

## Akıllı Binalarda Konfor Faktörü ve Optimizasyonu

Nevin IRAK\*, Ercan Nurcan YILMAZ

*Elektrik Elektronik Mühendisliği / Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Türkiye*  
*\*(nevinirak@gmail.com)*

**Özet** – Enerji verimliliği alanındaki çalışmalar hız kesmeden artarken insanların konfor beklentileri de her geçen gün daha fazla yükselmektedir. Bununla birlikte, akıllı binaların sayısı da teknolojik gelişmelere paralel olarak artmaktadır. Günümüzde akıllı binalar hakkında yapılan çalışmalara bakıldığında, enerji verimliliği binalarda birinci öncelik gibi görünse de binaların konforu, kişiler için hem rahat hem de sağlıklı bir yaşam alanı oluşturmak için oldukça önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada, konfor faktörünün optimizasyonu ile bina içi konforu maksimum düzeye çıkarmak hedeflenmiştir. Tasarlanan sistemin simülasyonu için Matlab/Simulink programı kullanılmıştır. Sistemin kontrolü için bir bulanık mantık denetleyici dizayn edilmiştir. Tasarlanan bulanık mantık denetleyiciyle; sıcaklık, AC, fan hızı ve havalandırma kontrol edilmiş ve konfor indeksi belirlenmiştir. Yapılan kontrollerle ortam sıcaklığı, bağıl nem, karbondioksit miktarı ve konfor faktörü ayarlanmaya çalışılmıştır. Daha sonra, denetleyiciyi test edebilmek için mevcut bir ısıtma, havalandırma ve soğutma sistemi (HVAC) sistemi modeli modifiye edilerek simülasyona eklenmiştir.

*Anahtar Kelimeler – akıllı binalar, bulanık mantık denetleyici, konfor faktörü*

## Comfort Factor at Smart Buildings and Its Optimization

**Abstract** – While the studies in the field of energy efficiency are increasing without slowing down, people's comfort expectations are also rising more each day. At the same time, the number of smart buildings are also increasing in parallel with the technological developments. Today, when we look at the studies about smart buildings, although energy efficiency seems to be the top priority in buildings, the comfort of the buildings is quite important for creating a comfortable and healthy living space for people. Therefore, in this study, it was aimed to maximize the indoor comfort by optimizing the comfort factor. Matlab/Simulink program was used for the simulation of the designed system. A fuzzy logic controller was designed to control the system. With the designed fuzzy logic controller; temperature, AC, fan speed and ventilation were controlled and comfort index was determined. Ambient temperature, relative humidity, carbon dioxide amount and comfort factor were tried to be adjusted with the controls that was carried out. Then, to able to test the controller, an existing model of Heating Ventilating and Air Conditioning (HVAC) system was modified and added to the simulation.

*Keywords – Include at least 5 keywords or phrases*

### I. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte akıllı bina kavramı da giderek yaygınlaşmaktadır. Akıllı bina teknolojileri ile HVAC, güvenlik sistemleri, aydınlatma ve bunun gibi sistemler otomatik olarak kontrol edilirken tüm bu sistemlerin daha enerji verimli çalışmaları ve bu binalarda yaşayanlar için en iyi ortamın sağlanması hedeflenmektedir. İnsanların, zamanlarının yaklaşık %80'ini binaların içerisinde geçirdiği düşünüldüğünde gerek enerji verimliliğinin gerekse konfor faktörünün ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Yapılan çalışmalarda enerji verimliliği öncelikli olarak ele alınmaktadır. Diğer taraftan konfor faktörü de giderek ön plana çıkmaktadır. Ancak tüm bu gelişmelere ve bu alanda yapılan birçok çalışmaya rağmen akıllı bina kontrollerinde istenilen seviyeye gelinebilmiştir. Bu nedenle binaların kontrolünde kullanılmak üzere farklı yöntemler ile akıllı kontrol sistemleri geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bulanık mantık denetleyiciler ise bunların başında gelmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde, bulanık mantık denetleyiciler ile gayet olumlu sonuçlar alındığı görülmektedir.

Yan ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan çalışmada, daha önce oluşturulan bir bulanık mantık denetleyici gerçek uygulaması için basitleştirilerek iç mekân termal konfor kontrolünde PVM ile beraber kullanılmış ve yapılan testler sonucunda denetleyicinin, kontrol doğruluğunu ve hassasiyet açısından performansının düşmediği tespit edilmiştir. Çalışmada iç ortam sıcaklığı, nemi ve hava akımı hızı, PVM indekste göz önünde bulundurulmuştur.

