

# Bulanık Mantık Tabanlı BDI Etmenleri

## Fuzzy Logic Based BDI Agents

Barış Tekin Tezel<sup>1</sup>, Geylani Kardaş<sup>2</sup>, Aybars Uğur<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bilgisayar Bilimleri Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye  
baris.tezel@deu.edu.tr

<sup>2</sup>Uluslararası Bilgisayar Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye  
geylani.kardas@ege.edu.tr

<sup>3</sup>Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye  
aybars.ugur@ege.edu.tr

**Özetçe**— Çok etmenli sistemler ve özellikle BDI etmenleri geniş uygulama alanlarında kullanılır. Tüm bu alanlarda, özerklik ve proaktif davranışın yansira etmenlerin akıl yürütme karakteristikleri de önemlidir. Bilhassa, Kanı-İstek-Hedef (ing. Belief-Desire-Intention) (BDI) mimarisi insan davranışının belirli yönlerini simüle etmeyi deneyen etmenlerin geliştirilmesinde sıklıkla kullanılır. İnançların hassas algılanması ve formülasyonu BDI etmenlerindeki iki önemli konudur. Bu çalışmada, ortamın algılanması ve etmenin plan seçimi aşamaları esnasında kusurlu ve gerçel sayılı alguların BDI etmenler için daha uygun olan dilsel algulara bulanık mantık kullanılarak dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Ayrıca deneysel çalışma yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** — *Etmen, AgentSpeak, BDI, Bulanık-BDI, Bulanık Mantık.*

**Abstract**—Multi-agent systems and particularly Belief-Desire-Intention (BDI) agents are used in a wide range of application areas. In all these areas, autonomy and proactive behavior as well as the characteristics of reasoning of the agents are important. The BDI architecture is frequently used in the development of agents that try to simulate certain aspects of human behavior. Precisely, perception and formulation of beliefs are two important issues of BDI agents. In this study, it is aimed to transform using fuzzy logic, inaccurate and real numbered perceptions to linguistic perceptions which are more suitable for BDI agents, while perceiving environment and selecting plan phases. Also, the experimental study is performed and successful results are obtained.

**Keywords** — *Agent, AgentSpeak, BDI, Fuzzy-BDI, Fuzzy Logic.*

### I. GİRİŞ

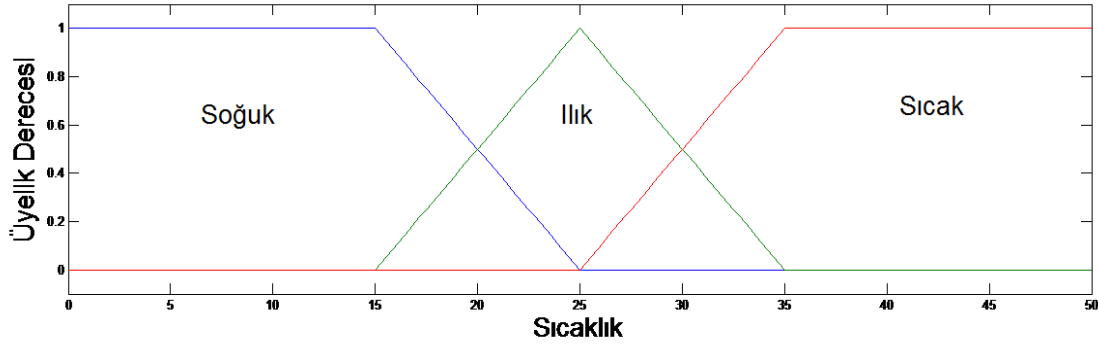
Gerçek hayata inşa edilen sistemlerin çoğunun reaktif olması ve ortamla devam eden uzun süreli etkileşim içinde olması gerekmektedir. Reaktif yazılım sistemleri, ilişkisel veya fonksiyonel bakış açısı ile yeterince tanımlanamazlar. İlişkisel bakış açısı programlara belirli bir başlangıç durumundan başlayarak, geçiş durumlarının kümesini

