



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN:1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Çoklu robotlarda işbirlikli davranışların karşılaştırılması ve bulanık mantık yaklaşımı

## *Comparison of cooperative behaviors in multiple robots and fuzzy logic approach*

Yazar(lar) (Author(s)): Ahmet Çağdaş SEÇKİN<sup>1</sup>, Ahmet ÖZEK<sup>2</sup>, Ceyhun KARPUZ<sup>3</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-9849-3338

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-0939-3547

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0002-3752-4727

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(Tocitetothisarticle):** Seçkin A.Ç., Özek A. ve Karpuz C., “Çoklu robotlarda işbirlikli davranışların karşılaştırılması ve bulanık mantık yaklaşımı”, *Politeknik Dergisi*, 22(4): 913-919, (2019).

Erişim linki(To link to this article):<http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.481177

# Çoklu Robotlarda İşbirlikli Davranışların Karşılaştırılması ve Bulanık Mantık Yaklaşımı

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Ahmet Çağdaş SEÇKİN<sup>1\*</sup>, Ahmet ÖZEK<sup>2</sup>, Ceyhun KARPUZ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Uşak Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received: 02.10.2016; Kabul/Accepted: 26.08.2017)

## ÖZ

Günümüzde pek çok karmaşık görev için donanım ve çalışma hızı açısından hantal ve maliyetli robotik sistemler kullanılmaktadır. Pahalı ve hantal bir robot yerine daha küçük ve basit robotlardan oluşan sistemlerle aynı karmaşık görevleri yerine getirme konusunda yapılan çalışmalar çoklu robotiği ortaya çıkarmıştır. Çoklu ajanlardan oluşan sürülerin hareketi için ilk çözüm modeli Reynolds tarafından hazırlanan Boids algoritmasıdır. Boids algoritması birleşme (cohesion), ayrılma (dispersion) ve hizalanma (align) kurallarının oluşturduğu vektörlerin her ajan için birleştirilip her ajana ayrı uygulanması olarak tanımlanmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada bulanık-işbirlikli bir algoritma tasarlanarak hem akın hem de düzen alma davranışlarının gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Amaç doğrultusunda birden fazla robotun bireysel, işbirlikli ve bulanık-işbirlikli halde akın etmesi ve düzen alması incelenmiş ve türetilen bulanık-işbirlikli algoritmanın başarımı sınanmıştır. Çalışmada sırasıyla, benzetim ortamında kullanılan robot ve görev algoritmaları sunulmuş olup ardından benzetim sonuçları verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre tasarlanan Bulanık akın algoritması, Boids algoritmasından daha kısa görev tamamlama süresi ve daha az haberleşme tekrarı sağladığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Çoklu robotik, boids algoritması, akın davranışı, bulanık mantık.

## Comparison of Cooperative Behaviors in Multiple Robots and Fuzzy Logic Approach

### ABSTRACT

Today, cumbersome and costly robotic systems are used for many complex tasks in terms of hardware and operating speed. Instead, the work on performing the same complex tasks as the systems consisting of smaller and simpler robots reveals the multiple robotics, a sub-branch of robotics. The first solution model for the multiple agents flocking behaviors is the Boids algorithm prepared by Reynolds. The Boids algorithm is defined as the combination of cohesion, dispersion and align rules for each agent and application for individuals. Unlike other studies, a fuzzy-collaborative algorithm was designed in this study and it was aimed to perform both flock and formation behaviors. Within the scope of the aim; individual, cooperative and fuzzy-collaborative flocking and formation of multiple robots were examined and the performance of the fuzzy-cooperative algorithm was tested. In the study, robot and task algorithms used in simulation environment are presented and simulation results are given. According to the findings, the fuzzy flocking algorithm is faster and requires less communication cycle than the Boids algorithm.

**Keywords:** Multiple robotics, boids algorithm, flocking behavior, fuzzy logic.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde robotlar savunma, üretim ve sağlık gibi uygulama alanlarında aktif olarak çalışmaktadır. Gerçek hayatta robotların karşılaştığı fiziksel koşullar, robotları karmaşık ve hantal hale getirebilmektedir. Bu nedenle, performans ve güvenilirlik azalmakta riskler ve maliyetler ise artmaktadır [1], [2]. Bilim insanları, bu sorunu çözmek için karmaşık ve hantal robotların yerini doldurabilecek daha küçük ve basit robotlardan oluşan sistemlerde çalışmaya başlamıştır. Böylece günümüzde robotikte önemli bir yeri olan çoklu robotik kavramı ortaya çıkmıştır. Çoklu robot sistemlerinde canlı sürülerinin davranışlarından esinlenerek yiyecek arama

(foraging), kapsama(covorage), akın etme (flocking), düzen alma (formation), nesnelere etki etme, çoklu hedef gözleme, sürü trafiği ve yol planlama gibi pek çok davranış modellenmiştir [2]–[4].