Attia ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan çalışmada, enerji verimliliği ve konforlu bir ortam için binaların klima sistemlerinin, bulanık mantık denetleyici ile kontrolü incelenmiştir. Oda sıcaklığı, bağıl nem ve sistemde dolaşan suyun akış hızı kontrol değeri olarak alınmıştır. Son olarak sonuçlar PID kontrol ile kıyaslanmış ve bulanık mantık denetleyicinin daha etkin olduğu tespit edilmiştir.

Al-Aifan ve arkadaşları (2017) tarafından yapılan çalışmada, VRV-CTES A/C sisteminin performansı incelenirken bulanık mantık denetleyici, soğutucu akışkanın sıcaklığını belli değerlerde tutmak için kullanılmış ve söz konusu sistemin, enerji verimliliğinden feragat etmeden

konforlu soğutma ihtiyacını karşılamada faydalı olabileceği tespit edilmiştir.

Liu ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan çalışmada, gün ışığı ve kullanıcı konforu göz önünde bulundurularak bir bulanık mantık denetleyicisi tasarlanmış ve bir test ofisine akıllı led aydınlatma sistemi kurularak sistem test edilmiştir.

Kang ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan çalışmada, konut binalarında termal konforu sağlamak için bulanık mantığa dayalı gelişmiş bir on-off kontrol yöntemi önerilmiştir. Denetleyici tasarımında sıcaklık göz önüne alınmıştır.

Motamed ve arkadaşları (2017) tarafından yapılan çalışmada, görsel konfor göz önüne alınmıştır. Bulanık mantık denetleyici ile bir ofisteki perdeler ve aydınlatma kontrol edilmiştir. Yapılan deney sonucunda tüketilen elektrik miktarı azalırken görsel konfor korunmuştur.

Moon (2015) tarafından yapılan çalışmada, bina içi sıcaklık koşullarını iyileştirmek ve ısıtmada enerji verimliliğini sağlamak için bir yapay zekâ teorisi geliştirilmiştir. Bunun göre, yapay sinir ağları (ANN), bulanık mantık denetleyici (FL), adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemini (ANFIS) de içeren bir geleneksel kural tabanlı ve dört tane AI tabanlı algoritma geliştirilmiştir. Yapılan simülasyonlar sonucunda FL ve ANFIS'in, termal konfor konusunda ANN'ye göre daha iyi olduğu belirlenirken enerji verimliliğinde ANN'nin daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Ghadi ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan çalışmada, bulanık mantık denetleyicilerin, yarı tropik Avustralya'daki akıllı binalarda bulunan HVAC sistemlerinde ve aydınlatma kontrollerinde kullanılması araştırılarak değerlendirilmiştir.

Esmailzadeh ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan çalışmada, binalarda optimize enerji tüketim kontrol metodu sağlamak amaçlanmıştır. Bunun için bulanık mantık denetleyici, on-off ve bulanık mantık kural seti tarafından ayarlanan PID kontrol algoritmaları, hibrit güneş-gaz-elektrik termal sisteminde uygulanmıştır. Sonuç olarak bulanık mantık kontrol sistemi, ortam sıcaklığını daha az hata ile ayarlarken enerji maliyetini düşürmüştür.

Yordanova ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan çalışmada, sıcaklık ve nemi kontrol ederken iç ortamda konforu ve enerji verimliliğini garanti etmeye iki değişkenli bir PI bulanık denetleyici için model bağımsız bir dizayn metodu geliştirmek hedeflenmiştir.

Martirano ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan çalışmada, bulanık mantık denetleyicisine dayalı, perde, aydınlatma ve HVAC kontrol sistemi üzerine çalışılmıştır. Sonuç olarak, konfor optimize edilirken tüketilen enerji miktarı azalmıştır.

Menyhárt ve Kalmár (2019) tarafından yapılan çalışmada, belirlenen kişilerin, iç ortam kalitesi ile ilgili olarak tepkileri göz önünde bulundurularak ve bulanık mantık ve MATLAB ile yeni bir konfor indeksi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu indeks, bir iç odayı tanımlamayı veya mevcut bir iç odayı karakterize etmeyi sağlamıştır.

Sevil ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan çalışmada, akıllı evlerde bulanık mantık kavramının kullanılması ve böylece otomatik olarak insan konforunun sağlanması hedeflenmiştir.

Yau ve Chang (2016) tarafından yapılan çalışmada, Malezya'da bulunan bir ofis binasındaki termal konforunu iyileştirmek için yapılan çalışma ve kullanılan kontrol sistemi

sunulmuştur. Bu kontrol sistemi, bulanık mantık ile belli periyotlarda termostatın ayarlanması için kullanılmıştır.

Grygierek ve Ferdyn-Grygierek (2018) tarafından yapılan çalışmada, ortamda bulunan soğuk havanın vantilasyonu ile pasif soğutma kullanılarak çok yüksek sıcaklığın sınırlandırılabilme olasılığı analiz edilmiştir. Hedefi, mekanik vantilasyonu kontrol etmek olan bir bulanık mantık denetleyici teklif edilerek optimize edilmiştir.

