



T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

150278

BİRİMSEL KATKI ANALİZİ YAKLAŞIMIYLA
PLANAR ROBOT KONTROLÜ

150278

İnanç TAHRALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç.Dr.E. Murat ESİN

GEBZE

2004



İnanç TAHRALI'nın tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 12-01-2004 tarih ve 2004-2 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE : Doç. Dr. E. Murat ESİN
(Tez Danışmanı)

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Erdoğan SEVİNGEN

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Erkan ZERGEROĞLU

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...12.01.2004... tarih ve ...2004/2... sayılı kararı.

Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇAPOĞLU
GYTE Mühendislik ve Fen Bil.
Enstitüsü Müdür Yardımcısı

ÖZET

Kendi karar mekanizmalarına sahip, dolayısıyla otonom davranma eğiliminde olan birimlerden oluşan sosyal sistemlerin modellenmesinde, geleneksel kontrol modellerinin kullanılması çok başarılı olamamaktadır. Bu nedenle sosyal sistemlerin kendi doğasında modellenerek incelenmesi son yıllarda önemli araştırma konuları arasında yer almaktadır.

İlerleyen çalışmalar göstermiştir ki, sosyal davranışların daha iyi anlaşılması, katı mekanizmalar halinde düşünülen mühendislik sistemlerinin kontrolü için de yeni yaklaşımlar sunmaktadır.

Bu çerçevedeki yaklaşımlardan birisi de, karar verme yeteneğine sahip otonom ve akıllı birimlerden oluşan sistem davranışlarının modellenmesini konu alan “Kollektif Zeka”dır.

Bu çalışmada kollektif zekanın çalışma alanı içinde tanımlanan sürü zekası ve takım zekası yaklaşımları irdelenmiştir. Daha sonra, bu yöntemlerden farklı olarak, halen geliştirilmekte olan “Birimsel Katkı Analizi” yaklaşımının özellikleri tanıtılmış ve hangi alanlarda uygulanabileceği ile ilgili öneriler yapılmıştır.

“Birimsel Katkı Analizi” yaklaşımını, kollektif zeka alanında bir özel haller kümesi olarak tanımlamak mümkündür. Birimsel katkı analizinin farklı yeteneklere sahip birimlerden oluşan heterojen yapıdaki sistemleri modelleyebilmesi, sürü zekası ile aralarındaki en önemli farklılıklardan birisidir. Bununla birlikte takım zekasını ortaya koyan yapılarda, bireyleri “yönlendiren” bir birimden söz etmek mümkün iken, birimsel katkı analizinde tüm birimler kendi kararlarını bağımsız olarak verebilmektedirler.

Birimsel katkı analizi, sistemin hedefleri ve anlık durumu hakkında sürekli bilgi sahibi olabilen, hedefe ulaşmak için kendi muhtemel katkısını kararlaştırıp uygulayabilen birimlerden oluştuğu varsayılan hallerde davranışların ve başarının gözlenebilmesi amacıyla tanımlanmıştır.

Bu tezin en önemli amacı, birimsel katkı analizi yaklaşımının, otonom eklemlere sahip robotik sistemlerde değişen iç ve dış kısıtlara rağmen kullanılabilirliğini göstermektir.

SUMMARY

Using traditional control models is not powerful to model social systems consist of autonomous units which have own decision making mechanisms. Consequently, modelling and investigating the social systems in their own nature, became an important research area.

Recent studies on social systems indicate that new approaches are required to control engineering systems which are regarded as rigid mechanisms previously. One such approach is “collective intelligence”. Collective intelligence models the systems consist of autonomous and intelligent units that are able to make individual decisions. Two subcategories inside collective intelligence are “swarm intelligence” and “team intelligence”.

In this study a new approach, “Unitary Contribution Analysis” is proposed. The characteristics of “Unitary Contribution Analysis” are described and application areas are suggested. It is possible to define “Unitary Contribution Analysis” method as a special set inside the collective intelligence.

Unitary contribution analysis is different from “swarm intelligence” and “team intelligence”. While swarm intelligence focuses on identical units, unitary contribution analysis can investigate the units that have different capabilities. Although in team intelligence, there can be a cheaf unit guiding the other units in the system as a trainer, there is no cheaf unit in unitary contribution analysis.

This method is defined for observing the behaviour and success of systems consist of units that are able to calculate their own probable contribution and make decisions accordingly themselves. These units also required to have continuous information about target and the status of the whole system.

The aim of this thesis is to introduce the usability of unitary contribution analysis method in the robotic systems that have autonomous joints, despite of the exterior and interior variable restrictions.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarına yön veren ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. E. Murat ESİN'e, manevi desteklerini her zaman arkamda hissettiğim eşim ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. SİSTEM KAVRAMINA GENEL BAKIŞ	3
3. KONTROL TEORİSİ	6
3.1. Açık Çevrim Kontrol Sistemleri	6
3.2. Kapalı Çevrim Kontrol Sistemleri	7
4. SOSYAL SİSTEMLER	9
4.1. Sosyal Sistemlerin Özellikleri	9
4.2. Sosyal Sistemlerin Modellenmesi	10
4.3. Sosyal Sistemlerde Karar Kavramı	11
4.4. Zeki Karar Sistemleri	11
4.4.1. Kollektif Zeka	12
4.4.2. Sürü Zekası	21
4.4.3. Takım Zekası	23
5. BİRİMSEL KATKI ANALİZİ	26
5.1. Birimsel Katkı Analizi Yönteminin Özellikleri	27
5.2. Birimsel Katkılı Sistemlerdeki Yapı	28
5.3. Birimsel Katkılı Sistemlerde Birimler Arası İlişkiler	29
5.4. Diğer Zeki Karar Sistemleri ile Karşılaştırılması	31
5.4.1. Sürü Zekası ve Birimsel Katkı Analizi Yönteminin Farklılıkları	32
5.4.2. Takım Zekası ve Birimsel Katkı Analizi Yönteminin Farklılıkları	32
5.5. Uygulama	33
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	40
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	48

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Sistemin Genel Yapısı	3
3.1 Açık Çevrim Kontrol Sisteminin Yapısı	6
3.2 Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi	7
4.1 Braess Paradoksu	16
4.2 Bireysel Kararlar ile Grup Kararları Arasındaki Farklılıklar	20
4.3 Takımdaki organizasyonun yetersiz olduğu durumlardaki eğilim	24
4.4 Yanlış organize edilmiş sistemin sonuçta geleceği durum	24
4.5 Konumlanmış İyi Organize Edilmiş Sistem Davranışı	25
5.1 Birimsel Katkılı Sistemlerde Yapı	28
5.2 Birimsel Katkılı Sistemlerde Birimler arası Haberleşme	30
5.3 Birimsel Katkı Analizinde Sanal Karar Öngörüsü	31
5.4 Birimsel Katkı Analizi – Kollektif Zeka – Sürü Zekası İlişkisi	31
5.5 Uygulama Akış Diyagramı	36
5.6 Engele ve Kısıta Çarpmadığı, Arıza Olmayan Durum	37
5.7 Kısıta Takılma Durumunda Robot Kollarının Davranışı	38
5.8 Engele Takılma Durumunda Robot Kollarının Davranışı	39
5.9 Arıza Olma Durumunda Kolların Davranışı	39

1. GİRİŞ

Sosyal sistemlerin modellenmesi, bilim adamlarının uzun zamandır üzerinde çalıştığı konulardan biridir. Mühendislik sistemlerinden farklı olarak sosyal sistemlerde çözüm kavramı yerine karar kavramı kullanılmaktadır [1]. Bunun sonucunda sosyal sistemlerin modellenmesi için yeni yöntemlerin kullanılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Modelleme amacıyla literatürde, kompleks sistem teorisine dayanan araştırmalar [2], ajan tabanlı simülasyon yöntemleriyle yapılan çalışmalar [3][4] mevcuttur.

Yapılan bu çalışmada, sosyal sistemlerin modellenmesi için ortaya konulan zeki karar sistemlerinin incelenmesi için öncelikle sistem kavramına ve kontrol teoresine kısaca değinilmiştir.

Canlı davranışlarını ve doğadaki mekanizmaları modelleyen “Kollektif Zeka” ile ilgili bilgi verilmiş, konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. Kollektif Zekadan daha dar bir çerçeveye sahip olan ve yalnızca koloniler halinde yaşayan hayvanların davranışlarını modelleyen “Sürü Zekası”ndan bahsedilmiş, hangi alanlarda kullanılabileceği ve ne tür avantajlar sağladığı açıklanmıştır. Bununla birlikte kendi kararlarını verebilen otonom bireylerin bir araya gelmesi ile oluşan takımlarda ortaya çıkan “Takım Zekası” anlatılmıştır.

Literatürde var olan sürü ve takım zekası yöntemlerinden başka, halen E. Murat Esin tarafından geliştirilmekte olan “Birimsel Katkı Analizi” adlı yeni bir yöntem de önerilmektedir. Bu çalışmada, sınırları oldukça geniş olan kollektif zeka içinde bir özel haller kümesi olarak nitelendirilebilecek olan bu yaklaşımla ilgili tanıtım bilgileri verilmiş ve otonom eklemli robotlara uygulanması gösterilmiştir.

Ana fikir olarak “Birimsel Katkı Analizi” yaklaşımı, sistemin davranışından elde edilen çıktıların analizini yapabilen, bunun sonucunda bireysel olarak karar verebilen ve sisteme katkıda bulunan akıllı birimlerin davranışlarının modellenmesi olarak düşünülebilir.

Tezin uygulama aşamasında, klasik kontrol yöntemleriyle çözülebilecek bir çok eklemli planar robot mekanizması ele alınmıştır. Ancak açıkça bilindiği gibi, sistemin

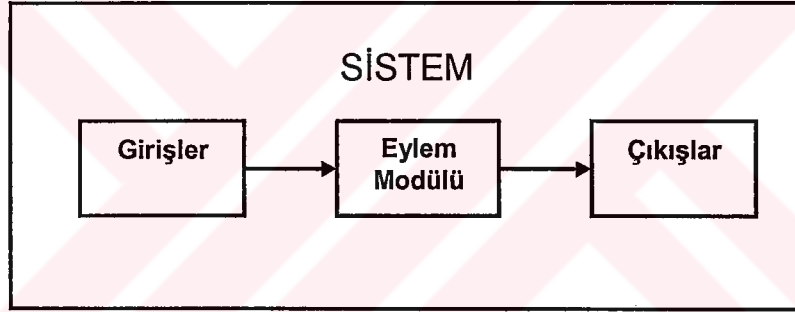
hareket zarfında ortaya çıkan öngörülmemiş dış engeller ile, mekanizmanın kendinde meydana gelebilecek iç arızaların varlığı halinde görevin yine de başarılabilceğini söylemek güçtür. Bu durumda ancak, her yeni olguyu dikkate alarak kendi görevini tanımlayabilen otonom eklemlerle bir çözüm bulunabilir. Nitekim, bu amaçla yapılan simülasyonda, robot sisteminin hedefe ulaşmasını zorlaştıracak engeller konulmuş ve bu engelleri aşarak hedefe ulaşmak için gösterdiği davranışlar incelenmiştir. Her eklem için kısıtlar tanımlanarak hareket zarfları değiştirilmiştir. Bu durumlarda ne tür sonuçlar alındığı gözlemlenmiştir. Literatürde hata toleransı (fault tolerance) olarak tanımlanan, sisteme katkıda bulunan robot kollarından herhangi birinde meydana gelebilecek bir arıza durumunda sistemin hedefe ulaşmak için nasıl bir davranış gösterdiği de yapılan incelemeler arasındadır.

Farklı serbestlik dereceleri ve farklı parametrelerle çok sayıda deneme yapılmış, elde edilen değerler incelenip yorumlanmıştır. Yapılan uygulamanın hangi durumlarda avantajlı olduğu, hangi durumlarda hedefe ulaşamadığı tespit edilmiştir.

2. SİSTEM KAVRAMINA GENEL BAKIŞ

Sistem, kendi içinde işlevsel bir bütünlük sağlayan yapılara verilen genel addır [5]. Çalışma ve özellikleri itibariyle belirli bir sınırı olan, diğer sistemlerden ayırt edilen örgütlenmiş yapılar olarak da tanımlanabilir [1].

Sistem kendisine verilen görevleri yerine getiren kapalı bir kutu olarak düşünüldüğünde, şekil 2.1’de görüldüğü gibi, giriş bilgileri, bu bilgilerin belirli işlemlere tabi tutulduğu eylem modülü ve bu işlemler sonucunda ortama verilen çıkış bilgileri sistem bileşenlerini oluşturacaktır.



Şekil 2.1 Sistemin Genel Yapısı

Yapılan bu tanımlar fizik, mekanik, biyoloji ve sosyal bilimler gibi pek çok alanda geçerlidir. Boulding’e göre yeryüzündeki tüm sistemler yapılarına göre basitten karmaşığa doğru 9 kategoriye ayrılırlar [6].

1. Statik sistemler

İç ve dış kuvvetleri dengelenmiş olup zamanla değişikliğe uğramayacakları varsayılan hareketsiz sistemlerdir.

2. Basit dinamik sistemler

Güneş sistemi veya saatler gibi durumu zamanla değişebilen hareketli sistemlerdir. Kendi içlerinde var olan dinamik denge sayesinde devinimlerini sürdürebilirler.

3. Kontrol mekanizmalı sistemler

Termostat gibi sistem dengesini ayakta tutabilmek için ek bir mekanizmaya sahip sistemlerdir.

4. Açık sistemler

Çevre ile iletişim içinde olan ve kendini koruma özelliğine sahip canlı hücrelerden oluşan sistemlerdir.

5. Genetik-toplumsal düzey sistemi

Bitkiler gibi çevreyle etkileşim halinde olan ancak hareket etme kabiliyetinden yoksun canlılardan oluşan sistemlerdir.

6. Hayvan sistemi

Çevreyle iletişim kurabilen, belirli amaçlar doğrultusunda kendi hareketine karar verebilen, kendini korumak ve yaşamını devam ettirmek için çaba gösterebilen sistemlerdir.

7. İnsan sistemi

Çevre ile iletişim kuran, hareketli, belirli hedeflere ulaşmak için çabalayan, karar verme mekanizması gelişmiş akıllı sistemlerdir.

8. İnsan örgütü sistemleri veya sosyal sistemler

İnsanların bir araya gelmesi ile oluşan aile, ordu, devlet, işletme gibi sistemlerdir.