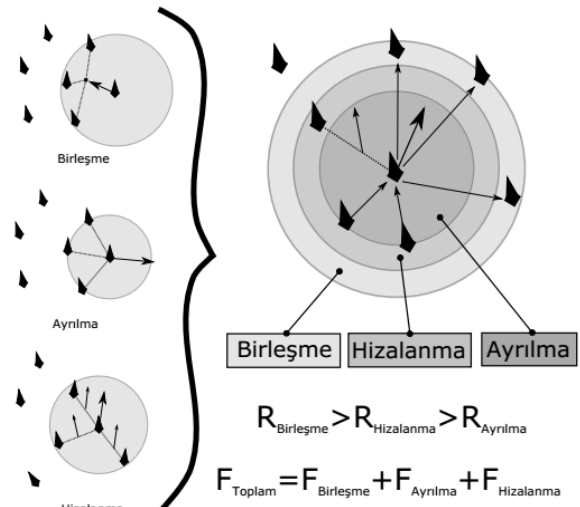
Düzen alma, robotların, o anki bağlı konumlarına göre farklı geometrik şekillerde veya desenlerde dağılımları veya şekli koruyarak hareket etmeleridir. Düzen alma davranışında anahtar problem yerel kontrol kurallarının belirlenmesi, yol planlama, hedef konumlandırma ve birey konumlandırması [5]–[7]. Tüm kurallar ve yol planlama düzen alma için geçerli olan desene bağlıdır. Desenlerin hareket esnasında kullanılması, denklemleri bilinen basit geometrik şekiller için sıkıntı değildir. Fakat bu desenler karmaşıklaştıkça homografi tekniği ile desenin döndürülmesi, büyütülüp küçültülmesi veya çarpıtılması mümkün olmaktadır [8], [9].

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : cagdaseckin@gmail.com

Akın etme robotların belirli kurallar çerçevesinde belirli bir yönde birlikte hareket etmesi olarak tanımlanmaktadır [10]. Çoklu ajanlardan oluşan sürülerin hareketi için ilk çözüm algoritması Reynolds tarafından hazırlanan boids algoritmasıdır. Boids algoritması Şekil 1'de gösterilmiş olup birleşme (cohesion), ayrılma (dispersion) ve hizalanma (align) kurallarının oluşturduğu vektörlerin toplanmasıyla elde edilmiş bir algoritmadır [11], [12]. Şekilde görülen R harfi ile tanımlı bölgelerin yarı çapları tanımlanmıştır buna göre  $R_{\text{Birleşme}} > R_{\text{Hizalanma}} > R_{\text{Ayrılma}}$  şeklindedir. Fakat bu yarıçap değerleri algılayıcı kapasitesine bağlı olarak uygulamada kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Birleşme kuralı, birleşme alanı içinde algılanan komşuların konumlarına göre merkezlerine doğru hareketi sağlayacak bir çekme kuvvet vektörüdür. Bu kural sürüye dâhil olma veya yaklaşma için kullanılmaktadır. Ayrılma kuralı, ayrılma için tanımlanmış bölgede algılanan komşu bireylerden uzaklaşma amacıyla oluşturulan itme kuvvet vektörüdür. Hizalanma kuralı ise birleşme ve ayrılma bölgeleri arasında tanımlı olan bir alanda sürünün aynı yönde veya aynı hedefe doğru hareket etmesi için komşuların hız vektörüne uyum sağlaması için oluşturulan bir kuvvet vektörüdür. Ayrılma, birleşme ve hizalanma bölgeleri robotun algılama, hareket ve sürü içi sıklık gibi parametrelere bağlı olup özelleştirilebilir. Tüm bu kuvvetlerin vektör toplamı sayesinde Boids algoritması olarak bilinen sürü halinde hareket eylemi gerçekleştirilebilmektedir. Boids algoritması öncelikle bilgisayar oyunlarında, animasyonlarda ve benzetimlerde kullanılmıştır. Daha sonra robotik alanının çoklu robot kısmında kullanılmıştır [13], [14]. Akın etme algoritmasında tanımlı Boids bölgeleri kesin sınırlardan oluşmaktadır. Boids bölge sınırları robotların hareket yeteneği, sensörlerin algılama mesafesi, kullanıcının istediği sıklık, haberleşme kapsama alanı vb. parametrelere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Bu bölgelerin kesin çizgiler halinde uygulanması robotlara çok ani kuvvetler uygulanmasına sebep olabilmektedir. Bu durum da özellikle hızlı hareket eden uçan robotlar gibi sistemler olumsuz etkilenebilmektedir. Günümüzde denetim [15], [16], biyomedikal uygulamalar [17], insan bilgisayar etkileşimi [18] vb. pek çok çalışmada benzer problemler görülmüş ve sistemin karar mekanizmasını doğal hale getirmek amacıyla bulanık mantık çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalardan Boids algoritmasını daha iyi hale getirmek için de türetilmiştir [19]–[22].

Bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak bulanık-ışbirlikli bir algoritma üretilerek hem akın hem de düzen alma davranışlarının gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Amaç doğrultusunda birden fazla robotun bireysel, işbirlikli ve bulanık-ışbirlikli halde akın etmesi ve düzen alması incelenmiş ve türetilen bulanık-ışbirlikli algoritmanın başarımı sınanmıştır. Sınama işlemi için benzetim hazırlanmış olup bu benzetimde robotların bireysel ve kolektif davranışları yarışmacı ve önceden tanımlı olma parametreleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada sırasıyla, benzetim ortamında kullanılan robot ve görev

algoritmaları sunulmuş olup ardından benzetim sonuçları verilmiştir.



Şekil Error! No text of specified style in document.. Boids Algoritması ve Bölgeleri (Boids Algorithm and Areas)

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

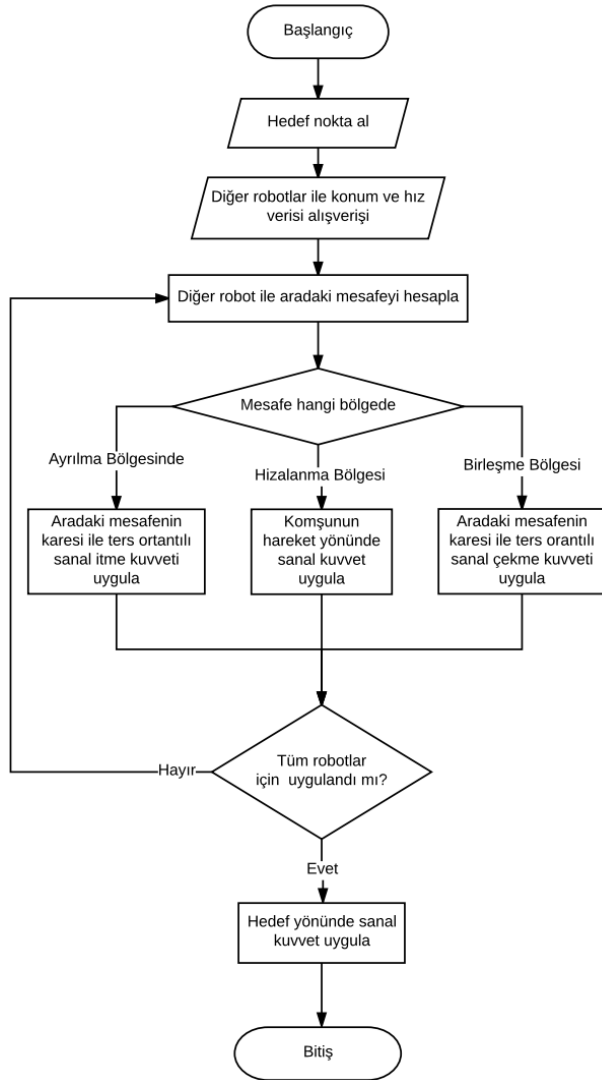
Robotların akın etme denetiminde Reynolds tarafından belirlenmiş Boids algoritmasından faydalanılarak Şekil 2'deki akın denetimi algoritması türetilmiştir. Bu algoritmadaki Boids sanal kuvvetleri kütle çekim veya coulomb yasasında olduğu gibi uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak değişecek şekilde uygulanmıştır. Bir robota etkileyen toplam kuvveti bulurken Eşitlik-1 kullanılmaktadır. Bu eşitlikte N adet robottan oluşan bir sistem için  $d_i$  i. robota olan mesafe,  $\hat{u}_i$  i. robotun konumuna bağlı olarak birim vektör, k değeri ise bölge katsayısıdır. Bölge katsayısı olan k değeri ayrılma bölgesinde -1, hizalanma bölgesinde 0 ve birleşme bölgesinde 1 değerini almaktadır. k değeri 0 olduğunda herhangi bir boids sanal kuvvetlerinin toplamı sıfır olacağından etkileyen kuvvet sadece sürü elemanları için atanmış olan  $F_t$  kuvvetidir. Bu kuvvet hedef noktaya doğrudur ve büyüklüğü PID ile değiştirilmektedir. Kuvvetlerin toplamı olan  $F_b$ 'nin büyüklüğü robotlarda hız değeri,  $F_b$ 'nin yönü ise hedef yön olarak kullanılmaktadır. Hız değeri için alt ve üst sınırlandırma kullanılmıştır. Hedef yön değerine ulaşma için robotlarda PID denetim kullanılmaktadır. Algoritmada öncelikle desen düzen merkezine ait hedef nokta alınmaktadır. Tüm robotlara ait kuvvetler uygulandıktan sonra robota hedef doğru gitmesi için de bir  $F_t$  sanal kuvveti uygulanır. Böylece tüm robotlar hizalanmayı korurken desen düzeninin merkezine birlikte gidebilmektedir.

$$F_b = \sum_{i=1}^{N-1} k * \frac{\hat{u}_i}{d_i^2} + F_t \quad (1)$$

Çoklu robot sistemindeki tüm robotlar konum ve hız verilerini paylaştıktan sonra her robot diğer robotların kendisine göre uzaklığını hesaplar. Hesaplama sonucu diğer tüm robotların bulunduğu bölgeye göre itme, çekme veya hizalanma kuvvetleri uygulanır. Eğer

