

Sürülerin Toplanma Davranışlarında Sosyal Değer Yöneliminin Etkisinin İncelenmesi

Alp Merzi¹, Veysel Gazi², Onur Cihan¹

¹Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Marmara Üniversitesi, İstanbul

{alpmerzi, onur.cihan}@marun.edu.tr

²Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

{vgazi}@yildiz.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada, sürülerin toplanma davranışları üzerinde, sosyal psikolojiden bir ölçüt olan sosyal değer yöneliminin etkisi incelenmiştir. Sürünün etmenlerinin farklı sosyal değer yönelimlerine sahip oldukları varsayılmış, bu farklı yönelimler doğrultusunda etmenler bencil veya fedakar olarak sınıflandırılmışlardır. Gözlemlenen sonuçlar, yapısal olarak aralarında algılayıcı özellikleri haricinde fark olmayan, yani homojen olan bir sürünün, heterojen davranış kalıpları oluşturabileceğini desteklemektedir. Sonuçlar 100 defa tekrarlanan simülasyonların sonuçlarına dayanmaktadır.

Abstract

In this study, the effect of social value orientation, which is a metric from social psychology, on the aggregation behavior of swarms was investigated. It was assumed that the agents of the swarm had different social value orientations, and in according to these different orientations, the agents were classified as selfish or altruistic. Observed results support that a swarm that is structurally homogeneous, with no difference other than sensory features, can form heterogeneous behavior patterns. The results are based on the results of simulations repeated 100 times.

1. Giriş

Sürü davranışları, geçtiğimiz yıllar süresince araştırmacıların ilgisini düzenli olarak çekmektedir. Doğada gözlemlenen sürülerin davranışlarının oldukça ilginç bir olgu olması ve sürü davranışlarının mühendislikte çok çeşitli uygulamalarının olması araştırmacıların ilgilerini sürülere yöneltmelerini açıklamaktadır [1, 2]. Sürülerin mühendislikteki uygulamalarından birkaçı arama kurtarma, gözetleme, hedef yakalama olarak sıralanabilir [3]. Sürü uygulamaları veya sürü davranışlarına dair problemler gittikçe çeşitlense de temel problemler de hala güncelliklerini korumaktadırlar; konsensüs temel problemlerin başında

gelir ve sürülerin toplanma davranışı veya formasyon kontrolü gibi problemleri çözebilmeleri için de incelenmesi gerekir. Ren ve Beard dinamik olarak değişen etkileşim topolojileri ile sınırlı ve güvenilir olmayan bilgi alışverişinin varlığında, birden fazla etmen arasındaki bilgi konsensüsü sorunu ele almıştır [4]. Yönlendirilmiş etkileşim çizgilerinin birleşiminin yeterince sık bir yayılan ağaca sahip olması durumunda konsensüsün asimptotik olarak elde edilebileceğini göstermişlerdir. Moreau ise daha genel bir doğrusal olmayan etkileşim modelini ele almış ve tek yönlü iletişim altında, herhangi bir tekbiçimli sınırlı zaman aralığı için diğer tüm etmenlere bağlı bir etmen varsa (kapsayan ağaç varsayımına eşdeğer [4]) fikir birliğine ulaşılacağını göstermiştir [5]. Çift yönlü iletişim için ise bağlantılılıkta tekbiçimlilik olmadan da aynı şey elde edilmektedir. Toplanma, sosyal avlanma vb. gibi problemler ve bunların stabilite analizleri Gazi ve Passino tarafından etraflıca ele alınmıştır [2]. Bu makalede, aralarındaki ilişki birbirlerine çift yönlü bilgi akışının mümkün olduğu bir çizge ile ifade edilen, etkileşim topolojileri değişken olan ve hareket dinamikleri tek integratörlü bir modelle tanımlanan bir sürüde toplanma problemini ve toplanma davranışına sosyal psikolojiden bir ölçüt olan Sosyal Değer Yöneliminin (SDY, ing: Social Value Orientation) etkisi incelemektedir.

Sürülerin içindeki etmenler çoğunlukla homojen olarak düşünülürler, o şekilde modellenirler ve tasarlanırlar. Bir bakıma bu homojenliğin sürülerin doğasında olduğu düşünülebilir. Bu düşününceye katılmakla beraber, eklemeler yapmak mümkündür. Fiziksel açıdan bir kuş sürüsündeki kuşlar, balık sürüsündeki balıklar, veya mekanik olarak bir İHA sürüsündeki İHA'lar arasında fark olmayabilir, ancak bu homojenlik, davranışsal bakımdan da aralarında bir fark olmayacağı anlamına gelmez. Fiziksel veya mekanik olarak homojen olan bir sürünün heterojen davranışlar göstermesi mümkündür. Bu görüşümüzü desteklemek açısından SDY'yi bir parametre olarak sürüde toplanma davranışının ortaya çıkmasını sağlayan kontrol algoritmasına eklemeye karar verdik.