9. Fizik ötesi sistemler

Nedeni bilinmeyen veya bilim adamlarınca tam olarak açıklanamamış ancak ispat edilemese de varlığı kabul edilmiş olan sistemlerdir.

Daha genel bir bakış açısı ile sistemler “açık” ve “kapalı” olmak üzere ikiye ayrılırlar. Çevre faktörleri ile değişmeyenler kapalı sistemler, çevre ile iletişim kurabilen, enerji ve bilgi alışverişinde bulunabilen sistemler ise açık sistemler olarak tanımlanır.

Sistemler ile ilgili çalışmaların ilerlemesi sonucunda, sibernetik bilimi ortaya çıkmıştır. Bu noktada, makinelerin doğasında da tıpkı organizmalar gibi bilgi alışverişinin olduğu, insan/makine ve makine/makine arasında bilgi alışverişlerinin sağlanabildiği anlaşılmıştır [5].

Ortaya atılışından günümüze kadar sibernetik bilimi çok büyük gelişme göstermiştir. Bilgisayar kullanımının yaygınlaşması, telekomünikasyon alanındaki hızlı gelişmeler, üretim sürecinde robotlardan yararlanılması ve benzeri gelişmeler, insan tarafından gerçekleştirilen “karar verme” ve “problem çözme” kavramlarının kısmen de olsa makinelere devredilmesini beraberinde getirmiştir [7].



3. KLASİK KONTROL TEORİSİ

Dinamik bir sistemin belirli giriş bilgilerine (işaretlerine) göre verdiği tepkelerin incelenmesi ve değerlendirilmesi kontrol teorisinin temelini oluşturur [8].

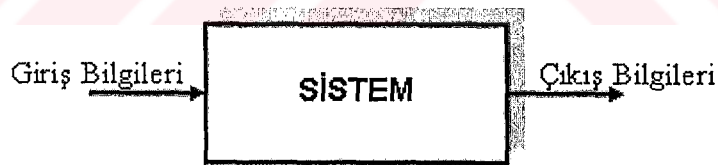
Kontrolün sağlanabilmesi için öncelikle sistemin mümkün olan tüm girişlere karşılık vereceği çıkışlar hesaplanarak bir “matematiksel model” oluşturulur. Matematiksel model birimlerin yerine getirdikleri işlemler ve birbirleriyle kurdukları ilişkilerin, matematiksel olarak ifade edilmesiyle oluşan yapıdır.

Sistemi oluşturan elemanların matematiksel modelleri ve birbirine bağlanma şekilleri graf teorisi ile ifade edilebilir. Graf, şematik olarak düğümler ve düğümleri birbirine bağlayan çizgilerle, matematiksel olarak ise matrislerle bir sistemi modellemektedir [9].

Literatürde kontrol teorisi için tanımlanan iki farklı yaklaşım vardır.

3.1. Açık Çevrim Kontrol Sistemleri

Açık çevrim kontrol sistemleri şekil 3.1’de görüldüğü gibi üç bileşenden oluşur.



Şekil 3.1 Açık Çevrim Kontrol Sisteminin Yapısı

Belirlenmiş olan matematiksel modele göre yalnızca giriş bilgilerinin kontrol edildiği sistemlerdir.

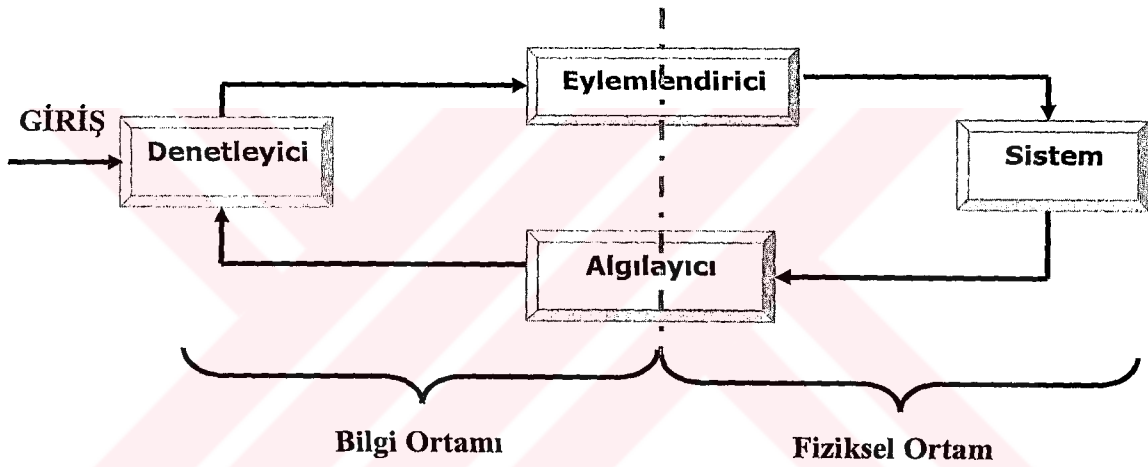
Bu tür kontrol pek çok uygulama için oldukça zayıf kalmaktadır. Daha verimli kontrollerin yapılabilmesi için sistemin çıkış bilgilerinin de alınıp geri beslenmesi şarttır.



3.2. Kapalı Çevrim Kontrol Sistemleri

Açık çevrim kontrolden farklı olarak çıkış bilgilerini denetleyen sistemdir. Elde edilen çıkış bilgilerinin başlangıçta öngörülen şekilde olup olmadığının anlaşılması için sisteme bir mekanizma eklenmiştir. “Geri besleme” olarak adlandırılan bu mekanizma, sistemin çıkış değerinin analiz edilip bir sonraki çevrimde amaca uygun olarak giriş değerine pozitif veya negatif şekilde eklenmesini sağlar. Böylece istenilen çıkış değerlerini sağlamak üzere öngörülmuş giriş değerlerinde eğer varsa hata giderilmiş olur.

En genel halde kapalı çevrim bir kontrol sistemi şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi [39]

3.2.1. Kapalı Çevrim Kontrol Özellikleri

- Kararlılık

Çıkış bilgilerinin, girişlere uygun olarak öngörülen değerlerden çok fazla sapmaları engellenir.

- Bozucu İşaretlerin Etkisinin Azaltılması

Sisteme rastgele veya deterministik olarak verilmiş olan istenilmeyen giriş değerlerinin etkisinin azaltılması veya elimine edilmesi için kullanılabilir.



- Performans Arttırılması

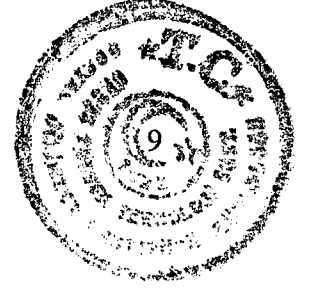
Sistemin geçici karakteristiklerinin iyileştirilerek, çıkış değerlerinin, girişlere uygun olarak öngörülen değerlere hızlı ve kararlı şekilde ulaşması sağlanır.

- Gerçek sistemler, modelleri ne kadar iyi ve gerçeğe yakın tasarlanmış olursa olsun tam olarak modellenemezler. Kapalı çevrim kontrol sayesinde bu belirsizliklerden performansın minimum derecede etkilenmesi sağlanabilir.

Bu tür kontrol mekanizmaları, endüstri alanından bilgisayar kontrolüne, uzay teknolojilerinden silah sistemlerine, robotikten kalite kontrole kadar pek çok alanda kullanılmaktadır.

Klasik kontrol teorisi, bir sistemi oluşturan birimlerin modellerinin kesin olarak bilindiği mühendislik problemlerinde yaygın olarak kullanılır. Sistem için kararlı ve optimum çözümler sağlar. Kontrolün ne kadar güçlü olduğu matematiksel modelin tutarlılığına bağlıdır. Sistemde herhangi bir birimin yerine kendisiyle aynı matematik modele sahip bir başkası yerleştirildiğinde, performansta hiçbir değişiklik olmaz. Çünkü sistemi oluşturan birimlerin yönetimde veya çözüm yollarının seçiminde söz hakları yoktur. Yalnızca kendilerine verilen görevi yapan köle (slave) birimlerdir.

Klasik kontrol teorisinde sisteme yeni bir eleman eklenmesi veya çıkartılması durumunda modelin yeniden oluşturulması gerekir. Çünkü eleman sayısındaki değişim tüm grafi değiştirecektir. Sistemin yapısında ortaya çıkan her değişim için ayrı hesaplama yapılması ve ayrı bir model oluşturulması gerekliliği matematiksel modele bağlı olarak bir sistemi kontrol etmenin zorluğunu açığa çıkartmaktadır.



4. SOSYAL SİSTEMLER

Birden fazla zeki bireyin bir araya gelerek iş bölümü ile belli amaçları gerçekleştirmek için oluşturdukları yapı “sosyal sistem” olarak tanımlanır [10]. Bireyler tek başlarına çözemedikleri problemleri bir araya gelip sosyal sistemler oluşturmak suretiyle ortadan kaldırmak isterler. Aile, işletme, okul ve benzeri organizasyonlar sosyal sistemlere verilebilecek örneklerdir.

Zeka, problem çözümü, hızlı düşünebilme, karmaşık fikirlerin anlaşılabilmesi, çabuk öğrenme, ve geçmiş tecrübelerden faydalanarak analiz yapma yeteneğidir. Diğer bir ifadeyle, problemlere daha önceden programlanmamış ve yaratıcı çözümler bulabilme yeteneği olarak da tanımlanabilir [11].

Sosyal sistemleri oluşturan birimlerin zeki olmaları değişik şekillerde incelenip analiz edilmelerini gerektirir. Oluşturulmaları, organize edilmeleri ve devamlılıklarının sağlanması diğer sistemlere göre daha farklıdır. Bu farklılıklar sosyal sistemlerin özellikleri anlatılırken ele alınmıştır.

4.1. Sosyal Sistemlerin Özellikleri

- Sosyal sistemi oluşturan bireylerin bir araya getirilmesi ve işletilmesi daha zordur. Sosyal sistem dışındaki yapılarda eğer matematiksel modelleri, ortaya çıkabilecek tüm koşullar göz önünde bulundurularak doğru tanımlanmışsa sistemin sorunsuz bir şekilde çalıştırılma olasılığı yüksektir. Ancak sosyal sistemler için bu çoğu zaman mümkün değildir. Çünkü bir sosyal sistemi oluşturan bireyler, seçkin yeteneklere sahip olsalar ve iyi organize edilseler dahi öngörülmeyen bazı aksaklıklar çıkması ihtimal dahilindedir. Grup içindeki çatışmalar veya verilen farklı kararlar sosyal sistemlerin beklenileceği kadar başarılı olmamalarını sağlayabilmektedir. Ancak bu tür aksaklıklar düşünen organizmalar için son derece doğaldır.
- Sosyal sistemler yalnızca iç dinamiklerden değil aynı zamanda çevresel faktörlerden de etkilenirler.

- Bireylerin psikolojik durumları sosyal sistemlerde büyük önem taşır. Fiziksel kısıtlamaların yanında ruhsal dengenin kurulması da bu tür sistemlerin başarısı için gereklidir.
- Bireylerin neye göre seçileceği, nasıl organize edilecekleri ve hangi görevleri yerine getireceklerinin tespiti, ayrı ayrı ele alınması gereken konulardır.
- Sosyal sistemlerde hedefe ulaşmak için çoğu zaman tek bir yol yoktur. Akıllı bireylerden olumuş bir organizasyonda çözüm sayısı birden fazladır. Bu noktada ise çözüm yolları arasından seçim yapmak yani “karar” kavramı devreye girmektedir. Sosyal sistemlerde karar süreci ile ilgili detaylı bilgi sonraki bölümlerde anlatılmıştır.

4.2. Sosyal Sistemlerin Modellenmesi

Sosyal sistemlerin modellenmesi için başlangıçta klasik yaklaşımların uygun olduğu düşünülmüştür. Bu tür yaklaşımlarda sistemin tüm davranışları daha önceden belirlenir ve sınırları çizilir. Sistem bu modelin dışına çıkamaz ve her birey kendisini için tanımlanan görevi değişikliksiz olarak yerine getirir. Geleneksel yöntemler öngörülme davranışlarla karşılaşıldığında veya giriş değerleri modelde belirlenenden farklı olduğunda çözüm bulmakta zorlanırlar. Ancak sosyal sistemlerde kesinlik yoktur. Zaman içinde değişimler yaşanabilir. Bu sebeple bilim adamları sosyal sistemlerin modellenmesi için farklı yaklaşımlar üzerinde çalışmaktadırlar. Kompleks sistem teorisinin, sosyal sistemleri modellemekte kullanılması, son zamanlarda üzerinde çalışılan konulardan biridir [2][12][13]. Sosyal sistemleri, lineer olmayan (non-linear) yöntemlerle, özellikle ajan tabanlı simülasyon yöntemleriyle modelleme konusunda da çalışmalar yapılmaktadır [3][4][14].

Ajan, karar verme veya problem çözme yeteneğine sahip olan bir birim olarak düşünülebilir. Ajan tabanlı simülasyonun, sistem davranışlarındaki non-lineerliklerin araştırılması konusunda uygun olduğu düşünülmektedir [2]. Bu yaklaşım özellikle mikro seviyedeki davranışlarla, makro seviyedeki çıktılar arasındaki ilişkilerin incelenmesi için

uygundur [2]. Araştırmalara temel teşkil eden modeller, sosyal ajanların tek bir bireyi (mikro aktör) veya bireylerden oluşan bir sistemi (topluluk) temsil ettiği hiyerarşik yapılar olarak düzenlenebilir [2].

4.3. Sosyal Sistemlerde Karar Kavramı

Fiziksel ve mekanik sistemlerde kullanılan çözüm kavramı sosyal sistemlerde daha farklı ele alınır. Fiziksel sistemlerdeki çözüm kavramı, daha çok hedefe belirli bir formül veya model sonucunda ulaşma yoludur. Sosyal sistemlerde ise hedefe ulaşmak için öngörülen birden fazla alternatif arasında seçim yapmak için karar kavramından bahsedilmektedir [1].

Karar verme, çeşitli amaçlar, bunlara ulaştırılacak yollar, araçlar ve imkanlar arasından seçim ve tercih yapmakla ilgili zihinsel, bedensel ve duygusal süreçlerin toplamıdır [1].

