

## Topluluk Zekâsı Yönetimi ve Optimizasyonu

Mehmet Uğur Öney<sup>1</sup>, Ahmet Çevik<sup>1</sup>, Yar.Doç.Dr. Nergiz Ercil Çağiltay<sup>2</sup>, Özkan Kılıç<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Atılım Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Öğrencisi, Ankara

<sup>2</sup> Atılım Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, Yar.Doç.Dr. , Ankara

<sup>3</sup> Atılım Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Öğretim Görevlisi, Ankara

m.ugur.oney@gmail.com, ahmet\_4@hotmail.com, nergiz@atilim.edu.tr, ozkankilic@atilim.edu.tr

**Özet:** Gerçek hayatta sosyal varlıklar problemlerin çözümünü, ortak çalışma ile daha kısa zamanda bulabilmektedirler. Bunun yanı sıra sosyal varlıklar, öğrendikleri bilgileri diğer topluluk elemanları ile paylaşıp, ortak bir bilgi havuzunda birleştirmektedirler. Bir topluluğa ait bireyler, diğer bireylerin davranışlarından ya da deneyimlerinden yararlanarak, kendileri açısından bir anlam çıkartmakta ve bu bilgileri ileride karşılaşacakları problemlerin çözümleri için bir araç olarak kullanılmaktadır. Bir sosyal topluluğun bu tür davranışları, sayısal ortamlarda simüle edilerek çeşitli problemlerin çözümünde kullanılabilir. Bu makale ortak bir problemin çözümü için bir araya gelmiş bir topluluğun davranışlarının yönetimi ve çözümün optimizasyonu ile ilgili bir model önermektedir. Bu modelin kullanımı ile bir çok alanda daha etkin uygulama yöntemlerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Sürü davranışları, Topluluk Zekâsı, Ortak Problem Çözümü, Topluluk Davranışlarının Optimizasyonu

### 1. Giriş

Yapay zekâ, akıllı bilgisayar programları ve akıllı makinenin tasarımı üstüne odaklanmış bir mühendislik bilimidir [1]. Yapay zekâ günümüzde birçok aktif kullanım alanına sahiptir. Bunlardan bir kaçısı bilgisayar oyunları, ses tanımlamaları, doğal dillerin anlaşılması ve uzman sistemlerdir. Bunların yanı sıra yapay zekâ, çeşitli sorunların çözümünün hızlandırılmasında da yardımcı bir araç olarak kullanılmaktadır.

Belirli bir problemin çözümü için zeki bireylerden oluşmuş bir topluluğun kullanılması, tek bir bireyin kullanılmasına göre daha etkin bir yöntemdir [10]. Bu yaklaşımda, topluluğun davranışlarının düzgün bir şekilde idare edilebilmesi ve bu idarenin en optimum yol ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bunun için bireyler arasındaki haberleşme, uyum, yeni bilgiler edinebilme yetisi, edinilen bilgilerin yorumlanması, topluluğun ileriki zamanlarda daha iyi var olabilmesi için ortamdaki başarısının gözlenmesi ve yorumlanması gibi faktörlerin incelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, bu tür toplulukların en iyi şekilde idaresini sağlayacak bir mimari model oluşturmak ve problem çözümünü bireyler arasında paylaştırarak çözümü en az zaman kaybı ile ve en doğru şekilde bulabilmektir. Daha önceden üzerinde çalışılmış olan benzer topluluk yönetimi sistemleri de mevcuttur [3-6-7]. Fakat bu sistemler genel olarak özel bir konu üstüne geliştirilmiştir ve farklı bir problem ya da ortamda istenilen performansı verememektedirler. Önemli olan bireylerin birbirleri ve ortam ile aralarındaki iletişimin yüksek olması ve öğrenme yetileri ile gelişen çevreye ayak uydurabilme kabiliyetleridir. Bu amaca ulaşmak için bu çalışmada, çeşitli yapay zekâ teknikleri birbirleri ile haberleşecek ve birbirlerini destekleyecek şekilde kullanılarak temel bir yapı oluşturulmuştur.