izleyip son duruma ulaşıp sonlanan fonksiyonlar olarak ele alır. Bu durumda herhangi bir girdi için programın çıktısı tahmin edilebilir. Böylece ortamda olan değişikliklere cevap verme yeteneğine sahip olmaması dışında ortamla sürekli bir ilişki içerisinde de olamazlar. Diğer taraftan, reaktif sistemlerin ana görevi ortamla sürekli ve devamlı bir etkileşim içerisinde olmasıdır [1]. Böyle sistemlerin pek çoğu etmen tabanlı paradigma kullanılarak geliştirilir. Bir etmen belirli derecede özerklik sergileyen reaktif sistemlerdir. Burada özerklikten kastedilen belirli bir görevin verilip, sistemin bu görevi başarmak için en iyi yolu kendisinin belirlemesidir. Bir etmeden beklenen, ortamda yerine getirmesi gereken görevi, herhangi bir insan rehberliği olmadan başarmaya çalışması ve bunun için en uygun yolu bulmasıdır. Örneğin bir etmen bir evi sahibi evde yokken temizleyen bir temizlik robotuna benzetilebilir [2].

Yukarıda da ifade edildiği gibi etmenler, sürekli etkileşim içerisinde oldukları bir ortamda bulunan sistemlerdir. Bu nedenle, etmenlerin ortamlarını algılamasına ve ortamla etkileşmek için yerine getirebilecekleri mümkün hareketler listesine ihtiyacı vardır. Günümüzde en yaygın olan ve gerçek uygulamalarda en çok kullanılan etmen mimarisi Kanı-İstek-Hedef (ing. Belief-Desire-Intention) (BDI) mimarisidir [3], [4]. BDI etmenlerinin önemli bir teorik alt yapısının olmasının yanı sıra hava trafik kontrolü, uzay sistemleri ve insan karar verme simülasyonu gibi zorlu uygulamalarda bir çok orta büyük ölçekli uygulanmış uygulamaları vardır [5].

BDI tabanlı sistemlerin güçlü yönlerinden biri de teorik çalışmalarla olan güçlü ilişkisidir [4], [6], [7]. BDI temelli teori, bazı durumlarda sistemlere doğrudan uygulanamasa da, uygulamalara ilhan kaynağı olur ve rehberlik yapar [8].

BDI paradigması günlük hayattaki insan akıl yürütmesinin ve hareketlerinin bir programlama dili ile tanımlanmasına izin verir [9]. Sahip olduğu basit temsil yeteneği ile BDI paradigması insan bilgisini yapısı içinde kolayca haritalayabilir. BDI mimarisinin kavramsal yapısı M.E Bratman ve arkadaşları [4] tarafından detaylıca anlatılmıştır.



Şekil 1 Önerilen BDI Etmeninin Bulanık Bilgi Tabanı

Bu çalışmada BDI etmenlerinin akıl yürütme döngülerinin algılama, plan seçimi ve planların işletilmesi aşamalarının bulanıklaştırılması hedeflenmiştir. Ortamdan algılanan gerçek ölçümler, bulanıklaştırma fonksiyonları ile sözel değişkenlere dönüştürülecektir. Bu dönüşüm sonunda her bir sözel değişkene ait kesinlik dereceleri de oluşturulacaktır. Böylece seçilecek planların ön koşulları kesin olarak doğru veya yanlış olarak değerlendirmek yerine bulanık kurallar olarak ele alınıp her bir planının tetiklenme değeri hesaplanarak en yüksek tetiklenme değerine sahip plan seçilerek işletilecektir. Planların işletilmesi aşamasında planın tetiklenme değeri aynı zamanda plan içindeki hareketlerinde bulanık olarak gerçekleştirilmesini sağlayacaktır. Böylece hem insan akıl yürütmesine daha yakın hem de planlar arası geçişlerde keskin olmayan geçişler sağlanacaktır. Çalışmada önerilen akıl yürütme döngüsü JASON<sup>1</sup> platformunda uygulanmıştır.

