



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2011, Volume: 6, Number: 1, Article Number: 1A0166

ENGINEERING SCIENCES

Received: October 2010

Accepted: January 2011

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 www.newwsa.com

Hasan Güler

İbrahim Türkoğlu

Fikret Ata

Firat University

hasanguler23@gmail.com

Elazig-Turkey

BULANIK TEMELLI AKILLI VENTILATÖRDE FIO₂ KONTROLÜ

ÖZET

Bu çalışmada, solunum fonksiyonu bozulmuş canlıların ventilasyonunda kullanılan mekanik ventilatör cihazının bulanık mantık denetleyici ile kontrolü gerçekleştirilmiştir. Pozitif basınçlı ventilasyon modunda FiO₂ (alınan havanın oksijen yüzdesi) değerinin belirlenmesi için bulanık temelli benzetim gerçekleştirilmiştir. Bunu yaparken akciğer dinamikleri olan akciğer direnci ve kapasitesinden faydalanılmıştır. Günümüzde yoğun bakım ünitelerinde kullanılan ventilatörlerin birçoğu açık çevrimli kontrol gerçekleştirmektedir. Bu durumda klinisyen çoğu zaman hastanın yakınında olmak zorunda kalmaktadır. Gerçekleştirilen sistemin amacı, klinisyenin takip ettiği parametrelerden biri olan FiO₂'yi kontrol ederek çalışanların iş yükünün azaltılmasına yardımcı olmaktır. Sistemde bulanık denetleyicinin iki girişi vardır. Bunlar akciğer direnci ve kapasitedir. Gerçekleştirilen sistem günümüzde çokça kullanılan ventilasyon modlarından olan Basınç Kontrollü Ventilasyon (PCV) modu ile çalıştırılmaktadır. Benzetimden elde edilen sonuçlar beklenen teorik sonuçlar ile örtüştüğü görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Sistemler, Bulanık Mantık,
Mekanik Ventilator, Respirasyon ve FiO₂

FIO₂ CONTROL AT INTELLIGENT VENTILATOR BASED ON FUZZY

ABSTRACT

In this study, the controlling of mechanical ventilator device which is used for ventilation of patients whose respiration system has been disturbed was implemented with fuzzy logic controller. The simulation based on fuzzy was designed to determine FiO₂ (the percentage of inspired oxygen) value on the positive pressure ventilation mode. By doing this, it was benefited from dynamics of the lung that are resistance and capacitance. Most ventilators used in intensive care units are controlled with open-loop controller. Clinicians must take patients' vicinity in this situation. The objective of study is to come to one's assistance to reduce workload by controlling FiO₂, one of the parameters to be tracked by clinicians. Fuzzy controller has two inputs in this system. These are lung resistance and capacitance. Performed system is run with the pressure control ventilation (PCV) which is one of the most used modes among other ventilation modes. It was seen that the results obtained from simulation matched up with desired results.

Keywords: Intelligent System, Fuzzy Logic,
Mechanical Ventilator, Respiration and FiO₂

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mekanik ventilasyon yoğun bakım ünitelerinin ayrılmaz bir parçası durumundadır ve bu cihaz yardımı ile solunum fonksiyonu bozulmuş canlıların solunumu yapay olarak gerçekleştirilmektedir. 60'li yıllardan beri bu cihazın kontrolü ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. 80'li yılların sonuna doğru bilgisayar kontrollü ventilatörler tasarlanırken, bu yerini 2000'li yıllarda akıllı kontrol teknikleri ile tasarıma bırakmıştır.