### 2. Topluluk Zekâsı Kullanılan Benzer Sistemler

Günümüzde topluluk zekâsı yönetiminde kullanılmakta olan birçok yapay zekâ uygulama-

ları bulunmaktadır. Bu sistemlerden biri de Collective Mental Map (CMM) dir [3]. Topluluk zekâsı, bir grup bireyin problem çözme kabiliyetine denir [2]. Bu kavram, ağırlıklı olarak sosyoloji ve bilgisayar bilimlerinde kullanılmaktadır. CMM’de benimsenen temel düşünce topluluk zekâsı kavramına dayanmaktadır. CMM veri alış verişinin açık olduğu, problem tanımlarının ve olay sonuç ilişkilerinin birlikte toplandığı ortak bir mimaridir. Genel yapı olarak ağırlıklı ve yönlü bir grafik (weighted directed graph) yaklaşımı benimsenmiştir. CMM, karınca kolonileri optimizasyonu ve çeşitli temel sistemler kullanılarak oluşturulmuştur. Temel fikir olarak “iki akıl bir akıldan daha üstündür” felsefesi benimsenmiştir. Bu teknik kullanılarak, daha verimli bir World-Wide-Web (WWW) yapısı oluşturularak internet üzerindeki işlemlerin daha verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Sistemde iki farklı algoritma kullanılmaktadır:

1. *İnternet sayfası üzerinde açılan bağlantıların (link) yoğunluğunu belirleyen ve bunu bir matris üzerinde oluşturan mekanizma.*
2. *WWW’i öğrenerek kullanıcının yönlendiği doğrultuda yeni internet sayfaları oluşturmak veya bağlantıların yoğunluklarını düzenlemek.*

Bu şekilde oluşturulan ağırlıklı grafiği kullanan, sistem kullanıcıya ilişkili olan bağlantıları veya ilişkili dokümanları çıkartarak sunabilecektir. Bu sistem bir konu üzerine yoğunlaştığı için genel bir mimari olarak kullanılması zorluklar çıkartabilir. Örneğin bu yaklaşımda, sabit bir platform üzerine geliştirilmiş bir yapının kullanılması nedeniyle, diğer yakın alanlarda temel bir mimari dayanak alınarak yerleşmesi ve üzerinde güvenilir sistemlerin geliştirilmesi son derece kısıtlıdır.

Bazı sistemler ise topluluk zekâsına benzeyen sürü zekâsını (particle swarm optimization) [4] ve karınca kolonisi optimizasyonunu (ant colony optimization) [5] kullanmaktadır. Bu sistemler genel olarak birden fazla bireyin

bir araya gelmesi ve buldukları ortam içinde birbirleri ile haberleşme halinde olması ile oluşturulur. Bu gibi sistemlerde herhangi bir bireyin hareketi diğer bireylerin hareketlerini tetikleyebilir. Örnek olarak, bir canlı sürüsünü oluşturan bireylerden birinin tehlikeyi sezmesini ve bu tehlikeye karşı verdiği tepkinin sürü içinde ilerleyip tüm bireylerin tehlikeye karşı ortak bir davranış sergilemesini verebiliriz.

Bunların yanı sıra Nasa [6] bu sistemlerin bir benzeri olan sürü optimizasyonlarını [4] kullanılarak güneş sistemi içerisindeki bazı gezegenlerin haritalarını oluşturmaktadır. Sistem, gezegenlerin yörüngelerinde olan uyduların, gezegen yüzeylerini araştırılırken birbirleri ile haberleşerek araştırılmış bir yerin bir kez daha üzerinden geçilmesini engeller. Bu sayede zamandan kazanç sağlanarak bir uydunun daha fazla yer taraması sağlanır. Sistem aynı zamanda grup halinde hareket ettiği için, bir bireyde oluşan sorunu ve bu sorundan ötürü kaynaklanan kaybı, diğer bireylerin yardımı ile en az seviyede tutar. Fakat sistemin dezavantajlarından en önemlisi aynı sorunlardan diğer bireylerin sakınmayı öğrenmesinin ya da tekrar benzer bir sorun belirlediğinde çözümü için daha önceki bilgilerin kullanılmasının mümkün olmamasıdır.