Anastasiadi ve Dounis (2017) tarafından yapılan çalışmada, binada yaşayanların konforunu artırırken enerji tüketimini sabit tutmak ya da iyileştirmek üzere HVAC sistemi kontrolünde bulanık mantık kullanımı incelenmiştir.

Fayaz ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan çalışmada, üyelik fonksiyonlarının tam şekillerinin seçilebilmesi için "learn to control" isminde bir metodoloji sunulmuştur. Buna göre, bu metodoloji, kontrol algoritması ve öğrenme algoritması olmak üzere iki ana bölümden oluşmuştur. Kontrol algoritmasında FLC kullanılırken öğrenme algoritmasında ANN kullanılmıştır. Bu sistem ile geleneksel yöntemle göre daha iyi sonuçlar aldığı belirtilmiştir.

Hang ve Kim (2018) tarafından yapılan çalışmada, kişi konfor endeksini ölçmek ve iç ortamdaki termal konfor optimum düzeyde tutmak için gelişmiş bir MPC (Model-based Predictive Control – Model Tabanlı Tahmini Kontrol) sistemi sunulmuştur. Sunulan çalışmanın en büyük yeniliği, mevsime göre uygun konfor seviyesini korumak için dış ortam koşullarını dikkate alan bulanık denetleyici olmuştur.

Abdo-Allah ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan çalışmada, küresel vanaları, fanların hızını ve damper pozisyonlarını, binaya sıcak su ve havanın tam akış hızlarına göre modellenmiş ve bulanık kurallar yüzeyinin modifikasyonu yoluyla FLC'nin ayarlanması için yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Yeni sistem ile termal konfor seviyelerinde bir iyileşme görülmüştür.

Günlük hayatta bina içi konforu en çok etkileyecek ve fark edilecek olan iklimlendirme sistemleridir. Ancak yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmaların genelinde, HVAC sisteminin bir bütün olarak ele alınmadığı ve çoğunlukla sıcaklık kontrolü üzerinde durulduğu, bir kısmında ise sadece aydınlatma sistemlerinin kontrolünün ele alındığı görülmektedir. Oysaki iç mekânların hem bağıl nem seviyesi hem de hava kalitesi indeksini belirleyen CO<sup>2</sup> seviyesi, sadece iç mekânların konforunu değil, insan sağlığını direkt olarak etkilemektedir.

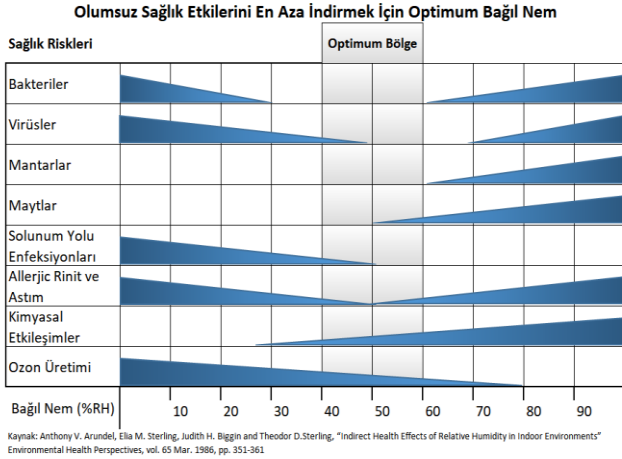
Bu nedenle, bu çalışmada sıcaklık, bağıl nem ve CO<sup>2</sup> seviyesi maksimum konfor seviyesinde tutulmaya çalışılmış ve böylece kişiler için rahat ve sağlıklı bir yaşam alanı oluşturmak hedeflenmiştir.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

### A. Konfor Faktörü

Kişilerin yaşam koşullarının kalitesi, diğer bir deyişle konfor şartları dört temel faktör tarafından belirlenir. Bunlar; termal konfor, hava kalitesi, nem oranı ve görsel konfordur.

Termal konfor, termal çevre ile ilgili memnuniyeti ifade eden ve öznel değerlendirme ile değerlendirilen zihinsel durumdur [20]. Termal konforu etkileyen çevresel faktörler; hava sıcaklığı, nem, hava akımı ve ortalama radyant sıcaklıktır. Kişisel faktörler ise metabolizma hızı, fiziksel aktivite yoğunluğu ve kişilerin kıyafetleri olarak sıralanabilir. Bu çalışmada kişisel faktörler göz ardı edilmiştir.



Şekil 1 Bağıl Nemin Etkileri

Şekil 1’de de görüldüğü üzere, bağıl nemin optimum bölge olarak kabul edilen %40 ile %60 arasında tutulması, sağlık sorunlarının büyük ölçüde minimize edilmesini sağlamaktadır [21]. Ayrıca kuru havanın da solunum yolları ve göz gibi organlarda sağlık problemleri yarattığı bilinmektedir [22]. Hatta buradan yola çıkarak bağıl nemin, hava kalitesinin bir parçası olduğu bile söylenebilir.

