



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Bulanık Mantık ve Yapay Bağışıklık Sistemi Temelli Anestezik Derinlik Karar Destek Uygulaması

 Esra ŞATIR <sup>a,\*</sup>,  Kudret YILMAZ <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE  
<sup>b</sup> Bilgisayar Programcılığı Bölümü, Düzce Meslek Yüksek Okulu, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazar e-posta adresi: [esrasatir@duzce.edu.tr](mailto:esrasatir@duzce.edu.tr)

DOI : 10.29130/dubited.532821

### ÖZET

Cerrahi müdahalelerde, anestezi derinliğini uygun hale getirmek amacıyla hastaların sistolik arter basıncını (Systolic Arterial Pressure- SAP) ve kalp atım hızını (Heart Pulse Rate- HPR) kontrol etmek iyi bilinen bir ölçüm yöntemidir. Ameliyat boyunca, SAP ve HPR verilerine bakılarak hastaya verilebilecek anestezi miktarı (Anesthesia Output- AO) hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada anestezi uzmanlarına, SAP ve HPR verilerinden yola çıkarak, hastaya verilebilecek en uygun anestezi miktarını, Yapay Bağışıklık Sistemi (YBS) ve Bulanık Mantık (BM) yardımı ile hassas hesaplayan bir Anestezik Derinlik Karar Destek Sistemi (ADKDS) önerilmektedir. Çalışmada tasarlanan sistem, hastalardan elde edilen giriş değerleri SAP, HPR ve çıkış parametresi AO kullanılarak, üyelik fonksiyonlarının en uygun değerlerini elde etmek için, Klonal Seçim Algoritmasının (KSA) her adımında arama, hesaplama ve değerlendirme gerçekleştirmiştir. ADKDS'nin literatürdeki çalışmalara göre daha verimli tahminlerde bulunduğu ve daha iyi sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay Bağışıklık Sistemi, Anestezi Derinliği, Bulanık Mantık

## Fuzzy Logic and Artificial Immune System Based Anesthetic Depth Decision Support Application

### ABSTRACT

In surgical interventions, it is a well-known measurement methods, to control the systolic arterial Pressure (SAP) and heart pulse rate (HPR) of patients in order to optimize the depth of anesthesia. During the operation, the amount of anesthesia (Anesthesia Output- AO) that can be given to the patient can be calculated according to the SAP and HPR data. In this study, Anesthetic Depth Decision Support System (ADDSS) is recommended for anesthesiologists to calculate the most appropriate amount of anesthesia that can be given to the patient by the Artificial Immune System (AIS) and Fuzzy Logic (FL). System designed in the study,

In order to obtain the most appropriate values of membership functions by using the input values SAP, HPR and output parameter AO obtained from the patients, performed the search, calculation and evaluation at each step of the Clonal Selection Algorithm (CSA). It has been observed that ADDSS makes more efficient estimates and achieves better results than studies in the literature.

*Keywords: Artificial Immune System, Depth of Anesthesia, Fuzzy Logic*

## I. GİRİŞ

**B**ilinç ve duyu kaybı olarak bilinen anestezi, tam tarihi kesin olmamakla birlikte ilk çağlardan beridir cerrahi girişimlerde kullanıldığı bilinmektedir [1]. Anestezik madde enjeksiyon veya solunum sistemi vasıtasıyla hastaya verilebilir. Yine de cerrahi müdahalede solunum yolu daha çok tercih edilir [2]. Solunum anestezisinde anestezik madde olarak kullanılan gazlardan biri olan sevofluran 1960'lı yıllarda sentezlenmiş, 1992'de dünyada ve 1996 yılında da ülkemizde uygulamaya girmiş bir etil eterdir [3]. Solunum anestezi solunum yolunda bir maske veya gaza sabitlenmiş bir borunun yardımıyla yapılmaktadır [4]. Uygulanan anestezinin hastaya etkisi anestezi derinliği olarak bilinir. Bir hastanın anestezi derinliği anestezik madde ve hastanın fiziksel özelliklerine (yaşı, kilosu gibi) göre değişebilir [2]. Ameliyatlarda hastaya uygulanan anestetik doz seviyesinin hassas bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Ölçüm cihazında oluşabilecek bir kalibrasyon hatası, anestezi işlemini kritik bir duruma getirebilmektedir. Bu nedenle, hastaya uygulanan anestezik doz seviyesinin doğru olup olmadığını kontrol etmek için manuel olarak düzenlenen ve hastaya verilen anestezik gaz seviyesi sürekli ölçülmelidir.

Son yıllarda doz seviyesini ve anestezinin derinliğini belirlemek için, hastanın kan basıncı ve kalp parametreleri kullanılarak birçok araştırma yapılmıştır. S.G. Greenhow ve arkadaşları 1992 yılında yaptıkları çalışma ile anestezi derinliğinin tek bir gösterge kullanarak saptamanın böyle karmaşık bir sistem için yeterince performans göstermeyeceğini düşünmüşlerdir. Bu nedenle, anestezi derinliğinin kontrolüne karar destek sağlamak amacıyla bir dizi nitel klinik bulgu ve niceliksel ölçümü BM sistemi ile birleştirerek gerçek zamanlı bir uzman sistem geliştirmişlerdir [5]. K. Becker ve arkadaşları 1997 yılında yaptıkları çalışmada, ameliyat sırasında hastaya solunum anestezisi verilirken anestezi derinliği ölçümü için SAP ve HPR değerlerine dayalı BM temelli bir model ile anestezistler için eşik değeri referansı olabilecek bir sistem tasarlamışlardır [6]. L.Vefghi ve arkadaşları 1999'da Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanarak, BM temelli anestezi derinliği ölçümü ve anestezik maddelerin dozajlarının sınıflandırılması için bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma ile birlikte farklı anestezi durumlarında elde edilen cerrahi veriler ile anestezik doz seviyelerini modellemişlerdir [7]. 2001 yılında A. Yardımcı ve arkadaşları, sevofluran anestezik maddesinin, anestezi derinliğini bozmadan optimum seviyede verilmesi için BM tabanlı bir mikrodenetleyici sistemi tasarlamışlardır [8]. M. Mahfouf ve arkadaşları 2003 yılında, izofluran anestezik maddesi kullanarak ameliyat esnasında hastaların ortalama arter basıncı (Mean Arterial Pressure- MAP) değerlerini esas almışlar ve anestezik derinliği ölçmek için bir BM tabanlı kontrol sistemi tasarlamışlardır [9]. 2004 yılında J.S. Shieh ve arkadaşları, hastaların SAP ve HPR verilerini analiz ederek ameliyat sırasında, hastanın anestezik derinliğini simüle etmek için BM temelli bir simülatör geliştirmişlerdir. Bu çalışma için kullandıkları anestezik maddeler ise fentanil ve propofol dır [10]. C.S. Nunes ve arkadaşları 2006 yılında, SAP ve HPR verilerine bakarak propofol ve remifentanil anestezik maddelerini hastalara vermek kaydı ile anestezik derinlik ölçümü için BM modeli oluşturmuşlardır [11]. 2007 yılında H. M. Saraoğlu ve arkadaşları, solunum anestezisi