Bir diğer yaklaşım ise, Cavalcanti ve Freitas’ın [7] çalışmalarında da belirtildiği gibi, topluluk davranışlarının ve zekâsının nano-robotların kontrol sistemlerinin tasarlamasında kullanılmıştır. Nano-robotlar tıpta, insan vücudundaki yabancı oluşumların belirlenmesi ve bu oluşumların en az zarar ile yok edilmesinde kullanılabileceklerdir [7]. Birbirleri ile haberleşme içinde olan nano-robotlar, belirlenen bir problemi çözmek için bir araya gelerek yapıyı daha etkin kırlırlar. Üç boyutlu bir ortam ve çok kalabalık bir nüfus söz konusu olduğu için, nano-robotların kontrollerinin ve birbirleri ile iletişiminin makul bir düzeyde tutulması gerekir. İnsan vücudu içinde hareket ederek yabancı organizmalara karşı koruma sağlayacak olan nano-robot sistemlerinde genetik algoritmalar [8] ve yapay sinir ağları [9] gibi yapay zekâ

yöntemleri uygulanarak sistemin daha etkin çalışması sağlanmıştır.

Fakat insan vücudu içerisine giren önceden tanımlanmış bir organizma ya da bir oluşum ile karşılaştığında nano-robotlar tepkisiz kalacaklardır. Bunun nedeni, nano-robotların öğrenme yetisine sahip olmamalarıdır. Karşılaştıkları yeni durumları öğrenip diğer bireyler ile haberleşmeleri ve ortak çalışmalarını bu yönde kullanmaları etkinliklerini artıracak en önemli durumdur.

### **3. Topluluk Yönetimi ve Optimizasyonu**

Bir topluluğun bir arada çalışmasını yönetmek ve en ideal şekilde gelişmesini sağlamak için kullanılan tekniklerin birbirleri ile iyi bir haberleşme ve uyum içinde olması gerekmektedir. Sistem geliştirilirken genel bir yöneticinin (küresel bir zamanlayıcı) ve modüler bir sistem yapısının benimsenmiş olması şarttır. Bu nedenle geliştirdiğimiz mimarinin modüler yapısı, modüllerin birbirleri ile ilişkisi ve uyumu nedeniyle farklı ortamlarda uygulanmasını mümkün kılmaktadır. Sistem aynı zamanda ortamın nasıl geliştiğini ve nasıl oluştuğunu öğrenip bu bilgileri o anki durumuna göre yorumlayabilme yetisine sahip olduğu için her hangi bir çevrede ayakta kalabilme ve topluluk özelliklerini koruyarak problemin çözümüne odaklanabilmektedir.

Sistem, küresel zaman birimi, fiziksel ortam, topluluk ve bir hedeften oluşmaktadır. Genel olarak sistem küresel zamana ve bireylerin kendi parametrelerine bağlı olarak çalışmaktadır. Her bireyin yetenekleri ve davranışları (parametreler) farklı olduğundan, belirli zaman aralıklarında topluluktan en başarılı olan bireyler genetik algoritma kullanılarak seçilir ve daha zeki bir kuşak oluşturulmak üzere bu bireylerin parametreleri genetik olarak çaprazlanır. Sistemde her bireyin kendi geçmiş tecrübeleri bulunmakla birlikte ortak kullanılan bir bilgi havuzu da bulunmaktadır. Bu bilgi

