

SOLUNUM RAHATSIZLIĞI OLAN HASTALAR İÇİN BULANIK TABANLI TİDAL VOLÜM ALGORİTMASININ GELİŞTİRİLMESİ

Hasan GÜLER*, **Fikret ATA***

* Fırat Üniversitesi Müh. Fak. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ
hasanguler@firat.edu.tr & fata@firat.edu.tr

Geliş/Received: 27.05.2013; Kabul/Accepted: 25.09.2014)

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, solunum sıkıntısı çeken hastalar için yeni bir bulanık tabanlı tidal volüm algoritmasını geliştirmektir. Akut solunum sıkıntısı sendromu (ASSS) gibi hastalıkların tedavisinde tidal volümün değerinin 6 ml/kg olması istenmektedir. Fakat bu tidal volüm hedefi yetersiz oksijenasyon ve ventilasyondan kaynaklanan nedenlerden dolayı sıklıkla aşılmaktadır. Bundan dolayı, tidal volümdeki aşımı önlemek amacıyla bulanık mantık tabanlı bir algoritma geliştirildi. Bulanık sistemin girişleri pozitif ekspiratuar sonu basınç (PEEP), plato basıncı (Pplt), arterial oksijen saturasyonu (SaO₂) ve PEEP'deki değişim, çıkış ise tidal volüm olarak seçilmiştir. Geliştirilen algoritmayı test için Monte-Carlo benzetimi ve Gauss-Dağılımı metodu kullanılarak 1000 adet klinik senaryo üretilmiştir. Benzetimden elde edilen sonuçlar ile senaryoya göre klinisyenin önerdiği değerleri karşılaştırmak için student t-testi (P<0.05) kullanılmıştır. Karşılaştırma sonucuna göre, iki durumdaki tidal volüm değerlerinde istatistiksel olarak bir farklılık görülmemiştir. Geliştirilen algoritmanın hastaların tedavisinde arzu edilen 6 ml/kg tidal volüm hedefi için mantıklı ve standart bir tedavi olabileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Bulanık Mantık, Mekanik Ventilasyon, Monte-Carlo Benzetimi, Gauss-Dağılımı.

DEVELOPMENT OF A FUZZY-BASED TIDAL VOLUME ALGORITHM FOR PATIENTS WITH RESPIRATORY DISTRESS

ABSTRACT

The purpose of the present study is to develop a fuzzy-based tidal volume algorithm for patients with respiratory distress. The standard of care when ventilating patients with the acute respiratory distress syndrome is to use a tidal volume of 6 ml/kg for ideal body weight. But, this tidal volume aim is frequently exceeded for many reasons, most typically related to physician discomfort with clinical parameters of inadequate oxygenation and ventilation. Thus, an algorithm based on fuzzy logic has been developed in Matlab to prevent deviation in tidal volume. The inputs of fuzzy were positive end-expiratory pressure (PEEP), plateau pressure (Pplt) and arterial oxygen saturation (SaO₂) and the change of PEEP. Random clinical scenarios were generated via using Monte-Carlo simulation and Gaussian distribution methods. The student t-test for p < 0.05 was used to compare the obtained results from simulations and clinicians' decision. It was found that there is no statistical discrepancy in the value of tidal volume. It can be said that this algorithm may prove useful as means of rationalizing and standardizing departures from desired 6 ml/kg tidal volume in any given patient.

Keywords: Fuzzy Logic, Mechanical Ventilation, Monte-Carlo Algorithm, Gaussian Distribution.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ventilasyon yoğun bakım ünitelerinde (YBÜ) nefes almada sıkıntı duyan hastaların tedavisinde yaygın bir

şekilde kullanılmaktadır. Bu işlem sayesinde hastaların ihtiyaç duyduğu oksijen hastanın akciğerlerine ulaştırılmaktadır. Oksijen canlılara enerji sağladığı için çok önemlidir. Akut solunum

sıkıntısı sendromlu hastaların tedavisinde hastaya yeterli oksijen verilmesi, tedavinin başarıya ulaşması için önemlidir. Eğer yapay ventilasyon yeterli bir gaz değişimi sağlayamazsa, uygulanan tedavi etkili olmayacak ve hastanın durumu kötüleşecektir [1].

Ventilasyon işlemi çok karmaşık bir işlem olduğundan dolayı, klinisyenler tedavi hatalarını minimize etmek için yeterli bilgi ve tecrübeye sahip olmak zorundadırlar. Birçok bilim insanı klinisyenlerin iş yükünü ve tedavi hatalarını azaltmak için çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Literatürde mekanik ventilatör ve ventilasyon kontrolü ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bazı araştırmacılar ventilatörler için açık-çevrim kontrol teknikleri ile kontrol edilen sistemler geliştirmişlerdir [2-7]. Bu kontrol şekli klinisyenlerin iş yükünü hafifletmediği gibi iş yükünü daha da arttırdığı görüldüğünden kapalı çevrimli kontrol çalışmaları yapılmıştır. Son yıllarda yapay zeka tekniklerinin kontrol alanında başarılı sonuçlar üretmesinin ardından, bu teknikler medikal alanda da kullanılmaya başlanılmıştır.