Literatürde heterojen sürülerin homojen sürülerden farklılıkları ve fiziksel olarak homojen sürülerin davranışsal olarak heterojenlik göstermesi işlenmiştir [6, 7]. Fiziksel olarak homojen sürülerde davranışsal heterojenlik etmenlerin görevler ara-

sında gidip gelebilmelerine de müsaade etmektedir. Sıklıkla görev değişimine izin verilen sürülerde genelde farklı iş yüklerini ve çevre koşullarına kolaylıkla uyumlanılabildiği tespit edilmiştir [7, 8]. Bu duruma doğadan örnek vermek gerekirse bal arıları ele alınabilir. Bal arılarının polietizmi yani bir arının yaşamında farklı zamanlarda farklı görevler üstlenmesi, heterojen davranışlar kavramı olarak yorumlanabilir [9]. Bu heterojen davranışları SDY yardımıyla göstermek ise bildiğimiz üzere daha önce uygulanmamıştır.

SDY, sosyal ikilemlerde bireyin kendisine verdiği ödül ile topluma verdiği ödülü nasıl ağırlıklandırıldığını ölçmeye yarayan bir metriktir [10]. Sosyal psikolojide bir çember içindeki açı ile temsil edilir [11, 12]. Bu metriği bir parametreye atayıp, bir aralıkta temsil etmek istersek, $(0, 1]$ aralığını kullanabiliriz. Değer küçüldükçe birey bencilleşir, değer büyüdükçe de fedakarlaşır. Bu metriğin, arkasındaki fikirden sapmadan uygulanmasını sayısız yolu olabilir. Mesela [10]'da yazarlar sürünün etmenlerinin hareket edebildikleri alanları Voronoi hücreleri ile belirlemiş ve hücrelerinin büyüklüklerini de SDY ile ağırlıklandırmıştır. Daha bencil etmenler daha geniş Voronoi hücrelerine sahip olup, her bir iterasyonda daha çok alanı gezmek imkanına sahipken, daha az bencil olan etmenler hareket edebilecekleri daha küçük bir alana sahip olmuşlardır. SDY [13]'de eliptik bir alan içerisinde kalmak suretiyle hedefi çevreleyen bir sürüde, sürü etmenlerinin daha agresif veya daha sakin bir şekilde hareket etmelerini sağlamıştır. [14]'te SDY otonom araçların tasarımına entegre edilmiştir. Bir etmenin bencillik veya fedakarlık derecesi ölçülmüş ve sürücü davranışının daha iyi tahmin edilmesi sağlanmıştır. Biz ise sürünün toplanma davranışı esnasında bencil olarak tanımladığımız etmenlerin bir başkasının yanına giderek toplanmaya isteksiz, fedakar olarak tanımladığımız etmenlerin ise oldukça istekli olacağını varsaydık. Bencil etmenler bir başka etmenin yanına yaklaşmak için çaba göstermeye isteksiz olmakla beraber bir başkasının kendi yanlarına yaklaşmasına ise itiraz etmiyorlar. Buna ek olarak, etmenlerin algılamak için iki farklı tip algılayıcıya sahip olacağını varsaydık. Sürüler göz önünde bulundurulduğunda balıklar iki tip duyu organına sahip olunabilmesi açısından isabetli bir örnektir. Balık sürüleri sürü içerisindeki pozisyonlarını belirlerken gözlerinden faydalandıkları gibi yanal çizgi organı olarak adlandırılan ve sudaki titreşimleri, akıntıları ve basınç farklarını algılayan bir organa da sahiptirler. Balıklar üzerinde yapılan deneylerde gözlerinden görmeleri engellendiğinde dahi sürü içerisindeki uyumun kaybolmadığı tespit edilmiştir [15]. Bu bilgilerin ışığında, bencil olarak tanımlanan etmenlerin bir başka etmene doğru kuvvetli bir şekilde çekilmeye başlayacakları mesafelerin bencillikleri arttıkça azalacağı varsayılmıştır. Bir başka algılayıcı ise kısa mesafede çarpışma önleyici olarak görev yapıp, çok uzun mesafelerde ise yalnızca sürüden kopmamayı sağlayacak kadar bir çekme kuvveti yaratmaktadır. Bu ikinci algılayıcının karakterlerden ve mesafelerden bağımsız olarak devamlı çalışacağı varsayılmıştır. Bu taktirde, sürü rastgele başlangıç pozisyonlarında harekete başladığında, bazı bencil etmenlerin sürünün kalanına doğru diğerleri kadar kuvvetli bir şekilde çekilemiyor olması ihtimalini göz önünde bulundurulmuş, hatta bunun olması için başlangıç koşulları özel olarak ayarlanmıştır.