havuzu, diğer bireylerin problemin çözümünde yardımcı bir araç olarak kullanılmakla beraber, çözüme daha doğru ve daha kısa yol ile ulaşmalarını sağlayacaktır. Toplulukta bulunan bireylerin parametreleri ve başarı yüzdeleri, küresel zamana bağlı olarak değişerek bilgi havuzu bu aralıklarla yenilenecektir. Çözüme bir diğer katkısı olan unsur ise bireylerin öğrenme yeteneklerinin kullanılmasıdır. Öğrenme ile bireyler kendi tecrübelerine yeni veriler ekleyecek ve aynı durumlarla karşılaştığı takdirde, bireyin kendi tecrübe veri yapısından aldığı bilgiler, yani geçmişte öğrendiği bilgiler doğrultusunda daha doğru bir hamle yapmasını sağlayacaktır. Kullanılmakta olan öğrenme algoritmaları genel olarak olay-durum (action-situation) ve durum-hamle (situation-event) şeklinde yapılandırılmıştır. Bütün olay-hamle veya durum-hamle gibi mantıksal ilişkiler bir veri yapısında tutulacak ve verilecek kararlarda bu bilgiler parametre olarak gerekli olan karar verme modülüne gönderilip, uygun olan karar geri döndürülecektir. Karar verme fonksiyonları aslında içinde karar-veri yapısı bulundurmakla birlikte, alınan parametrenin karşılığı olan hamleyi temsil eden veriyi geri döndürmektedir. Alınan parametrenin birden çok kararı olabileceği gibi her kararın kendisine göre bir ağırlığı da (weights) vardır. Bu kararlar verilirken, karar veren bireyin parametreleri çok büyük bir rol oynamaktadır. Öğrenilen bilgilerin bir kısmının bilgi havuzuna aktarılıp, diğer bireylerin de bu bilgilerden yararlanmasını sağlamak, sistemin gelişmesinde yer alan önemli unsurlardan biridir.

### **4. Mimari Yapı**

Topluluk yönetimi ve optimizasyonunun temel olarak mimarisi alt modüllerin birbiri ile iletişimi ile gerçekleşir. Bu modüller birbirlerinden yeterince bağımsız olarak çalışırlar. Aynı zamanda bu modüllerin kendi içlerinde sıkı bir bağ olması gereklidir. Genel olarak mimari Şekil 1'de verilen sistem hiyerarşisinde görülmektedir.



hızlarını yükseltecektir. Sistemde temel alınan bazı öğrenme algoritmalarından biri tümevarım (inductive learning) öğrenme tekniğidir. Tümevarım öğrenme tekniği, bir bireyin daha önceden öğrendiği olayları varsayıp, bunun yanında daha fazla öğrenmesi gerektiğini ve önceki tecrübelerinden yararlanarak bu yönde davranış biçimine yönelmesini destekler [11]. Tümevarım öğrenme tekniğinin temel olarak nasıl Şekil 4’de anlatılmıştır.



Şekil 4. Tümevarım Öğrenme Tekniği

Şekil 4’de görüldüğü gibi daha önceden öğrenilen bilgiler bilgi tabanında (knowledge base) tutulmaktadır. Sistemin çalışma anında herhangi bir olay gerçekleştiğinde, birey bu olaya karşı tepki üretir. Ürettiği bu tepki, önceki öğrendiklerini göz önünde bulundurarak, tekrar yenilenir ve değişime uğrayabilir.

Topluluk yönetimi ve optimizasyon’unda öğrenme, belirli aşamalardan geçer. Her bireyin kendi geçmiş tecrübeleri bir bilgi tabanında tutulur, dışarıdan yeni bir olay (action) geldiğinde bireylerin sahip olduğu muhakeme şeması (reasoning schema) düzenlenir. Bu şemada önceden tanımlı olan ve sistemin çalışma esnasında sürekli olarak kontrol altında tutulan olay-durum (action-situation) ve durum-tepki (situation-event) ikili grupları bulunur. Bu konuya örnek olarak iki önerme verelim.

- $H_1$ :  $X$  varsa  $Y$  negatiftir
- $H_2$ :  $Y$  negatif ise  $Z$  yoktur

$H_1$  önermesini olay-durum (action-situation) olarak,  $H_2$  önermesini ise durum-tepki

