second guardian olarak o

güç hapına atanır. Böylece Ms. Pac-Man'ın kalan güç haplarını yemesini second guardianlar ile engelleme stratejisidir.

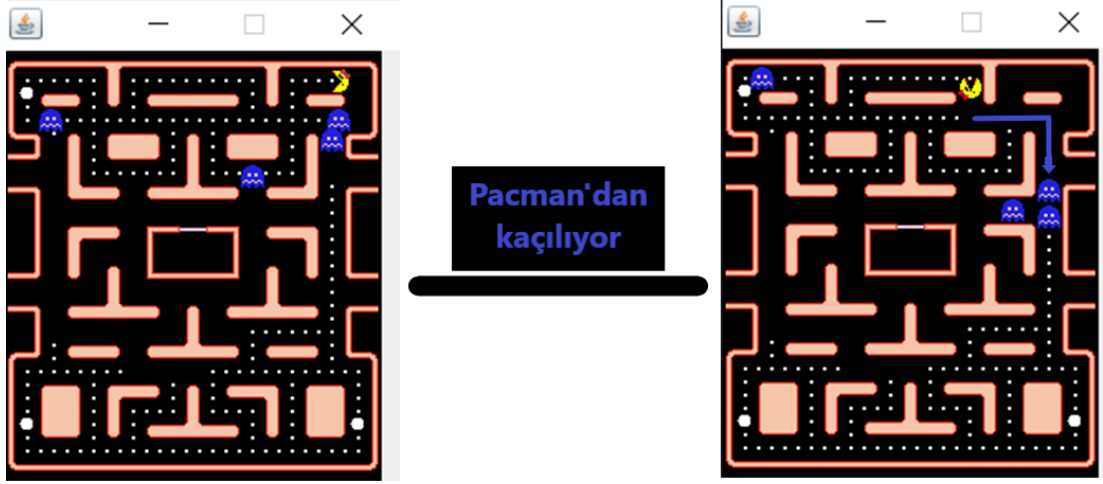


Şekil 27 Güç haplarının korunmasında *second guardian stratejisi*

Bu strateji oyun içerisindeki her bir hayaletin koruduğu güç hapı yendiği zaman her hayalet için tek tek gerçekleşir son güç hapı kaldığında bütün hayaletler o güç hapını korumaya başlar.

5.2.4 Ms. Pac-Man'den Kaçma Stratejisi

Ms. Pac-Man oyun içerisindeki 4 adet güç hapından herhangi bir tanesini yediği durumda hayaletlerimiz Ms. Pac-Man karşısında yenilebilir duruma geçer. Hayaletlerimizin yenme durumunda Ms. Pac-Man ekstra puan alır ve hayalet yendiği zaman kafese geri dönüp tekrar başlar bu durum hayalet stratejisi için istenmeyen bir durumdur bu yüzden kaçış stratejisi oluşturulmuştur.



Şekil 28 Ms. Pac-Man'den kaçma stratejisi

Ms. Pac-Man güç hâpı yediği zaman şekildeki gibi hayaletlerimiz mavi şeklini alır ve yenilebilir duruma gelir. Hayaletler Ms. Pac-Man'dan kaçmak için kovalama stratejisinde kullandığımız stratejinin tam tersini kullanarak Ms. Pac-Man'dan kaçmaya çalışır.

Hayaletler Ms. Pac-Man'i gördüğü zaman "I SAW PACMAN" mesajını ve Ms. Pac-Man'in konum bilgisini diğer hayaletlere gönderir hayaletler bu mesajı alarak "SOMEONE SAW PACMAN" mesajı ile karşılık verir ve Ms. Pac-Man'in var olduğu konumdan uzaklaşmaya başlarlar. Bu süreç güç hâpının etkisi geçene kadar devam eder.

5.2.5 Tüm Güç Hapları Bittikten Sonra Normal Hapların Koruma Stratejisi

Hayaletlerin oyundaki temel amacı bizim projemiz için hapları koruyup Ms. Pac-Man'a olabildiğince az puan aldırmasıdır. Bu yüzden hayaletlerimiz güç haplarını koruma stratejisinde Ms. Pac-Man'in güç haplarını yemesine engel olamazlar ise en son strateji olarak normal hapların korunma stratejisi devreye giriyor.

Eğer oyunda tüm güç hapları yenmiş ise hayaletlerimiz şekildeki gibi var olan en yakın normal haplara giderek Ms. Pac-Man'in seviye geçmesini engellemeyi amaçlamaktadır.



Şekil 29 Normal hapların koruma stratejisi

6. DENEYLER VE HESAPLAMALAR

Geliştirdiğimiz Ms. Pac-Man’i ve hayaletleri, kontrolör yarışması tarafından sağlanan pakette bulunan farklı özellikteki pacmanlere ve hayaletlere karşı çalıştırarak sonuçları kayıt altına aldık ve sonuçlar üzerinde bir takım istatistik hesaplamaları yaptık.