Dünya atmosferindeki CO<sup>2</sup> miktarı 400 ppm’dir. Genel olarak 1000 ppm’in altında kalan CO<sup>2</sup> seviyesi güvenli kabul edilse de konuyla ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında bu seviyelerin bile yeterli olmadığı görülmektedir. Buna göre kişilerin zihinsel performansına ilişkin yapılan bir çalışmada 600 ppm baz alınmış, 1000 ppm seviyelerinde performansın %10’dan fazla azaldığı ve 2500 ppm seviyelerine gelindiğinde bu oranın dramatik bir şekilde daha da düştüğü görülmüştür [23]. Gene benzer bir çalışmada, 550 ppm baz alınmış ve 945 ppm seviyesinde %15, 1400 ppm seviyesinde ise %50 zihinsel performansta düşüşü tespit edilmiştir [24]. Bu çalışmada, bunlar göz önünde

bulundurularak CO<sup>2</sup> seviyesi mümkün olan en düşük noktada tutulmaya çalışılmıştır.

Bir iç mekânlardaki aydınlatma seviyesi görsel konforu belirler. Bu unsur, hem enerji tüketimini hem de görsel performansı direkt olarak etkilemektedir. Görsel konforu sağlamak içinse, elektrikli aydınlatma sistemleri ve elektrikle kontrol edilebilen perde sistemleri başlıca kullanılan sistemlerdir. Bu çalışmaya görsel konfor dâhil edilmemiştir.

### B. Bulanık Mantık Denetleyici Tasarımı

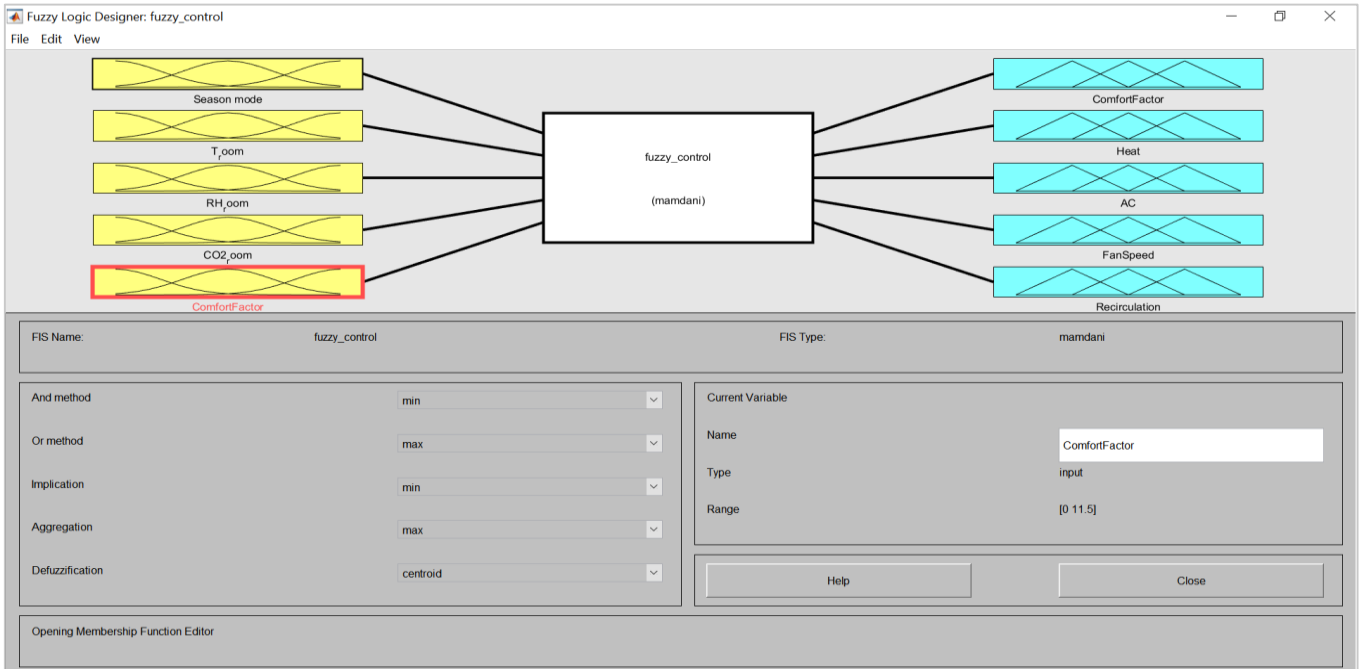
Bulanık mantık, ilk olarak 1965 tarihli bir makalede Lotfi A. Zadeh tarafından önerilmiştir. Günümüzde ise yapay zekâ alanında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bulanık mantık, matematiksel modellemelere ve karmaşık işlemlere gerek kalmadan, insan düşünce şeklinin makinelere aktarılmasını sağlamaktadır. Klasik mantıkta sonuçlar 0 ya da 1 iken bulanık mantıkta elde edilen sonuçlar 0 ile 1 arasındaki herhangi bir değer olabilir. Ayrıca elde edilen sonuç, oluşturulan kural setine göre tek bir kümeye ait olabileceği gibi iki farklı kümeye de dâhil olabilir.