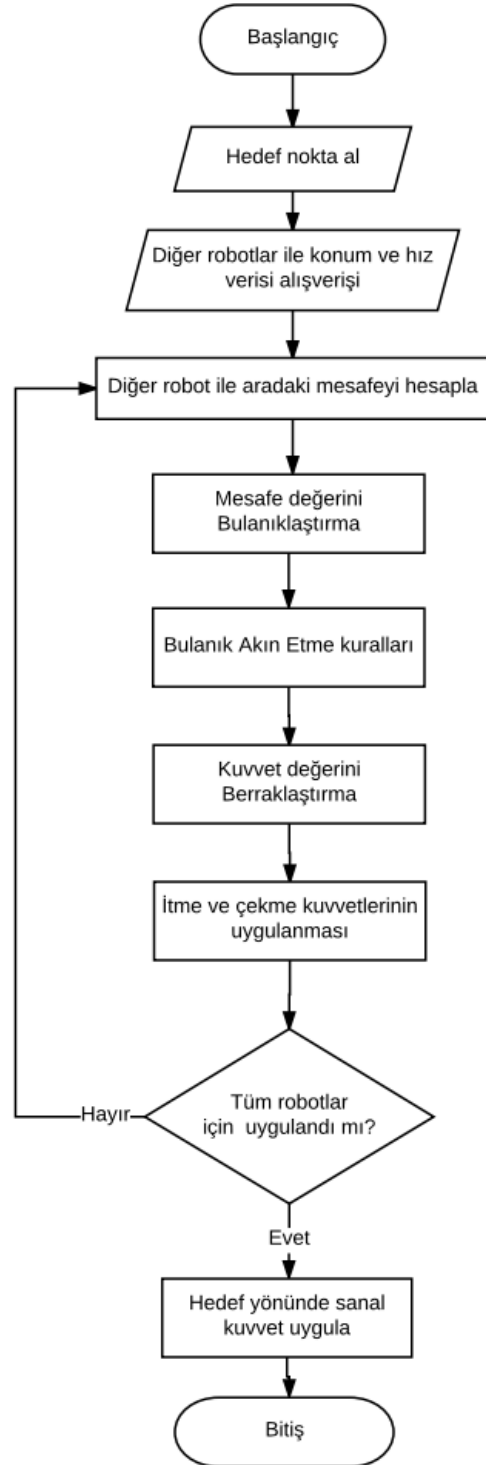
robotlar algılama bölgesi içinde değil ise hesaba katılmaz.

giriş üyelik fonksiyonları olan Ayrılma, Hizalanma ve Birleşme kümeleri Şekil-4’de gösterildiği üzeredir. Çıkışta üretilecek olan itme, çekme ve hedefe gitme kümeleri de üçgen fonksiyon olarak tanımlanmış olup ise Şekil-5’de gösterilmişlerdir. Bulanık mantık kuralları ise Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil Error! No text of specified style in document.. Türetilmiş Boids Algoritması (Derived Boids Algorithm)

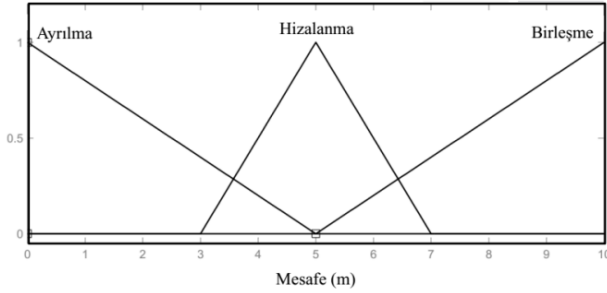
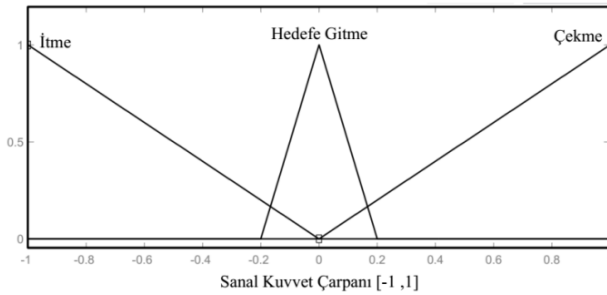
Akın etme algoritmasında tanımlı Boids bölgeleri kesin sınırlardan oluşmaktadır. Boids bölge sınırları robotların hareket yeteneği, sensörlerin algılama mesafesi, kullanıcının istediği sıklık, haberleşme kapsama alanı vb. parametrelere bağlı olarak özelleştirilebilmektedir. Bu bölgelerin kesin çizgiler halinde uygulanması robotlara çok ani kuvvetler uygulanmasına sebep olabilmektedir. Bu durum da özellikle hızlı hareket eden uçan robotlar gibi sistemler için olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Bu sebeple Boids bölgelerinin bulanıklaştırılması ve uygulanan kuvvetin yön ve şiddetinin daha doğal hale çevrilmesi amaçlanarak Şekil-3’deki bulanık akın etme algoritması tasarlanmıştır. Bu algoritmada robotlar arası mesafe değeri öncelikle bulanıklaştırılmaktadır. Bulanıklaştırma aşamasında üyelik fonksiyonları üçgen fonksiyon olarak tanımlanmıştır. Her robotun algılama mesafesi en fazla 10m olarak kabul edilmiştir. Buna göre