Laubscher T.P ve diğ. (1994) yaptıkları çalışmada, kapalı çevrim kontrollü ile uyarlanabilir akciğer ventilasyonu işleminde respirasyon hızı, tidal volüm ve inspirasyon basıncını hesaplamışlardır. Stegmaier ve Zolliger A. (1995) çalışmalarında, özel olarak geliştirdikleri açık çevrim kontrollü ventilatör ile gerçek zamanlı hava yolu sinyallerini ve akciğer fonksiyon bilgilerini gözlemlemişlerdir. Sekiz hasta üzerinde yapılan deneyde hava yolu bilgileri olarak, akım, basınç, CO₂ konsantrasyonu ölçülür iken, akciğer fonksiyonu olarak toplam kapasite, toplam direnç ve anlık PEEP (Ekspirasyon Sonu Pozitif Basınç) değerleri incelenmiştir. Laubscher T.P ve diğ. (1992) yaptıkları çalışmada, aralık zorunlu basınç kontrollü ventilasyon (PSIMV) modunu kullanarak respirasyon oranı ve tidal volümü kontrol etmişlerdir. Cappa ve Sciuto (2000) çalışmalarında, yeni doğmuş bebeklerin ventilasyonu için otomatik ölçüm sistemi geliştirmişlerdir. Larrabe ve diğ. (2001) yaptıkları makale çalışmalarında, zaman ayarlı, basınç limitli ve volüm kontrollü bir solunum için bir sistem geliştirmişlerdir. Ventilasyon için akciğere ait mekaniklerin belirlenmesi işleme ait parametrelerin ölçülmesi gerçekleştirilmiştir. Chatburn (2003) yaptığı çalışmada, ventilatör-hasta ilişkisinin elektriksel devresini ortaya çıkarmış, açık ve kapalı çevrim kontrolünün nasıl olduğundan bahsetmiştir. Rios ve Tafur (2003) çalışmalarında, akciğer-ventilatör prototipi kullanarak, hava ve O₂'nin karıştırılıp ventilatöre gönderilmesi işlemini açık çevrim PI kontrolör gerçekleştirmişlerdir. Luepschen ve diğ. (2007) makale çalışmalarında, PID kontrol ünitesi tasarlayarak SaO₂'nin (Kan oksijen saturasyonu) kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Alınan havanın oksijen yüzdesi olarak bilinen FiO₂'yi ayarlayarak SaO₂'yi kontrol etmişlerdir. Ahmadi ve Bates (1999) yaptıkları çalışmada, geliştirdikleri bilgisayar programı ile prototip ventilatörlerde bulunan vananın açılıp kapatılması ile inspirasyon ve ekspirasyon işlemin gerçekleştirmişlerdir. Güler ve Ata (2007), küçük akciğer hacmine sahip laboratuvar hayvanlarının anestezi altındaki solunumu gerçekleştiren açık çevrim kontrollü ventilatör tasarlamışlardır. Sistemde kontrolör olarak S7-200 PLC (Programlanabilir lojik kontrolör) kullanmışlardır.

Son yıllarda akıllı kontrol tekniklerinin birçok medikal sistemde başarı ile kullanılmasından sonra araştırmacılar mekanik ventilatörlerin de akıllı hale getirilmesi ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Rees ve diğ. (2003) çalışmalarında yoğun bakım ünitesinde kullanılan ventilatörün parametreleri için karar destek sistemi gerçekleştirmişlerdir. Noshiro ve diğ. (1994) makalelerinde, yüksek frekanslı ventilasyonda geleneksel kontrol yöntemleri ile bulanık kontrolü birleştirerek end-tidal pCO₂'nin ölçülmesini gerçekleştirmişlerdir. Bulanık PI kontrolörün iki girişinden biri hata, diğeri ise hatadaki değişim olarak seçilmiştir. Stegmaier ve diğ. (1994) yaptıkları çalışmada, bulanık mantık ile ventilasyon esnasında hastaya ulaşan basınçtaki değişikliklerden faydalanılarak hastanın öksürmesinin takip edilmesini gerçekleştirmişlerdir. Nemoto ve diğ. (1999) makale çalışmalarında, kalp atış hızı, tidal volüm, nefes alma hızı ve SaO₂ değerlerine göre KOAH (Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı) hastalarının ventilatörden ayrılma işlemini bulanık denetleyici ile gerçekleştirmişlerdir. Schaublin ve diğ. (1996) çalışmalarında kapalı çevrim geri beslemeli mekanik ventilatörde, ventilasyon frekansını ve tidal volümü ayarlayarak, F_ECO₂'yi (End-tidal karbon dioksit karışımı) istenilen seviyede tutmak için bulanık denetleyici kullanmışlardır. Nelson ve diğ.