4.4. Zeki Karar Sistemleri

Sosyal sistemlerde, sistemin bütününe zeki bir davranış sergileyebilmesi için karar mekanizmasına bağlı olarak öğrenme yeteneği de ele alınmalıdır. Sistemin önceki davranışlarının sonuçlarını analiz edebilmesiyle öğrenme süreci başlamaktadır. Yapılan araştırmalarda takım halinde öğrenmenin bireysel olarak öğrenmeden çok daha hızlı olduğu ve istenen/beklenen sonucu verdiği anlaşılmıştır [15].

Karar verme açısından bakıldığında, bireysel zeka ve kararların takımın toplam zekasına ve kararına katkısı bir inceleme alanı oluşturmaktadır. Bunun sonucunda kolektif zeka, takım zekası ve sürü zekası kavramları ortaya çıkmıştır.

4.4.1. KOLLEKTİF ZEKA

Sosyal yaşam ve doğadaki mekanizmalar, bilgisayar alanı için son derece geniş bir kaynaktır. Çözümü zor hatta bazen imkansız olan problemlerin analizi için bilim adamları son yıllarda biyolojik sistemler üzerinde çalışmalarını sürdürmektedirler. İnsanların birbirleriyle olan ilişkileri, hayvanların haberleşme ve etkileşim yolları incelenerek modellenmeye çalışılmaktadır. Bu tür çalışmalar üzerine odaklanan alanlardan bir tanesi de "Kollektif Zeka"dır.

Ortak bir problemi çözmek için bir araya gelmiş birimlerin birlikte çalışmaları kollektif kavramını ortaya çıkartmıştır.

Kollektif Zeka, öğrenme yeteneğine sahip, merkezi yönetimle ölçeklendirmenin zor veya imkansız olduğu çok ajanlı bir sistemin koordinasyonunu sağlayan yapıdır [16]. Bir grubun toplamda, grubu oluşturan bireylerin çözdüğü problemlerden daha fazlasını çözebilme yeteneği olarak da tanımlanabilir [17].

Kollektif zekanın var olduğu bir sistemde, birimlerin performanslarının bütünleştirilebilmesi için global bir "fayda fonksiyonu" kullanılır [16]. Dolayısıyla birimlerin lokal başarılarından çok sistemin başarısı ön planda tutulur.

Kollektif zeka, *kişisel zeka* ve *yapay zeka* kavramlarından sonra ortaya atılmış yeni bir araştırma alanıdır [18]. Yapay zekanın temeli, insanların iyi yaptığı bazı işleri bilgisayarın da yapabilmesini sağlamaktır [19]. Kişisel zeka ise, bireylerin problem çözme yeteneği olarak tanımlanabilir [17]. Kişisel zeka ve yapay zeka ile ilgili literatürde tamamlanmış pek çok çalışma olmasına rağmen, kollektif zeka halen olgunlaşma aşamasındadır [18]. Kollektif Zeka içeren bir sistemin tüm özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

4.4.1.1. Kollektif Zeka Özellikleri

- Sistem, birbirinden bağımsız, merkezi bir yönetim tarafından denetlenmeyen, kendi kontrolünden sorumlu çok sayıda birimden oluşur. Her birimin kendi içinde bir karar verme mekanizması vardır.

Dolayısıyla kollektif zeka ortaya koyan bir sistem, otonom ve akıllı bireylerden oluşmuştur.

- Grup, içindeki birimlerin her birinden çok daha fazla sayı ve türde problemi daha etkin şekilde çözümleyebilme yeteneğine sahiptir.
- Sistem için tanımlanmış olan ortak bir hedef vardır. Her birim tüm kararlarını ortak hedefe ulaşma doğrultusunda verir.
- Birimlerin kendi içlerinde bir öğrenme algoritması olabilir. Bu algoritma yardımıyla, sistemin önceki davranışları analiz edilerek bir sonraki adımda izlenecek strateji belirlenebilir. Böylece verilen kararların daha doğru olması sağlanır. Geçmişte yapılan hatalı kararlar tekrarlanmayarak, daha akıllı bir sistem ortaya konulabilir.
- Kollektif Zeka bir grubun özelliğidir, ölçülebilir ve test edilebilir [18]. Kollektif sistemlerin performans ölçütü olarak zaman fonksiyonu düşünülebilir [20].
- Sistem içinde birimlerin birbirleriyle ve içinde bulundukları ortamla nasıl haberleşeceği ile ilgili herhangi bir kural veya öngörü yoktur.
- Birimlerin hiç bir otoriteye bağlı olmadan lokal kararlarını alabildikleri durumların dışında, yönlendirme veya motive etme yoluyla hedefe doğru ilerlemelerini sağlayan bir merci olabilir. Bu merci, futbol takımlarındaki takım kaptanları gibi düşünülebilir. Böyle bir ortamda, birimlerin yönetilmelerinden değil yönlendirmelerinden bahsedilir.

4.4.1.2. Kollektif Zekanın Zayıf Tarafları

- Sistem içindeki görev dağılımının doğru ve etkin yapılmadığı durumlarda başarısız sonuçlar elde edilebilir.
- Bireyler arasında oynanan güç oyunları kollektif zekanın başarısını engelleyen bir faktördür. Grup içinde en iyi olma isteği sonucunda, bireylerin global hedefleri yakalamak yerine sadece lokal başarılarını

arttırmak için çalışmaları söz konusu olabilir. Bu durum sistem içinde kolektif zekanın ortaya çıkmasını zorlaştırır.

- Sistemdeki tüm birimlerin birbirleriyle doğrudan iletişim kurdukları ve birbirleri ile ilgili detaylı bilgi sahibi oldukları durumlarda, ortamda haberleşmeden kaynaklanan bir bilgi yükü oluşacaktır. Ortaya çıkan bu yük, performans ve hızın düşmesine sebep olacaktır.

4.4.1.3. Kolektif Zeka Yöntemi Kullanarak Yapılan Çalışmalar

Kolektif Zeka çeşitli alanlardaki problemlerin çözümü için denenmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir [21]. Bu alanlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- Veri ağı üzerinde paket yönlendirmesi [22] [23].
- “El Farol Bar” problemi olarak tanımlanan problemin çözümü [24].
- İnternette kullanılan SPA (Shortest Path Algorithm) yönlendirme algoritmasının performansının artırılması [25].
- SPA tabanlı sistemlerde görülen Braess paradoksunun ortadan kaldırılması [26].

Bu konularla ilgili yapılan çalışmalar aşağıda detaylandırılmıştır.

4.4.1.3.1. El Farol Bar Problemi

1994 yılında Brian Arthur "El Farol Bar" problemini kompleks ekonomik sistemlerdeki bir paradigma olarak tanıtmıştır [27]. Bu problemde her perşembe akşamı “El Farol” barına gidip gitmemeye karar veren bir ajan topluluğu vardır. Problem bu ajan topluluğunun davranışlarının incelenmesi üzerine odaklanmıştır.

Ajanlar barın belli bir oranın üzerinde dolu veya boş olduğu akşamlarda bara gitmemeyi tercih etmektedirler. Doluluk için %60, boş olma durumu için ise %20 lik bir oran belirlenmiştir.

Birimler bara gitme kararını kendi içlerinde var olan tahmin algoritmasını çalıştırarak vermektedir. Önceki haftalarda hangi birimlerin bara gittiği veya gitmediği bilgisi tüm ajanlar tarafından bilinmektedir. Her hafta bu bilgiler kullanılarak bir tahmin yapılmakta ve önceki davranışlar analiz edilip her birim tarafından ayrı ayrı gidip gitmeme kararı verilmektedir.

Birimlerin tümü barın boş olacağını tahmin edip gitme kararı aldığı anda doluluk oranı aşılacak ve buna bağlı olarak memnuniyet oranı düşecektir. Aynı şekilde çoğunun bara gitmek yerine evde kalmayı tercih ettiği günlerde de yine memnuniyet oranı düşük olacaktır.

Kollektif zeka teorisi "bar problemi"ndeki bireylere uygulanmış ve yapılan çalışmalar sonucunda bar probleminde karşılaşılan bazı zorlukların ortadan kalktığı gözlemlenmiştir [21].

Kollektif zeka ile birimlerin yalnızca kendi istekleri doğrultusunda karar vermek yerine, aynı zamanda ortamdaki global hoşnutluğu da arttırmak amaçlı hareket etmeleri sağlanmıştır. Bunun sonucunda ortak bir hedef doğrultusunda işbirliği yapan birimlerin, optimal çözüme ulaştıkları ve daha doğru zamanlama yapabildikleri anlaşılmıştır [24].

Bu problem kollektif zekanın tasarım ve organizasyonu için uygun bir problem olarak düşünülmektedir [24].

4.4.1.3.2. Ağda Paket Yönlendirme

Kollektif zeka tasarımları ağda paket yönlendirme için de uygulanmıştır [22][23]. Geleneksel yöntemlerde ağdaki trafik yönlendirmesinde koşturulan "En Kısa Yol Algoritması" (Ideal Shortest Path Algorithm) yerine çoklu ajanlar kullanılmıştır. "En Kısa Yol Algoritması"nda esas olan, paketlerin ağda o an en az trafiği yaratacak olan konuma doğru yönlendirilmesidir. Bu algoritma ile sistemin global durumu göz önünde bulundurulmaz. Dolayısıyla bazı zamanlarda çakışmalar ve sorunlar yaşanabilmektedir.

En kısa yol algortimasının mantığı kollektif zeka tabanına göre değiştirilmiş ve çok sayıda ajanın olduğu bir ortamda çalışmalar yapılmıştır [26]. Oldukça basit ve en kısa yol algoritmasından çok daha az parametre gerektiren bir öğrenme algoritması geliştirilmiştir.

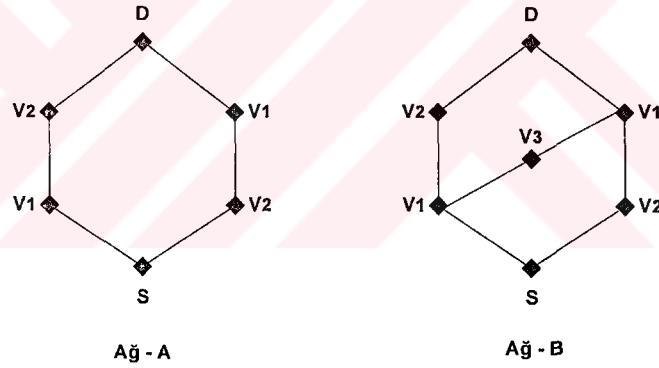
Kagan Tümer ve David Wolpert tarafından yapılan çalışmada, kolektif zeka algoritmasının, geleneksel en kısa yol algoritmasına göre maliyetleri düşürdüğü gözlenmiştir [26].

En kısa yol algoritmasının dezavantajlarından bir tanesi de Braess paradoksunu ortaya çıkartmasıdır. Kollektif zeka ile bu paradoksu ortadan kaldırmaya yönelik çalışmalar da başarılı olmuştur.

4.4.1.3.3. Braess Paradoksu

Braess Paradoksu en kısa yol algoritmasının zayıf yönlerini ortaya çıkartır. Paradoksun anlaşılabilmesi için aşağıda bir örnek verilmiştir.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi 2 farklı ağ ele alınmıştır. Her iki ağda da S noktasından D noktasına paket gönderileceği düşünülmektedir.



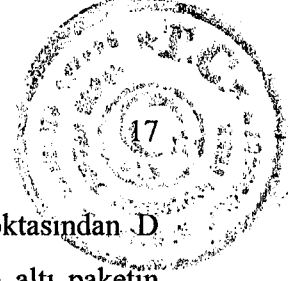
Şekil 4.1 Braess Paradoksu [26]

Paketlerin gönderilebileceği tüm yollar için farklı maliyetler tanımlanmıştır. S noktasından gönderilen paketlerin D noktasına ulaşması için kullanılan ve V_1 , V_2 ve V_3 olarak adlandırılan yolların maliyet fonksiyonları aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Her üç fonksiyonda görülen x değeri gönderilen paket sayısını temsil etmektedir.

$$V_1 = 10 * x$$

$$V_2 = 50 + x$$

$$V_3 = 10 + x$$



Tanımlanan bu fonksiyonlar kullanılarak, A ağında bir paketin S noktasından D noktasına gönderildiği bir durumda maliyet 61 birim olacaktır. Aynı ağda altı paketin farklı iki yola bölünerek üçer paket halinde gönderilmesi durumunda ise maliyet her iki yol için de 83 birim olacaktır.

A ağna alternatif olarak, maliyeti daha düşük olan bir yol daha eklenmiş olan B ağı kullanıldığında ise Braess paradoksu ortaya çıkmaktadır. Maliyeti daha az olan bir yolun eklenmesi durumunda beklenti toplam maliyetin de düşmesi yönündedir. Ancak sistemde gözlenen bu durumun tersi olmaktadır.

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi B ağında S noktasından D noktasına giden üç yol vardır. Bir paketin bu iki nokta arasında gittiği düşünülürse, her bir yolun maliyeti 31 birim olacaktır. Altı paket gönderildiğinde, paketler yollar arasında paylaştırılmakta ve her yoldan ikişer paket gönderilmektedir. Bu durumda her yolun maliyeti 92 birim olacaktır. Braess paradoksu bu noktada ortaya çıkmaktadır. Maliyeti daha az yeni bir yol eklenmesi beklenen sonucu vermemiş ve toplam maliyeti yükseltmiştir. A ağında 83 birim olan toplam maliyet B ağında 92 birim olmuştur.

Kollektif Zeka, Braess paradoksunu ortadan kaldırmak için yeni bir yaklaşım ortaya koymaktadır. En kısa yol algoritmasında esas alınan, her bir yoldan geçen paket sayısıdır. Dolayısıyla yalnızca o an için en uygun çözüm bulunur. Kollektif zeka mantığı ile yapılan çalışmada ise, tüm düğüm noktalarına konulan yönlendiricilerin otonom hareket etmeleri sağlanmıştır. Ağın genel durumunu göz önünde bulundurarak karar vermektedirler. Sadece bir düğümden geçen paket sayısı değil aynı zamanda toplam performans da göz önünde bulundurulmaktadır. Bu mantıkla geliştirilen algoritma ile Braess paradoksunun ortadan kalktığı gözlemlenmiştir [26].

4.4.1.4. Kollektif Zeka Uygulama Alanları

Oldukça yeni bir araştırma konusu olmasına rağmen kollektif zeka ile ilgili çalışmalar pek çok alanda başarılı olmuştur [22]. Kollektif Zekanın uygulanabileceği bazı alanlar aşağıda sıralanmıştır.