Şekil 3. Bulanık Akın Etme Algoritması (Fuzzy Flocking Algorithm)

**Çizelge 1.** Bulanık Akın Etme Kuralları (Fuzzy Flocking Rules)

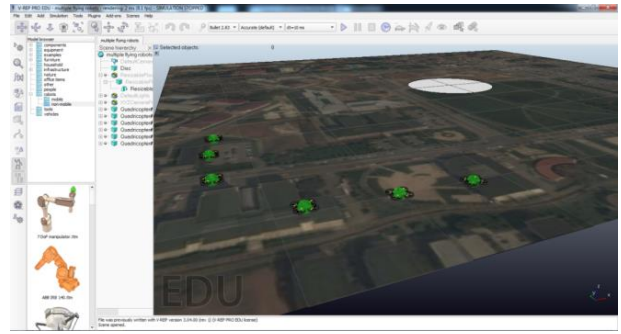
Kural
Eğer Mesafe Ayrılma Kümesinde ise Sanal Kuvvet Çarpanı değeri İtme kümesindedir
Eğer Mesafe Hizalanma Kümesinde ise Sanal Kuvvet Çarpanı Hedefe Gitme kümesindedir.
Eğer Mesafe Birleşme Kümesinde ise Sanal Kuvvet Çarpanı değeri Çekme kümesindedir.

**Şekil 4.** Bulanık Giriş Üyelik Fonksiyonları (Fuzzy Input Membership Functions)**Şekil 5.** Bulanık Çıkış Üyelik Fonksiyonları (Fuzzy Output Membership Functions)

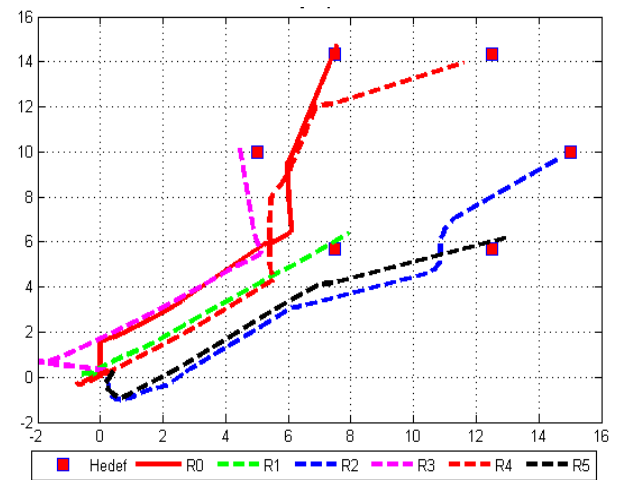
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

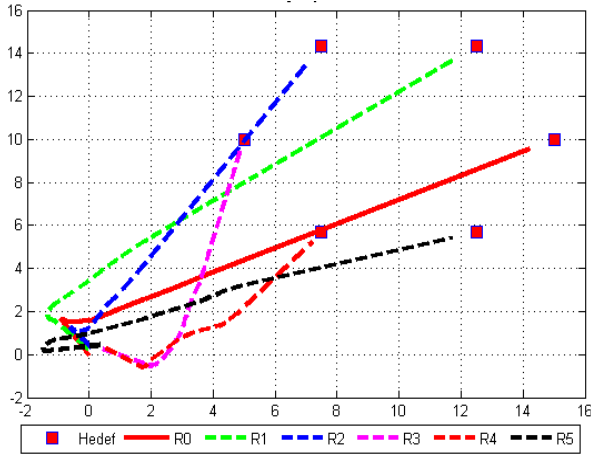
Çoklu robot denetimi uygulaması Şekil 6'da ekran görüntüsü verilen V-REP [23] benzetim ortamında yapılmıştır. Altı robot dört rotorlu hava aracı olarak alta bakan ve ileri yönde bakan kameralar eklenerek modellenmiştir. Robotların çoklu denetimi, konumlandırması ve veri günlüklemesi için Python programlama dili kullanılmıştır. V-REP benzetim programına uzaktan erişim sağlama amacıyla Python-Remote API Kütüphanesi kullanılmıştır. Öznitelik eşleme tabanlı konumlandırma işlemi için ise OpenCV 2.7 kütüphanesinin Python diline uygun kütüphanesi kullanılmıştır. Benzetim uygulamasında uydu fotoğrafı yer deseni olarak kullanılmış ve öznitelik eşleme tabanlı konumlandırma sistemi destek amaçlı kullanılmıştır. Çoklu robot benzetiminde robotların çember şeklindeki bir desen şeklini almak için belirli hedeflere gitmeleri işbirliği ve yarışma olmak üzere iki ana grupta ele alınmıştır. İşbirliği açısından çoklu robot çalışması bireysel, işbirlikli ve bulanık işbirlikli olarak üç şekilde incelenmiştir. Yarışma kısmında ise robotların hedef atamasının en yakın noktaya yarışarak kapması ve

önceden atanmış olması şeklinde iki şekilde incelenmiştir. Bu kısımda verilen çalışmalar sırasıyla bireysel yarışan, bireysel önceden atanmış, işbirlikli yarışan, işbirlikli önceden atanmış, bulanık işbirlikli yarışan ve bulanık işbirlikli önceden atanmış şeklindedir. Son olarak bu uygulamaların haberleşme tekrar sayıları ve işlem tamamlama süreleri verilmiştir.