sırasında hastanın SAP ve HPR değerlerini baz alarak anestezi derinlik ve hastaya verilecek anestezi madde miktarını ölçmek için kuartz kristal mikrobalsans (Quartz Crystal Microbalance- QCM) sensör dizisi vasıtası ile bir elektronik burun geliştirmişlerdir. Elektronik burunu anestezi ölçüm sisteminin çıkışına bağlayarak YSA ile yaptıkları sistem sayesinde, hastaya verilecek anestezi miktarını ölçümlemişlerdir. Anestezi madde olarak sevofluran gazından yararlanmışlardır [12]. S. Şanlı ve arkadaşları 2007 yılında, anestezi kolaylığı sağlama amacı ile anestezi derinliğinin ölçülmesi için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada dört hastanın ameliyat esnasındaki SAP ve HPR verileri göz önünde bulundurularak verilecek anestezi miktarını hesaplayan BM temelli bir sistem oluşturmuşlardır. Bu çalışmada anestezi ajan olarak sevofluran maddesi kullanılmıştır [13]. 2008 yılında H. M. Saraoğlu, anestezi derinliğini belirlemek için kullanılan SAP, diyastolik basınç, HPR ve yaş parametrelerinin etki seviyelerini belirlemek için YSA tabanlı bir çalışma yaparak anestezi uzmanlarına, hastalara uygulanacak anestezi seviyesini belirlemelerinde kullanılacak ön bilgi sistemi tasarımı gerçekleştirmiştir. Bu sistem, solunum anesteziinde kullanılan anestetiklerden biri olan sevofluran maddesini kullanarak gerçekleştirilmiştir [14]. R. Güntürkün 2010 yılında, hastanın SAP ve HPR bilgilerini kullanarak ameliyat esnasında izofluran ve sevofluran anestezi maddeleri arasındaki anestezi düzeyini belirlemek için YSA tabanlı bir algoritma kullanmıştır. Ayrıca yine YSA ile eğittiği EEG (Elektroensefalografi) spektrum bilgisi sayesinde hastanın anestezi derinliğini bozmadan hastaya verilebilecek anestezi miktarı tahmini için bir çalışma yapmıştır [15].

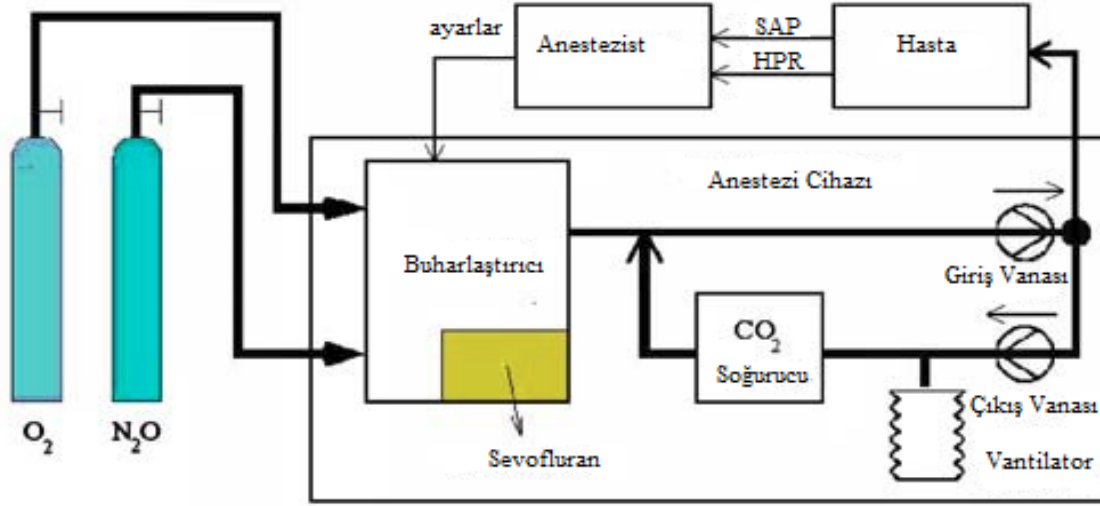
Bu makalede, S. Şanlı ve arkadaşlarının [13] 2007 yılında gerçekleştirdiği çalışmada ki hasta verileri kullanarak, BM ve KSA ile hastaya verilmesi gereken anestezi gaz miktarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Önerilen ADKDS ile, BM sisteminde kullanılacak en uygun üyelik fonksiyonları elde edimi sağlanmıştır. Bu sayede, anestezi uzmanlarının dikkatini diğer fizyolojik değişkenlere yönlendirerek görev yüklerini azaltması ve daha az anestezi madde kullanılarak cerrahi operasyon maliyetini azaltıp çevrenin korunması sağlanmaktadır. Bu makale beş bölüm şeklinde organize edilmiştir. Makalenin ikinci bölümünde anestezi derinliğini belirlemek için kullanılan yöntemler hakkında bilgi verilmiş olup, üçüncü bölümde ise bu bilgiler ışığında önerilen ADKDS anlatılmıştır. Dördüncü bölümde gerçekleştirilen uygulama ve bu uygulama ile elde edilen deneysel sonuçlar paylaşarak beşinci bölümde genel bir yargıya ulaşılmıştır.

## II. TEORİK ALT YAPI

### *A. ANESTEZİ DERİNLİĞİNİN ÖLÇÜLMESİ*

Doğru anestezi madde dozajını kararlaştırmak için anestezi uzmanları tarafından SAP, MAP, HPR, solunum sayısı (Respiration Rate- RR), göğüs boyu ve hasta hareketi gibi klinik bulgular izlenir. Anestezi derinliği damar içine enjekte edilen veya gaz olarak solunan anestezi maddelerden oluşan bir ilaç karışımıyla kontrol edilmektedir. Bu maddelerin çoğu MAP'ı düşürmektedir. Çoğu durumda Oksijen (O<sub>2</sub>) veya Diazot Monoksit (N<sub>2</sub>O) içinde sevofluran hacimce %0-4'lük bir karışımda bulunur. Verilen hava içerisindeki sevofluran konsantrasyonu, hastanın fizyolojik durumuna, cerrahisine, MAP'a ve diğer klinik olarak ilgili parametrelere bağlı olarak anestezi uzmanı tarafından manuel ayarlanmaktadır [16].

Şekil 1'de gösterilen ölçüm sisteminde O<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub>O gaz tanklarından çıkan gazlar belirli oranda karıştırılarak buharlaştırıcıya geçmektedir.