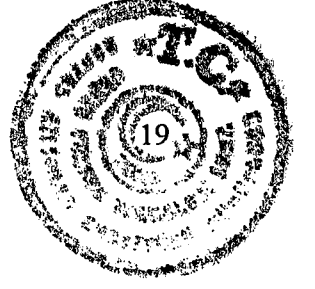


- İnternette trafik yönlendirilmesi,
- Haberleşme ağında veri yönlendirilmesi,
- Modern bilgisayarda birden çok işlemci arasında iş paylaşımının ve iletişimin sağlanması,
- Ekosistemler, ekonomiler, yaşayan bir hücre içindeki organlar gibi çok sayıda doğal sistemin adreslenmesi,
- Dağıtık sistemlerle ilgili problemlerin çözümü,
- Büyük dağıtık veri tabanlarında dinamik “veri göç ettirilmesi” (data migration),
- Optimizasyon için dağıtık algoritmalar yazılması,
- Nümerik optimizasyon problemlerinin çözümü için paralel algoritmaların oluşturulması.

Kollektif zeka kavramı olgunlaştıkça ve üzerinde yapılan çalışmalar sonuçlarını verip ilerleme kaydedildikçe uygulama alanlarının daha da genişleyeceği düşünülmektedir. Sadece mühendislik problemleri için değil aynı zamanda ekonomi, oyun teorisi ve biyoloji gibi bilimsel alanlarda da yeni çözümler sunabileceğine inanılmaktadır [22].

Kollektif Zekanın dikkat çekici ve kuvvetli yönlerinden bir tanesi merkezi olarak yönetilen bir sistem olmamasıdır. Geleneksel yöntemlerdeki gibi sistemi yöneten veya sistem ile ilgili tüm kararları verip uygulanmasını sağlayan bir uzman ya da otorite yoktur. Günümüzde gelişen teknoloji ile bu önemli bir nokta haline gelmiştir. Çünkü değişen anlayışlar sonucu, “Problemler bir uzmanın veya bir merkezi otoritenin çözebileceğinden daha büyük hale geldiğinde tek alternatif merkezi olmayan bir sistemdir” görüşü yaygınlaşmaktadır [15]. Merkezi olmayan sistemler “kendinden güdümlü sistemler” olarak da adlandırılabilir [28].

Merkezi olmayan bir yönetim küçük çaplı sistemlerde bazı durumlarda dezavantaj olarak karşımıza çıksa da özellikle akıllı bireylerden oluşan büyük sistemlerin modellenebilmesi için en uygun çözüm olarak düşünülebilir. Bu noktada merkezi olmayan sistemlerin avantaj ve dezavantajlarını sıralamakta fayda vardır.



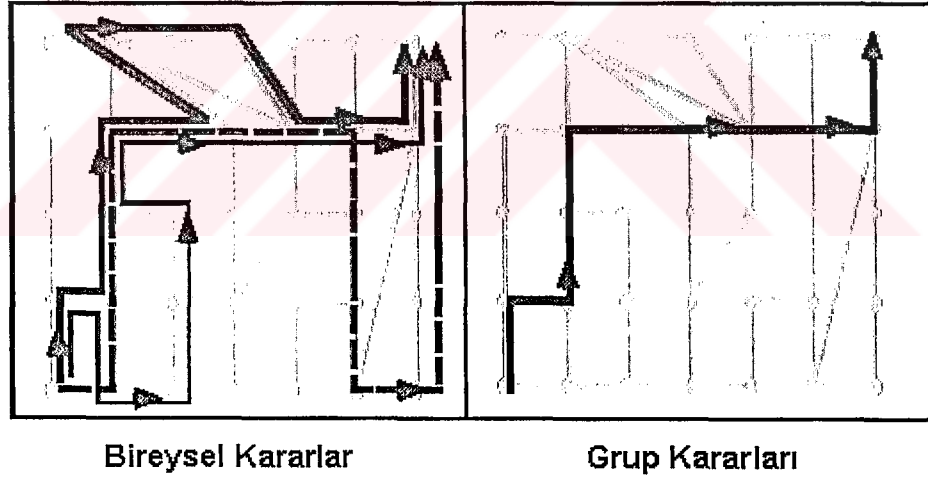
4.4.1.5. Merkezi olmayan sistemlerin avantajları

- Merkezi bir sistemde alt sistemlerin sayısı arttıkça veya problemin boyutu büyüdükçe işlem hacmi ve harcanan güç de aynı oranda artacaktır. Merkezi olmayan sistemlerde ise, aynı durum geçerli değildir. Problemin boyutu ile yapılan işlemin veya harcanan gücün arasında belirli bir orantı yoktur [15].
- Birimler arasında yapılan doğru koordinasyon, merkezi olmayan sistemlerin en önemli avantajı haline gelecektir.
- Lokalize edilmiş kararlar birimlerin sorumluluk duygularının artmasına ve sonuca iyi katkıda bulunmak için daha fazla çaba göstermelerine sebep olmaktadır. Sosyal sistemlerde lokal kontrolün sağlanması güven duygusunun yükselmesine dolayısıyla motivasyonun artmasına sebep olmaktadır [15].
- Merkezi olmayan sistemlerde birimlerin izole edildiği söylenebilir ve sosyal sistemlerde yenilikler genellikle izolasyonlarla sağlanır [15]. Kararlar tek bir yerden verilmediği için farklı fikirler ve yeni yaklaşımlar ortaya çıkacaktır. Birimlerin izolasyonu “çeşitlik” (diversity) kavramını da beraberinde getirmektedir [15].
- Merkezi olmayan sistemlerin başka bir avantajı da daha dayanıklı olmaları ve hata toleranslarının daha fazla olmasıdır [15].

4.4.1.6. Merkezi olmayan sistemlerin dezavantajları

- Birimler arası koordinasyonun sağlanması zordur [15]
- Doğru değerlendirme yapılabilmesi için doğru performans ölçütleri konmalıdır [15].
- Merkezi olmayan sistemler üzerindeki çalışmalar ve modellemeler yeni oldukları için bu sistemlerde gözlemlenen genel süreçlerle ilgili olarak anlayış seviyesi henüz yeterli düzeyde değildir [15].

Kollektif zeka ile ilgili yapılan pek çok çalışmanın iyi sonuçlar vermesi, grupların problemleri bireylerden nasıl daha iyi çözümleyebildikleri sorusunun cevabı için araştırmalar yapılmasına sebep olmuştur. Ekosistemler, sosyal gruplar, büyük organizasyonlar, politik sistemler, serbest pazar ekonomileri, borsa ve herhangi bir merkezi kontrol ünitesi tarafından yönetilmeyen grupların nasıl karar verdikleri araştırılmıştır. Sonuç olarak bireysel ve grup kararları arasındaki farklılıklar ortaya konmuştur. Buna göre, kişisel olarak verilen kararların grup kararlarından çok daha hızlı olduğu anlaşılmıştır [15]. Grup içinde ortak bir karara varılabilmesi için öncelikle bireylerin tek tek kararlarını vermiş olmaları gerekir. Daha sonra bu kararlar beraber tartışılıp en iyi çözüme ulaşılmaya çalışılır. Dolayısıyla mutlaka bireysel kararlardan daha yavaş karar alınacaktır. Ancak bununla birlikte tek bir bireyin vereceği kararda yanlış payı grup kararından çok daha fazladır ve genellikle çok sayıda denemeden sonra doğru sonuca ulaşılabilir [15].



Şekil 4.2 Bireysel Kararlar ile Grup Kararları Arasındaki Farklılıklar [15]

Şekil 4.2’de grup kararları ile bireysel kararlar arasındaki farklılık gösterilmiştir. Buna göre aşağıdaki sonuçların ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.

- Organizasyonun hızla karar vermesi gereken durumlarda kişisel kararlara başvurulması daha uygundur.
- Organizasyon için dönüm noktası sayılabilecek, hızla karar alınması beklenmeyen durumlarda grup kararlarına başvurulması daha uygundur.

Bu sonuçlar önemlidir çünkü zor problemlerde bireysel çözümlerle sonuca gidilemeyeceği ispatlamıştır. Aynı zamanda birimlerin grup içinde rastgele olmayan bir yetenekleri olması gerektiği de anlaşılmıştır [15]. Bununla birlikte grup içinde rekabet yarın ortak bir hedef doğrultusunda birlikte çalışma ortamı yaratıldığında performansın arttığı saptanmıştır [15].

4.4.2. SÜRÜ ZEKASI

Kollektif Zeka kapsamında yapılan araştırmalar sonucunda ortaya çıkan alanlardan birisi “Sürü Zekası” dır. Sürü zekası, doğada koloniler halinde yaşayan canlıların davranışlarının modellenmesi için ortaya çıkmıştır.

Sürü zekasının temel mantığı, incelenen canlıların birbirleriyle haberleşme tekniklerinin, etkileşim yollarının analiz edilip, farklı alanlarda çözümü zor olan karmaşık problemlere uygulanmasıdır. Bu yolla büyük dağıtık sistemlerdeki iş paylaşımı, organizasyon ve yönetim gibi konulara açıklık getirilmesi, daha verimli bir iş hayatının oluşturulabilmesi amaçlanmaktadır.

Sürü Zekasının en çarpıcı yönü tek başına zeki davranışlar gösteremeyen canlıların, bir araya getirildiklerinde akıllıca kararlar verebilmeleridir. Örneğin incelemeye alınan tek bir karınca için “zeki” yargısına varılamaz. Ancak karınca sürülerinin basitçe yapabildikleri, hedefe giden en kısa yolu bulma yöntemleri henüz biyolojik açıdan tam olarak anlaşılabilmiş ve parametrik hale getirilebilmiş değildir.

Daha önce bahsedilen Kollektif Zeka, toplumsal olayları, sosyal yapıları ve doğadaki mekanizmaları birlikte incelerken sürü zekası yalnızca karınca, arı, termit gibi sürü halinde yaşayan ve birbirleriyle özdeş canlıların davranışları üzerine yoğunlaşmıştır. Dolayısıyla sürü zekasının kollektif zekanın alt dalı olarak nitelendirilebilir [29].

4.4.2.1. Sürü Zekasının Temel Özellikleri

- Sistemi oluşturan tüm birimler birbiriyle özdeştir.
- Birimler kendi aralarında haberleşip birbirlerinin durumları ile ilgili bilgi edinirken aynı zamanda ortam bilgilerini alabilirler.
- Sürüyü oluşturan bireyler rastgale davranışlarda bulunmazlar. Ortak bir amaç doğrultusunda hareket ederler.
- Sürü içindeki canlıların karar verme süreçlerinde birbirlerinin davranışlarından etkilenme eğilimleri vardır.
- Sürü zekasında birimler karşısına çıkan bir engelde strateji değişikliği yapabilecek ve farklı yollardan hedefe ulaşabilecek esnek yapıya sahiptirler.
- Sürüden bazı elemanların çıkması durumunda bile sistem devam ettirilebilir. Örneğin bir kaç karınca öldüğünde diğer karıncalar hedefe ulaşmak için çalışmaya devam edeceklerdir.

4.4.2.2. Sürü Zekasının Kullanım Alanları

Sürü Zekası alanında yapılan çalışmaların oldukça geniş bir alanda uygulanması mümkündür. Ağ yapısı, veritabanları, finans sektörü, robotik alanındaki uygulamalar [30], askeri uygulamalar, haberleşme ağları [31], optimizasyon algoritmaları [32], bankacılık sektörü ve internet üzerinde uygulanabilirliği mümkündür [33].

Yapılabilecek olan çalışmalara aşağıdaki örnekler verilebilir.

- Dağıtık sistemlerin kontrolü.
- Karıncaların en kısa yolu bulma yöntemi temel alınarak optimum mesafe ve yol tayininin yapılması.
- Karıncaların dağınık halde bulunan cisimleri bir araya toplama yöntemleri modellenerek kümeleme ve sıralama algoritmaları geliştirilmesi.
- Büyük organizasyonlarda iş paylaşımının nasıl olacağının belirlenmesinde ve birimlerin kendi davranışlarını düzenleyip kontrol etmelerinin sağlanması.

4.4.2.3. Sürü Zekasının Zayıf Tarafları

- Doğadaki bazı davranışlar biyolojik olarak tam anlamıyla çözümlenemediği için analizlerini yapmak da zorlaşmaktadır.
- Birbiriyle özdeş olan birimlerden oluştuğundan heterojen yapılar için kullanılamaz. Bu noktada sosyal sistemler için önerdiği çözümlerin uygulama alanı daralmaktadır.

4.4.2.4. Sürü Zekasının Uygulandığı Örnekler

Sürü zekası mantığı uygulanarak sonuca ulaşılmış çalışmalardan bazıları aşağıda listelenmiştir.

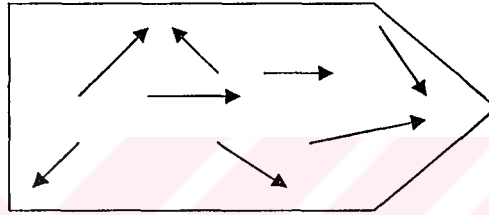
- Seyyar satıcı problemini çözmek ve dinamik bir ağda verilerin kullanıcılar arasında verimli bir şekilde yönlendirilmesi için kullanılmıştır [22] [34] [35].
- Belçika’da bulunan IRIDIA laboratuvarlarında “Swarm-bots” adı ile robot sürüsünün simülasyonunun yapıldığı bir Avrupa Birliği projesi başlatılmıştır [36].
- ABD Hava Kuvvetlerinde, yaban arılarının yuva yapım tekniğinden etkilenilerek mobil uydu sürüsü geliştirmiştir [37].

4.4.3. TAKIM ZEKASI

Kollektif Zeka kapsamında yapılan araştırmalar sonucunda ortaya çıkan alanlardan bir diğeri de “Takım Zekası”dır. Takım, önceden belirlenmiş hedeflere ulaşmak için bir araya gelmiş, birbirine bağımlı ve birlikte hareket eden iki veya daha fazla akıllı bireyin oluşturduğu topluluktur [10]. Buna göre takım zekası, her biri kendi başına zeki davranış gösteren akıllı bireylerin belirli bir hedef doğrultusunda bir araya geldiklerinde sonuca ulaşmak için ortaya koydukları yeteneklerin bileşkesi olarak tanımlanabilir. Bu noktada kollektif zekanın bir alt dalı olduğu söylenebilir.

