

Mekanik Ventilasyonda Solunum Sayısı ve Basınç Değerinin Bulanık Mantık Denetleyici ile Hesaplanması

Calculation of Respiration Number and Pressure Value with Fuzzy Logic Controller in Mechanical Ventilation

Hasan Güler¹, Fikret Ata¹

¹ Elektrik-Elektronik Mühendisliği-Fırat Üniversitesi

hasanguler@firat.edu.tr, fata@firat.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, yoğun bakım ünitelerinde kullanılan ve çeşitli nedenler ile insanların bozulan solunum fonksiyonunu yapay olarak gerçekleştiren pozitif basınçlı mekanik ventilatörler de solunum sayısı ve hastaya ulaşan gaz basıncının hesaplanması işlemi bulanık mantık denetleyici ile gerçekleştirildi. Bu sistemdeki amaç anesteziistin iş yükünün azaltılmasıdır. Solunum sayısı ve basınç değeri hesaplanır iken, referans basınç değeri (Pref) ile hastaya verilen gazın basınç değeri (Phasta) arasında ki hata $Pe(k)$ ve bu hatanın değişim oranı $\delta Pe(k)$ dikkate alınmıştır. Gerçekleştirilen sistem günümüzde çokça kullanılan ventilasyon modlarından olan Basınç Kontrollü Ventilasyon (PCV) modu ile çalıştırılmaktadır.

Abstract

In this study, calculation of respiration number and pressure value arrived to ill in positive pressure ventilator, which is used in intensive care units and implements men's artificial respiratory system that has been disturbed was performed with fuzzy logic controller. The aim of this system is to reduce workload of anesthesiologist. By calculating respiration number and pressure value, the error $Pe(k)$ between reference pressure value (Pref) and pressure of gas given ill person (Phasta) and error change rate $\delta Pe(k)$ were considered. Performed system is run with the pressure control ventilation (PCV) which is one of the most used modes among other ventilation modes.

1. Giriş

Oksijen kuru hava içerisinde %21 oranında bulunmaktadır ve aynı zamanda tüm canlıların yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olan bir gazdır. Bilindiği üzere canlılar nefes alırken O_2 'yi alıp, nefes verirken de CO_2 'i atmosfere verirler. Yapılan bu nefes alıp-verme (inspirasyon / ekspirasyon) işleminin bütününe solunum fonksiyonu denilmektedir. Yapılan solunum, sağlıklı canlılarda kendi kendine olurken, akciğer rahatsızlığı ve solunum yetmezliği gibi rahatsızlığı olan canlılarda ise yapay olarak gerçekleştirilebilmektedir. Solunumu yapay olarak gerçekleştiren alete ventilatör, yapılan bu işlemede ventilasyon denilmektedir[1-2-3-4].

Ventilasyon işlemi 3 farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. Negatif basınçlı ventilasyon, pozitif basınçlı ventilasyon ve

yüksek frekanslı ventilasyon'dur[1]. Günümüzde yoğun bakım ünitelerinde en çok kullanılan ventilasyon çeşidi pozitif basınçlı ventilasyondur. Mekanik ventilasyon işleminde 4 büyüklük önemli rol oynamaktadır. Bunlar; basınç, volüm, akım ve zaman'dır[1-2]. Kendi kendine solunum yapma fonksiyonunu kaybetmiş her hasta farklı tip ventilasyona ihtiyaç duymaktadır. Bu dört büyüklüğü dikkate alarak ventilatörün farklı modlarda çalışması mümkündür.

2. Pozitif Basınçlı Ventilasyon

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[3-4].

İnspirasyon aktif bir olay iken ekspirasyon pasif bir olaydır. İnspirasyon süresince hastaya doğru gaz akışı sağlandığı için aktif bir işlem olduğu söylenebilir. Ekspirasyon için herhangi bir işlem yapmaya gerek yoktur. İnspirasyon 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.