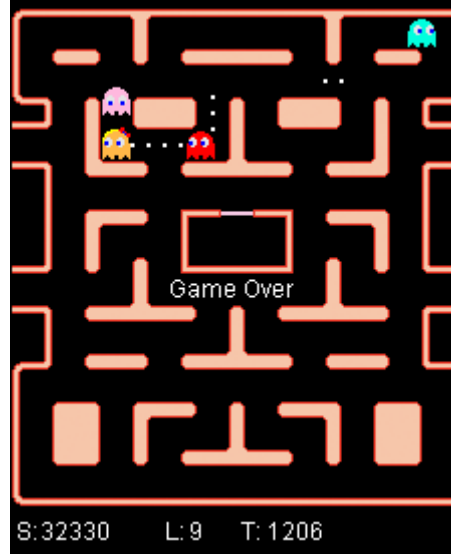
6.1 Ms. Pac-Man’in Farklı Özellikteki Hayaletler Karşısında Aldığı Sonuçlar

6.1.1 StarterGhost Karşısında Alınan Sonuçlar

Tasarlanan Ms. Pac-Man’i ilk olarak yarışma tarafından sağlanan StarterGhost kontrolörüne karşı 1000 defa çalıştırdık.

Oyun sayısı	1000
Ortalama	8574.75
Medyan	7465
Standart sapma	4516.43
Standart hata	142.82
En düşük skor	820
En yüksek skor	32330

Tablo 3 StarterGhost'a karşı oynanan 1000 oyundan alınan sonuçlar



Şekil 30 StarterGhost'a karşı alınan en yüksek puan

Ayrıca Ms. Pac-Man kontrolörünü StarterGhost kontrolörüne karşı 10 defa çalıştırarak elde edilen sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

	Sonuçlar
1. Oyun	2940
2. Oyun	12260
3. Oyun	6010
4. Oyun	6790
5. Oyun	20510
6. Oyun	6740
7. Oyun	10330
8. Oyun	4410
9. Oyun	13010
10. Oyun	5420
Ortalama puan	8842
En yüksek skor	20510
En düşük skor	2940
Medyan	6765
Standart sapma	5002.47
Standart Hata	1581

Tablo 4 StarterGhost'a karşı oynanan 10 oyundan alınan sonuçlar

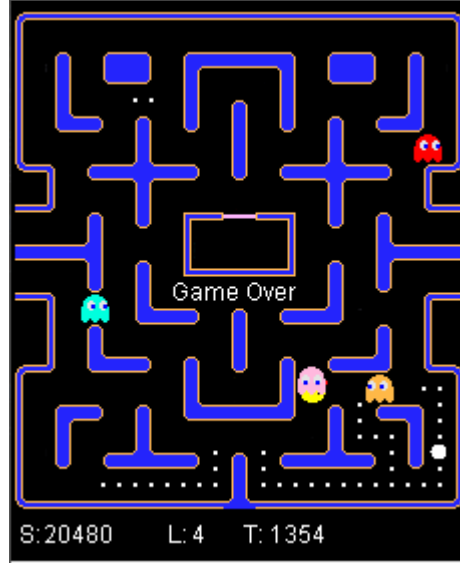
6.1.2 StarterGhostComm Karşısında Alınan Sonuçlar

StarterGhostComm'un StarterGhost'tan farkı hayaletler arasında haberleşmenin olmasıdır. Bu durum Ms. Pac-Man'ın konumu, güç hapına olan yakınlığı vb. gibi bilgilerin hayaletler arasında mesaj yoluyla birbirlerine iletilmesini sağlar.

Tasarlanan Ms. Pac-Man'i ilk olarak yarışma tarafından sağlanan StarterGhostComm kontrolörüne karşı 1000 defa çalıştırdık.

Oyun sayısı	1000
Ortalama	6043
Medyan	5265
Standart sapma	3062.71
Standart hata	96.85
En düşük skor	1300
En yüksek skor	20480

Tablo 5 StarterGhostsComm'a karşı oynanan 1000 oyundan alınan sonuçlar



Şekil 31 StarterGhostsComm'a karşı alınan en yüksek puan

Ayrıca Ms. Pac-Man kontrolörünü StarterGhostComm kontrolörüne karşı 10 defa çalıştırarak elde edilen sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir.

	Sonuçlar
1. Oyun	6870
2. Oyun	3320
3. Oyun	4040
4. Oyun	18270
5. Oyun	3040
6. Oyun	4980
7. Oyun	10090
8. Oyun	7540
9. Oyun	7710
10. Oyun	9070
Ortalama puan	7493
En yüksek skor	18270
En düşük skor	3040
Medyan	7205
Standart sapma	4257.86
Standart Hata	1346.45

Tablo 6 StarterGhostsComm'a karşı oynanan 10 oyundan alınan sonuçlar

Bu bölümde elde ettiğimiz sonuçların, StarterGhost kontrolörüne karşı daha düşük olmasının nedeni, StarterGhostComm kontrolöründeki hayaletlerin arasında iletişim olmasından kaynaklanmaktadır.