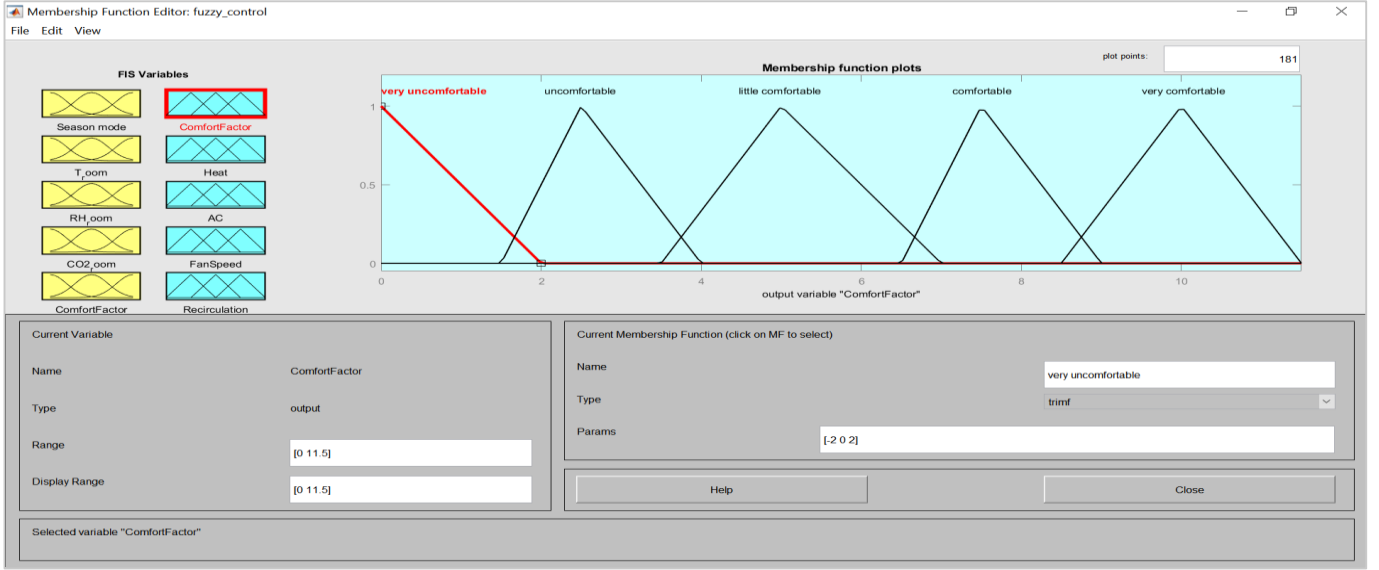
Daha önceki bölümde bahsedildiği üzere konfor faktörü üzerine yapılan çalışmalarda, bulanık mantık denetçilerle olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada da HVAC sistemini kontrol etmek ve konfor faktörünü belirlemek için Şekil 2’de görülen bulanık mantık denetleyici tasarlanmıştır.

Denetçinin girdileri; mevsim bilgisi, oda sıcaklığı, odanın bağıl nem miktarı, odadaki CO<sup>2</sup> seviyesi ve konfor faktördür. Bu denetçiyle binadaki sıcaklık artışı, AC, fan hızı ve havalandırma kontrol edilmiştir. Ayrıca giriş değerlerine bağlı olarak konfor faktörü belirlenmiştir.

Konfor faktörü, denetçinin hem girdisi hem de çıktısı durumundadır. Buna göre, ortam verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen konfor faktörü, sistemin daha etkin kontrol edilmesi ve konforun istenilen düzeye çıkartılabilmesi için denetçiye geri besleme yapılmıştır.