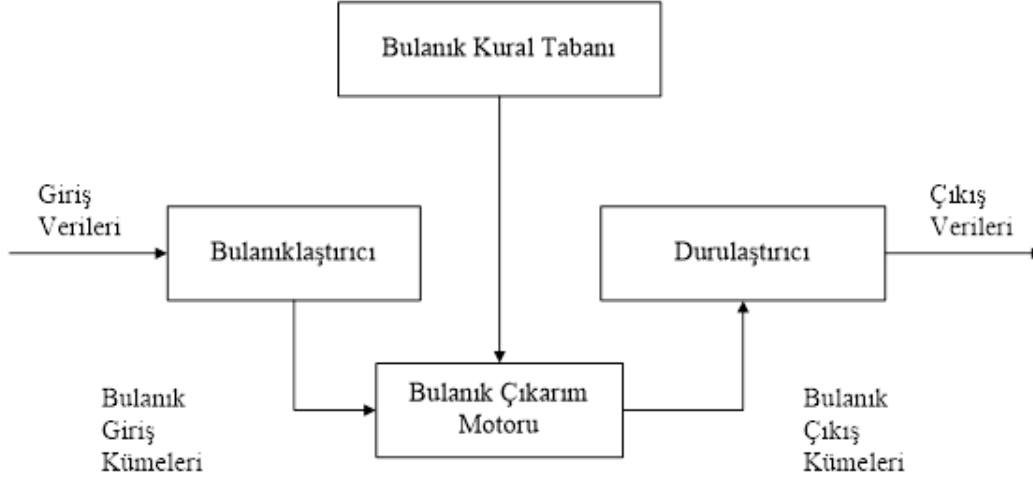


Şekil 1. Ölçüm Sistemi (Anestezi sırasında sinyal ve akış şeması) [13].

Bu karışım anestezi madde taşıyıcısı olarak kullanılmaktadır. Buharlaştırıcı, anestezi maddeyi buharlaştırarak bu karışıma ilave eder ve anestezi gazı olarak adlandırılan yeni bir karışım elde edilir. Anestezi gaz seviyesi ayarı, buharlaştırma ünitesi üzerindeki bir vana tarafından kontrol edilir. Bu gaz karışımı hastaya giriş vanasından verilir. Hastanın soluk vermesiyle birlikte maskesinden çıkan gaz vantilatör vasıtasıyla çekilerek çıkış vanasından Karbon Dioksit (CO<sub>2</sub>) soğurucuna geçmektedir. Hastanın vermiş olduğu nefesteki karbondioksit emilerek tekrar buharlaştırıcı çıkışındaki gaz karışımına geri döner. Anestezi gazı teneffüs ettikten sonra hastanın SAP ve HPR değerleri değişebilmektedir. SAP ve HPR'de oluşan değişiklikler hasta konumu hakkında bilgi verir. Anestezist, ameliyattaki hastanın bu değerlerini gözlemleyerek anestezi doz seviyesini belirler. Bir anestezinin gücü minimum alveolar konsantrasyonu (Minimum Alveolar Concentration- MAC) olarak ölçülmektedir [2].

## B. BULANIK MANTIK SİSTEMİ

BM sistemi bulanık eğer-o halde kuralları olarak bilinen bulanık kurallar sistemidir. BM sisteminin temeli, giriş ve çıkış bölümlerinden oluşmaktadır. Giriş kısmında giriş parametreleri ve bu parametreler arasındaki mantıksal ilişkiler, çıkış bölümünde ise giriş parametrelerine bağlı olarak meydana gelen sonuç parametreleri yer alır. Bulanık sistemlerin sağladığı en önemli avantaj ise insan deneyimlerinin ve sözel verilerin BM sistemine eklenerek işlenmesi ile çözüme ulaşmanın kolaylığıdır. Bundan dolayı modelin girdi değişkenleri bulanık alt kümeler ile ifade edilirler ve söz konusu çıkarım için klasik küme işlemlerinin genelleştirilmesiyle kazanılan bulanık küme işlemleri kullanılmaktadır. Şekil 2'de bulanık çıkarım sisteminin genel yapısı gösterilmiştir.



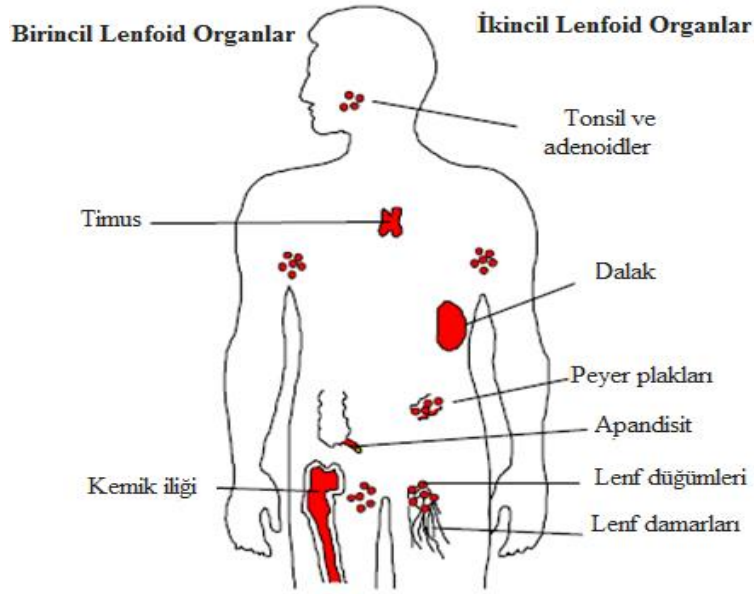
Şekil 2. Bulanık çıkarım sisteminin genel yapısı [17].

Şekil 2’de verilen sistem bileşenleri aşağıda kısaca tanımlanmıştır.

- **Giriş Verileri:** Araştırılacak hadisenin etkilendiği giriş parametre bilgileridir. Buradaki parametreler sayısal ve/veya sözel olabilir. Bunun için genel veritabanı olarak ta isimlendirilir.
- **Bulanıklaştırıcı:** Sayısal giriş değerlerini sözel olarak belirtilen bulanık kümelerdeki üyelik derecelerine atama işlemi yapan işlemcidir.
- **Bulanık Kural Tabanı:** Veri tabanındaki giriş parametrelerini çıkış parametreleri ile ilişkilendiren mantıksal eğer- o halde türünde yazılan kuralların tamamını içerir. Bu kurallarda yalnızca giriş verileri ile çıkış verileri arasında olabilecek tüm bağlantılar (bulanık küme) düşünülür. Bu sayede her bir kural giriş uzayının bir bölümünü, çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar ve bu mantıksal bağların tamamı kural tabanını oluşturur.
- **Bulanık Çıkarım Motor Birimi:** Bulanık kural tabanında, giriş bulanık kümeleri ile çıkış bulanık kümeleri arasındaki parçalı ilişkileri toplayarak sistemden sağlıklı bir çıkış elde edilmesini sağlayan mekanizmadır. Bu birim sayesinde, her bir kuralın sonuçlarını toplayarak tüm sistemin girdiler ışığında nasıl bir çıktı verileceğinin belirlenmesi sağlanır.
- **Durulaştırıcı:** Bulanık çıkarım motor biriminden çıkan bulanık çıkış kümelerini değerlendirip kesin sayısal çıkış değerlerine dönüştürür.
- **Çıkış Verileri:** Durulaştırma sonucunda elde edilen çıktı değerlerinin tamamını belirtir [18].