Simülasyonlar sonucunda kontrol algoritması dikkatli bir şekilde tasarlandığında toplanma davranışının her türden sosyal değer yönelimine sahip etmenin olduğu bir sürüde sağlan-

dığı empirik olarak tecrübe edilmiştir. Farklı karakterler, ve onların farklı itme çekme kuvvetleri yaratması, etmenlerin toplanma davranışını sergilerken rastgele bir biçimde davranmasının önüne geçmiş ve bencil olanlar en merkezde -bir nevi sürü lideri veya korunması gereken bir hedemis gibi- diğerleri ise bencilliklerinin azalması doğrultusunda gitgide dış çeperlerde olmak üzere toplanma davranışının gerçekleştirilmesini sağlamıştır.

Simülasyonlar davranışsal incelemelere yoğunlaşmak amacıyla tek integratörlü bir model ele alınarak yapılmıştır. Tek integratörlü model basit olmasına rağmen bu model için elde edilen sonuçlar model belirsizliklerine sahip etmenler gibi belirli dinamiklere sahip etmenlerden oluşan sürülere kolayca uygulanabilir. Aslında tek integratörün avantajı modelin genel olması ve belirli bir etmene ait dinamikten bağımsız olmasıdır. Bu açıdan belirli dinamiklere sahip etmenlerin oluşturduğu bir sistem için referans gezinge olarak hizmet edebilir.

Bildirinin geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir; bölüm 2 problemin uygulanacağı modeli tanımlar, SDY'nin etkisi altında toplanma problemini tanımlar, bildirinin takip edilebilmesi için gerekli bazı ön bilgileri ve notasyonları okuyucuya sunar. Bölüm 3 problemin çözümünü okuyucuya sunar, kontrol algoritmasını tanımlar ve açıklar. Bölüm 4 ilgili MATLAB simülasyonlarını okuyucu ile paylaşır. Bölüm 5 sonuçlar üzerine tartışır ve gelecekte araştırmanın izleyebileceği yollar ile ilgili öngörülerde bulunur.

2. Problem Formülasyonu

Düşünelim ki, n tane etmeden oluşan bir sürü $d > 2$ boyutlu bir Öklid uzayında hareket halindedir. Sürünün hareketleri

$$\dot{x}_i(t) = u_i(t), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

denklenime göre belirlensin. Denklemde, $x_i(t) \in \mathbb{R}^d$ inci etmenin pozisyonunu, $\dot{x}_i(t) \in \mathbb{R}^d$ ise inci etmenin hızını belirtsin. Kontrol girdisini ise $u_i(t) \in \mathbb{R}^d$ temsil etsin. Varsayalım ki, tüm etmenler bir araya toplanma davranışını göstermelidir. Etmenler, algılayabildikleri etmenler ile aralarındaki mesafeyi kesin olarak bilmektedirler. Her bir etmen için algılama uzaklığı

$$r_i = r\xi_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

ile belirlenir. ξ_i , $(0, 1]$ aralığındadır ve ilgili etmenin SDY'sini belirleyen parametredir, r ise önceden belirlenen sabit bir sayıdır. Bu algılama mesafesi iki sensör için farklıdır. Kuvvetli bir çekilmeye neden olan sensör için bu algılama mesafesi geçerliken, çok uzun mesafelerde sürünün dağılmasını sağlamak için hafif bir çekme kuvveti sağlayan sensör için algılama mesafesi sonsuz olarak varsayılmıştır. Sürünün etmenleri arasındaki bilgi akışı yönlü çizge $\mathcal{G} = (\mathcal{V}, \mathcal{E})$ ile belirlenir. Yönlü çizge, bir düğümler kümesi $\mathcal{V} = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ ve bir kenarlar kümesinden $\mathcal{E} \subseteq \mathcal{V} \times \mathcal{V}$ oluşur, eşler arasında haberleşme bağlantılarını temsil eder [16].

Yönlü bir kenar, \mathcal{G} çizgesindeki etmenler arasında tek yönlü bir bilgi alışverişini gösterir ve (v_i, v_j) şeklinde ifade edilir. Yani, j , i den bilgi alabilmektedir ama i , j den almak zorunda değildir. Bu durumda j , i nin komşuluğunda bulunur. j etmenine bilgi akışının sağlanması için, j etmeninin algılama mesafesinde en azından bir tane i etmeninin bulunması gerekir.

Her etmen kuvvetli bir şekilde çekilebilmek için, yalnızca algılama mesafesindeki etmenlerden bilgi alabilir. Yani bu etmenlerin komşusudur. Bilgi almak, komşuluktaki etmen ile kendisi arasındaki mesafenin net olarak bilinmesi/ölçülmüş olması anlamına gelir.

Ölçülen mesafe d_{ij} olarak ifade edilir. Toplanma davranışının gerçekleşebilmesi için her etmen, tüm komşuları ile arasında ölçtüğü mesafeyi minimize etmelidir. Bu mesafe hata olarak kabul edilir

$$d_{ij}(t) = x_i(t) - x_j(t), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

şeklinde tanımlanır. Problemin koşulları ve resmi tanımı şu şekilde yapılabilir.