(situation-event) olarak ele alalım. Bu iki önermeden görüldüğü gibi, eğer  $X$  varsa  $Z$  yoktur ( $X \rightarrow \neg Z$ ) sonucu çıkarılacaktır. Benzer şekilde bu tip muhakemeler sistemde yer alacaktır. Şema düzenlendikten sonra birey, bir sonuç çıkarır ve bu sonucu var olan şemaya bakıp tekrar yorumlar. Öte yandan karar verme aşamasında, karar verme yapısal ağacı (decision tree), bireylere kısa zamanda karar verme olanağı sağlar. Sistem belirli zaman aralıklarında evrime uğradığı için bu tip bir yapı da değişime uğrayabilir. Bu yüzden karar verme yapısal ağacı dinamik bir özelliğe sahip olmalıdır. Karar verme aşamasındaki önemli bir nokta ise, yapı üzerindeki her kararın bir ağırlığının olmasıdır. Buradan anlaşılacağı gibi gerçekleşen bir olay sonucunda, karar verme yapısal ağacına başvurulması halinde gerçekleşen olayın topluluktaki birey tarafından birden fazla tepkisi (event) olabilir. Bu tepkilerden o anki bireyin durumuna bakılarak en optimum kararın verilmesi gerekir. Öğrenme algoritmalarının yapay sinir ağları tarafından yönetilmesi kaçınılmazdır. Yapay sinir ağları, biyolojik sinir ağlarının bir nevi sayısal sinyal alışverişlerine sahip olan sistemine denir [12]. Yapay sinir ağları farklı bölümlerden oluşur ve her bir bölümün görevi diğerlerinden farklıdır. İyi bir yapay sinir ağı test süreçlerinden geçirilirse öğrenme yeteneği kazanır [9].

#### 4.4 Sürü Yapısı

Mimarideki bireylerin ortaklaşa bir çalışma yapabilmeleri için, bir bütünlük sergilemeleri gerekmektedir. Bunun için kullanılan modül bireylerden parametrelerini toplayarak işleme sokar ve gerekli olan değerleri diğer modüllere iletir. Bu modül temel olarak sürü sistemlerini (flocking) kullanır [13]. Bu sistem vektörel bir yaklaşım kullanır. Modül dört ana vektörden ve bu vektörlerin hesaplanması üzerinden çalışır. Bu dört vektör;

- $C$ : Sürünün ağırlık merkezini gösteren vektör.
- $V$ : Sürünün ortalama hızını gösteren vektör.
- $D$ : Bireylerin bir birlerine göre konumlarını gösteren vektör.

- *T: Hedefin tahmin edilen pozisyonunu gösteren vektör:*

Modül basit olarak bu dört vektörün toplamını alarak tek bir vektör elde eder. Bu vektör, modül tarafından belirlenmiş olası gidilebilir bir doğrultu verir. Bu şekilde bireylerin bir bütünlük içerisinde olmaları sağlanır. Bu yöntemin getirdiği en büyük avantaj, bir birey bir problemle karşılaştığı zaman yakınlarında yardım edecek bir bireyin bulunma şansının yüksek olmasıdır.

#### 4.5 Yön Bulma

Belirlenen bir hedefe doğru ilerlemek ve en optimum yolu bulmak amacıyla kullanılan bu modül içerisinde A\* algoritmasının [14] uygulanmıştır. Bireyler bu modüle gitmek istedikleri hedefleri belirterek geriye bir vektör döndürür. Eğer dinamik bir hedef var ise algoritma her döngüde çalıştığı için tekrar hesaplayarak hedefe yeni bir yol belirleyecektir. Temel olarak A\* yol bulma algoritması çevreden aldığı verileri kullanarak bir ağaç oluşturur ve hedefe giden en optimum yolu bulmak için her adıma ağırlık atarak hedefe giden yolu bulacaktır.

#### 4.6 Bilgi Tabanı, Paylaşım ve Hafıza Birimi

Ortamdan edinilen bilgiler ve tecrübeler doğrultusunda bireylerin yeni sorgular çıkarması için bilgi tabanına ihtiyaç duyulur. Sistem başladığı andan itibaren edinilen her yeni bilgi, bilgi tabanında birbirleri ile ilişkili çiftler (pair) halinde kaydedilir. Bazen bireyler arasında ortak bir bilgiden yararlanma söz konusu olduğundan kısıtlı bazı bilgiler ortak bilgi havuzuna yollar. Böylece bireyin oluşan olaylardan sorgu çıkarması daha hızlı bir şekilde gerçekleşir. Bu konuya örnek olarak bir kişinin bizim çözümünü bilmediğimiz bir sorunun çözümü hakkında ipucu vermesi mümkün olur. Bu şekilde çözümü bulmak için bireylerin, kendi kendini sorgulamasının önüne geçilir ve ortak çalışma desteklenmiş olur. Genel olarak bilgi tabanının çalışma mekanizması döngüler şeklinde olur ve küresel zamanın kontrolündedir.