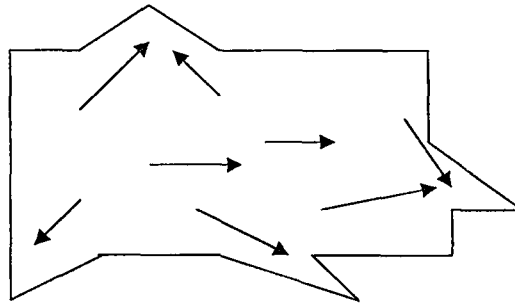
Takım zekasını, sürü zekasından ayıran en önemli özelliklerden birisi, takımı oluşturan birimlerin bireysel olarak da zeki davranışlar sergileyebilmeleridir. Bir diğer fark ise, birimlerin özdeş olma zorunluluğu olmamasıdır.

Takım zekasının ortaya çıkabilmesi için birimlerin ortak hedefe ulaşmak için doğru yönlendirilmeleri gerekmektedir. Birbiri ile uyum içinde olmayan ortak hedefe ulaşmak için bilinçsizce hareket eden bireylerden oluşan bir takımın davranışı şekil 4.3’de sembolize edilmiştir.



Şekil 4.3 Takımdaki organizasyonun yetersiz olduğu durumdaki eğilim [38]

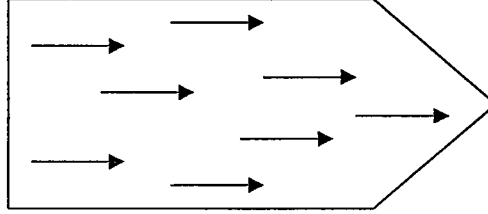
Bu sistem bir süre sonra hedeften sapmaya başlayacaktır. Çok miktarda enerji kaybolacak ve esas ulaşılmak istenen noktadan uzaklaşılacaktır. En iyi ihtimalle olması gerekenden daha geç sürede hedefe ulaşılabilecektir. Sistem hedef yolunda şekil 4.4’deki gibi sapmalar yaşayacaktır.



Şekil 4.4 Yanlış organize edilmiş sistemin sonuçta geleceği durum [38]

Ancak tüm takımın uyum içinde olduğu, organizasyonun doğru yapıldığı sistemlerde hedefe ulaşmak daha kolay ve hızlıdır. Hem bireylerin kişisel başarıları hem de sistemin hedefleri göz önünde bulundurulduğunda ortaya daha verimli sistemler çıkmaktadır. Ancak böyle durumlarda zeki davranışlar sergileyen takımlardan bahsedilebilir.

İyi organize edilmiş ve doğru şekilde hedefe yönlendirilmiş bir takımın davranışları şekil 4.5'teki gibi simüle edilebilir.



Şekil 4.5 Konumlanmış İyi Organize Edilmiş Sistem Davranışı [38]

4.4.3.1. Takım Zekasının Etkinliğinde Rol Oynayan Faktörler

- Ortak hedeflerin tüm birimler tarafından biliniyor olması.
- Birimler arasında sağlıklı bir iletişim kurulması.
- Her birimin hedefe ulaşmak için katkıda bulunması.
- Her birimin takım içindeki diğer elemanların sahip olduğu rol ve sorumluluklar ile ilgili bilgi sahibi olması [10].

4.4.3.2. Takım Zekasının Etkinliğini Azaltan Faktörler

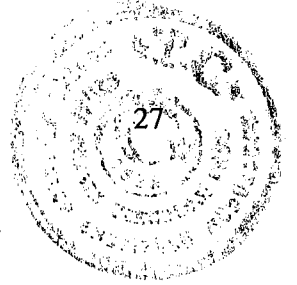
- Takımdaki birey sayısı arttıkça iletişim ve koordinasyon maliyetleri artacak, hedefe ulaşma süresi uzayacaktır.
- Takım elemanlarının organizasyonunun yanlış yapılması, rollerin belirsiz olması, ortak hedefin net olarak tanımlanamaması başarıyı olumsuz yönde etkileyecektir.

5. BİRİMSEL KATKI ANALİZİ

Kollektif Zeka kavramı geliştikçe, karar verme yeteneğine sahip, otonom ve akıllı birimlerden oluşan sistemler üzerinde yapılan çalışmalar detaylandırılmıştır. Büyük organizasyon ve yapılardaki yönetim anlayışı değişim sürecine girmiştir. Sistem ile ilgili kararların tümünü tek başına veren merkezi otorite yaklaşımının yerini, takım çalışmasının öneminin vurgulandığı, yönetimin paylaşıldığı ortamlar almaya başlamıştır. Büyük yapıların ve sosyal sistemleri oluşturan birimlerin nasıl organize edilmeleri gerektiği ve özelliklerinin neler olabileceği konusunda farklı görüşler ortaya atılmıştır.

Yaşanan bu değişimlerin sonucunda ortaya çıkan modern yönetim yaklaşımlarında her biri öngörölmüş görevler yerine getiren takımlardan oluşan sosyal sistemlerde, takım başarısı ön plana çıkartılıp bireysel başarı ikinci plana itilmektedir. Bu nedenle, takımda yer alan bireylerin kendilerinin ne kadar yüksek kapasiteli olduğundan ziyade, takımın başarısı için ne kadar başarılı katkılarda bulunabildiği önem kazanmıştır. İdeal bir takım anlayışında, hedefe ulaşma yolunda elemanlarından biri zafiyete uğrarsa, farkedilen eksikliği ortadan kaldırmak için diğer birimlerin kendi görev alan ve davranış biçimlerini kendi iradeleri ile değiştirip, ortaya çıkan boşluğu kapatacak şekilde yeni bir taktik ile hareket etmeleri gerektiğini göstermektedir.

Akıllı birimlerden oluşan takımlarda ortak bir hedefe ulaşmak amacıyla, mevcut şartlar altında kendi uygun bireysel katkılarını sağlamakla görevlendirilmiş birimlerin, her aşamada takım adına elde edilen sonuçları irdeleyerek yeni eylemlerine karar verme biçimindeki olası davranışlarını açıklamak amacıyla, E. Murat Esin tarafından “*Birimsel Katkı Analizi*” adı verilen yeni bir yaklaşım önerilmektedir. Özellikle öngörölmemiş durum değişikliklerinde takımın hedefine ulaşması için uygun davranış ve eylem değişiklikleri yapabilmek becerisini göstererebilen birimlerin tanımlandığı bu yöntem halen geliştirilme aşamasında olup, tanıtıma yönelik bir uygulama bu tezin sonraki bölümlerinde uygulama örneği olarak ele alınacaktır. Kollektif Zeka sınırları içerisinde bir özel haller kümesi olarak tanımlanan Birimsel Katkı Analiz yönteminin temel özellikleri aşağıda belirtilmiştir.



5.1. Birimsel Katkı Analizi Yönteminin Özellikleri

- Akıllı ve otonom birimlerden oluşan takımlar incelenir.
- Takım, gereksinim duyulan işlevleri yerine getirmek üzere birbirinden farklı özellik ve yeteneklere sahip olan bireylerden oluşur.
- Amaç, tüm bireyler tarafından bilinen ortak hedefe ulaşmaktır.
- Her birim kendi sorumluluğuna düşen görevleri yerine getirirken aynı zamanda ortam verilerini de gözlemler. Lokal olarak optimum performans sergilemeye çalışırken aynı zamanda takımın belirlenen hedeften sapmaması yolunda kararlar almaya çalışır.
- Takımda kendisinin dışında birimlerden kaynaklanan bir performans zafiyetinin yaşandığı durumda kendi yetenekleri dahilinde sisteme ek katkıda bulunabilmek için durum ve olanaklarını araştırır. Yetenekleri dahilinde kendi görev alanı ve davranış şeklinde değişiklikler yapar.

Belirlenen bu özelliklerle, literatürde sınırları oldukça geniş bir şekilde tanımlanan kolektif zekanın çalışma alanı içinde yeni bir kavram ortaya atılmıştır. Yukarıda sıralanan özelliklere sahip sistemlerle ilgili problemlerin çözümü için Birimsel Katkı Analizi Yöntemi önerilmektedir.

Kendi karar verme yeteneği olan ve merkezi bir otorite tarafından yönetilmeyen sistemlerdeki en kritik nokta birimlerin ortam bilgisi ve varılması gereken hedefle ilgili detaylı bilgiye sahip olma gereklilikleridir. Ancak hedefe ulaşmak için verilen birimsel kararlarda dikkat edilmesi gereken önemli bir husus daha vardır. Eğer birimler sistemin durumunu değiştirecek olan en önemli etkenin kendi verecekleri karar olduğunu düşünürlerse, bu durumda ortamdaki davranışların birbirleriyle uyum sağlamaları zorlaşacağından sistemde yüksek genlikli salınımlar olması kaçınılmazdır. Bunun için birimlerin kendilerinden başka karar yetkisine sahip herkesin hedefe ulaşmada payı olduğunu bilmesi ve alacağı kararları buna göre vermesi gerekmektedir.

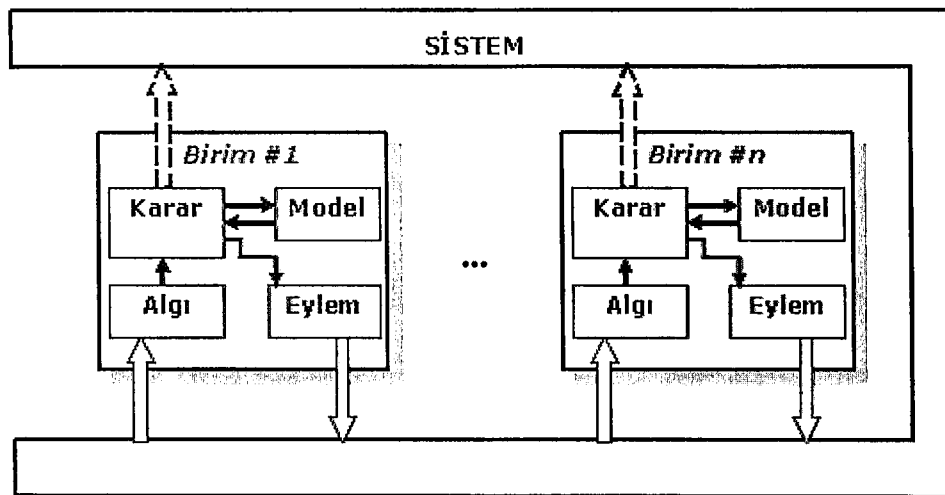


Bahsedilen yüksek genlikli salınımların olmaması için önerilen çözümler:

- Sistemin stratejik hedefi belli olmalıdır.
- Alınacak bireysel kararlar dinamik süreçte her adımdan sonra irdelenmelidir. Her adımdan sonra sistem verileri analiz edilmeli ve her birim için yeni bir karar verme süreci başlatılmalıdır.
- Her birim sonuca pozitif katkıda bulunmak için çalışmalıdır. Dolayısıyla ortamda rekabet yerine beraber hareket etme yani “kollektif davranış” eğilimi olmalıdır.
- Tüm birimlerin hedeften ve o anda bulundukları konumdan haberdar olabilmeleri gereklidir. Çünkü her adımdan sonra elde ettikleri bu bilgiler ışığında bir sonraki adımda hedefe daha çok yaklaşmak için karar alacaklardır.

5.2. Birimsel Katkıli Sistemlerdeki Yapı

Sistemi oluşturan birimlerin birbirleriyle ve ortamla olan ilişkileri için önerilen yaklaşım şekil 5.1’deki gibidir.



Şekil 5.1 Birimsel Katkıli Sistemlerde Yapı [39]



Sistemi oluşturan her birimin yapısında dört modül vardır:

- **Algı Modülü:** Sistemin o anda bulunduğu konumda ortam verilerini alıp karar verme modülüne gönderir.
- **Karar Modülü:** Sistemin belirlenen hedefe ulaşması için birimlerin karar verme süreçlerini temsil eder. Karar verilirken, algı modülünden gelen ortam bilgileri ve modelden gelen bilgiler birlikte değerlendirilir. Verilen karar, eylem modülüne gönderilir. Dolayısıyla karar verildikten sonra ortama dolaylı/sanal bir etki sağlanmış olur.
- **Model:** Her birimin sahip olduğu bir model vardır. Kararların verilmesinde bu model önemli bir rol oynar.

Birimsel Katkı Analizi Yönteminin en can alıcı noktalarından bir tanesi birimler için farklı modellerin tanımlanabilmesi ve dinamik olarak ortam ve birimin sahip olduğu koşullara göre değiştirilebilmesidir. Sistemin öngörülmeyle bir engelle karşılaştığı veya birimin herhangi bir şekilde zafiyete uğradığı durumda, var olan modelin değiştirilmesi ve yeni oluşan koşullara adapte olabilmesi gerekir. Bu yöntemde birimler bunu akıllıca yapacak yeteneğe sahiptirler.

Modelin dinamik olarak değişmesi sistemin daha esnek ve verimli olmasını sağlamaktadır.

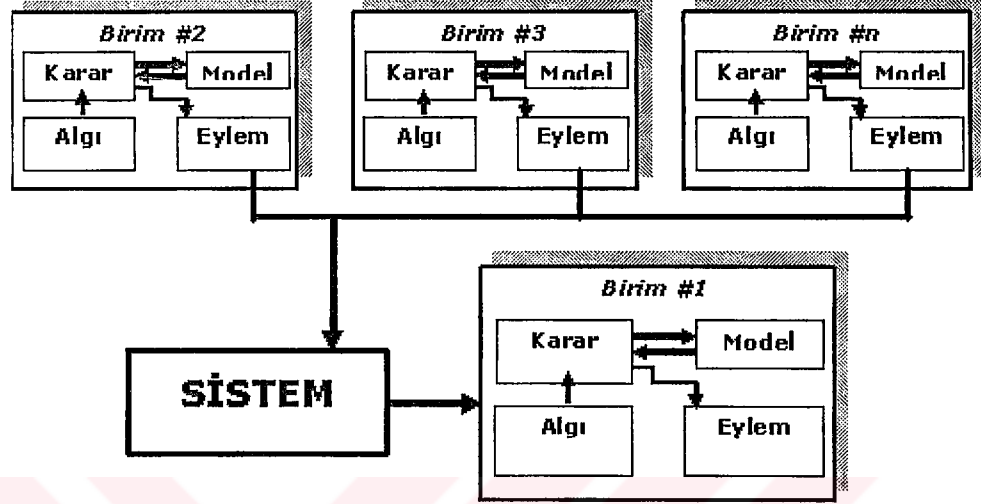
- **Eylem:** Karar modülünden gelen bilginin eyleme dönüştürüldüğü modüldür. Bu modül tarafından gerçekleştirilen eylem doğrudan sistemin davranışına yansır.