### C. YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ (YBS)

Klasik hesaplama yöntemleri ile çözülmesi mümkün olmayan veya çözümü uzun zaman gerektiren, ya da fazlasıyla karmaşık olup tam modelleri tanımlanamayan mühendislik problemlerinin tamamına yakınında, biyolojik sistemlerden ilham alınarak yapılan çalışmalar başarılı sonuçlar vermiştir. Bağışıklık sistemine olan ilgi 90’lı yılların başından beridir artarak devam etmektedir. YBS, ilk olarak Forrest tarafından 1994’te bilgisayar virüslerinin tespiti için uygulanmıştır [19]. YBS, canlılardaki doğal bağışıklık sisteminden esinlenilerek oluşturulmuştur. Vücudumuzdaki doğal bağışıklık sisteminin önemli elemanları Şekil 3’te gösterildiği gibi; timüs bezi, lenf düğümleri, kemik iliği, peyer plakları, tonsil ve adenoidler, apandisit bademcikler ve dalaktır [20].



*Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. Bağışıklık Sistemi Organları [21].*

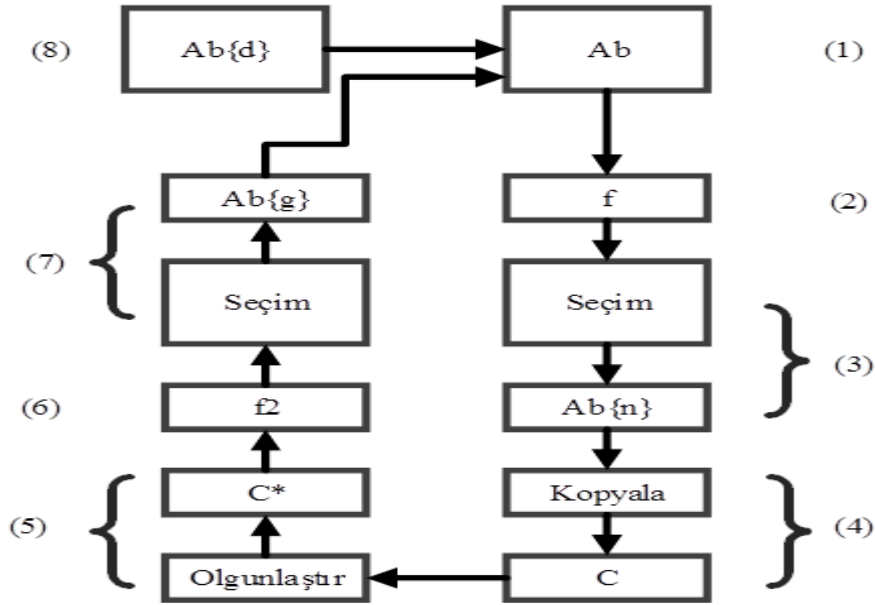
Doğal bağışıklık sisteminde, bağışıklık hücreleri kemik iliğinde üretilen B ve T hücreleridir. Bunlar, vücuda giren yabancı organizmaların (antijen) neredeyse sınırsız bir aralıkta tanınmasına yardımcı olup vücuda korumakla görevli hücrelerdir. Antijenler hastalığa sebep olan mikroorganizmalardır. Öz ve öz olmayan şeklinde ikiye ayrılırlar. Öz (self) antijenler zararsız iken öz olmayan antijenler (non-self) hastalıklara sebebiyet vermektedirler. B hücresi tarafından üretilen moleküllere antikor denilmektedir. Antikorlar vücuda giren antijenlere bağlanarak onları işlevsiz hale getirmektedirler. T hücreleri timüs bezinde olgunlaşırlar. T hücrelerinin en önemli görevi, yabancı organizmalara maruz kalmış hücreleri yok etmek ve diğer hücrelerin çalışmalarını kontrol etmektir [20].

YBS'de, doğal bağışıklık sisteminin çalışma prensibinden ilham alınarak farklı algoritmalar ortaya çıkarılmıştır. Genelde kullanılan YBS algoritmaları; en popüler olan KSA ile birlikte negatif ve pozitif seçim, kemik iliği modeli ve bağışık ağ modelleri algoritmalarıdır.

#### *D. KLONAL SEÇİM ALGORİTMASI (KSA)*

Bağışıklık sisteminin antijene karşı cevap vermesini sağlayan ve B hücreleri tarafından sadece antijene cevap verebilecek hücrelerin seçilmesi prensibine dayanan algoritmadır.

KSA'da önce n tane antikorun içinden en uygun antikor seçilir. Seçilen bu antikorlar benzerlik derecesi baz alınarak çoğaltılır. Farklı olan antijenlerin tespiti için çoğalan antikorlar farklılaşır. De Castro ve Von Zuben 2000 yılında yaptıkları çalışma ile klonal seçim prensibini optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanmak için (CLONALG) algoritmasını sunmuşlardır [22]. Şekil 4 'te KSA'nın akış diyagramı görülmektedir.



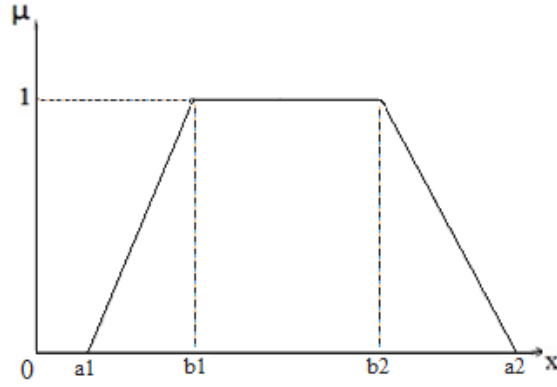
Şekil 4 Klonal seçim algoritması akış diyagramı [20].

Şekil 4’de gösterilen KSA’nın adımları sırasıyla aşağıdaki gibidir;

1. Vücut antikor repertuarını oluşturan antikorlar ( $Ab_i$ ), başlangıç çözüm kümesini ( $Ab$ ) oluştururlar.
2. Her bir ( $Ab_i$ ) için  $f$  afinite (benzerlik derecesi) ölçümü hesaplanır.
3.  $n$  adet en yüksek benzerlik değerine sahip antikor seçilir.
4. ( $Ab$ ) $_{\{n\}}$  kümesindeki afinite ölçümüne göre en iyi olan  $n$  tane antikor antijenik benzerlikleri ile doğru orantılı olarak klonlanır ve  $C$  repertuarı oluşturur.
5.  $C$  repertuarında ki klonların antijenik benzerlik derecesi yüksek olan, daha az olacak şekilde hipermutasyon sürecine uğratarak bir  $C^*$  popülasyonu oluşturulur.
6.  $C^*$  Popülasyonundaki olgunlaştırılmış klonların benzerlik değeri ( $f_2$ ) hesaplanmaktadır.
7. Yüksek benzerlik değerli  $n$  adet antikor tekrar seçilir ve  $Ab$  kümesine eklenir.
8.  $d$  adet en düşük benzerlik derecesine sahip antikorları,  $Ab$  kümesinden seçilir ve yeni oluşturulan antikorlar ile değiştirilir [20].

### III. YÖNTEM

Bu çalışmada anesteziştlere, ameliyatlarda yardımcı olması maksadı ile anestezi derinlik kontrolü için YBS ve BM temelli bir ADKDS tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemde etkili olan SAP ve HPR’ye ilişkin üyelik fonksiyonlarının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Üyelik fonksiyonunun belli aralıklarda en yüksek değeri koruması istendiğinden yamuk üyelik fonksiyonu tercih edilmiştir. Şekil 5’te yamuk üyelik fonksiyonu gösterilmektedir.