#### 4.7 Karar Mekanizması

Karar mekanizması, özel bir ağaç yapısından oluşmakla birlikte, bu ağacın sahip olduğu değerler bilgi tabanından alınan bilgiler doğrultusunda oluşturulur. Bu oluşum, o anki ortamın koşullarına bağlı olarak dinamik bir biçimde değişir. Her kararın birden fazla alternatifi olacağı gibi, her birinin ağırlığı da vardır. Bireyler, bu kararları verirken kendi durumlarını göz önünde bulundurarak en uygun kararı vermeye çalışırlar. Verilen kararlar uygun bir tipe dönüştürüldükten sonra ilişkili modüllerin kullanımı için yollar.

#### 4.8 Vektörel Hareket Mekanizması

Küresel zamanın kontrolündeki modüller çalışmalarını tamamladıklarında, işledikleri verileri bu modüle gönderirler. Bu modül gelen verilerin ağırlıklarına bakarak genel bir vektörel hesaplama ile toplam yön vektörünü ortaya çıkartarak gerekli birimlere, bireyin hareketi için olan yönü ve hızı bildirir. Bu modüle gelen vektörel parametrelerin yapısı aşağıdaki gibidir;

$$V = \langle S, F, W \rangle$$

*S: Bireyin koordinat düzleminde bulunduğu nokta ( $S_x, S_y$ )*

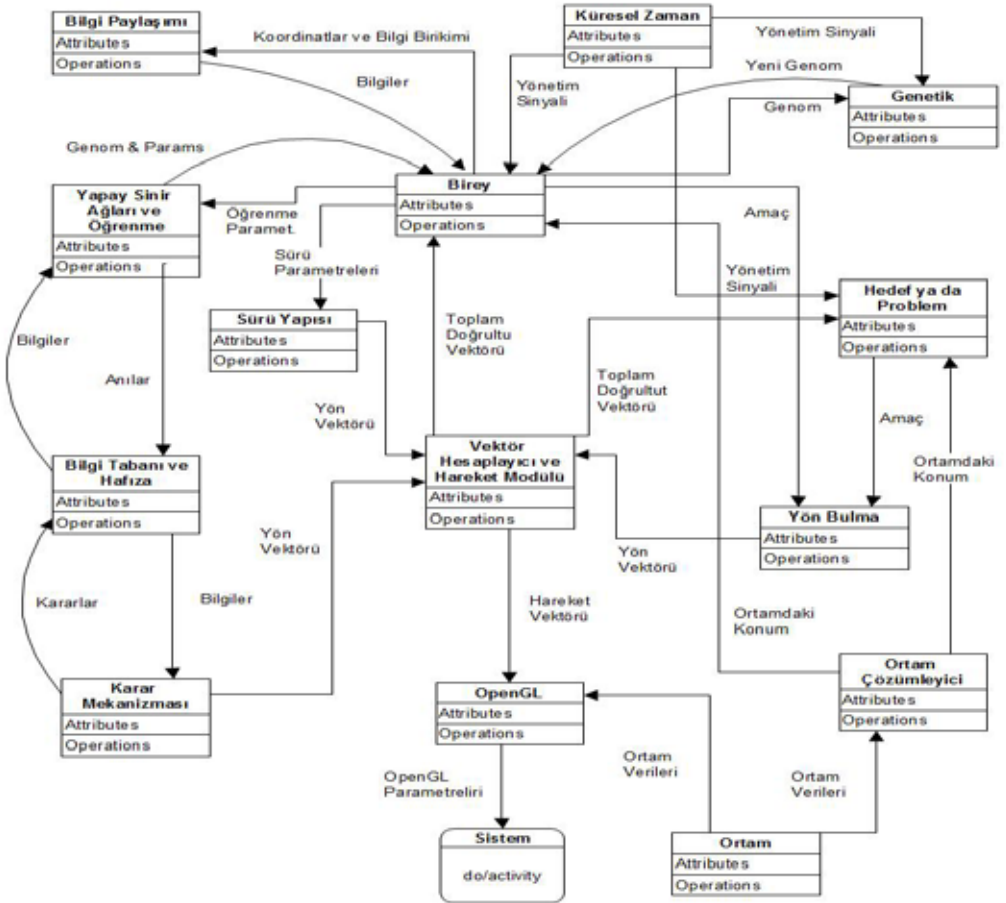
*F: Bireyin koordinat düzlemindeki hedef noktası ( $F_x, F_y$ )*

*W: Vektörün geldiği modülün çalışma önemliliği*

Vektörel hareket mekanizması net yönü hesaplar, modüllerden gelen parametrelerin ağırlıklarını göz önünde bulundurarak işlemi yapar.