BDI etmenleri için bulanık mantığın kullanılmasını göz önüne aldığımızda literatürde karşımıza sadece Kacprzak ve Kosinski [10] 'nin düzenli bulanık sayıları uyguladıkları yaklaşımları çıkmaktadır. Kacprzak ve Kosinski çok etmenli sistemler üzerine odaklanmış ve özellikle etmenlerin inançları üzerinde durmuşlardır. Burada, etmenlerin düşünmesinde ve karar vermesinde ayrıca etmenlerin mevcut inançları ile yeni inançların üretilmesinde düzenli bulanık sayıları kullanmayı amaçlamışlardır. Yukarıdaki mantıkta inanç gerçek algılardan formüle edilmiştir. Ancak gerçek hayat çoğu zaman böyle ifade edilemez. Çoğu zaman inançlarımız bulanıktır [11], [12]. Örneğin; “Yarın hava çok sıcak olacak” inancındaki “çok” bulanıktır. Bunun nedeni “çok” ile “az” arasında tam bir ayrım yapılamamasındadır. Burada “Sıcaklık” bir dilsel değişken iken “Çok” dilsel bir değerdir ve net sınırlara sahip değildir.

Bildirinin geri kalan kısmında JASON ortamının kısaca tanıtılması, önerinin uygulaması ve elde edilen sonuçlar yer almaktadır.

## II. JASON

JASON [2], Prolog benzeri mantıksal programlama dili olan AgentSpeak'in [13] genişletilmiş versiyonu için Java tabanlı bir yorumlayıcıdır. AgentSpeak dili iyi bilinen BDI mimarisi üzerine kurulmuştur [14]. BDI mimarisinde etmenler sürekli olarak ortamlarını izleyerek, ortamda oluşan değişimlere anında cevap verirler. Bu tepkiler etmenin mental durumuna göre şekillenir. Bir etmenin üç tip mental bileşeni vardır. Bunlar: İnanç (ing. Belief), İstek (ing. Desire) ve Niyet (ing. Intention) olarak isimlendirilir.

İnançlar etmenin kendisi, diğer etmenler ve etmenin bulunduğu ortamdaki bilgilerdir. İstekler, etmen tarafında başarılabilecek tüm mümkün ilişkili durumlardır. Herhangi bir istek, etmenin hareketleri için potansiyel bir tetikleyicidir. Son olarak, etmen tarafından gerçekleştirilmeye karar verilmiş ilişki durumları niyetler ile temsil edilir. Niyet atanmış bir hedef veya seçeneklerin gözden geçirilmesi ile ortaya çıkmış bir seçenek olabilir.

Basit olarak, AgentSpeak dilinde yazılmış bir etmen inançların, kuralların ve planların bir kümesinden oluşur. İnançlar etmenin başlangıç bilgisini temsil eder. Kurallar mantıksal ifadeler ve matematiksel denklemlerden oluşur. Planlar ise hedefleri gerçekleştirmek için eylemler ve alt hedeflerden oluşur.

AgentSpeak dilinde planlar tetikleme olayı, içerik ve gövde kısımlarından oluşur. Tetikleme olayı, planın hangi olaylar için uygun olduğunu ifade eder. İçerik planın etmenin inançları doğrultusunda uygulanabilir olup olmadığını temsil eder. Gövde ise sıralı haldeki eylem ve alt hedeflerden oluşur.