**Şekil 6.** V-REP Benzetim Ortamı (V-REP Simulation Environment)

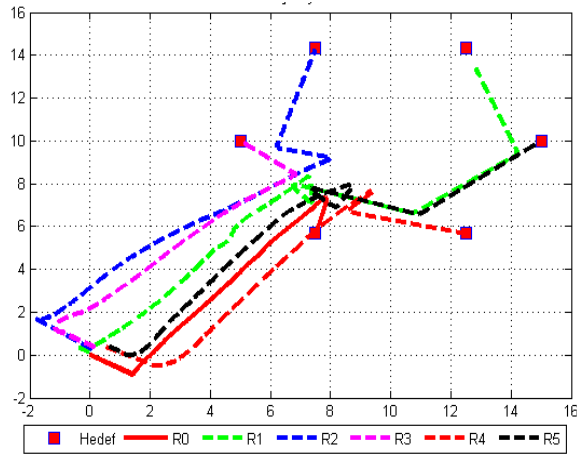
Robotların bireysel olarak çalışması esnasında akın algoritmasının birleşme ve hizalanma kuralları kullanılmadan sadece çarpışma önleme için ayrılma kısmının çalıştırılması ve robotların hedeflere gitmesi gerçekleşmektedir. Robotların bireysel olarak yarışarak hedefe gitme uygulaması sonucu robotların izlediği yollar Şekil 7'de gösterilmiştir. Robotların bireysel olarak önceden atanmış hedefe gitme uygulamasında robotların izlediği yollar Şekil 8'de gösterilmiştir.

**Şekil 7.** Bireysel Robotların Yarışarak Hedeflere Ulaşması (Individual Robots Reaching Goals by Competing)

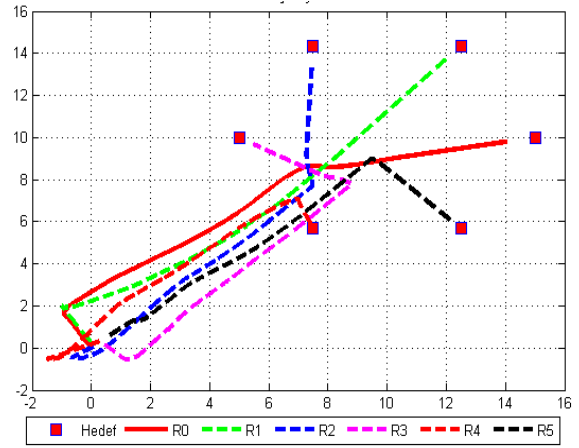


Şekil 8. Bireysel Robotların Önceden Atanmış Hedeflere Ulaşması (Individual Robots to Reach Pre-Assigned Targets)

Robotların işbirlikli olarak çalışması esnasında akın algoritmasının desen merkezine kadar çalıştırılıp daha sonra robotların hedeflere gitmesi gerçekleşmektedir. Robotların işbirlikli olarak yarışarak hedefe gitme uygulaması sonucu robotların izlediği yollar Şekil 9’da gösterilmiştir. Robotların işbirlikli olarak önceden atanmış hedefe gitme uygulamasında robotların izlediği yollar Şekil 10’da gösterilmiştir.

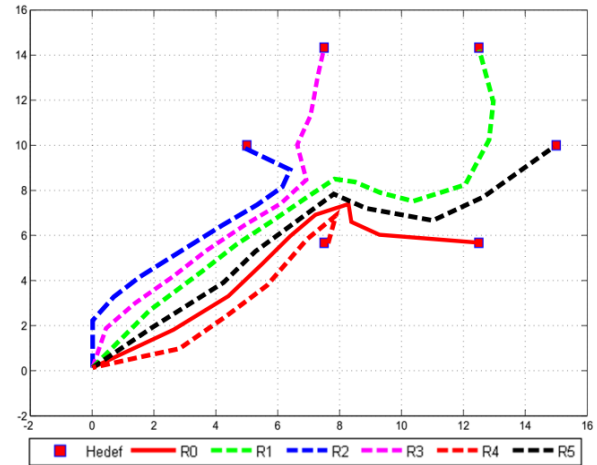


Şekil 9. İşbirlikli Robotların Hedeflere Yarışarak Ulaşması (Cooperative Robots Reach Goals by Competing)