Problem: Heterojen davranışlar gösteren bir sürüde toplanma davranışı (HDGSTD). n etmeden oluşan ve (1)'de verilen dinamik ile hareket eden bir sürü düşünelim. Her bir etmen $(0, 1]$ aralığında bir SDY'ye sahiptir ve etmenler arasında kuvvetli bir çekiminin olduğu komşuluk (2) ile belirlenir. Tüm etmenlerin hareket başladıktan belirli bir süre sonra toplanma davranışını göstermeleri için, kontrol girdisi $u_i(t) \in \mathbb{R}^d$, $i = 1, 2, \dots, n$ belirlenmelidir.

3. Sürü Modeli

HDGSTD probleminin çözülebilmesi için her bir etmenin kontrol protokolü

$$u_i(t) = h_i(t)d_{ij} + \sum_{j \in N_i(t)} -\alpha \frac{d_{ij}(t)}{\xi_j^2} - px_i, \quad (4)$$

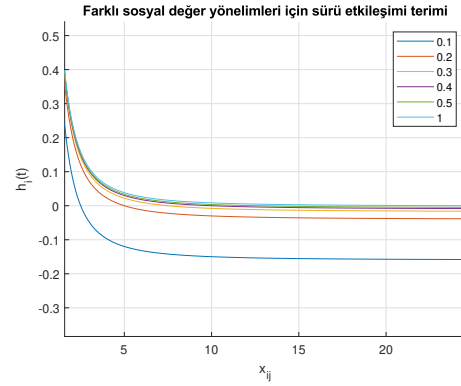
$$i = 1, 2, \dots, n. \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

şeklinde seçilmelidir. $j \in N_i(t)$, i etmeninin komşusu olduğu, yani algılayabildiği tüm j etmenlerini ifade eder. $\alpha \in \mathbb{R}^+$ sonradan belirlenecek sabit bir kontrolcü parametresidir. $-px_i$ etmenin dengeye ulaşmasına yardımcı olacak bir terimdir, aynı zamanda tüm etmenleri orijine doğru yönlendirmektedir, ancak yokluğunda da sürü toplanma davranışını başarıyla gerçekleştirir. Sürünün en sonunda durur hale gelebilmesi için bu terim eklenmiştir. p pozitif bir sayıdır, büyüdükçe terimin kontrolcüdeki diğer terimlere daha baskın gelip, etmenlerin merkeze doğru daha hızlı yakınsamasına neden olur. Bu terimin aynı zamanda sürünün yakınsayacağı bir hedef olması karakterlerin daha anlamlı hale gelmesine de yardımcı olmaktadır. Bencil karakterler hedef ile aralarındaki mesafeyi minimize ederken, daha fedakar olanlar hedefe olan uzaklıklarından ödün vermek mecburiyetinde kalmışlardır. $h_i(t)$ terimi sürü içi etkileşim terimi olarak adlandırdığımız ve kısa mesafede etmenlerin birbirlerine çarpmalarını önlemek, $r\xi_i$ 'den büyük mesafelerde ise çok ufak bir çekme kuvveti uygulamak amacıyla eklenmiş bir terimdir ve

$$h_i(t) = \sum_{j=1,2,\dots,n} \frac{1}{\|d_{ij}\|^2 + \epsilon} - \frac{1}{(r\xi_i)^2 + \epsilon} \quad (5)$$

olarak belirlenmiştir. $\|d_{ij}\|$ i ile j etmeni arasındaki mesafenin normudur. ϵ ise $\frac{1}{0}$ belirsizliğinden kaçınmak için eklenmiş çok ufak bir sayıdır. Simülasyonlarda $\epsilon = 0.01$ olarak alınmıştır. $(r\xi_i)^2$ kısa mesafede çok bir değişikliğe yol açmazken, $d_{ij} > r\xi_i$ iken farklı karakterlerde farklı seviyelerde olmak üzere hafif

bir çekme kuvveti uygulamaktadır. Terimin uyguladığı kuvvet Şekil 1'de görülebilir. x_{ij} olarak isimlendirilen yatay eksen iki etmen arasındaki mesafeyi belirtmektedir.



Şekil 1: $h_i(t)$ 'nin uzak mesafede uyguladığı çekme kuvveti.