(1997) yaptıkları çalışmada asiste mekanik ventilasyon modun da respirasyon hızı ve SO_2 kontrolünü bulanık denetleyici ile gerçekleştirmişlerdir. Sistemin gerçekleştirilmesinde MATLAB/Fuzzy Toolbox kullanılarak 7 ayrı program gerçekleştirip. En iyi çözümün hangisi olduğunu incelemişlerdir. Wang ve diğ. (1998) makale çalışmalarında teşhis ve tedavi amaçlı, volüm ayarlı ventilatörler için kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Yapay akciğer modeli üzerinde bulunan butonlar ile solunum esansında oluşabilecek çeşitli durumların benzetimi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. H.F.Kwok ve diğ. (2004) çalışmalarında, yoğun bakım ünitelerinde kullanılan ventilatörler için hibrid algoritma kullanarak MATLAB/ simulink ortamında benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Güler ve Ata (2009) çalışmalarında, senkronize aralık zorunlu ventilasyonda (SIMV) basınçtaki hata ve bu hatanın değişim oranına bağlı olarak, respirasyon oranı (nefes alıp-verme sürelerinin toplamı), tidal volüm ve hastaya verilen basıncın bulanık mantık denetleyici ile hesaplanması işlemini gerçekleştirmişlerdir. Güler ve Ata (2009) makalelerinde, akciğer dinamikleri olan direnç ve kapasite değerlerine göre hastanın inspirasyon ve ekspirasyon sürelerinin tahmin edilmesini gerçekleştirmişlerdir.

Bu çalışmada ise, akciğer dinamiklerinden direnç ve kapasite yardımı ile hastanın ihtiyacı olan oksijenin hava ile karışım yüzdesinin tahmin edilmesi işlemi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Bunu yaparken de bulanık denetleyiciden faydalanılmıştır. Hastaya ventilasyon esnasında genellikle saf oksijen verilmemektedir. Bunun nedeni zaten sorunlu durumda olan hastanın akciğerini daha da kötüleştirmemektir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada, yoğun bakım ünitelerinde yatan hastaların tedavisinde kullanılan mekanik ventilatör cihazının akıllı hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Günümüz yoğun bakım ünitelerinde kullanılan bu cihazlar açık çevrim kontrollü olarak tasarlanmıştır. Hastada oluşan anlık değişimlerde, alarm sistemi ile klinisyen uyarılarak, gelişen duruma göre cihaz tekrardan ayarlanmaktadır. Bu çalışmada solunum güclüğü çeken hastaların tedavisinde önemli bir parametre olan FiO_2 'nin hastanın akciğer dinamiklerine göre kapalı çevrim kontrolü gerçekleştirilmiştir. Böylece hem uyarlanabilir bir sistem tasarlanmış hemde klinisyenin iş yükü hafifletilmiş olacaktır. Benzetim çalışmasında yaklaşık 3400 rastgele giriş değeri üretilerek sistemimizin nasıl cevap verdiği izlenmiştir.

3. POZİTİF BASINÇLI VENTİLASYON (POSITIVE PRESSURE VENTILATION)

Bu tip ventilasyon, yapay bir hava yolu aracılığı ile akciğerlere belirli basınçta gaz akımı gönderilmesi prensibine göre çalışmaktadır. Bu tip çalışan ventilatör ile hastaya hava verilmeye başlanıldığında basınç değeri ağızda pozitif, alveollerde sıfırdır. Böylece oluşan basınç farklılığından ötürü solunum havası alveollere ulaştırılır. Bu şekilde alveollerde pozitif bir basınç oluşmakta ve inspirasyon gerçekleşmektedir. Inspirasyon sonunda ventilatörün pozitif basınç uygulaması durur ve bu durumda ağız basıncı sıfıra düşer iken alveollerde ki basınç hala pozitif kalmaktadır. Böylece ağız ve alveol arasında yine bir basınç farklılığı meydana gelir ve ekspirasyon gerçekleşir. Alveoler basıncın tekrardan sıfıra dönmesi ile ekspirasyon son bulur (Smith,1986 ve Pillbeam,1992).