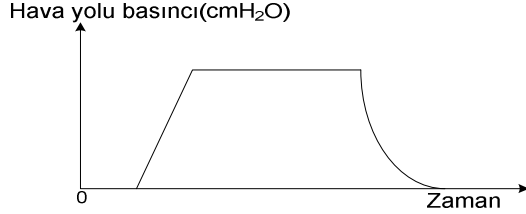
Hastaya mekanik ventilasyon uygulandığında akciğerde ne kadar volüm oluşturulabileceği uygulanan basınç, zaman, akım ve volüm arasındaki etkileşimlerle belirlenir[4]. Örneğin, akciğerde oluşacak volüm verilen gazın akımına ve uygulanma süresine bağlıdır. Akciğer içine ulaşacak gazın akım hızı, ventilatör 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 gerçekleştirildi.

2.1. Basınç Kontrollü Ventilasyon (PCV)

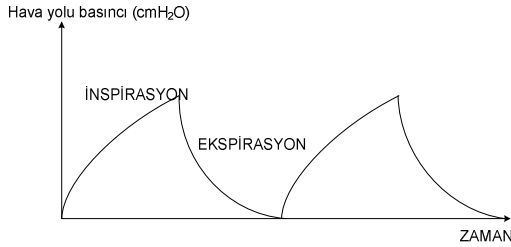
Bu mod zaman tetiklemeli ve basınç sınırlı olarak çalışan bir ventilasyon çeşididir. Ventilatör, inspirasyon süresince hastaya sabit basınçlı hava akımı sağlar. Inspirasyonun süresi, basıncın seviyesi ve solunumun hızı denetleyici tarafından belirlenir[4].



Şekil 1: Basınç kontrollü ventilasyonun havayolu basıncı-zaman grafiği

2.2. Zaman Tetiklemesi

Zaman tetiklemesi, mekanik ventilatörlerde kullanılan ilk tetikleme mekanizmalarından biridir. Solunum hızı dakikadaki solunum sayısı olarak belirtilmektedir. Bu hız ventilatör tarafından belirlenir. Örneğin solunum hızı 12 soluk/dakika olarak ayarlanır ise ventilatör bir önceki solunumdan 5 saniye geçtikten sonra inspirasyonu tetikleyecek ve her 5 sn de bir tekrarlanacaktır.



Şekil 2: Zaman Tetiklemeli Ventilasyon

3. Bulanık Mantık Denetleyici

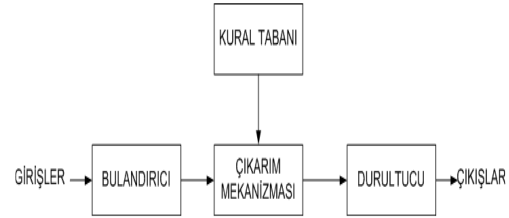
Bulanık mantık ilk kez 60'lı yılların başında Prof.LotfiA.Zadeh tarafından ortaya atılmış ve daha sonra hızla gelişme kaydederek literatürdeki yerini almıştır. Kontrol, haberleşme, entegre devre üretimi, tıp ve işletme alanları gibi bir çok farklı alanda bulanık mantık denetleyicili uygulama yapılmıştır[5].

Bir sistemi gerçekleştirmek için denetlenecek sistemin yapısının ve dinamiğinin çok iyi bilinip, matematiksel olarak modellenilebilir olması gerekir. Fakat bazı sistemlerin matematiksel olarak modellenmesi mümkün olmayabilir. Çünkü sistemde bulunan değişkenlerin matematiksel modelinin oluşturulması, bu değişkenlerin zamana bağlı olarak

değişmesi ve kesin olmamasından dolayı karmaşıklık ve belirsizlik arz edebilmektedir[5]. Böyle durumlarda o sistem üzerinde bilgi sahibi uzman kişilerin bilgi ve deneyimlerinden yararlanılması yoluna başvurulur. İşte bulanık mantık denetleyici bu tür sözlü ifadeler ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler üzerine kurulmuştur. Bulanık mantık, klasik mantıktan farklı olarak (0,1) olmak üzere iki seviyeli değil, [0,1] aralığında işlemleri ifade etmektedir.

Bir bulanık denetleyici temel olarak dört ana bölümden oluşur[5-6]. Bunlar:

- 1-Bulandırıcı
- 2-Kural-Tabanı
- 3-Çıkarım mekanizması
- 4-Durultucu



Şekil 3: Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı

Bir bulanık denetleyicinin giriş birimi olan bulandırıcı, giriş değişkenlerinin değerlerini, çıkarım mekanizmasında kolayca kullanabilecek bilgilere dönüştürür. Bulandırıcı temel olarak giriş değişkenlerinin aldığı her değere, ilgili giriş değişkeni için tanımlanan tüm bulanık kümeler için bir üyelik derecesi belirir.