Güler ve ark.[8-11] mekanik ventilatör tasarım metotlarını inceleyerek, ventilasyon için açık ve kapalı çevrim kontrollü sistemleri inceleyip, bu sistemleri tasarlamışlardır. Sistemlerin birbirlerine göre üstünlüklerini vurgulamışlardır. Rees ve ark. [12] YBÜ'lerde kullanılan ventilatörler parametrelerinin belirlenmesi için karar destek sistemi geliştirmiştir. Çalışmalarında bulanık mantık ve PI (Oransal-İntegral) kontrol kullanarak bir hibrit sistem oluşturmuşlardır. Stegmaier ve ark. [13] hastaya ulaşan basınçtaki değişikliğe göre hastanın öksürüp-öksürmediğini takip eden bir sistem geliştirmişlerdir. Ölçülen basınç değeri tasarlanan bulanık sistemin girişi olarak belirlenmiştir. Nemoto ve ark. [14] bulanık mantık kullanarak hastaların ventilatörden ayrılmasını sağlayan bir sistem geliştirmişlerdir. Bulanık denetleyici kalp atış hızı, tidal volüm, nefes alma oranı ve SaO₂ değerlerini kullanarak, 96 adet kural ile hastanın durumu hakkında bir çıkarım yapmaya çalışmıştır. Nelson ve ark. [15] bulanık denetleyici ile solunum oranı ve SaO₂ değerini kontrol etmeye çalışmışlardır. Matlab/Simulink'te 7 ayrı program geliştirerek hangisinin en iyi sonucu ürettiği gözlemişlerdir. Kwok ve ark. [16] mekanik ventilatörler için Matlab/Simulink'te hibrit bir algoritma geliştirmişlerdir. Çalışmalarında 2 ayrı bölüm vardır. İlk bölümünde, tasarlanan sistem ventilasyon parametrelerini kendi kendine değiştirirken, ikinci kısımda, parametrelerin değiştirilmesi için klinisyene öneride bulunmaktadır. Zhu ve Moller [17] solunum sistemini sinirsel-bulanık kontrolör ile kontrol etmek için çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında, gaz akışı bulanık denetleyici ile solunum ise sinirsel ağlar ile kontrol edilmiştir. Tzavaras ve ark. [18] Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOA) hastaları için solunum oranını ve tidal volümü ANFIS (Adaptive

neuro fuzzy inference system) ile kontrol etmeye çalışmışlardır. Gerçek hasta bilgilerini kullanarak sistemin eğitim ve test işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Kılıç ve Kılıç [19] mekanik ventilatörden ayrılma işlemi için bulanık karar destek sistemi geliştirmişlerdir. 9 farklı parametrenin değişik durumları için rastgele klinik senaryo üretilerek sistemlerine uygulanmışlardır. Buradan elde edilen sonuçları, ventilatörden ayrılma tahmin edicilerinin sonuçları ile karşılaştırmalarını yapmışlardır.

Bu çalışmaya konu olan düşük tidal volüm uygulama stratejisi, geleneksel ventilasyonda uygulanan 12 ml/kg tidal volüm değeri ile karşılaştırıldığında, hastalarda görülen ölüm oranını %22 azalttığı görülmüştür [20]. ASSS hastaları ve bunun gibi solunum sıkıntısı çeken hastaların tedavilerinde 6 ml/kg gibi düşük bir tidal volüm uygulanmaktadır. Fakat, bu düşük volüm hedefi birçok nedenden ötürü aşılmaktadır. Bu nedenlerin başında, klinisyenin dikkatsizliği ve yeterli oksijenin sağlanamaması gelmektedir. Düşük tidal volümdeki sapma, hastanın tedavisine olumsuz etkide bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, tidal volümdeki zararlı olabilecek sapmaları önleyecek bir akıllı kontrol algoritması oluşturmaktır. Monte-Carlo benzetimi ve Gauss-Dağılımı metodu kullanılarak 1000 adet klinik senaryo oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen bulanık algoritma oluşturulan senaryoya göre tidal volümü hesaplamıştır. Ayrıca, klinisyene bu oluşturulan senaryo durumunda tidal volüm değerlerinin ne olması gerektiği sorulmuştur. Bulanık denetleyici tarafından hesaplanan ve klinisyen tarafından öngörülen sonuçlar p<0.05 değeri için student t-testine tabi tutulmuştur. Geliştirilen algoritmanın düşük tidal volüm uygulamasında mantıklı ve uygulanabilir bir tedavi olduğu görülmüştür.