## III. UYGULAMA

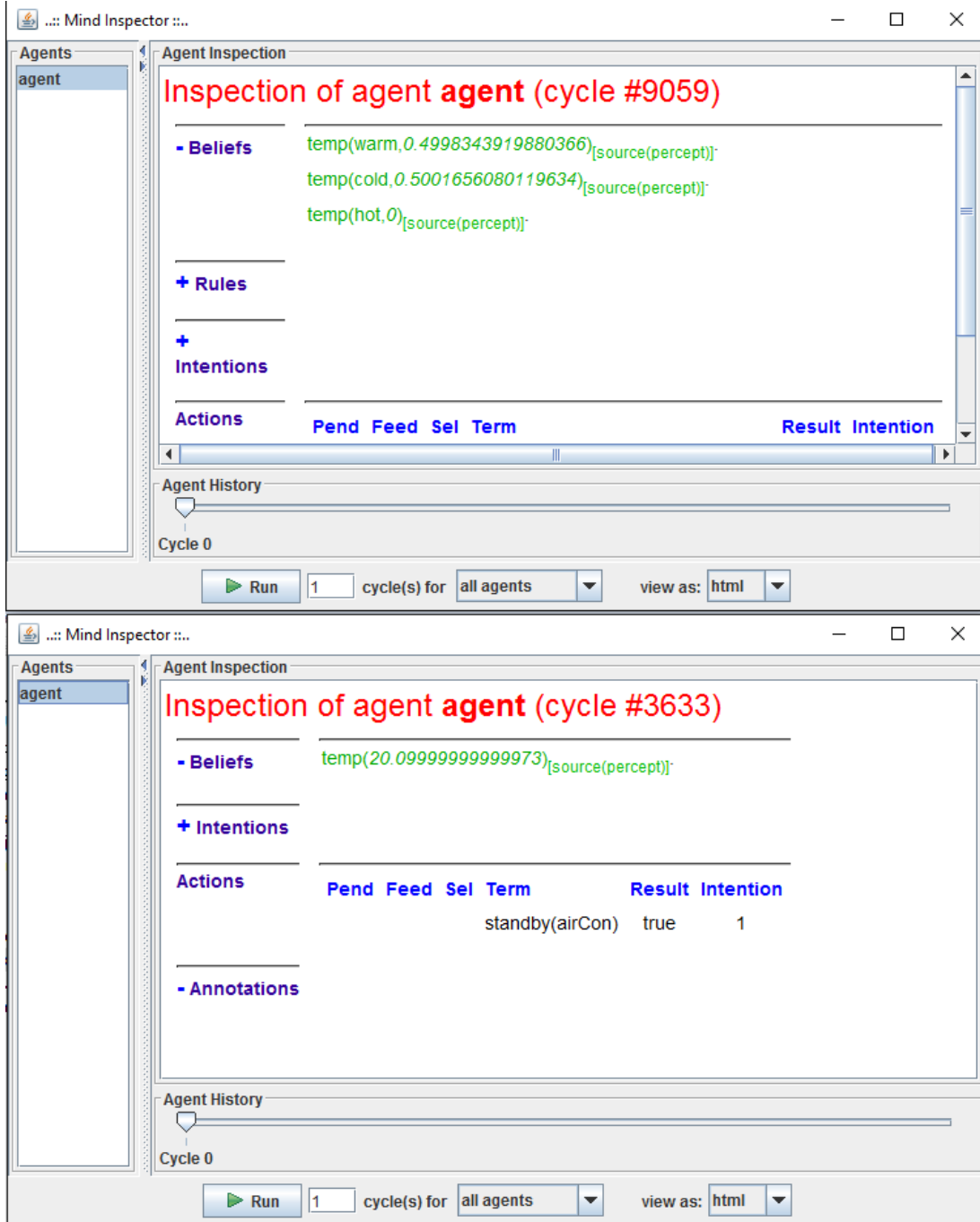
Önerilen BDI yapısı için örnek olarak basit bir oda sıcaklığı ayarlayan etmen göz önüne alınmıştır. Bu örnek

<sup>1</sup> Java-based interpreter for an extended version of AgentSpeak, <http://jason.sourceforge.net/wp/>

hem geleneksel BDI etmenleri hem de çalışmada önerilen bulanık bilgi tabanlı BDI etmenleri ile gerçekleştirilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Öncelikle bulanık bilgi tabanlı BDI etmenlerinin kullanacağı “Sıcaklık” sözel değişken tanımlanmıştır. Bu

sözel değişkenin aldığı değerler şu şekildedir: “Soğuk”, “Ilık”, ve “Sıcak”. Bu sözel değişkenin değerleri bulanık bilgi tabanlı BDI etmeninin bilgi tabanını Şekil 1 ’de gösterildiği gibi temsil etmektedir.