Bulanık denetleyicinin kural tabanı genellikle kontrol edilecek sistem hakkında bilgi sahibi uzman kişilerin dilsel ifadelerinden elde edilen EĞER-O HALDE kuralından oluşur.

Çıkarım mekanizması, bulandırıcının çıkışlarını (üyelik derecelerini) ve kural tabanını kullanarak bir bulanık küme oluşturur.

Durultucu birimi, çıkarım mekanizmasının oluşturduğu sonuç çıkış bulanık kümesini kullanarak denetleyicinin çıkışı sayısal olarak hesaplar.

4. Sistemin Tanımlanması

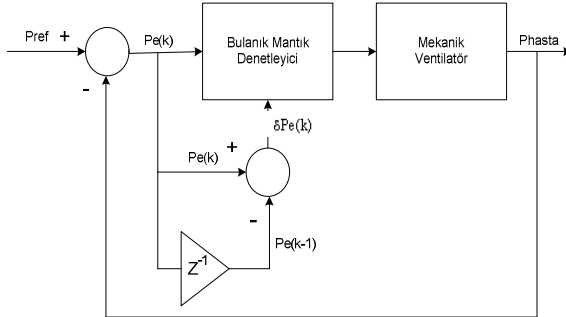
Bu çalışmada, pozitif basınçlı ventilasyonda solunum sayısı ve hastaya verilen gazın basınç değerinin hesaplanması bulanık mantık denetleyici ile gerçekleştirilmektedir. Solunum sayısı, hastanın bir dakikadaki yaptığı Inspirasyon sayısı olarak da tanımlanabilir. Örneğin anestesizt, hastanın dakika da 20 defa solunum yapması belirlenmiş ise inspirasyon ve ekspirasyon sürelerinin toplamı 3 sn olacaktır. Bu durumda, inspirasyon ve ekspirasyon süreleri eşit olabileceği gibi, 2 sn inspirasyon, 1 sn ekspirasyon veya 1 sn inspirasyon, 2 sn ekspirasyon olabilmektedir. Bu süreler hastanın akciğerin yapısına göre değişim göstermektedir.

Bulanık denetleyici işte bu noktada devreye girmektedir. Sistemin ilk girişi, sabit bir referans basıncı ile hastaya ulaşan

gazın basıncı arasındaki farktır. Bu fark hata olarak tanımlanmıştır ve ikinci giriş olarak da bu hatada ki değişim oranıdır[10].

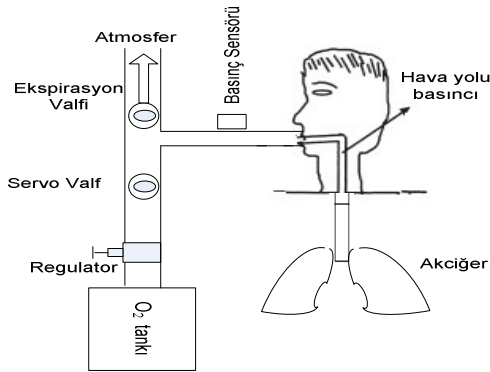
$$Pe(k)=Pref-Phasta \quad (1)$$

$$\delta Pe(k)=Pe(k)-Pe(k-1) \quad (2)$$



Şekil 4: Sistem blok diyagramı

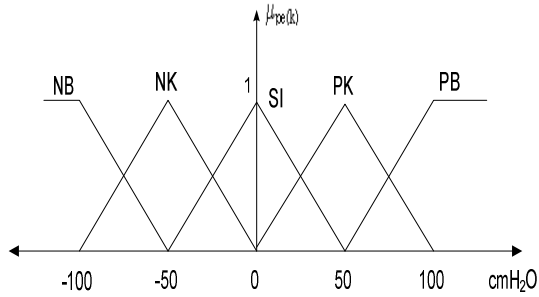
Şekil 5' de sistem modeli görülmektedir. O₂ tankından alınan oksijen servo valfden geçirilerek hastaya ulaştırılmaktadır. İspirasyon anındaki ve ekspirasyon anındaki gazın basıncı, basınç sensörü ile algılanmaktadır. İspirasyon esnasında servo valf enerjili, ekspirasyon esnasında ise ekspirasyon valfi enerjilidir[7-8-9].