2.YÖNTEM (METHOD)

Bu çalışmada, solunum sıkıntısı çeken hastaların tidal volümünü ayarlamak için bulanık mantık tabanlı kontrol algoritması geliştirilmiş ve bu algoritmanın performansı test edilmiştir. Oluşturulan 1000 adet klinik senaryo Monte-Carlo benzetimi ve Gauss-Dağılımı kullanılarak oluşturulmuştur [21]. Bu algoritmada kullanılan Gauss-Dağılımı denklemleri denklem 1,2 ve 3'te verilmiştir.

$$f(x; \mu; \sigma^2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

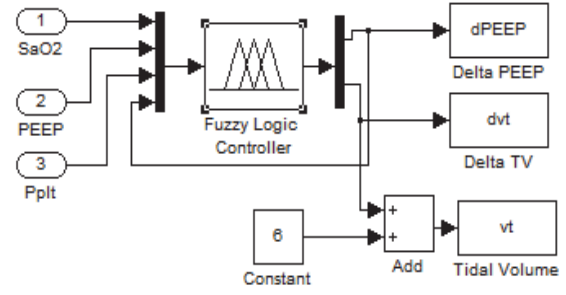
$$z = \frac{x-\mu}{\sigma} \quad (2)$$

$$x = z\sigma + \mu \quad (3)$$

burada x yeni data, z standart normal dağılım, μ ortalama değer, σ^2 değişken rastgele değer ve σ rastgele değerdir. Bulanık sistemin girişleri SaO₂, PEEP, plato basıncı ve Δ PEEP'dir. Tidal volüm ve Δ PEEP ise bulanık sistemin çıkışıdır. Bulanık

sistemin girişlerine verilecek klinik senaryo oluşturulurken ortalama değerler SaO_2 için %90, PEEP için 10 cmH₂O, plato basıncı için 20 cmH₂O, standart sapma ise SaO_2 için %5, PEEP için 5 cmH₂O ve plato basıncı için 5 cmH₂O seçilmiştir. Hesaplama algoritmalarından bir olan Monte-Carlo benzetimi tekrarlayan rastgele değerler kullanarak sonuç üretmekte ve genellikle fiziksel ve matematiksel sistemlerin benzetimini gerçekleştirmek için kullanılmaktadır [22-23]. Birçok bilim insanı farklı sistemlerdeki sorunları çözmek için bu algoritmayı kullanmışlardır [24-25].

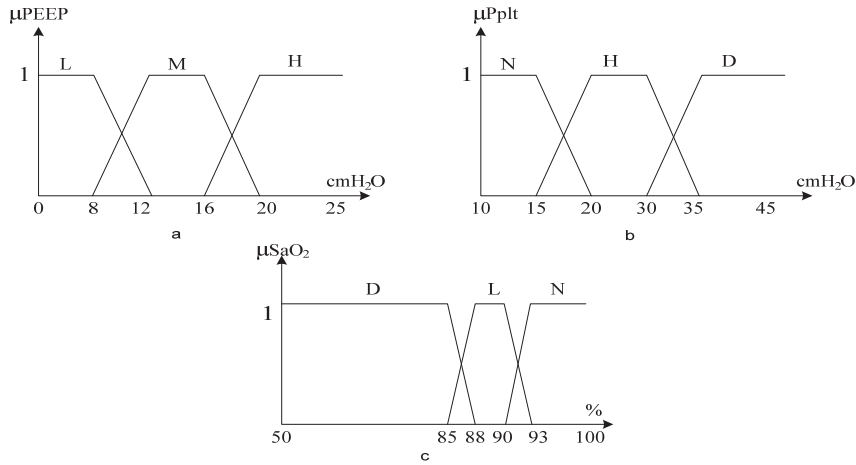
Matlab/Simulink'te sistemin algoritması oluşturulmuş ve bu sistemin basitleştirilmiş şekli Şekil 1'de gösterilmiştir.