5.3. Birimsel Katkılı Sistemlerde Birimler Arası İlişkiler

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi sistemi oluşturan birimler arasında doğrudan bir haberleşme ihtiyacı yoktur. Tüm birimler yalnızca ortam bilgilerini alırlar. Elde ettikleri ortam bilgisi onlara dolaylı yoldan diğer birimlerin katkıları ile ilgili bilgi vermektir.

Ortamda bilgi akışının yaşanması ve karar mekanizmalarının çalıştırılmaları adım adım gerçekleşmektedir. Tüm birimler kararlarını eyleme dönüştürdükten sonra ortam bilgisini alıp karar verme sürecini tekrar başlatırlar.

Şekil 5.2’de birimlerin ortam verilerini alma süreçleri gösterilmiştir.

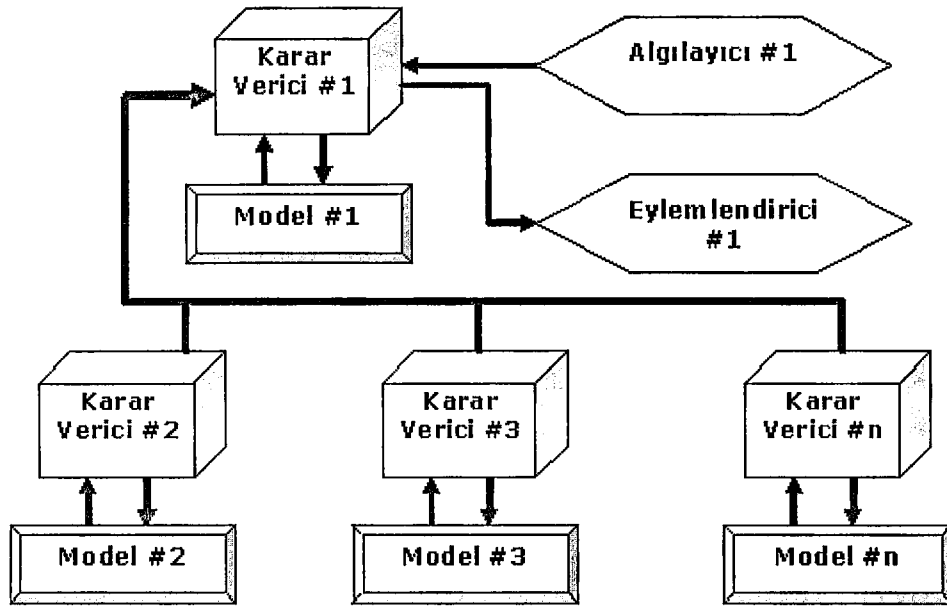


Şekil 5.2 Birimsel Katkılı Sistemlerde Birimler Arası Haberleşme [39]

Her birim o anda sistemin hangi konumda olduğunu bilmektedir. Birimler bu bilgi doğrultusunda hedefe ulaşmak için bir sonraki adımda nasıl hareket etmeleri gerektiğine karar verirler.

Birimler öğrenme yeteneğine sahiptirler. Dolayısıyla sistemin davranışları ile ilgili geçmiş verileri bir yerde tutarlar. Bu verileri değerlendirip o adımda kendilerinin dışındaki tüm bireylerin alacakları kararları tahmin edip eylemlerini gerçekleştirirler. Yapılan tahmin süreci “sanal karar öngörüsü” olarak adlandırılır.

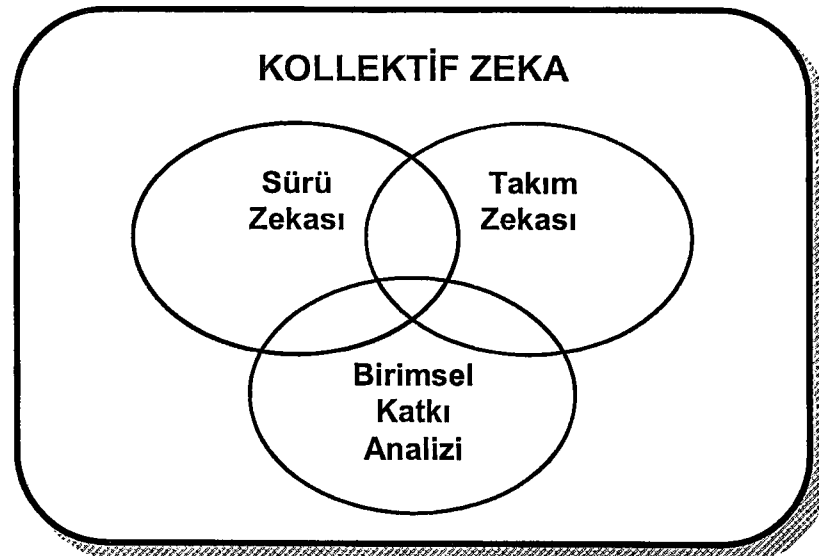
Bu değerlendirmeden anlaşılacağı gibi her bir birim, diğer birimlerin karar mekanizmalarını dolaylı yoldan kendi karar mekanizmasına dahil etmiş olmaktadır. Elbette bu tam bir mekanizma kopyası değil, geçmiş durumlar karşısında gösterilen davranışların bıraktığı bir izlenimdir. Yani tamamen gözlemseldir ve her durumda doğru olması da beklenemez [39]. Öğrenme algoritması ve yürütülen tahmin atılan adımın doğruluğunu belirleyecektir. Tahmin süreci ve sanal karar öngörüsü şekil 5.3’de detaylandırılmıştır.



Şekil 5.3 Birimsel Katkı Analizinde Sanal Karar Öngörüsü [39]

5.4. Diğer Zeki Karar Sistemleri ile Karşılaştırılması

Birimsel katkı analizinin genel özellikleri, bu yöntemin kollektif zeka sınırları içinde olduğunu göstermektedir. Ancak şekil 5.4’de görüldüğü gibi kollektif zeka kavramı içinde yer alan diğer yaklaşımlardan farklı yanları da vardır. Bu farklılıklar tek tek ele alınmıştır.



Şekil 5.4 Birimsel Katkı Analizi – Kollektif Zeka – Sürü Zekası İlişkisi

5.4.1. Sürü Zekası ve Birimsel Katkı Analizi Yönteminin Temel Farklılıkları

Birimsel Katkı Analizi yönteminin temel özellikleri göz önünde bulundurulduğunda sürü zekası ile aşağıdaki farklılıklara sahip olduğu anlaşılmaktadır.

- Sürü zekasında tüm birimler özdeş iken, birimsel katkı analizi yönteminde birimler farklı yeteneklere sahip olabilir.
- Sürü zekası yaklaşımında birimlerin özdeş olmaları dolayısıyla bir elemanın yerine bir diğeri konulduğunda sistemin performansı etkilenmez. Ancak birimsel katkılı sistemlerde her birimin sisteme getirisi farklı olduğu için bir elemanın yerine bir diğeri koymak sistemin tüm parametrelerinin, verilen kararların ve dolayısıyla sistem davranışlarının değişmesi anlamına gelmektedir.
- Sürü zekasında birimler karar verme sürecinde diğerlerinin davranışlarını taklit etme eğilimindedirler. Birimsel katkı analizinde her bir birimin yeteneği farklı olacağından, etkilenme söz konusu olsa bile taklit etmekten bahsedilemez.
- Birimsel katkılı sistemlerde sürü zekasında olduğu gibi bireyler arasında doğrudan haberleşme yoktur.

5.4.2. Takım Zekası ve Birimsel Katkı Analizi Yönteminin Temel Farklılıkları

Birimsel Katkı Analizi yöntemi ve takım zekası arasındaki farklılıklar aşağıda listelenmiştir.

- Takım zekasında birimsel katkılı sistemlerden farklı olarak birimlerin bir merkez tarafından “yönlendirilmesi” söz konusu olabilmektedir.
- Takım zekasında birimlerin birbirleriyle haberleşmeleri en önemli iletişim unsurudur. Birimsel katkı analizi yönteminde ise diğer bireylerle doğrudan haberleşme ihtiyacı yoktur.

- Takım zekasında birim sayısı arttıkça, birimler arasındaki iletişim ve koordinasyon zorlaşacaktır. Birimsel katkılı sistemlerde ise birimler arasında doğrudan haberleşme öngörülmediği ve her birim kendi kararını sistemin toplam çıktısına göre verdiği için koordinasyon maliyeti aynı derecede artmaz.

5.5. UYGULAMA

Bu tez çalışmasında, ortaya konan “Birimsel Katkı Analizi” yaklaşımını incelemek ve analiz etmek için bir simülasyon uygulaması yapılmıştır.

Uygulamada, modellenecek sistem olarak, serbestlik derecesi (eklem sayısı) değişken olarak seçilebilen bir planar robot sistemi esas alınmıştır. Her bir eklem düzlemsel hareket yapmaktadır.

Her bir robot kolu, bir birimi temsil etmektedir. Sistemin, daha önceden belirlenen bir hedefe ulaşmak için gösterdiği davranışlar, birimler ve tüm sistem bazında incelenmiştir.

Simüle edilecek sistemin planar benzeri bir robot kolu olarak seçilmesi, birimsel katkının incelenmesine uygun bir modelleme sağlamasıdır. Birimlerin birbirinden bağımsız hareketinin analizi kolaydır. Sonuçlarının kolay irdelenebilirliği uygulama için robot kolu sistemi seçilmesi için bir diğer sebeptir.

Robot eklemleri için sürücü (örn. elektrik motoru) seçim kriterleri ve hesaplamaları dikkate alındığında merkeze yakın olan eklemlerde daha fazla güç harcayan sürücüler, uçlara yakın eklemlerde ise daha düşük güç harcayan sürücüler kullanılmasını gerektirmektedir [40]. Buradan merkeze yakın eksenlerin hareket etmesinin maliyetinin daha yüksek, uçlara yakın eksenlerde ise daha düşük olacağı sonucu çıkartılabilir.

Hareket zarfı dikkate alınacak olursa, merkeze yakın eksenlerin sisteme katkısının daha fazla olduğu, uçlara yakın eksenlerde ise bu katkının daha düşük olduğu bilinmektedir [40]. Ancak, küçük yer değiştirmeler için uçlara yakın eklemlerin hareketlendirilmesi, bunlar yetersiz kaldığında geriye doğru diğer kollarda hareketlenmelere gerek duyulduğu gözlenmektedir.

Yukarıdaki iki husus dikkate alındığında, bu robot kolu sisteminin hiyerarşik modelleme için uygun olduğu düşünülmüştür.

Sistemde, birimleri temsil eden robot kollarının daha önceden belirlenen bir hedef doğrultusunda ilerlemeleri simüle edilmiştir. Simülasyon algoritması, çözüme ulaşmak için hiyerarşik yapıya uygun olarak, en uç eksenenden başlayarak her bir kolun sırayla hedefe doğru yönelmesini sağlamaktadır.

Kolların hareketleri için belirli kurallar tanımlanarak hareket zarfları belirlenmiştir. Robot kollarının hareket güzergahına, yerleri her seferinde değişebilen engeller yerleştirilmiştir. Aynı zamanda, her bir robot kolunun hareket zarfını daraltan kısıtlar tanımlanmıştır.

Bununla birlikte, birimlerin devre dışı kalması halinde, sistemin hedefe ulaşmadaki toplam performansının incelenmesi amacıyla literatürde arıza toleransı (fault tolerance) olarak tanımlanan durum da simülasyona dahil edilmiştir.

Robotik alanında yapılan araştırmalarda, meydana gelen arızaların geri dönüşü olmayan zaman ve ekonomik kayıplara yol açtığı bilinmektedir [41]. Arıza tespiti ve dinamik olarak tolere edilebilmesi, robotların insan yardımına gerek kalmadan belirlenen doğrultuda hareketlerini sürdürebilmelerini sağlar [42]. Bu sebeple robotik alanında önemli bir araştırma alanı olmuştur. Konu ile ilgili olarak yapılan farklı çalışmalar literatürde mevcuttur [43][44][42]. Yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu kilitlenen ve çalışmaz duruma gelen eklemler üzerine odaklanmıştır [45]. Yazılım veya donanım hataları dolayısıyla eklemlerden birisinde tork (veya güç) kaybının yaşanmasıyla ortaya çıkan bir arızanın tolere edilebilmesi önemlidir. Çünkü eklemlerden bir tanesinin dahi çalışmaz duruma gelmesi robotun tüm hareketini etkilemekte ve beklenmeyen davranışlara yol açmaktadır. Uygulamadaki algoritma ile arıza toleransının simüle edilmesi de sağlanmıştır.

Mevcut ortamdaki engeller, kolların hareketleri için tanımlanan kısıtlar ve kolların hareketini tamamen engelleyen arıza durumlarında da sistemin hedefe ulaşmasını sağlamak üzere geliştirilen algoritma irdelenmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir.

5.5.1.1. Uygulamada Takip Edilen Strateji

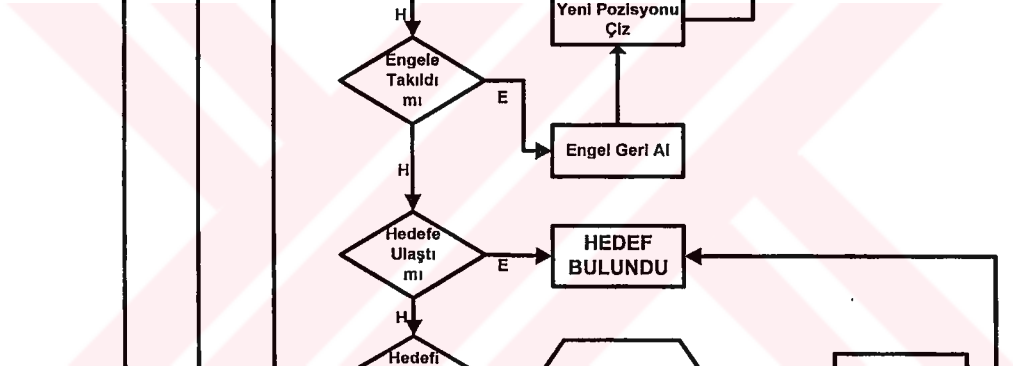
Eklemlere sabit noktadan yani omuzdan itibaren numara verilmiş, buna göre en yüksek numaralı eklem bilekte yer almıştır. Yukarıda bahsedilen hiyerarşi gereği bu uygulamada, her adımda ancak katkıda bulunma sırası kendine gelen eklem hareketlenmesi istenmiştir. Böylece hedefe ulaşmak için ilk hamleyi en büyük numaralı eklem yapacak, yeterli olmazsa geriye doğru her bir eklem kendi katkısını belirleyerek harekete geçecektir. Her eklem hareketinden sonra bilekten geriye doğru yeni bir karar-eklem süreci başlatılacaktır. Hareketin sonunda tüm birimlere ortam verisi ulaştırılıp, hedefe ulaşıp ulaşılmadığı kontrol edilmektedir.