Şekil 2 Oda Sıcaklığı Ayarlayan Klasik ve Bulanık Bilgi Tabanlı BDI Etmenlerinin Çalışma Zamanındaki Bilgi Tabanlı

Burada etmen sensörleri yardımıyla algıladığı oda sıcaklığını sözel değişkenler ve bu değişkenlere ait üyelik dereceleri olarak bilgi tabanında saklar. Klasik BDI

etmenlerinde ise doğrudan aldığı ısı değerini bilgi tabanında saklar. Şekil 2 'de JASON ortamında hazırlanmış klasik

BDI etmeni ile bulanık bilgi tabanlı BDI etmenlerinin bilgi tabanlarının çalışma zamanındaki temsili gösterilmektedir.

Şekil 2'den de görüldüğü üzere klasik BDI etmeni oda sıcaklığını derece olarak tutarken bulanık bilgi tabanlı BDI etmeni sözel değişkenler ve üyelik dereceleri ile tutmaktadır.

Bu bağlamda klasik BDI etmenlerinde sıcaklığın derecesinin gerçel değerine bağlı olarak planlarının içerik kısımları geleneksel mantıksal ifadeler ile oluşturulur. Ancak bulanık bilgi tabanlı BDI etmeninde bilgi tabanında bulanık değerler olduğunda aynı anda birden çok planı farklı tetikleme dereceleri ile uygulayabilir. Her döngüde hangi planın uygulanacağına tetiklenen planlar arasından en yüksek üyelik dereceli olan planı seçerek karar verirler. Şekil 3'te oda sıcaklığı ayarlayan etmen

örneğinde JASON ortamında AgentSpeak dili ile yazılmış klasik BDI etmeni ile bulanık bilgi tabanlı BDI etmeninin planları verilmiştir. Şekil 3 'te görüldüğü üzere etmen planlarındaki bir diğer fark ise bulanık bilgi tabanlı etmenin plan içindeki eylemlerinin planın tetikleme derecesi kadar

çalıştığıdır. Bu şekilde belirli bir dereceden tetiklenen planlar, belirli dereceden sonuçları doğuracaktır.

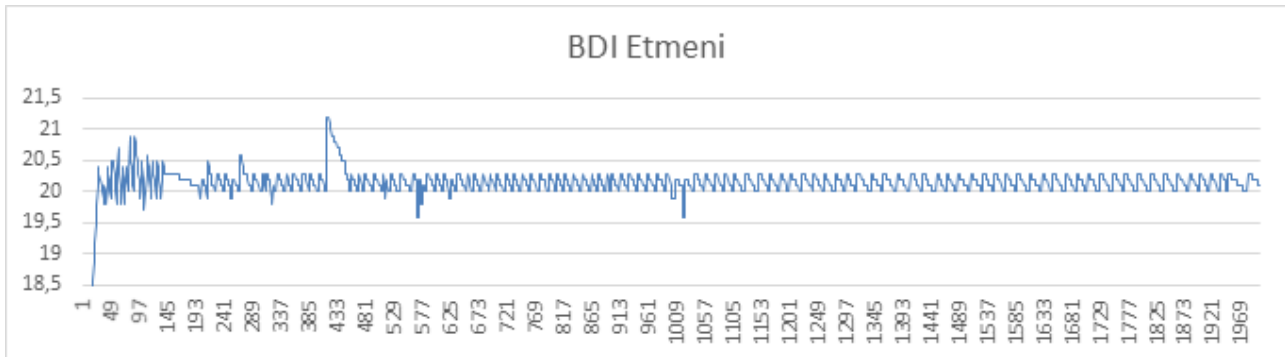
### Bulanık Bilgi Tabanlı BDI Etmeni

```
1 // Agent sample_agent in project RoomTemp
2 /* Initial beliefs and rules */
3 isit(T):- temp(T,D1) & not(temp(_,D2) & D2>D1).
4 /* Initial goals */
5 !keptWarm.
6 /* Plans */
7 +!keptWarm : isit(hot) <- ?temp(hot,D1);open(airCon,D1);!keptWarm.
8 +!keptWarm : isit(warm) <- ?temp(warm,D1);standby(airCon,D1);!keptWarm.
9 +!keptWarm : isit(cold) <- ?temp(cold,D1);close(airCon,D1);!keptWarm.
```