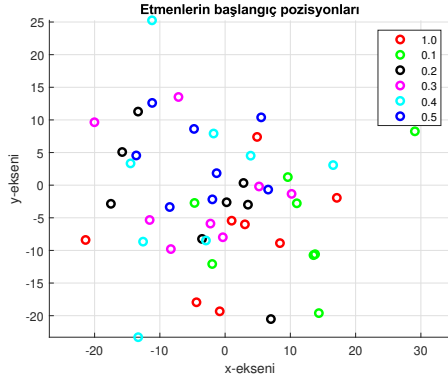
4. Simulasyonlar

Bu bölümdeki simulasyonlar (4)'te önerilen algoritmanın HDGSTD problemini başarılı bir şekilde çözdüğünü istatistiki açıdan göstermek amacıyla 100 defa, etmenler her seferinde rastgele pozisyonlardan, durgun halde başlatılarak yapılmıştır. Bunun yanında çeşitli davranışsal farklılıkların gözlemlenebilmesi için farklı α parametreleri de denenmiştir. Tüm simulasyonlarda $n = 48$ olarak alınmıştır. Bencillik-fedakarlık spektrumunu detaylı olarak gözlemleyebilmek için, $\xi_i = 1.0$ ($i = 1, \dots, 8$), $\xi_i = 0.1$ ($i = 9, \dots, 16$), $\xi_i = 0.2$ ($i = 17, \dots, 24$), $\xi_i = 0.3$ ($i = 25, \dots, 32$), $\xi_i = 0.4$ ($i = 33, \dots, 40$), $\xi_i = 0.5$ ($i = 41, \dots, 48$) olarak seçilmiştir.

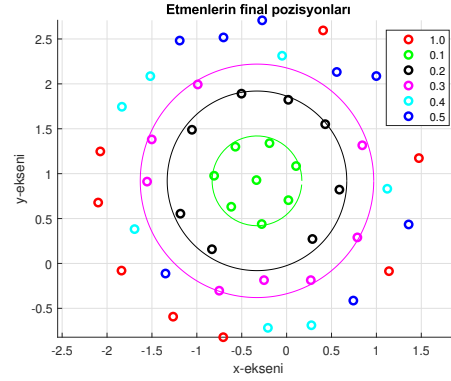
4.1. Kontrol algoritmasının HDGSTD problemini çözdüğünü istatistiki olarak gösterilmesi

Her simülasyonda, etmenlerin başlangıç pozisyonları rastgele olarak belirlenmiştir. Bu rastgelelik için standart normal dağılım(SND) kullanılmıştır. SND 10 ile ölçeklenerek etmenlerin daha geniş bir alana yayılmaları sağlanmıştır. SND, MATLAB'da `randn` komutuyla çağırılabilir. Her etmenin x pozisyonu $x = 10 * randn$, y pozisyonu ise $y = 10 * randn$ şeklinde tanımlanmıştır. Etmenlerin etkin algılama mesafesi (2) ile belirlenmiştir, $r = 25$ seçilmiştir. Bu sayede, en bencil etmenler (4)'de tanımlanan çekme kuvvetini yalnızca 2.5 metreden itibaren uygulayabilmişlerdir. Bu da neredeyse, hareketin başında başka hiçbir etmeni kuvvetli bir şekilde çekemedikleri anlamına gelir. Bunun yanı sıra, en yüksek efektif algılama mesafesine sahip fedakar etmenler de, rastgele başlangıç pozisyonları seçilirken SND'nin 10 ile ölçeklenmesinden dolayı, tüm etmenleri çekemiyor olabilirler. $\alpha = 0.01$ alınmıştır. Şekil 2'de 100 iterasyon arasında rastgele seçilmiş bir tanesinde, etmenlerin başlangıç pozisyonları incelenebilir.

Görüldüğü üzere, sürü y eksenı boyunca 35 metre civarında, x eksenı boyunca da 50 metre civarında geniş bir alana yayılmıştır. Lejandda görülen sayılar, etmenlerin ξ_i değerleridir. Şekil 3'de ise etmenlerin yönlü çizgeye göre başlangıçtaki kom-

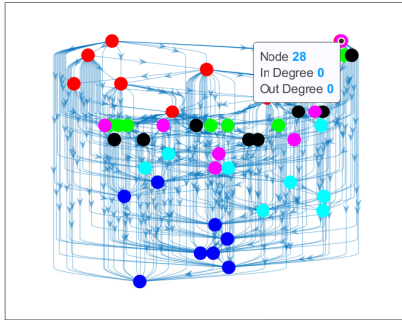


Şekil 2: Etmenlerin başlangıç pozisyonları



Şekil 4: Etmenlerin final pozisyonları

şulukları görülebilir. 47 tane etmen bağlı bir grup oluştururken, 1 tanesi (28 numaralı etmen) ise gruptan tamamen kopuktur. Dikkat etmek gerekir ki, bu kopukluk, aralarında kuvvetli bir çekme kuvvetinin olup olmamasına istinaden bir kopukluktur. Her halukarda, aralarında sürü etkileşimi teriminden kaynaklanan bir bilgi akışı mevcuttur. Bundan dolayı sürü her zaman için güçlü bağlı çizgeye sahiptir.