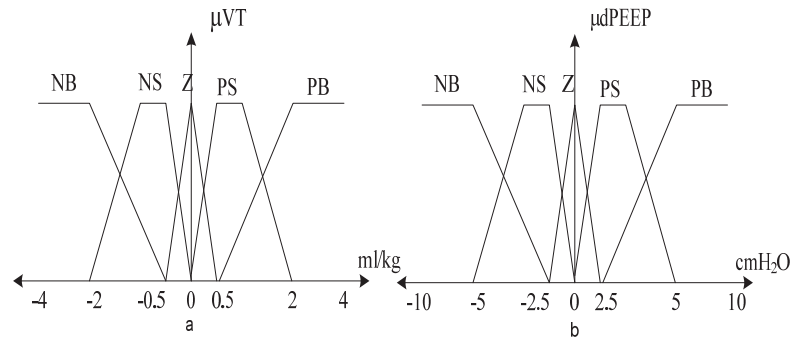
Şekil 1 Sistem blok diyagramı (The system block diagram)

Bulanık denetleyicinin girişlerine ait üyelik fonksiyonları Şekil 2'de, çıkış üyelik fonksiyonları ise Şekil 3'te verilmiştir.

Burada L düşük, H yüksek, D çok yüksek, M orta, N normal, NB negatif büyük, NS negatif küçük, Z sıfır, PS pozitif küçük, PB pozitif büyüktür. Tablo 1'de bulanık sisteme ait kural tablosu verilmiştir.



Şekil 2. Bulanık girişlerin üyelik fonksiyonları (The membership functions of fuzzy inputs)



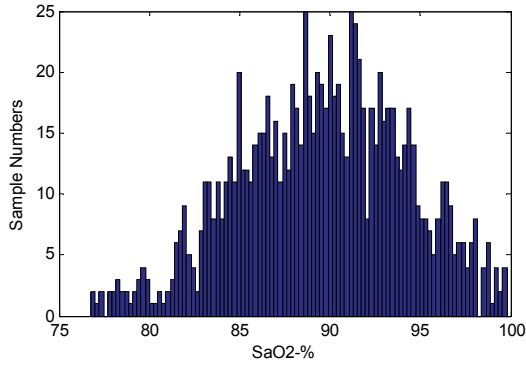
Şekil 3. Bulanık çıkışların üyelik fonksiyonları (The membership functions of fuzzy outputs)

Tablo 1. Geliştirilen bulanık algoritmanın kural tablosu (Rule table of the developed fuzzy algorithm)

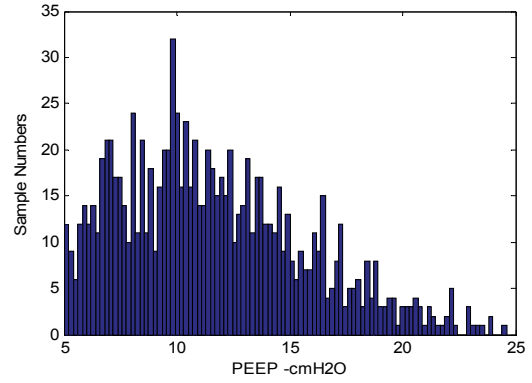
| PEEP | Pplat | SaO ₂ | ΔPEEP | ΔTV |
|------|-------|------------------|-------|-----|
| L | N | D | Z | Z |
| L | N | L | Z | Z |
| L | N | N | Z | Z |
| L | H | D | Z | Z |
| L | H | L | Z | Z |
| L | H | N | Z | Z |
| L | D | D | PS | Z |
| L | D | L | PS | Z |
| L | D | N | PB | NB |
| M | N | D | Z | PS |
| M | N | L | Z | Z |
| M | N | N | Z | Z |
| M | H | D | Z | Z |
| M | H | L | Z | Z |
| M | H | N | NS | Z |
| M | D | D | NS | Z |
| M | D | L | NB | Z |
| M | D | N | NB | NS |
| H | N | D | Z | PS |
| H | N | L | Z | Z |
| H | N | N | Z | Z |
| H | H | D | NS | PS |
| H | H | L | NS | Z |
| H | H | N | NS | NS |
| H | D | D | NS | PS |
| H | D | L | NB | Z |
| H | D | N | NB | NB |

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

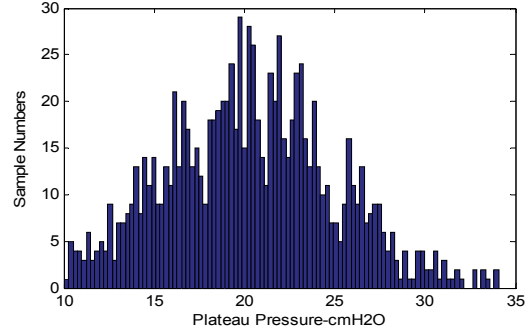
Geliştirilen bulanık tabanlı tidal volüm algoritmasının başarımını test etmek amacıyla Monte-Carlo benzetimi ve Gauss-Dağılımı kullanılarak 1000 adet klinik senaryo üretilmiştir. Bu klinik senaryolar üretilir iken ASSS hastalarının fizyolojik sınır değerleri dikkate alınmıştır. Burada üretilen SaO₂, PEEP ve Plato basıncına ait histogramlar Şekil 4, 5 ve 6'da verilmiştir.