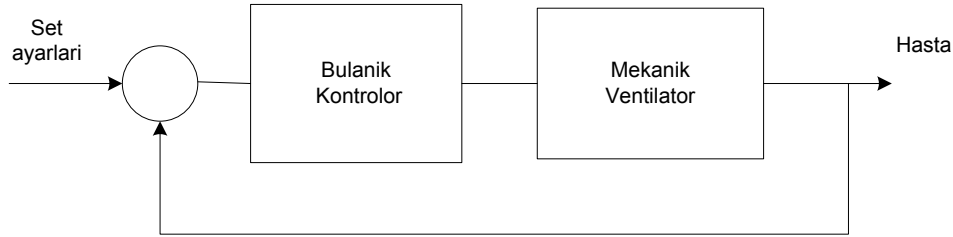
Inspirasyon aktif bir olay iken ekspirasyon pasif bir olaydır. Inspirasyon süresince hastaya doğru gaz akışı sağlandığı için aktif bir işlem olduğu söylenebilir. Ekspirasyon için herhangi bir işlem yapmaya gerek yoktur. Inspirasyon süresinin bitiminde ağız basıncı ile alveollerde ki basınç farklılığından dolayı gaz akışı kendi kendine akciğerden atmosfere doğru olacağından ekspirasyon için pasif bir olay benzetmesi yapılmaktadır.

Hastaya mekanik ventilasyon uygulandığında akciğerde ne kadar volüm oluşturulabileceği uygulanan basınç, zaman, akım ve volüm arasındaki

etkileşimlerle belirlenir (Pillbeam,1992). Örneğin, akciğerde oluşacak volüm verilen gazın akımına ve uygulanma süresine bağlıdır. Akciğer içine ulaşacak gazın akım hızı, ventilatör ile akciğer arasındaki basınçların farkına bağlı olarak değişir. Akciğer içindeki basınç akciğerin yapısına göre değişim göstermektedir. Akciğer kolayca genişleyebiliyor ise ekspirasyon için düşük basınç ve kısa süre yeterlidir fakat akciğer yapısı sert ve dirençli ise şişirmek için daha uzun süreye ve daha yüksek basınca ihtiyaç duyulmaktadır. Ventilasyon esnasında basınç değişikliklerinin değerlendirilmesinde birim olarak genellikle "Santimetre Su (cmH₂O)" kullanılır. Pozitif basınçlı ventilasyon pratikte genellikle inspirasyonun başlama şekli, mod olarak isimlendirilir. Bu çalışma, basınç kontrollü ventilasyon (PCV-Pressure Control Ventilation) modu ile gerçekleştirilmiştir.

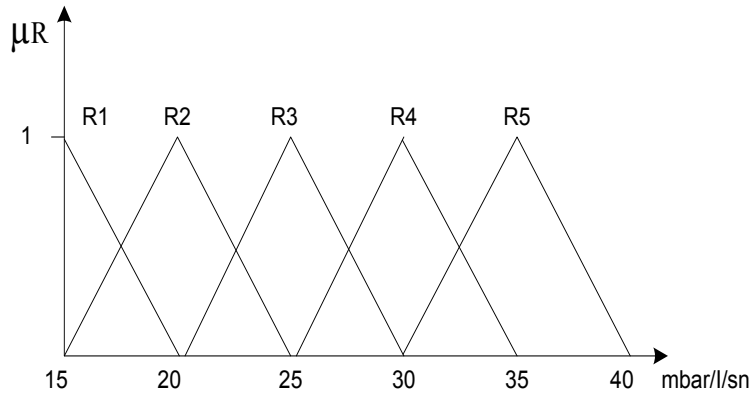
4. BULANIK SİSTEMİN TANIMLANMASI (DEFINING OF FUZZY SYSTEM)

Bulanık mantık ilk olarak 1965 yılında Berkeley üniversitesinde çalışan Azeri profesör Lotfi Asker Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. İlk zamanlarda bazı bilim adamları bu yeni tekniğe sıcak bakmayıp, bu sistemin hali hazırdaki problemleri çözemeyeceğini iddia etmişlerdir. Fakat japonya bilim adamlarının bulanık mantığı bulanık kontrolde başarı ile uygulamasından sonra bu teknik popülerlik kazanmış ve şuan günümüzde başta kontrol olmak üzere, haberleşme, entegre devre üretimi ve biomedikal sistemlerde başarı ile uygulanmaktadır. Şekil 1'de sistemin genel blok diyagramı görülmektedir.