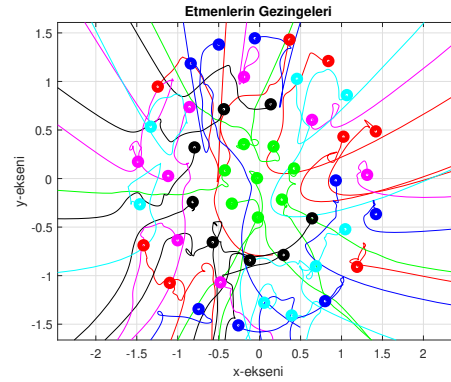


Şekil 3: Etmenlerin yönlü çizgeye göre başlangıçtaki komşulukları

25 saniye boyunca süren simülasyon sonucunda ise final pozisyonları 4 numaralı şekilde görülebilir.

Açıkça görüldüğü üzere, tüm etmenler toplanma davranışına katılmış, sürü toplanma davranışını gerçekleştirmiştir. Başlangıçta gruptan kopuk olan etmen de sürünün toplanma davranışına dahil olmuştur. Sürü x ekseninde boyunca 3 metre civarında, y ekseninde boyunca ise yine 3 metre civarında dar bir alanda toplanmıştır. Bu şekilde gözlemlenebilecek bir başka sonuç ise, karakterlerin kendilerine has itme çekme kuvvetlerinin oluşturduğu dengeler neticesinde, bencil etmenlerin sürünün merkezinde toplanmış olmalarıdır, ξ_i büyüdükçe, yani etmenler daha fedakar oldukça toplanılan alanın dışlarına doğru konumlanmaya başlamışlardır. Bu sonuç ile, karakterler daha anlamlı hale gelmiş, bencil olanlar kararlı halde hedefle aralarındaki mesafeyi minimize ederken, fedakar etmenler, hedeflerinden ödün vermek zorunda kalmışlardır. Toplanma davranışının gerçekleş-

tiği, pozisyonlardan görülebilmemesinin yanısıra şekil 6' teki komşuluk ilişkilerinden de anlaşılabilir. Ayrıca şekil 5' de etmenlerin $t = 1s$ ile $t = 10s$ arasındaki gezinmeleri görülebilir.

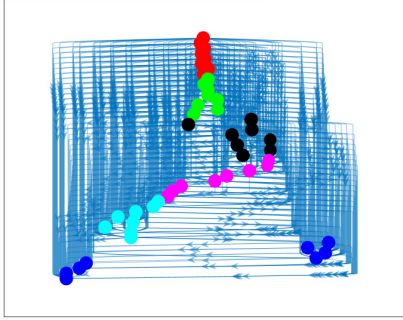


Şekil 5: Etmenlerin izledikleri gezinmeler. Karışıklığı aza indirmek açısından, merkeze toplandıktan sonraki gezinmeleri gösterilmiştir ($t > 1s$)

Toplanma davranışının gerçekleşmiş olmasına ek olarak, sürü rastgele bir şekilde toplanmamıştır. Farklı SDY 'lerin itme ve çekme kuvvetlerine etkilerinin farklı olmasından, bir nevi karakterlerini yansıtılmalarından ötürü, sürünün çekirdeğine $\xi_i = 0.1$ olan etmenler yerleşmiş, bir dış çeperde ise $\xi_i = 0.2$ olan etmenler içeridekileri çevrelemiştir. Bu örüntünün, daha büyük ξ_i 'ye sahip etmenlerin sayısı daha çok olması durumunda, dış çepere doğru devam edeceği devam edeceği anlaşılmaktadır.

Açıklama 1: Bu davranış istenirse farklı şekillerde yorumlanıp, farklı senaryolarda da uygulanabilir. Örneğin, bencil olarak nitelendirdiğimiz etmenlerin, sürünün korunması gereken etmenler olarak tanımlandığı bir durumda, bu problem mevcut kontrol yöntemiyle çözülebilir. Çünkü tüm simülasyonlarımızda, $\xi = 0.1$ olan etmenler sürünün çekirdeğine yerleşmiş, diğer etmenlerin dışbükey zarfında yer almaktadır. 4'a bakılırsa, bu dışbükey zarflar, çemberlere benzetilmiş bir şekilde görülebilir. Korunacak hedef olarak kabul edildikleri takdirde, HDGSTD problemi çevrelenme ve koruma problemi olarak yeniden dü-

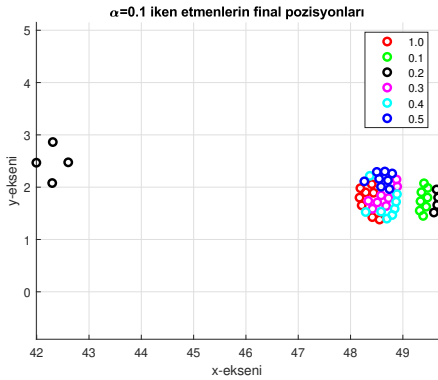
zenlenerek bu şekilde çözülebilir.