Şekil 4. Üretilen SaO₂'nin histogramı (Histogram of the generated SaO₂)



Şekil 5. Üretilen PEEP'nin histogramı (Histogram of the generated PEEP)

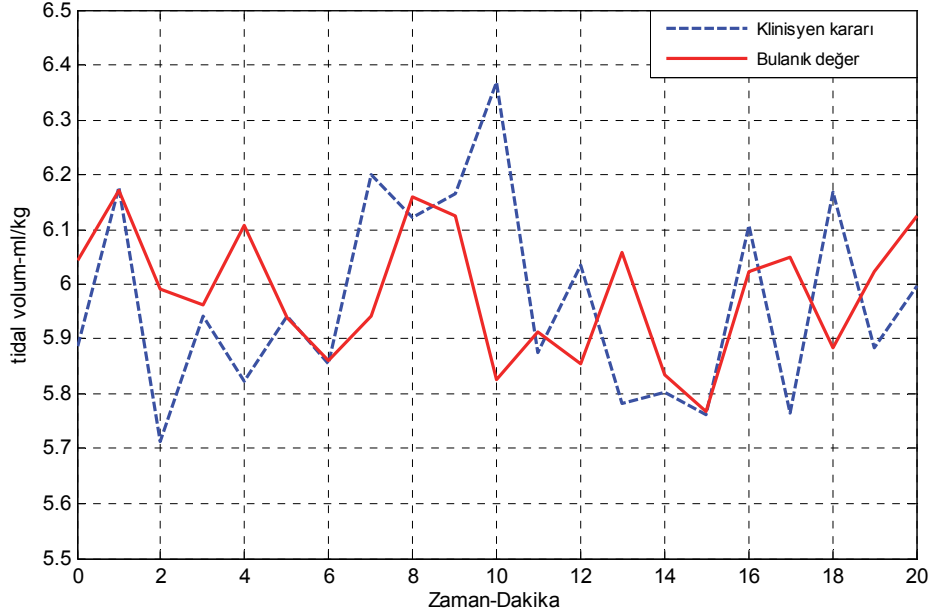


Şekil 6. Üretilen plato basıncının histogramı (Histogram of the generated plateau pressure)

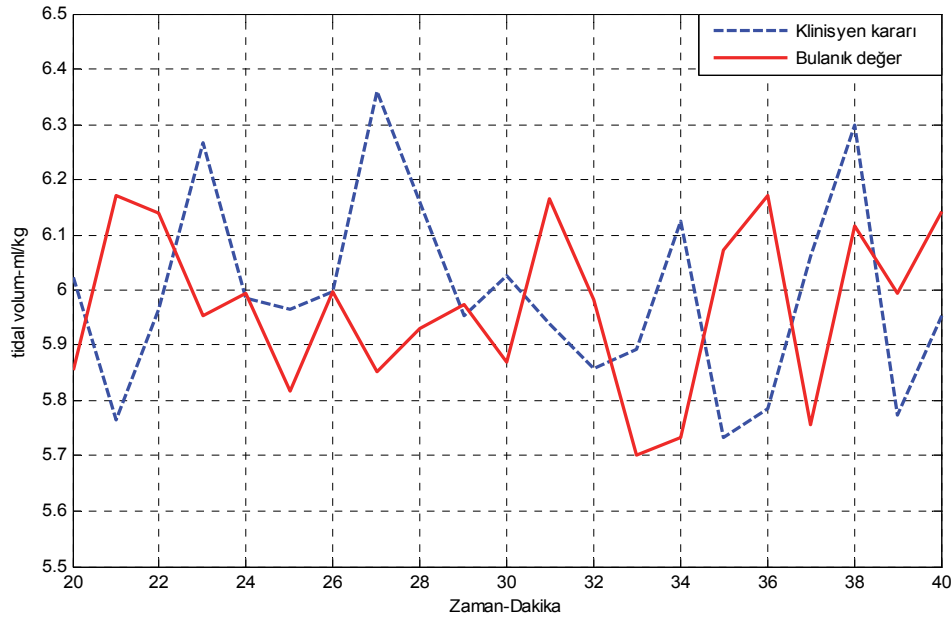
Üretilen klinik senaryolar önce geliştirilen bulanık tabanlı tidal volüm algoritmasına uygulandı. Daha sonra ise, Vermont Lung Center (Vermont University-College of Medicine-A.B.D.)'da görevli klinisyene, bu üretilen senaryo durumunda belirleyeceği tidal volüm değerinin ne olacağı soruldu.