6.2 Ms. Pac-Man İçin Tasarlanan Kontrolörün Farklı Kontrolörlerle Karşılaştırılması

Tasarladığımız Ms. Pac-Man'i 2017 ve 2018 yılında gerçekleştirilen CIG (Computational Intelligence in Games) yarışmalarında farklı pacman takımlarıyla karşılaştığımızda projemizin kayda değer puanlar aldığı görülmektedir. Tablo 7 ve Tablo 8'de görülmek üzere kendi tasarladığımız Ms. Pac-Man sıralamaya eklenmiştir.

Sıralama	Takım Adları	Ortalama Skor
1	SubtleBattle	10260.38
2	giangrocker	9147.60
3	thunder	8861.12
	Tasarlanan Ms. Pac-Man	8574.75
4	ToSc	8388.80
5	BaHe	8245.39
6	AlDo	8107.35
7	ArHe	7426.49
8	NiStTiTi	6798.07
9	ShMaRaSi	6633.92
10	imadhajjar	5646.26

Tablo 7 CIG 2017 yarışmasında ilk 10'a girenlerin aldığı sonuçlar

Sıralama	Takım Adları	Ortalama Skor
	Tasarlanan Ms. Pac-Man	8574.75
1	Squillyprice01	7736.63
2	GiangCao	7516.63
3	thunder	6733.13
	PacMaas	6275
4	Starter PacMan	5865.5
5	StarterPacManOneJunction	1134.25
6	StarterNNPacMan	535
7	user76	120

Tablo 8 CIG 2018 yarışmasında tüm katılımcıların aldığı sonuçlar

Tasarladığımız Ms. Pac-Man'ın 2017 yılındaki yarışmaya katılsaydı ilk 5'e gireceği görülmektedir. Ancak Tablo 7 ve 8'deki ortalama skorumuz 1000 oyun sonucunda elde

edilmiştir, 10 ya da 100 oyun sonucunda daha yüksek bir ortalama elde edebilmemiz ve ilk 5'in de üzerinde bir sonuç almamız olasılık dahilindedir.

6.3 Ms. Pac-Man Vs Ghost Team Yarışmasında Hayalet Takımlarının Geçmişte Almış Olduğu Skorlar

Sıralama	Oyuncu	Ortalama Skor
1	MaFr	2223.86
	Tasarlanan Hayaletler	2339.22
2	TiIsFePre	2853.79
3	thunder	3047.42
4	Starter Ghost Communicating	3243.27
5	NiStTiTi	3276.37
6	StScThSe	3299.46
7	ToSc	3341.16
8	LeHoNiPo	3397.88
9	ShMaRaSi	3415.34
10	DoWe	4167.21
11	AnAtVaTs	4443.13
12	Starter Ghost	4466.42
13	SaHo	4507.71
14	ImHa	6054.58
15	KeAlAnPe	6509.33
16	MaZeAnKu	6565.19
17	RiMu	6572.21
18	FlBe	10557.59

Tablo 9 CIG 2017'e ait skor tablosu

Sıralama	Oyuncu	Ortalama Skor
	Tasarlanan Hayaletler	2339.22
1	MaFr	3859.13
2	StarterGhost	4288.25
3	thunder	4864.81
4	user76	4948.88