Şekil 2 Bulanık Mantık Denetleyici



Şekil 3 Konfor Faktörü

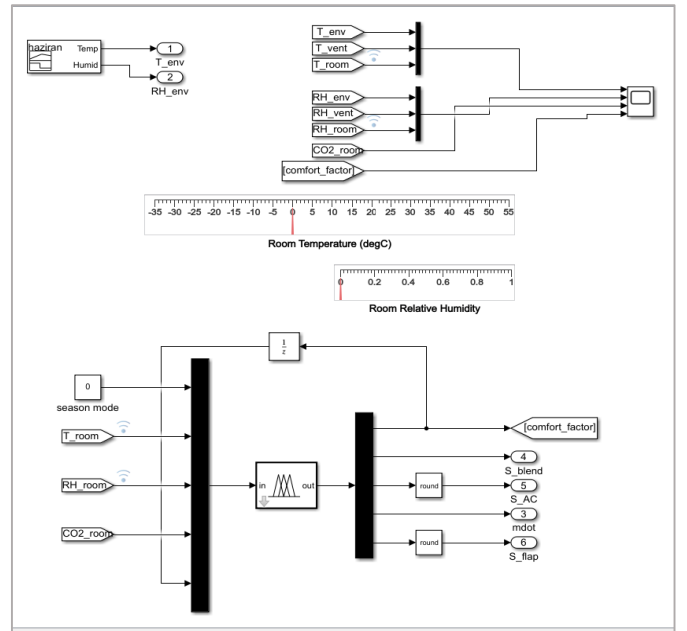
### C. Simülasyon Ortamı

Bu çalışmada, Simülasyon ortamı olarak MATLAB / Simulink programı kullanılmıştır. İlk olarak Simulink örnekleri arasında yer alan mevcut bir HVAC sistemi modifiye edilerek sisteme eklenmiştir. Daha sonra bu sistemin deneneceği binanın termal modeli oluşturulmuştur.

Binanın termal modeli oluşturulurken bina, bir pencere ve bir kapılı, tek bir ünite olarak tasarlanmıştır. Tasarlan bu ünite 75 m<sup>2</sup>'dir. Termal tasarım kullanılan değerler için yine Simulink örneklerinden yararlanılmıştır.

Simülasyonda, 2019 yılı, Haziran ayı, Ankara iline ait sıcaklık ve bağıl nem değerleri kullanılmıştır [25]. Bu değerler, saat başı verileri olmakla birlikte bunlar simülasyona aktarılırken saniye olarak ele alınmış ve signal builder ile sisteme anlık veri olarak aktarılmıştır. Bu nedenle, simülasyondaki her bir devir, bir güne ait sıcaklık ve bağıl nem verilerine denk gelmektedir.

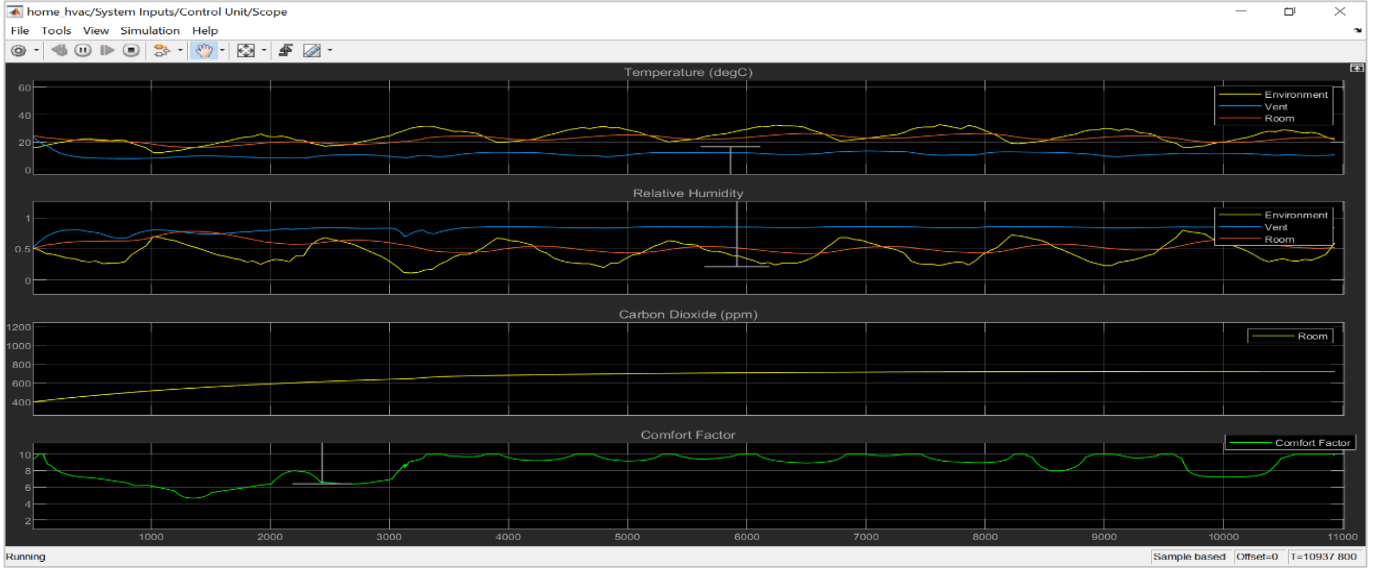
Diğer taraftan, tasarlanan sistem, dış ortam sıcaklık ve bağıl nem oranlarının yanı sıra bina içinde bulunan bireylerin ortama verdikleri sıcaklık, nem ve CO<sub>2</sub> miktarlarından da etkilenmektedir. Çalışma sırasında yapılan simülasyon sırasında bina içerisinde 5 kişi bulunmaktadır.