Elde edilen tidal volüm değerlerinin değişimi Şekil 7, 8 ve 9' da gösterilmiştir

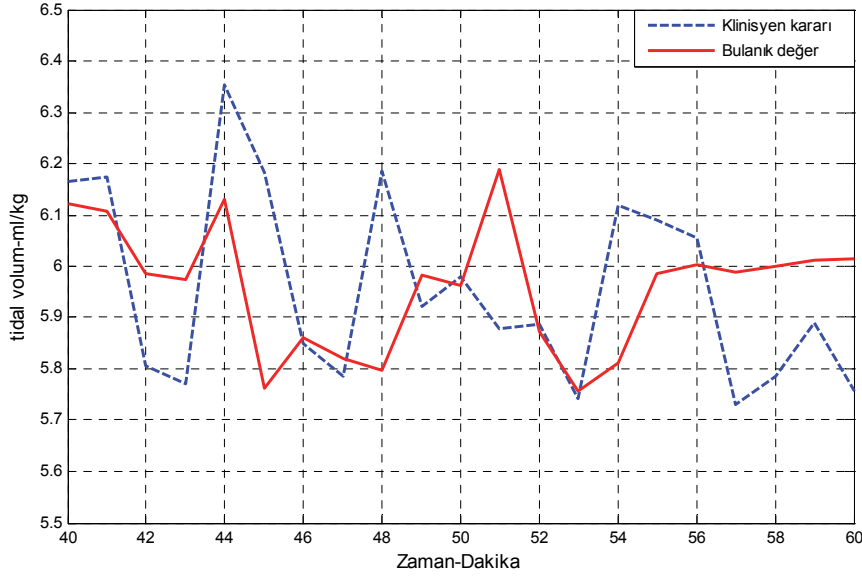
Tidal volümün maksimum, minimum ve ortalama değerleri Tablo 2, 3 ve 4'te verilmiştir.



Şekil 7. İlk yirmi dakikada hesaplanan ve tahmin edilen tidal volüm değeri (The calculated and estimated tidal volume values within first twenty minutes)



Şekil 8. İkinci yirmi dakikada hesaplanan ve tahmin edilen tidal volüm değeri (The calculated and estimated tidal volume values within second twenty minutes)



Şekil 9. Üçüncü yirmi dakikada hesaplanan ve tahmin edilen tidal volüm değeri (The calculated and estimated tidal volume values within third twenty minutes)

Tablo 2. İlk yirmi dakika için hesaplanan ve tahmin edilen tidal volüm değerlerinin maksimum, minimum ve ortalamaları (The calculated and estimated maximum, minimum and mean value of tidal volume for first twenty minute)

| | Max (ml/kg) | Min (ml/kg) | Ort(ml/kg) |
|---------------------|-------------|-------------|------------|
| Bulanık Denetleyici | 6.178 | 5.791 | 5.977 |
| Klinisyen kararı | 6.395 | 5.712 | 5.921 |

Tablo 4. Üçüncü yirmi dakika için hesaplanan ve tahmin edilen tidal volüm değerlerinin maksimum, minimum ve ortalamaları (The obtained maximum, minimum and mean value of tidal volume for third twenty minute)

| | Max (ml/kg) | Min (ml/kg) | Ort(ml/kg) |
|---------------------|-------------|-------------|------------|
| Bulanık Denetleyici | 6.182 | 5.751 | 5.982 |
| Klinisyen kararı | 6.353 | 5.786 | 5.951 |

Tablo 3. İkinci yirmi dakika için hesaplanan ve tahmin edilen tidal volüm değerlerinin maksimum, minimum ve ortalamaları (The obtained maximum, minimum and mean value of tidal volume for second twenty minute)

| | Max (ml/kg) | Min (ml/kg) | Ort(ml/kg) |
|---------------------|-------------|-------------|------------|
| Bulanık Denetleyici | 6.171 | 5.704 | 5.944 |
| Klinisyen kararı | 6.368 | 5.728 | 5.975 |

Elde edilen sonuçlardan görüldüğü üzere, geliştirilen bulanık tabanlı algoritma ile hesaplanan ortalama tidal volüm değeri düşük volüm tedavisi uygulanan hastaların tedavisinde kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Bulanık denetleyici tarafından hesaplanan ve klinisyen tarafından belirlenen tidal volüm değerleri arasında istatistiksel olarak bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için student t-testi kullanılmıştır. Bu test yapılırken denklem 4, 5 ve 6'daki formüller kullanılmıştır.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (4)$$

$$S^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (5)$$

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1 - 1} + \frac{S_2^2}{n_2 - 1}}} \quad (6)$$

Burada \bar{x} aritmetik ortalama, S^2 varyans, t sına ma formülü, x araştırma grubu ve n ise gruptaki veri sayısıdır. Student t-test'ten elde edilen sonuçlara göre, % 99,3 doğruluk oranı ile bulanık denetleyicinin hesapladığı ve klinisyenin önerdiği tidal volüm değerleri arasında istatistiksel bir farklılığın olmadığı görülmüştür.