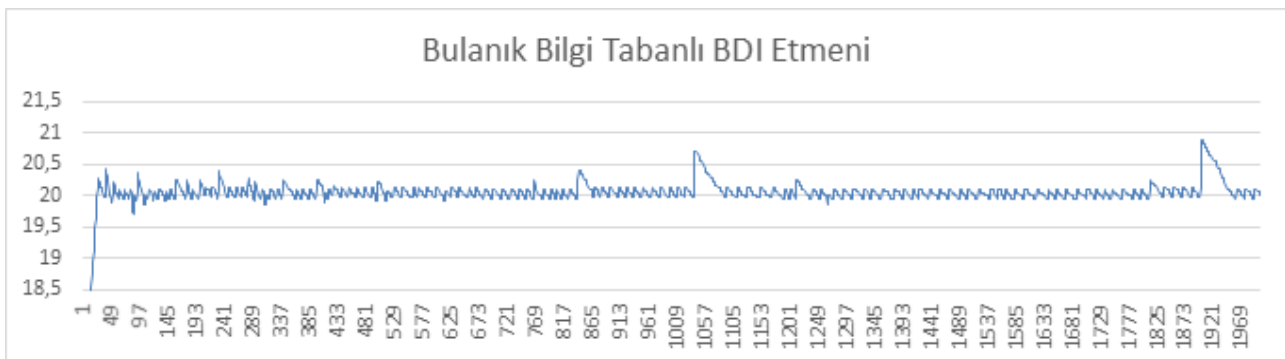
### BDI Etmeni

```
1 // Agent sample_agent in project RoomTemp
2 /* Initial beliefs and rules */
3 /* Initial goals */
4 !keptWarm.
5 /* Plans */
6 +!keptWarm : temp(T) & T>=30 <- open(airCon);!keptWarm.
7 +!keptWarm : temp(T) & T>=20 & T<30 <- standby(airCon);!keptWarm.
8 +!keptWarm : temp(T) & T<20 <- close(airCon);!keptWarm.
```

Şekil 3 JASON Ortamında AgentSpeak Dili ile Yazılmış Etmen Planları



Şekil 4 BDI Etmeni Sıcaklık Değişim Grafiği



Şekil 5 Bulanık Bilgi Tabanlı BDI Etmeni Sıcaklık Değişim Grafiği

#### IV. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmada önerilen BDI etmeni ile klasik BDI etmenleri karşılaştırıldığında hedef sıcaklık olarak 20 derece belirlenmiştir. 2000 döngü sonunda elde edilen oda sıcaklıklarına göre klasik BDI etmeni odayı ortalama 20.13

derece tutmuştur. Bulanık bilgi tabanlı BDI etmeni ise oda sıcaklığını ortalamada 20.03 derecede tutabilmeyi başararak, önemli derece de bir fark elde etmiştir. Ayrıca klasik BDI etmeninin sıcaklık değerlerinin standart sapması 0.39 iken bulanık bilgi tabanlı BDI etmenin standart

sapması 0.33'dur. Yani bulanık bilgi tabanlı BDI etmeni oda sıcaklığını stabil tutma konusunda da daha başarılı bir performans sergilemiştir. Şekil 4 'te klasik BDI etmenine ait oda sıcaklığının döngüler arasındaki değişim grafiği ve Şekil 5'te ise bulanık bilgi tabanlı BDI etmenin döngüler arasında sıcaklık değişimi grafiği gösterilmiştir

Sonuç olarak bulanık bilgi tabanlı BDI etmeni, klasik BDI etmenine göre değişken bir ortamda hem istenilen sıcaklık hedefini daha az hatayla gerçekleştirmiş hem de oda içinde ki sıcaklık değişim miktarını daha düşük seviyede tutabilmiştir.