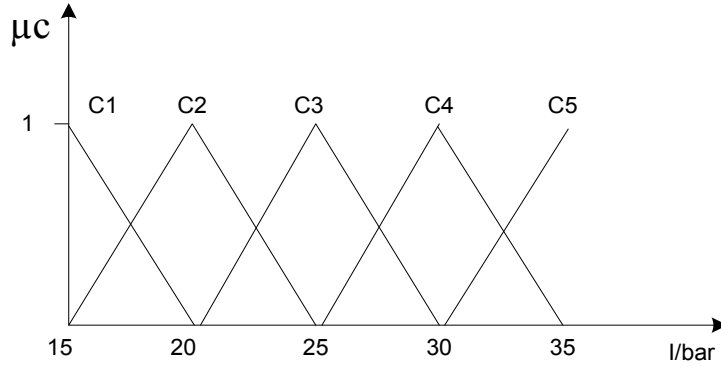


Şekil 1. Sistem blok diyagramı
(Figure 1. System block diagram)

Bulanık denetleyicinin iki girişi vardır. Bunlar akciğer dinamikleri olan direnç ve kapasitedir. Bulanık sistem girişlerinin üyelik fonksiyonları şekil 2 ve şekil 3'de görülmektedir.

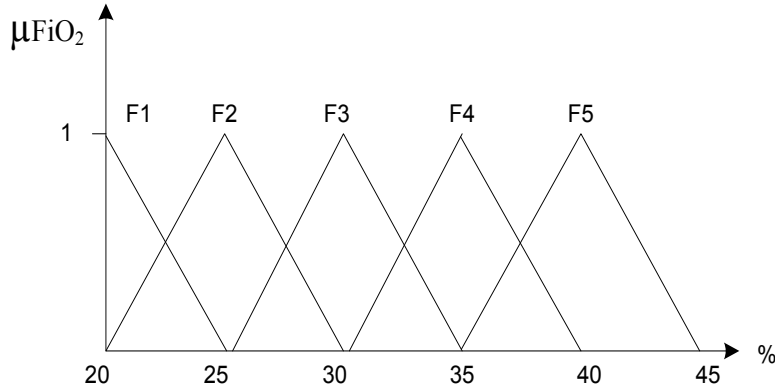


Şekil 2. Direnç üyelik fonksiyonu
(Figure 2. Membership function of Resistance)



Şekil 3. Kapasite üyelik fonksiyonu
(Figure 3. Membership function of Capacitance)

Çıkışta kontrol edilmek istenen yüzdesel FiO_2 'nin üyelik fonksiyonu şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Yüzdesel FiO_2 üyelik fonksiyonu
(Figure 4. Membership function of Percentage of FiO_2)

Kural tablosu tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Yüzdesel FiO_2 için kural tablosu
(Table 1. Rule Table for FiO_2 Percentage)

R/C	C1	C2	C3	C4	C5
R1	F1	F1	F2	F3	F4
R2	F1	F2	F3	F4	F5
R3	F2	F3	F4	F5	F6
R4	F3	F4	F5	F6	F6
R5	F4	F5	F6	F6	F6

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

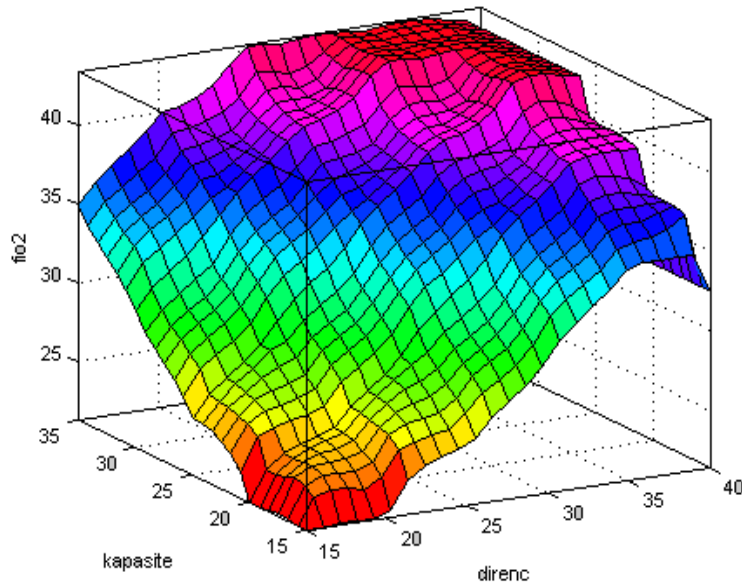
Gerçekleştirilen sistem ile pozitif basınçlı ventilasyonda FiO_2 'nin yüzdesel değeri bulanık mantık denetleyici ile hesaplanmıştır. Sistem MATLAB/Fuzzy Toolbox kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık denetleyicinin çıkışı olan FiO_2 değerinin bulanık mantık çıkış kontrol yüzey şekli Şekil 5'de görülmektedir.