4. DEĞERLENDİRME (CONCLUSION)

Mekanik ventilasyon solunum sıkıntısı yaşayan hastaların yapay olarak solunumun gerçekleştirilmesine denilmektedir. Klinisyenler genellikle yoğun bakım ünitelerinde yatan hastaların tedavisinde, ventilasyona ait parametrelerin ayarlanmasını belirlemektedirler. YBÜ'lerde kullanılan ventilatörler gelişmiş özelliklere sahip olmasına rağmen, hala açık-çevrim kontrollü olarak çalışmaktadır. Bundan dolayı günümüzde, ventilasyon parametrelerinin kapalı çevrim kontrollü hale getirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların asıl amacı hem hastaya hem de klinisyene birçok fayda sunabilmektir. Bu çalışmada bunlardan biridir.

ASSS'li hastalar ve bunun gibi sıkıntıyaşan diğer hastalarda düşük tidal volüm uygulanması standart tedavi yöntemi haline gelmiştir. Bu tedavide ideal vücut ağırlığına için 6 ml/kg tidal volüm uygulanmaktadır. Fakat YBÜ'lerde tedavi esnasında sıklıkla bu hedef aşılmaktadır. Bu çalışmada, bu aşmaları önlemek için bulanık tabanlı tidal volüm algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen bulanık algoritmayı test etmek için Monte-Carlo benzetimi ve Gauss-Dağılımı kullanılarak 1000 adet klinik senaryo üretilmiştir.

Bu üretilen senaryolar bir saat boyunca Matlab/Simulink modeline uygulanmış ve geliştirilen bulanık algoritma, toplam tidal volümü hesaplamıştır. Ayrıca, bu senaryo ihtimaline göre klinisyene tidal volümün ne olması gerektiği sorulmuştur. Bulanık denetleyicinin hesapladığı ve klinisyenin önerdiği değerler yirmişer dakikalık zaman dilimine göre çizdirilmiştir. Bulanık denetleyicinin bir saat sonunda hesapladığı tidal volümün ortalama değeri 5.987 ml/kg, klinisyenin önerdiği değer ortalama değeri ise 5.921 ml/kg olarak bulunmuştur. Görüldüğü üzere geliştirilen bulanık algoritmanın hesapladığı tidal volüm değeri klinisyenin önerdiği değer ile neredeyse aynıdır. Her iki durum arasında % 99,3 doğruluk ile istatistiksel olarak bir farklılığın olmadığı student t-test ile belirlenmiştir. Bundan dolayı, geliştirilen algoritmanın düşük tidal volüm tedavisine ihtiyaç

duyan hastaların tedavisinde kullanılabileceği ve bunun ilerde ventilasyon modları içinde kullanılabilecek bir uygulama olacağı öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje birimi tarafından 1911 ve MF.13.21 nolu projeler kapsamında desteklenmiştir. Algoritmanın oluşturulmasında ve üretilen senaryoya göre tidal volümün belirlenmesi aşamasında yardımlarını esirgemeyen ABD-University of Vermont'da görevli Prof.Dr.Jason H.T.BATES'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Pillbeam, S.P., **Mechanical ventilation: Physiological and Clinical Application**, 2nd Ed. St Louis, Mosby, 1992.
2. Laubscher, T.P., Heinrichs, W., Weiler, N., Hartmann, G., Brunner, J.X., "An Adaptive Lung Ventilation Controller", **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, Cilt 41, 51-58, 1994.
3. Guler, H., Ata, F., "Estimation of Inspiration and Expiration Time by Using Fuzzy Control With Respect to Lung's Dynamics", **2009 Fifth International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control**, 91-95,2010
4. Laubscher, T.P., Heinrichs, W., Weiler, N., Hartmann, G., Brunner, J.X., "The Minimal Alveolar Ventilation Controller", **Engineering in Medicine and Biology Society, Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE**, Cilt 6, 2711-2712, 1992.
5. Cappa, P., Scuito, S.A., "Experimental Analysis of the Airway Circuit Effects on Breathing Pattern Generates by Neonatal Pulmonary Ventilators", **Proceedings-22nd International Conference-IEEE/EMBS**, Cilt 4, 3132-3135, 2000.
6. Rios, C.A., Tafur, J.C., "Mathematical Model and Control of the Pneumatic System of a Lung Ventilator Prototype" **Proceedings-25th International Conference-IEEE/EMBS**, Cilt 3, 2776-2779, 2003.
7. Chatburn R.L., "Engineering Principles Applied to Mechanical Ventilator", **Proceedings- 25th International Conference-IEEE/EMBS**, Cilt 1, 406-410, 2003.
8. Guler, H., Turkoglu, I., Ata, F., " Mechanical Ventilator Design Methods", **Erciyes University Journal of the Institute of Science and Technology**, Cilt 26, Sayı 3, 248-257, 2010.
9. Guler, H., Turkoglu, I., Ata, F., "Designing Intelligent Mechanical Ventilator and User Interface Using LabVIEW (R)", **Arabian Journal for Science and Engineering**, Cilt 39, Sayı 6, 4805-4813, 2014