Şekil 6: Etmenlerin yönlü çizgeye göre finaldeki komşulukları

4.2. α parametresinin sürünün davranışına etkisi

α parametresi (4)'te tanımlanan kontrol protokolünün (5)'te tanımlanan çarpışma önleyici teriminin etkisinin öne çıkmasını sağlamaktadır. ξ_i^2 ikinci dereceden bir terim olduğundan, bencil etmenlerin fedakarlar üzerinde uyguladığı kuvvet çok büyük olmaktadır. Bu da, α 'nın büyük olduğu durumlarda, $h_i(t)$ 'nin etkisinin ihmal edilebilir olmasına yol açmaktadır. Yani α parametresi çekme kuvvetini sönmülemek ve itme-çekme kuvvetlerinin dengeli olmasını sağlamak açısından eklenmiş bir parametredir. $\alpha = 0.1$ olduğunda, toplanma hareketi yine gözlemlenir ancak Şekil 4'te görüldüğü gibi nizami bir toplanmadan ziyade Şekil 7'de görülebileceği üzere



Şekil 7: $\alpha = 0.1$ iken etmenlerin $t=75s$ civarındaki pozisyonları

birbirinden ayrı, ancak kendi içlerinde daha sıkı bir vaziyette toplanmış farklı gruplara yol açmaktadır. $\alpha = 0.1$ olduğu durumda ise, çarpışma önleyici terim ihmal edilebilir hale geldiğinden, etmenler birbirleri üzerinde toplanabilmektedirler.

5. Sonuçlar

Bu makalede, doğadaki sürülerde sıklıkla gözlemlenen ve yapay sürülerin hareketlerinin kontrolünde temel problemlerden

biri olan toplanma davranışına, sosyal psikolojiden bir ölçüt olan sosyal değer yöneliminin etkisi incelenmiştir. Varılan sonuç, bu etkinin, etmenlerinin fiziksel/mekanik özelliklerinin aynı olduğu, bir başka deyişle homojen olduğu sürülerde, heterojen davranış kalıplarına yol açabileceğidir. Sosyal değer yönelimi, sürülere uygulanırken temel psikoloji kaynaklardaki tanımına daha uygun bir şekilde formüle edilebilir ve etkisinin daha çarpıcı bir şekilde ortaya çıkacağı senaryolar/problemler düşünülebilir. Bu makalede, bildiğimiz üzere bu fikir ilk defa işlenmiş homojen robotların heterojen davranışlar sergileyebileceği, bunu da farklı karakter özelliklerinden faydalanarak yapabilecekleri gösterilmiştir. Karakterlerin yorumlanmasına veya probleme/senaryoya göre bu makalede bencil olarak tanımlanan karakterler lider, fedakar olarak tanımlanan karakterler ise takipçi rolü üstlenebilirler. İlerideki çalışmalar, problemlerdeki kısıtların sıkılaştırılmasını, mesela algılayıcı tipinin ikiden bire düşmesini ve homojenlik/heterojenlik tanımının daha da katı olmasını içerebilir. Önemli bir adım, sürü etkileşimi terimi olarak belirttiğimiz terimin değiştirilmesi olacaktır. Bu terim, kısa mesafede çarpışma önleyici bir etkiye sahipse de, uzun mesafelerde sürünün dağılmasını engellemektedir. Kontrol algoritmasının daha dikkatli bir şekilde ayarlanması, SDY'nin daha yaratıcı bir şekilde algoritmaya dahil edilmesi, bu uzun mesafedeki çekme kuvvetine gerek kalmaksızın sürünün toplanma davranışını gerçekleştirmesini sağlayabilir. Yani başlangıçta güçlü bağlı çizgeye sahip olmayan, kopuk olan bir sürünün, toplanma davranışını gerçekleştireceği görülebilir. Bundan sonraki hedef; tek tip algılayıcının olduğu ve başlangıçta kopuk olan bir sürüde, problemin analitik olarak incelenmesi ve istatistiki çalışmanın ötesinde, Lyapunov fonksiyonları gibi matematiksel araçlar kullanılarak, sosyal değer yöneliminin yarattığı farklı karakter özelliklerinden dolayı, heterojen davranışlar sergileyen bir sürünün belirli bir zaman içerisinde toplanma davranışını sergileyeceğini kanıtlamaktır. α parametresi büyüdüğü taktirde hareketin sürünün birden fazla gruba ayrıldığına 4.2 bölümünde değinilmiştir. Sürünün tek bir gruba toplanması için α 'nın içinde bulunması gereken sınırlar, analitik çalışma sonucunda belirlenebilir. Bir başka çalışma ise başlangıç koşullarından yola çıkarak, sosyal değer yöneliminden kaynaklanan farklı karakterlerin toplanma davranışı sonucunda kararlı halde oluşacak grup sayısına nasıl bir etki ettiğini bulmak, karakter farklılıklarından ve başlangıç koşullarından yola çıkarak, kararlı halde kaç farklı grup oluşacağını kesin olarak biliniyor bilinemeyeceğini kanıtlamaktır. Etmenler arasında ilişki statik olduğu zaman kararlı halde oluşacak grup sayısı üzerine [16]'de çalışmalar yapılmıştır. Ancak etmenler arasında yapay potansiyel fonksiyonlardan kaynaklanan itme-çekme kuvvetlerinin bulunduğu bir senaryo, yani ilişkinin dinamik olduğu, kuvvetlerin her an değişebileceği bir senaryo üzerine bir çalışma bildiğimiz üzere yapılmamıştır. Bu çalışma, SDY'nin etmenlere farklı karakterler katması olgusuyla birleştirilerek incelenebilir.