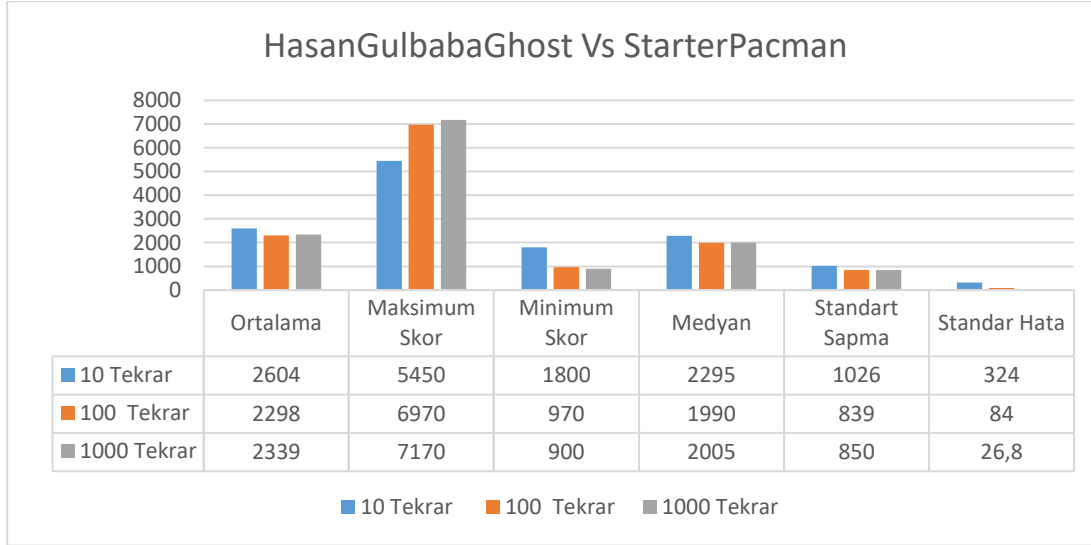
Tablo 10 CIG 2018'e ait skor tablosu

6.4 Geliştirdiğimiz Hayaletlerin Farklı Özellikteki Pacman'lere Karşı Aldığı Sonuçlar

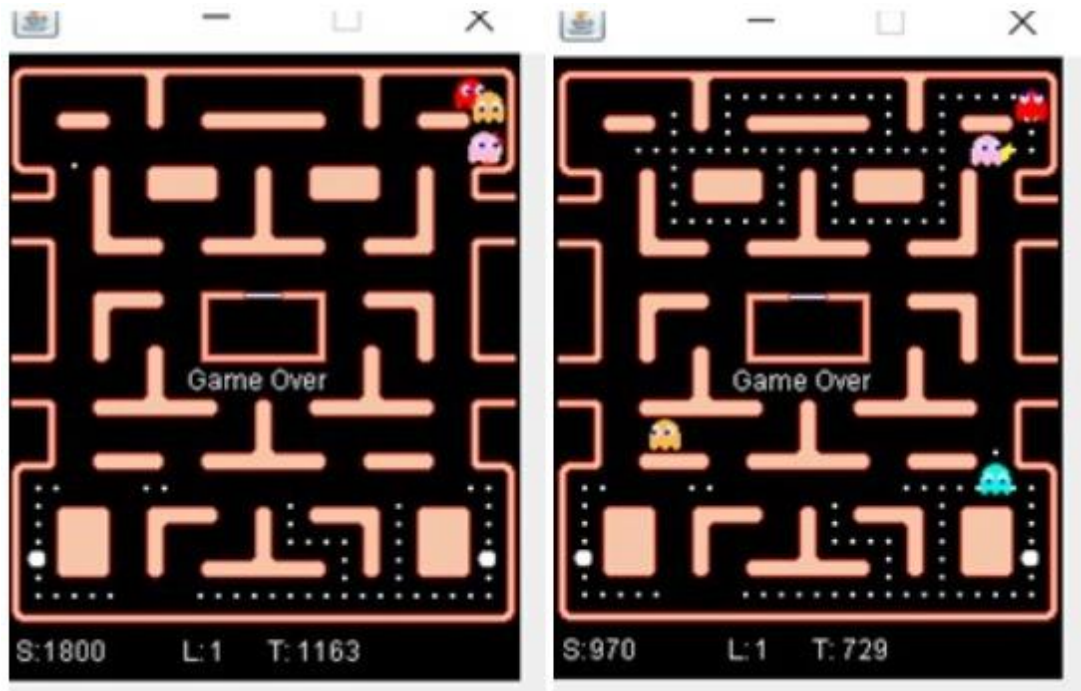
6.4.1 Geliştirdiğimiz Hayaletlerin StarterPacman'e Karşı Aldığı Sonuçlar

Bu grafikte görüldüğü üzere geliştirdiğimiz hayalet algoritmasını oyunda verilen StarterPacman'e karşı 10, 100 ve 100'er kez çalıştırarak sonuçlar alınmıştır. Alınan bu

sonuçlar sayesinde her tekrarda ortalama skor bularak oyundan aldığımız genel ortalama skora ulaşmış oluyoruz.



Tablo 11 Geliştirdiğimiz hayaletlerin StarterPacman karşısındaki sonuçları



Şekil 32 10 ve 100 deneme sonucunda ulaşılan en düşük skorlar

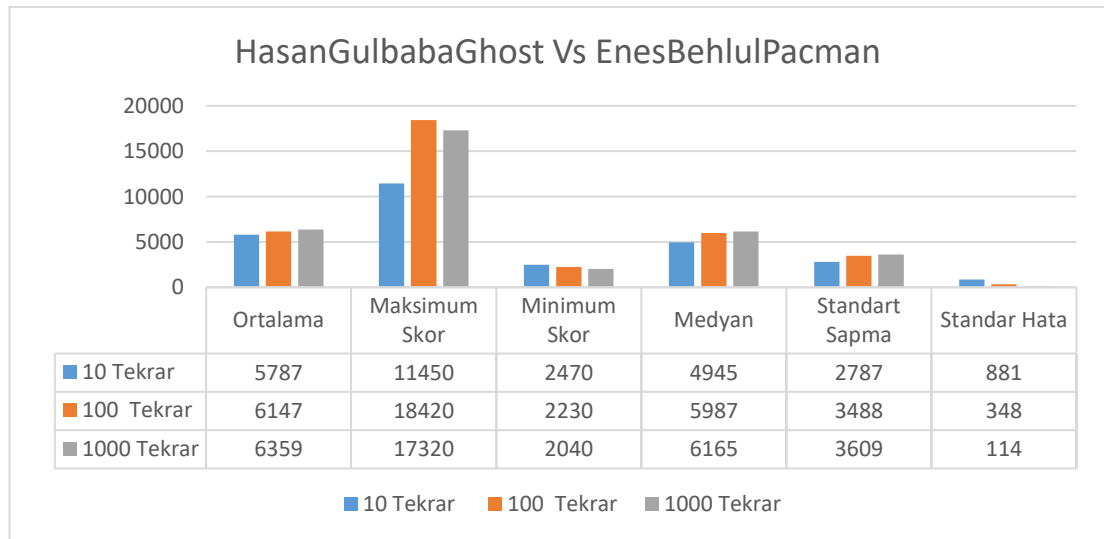
Tekrar sayısının artışının ortalama skoru fazla etkilemediği görülmektedir. Ortalama skurun tekrar sayısından bağımsız olması, algoritmik açıdan tutarlılık göstergesidir.