Şekil 4 Kontrol Ünitesi

## III. BULGULAR

Simülasyon sonucunda, sıcaklık ve bağıl nem değerleri dalgalanma yaşansa da belli aralıklarda tutulmuştur. CO<sub>2</sub> değeri ise yaklaşık 700 ppm değerine kadar yükseldikten sonra denge seviyesine gelmiştir. Konfor faktörü ise çok konforlu ve konforlu olarak belirlenen seviyelerdedir. Ancak hem çevre hem de bina içi sıcaklık ve bağıl nem değerlerinde görülen dalgalanmalar nedeniyle konfor faktöründe de dalgalanmalar meydana gelmiştir.



Şekil 5 Simülasyon Sonucu

#### IV. TARTIŞMA

Sistemde, nem verme ve nem alma özellikleri bulunan ayrı bir cihaz tasarlanmamıştır. Mevcut sistemde bağıl nemin kontrolü, fan hızı ve sıcaklık değerleri üzerinden yapılmıştır. Ancak bu durum, bağıl nem kontrolünü zorlaştırmıştır. Böyle bir cihazın ya da cihazların sisteme eklenmesi, hem bağıl nem kontrolünün daha etkin bir şekilde yapılabilmesini hem de konfor faktörünün daha stabil hale getirilerek dalgalanmaların önüne geçilebilmesini ve değerinin daha da yükseltilmesi sağlanabilecektir.

#### V. SONUÇLAR

İnsanların sağlıklı ve rahat bir yaşam sürebilmeleri için binalarda konfor faktörü, en az enerji verimliliği kadar önemli taşımaktadır. Bu düşüncesiyle bu çalışmada, Simulink ortamında bir tek üniteden oluşan bir binanın termal modellenmesi yapılmış ve mevcut bir HVAC modeli revize edilerek sisteme eklenmiştir. Söz konusu sistemin kontrolü için bir bulanık mantık denetleyici tasarlanmıştır. Bu denetçi ile odaya ait sıcaklık, bağıl nem, CO<sup>2</sup> ve geri besleme ile denetleyiciye gelen konfor faktörü verileri değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda sıcaklık, AC, fan hızı ve havalandırma kontrolü yapılmış ve konfor faktörünün yeni değeri belirlenmiştir. Tasarlanan bu sistemde, sıcaklık ve bağıl nem değerleri, belli sınırlar arasında tutulabilmiş ve CO<sup>2</sup> değeri yaklaşık 700 ppm’de denge seviyesine gelmiştir. Ayrıca konfor faktörü, çok konforlu ve konforlu kabul edilen aralıklarda seyretmiştir. Sonuç olarak çalışmada, bina içi konfor faktörü, yüksek seviyelerde tutulabilmiştir.

#### KAYNAKLAR

[1] Huaxia Yan, Yan Pan, Zhao Li and Shiming Deng, “Further development of a thermal comfort based fuzzy logic controller for a direct expansion air conditioning system” *Applied Energy*, vol. 219, 1 Jun. 2018, pp. 312-324

[2] Abdel Hamid Attia, Sohair F. Rezekka and Ahmed M. Saleh, “Fuzzy logic control of air-conditioning system in residential buildings” *Alexandria Engineering Journal*, vol. 54, no. 3, Sept. 2015, pp. 395-403

[3] Bader Al Aifan, R. Parameshwaran, Kushagra Mehta and R. Karunakaran, “Performance evaluation of a combined variable and cool

thermal energy storage system for air conditioning applications” *International Journal of Refrigeration* vol. 76, Apr. 2017, pp. 271-295

[4] Jingyu Liu, Wen Zhang, Xiaodong Chu and Yutian Liu, “Fuzzy logic controller for energy savings in a smart LED lighting system considering lighting comfort and daylight” *Energy and Buildings* vol. 127, 1 Sept. 2016, pp. 95-104

[5] Chang-Soon Kang, Chang-Ho Hyun and Mignon Park, “Fuzzy logic-based advanced on-off control for thermal comfort in residential buildings” *Applied Energy* vol. 155, 1 Oct. 2015, pp. 270-283

[6] Ali Motamed, Laurent Deschamps and Jean-Louis Scartezzi, “On-site monitoring and subjective comfort assessment of a sun shading and electric lighting controller based on novel High Dynamic Range vision sensors” *Energy and Buildings* vol. 149, 15 Aug. 2017, pp. 58-72