Ayrıca bulanık bilgi tabanlı BDI etmeni bulanık bilgiyi kullandığı için sensor ölçümlerindeki hatalara karşı daha dayanıklı olacaktır. Ek olarak önerilen yaklaşımla inşa edilen BDI etmenleri insan algısına daha yakın bir algılamaya sahip olmanın yanı sıra insan çıkarsama mantığına da daha fazla yakınlık göstermektedir.

## V. SONUÇ

Bu çalışmada, ortamın algılanması için dilsel değişkenler ve bu değişkenlere ait değerleri ve üyelik derecelerini kullanan, aynı zamanda bulanık mantığa dayalı plan seçilimi ve işletimi gerçekleştiren bulanık mantık tabanlı BDI etmenleri önerilmiştir. Önerilen BDI etmeni, JASON ortamında AgentSpeak dili ile gerçekleştirilmiş ve etkinliğini göstermek adına deneysel bir çalışma tasarlanarak, sonuçları ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar, önerilen BDI etmen yaklaşımının verimli olduğunu ve arzu edilen sonuçları verdiğini göstermiştir.

Gelecekteki çalışmalarda önerilen BDI etmen yaklaşımının geliştirilmesi ve genelleştirilmesi yanı sıra daha karmaşık örneklere uyarlanması hedeflenmektedir.

## KAYNAKÇA

[1] A. Pnueli , "Specification and development of reactive systems", Information Processing 86, pp. 845-858. Elsevier Science, Amsterdam, 1986.  
 [2] R. H. Bordini, J. F. Hübner and M. Wooldridge, "Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak using Jason", West Sussex: Wiley, 2007.

[3] M. E. Bratman, "Intention, plans, and practical reason", Cambridge, MA: Harvard University Press, 1987.  
 [4] M. E. Bratman, D. J. Israel and M. E. Pollack, "Plans and resource-bounded practical reasoning", Computational Intelligence 4, pp. 349-355, 1988.  
 [5] S. Rao and M. Georgeff, "BDI agents: From theory to practice", In: L. Gasser and V. Lesser, eds. Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems - ICMAS 95, San Francisco, USA, 1995, pp. 312-319.  
 [6] S. Rao and M. P. Georgeff, "Modeling rational agents within a BDI-architecture", In: J. Allen, R. Fikes and E. Sandewall, eds., Proceedings of the Second International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, CA, 1991.  
 [7] M. Wooldridge (2001), "Reasoning about rational agents", Robotica, 4: 459-462.  
 [8] S. Rao and M. Georgeff, "An abstract architecture for rational agents", Morgan Kaufmann, eds., In Principles of Knowledge Representation and Reasoning: Proceedings of the Third International Conference - KR 92, California, USA, 1992, pp. 439-449.  
 [9] S. Lee, Y. J. Son and J. Jin, "An integrated human decision making model for evacuation scenarios under a BDI framework", ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation, 2010. 20(4):1-24.  
 [10] M. Kacprzak and W. Kosinski, "Modelling fuzzy beliefs of agents", Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, 2012. 9: 45-60.  
 [11] X. Wu and J. Zhang, "Rough set models based on random fuzzy sets and belief function of fuzzy sets", International Journal of General Systems, 2012. 41(2): 123-141.  
 [12] X. Jing and X. Luo, "A fuzzy dynamic belief logic ", In: Nguyen N T, eds. ICAART 2013 - International Conference on Agents and Artificial Intelligence, Barcelona, Spain, 2013, pp. 289-294.  
 [13] A. Rao. "AgentSpeak(L): BDI agents speak out in a logical computable language", In proc. 7th European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, Eindhoven, The Netherlands, Lecture Notes in Computer Science, 1038:42-55, 1996.  
 [14] A.S. Rao and M.P. Georgeff. "Decision procedures for BDI logics", Journal of Logic and Computation, 8:293-343, 1998.