Şekil 10. İşbirlikli Robotların Önceden Atanmış Hedeflere Ulaşması (Cooperative Robots Reach Pre-assigned Targets)

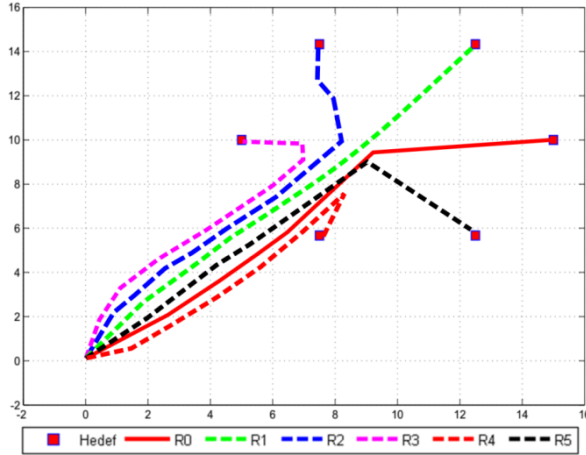
Robotların bulanık akın algoritması ile işbirlikli olarak çalışması esnasında bulanık akın algoritmasının desen merkezine kadar çalıştırılıp daha sonra robotların hedeflere gitmesi gerçekleşmektedir. Robotların bulanık akın algoritması ile işbirlikli olarak yarışarak hedefe gitme uygulaması sonucu robotların izlediği yollar Şekil 11’de gösterilmiştir. Robotların işbirlikli olarak önceden atanmış hedefe gitme uygulamasında robotların izlediği yollar Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 11. Bulanık İşbirlikli Robotların Yarışarak Hedeflere Ulaşması (Fuzzy Cooperative Robots Reach Goals by Competing)

Çizelge 2. Düzen Alma İşleminin Tamamlanması için Haberleşme Tekrar Sayısı ve Geçen Süreler (Communication Iterations and Elapsed Time for Completion of Formation)

Uygulama	Haberleşme Tekrarı	Süre (dk)
Bireysel Yarışmacı	617	5.15
Bireysel Önceden Atanmış	352	2.94
İşbirlikli Yarışmacı	652	5.43
İşbirlikli Önceden Atanmış	295	2.45
Bulanık İşbirlikli Yarışmacı	635	5.30
Bulanık İşbirlikli Önceden Atanmış	270	2.25



Şekil 12. Bulanık İşbirlikli Robotların Yarışarak Hedeflere Ulaşması (Fuzzy Cooperative Robots Reach Pre-assigned Targets)

Robotların düzen alma işlemlerini tamamlama süreleri ve bu sürede yaptıkları haberleşme tekrar sayıları Çizelge 2’de verilmiştir. Buna göre yarışmacı sistemlerin görevi tamamlaması daha uzun sürdüğü görülmektedir. Yarışmacı sistemlerden bireysel uygulama toplamda 5.15 dakika süren 617 tekrar haberleşme kaydı içermektedir. İşbirlikçi yarışmacı sistem ise 652 tekrar haberleşme kaydı içermekte ve toplam 5.43 dakika sürmüştür. Önceden atanmış hedefler çalışan uygulamalarda tamamlama süresi daha kısadır ve bireysel sistem için 352 tekrar haberleşme kaydı içermektedir. Bu uygulamada görev tamamlama 2.94 dakika sürmüştür. İşbirlikçi önceden tanımlı hedeflerle çalışan sistemde görev tamamlama 295 tekrar haberleşme kaydı içermektedir ve toplam 2.45 dakika sürmüştür. Bulanık akın algoritması ile çalışan işbirlikli sistemlerde ise önceden atanmış hedeflerle elde edilen sonuç 270 haberleşme tekrarı ve görev tamamlama süresi 2.25’dk olmuştur. Yarışmacı bulanık işbirlikli çalışma sonucu ise 635 haberleşme tekrarı ve 5,30’dk görev tamamlama süresidir.

## 6. SONUÇ (CONCLUSION)

Çalışma sonucunda birden fazla robotun bireysel, işbirlikli ve bulanık-işbirlikli halde akın etmesi ve düzen alması incelenmiş ve türetilen bulanık-işbirlikli algoritmanın başarımı sınanmıştır. Sınama işlemi için benzetim hazırlanmış olup bu benzetimde robotların bireysel ve kolektif davranışları yarışmacı ve önceden tanımlı olma parametreleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada sırasıyla benzetim ortamında kullanılan robot ve görev algoritmaları sunulmuş olup ardından benzetim sonuçları verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre:

- Yarışmacı sistemler, görev tamamlama süresi ve işlem tekrarı açısından yavaş kalmaktadır.
- Çoklu robot yapılarında toplu halde hareket etmede topluluk içinde yarışma olmaz ise yalnız başına çalışan sistemlerden daha hızlı şekilde düzen deseni içinde dağılım sağlanabilmektedir.