Şekil 5. Yamuk üyelik fonksiyonu [23].

Yamuk üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesi Eş. 1'de verilmiştir;

$$\mu(x; a_1, b_1, b_2, a_2) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq b_1 \text{ ise } (x - a_1)/(b_1 - a_1) \\ b_1 \leq x \leq b_2 \text{ ise } 1 \\ b_2 \leq x \leq a_2 \text{ ise } (x - a_2)/(b_2 - a_2) \\ x > a_2 \text{ veya } x < a_1 \text{ ise } 0 \end{cases} \quad (1)$$

Burada  $a_1$  başlangıç,  $b_1$  ve  $b_2$  tepe,  $a_2$  ise bitiş parametreleridir. Her bir bulanık küme için Eş. 2 kullanılır:

$$\begin{aligned} a_1 &= (a_1 + k_i) - n_i \\ b_1 &= (b_1 + k_i) \\ b_2 &= (b_2 + k_i) \\ a_2 &= (a_2 + k_i) + n_i \end{aligned} \quad (2)$$

Burada  $k_i$  ve  $n_i$ , üyelik fonksiyonlarının ayarlanması için kullanılan katsayılardır.  $k_i$ , üyelik fonksiyonunun şekil değiştirmeden sağa ya da sola hareketi için kullanılmaktadır.  $n_i$  ise üyelik fonksiyonunun daralması ya da genişlemesi için kullanılmaktadır.

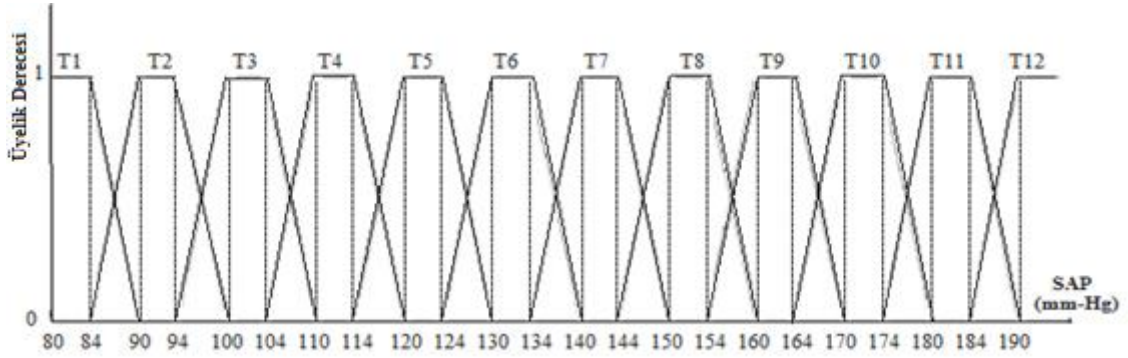
ADKDS'yi gerçekleştirirken sağlıklı vücut verileri (SAP değeri 60- 220 (mmHg) ve HPR değeri 40-150 (p/m)) esas alınmıştır. Anestezistler yardımıyla, BM' ta kullanılan üyelik fonksiyonu değerleri Tablo 1'de gösterildiği gibi "çok düşük", "düşük", "normal", "yüksek" ve "çok yüksek" aralıklarla oluşturulmuştur.

Tablo 1. Üyelik Fonksiyon değerleri [13].

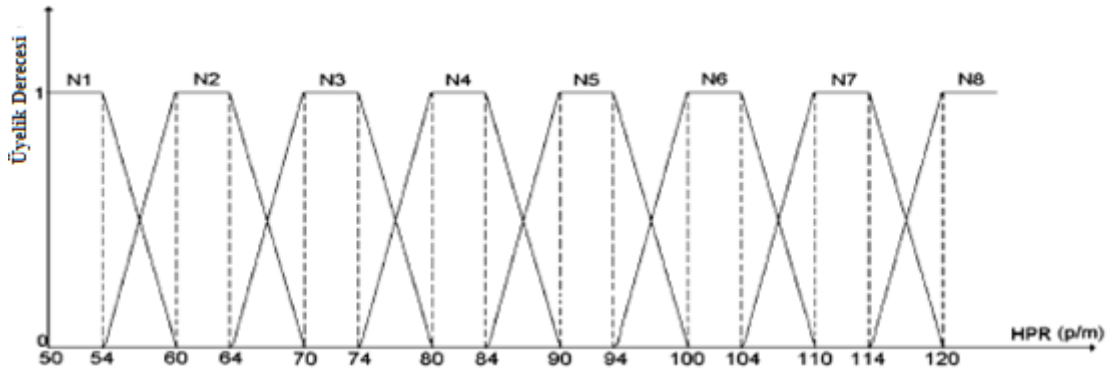
Dilsel Değişkenler	Çok Düşük	Düşük	Normal	Yüksek	Çok Yüksek
SAP (mmHg)	<80	90	100- 140	160- 170	> 190
HPR (p/m)	<50	60	70- 90	95- 110	> 120
AO %(u)	0	0,5- 0,8	1- 2,5	3- 3,6	4



SAP için 12 üyelik fonksiyonu (T1, ..., T12) ve HPR için 8 üyelik fonksiyonu (N1, ..., N8) kullanılarak, üyelik fonksiyonlarının giriş değerleri olarak seçilmiştir. SAP veri üyelik setleri 80 -194 (*mmHg*) arasında, HPR veri üyelik setleri 50 -124 (*p/m*) arasında incelenmiştir. Giriş parametrelerinin üyelik fonksiyonları Şekil 6 ve Şekil 7’ de verilmiştir.



Şekil 6. SAP için üyelik fonksiyonları [13].



Şekil 7. HPR için üyelik fonksiyonları [13].

Anestezi uzmanına, girdi ve çıktı verileri kural tabanında danışılmıştır. T ve N bulanık girdilerin kural tabanına göre çıktı üyelik kümeleri, Tablo 2’de gösterilen A1 (çok düşük), A2 (düşük), A3 (normal), A4 (yüksek) ve A5 (çok yüksek), S ise geçersiz durumlar olarak tanımlanmaktadır. Örnek vermek gerekirse, bir hastanın SAP değeri Tablo 1’e göre 160-170 (*mmHg*) arasında ise bu değer, Şekil 6’ ya göre, SAP için T9 üyelik fonksiyonuna denk gelmektedir. Bununla birlikte aynı hastanın HPR değeri Tablo 1’e göre 95-110 (*p/m*) arasında ise bu değer, Şekil 7’ye göre HPR için N6 üyelik fonksiyonunu göstermektedir. Bu değerler ışığında Tablo 2’ye bakıldığında, A5 çıktı üyelik kümesini işaret ettiği görülmektedir.