10. Guler, H., Ata, F., "The Comparison of Manual and LabVIEW-Based Fuzzy Control on Mechanical Ventilation", **Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part H- Journal of Engineering in Medicine**, Cilt 228, Sayı 9, 916-925, 2014
11. Guler, H., Ata, F., "Design of a Fuzzy-Labview-Based Mechanical Ventilator" **Computer Systems Science and Engineering**, Cilt 29, Sayı 3, 219-229, 2014
12. Rees, S.E., Kjaergaard, S., Thorgaard, P., Toft, E., Andreassen, S., "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**, Cilt 1 ,432-433, 2003.
13. Stegmaier, P.A., Brunner, J.X., Tschichold, N.N., Laubscher, T.P., Liebert, W., "Fuzzy Logic Cough Detection: A First Step Towards Clinical Application", **Fuzzy Systems, IEEE World Congress on Computational Intelligence., Proceedings of the Third IEEE Conference**, 1000-1005,1994
14. Nemoto, T., Hatzakis, G.E., Thorpe, C.W., Olivenstein, R., Dial S., Bates, J.H.T, "Automatic Control of Pressure Support Mechanical Ventilation Using Fuzzy Logic", **American Journal Respiratory and Critical Care Medicine**, Cilt160, Sayı 2, 550-556, 1999.
15. Nelson, D.S., Strickland, J.H., Jannet, T.C, "Simulation of Fuzzy Control for Management of Respiratory Rate in Assist Control Mechanical Ventilaton", **Proceedings-19th International Conference-IEEE/EMBS**, Cilt 3, 1104-1107, 1997.
16. Kwok, H.F., Linkens, D.A., Mahfouf, M., Mill, G.H., "SIVA: Hybrid knowledge and model based advisory system for intensive care ventilators", **IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine**, Cilt 8, Sayı 2, 161-171, 2004.
17. Zhu, H., Möller, K., "Ventilator Control Based on Fuzzy-Neural Network Approach", **Bioinformatics and Biomedical Engineering, ICBBE 2008**, 747-750, 2008.
18. Tzavaras, A., Weller, P.R, Spyropoulos, B., "A Neuro-Fuzzy Controller for the Estimation of Tidal Volume and Respiration Frequency Ventilator Settings for COPD Patients Ventilated in Control Mode", **Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE-EMBS**, 3765-3768 , 2007.
19. Kilic, Y.A., Kilic, I., "A novel Fuzzy Logic Inference System for Decision Support in Weaning from Mechanical Ventilation", **Journal of Medical Systems**, Cilt 34, Sayı 6, 1089-1095, 2010.
20. ARDS Network. "Ventilation with Lower Tidal Volumes as Compared with Traditional Tidal Volumes for Acute Lung Injury and The Acute Respiratory Distress Syndrome", **N Engl. J Med** Cilt 342, 1301-1308, 2000.
21. Bates, J.H.T., Guler, H., Ma, B., Allen, G.B, "A Fuzzy Logic Algorithm For Rationalized Departure From 6 ml/kg Tidal Volume When Ventilating the Injured Lung", **American Thoracic Society International Conference-ATS-2011**, Denver/USA, 15-17 May ,2011.
22. Campoccia, A., Favuzza, S., Sanseverino, E.R., Zizzo, G., "Reliability Analysis of a Stand-Alone PV System for the Supply of a Remote Electric Load", **SPEEDAM 2010-International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion**, Italy, 2010
23. Hubbard, D., "How to Measure Anything: Finding the Value of Intangibles in Business" sayfa 46, John Wiley & Sons, 2007.
24. Tan, C.W., Green, T.C., Hernandez-Aramburo, C.A., "A Stochastic Simulation of Battery Sizing for Demand Shifting and Uninterruptible Power Supply Facility", **38th IEEE Power Electronic Specialists Conferences**, 2607-2613, 2007.
25. Capasso, W., Grattieri. F.,, Insinga, A., Invernizzi, R., Lamedica, A., Prudenzi, A., "Validation tests and applications of a model for demand-side management studies in residential load areas", **proceedings of CIRED 2003 Conference**, Birmingham, UK, 1-5, .1993.