- Çoklu robotlarda daha yüksek performans almak için görev paylaşımı daha önceden sistemde fikir birliği içinde çözülmeli veya kullanıcı tarafından atanmalıdır.
- Bulanık akın algoritması. Boids algoritmasından türetilen akın algoritmasından daha kısa görev tamamlama süresi ve daha az haberleşme tekrarı sağlamaktadır. Bu açıdan bakıldığında tasarlanan bulanık akın algoritmasının başarımı daha yüksektir.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen 2015 FBE031 kodlu “Özdeş Olmayan Bileşenlerden Oluşan Multikopter Yapıları ve Çoklu Yapı Uygulamaları: Sürü Modelleri Tasarımı” adlı doktora tez projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde katkı sağlayan Pamukkale Üniversitesi’ne teşekkür eder.

## KAYNAKLAR(REFERENCES)

- [1] A. Ç. Seçkin, C. Karpuz, and A. Özek, “Feature matching based positioning algorithm for swarm robotics,” *Comput. Electr. Eng.*, (2016).
- [2] L. Bayındır, “A review of swarm robotics tasks,” *Neurocomputing*, 172: 292–321, (2016).
- [3] L. Bayındır and E. Şahin, “A review of studies in swarm robotics,” *Turk. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, 15(2): 15–147, (2007).
- [4] A. Ç. Seçkin, C. Karpuz, and A. Özek, “Sürü Robotiği,” presented at the UBMK’16 - *Uluslararası Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Konferansı*, Tekirdağ Turkey, 414–419, (2016).
- [5] S. Kloder and S. Hutchinson, “Path planning for permutation-invariant multirobot formations,” *Robot. IEEE Trans. On*, 22(4): 650–665, (2006).
- [6] A. I. Mourikis and S. I. Roumeliotis, “Performance analysis of multirobot cooperative localization,” *Robot. IEEE Trans. On*, 22(4): 666–681, (2006).
- [7] G. Vásárhelyi et al., “Outdoor flocking and formation flight with autonomous aerial robots,” *Intelligent Robots and Systems (IROS 2014)*, 3866–3873, (2014).
- [8] G. López-Nicolás, M. Aranda, and C. Sagüés, “Multi-robot Formations: One Homography to Rule Them All,” in *ROBOT2013: First Iberian Robotics Conference: Advances in Robotics*, 1: 703–714, (2014).
- [9] M. Aranda, G. López-Nicolás, C. Sagüés, and Y. Mezouar, “Formation control of mobile robots using multiple aerial cameras,” *IEEE Trans. Robot.*, 31(4): 1064–1071, (2015).
- [10] M. J. Mataric, “Designing emergent behaviors: From local interactions to collective intelligence,” *Second International Conference on Simulation of Adaptive Behavior*, 432–441, (1993).
- [11] C. W. Reynolds, “Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model,” *ACM SIGGRAPH Comput. Graph.*, 21(4): 25–34, (1987).
- [12] C. W. Reynolds, “Steering behaviors for autonomous characters,” *Game developers conference*, 763–782, (1999).



- [13] H. H. Lund and L. Pagliarini, "Robot soccer with LEGO mindstorms", *Robot Soccer World Cup*, 141–151, (1998).
- [14] N. Bouraqadi, A. Doniec, and E. M. de Douai, "Flocking-based multi-robot exploration", *National conference on control architectures of robots*, (2009).
- [15] Ö. Ahmet and M. Sinecen, "klima sistem kontrolünün bulanık mantık ile modellenmesi," *Pamukkale Üniversitesi Mühendis. Bilim. Derg.*, 10(3): 353–358, (2004).
- [16] Ç. Gençer and A. Coşkun, "Robust Speed Control of Permanent Magnet Synchronous Motors Using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System Controllers," *Asian J. Inf. Technol.*, 4(10): 918–919, (2005).
- [17] A. Coşkun and Y. Yılmaz, "Bone Age Assessment with Fuzzy Logic," *RA Journal of Applied Research*, 3(12): 1288-1294, (2017)
- [18] F. Bozkurt, A. Ç. Seçkin, and A. Coşkun, "Integration of IMU Sensor on Low-Cost EEG and Design of Cursor Control System with ANFIS," *Int. J. Eng. Trends Technol.*, 54(3): 162–169, (2017).
- [19] I. L. Bajec, M. Mraz, and N. Zimic, Boids with a fuzzy way of thinking. Anaheim: *ACTA Press*, (2003).
- [20] I. L. Bajec, N. Zimic, and M. Mraz, "Simulating flocks on the wing: the fuzzy approach," *J. Theor. Biol.*, 233(2): 199–220, (2005).
- [21] Z. Wang and D. Gu, "Behaviour based fuzzy flocking systems", *Fuzzy Systems Conference-FUZZ-IEEE 2007*. IEEE International, 1–6, (2007).
- [22] X. Zhong and G. Cao, "Fuzzy boids using a dynamic weighting method based on Gauss circle", *Control Conference (CCC) 35th Chinese*, 7567–7571, (2016).
- [23] E. Rohmer, S. P. Singh, and M. Freese, "V-REP: A versatile and scalable robot simulation framework", *Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 1321–1326, (2013).