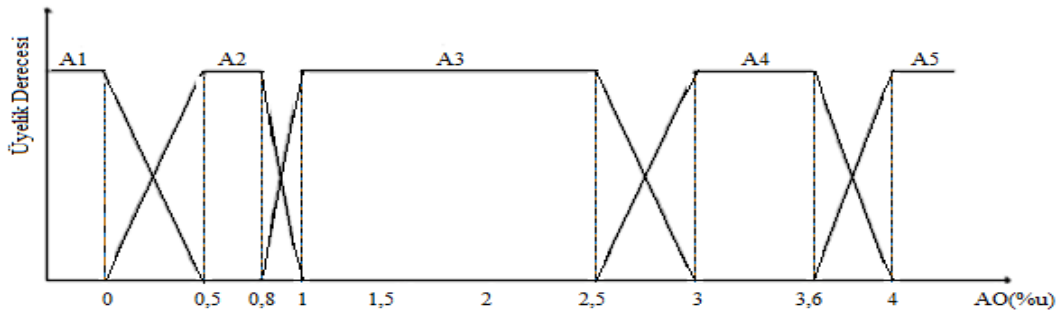
**Tablo 2.** T ve N bulanık girdiler için kural tabanı [13].

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8
T1	A1	A1	A2	A2	A2	S	S	S
T2	A2	A2	A3	A3	A3	A4	A4	A4
T3	A2	A3	A3	A3	A3	A4	A4	A4
T4	A2	A3	A3	A3	A3	A4	A4	A4
T5	A2	A3	A3	A3	A3	A4	A4	A4
T6	A2	A3	A3	A3	A3	A4	A4	A4
T7	A2	A3	A3	A3	A3	A4	A4	A5
T8	S	A4	A4	A4	A4	A5	A5	A5
T9	S	A4	A4	A4	A4	A5	A5	A5
T10	S	A4	A4	A4	A4	A5	A5	A5
T11	S	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5
T12	S	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5

Durulaştırma ünitesinde, bulanık çıkarım motorundan elde edilen bulanıklaştırılmış sonuçlar sayısal değerlere dönüştürülür. Çıktı üyelik kümeleri A1, A2, A3, A4 ve A5, Eş. 3 kullanarak sayısal değerlere dönüşümü gerçekleştirilmektedir.

$$AO = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j) \cdot z_j}{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j)} \quad (3)$$

Eş.3'te AO anestezi çıkışı,  $\mu_C(z_j)$  anestezi üyelik fonksiyonu,  $z_j$  üyelik (SAP, HPR) değerleridir. Son olarak, AO değerlerinden hastaya uygulanan anestetik düzey belirlenmektedir. Anestezi çıkışına ilişkin üyelik fonksiyonu Şekil 8'de gösterilmiştir.



**Şekil 8.** AO için üyelik fonksiyonları [13].

KSA'da kullanılacak olan uygunluk fonksiyonu, örnek hasta verileri kullanılarak verilerin eğitim işlemini yapmaktadır. Uygunluk fonksiyonu KSA'da çözümlerin değerlendirildiği bir fonksiyondur. Bu çalışmada uygunluk fonksiyonu olarak Eş. 4 kullanılmıştır.

$$f_i = 100 / (1 + MSE) \quad (4)$$

Eş.4’de ki  $MSE$  (Mean Square Error), ortalama karesel hatayı bulmak içindir ve  $MSE$ ’nin formülü Eş. 5’teki gibidir.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_j^2 \quad (5)$$

Eğitim örneğinin hatası Eş. 6’da gösterilmiştir.

$$e = f_{REAL} - f_{FIS} \quad (6)$$

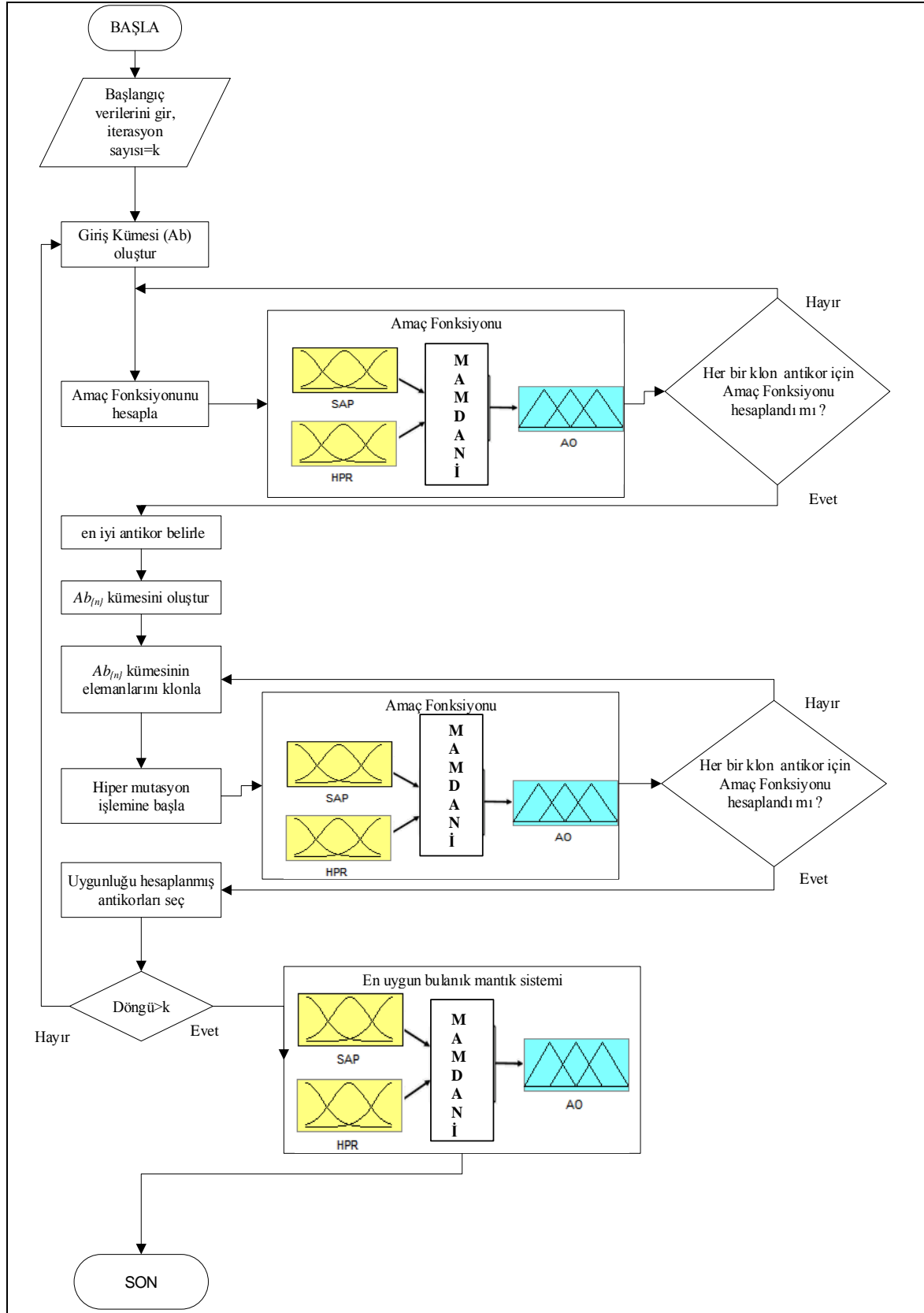
Burada  $f_{REAL}$  anestezi verisi,  $f_{FIS}$  te eğitim çıktısı olarak tanımlanmaktadır.