Hastaların akciğer direncinin artması, kapasitesinin artması ve hem direncin hem de kapasitenin artması durumlarına göre FiO_2 değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan ortalama yüzdesel FiO_2 değerleri akciğer direncinin artması halinde 31.04, kapasitenin artması halinde 34,925, hem direncin hem de kapasitenin artması halinde 38.03 olarak hesaplanmıştır. Her üç durum için elde edilen grafikler şekil 6'da görülmektedir. Artan

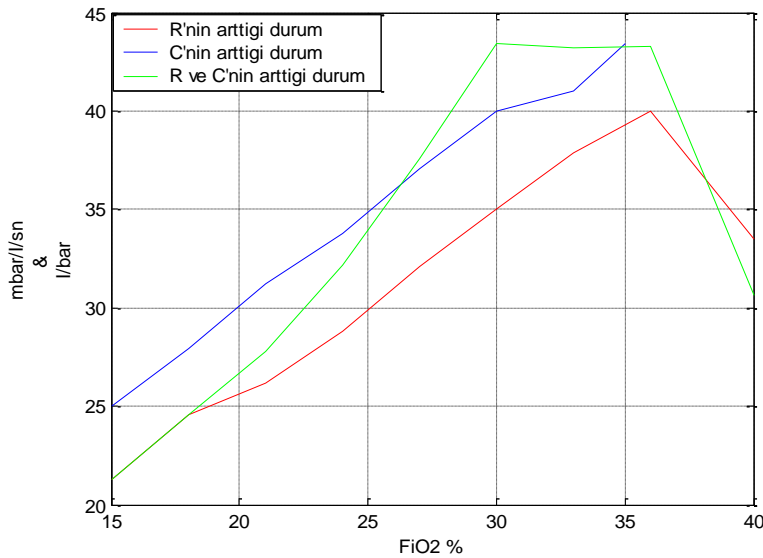
direnç ve kapasite ile hastanın ihtiyaç duyduğu FiO_2 yüzdesi de artmaktadır.

Gerçekleştirilen sistemde giriş olarak rastgele seçilmiş yaklaşık 3400 değer verilmiştir. Şekil 7 ve 8'de sisteme giriş olarak uygulanan akciğer direncinin ve kapasitesinin histogram şekilleri verilmiştir. Görüldüğü gibi uygulanan direnç ve kapasitenin ortalama değerleri sırasıyla 26.8 mbar/l/sn ve 23.4 l/bar olmuştur. Şekil 9'da ise FiO_2 'nin yüzdesel değişiminin histogram ifadesi verilmiştir.

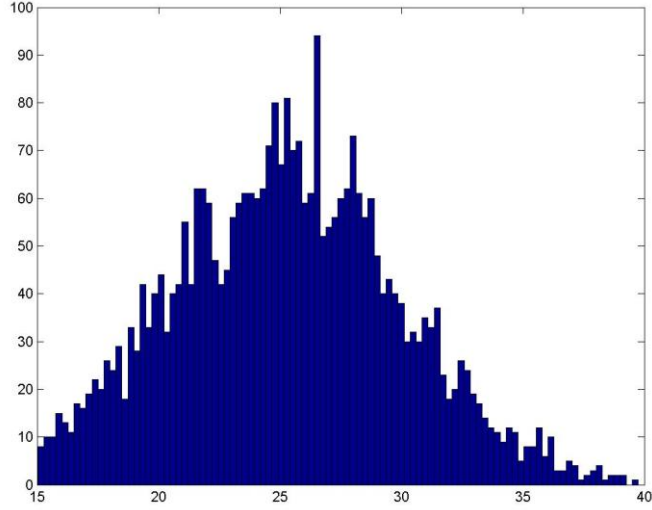
Yoğun bakım üntelerinde çalışan klinisyenler her an hastanın yanında olamayabilir veya başka bir hasta ile ilgilenirken diğer hastada anlık değişiklikler oluşabilir. Önerilen bu kapalı çevrim sistem ile hastalarda meydana gelebilecek anlık değişimlerde FiO_2 değerini sistem tarafından yeniden düzenlenmiş olacaktır. Böylece yoğun bakım ünitesinde çalışan personelin iş yükü biraz hafifletilmiş olacaktır.