Şekil 33 Tasarladığımız hayaletlerin StarterPacman'e karşı en başarılı skoru

6.4.2 Geliştirdiğimiz Hayaletlerin Geliştirdiğimiz Ms. Pac-Man'a Karşı Aldığı Sonuçlar

Bu grafikte geliştirdiğimiz hayalet algoritmasına karşı yine geliştirdiğimiz Ms. Pac-Man algoritmasını 10, 100 ve 1000'er kez çalıştırarak alınan sonuçlar tablo halinde şekilde gösterilmiştir. Her tekrarda ortalama skor hesaplanmıştır ve standart sapmasına bakılarak tutarlılık hakkında yorum yapabilme olanağı sağlanmıştır.



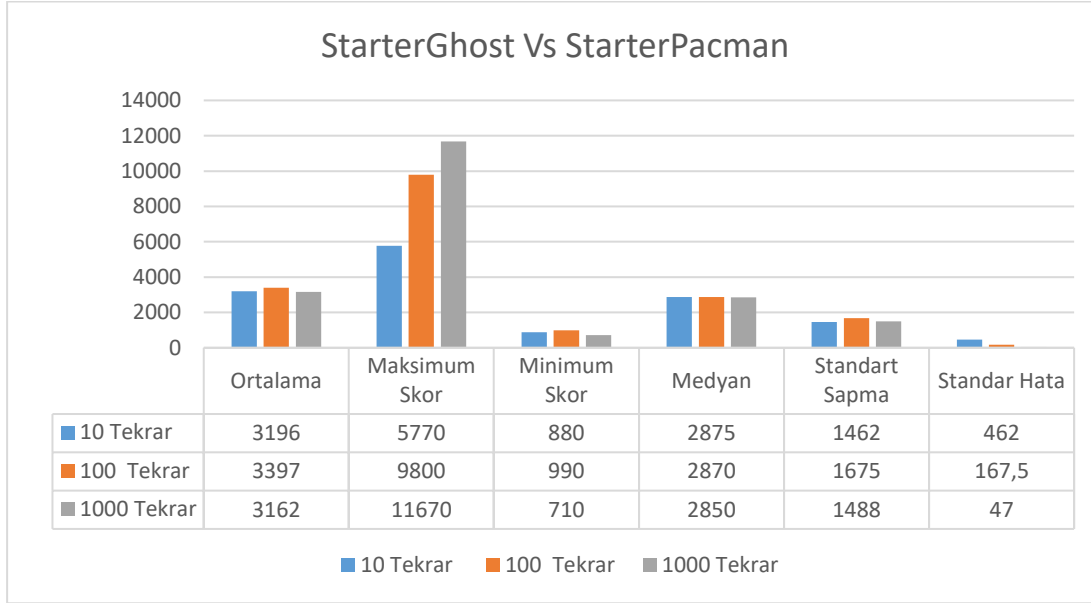
Tablo 12 Tasarlanan hayaletlerin tasarlanan Ms. Pac-Man'e karşı aldığı sonuçlar

Tasarladığımız Ms. Pac-Man ile StarterGhost'un 1000 oyun sonunda ortalama skoru 8574 iken, tasarladığımız hayaletlerin tasarladığımız Ms. Pac-Man'e karşı 1000 oyunda almış olduğu ortalama skor 6359'dur. Sonuçlara baktığımızda tasarladığımız hayaletlerin StarterGhost'tan daha üstün olduğu gözükmemektedir.