[7] Jin Woo Moon, “Comparative performance analysis of the artificial-intelligence-based thermal control algorithms for the double-skin building” *Applied Thermal Engineering* vol. 91, 5 Dec. 2015, pp. 334-344

[8] Yazeed Yasin Ghadi, M. G. Rasul and M.M.K. Khan, “Design and development of advanced fuzzy logic controllers in smart buildings for institutional buildings in subtropical Queensland” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* vol. 54, Feb. 2016, pp. 738-744

[9] Ahmad Esmailzadeh, Mohammad Reza Zakerzadeh and Aghil Yousefi Koma, “The comparison of some advanced control methods for energy optimization and comfort management in buildings” *Sustainable Cities and Society* vol. 43, Nov 2018, pp. 601-623

[10] Snejana Yordanova, Daniel Merazchiev and Lakhmi Jain, “A Two-Variable Fuzzy Control Design With Application to an Air-Conditioning System” *IEEE Transactions On Fuzzy Systems*, vol. 23, no. 2, Apr. 2015

[11] Luigi Martirano, Giuseppe Parise, Luigi Parise and Matteo Manganelli, “Optimizing the level of energy performance and comfort in an office space by taking advantage of building automation systems and solar energy” *IEEE Industry Applications Magazine*, Mar/Apr 2016

[12] József Menyhart and Ferenc Kalmár, “Investigation of Thermal Comfort Responses with Fuzzy Logic” *Energies* vol. 12, no. 9, May. 2019, pp.1-13

[13] Mert Sevil, Nevzat Elalmış, Haluk Görgün and Nizamettin Aydın, “Control of Air Conditioning With Fuzzy Logic Controller Design For Smart Home Systems” *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences* vol. 33 no. 3, Sept. 2015, pp. 439-463

[14] YH Yau and CP Chang, “The fieldwork and control engineering studies on thermal comfort of occupants in a conventional office building in the tropics” *Building Serv. Eng. Res. Technol.* vol. 37 no. 3, May. 2016, pp. 355-373

[15] Krzysztof Grygierek and Joanna Ferdyn-Grygierek, “Multi-Objectives Optimization of Ventilation Controllers for Passive Cooling in Residential Buildings” *Sensors* vol. 18 no.4, Apr. 2018

[16] Christina Anastasiadi and Anastasios I. Dounis, “Co-simulation of fuzzy control in buildings and the HVAC system using BCVTB” *Advances in Building Energy Research* vol. 12 no. 2, Jan. 2017, pp. 195-216

- [17] Muhammad Fayaz, Israr Ullah and Do Hyeun Kim , “An Optimized Fuzzy Logic Control Model Based on a Strategy for the Learning of Membership Functions in an Indoor Environment” *Electronics* vol. 8 no. 2, Feb. 2019
- [18] Lei Hang and Do-Hyeun Kim, “Enhanced Model-Based Predictive Control System Based on Fuzzy Logic for Maintaining Thermal Comfort in IoT Smart Space” *Applied Sciences (Switzerland)* vol. 8 no.7, Jun. 2018
- [19] Almahdi Abdo-Allah, Tariq Iqbal and Kevin Pope, “Modeling, Analysis, and Design of a Fuzzy Logic Controller for an AHU in the S.J. Carew Building at Memorial University” *Journal of Energy* vol. 2018, Jan. 2018
- [20] Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ANSI/ASHRAE Standard 55-2017
- [21] Anthony V. Arundel, Elia M. Sterling, Judith H. Biggin and Theodor D. Sterling, “Indirect Health Effects of Relative Humidity in Indoor Environments” *Environmental Health Perspectives*, vol. 65 Mar. 1986, pp. 351-361
- [22] Peder Wolkoff, “Indoor air humidity, air quality, and health – An overview” *International Journal of Hygiene and Environmental Health* vol. 221, no.3, Apr. 2018, pp. 376-390
- [23] Usha Satish, Mark J. Mendell, Krishnamurthy Shekhar, Toshifumi Hotchi, Douglas Sullivan, Siegfried Streufert, and William J. Fisk, “Is CO2 an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO2 Concentrations on Human Decision-Making Performance” *Environmental Health Perspectives* vol. 120 no. 12 Dec. 2012, pp. 1671-1677
- [24] Joseph G. Allen, Piers MacNaughton, Usha Satish, Suresh Santanam, Jose Vallarino and John D. Spengler, “Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments” *Environmental Health Perspectives* vol. 124, no. 6 , Jun. 2016, pp. 805-812
- [25] (2019) Hava durumu portalı. [Online]. Available: [https://rp5.ru/Weather\\_in\\_the\\_world](https://rp5.ru/Weather_in_the_world)