Tüm bunlara ek olarak, hedefi yakalamak ve çevrelemek çok etmenli sistemlerin ilgilendiği önemli problemlerden birisidir. SDY ve itme çekme kuvvetleri kullanılarak, sürünün belirli SDY'ye sahip etmenleri çevreleyecek şekilde formasyonlar oluşturması mümkün gözükmektedir. Bu konu detaylı bir şekilde incelenip, analitik çalışması yapılabilir.

Son olarak, SDY şu ana kadar statik olarak düşünülmüştür, dinamik SDY ile de çalışmalar yapmak, karakterler arası geçiş-

lerin sürüye etkisini incelemek de araştırmannın alabileceği olası bir yoldur.

6. Kaynakça

- [1] Wei Ren and Yongcan Cao, *Distributed coordination of multi-agent networks: emergent problems, models, and issues*, vol. 1, Springer, 2011.
- [2] Veysel Gazi and Kevin M Passino, *Swarm stability and optimization*, Springer Science & Business Media, 2011.
- [3] Cyril Robin and Simon Lacroix, “Multi-robot target detection and tracking: taxonomy and survey,” *Autonomous Robots*, vol. 40, pp. 729–760, 2016.
- [4] Wei Ren and Randal W Beard, “Consensus seeking in multiagent systems under dynamically changing interaction topologies,” *IEEE Transactions on automatic control*, vol. 50, no. 5, pp. 655–661, 2005.
- [5] Luc Moreau, “Stability of multiagent systems with time-dependent communication links,” *IEEE Transactions on automatic control*, vol. 50, no. 2, pp. 169–182, 2005.
- [6] Daniela Kengyel, Heiko Hamann, Payam Zahadat, Gerald Radspieler, Franz Wotawa, and Thomas Schmickl, “Potential of heterogeneity in collective behaviors: A case study on heterogeneous swarms,” in *PRIMA 2015: Principles and Practice of Multi-Agent Systems: 18th International Conference, Bertinoro, Italy, October 26-30, 2015, Proceedings 13*. Springer, 2015, pp. 201–217.
- [7] Spring Berman, Adám Halász, M Ani Hsieh, and Vijay Kumar, “Optimized stochastic policies for task allocation in swarms of robots,” *IEEE transactions on robotics*, vol. 25, no. 4, pp. 927–937, 2009.
- [8] Thomas H Labella, Marco Dorigo, and Jean-Louis Deneubourg, “Division of labor in a group of robots inspired by ants’ foraging behavior,” *ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems (TAAS)*, vol. 1, no. 1, pp. 4–25, 2006.
- [9] Thomas D Seeley, “Adaptive significance of the age polyethism schedule in honeybee colonies,” *Behavioral ecology and sociobiology*, vol. 11, pp. 287–293, 1982.
- [10] Alyssa Pierson, Wilko Schwarting, Sertac Karaman, and Daniela Rus, “Weighted buffered voronoi cells for distributed semi-cooperative behavior,” in *2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2020, pp. 5611–5617.
- [11] Wim BG Liebrand, “The effect of social motives, communication and group size on behaviour in an n-person multi-stage mixed-motive game,” *European journal of social psychology*, vol. 14, no. 3, pp. 239–264, 1984.
- [12] Ryan O Murphy, Kurt A Ackermann, and Michel Handgraaf, “Measuring social value orientation,” *Judgment and Decision making*, vol. 6, no. 8, pp. 771–781, 2011.
- [13] M.A. Merzi, V. Gazi, G. Fedele, and L. D’Alfonso, “Target capturing in an ellipsoidal region with a swarm of quadcopter agents with different social value orientation parameters,” *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, to appear.
- [14] Wilko Schwarting, Alyssa Pierson, Javier Alonso-Mora, Sertac Karaman, and Daniela Rus, “Social behavior for autonomous vehicles,” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 116, no. 50, pp. 24972–24978, 2019.
- [15] Brian L Partridge and Tony J Pitcher, “The sensory basis of fish schools: relative roles of lateral line and vision,” *Journal of comparative physiology*, vol. 135, pp. 315–325, 1980.
- [16] Ö Feyza Erkan, Onur Cihan, and Mehmet Akar, “Analysis of distributed consensus protocols with multi-equilibria under time-delays,” *Journal of the Franklin Institute*, vol. 355, no. 1, pp. 332–360, 2018.