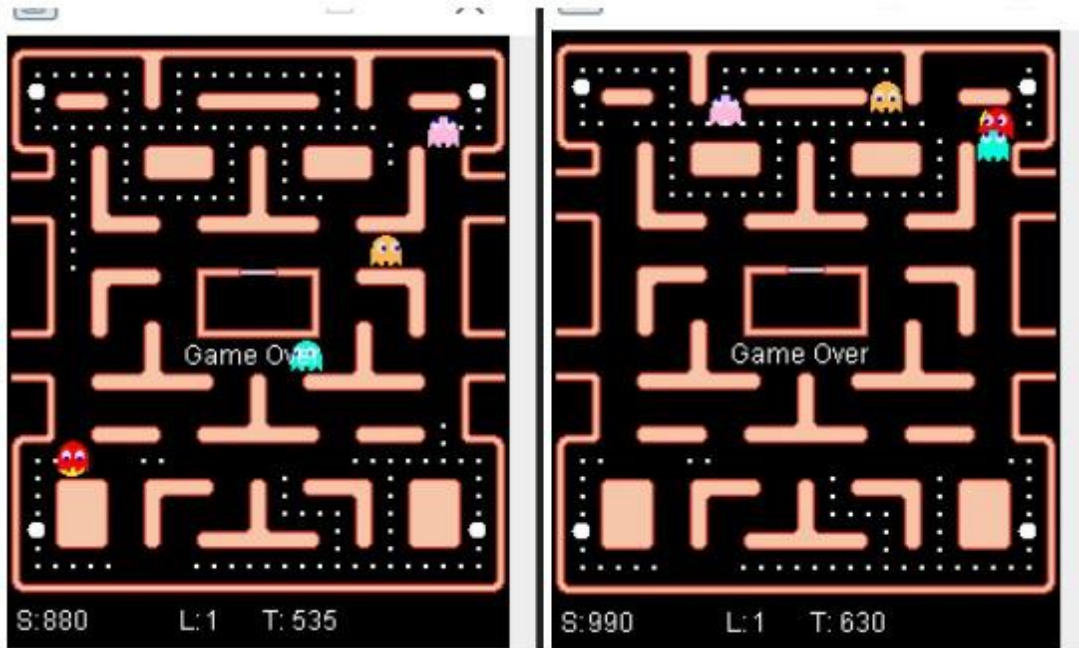
6.5 StarterPacMan'ın Farklı Özellikteki Hayaletlere Karşı Aldığı Sonuçlar

6.5.1 StarterGhost'a Karşı Aldığı Sonuçlar

Bu grafikte starterghost hayaletleri ile StarterPacman algoritmaları birbirleri ile 10, 100, ve 100'er kez çalıştırılmıştır. Bu tablolardan hareketle geliştirdiğimiz hayalet algoritmasının StarterGhostComm algoritmasından StarterPacman'e karşı ne derece iyi veya ne derece kötü olduğunu gözlemlenebilir.