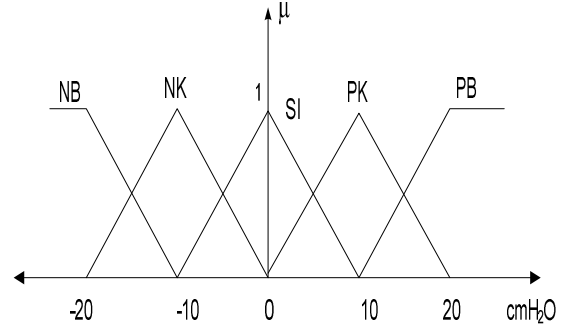
Şekil 5: Sistem modeli

4.1. Üyelik Fonksiyonları

Bulanık mantık denetleyicide kullanılan giriş üyelik fonksiyonları Şekil-6 ve Şekil-7'de gösterilmektedir.

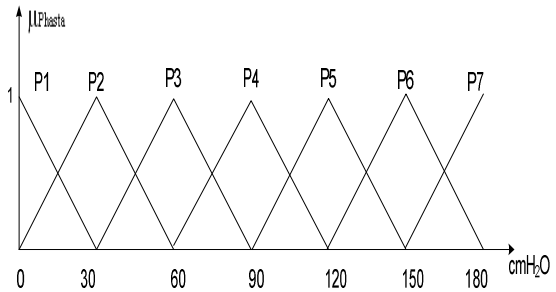


Şekil 6: Hata'nın üyelik fonksiyonu

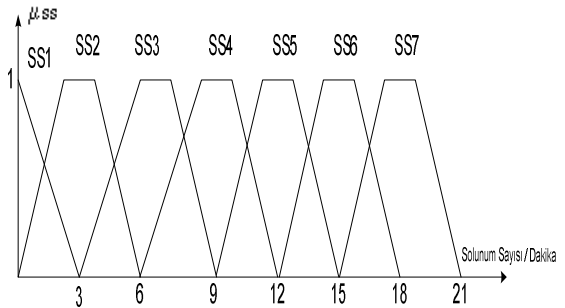


Şekil 7: Hatadaki değişimin üyelik fonksiyonu

Bulanık denetleyicinin çıkışları olan solunum sayısı ve basınç değerinin tanımlandığı çıkış üyelik fonksiyonları Şekil- 8 ve Şekil-9'da görülmektedir.



Şekil 8: Basınç değeri çıkış üyelik fonksiyonu



Şekil 9: Solunum sayısı çıkış üyelik fonksiyonu

Görüldüğü gibi giriş ve basınç değeri çıkış üyelik fonksiyonları üçgen fonksiyon olarak seçilmiş, solunum sayısı çıkış üyelik fonksiyonu yamuk fonksiyon olarak seçilmiştir. Giriş için, Negatif Büyük, Negatif Küçük, Sıfır, Pozitif Küçük ve Pozitif Büyük olmak üzere 5 adet üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Çıkış fonksiyonlarının her birisi için 7 adet fonksiyon belirlenmiştir (P1-P7,SS1-SS7).

4.2. Kural Tabanı

Bulanık denetleyicinin iki adet çıkışı olduğundan her çıkış için ayrı bir kural tablosu oluşturuldu ve bunlar Tablo-1 ve Tablo-2'de gösterilmektedir. İki kural tablosundan toplam 50 tane kural oluşturulmuştur.

Tablo 1: Basınç değeri için tanımlanan kural tablosu

BASINÇ		$\delta e(k)$				
$e(k)$		NB	NS	Z	PS	PB
NB	P1	P1	P2	P3	P4	
NS	P1	P2	P3	P4	P5	
Z	P2	P3	P4	P5	P6	
PS	P3	P4	P5	P6	P7	
PB	P4	P5	P6	P7	P7	

Tablo 2: Solunum sayısı için tanımlanan kural tablosu

Solunum Sayısı		$\delta e(k)$				
$e(k)$		NB	NS	Z	PS	PB
NB	SS7	SS7	SS6	SS5	SS4	
NS	SS7	SS6	SS5	SS4	SS3	
Z	SS6	SS5	SS4	SS3	SS2	
PS	SS5	SS4	SS3	SS2	SS1	
PB	SS4	SS3	SS2	SS1	SS1	

Bu kurallar oluşturulur iken, akciğerlerin yapısının her canlıda farklılık gösterdiği göz önünde bulundurulmuştur. Bu kural tabloları ile her hastanın ihtiyacına göre şartlar oluşturulmuştur.