Her adımda ortam bilgisi alındıktan sonra aşağıdaki beş durumun analizi yapılmaktadır.

- 1) Robot kolunun mevcut engellerden birisine çarpıp çarpmadığı,
- 2) Robot kollarının her biri için ayrı ayrı tanımlanmış olan kısıtlara, ulaşıp ulaşmadığı,
- 3) Kollardan herhangi birinde arıza oluşup oluşmadığı,
- 4) Kolların uç noktasının hedefi aşp aşmadığı,
- 5) Hedefe ulaşıp ulaşılmadığı.

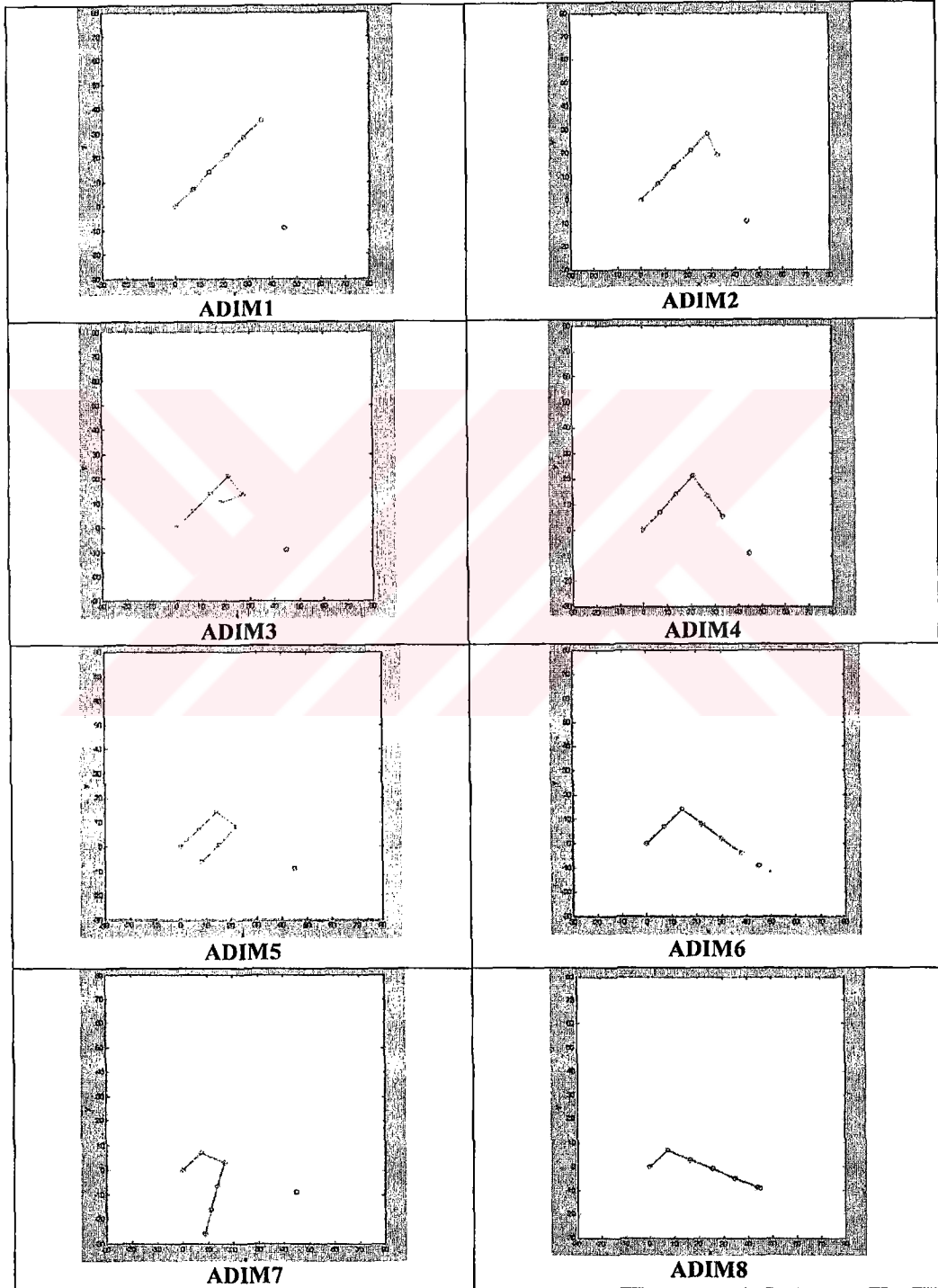
Adım sonunda robot kolu sisteminin hedefe ulaşamadığı durumda yeni hesaplamalar yapılarak bir sonraki adıma ilişkin kararlar verilmektedir. Hedefe ulaşıncaya kadar işlem devam etmektedir.

Belirlenen stratejiye göre geliştirilen algoritmanın akış şeması şekil 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.5 Uygulama Akış Diyagramı

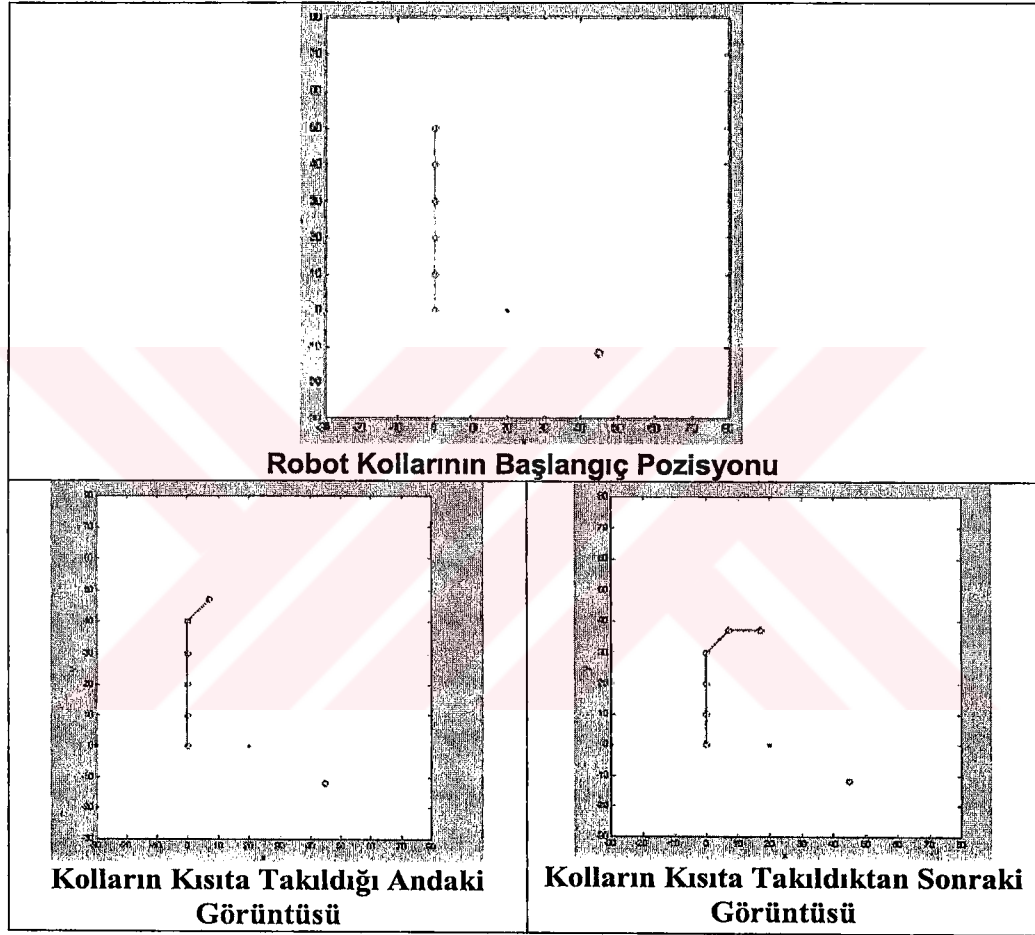
Yukarıda verilen akış diyagramına göre 5 eksenli bir robot kolu sisteminin engele veya kısıta takılmadığı, arıza ortaya çıkmayan bir durumdaki davranışları şekil 5.6'daki gibi olacaktır.



Şekil 5.6 Robotun Engele ve Kısıta Çarpmadığı, Arıza Olmayan Durum

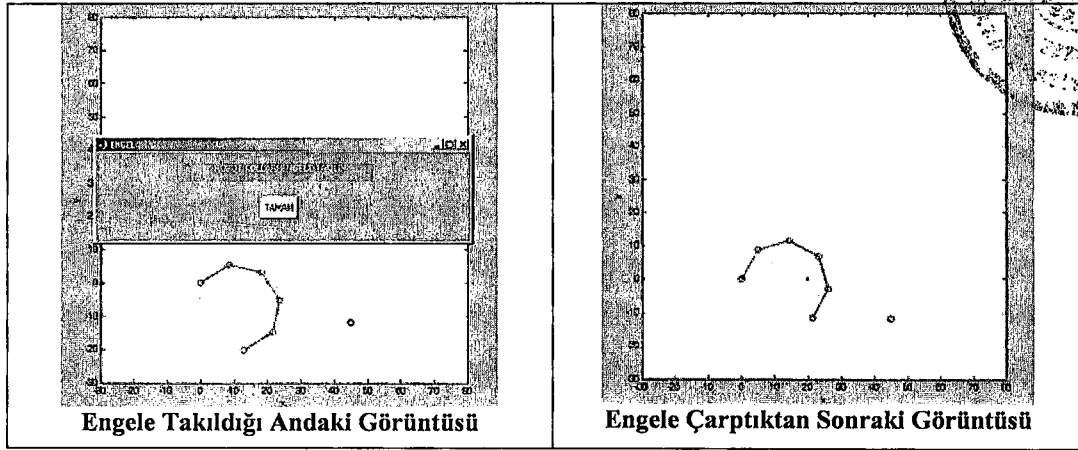


Simülasyon sırasında tanımlanan kısıtlara takılan kolların davranışı şekil 5.7'de gösterilmiştir. Kollar hedefe ulaşmak için hesapladıkları açı ile değil, kısıtta tanımlanan maksimum açı ile hareket edebilmektedir.



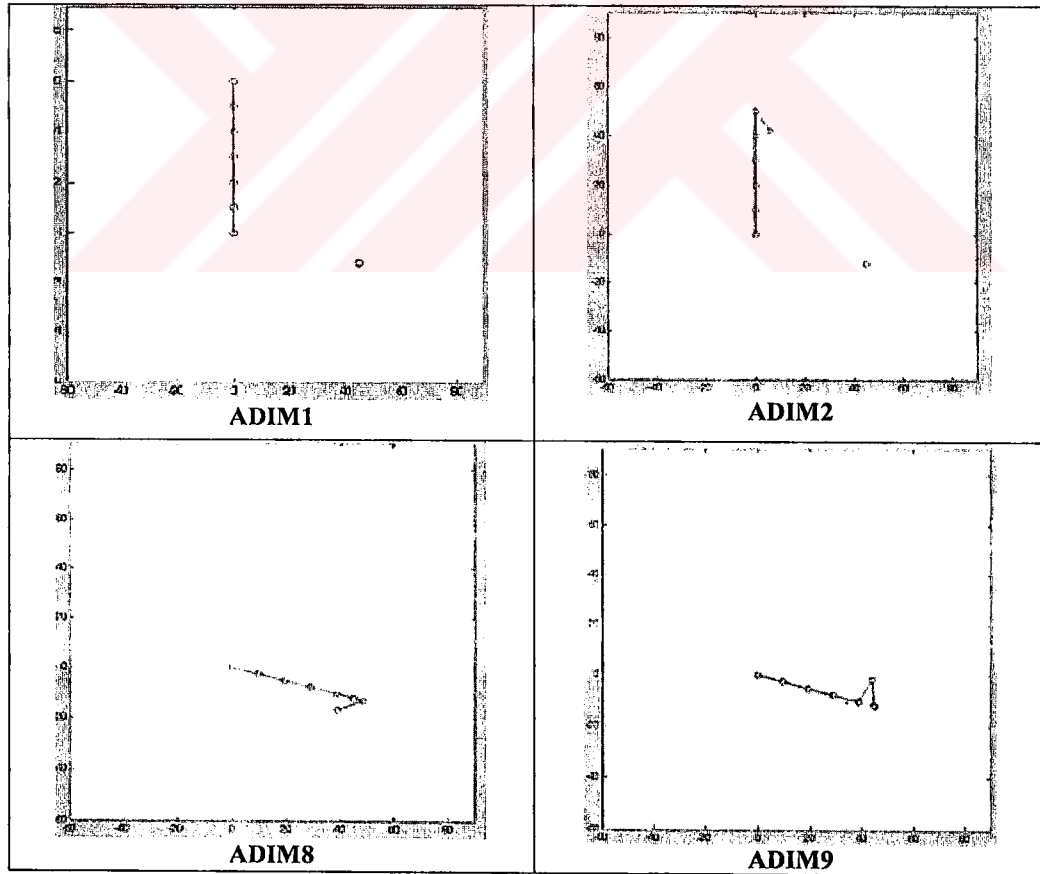
Şekil 5.7 Kısıta Takılma Durumunda Robot Kollarının Davranışı

Hareketleri sırasında engele takılan kolların davranışları ise şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Engele Takılma Durumunda Robot Kollarının Davranışı

Simülasyonda analiz edilen durumlardan bir tanesi de kollardan birinin çalışmadığı arıza durumudur. Şekil 5.9'da arızalı bir kolun davranışına örnek verilmiştir.



Şekil 5.9 Arıza Olma Durumunda Robot Kollarının Davranışı

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Birimsel Katkı Analizi yaklaşımının gösterilmesi amacıyla geliştirilen uygulamada, otonom eklemlere sahip bir planar robot kolu sistemi kullanılmıştır.