Tablo 13 StarterGhost ve StarterPacman'in 10, 100 ve 1000 oyunluk sonuçları

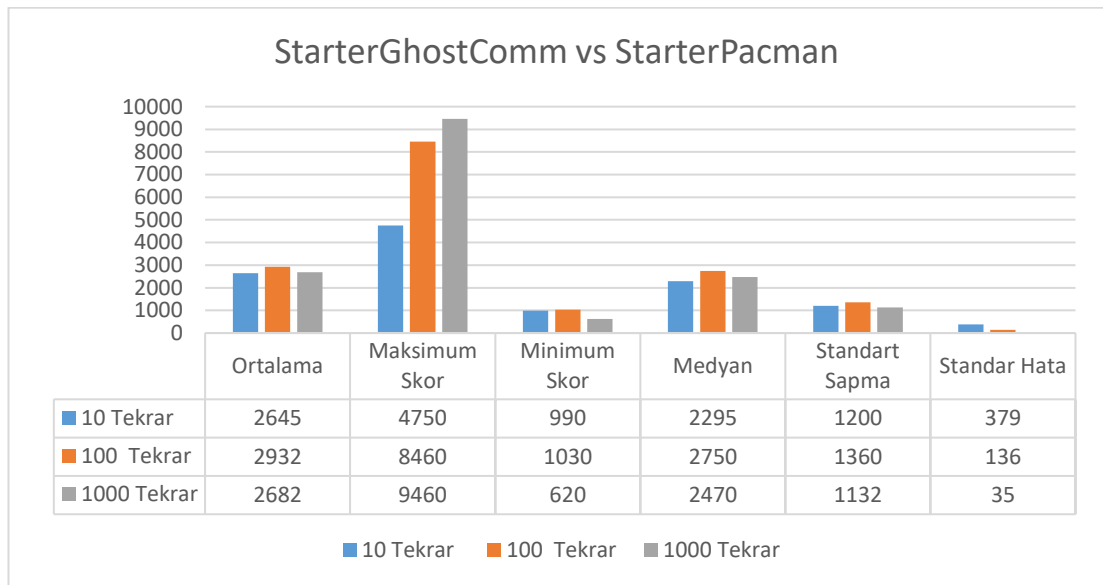


Şekil 34 10 ve 100 oyun sonucu aldıkları en düşük skor

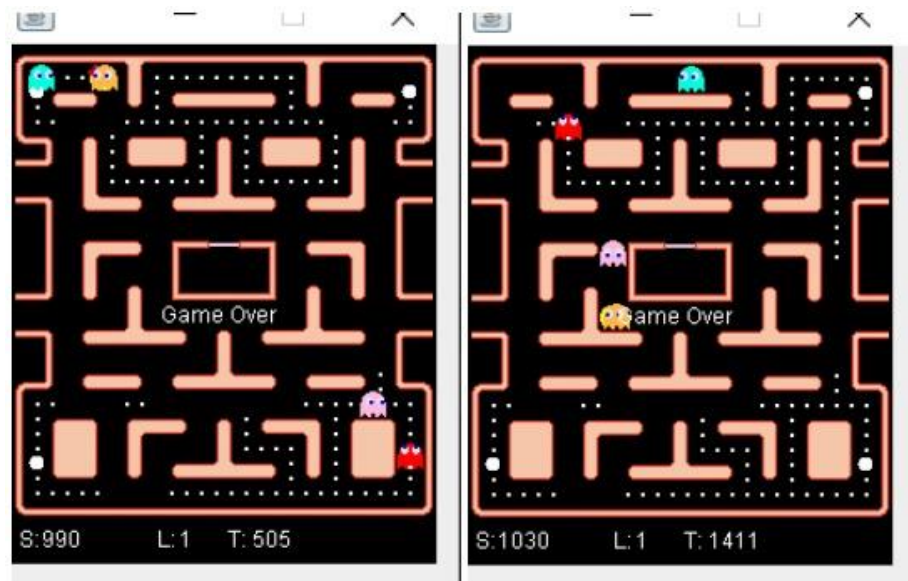
Tablo 3 ve Tablo 14'teki verilerden yola çıkarak StarterPacman'ın StarterGhost'a karşı aldığı en yüksek skor ile tasarladığımız Ms. Pac-Man'ın aynı hayaletlere karşı aldığı en yüksek skor arasında Ms. Pac-Man'ın lehine 20660 puan fark vardır. 1000 tekrarda StarterPacman'ın ortalama skoru 3162 iken Ms. Pac-Man'ın ortalama skoru 8574'tür.

6.5.2 StarterGhostComm'a Karşı Aldığı Sonuçlar

Bu grafikte StarterGhostComm hayaletleri ile StarterPacman algoritmaları birbirleri ile 10, 100, ve 100'er kez çalıştırılmıştır. Bu tablolardan hareketle geliştirdiğimiz hayalet algoritmasının StarterGhostComm algoritmasından StarterPacman'e karşı ne derece iyi veya ne derece kötü olduğunu gözlemlenebilir.



Tablo 14 StarterGhostComm ve StarterPacman'ın 10, 100 ve 1000 oyunluk sonuçları



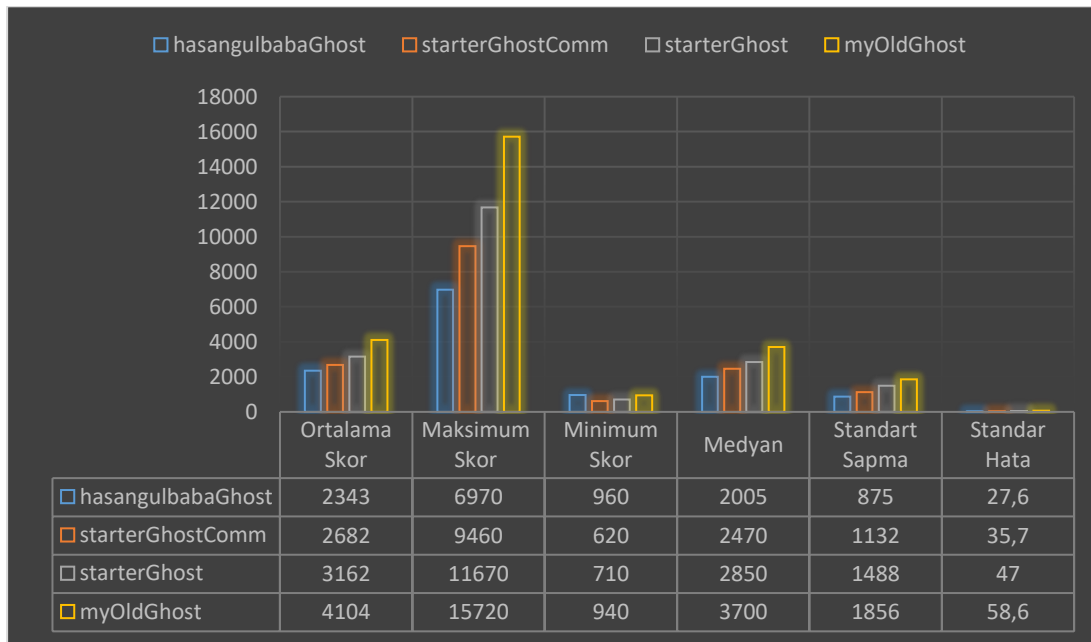
Şekil 35 10 ve 100 tekrar sonucu ulaştıkları en düşük skor

Tablo 5 ve Tablo 15'teki verilerden yola çıkarak StarterPacman'ın StarterGhostComm'a karşı aldığı en yüksek skor ile tasarladığımız Ms. Pac-Man'ın aynı hayaletlere karşı aldığı en yüksek skor arasında Ms. Pac-Man'ın lehine 11020 puan fark vardır. 1000 tekrarda StarterPacman'ın ortalama skoru 2682 iken Ms. Pac-Man'ın ortalama skoru 6043'tür.