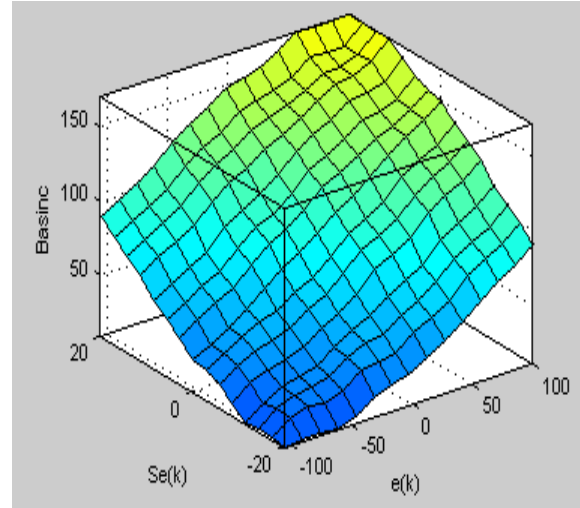
5. Sonuçlar

Gerçekleştirilen sistem ile pozitif basınçlı ventilasyonda solunum sayısı ve hastaya verilen gazın basıncı bulanık mantık denetleyici ile hesaplanmıştır. Sistem MATLAB/Fuzzy Toolbox kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık denetleyicinin çıkışları olan solunum sayısı ve basınç değerinin bulanık mantık çıkış kontrol yüzey şekilleri Şekil 10 ve Şekil 11'de görülmektedir.

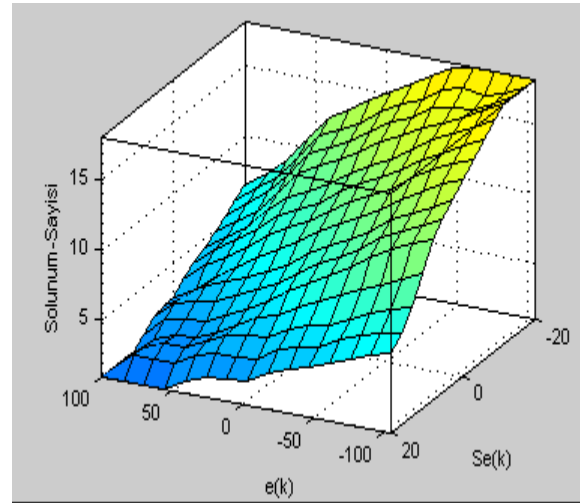
Hastaların akciğer yapılarının farklı durumlarına göre beklenen teorik solunum sayısı ve basınç değerleri BMD'nin çıkışında gözlemlenmiştir. $Pe(k)$ ve $\delta Pe(k)$ da ki değişimlerin pozitif yönde artması durumuna karşılık gelen akciğerlerin

yapısının sert ve dirençli olması halinde solunum sayısının ve basınç değerinin arttığı görülmüştür. Bu durum Şekil 12'de görülmektedir. $Pe(k)$ ve $\delta Pe(k)$ da ki değişimlerin negatif yönde artmasına karşılık gelen akciğerlerin yapısının esnek ve kolayca şişkin hale gelmesi durumunda basınç değerinin git gide azaldığı buna karşılık solunum sayısının arttığı görülmüştür. Bu durum ise Şekil 13'de görülmektedir.