#### 5. Sonuç ve Değerlendirme

Sonuç olarak, modüller belli bir hiyerarşik düzende birleştirildiğinde ve modüller bir arada genel bir düzenleyicinin yardımı ile kontrol altına alındığında kullanılabilir bir model haline getirilebilir. Ortaya çıkan model aşağıda verilen UML diyagramı (Şekil 5) ile açıklanabilir.



Şekil 5. UML Diyagramı

Oluşturduğumuz model günümüzde uygulanmakta olan topluluk tabanlı sistemlerin geliştirilmesinde ya da daha verimli çalışmaların elde edilmesinde kullanılabilir. Örneğin, Cavalcanti ve Freitas'ın [7] nanorobot teknolojisi üstüne yaptıkları çalışmada, nanorobotların canlı vücuduna zerk edilmeden önce programlanmaları gerekmektedir. Fakat program dahilinde olmayan yabancı organizmalar ile karşılaştıklarında bu nanorobotlar etkisiz kalacaklardır. Topluluk zekâsı yönetimi ve optimizasyonu için geliştirdiğimiz model bu tip bir alanda uygulandığında, modelin sahip olduğu öğrenme yeteneği ve bireylerin evrimleşerek gelişme özellikleri sistemin daha verimli çalışmasına olanak sağ-

layacaktır. Bu şekilde programlanmış nanorobotlar canlı vücudu içinde karşılaşacakları yeni yabancı organizmalara da yanıt vereceklerdir. Bu makalede önerdiğimiz yapının kullanılması ile daha verimli, işlevsel ve kendini geliştirme yetisine sahip sistemlerin elde edilmesi mümkün olacaktır.

## 6. Kaynaklar

[1] McCarthy J., *What is Artificial Intelligence*, Stanford University Computer Science Department, November 2004

[2] Wolpert D. H., Tümer K., *An Introduction*

to *Collective Intelligence*, USA National Aeronautics and Space Administration, No. NASA-ARC-IC-99-63, August 1999

[3] Heyligen F., *Collective Intelligence and Its Implementation on the Web: Algorithms to develop a Collective Mental Map*, University of Brussels, 1999

[4] Settles M., *An Introduction to Particle Swarm Optimization*, University of Idaho Computer Science Department, November 2005

[5] Dalkılıç G., Türkmen F., *Karınca Kolonisi Optimizasyonu*, Dokuz Eylül Üniversitesi, 2004

[6] Curtis S. A., Rilee M. L., Clark P. E., Marr G. C., *Use of Swarm Intelligence in Spacecraft Constellations for the Resource Exploration of the Asteroid Belt*, Third International Workshop on Satellite Constellations and Formation Flying, Pisa, Italy, 24-26, 2003

[7] Cavalcanti A., Freitas R. A. Jr., *Nanorobotics Control Design: A Collective Behavior Approach for Medicine*, IEEE Transaction on Nanobioscience, Vol 4, No. 2, June 2005

[8] Prebys E. K., *The Genetic Algorithm in Computer Science*, MIT Undergraduate Journal of Mathematics, 1999

[9] Jalili M., *Collective Behavior in Layered Complex Neural Networks*, 2006

[10] Cornett K., *Modelling Collective Behavior*, Stetson University Computer Science Department, 2004

[11] Russell S. Norvig P., *Artificial Intelligence A Modern Approach*, Prentice Hall, 2003

[12] Konar A., *Computational Intelligence Principles, Techniques and Applications*, Springer, 2003

[13] Reynolds C. W., *Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model*, SGI, No. ACM-0-89791-227-6/87/007/0025, 1987

[14] Rabin S., *AI Game Programming Wisdom*, Charles River Media, 2002