6.6 Hayaletler İçin Tasarlanan Kontrolörün Farklı Kontrolörlerle Karşılaştırılması

Bu grafikte oyun içinde var olan tüm hayaletler StarterPacman'e karşı 1000'er kez oynatılmıştır ve sonuçlar aşağıdaki tabloya aktarılmıştır.

Bu tabloyu kullanarak hayaletler arasında algoritmik açıdan hangisinin daha iyi sonuçlar aldığı gözlemlenebilir.



Tablo 15 Hayaletler veri karşılaştırma grafiği- 1000 tekrar

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Ms. Pac-Man ve hayaletler için tasarlanan yazılım kontrolörlerinin her ikisi için de birçok farklı stratejiler kullandık. Kontrolörlerin her bir adımda yanıt döndürebilmesi için 40 ms süreleri vardır. Tasarladığımız kontrolörler çoğu zaman 1 ms'nin altında yanıt döndürmekte, projemizde herhangi bir zaman problemi bulunmamaktadır.

Ms. Pac-Man için kontrolör geliştirilirken modüler bir yapı kurulmaya çalışılmış, sınıf içinde metotlar ve veri yapıları kullanılarak kod karmaşıklığı azaltılmış ve bu sayede anlık olarak kontrolörün verdiği yanıtlar performans kaybına yol açmamıştır.

Oluşturulan stratejiler hem Ms. Pac-Man hem hayaletlerin başarılı olmasını sağlamıştır. Her bir strateji amacına uygun bir şekilde skoru yükseltmekte ya da yükselmesini engellemektedir. Tüm bunlara rağmen lisans bitirme projemize, kontrolörleri geliştirecek yönde eklemeler yapılmaya devam edebilir.

Ms. Pac-Man için geliştirdiğimiz, hayaletlerden kaçarken en yakın güç piline yönelme, etrafı sarılıyken hayaletler ile arasında bulunan dönemeç noktalarına yönelme, hapları yemek için daha önce ziyaret etmediği bir konuma yönelme gibi stratejileri 4 farklı labirentten bağımsız olarak geliştirdik. Bu stratejiler geliştirilirken, her bir labirentin, tehlikesi yüksek olduğuna karar verilmiş düğümlerine karşı özel yöntemler kullanılabilirdi.

Hayaletlere eklenebilecek stratejilerden birisi, Ms. Pac-Man'i yakalamaya giden hayaletlerin farklı konumlardan giderek aynı yolu takip etmemeleri ve pacman'i sıkıştırma işlemini gerçekleştirilebilmeleri olabilir. Bu işlem pacman'i kovalamaya giden her hayaletin, kendi takip ettiği yolu diğer hayaletlere ileterek diğer hayaletlerin bu yol üzerinden gelmemeleri ve farklı yollar seçmeleri ile sağlanabilir.

Tasarladığımız kontrolörleri, yarışmalara katılmış farklı kontrolörlerle karşılaştırdığımızda iyi sonuçlar almaktayız. Tüm bunları başarırken aynı zamanda, yarışma kurallarına uymuş olmamız ve kontrolörlerin yanıt vermesi için gereken sürenin çok altında yanıt döndürebilen bir performansa sahip olmamız da dikkat edilmesi gereken hususlar arasındadır.

8. KAYNAKÇA

- [1] “Ms. Pac-Man Vs Ghosts”. .
- [2] “Monte Carlo Ağaç Araması(Monte Carlo Tree Search) – DEVHUNTER”. .
- [3] Laura E Shummom Maas, “Artificial Intelligence in Video Games - Towards Data Science”, 2019. [Çevrimiçi]. Available at: <https://towardsdatascience.com/artificial-intelligence-in-video-games-3e2566d59c22>. [Erişim: 05-Haz-2020].
- [4] P. Rohlfshagen, J. Liu, D. Perez-Liebana, ve S. M. Lucas, “ Pac-Man Conquers Academia: Two Decades of Research Using a Classic Arcade Game ”, *IEEE Trans. Games*, 2017, doi: 10.1109/tg.2017.2737145.
- [5] S. M. Lucas, “Evolving a neural network location evaluator to play Ms. Pac-Man”, içinde *IEEE 2005 Symposium on Computational Intelligence and Games, CIG'05*, 2005.