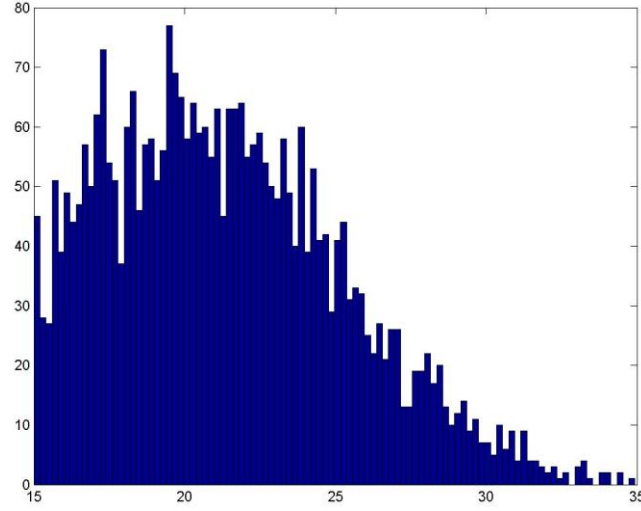
Şekil 5. FiO_2 'nin bulanık yüzey şekli
(Figure 5. Fuzzy surface figure of Percentage of FiO_2)



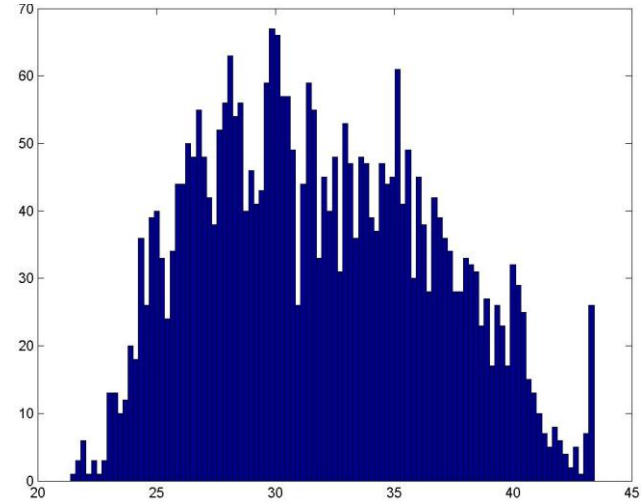
Şekil 6. FiO_2 'nin akciğer dinamiklerine göre değişimi
(Figure 6. Changing of Percentage of FiO_2 according to Lung Dynamics)



Şekil 7. Akciğer direncinin histogram değişimi
(Figure 7. Histogram Changing of Lung Resistance)



Şekil 8. Akciğer kapasitesinin histogram değişimi
(Figure 8. Histogram Changing of Lung Capacitance)



Şekil 9. FiO_2 'nin akciğer dinamiklerine göre histogram değişimi
(Figure 9. Histogram Changing of FiO_2 According to Lung Dynamics)

TEŞEKKÜR (THANK)