YBS ile tasarlanan ADKDS sisteminde, bulanık kümelerin her biri için ikişer parametre ( $k, n$ ) kullanılması sonucu toplamda, bir antikorda 50 parametre yer almaktadır. Parametre aralıkları Tablo 3’de gösterildiği gibidir.

**Tablo 3.** Antikorlar için belirlenen aralıklar.

SAP	HPR	AO
$k_1 = [+5, -5]$	$k_1 = [+5, -5]$	$k_1 = [+0.4, -0.2]$
$n_1 = [+2, -2]$	$n_1 = [+2, -2]$	$n_1 = [+0.2, -0.2]$
$k_2 = [+5, -5]$	$k_2 = [+5, -5]$	$k_2 = [+0.1, -0.1]$
$n_2 = [+2, -2]$	$n_2 = [+2, -2]$	$n_2 = [+0.2, -0.2]$
$k_3 = [+5, -5]$	$k_3 = [+5, -5]$	$k_3 = [+0.2, -0.2]$
$n_3 = [+2, -2]$	$n_3 = [+2, -2]$	$n_3 = [+0.2, -0.2]$
$k_4 = [+5, -5]$	$k_4 = [+5, -5]$	$k_4 = [+0.3, -0.3]$
$n_4 = [+2, -2]$	$n_4 = [+2, -2]$	$n_4 = [+0.1, -0.1]$
$k_5 = [+5, -5]$	$k_5 = [+5, -5]$	$k_5 = [+0.3, -0.3]$
$n_5 = [+2, -2]$	$n_5 = [+2, -2]$	$n_5 = [+0.2, -0.2]$
$k_6 = [+5, -5]$	$k_6 = [+5, -5]$	
$n_6 = [+2, -2]$	$n_6 = [+2, -2]$	
$k_7 = [+5, -5]$	$k_7 = [+5, -5]$	
$n_7 = [+2, -2]$	$n_7 = [+2, -2]$	
$k_8 = [+5, -5]$	$k_8 = [+2, -2]$	
$n_8 = [+2, -2]$	$n_8 = [+2, -2]$	
$k_9 = [+3, -6]$		
$n_9 = [+2, -2]$		
$k_{10} = [+5, -5]$		
$n_{10} = [+2, -2]$		
$k_{11} = [+5, -5]$		
$n_{11} = [+2, -2]$		
$k_{12} = [+5, -5]$		
$n_{12} = [+2, -2]$		

Önerilen ADKDS yönteminin akış diyagramı Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. ADKDS akış diyagramı.

Şekil 9'daki akış diyagramı aşağıda adımlar halinde açıklanmıştır.

1. *Adım:* Giriş kümesinin ( $Ab$ ) oluşturulması.
2. *Adım:* Uygunluk fonksiyonlarının ( $f$ ) hesaplanması.
  - Eğitim örneği adedince:
    - Belirlenen sınırlar dahilinde oluşturulan  $k$  ve  $\eta$  parametrelerine göre üyelik fonksiyonları yeniden şekillenecektir.
    - Bu üyelikler ve kural tablosuna göre bulanık çıkarım yapılacaktır. Çalışmada Tablo 2'de verilen kural tablosu kullanılmıştır.
    - Bu aşamada durulaştırma işlemi gerçekleştirilecektir. Durulaştırma metodu olarak, Eşt. (3)'de verilen ağırlık merkezi fonksiyonu kullanılmıştır.
    - Eğitim örneğinin hatası, Eşt. (6) kullanılarak bulunmuştur.
  - Eşt. (5) kullanılarak ortalama karesel hata ve Eşt. (4) kullanarak uygunluk fonksiyonu değeri hesaplanmıştır.
3. *Adım:*  $Ab_{\{n\}}$  kümesinin oluşturulması.
4. *Adım:* Klonlama; bu adımda oluşturulan  $Ab_{\{n\}}$  kümesindeki antikolar klonlanmaktadır. Klonlama işlemi Eşt. 7'deki gibi gerçekleştirilmiştir:
$$C = Round\left(\frac{\beta \times s(Ab)}{i}\right) \quad (7)$$

Eşt. (7) her bir antikör için hesaplanmıştır. Burada;  
 $\beta$ : Dışarıdan girilen bir pozitif tamsayı değişken (klonlama faktörü değeri),  
 $s(Ab)$ :  $Ab$  giriş kümesinin eleman sayısı,  
 $i$ : Klonlanacak antikörün  $Ab$  kümesi içindeki sıra numarasıdır.
5. *Adım:* Hiper mutasyon; klonlanan antikolar hiper mutasyona uğratılır.
6. *Adım:* Hiper mutasyona uğratılan antikoların uygunluk fonksiyonu değerleri hesaplanır.
7. *Adım:* Seçim; bu adımda elimizde, klonlanarak hiper mutasyona uğratılmış ve uygunluk fonksiyonları hesaplanmış antikorlardan oluşan büyük boyutlu bir küme vardır. Bu kümedeki antikolar hesaplanan uygunluk fonksiyonlarına göre tekrar büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır ve içlerinden tekrar  $n$  tanesi seçilmiştir. Algoritmaya artık klonlanmış ve hiper mutasyona uğratılmış antikorların içinden seçilen  $n$  tanesi ile devam edilecektir.
8. *Adım:*  $Ab$  kümesinin yeniden oluşturulmasıdır.

Sonraki iterasyona başlayabilmek için  $Ab$  kümesinin yeniden oluşturulması gereklidir. Bunun için, bir önceki adımda seçilen  $n$  adet antikör  $Ab$  kümesine dahil edilir. Kümenin geri kalanı ise ilgili antikorların problemde verilen aralıklarda yeniden rastgele üretilmesiyle tamamlanmaktadır. Yukarıdaki adımlar maksimum döngü sayısına kadar tekrarlanmaktadır.