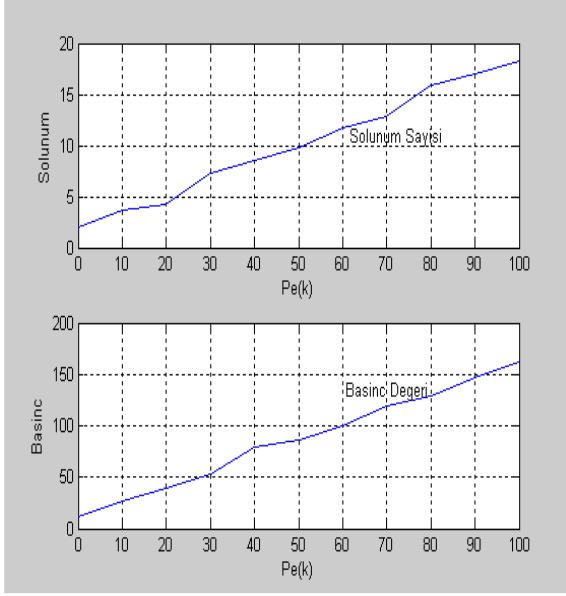
Yoğun bakım ünitelerinde çalışan anesteziistler her an hastanın yanında olamayabilir veya başka bir hasta ile ilgilenirken diğer hastada anlık değişiklikler oluşabilir. Önerilen bu sistem ile hastalarda meydana gelebilecek anlık değişimlerde hastaya verilen basınç değeri ve toplam solunum sayısı, sistem tarafından yeniden düzenlenmiş olacaktır. Böylece yoğun bakım ünitesinde çalışan personelin iş yükü biraz hafifletilmiş olacaktır.



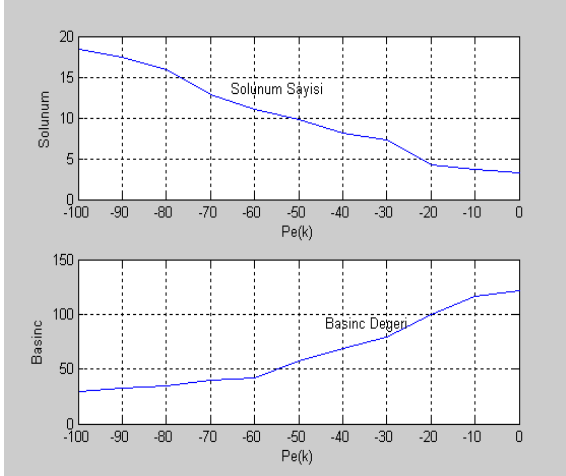
Şekil 10: BMD çıkış basınç değeri çıkış yüzeyi



Şekil 11: BMD çıkış solunum sayısı çıkış yüzeyi



Şekil 12: $P_e(k)$ pozitif yönde artması sonucunda BMD çıkışında hesaplanan solunum sayısı ve basınç değeri



Şekil 13: $P_e(k)$ 'nin negatif yönde artması sonucunda BMD çıkışında hesaplanan solunum sayısı ve basınç değeri

6. Kaynaklar

- [1] Perel A, Stock Mc: Handbook of Mechanical Ventilatory support. 1st Ed. Williams and Wilkins, Philadelphia, 1992
- [2] Kirby RR, Banner Mj, Downs JB(Eds), Ventilatory Support 1st Ed Churchill Livingstone inc. Nexyork 1990
- [3] Smith RA, Respiratory Care MechanicalAnesthesia 2nd Ed. Churchill Livingstone, New York ,1986
- [4] Pillbeam SP: Mechanical Ventilation: Physiological and Clinical Application. 2nd Ed. St Louis, Mosby-Year:1992

[5] Elmas,Ç. 'Bulanık Mantık Denetleyiciler',Seçkin, Ankara,2003

[6] Siler,L.Ying,H. Fuzzy Control Theory.Elsevier. Fuzzy Set and System 33,1989

[7] Wang C.S,Shaw D, Jih K.S 'An Intelligent Control System for Ventilators' Medical Engineering & Physics , 1998

[8] A.Tzavaras,P.R.Weller,B.Spyropoulos "A Neuro-Fuzzy Controller for The Estimation of Tidal Volum and Respiration Frequency Ventilator Settings for COPD Patients Ventilated in Control Mode" Conference of the IEEE EMBS,Lyon,France 2007

[9] H.Güler "Programlanabilir Lojik kontrolör ile Mekanik Ventilator Tasarımı", Fırat.Üniv.Fen Bilimleri Enst. Yük.Lis.Tezi 2007

[10] H.Güler,F.Ata "Calculation of Inspiration and Expiration Time with Fuzzy Logic Controller in Positive Pressure Ventilation" IMS2008 International Symposium Sakarya,2008