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Projeler Araştırma Birimi tarafından 1911 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Laubscher, T.P., Heinrichs, W., Weiler, N., Hartmann, G., and Brunner, J.X., (1994) "An Adaptive Lung Ventilation Controller" IEEE Transactions on Biomedical Engineering Vol.41,51-58
2. Stegmaier, P.A. and Zollinger, A., (1995) "A Ventilator Workstation for Simultaneous Recording of Lung Function Indices and Airway Signals" IEEE-EMBC and CMBC Clinical Engineering/Medical Informatics Conference,731-732
3. Laubscher, T.P., Heinrichs, W., Weiler, N., Hartmann, G., and Brunner, J.X., (1992) "The Minimal Alveolar Ventilation Controller" Engineering in Medicine and Biology Society, Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE, Vol.6,2711-2712
4. Cappa, P. and Scuito, S.A., (2000) "Experimental Analysis of the Airway Circuit Effects on Breathing Pattern Generates by Neonatal Pulmonary Ventilators" Proceedings-22nd International Conference-IEEE/EMBS-Vol.4, 3132-3135,
5. Larrabe, J.L., Alvarez, F.J., Cuesta, E.G., Soller, A.V., and Alfonso, L.F., (2001)"Development of a Time-Cycled Volume Controlled Pressure-Limited Respirator and Lung Mechanics System for Total Liquid Ventilator" IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine Vol.48,1134-1142,
6. Chatburn, R.L., (2003) "Engineering Principles Applied to Mechanical Ventilator" Proceedings- 25th International Conference-IEEE/EMBS, Vol.1,406-410,
7. Rios, C.A. and Tafur, J.C., (2003)"Mathematical Model and Control of the Pneumatic System of a Lung Ventilator Prototype" Proceedings-25th International Conference-IEEE/EMBS, Vol.3, 2776-2779
8. Luepschen H., Zhu L., and Leonhardt S., (2007)"Robust Closed Loop Control of the Inspired Fraction of Oxygen for the Online Assesment of Recruitment Maneuver" Proceedings-29th International Conference-IEEE/EMBS,495-498
9. Ahmadi, M. and Bates, J.H.T., (1999)" A Computer-Controlled Mechanical Ventilator Based on A Rotating Vane" Engineering in Medicine and Biology, 21st Annual Conf. and the Annual Fall Meeting of the Biomedical Engineering Soc. BMES/EMBS Conference, Vol.1,336-337,1999.
10. Güler, H., (2007) Programlanabilir Lojik kontrolör ile Mekanik Ventilator Tasarımı, Master Tezi,Fırat Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü
11. Rees, S.E., Kjaergaard, S., Thorgaard, P., and Toft, A.S., (2003) "A Physiological Model Based Approach to Medical Decision Support in the Intensive Care Unit" Engineering in Medicine and Biology Society, Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE, Vol.1,432-433
12. Noshiro M., Matsunami T., Takakuda K., Ryumae S., Kagawa T., Shimizu M., and Fujino T., (1994)" Fuzzy and Conventional Control of High Frequency Ventilation" Med.& Biol. Eng.&Computer, Vol.32,377-383
13. Stegmaier, P.A., Brunner, J.X., Tschicholdn, N., Laubscher, T.P., and Liebert, W. (1994) " Fuzzy Logic Cough Detection: A First Step Towards Clinical Application", Fuzzy Systems, IEEE World Congress on Computational Intelligence., Proceedings of the Third IEEE Conference,1000-1005
14. Nemoto, T., Hatzakis, G.E., Thorpe, C.W., Olivenstein, R., Dial, S., and Bates, J.H.T., (1999) "Automatic Control of Pressure Support Mechanical Ventilation Using Fuzzy Logic" American Journal Respiratory and Critical Care Medicine, Vol.160, no.2,550-556

15. Schaublin, J., Derighetti, M., Feigenwinter, P., Petersen-Felix, P., and Zbinden, A.M. (1996) "Fuzzy Logic Control of Mechanical Ventilation During Anaesthesia" British Journal of Anaesthesia, Vol.77, 636-641
16. Nelson, D.S., Strickland, J.H., and Jannet T.C., (1997) "Simulation of Fuzzy Control for Management of Respiratory Rate in Assist Control Mechanical Ventilaton" Proceedings-19th International Conference- IEEE/EMBS-Vol.3, 1104-1107
17. Wang, C.S., Shaw, D., and Jih, K.S., (1998) "An Intelligent Control System for Ventilators" Medical Engineering & Physics, Vol. 20, 534-542.
18. Kwok, H.F., Linkens, D.A., Mahfouf, M., and Mills, G.H., (2004) 'SIVA: Hybrid knowledge and model based advisory system for intensive care ventilators' IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, Vol.8 no.2, 161-171
19. Güler, H. and Ata, F., (2009) "Senkronize Aralık Zorunlu Ventilasyonda Respirasyon Süresi, Tidal Volüm ve Basınç Değerinin Bulanık Mantık Denetleyici ile Hesaplanması", 5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu-IATS'09, 373-377
20. Güler, H. and Ata, F., (2009) "Estimation of Inspiration and Expiration Time By Using Fuzzy Control with Respect to Lung's Dynamics" Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control- ICSCCW 2009, 1-5
21. Smith, R.A., (1986) 'Respiratory Care Mechanical Anesthesia' 2nd Ed. Churchill Livingstone, New York
22. Pillbeam, S.P., (1992) 'Mechanical Ventilation: Physiological and Clinical Application' 2nd Ed. St Louis, Mosby