Robot kollarının hareket zarfını değiştiren kısıtlar, birimlerin yeteneklerini sınırlayan bir parametre olarak modele eklenmiştir. Bunun yanında, sosyal sistemlerde karşılaşılan engelleri modellemek amacıyla, robot kolunun hareket zarfı içine engeller konmuştur. Birimlerden birinde meydana gelebilecek arızanın, diğer birimler tarafından nasıl tolere edildiği de modelleme içine konarak incelenmiştir. Sisteme katkıda bulunan birimlerin sayısı değişken bir parametre olarak ele alınmış ve robotun serbestlik derecesi olarak modele dahil edilmiştir.

5, 10 ve 20 serbestlik dereceli robot kolu sistemleri için yapılan analizlerde, kolların engele takılma, kısıta takılma ve arıza durumları ayrı ayrı incelenmiştir. Elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir

- Engele ve kısıta takılmayan robotun başarısını yalnızca hedefin konumu etkilemektedir. Çoğunlukla omuza yakın eklemlerin eyleme katılmasına gerek olmadan hedefe ulaşılmaktadır.
- Engele takılmadığı, fakat kısıta takıldığı durumda hareket zarfı çok dar olan robot hedefe ulaşmakta zorlanmaktadır. Engelin hedefe veya başlangıç konumunda uç noktaya çok yakın olduğu durumlarda da başarılı olma olasılığı düşmektedir.
- Serbestlik derecelerinin (birim sayılarının) çözüme ulaşma oranı ile ilişkisi olmadığı gözlenmiştir.
- Robot kollarının başlangıç konumunun hedefe ulaşma başarısı ile ilişkisi yoktur.
- Çözümün mümkün olduğu durumlarda, arıza ortaya çıkması halinde genellikle hata diğer eksenler tarafından tolere edilip hedefe ulaşmak mümkün olmuştur. Ancak birinci eksen (merkez nokta üzerindeki eksen) ve

uç ekseninde arıza çıkması durumunda hedefe ulaşma olasılığının düştüğü gözlenmiştir.

Hiyerarşik olarak modellenmiş sistemde bir engelle karşılaşıldığında, aktif olarak hareket halinde olan eklem, yetkisini bir üst robot koluna devretmektedir. Dolayısıyla simülasyon, hareket zarfı daha geniş olan, başka bir deyişle daha fazla yetkiye sahip olan birim tarafından devam ettirilmektedir.

Her bir eklem kendi değişken kısıtlarının sınırları dahilinde sisteme maksimum katkıda bulunmaktadır. Kısıtları nedeniyle yeterli katkıda bulunamayan bir kolun oluşturduğu eksiklik bir sonraki eklem tarafından ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır.

Robot kollarının kısıtların getirdiği sınırlandırmaları daha kolay aştığı, ancak engeller karşısında zorlandığı ortaya çıkmıştır. Engellerle karşılaşıldığında çoğu kez hedefe ulaşılmış, ancak adım sayısı artmıştır. Aynı şekilde kollardan birinde meydana gelen bir arıza da diğer birimlerin daha fazla katkıda bulunması ile tolere edilmektedir.

Bu çalışmada, robot kollarının hedefe ulaşmak için izlediği strateji, daha çok hiyerarşik olarak tanımlanabilecek bir model üzerine kurulmuştur. Her birim öncelikle kendisi hedefe ulaşmak için karar vermekte, sistem hedefe ulaşamadığı durumda, maliyeti ve hareket zarfı daha geniş olan bir üst birim devreye girmektedir.

Sistemlerdeki birimlerin belirlenmiş ortak bir hedefe ulaşmak için kollektif olarak çalıştıkları heterojen takımlarda, hiyerarşik ilişkilerle ve esnek birimsel karar mekanizmalarıyla toplam performansın artırılması, birimlerin bazı özelliklerinin değişmesi halinde bile sistem başarısının sürdürülebilmesi, alternatif çözümlerin kolayca türetiliyor olması bu yaklaşımın etkinliğini artırmaktadır.

Yapılan çalışmada birimlerin eş zamanlı olarak karar verdiği ve eyleme geçtiği paralel algoritma üzerinde de araştırma yapılmıştır. Ancak kurulan model, hiyerarşik yapıya daha uygun olduğu için, paralel algoritmanın değerlendirilmesi bu tezin kapsamının dışında tutulmuştur. Daha sonra yapılacak çalışmalarda, her iki yöntemin karşılaştırılması söz konusu olabilir.

Birimsel katkı analizinin etkinliğinin artırılması amacıyla, her birimin sistemdeki diğer birimlerin davranışları ile ilgili tahmin yürütebilmesi ve öğrenme yeteneklerinin eklenmesi ileride yapılabilecek çalışmalar arasındadır.

Sonuç olarak yapılan bu tez çalışmasında, sosyal sistemlerin davranışlarının incelenebilmesi için, “Birimsel Katkı Analizi” adı verilen yaklaşımın kullanılabilir nitelikte olduğu, hatta bazı durumlarda avantaj yarattığı görölmüştür.

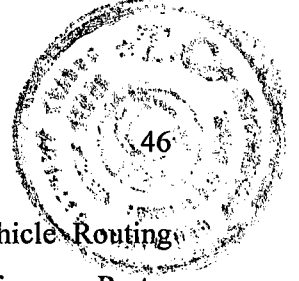


KAYNAKLAR

- [1] **EREN, E.**, “Yönetim ve Organizasyon”, Beta Yayınevi, 2001.
- [2] **GOLDSPINK, C.**, “Modelling Social Systems as Complex: Towards a Social Simulation Meta-Model”, Journal of Artificial Societies and Social Simulation Vol. 3, No. 2, March 2000.
- [3] **GILBERT, N., TROITZSCH, K. G.**, “Simulation for the Social Scientist”, Open University Press, Buckingham 1999, ISBN 0335197442.
- [4] **CONTE, R., HEGSELMANN, R., TERNA, P.**, “Simulating Social Phenomena”, Springer, Berlin 1997, ISBN 3540633294.
- [5] **ESIN, E. M.**, “Denetim Teknolojisi ve Tasarım”, GYTE Yayınları No 6, 1999.
- [6] **BOULDING, K.**, “General System Theory”, George Braziller Inc., New York, 1968.
- [7] **PARSAYE, K., CHIGNELL, M.**, “Expert Systems for Experts”, John Wiley & Sons Inc, 1988, ISBN 0-471-60175-6.
- [8] **KUO, B. C.**, “Automatic Control Systems”, Prentice Hall Inc, 1991, ISBN 0-13-051046-7.
- [9] **HARARY, F.**, “Graph Theory”, Addison Wesley Pub Co., 1970.
- [10] **EREN, E.**, “Örgütsel Davranış ve Yönetim Psikolojisi”, Beta Yayınevi, 2001.
- [11] **GOULD, S. J.**, “The Mismeasure of Man”, W.W. Norton & Company, 1996, ISBN 0393314251.
- [12] **EPSTEIN, J. M., AXTELL, R.**, “Growing Artificial Societies”, MIT Press, ISBN 0-26205053-6, 1996.
- [13] **MCKELVEY, B.**, “Complexity Theory in Organization Science: Seizing the Promise or Becoming a Fad?”, A Journal of Complexity Issues in Organizations and Management, Vol 1 No 1., p.p. 5-32, 1999.
- [14] **GILBERT, N., CONTE, R.**, “Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Life”, UCL Press, London 1995, ISBN 1857283058.

- [15] **JOHNSON, N. L.**, "Diversity In Decentralized Systems: Enabling Self-Organizing Solutions", Presented at the Decentralization II Conference, UCLA, November 19-20, 1999 (LA-UR 99-6281).
- [16] **LYNDEN, S., RANA, O. F.**, "LEAF: A toolkit for developing coordinated learning based MAS", Proceedings of the International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'03), 0-7695-1926-1/03 IEEE 2003.
- [17] **HEYLIGHEN, F.**, "Collective Intelligence and its Implementation on the Web: algorithms to develop a collective mental map", Research Associate FWO (Fund for Scientific Research-Flanders)
- [18] **SZUBA, T.**, "A Formal Definition of the Phenomenon of Collective Intelligence and Its IQ Measure", Elsevier Science B.V., Future Generation Computer Systems 17 (2001) 489-500.
- [19] **RICH, E., KNIGHT, K.**, "Artificial Intelligence", Second Edition, McGraw-Hill Inc, 1991, ISBN 0-07-100894-2.
- [20] **SIMONIN, O., FERBER, J., DECUGIS, V.**, "Performances Analysis in Collective Systems", IEEE Computer Society, ICMAS'98 3th International Conference on Multi-Agent Systems (Paris, France) pp. 469-470.
- [21] **TUMER, K., AGOGINO, A. K., WOLPERT, D. H.**, "Learning Sequences of Actions in Collectives of Autonomous Agents", ACM 1-58113-480-0/02/0007, AAMAS'02, July 15-19, 2002.
- [22] **WOLPERT, D. H., TUMER, K.**, "An Introduction to Collective Intelligence", Technical Report NASA-ARC-IC-99-63, NASA Ames Research Center, 1999, URL:http://ic.arc.nasa.gov/ic/projects/coin_pubs.html, (to appear in Handbook of Agent Technology, Ed. J. M. Bradshaw)
- [23] **WOLPERT, D. H., TUMER, K., FRANK, J.**, "Using collective intelligence to route internet traffic", Advances in Neural Information Processing Systems-11, pp. 952-958, Denver, CO, December 1998.

- [24] **WOLPERT, D. H., WHEELER, K., TUMER, K.**, "Collective intelligence for control of distributed dynamical systems", *Europhysics Letters*, vol. 49 issue 6, 708-714, 2000.
- [25] **WOLPERT, D. H., KIRSHNER, S., MERZ, C. J., TUMER, K.**, "Adaptivity in agent-based routing for data networks", *Agents 2000 Barcelona Spain, ACM 2000* 1-58113-230-1/00/6
- [26] **TUMER, K., WOLPERT, D. H.**, "Collective intelligence and Braess' paradox", In *Proceedings of the Sixteenth National Conference on Artificial Intelligence*, pages 104-109, Austin, Aug 2000.
- [27] **ARTHUR, B. W.**, "Inductive Reasoning and Bounded Rationality: The El Farol Problem", in *Proc. Amer. Econ. Rev.: Amer. Econ. Assoc. Papers*, vol. 84, May 1994, pp. 406-411.
- [28] **CAO, Y. U., FUKUNAGA, A. S., KAHNG, A., MENG, F.**, "Cooperative Mobile Robotics : Antecedents and Directions", *Proceedings of the International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS '95)* 0-8186-7108-4/95, IEEE 1995.
- [29] **WHITE, T.**, "Swarm Intelligence", 95.590Y, (Lecture Notes - 1)
- [30] **KUBE, C. R., ZHANG, H.**, "Stagnation recovery behaviours for collective robotics", *Proceedings. of the 1994 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 1883-1890.
- [31] **KASSABALIDIS, I., EL-SHARKAWI, M.A., MARKS, R. J., ARABSHAHI P., GRAY A. A.**, "Swarm Intelligence for Routing in Communication Networks", 0-7803-7206-9/01, IEEE 2001.
- [32] **COLONI, A., DORIGO, M., MANIEZZO, V.**, "An investigation of some properties of an ant algorithm", *The Parallel Problem Solving From Nature Conference (PPSN 92)*, Brussels, Belgium, 1992, ELSEVIER Publishing, 509-520.
- [33] **OZTURK, S., ESIN, E. M.**, "Sürü Zekasının Benzetimi ve Bilişim Teknolojileri", *TBD 19.Bilişim Kurultayı*, 2002, İstanbul.



[34] **WADE, A., SALHI, S.**, “An Ant System Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Backhauls”, MIC’2001 4th Metaheuristics International Conference, Porto, Portugal, July 16-20, 2001.

[35] **GAMBARDELLA, L. M., DORIGO, M.**, “Solving Symmetric and Asymmetric TSPs by Ant Colonies”, To Appear in IEEE Conference on Evolutionary Computation (ICEC’96), May 20-22, 1996, Nagoya, Japan.

[36] Swarm Bots Project, Coordinator Professor Marco Dorigo, The European Commission, Information Society Technologies Community Research, <http://www.swarm-bots.org>.

[37] **BONABEAU, E., THERAULAZ, G.**, “Swarm Smarts” , Scientific American, March 2000.

[38] **SENGE, P. M.**, “Beşinci Disiplin, Öğrenen Organizasyon Düşünüşü ve Uygulaması”, Yapı Kredi Yayınları, 1998.

[39] **ESIN, E. M., TAHRALI, I.**, “Takım Davranışları ve Bilimsel Katkı Analiz Yöntemi”, TBD 20. Bilişim Kurultayı, 3-6 Eylül 2003, İstanbul.

[40] **CRITCHLOW, A. J.**, “Introduction to Robotics”, Macmillan Publishing Company New York, 1985, ISBN 0-02-325590-0.

[41] **TINOS, R., TERRA, M. H.**, “Fault Detection and Isolation in Robotic Manipulators Using A Multilayer Perceptron and A RBF Network Trained by the Kohonen’s Self-Organizing Map”, SBA Controle & Automação, Vol 12 no 01, 2001.

[42] **VISINSKY, M. L.**, “Fault Detection and Fault tolerance Methods for Robotics”, Master of Science, Rice University Houston Texas, December 1991.

[43] **MACIEJEWSKI, A. A.**, “Fault tolerant properties of kinematically redundant manipulators”, in Proc. 1990 Int. Conf. Robot. Automat., Cincinnati, OH, May 13–18, 1990, pp. 638–642.

[44] **VISINSKY, M. L., CAVALLARO, J. R., WALKER, I. D.**, “A dynamic fault tolerance framework for remote robots,” IEEE Trans. Robot. Automat., vol. 11, pp. 477–490, Aug. 1995.



[45] **ENGLISH, J. D., MACIEJEWSKI, A. A.**, "Fault Tolerance for Kinetically Redundant Manipulators: Anticipating Free-Swinging Joint Failure", IEEE Transactions On Robotics and Automation, Vol. 14, No. 4, August 1998.





ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Konya’da doğdu. Orta ve lise eğitimini Meram Anadolu Lisesi’nde tamamlayarak 1996 yılında girdiği Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünden 2000 yılında mezun oldu. 2001 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsünde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