#### IV. BULGULAR ve TARTIŞMA

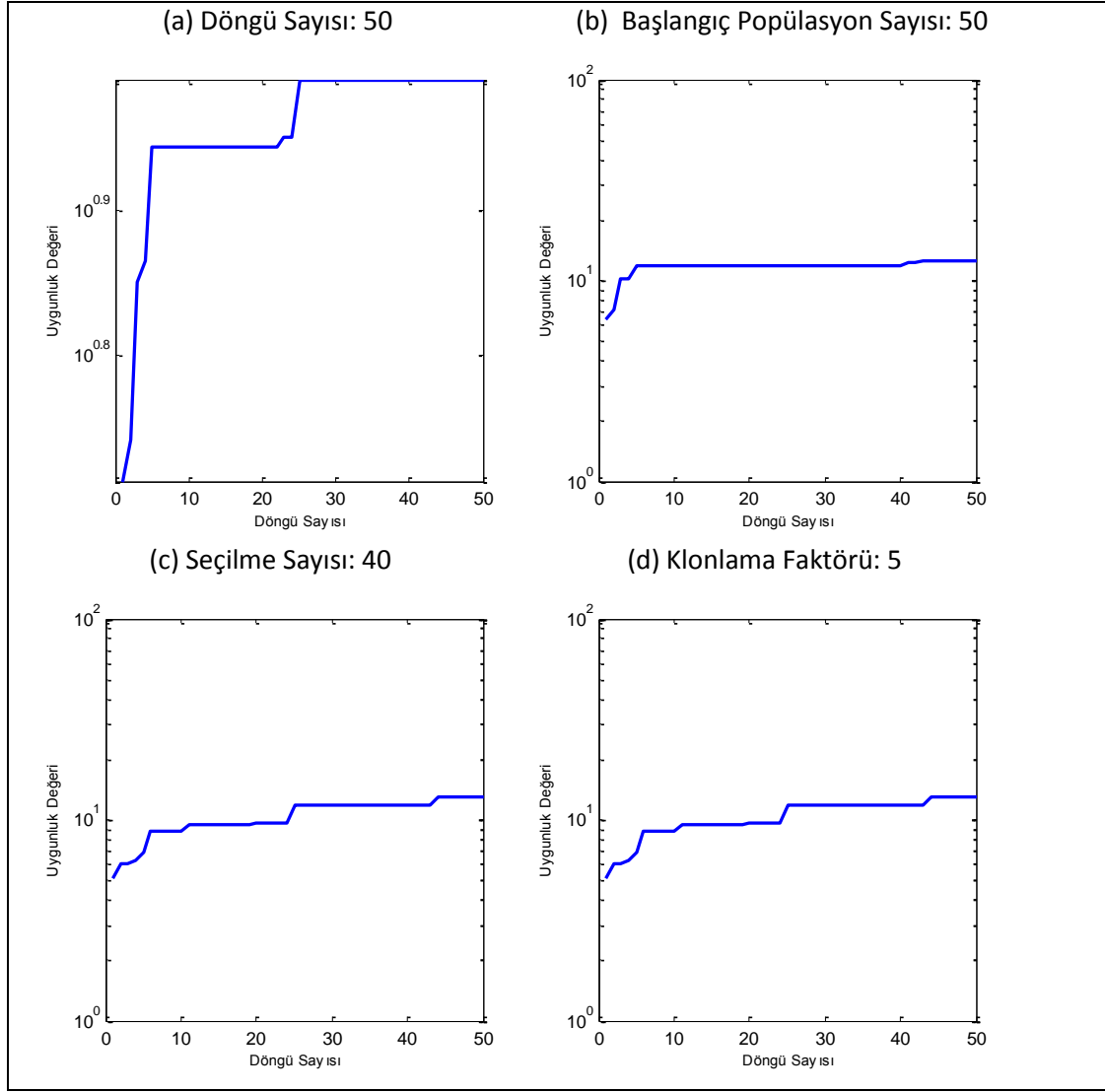
Çalışmada önerilen ADKDS, YBS temelli bir tasarımdır ve amaç fonksiyonu, en uygun üyelik fonksiyonları içeren BM sistemini oluşturmaya yöneliktir. YBS optimizasyon tekniğinde KSA tercih edilmiştir. KSA doğası gereği yakınsama özelliği ile en iyi çözümü aramaya başlayacaktır. YBS sezgisel bir optimizasyon tekniği olduğu için bazı başlangıç değerlerinin kullanıcı tarafından verilmesi gerekmektedir. Bu çalışma MATLAB programında tasarlanmıştır ve her değer için, 30 çalıştırma yapılarak çıktılar elde edilmiştir. Tablo 4'de ADKDS'nin başlangıç popülasyon boyutu, seçilme sayısı, klonlama faktörü ve döngü sayısına göre en iyi sonucu göstermektedir.

**Tablo 4.** ADKDS'nin popülasyon boyutu, seçilme sayısı, klonlama faktörü ve döngü sayısına göre test sonuçları.

Sayısal Değerler		En uygun değer	En Uygun Değerlerin Ortalaması	En Uygun Değerlerin Ortancası	Standart Sapma	Tek Döngü Süresi (sn)	Toplam Döngü Süresi (sn)
Döngü Sayısı	5	5.1433	4.97033	5.1433	0.30728	6.58941	32.947
	10	5.97209	5.54162	5.97209	0.70645	5.1852	51.852
	20	7.3452	5.63273	6.09856	0.75767	4.52357	90.4714
	<b>50</b>	<b>9.3281</b>	<b>6.1847</b>	<b>6.8042</b>	<b>1.0139</b>	<b>4.1936</b>	<b>209.678</b>
	100	9.57114	5.52158	6.20088	1.16439	4.0678	406.78
Başlangıç Popülasyon Sayısı	10	9.32808	6.18472	6.80424	1.0139	4.19357	209.678
	25	9.87383	5.26091	4.74135	1.28068	9.14595	457.2975
	<b>50</b>	<b>11.605</b>	<b>5.2081</b>	<b>4.696</b>	<b>1.5523</b>	<b>19.783</b>	<b>989.145</b>
	100	11.9489	5.09582	4.65102	1.80583	39.2815	1964.07
Seçilme Sayısı	7	11.605	5.2081	4.69603	1.55231	19.7829	989.145
	20	11.8738	6.88823	4.95475	3.17417	26.8267	1341.33
	30	12.5507	6.51573	7.82741	1.66826	30.6981	1534.90
	<b>40</b>	<b>13.725</b>	<b>8.6121</b>	<b>9.6858</b>	<b>2.1879</b>	<b>31.099</b>	<b>1554.94</b>
Klonlama Faktörü	4	11.8501	8.31122	9.27076	1.94332	22.7126	1135.63
	<b>5</b>	<b>13.725</b>	<b>8.6121</b>	<b>9.6858</b>	<b>2.1879</b>	<b>31.099</b>	<b>1554.94</b>
	10	13.5076	8.87236	9.97491	2.23443	59.5112	2975.56
	20	13.7878	9.01055	10.0098	2.04378	106.707	5335.35

Tablo 4'te görüldüğü gibi en uygun değer ve toplam döngü sayısı baz alındığında, döngü sayısı için verilebilecek en iyi değer 50 olduğu görülmektedir. Başlangıç popülasyonu sayısı belirlenirken düşük değer vermek en uygun değeri azalırken, yüksek değer vermek ise toplam döngü süresini fazlasıyla artırmıştır. Tablo 4'ten de anlaşılacağı üzere en uygun değeri sağlayan ve toplam döngü süresi yüksek olmayan değer olarak 50 belirlenmiştir. Seçilme sayısı 40 verildiğinde en uygun değerler elde edilmiştir. Seçilme sayısı 40 tan yüksek verildiğinde ise toplam döngü sayısında büyük artışlar olduğu gözlemlenmiştir. Klonlama faktörü sayısında, yüksek değerler verildiğinde toplam döngü süresinin çok fazla arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda ADKDS'nin, sonuç verme süresini bir hayli geciktirdiği gözlemlenmiştir. Bundan dolayı en uygun klonlama faktörü olarak 5 değeri verilmiştir.

Şekil 10'da gösterilen grafikler, Tablo 4'te koyu olarak gösterilen seçimlere göre bulunan en iyi değerlerin yakınsama grafikleridir.



**Şekil 10.** (a) Döngü Sayısı: 50, (b) Başlangıç popülasyon sayısı: 50, (c) Seçilme sayısı: 40 ve (d) Klonlama faktörü: 4 için yakınsama grafikleri.

ADKDS'nin döngü sayı ve seçilme sayısı değerlerinin, aramayı büyük oranda etkilediği görsel olarak görülmektedir.

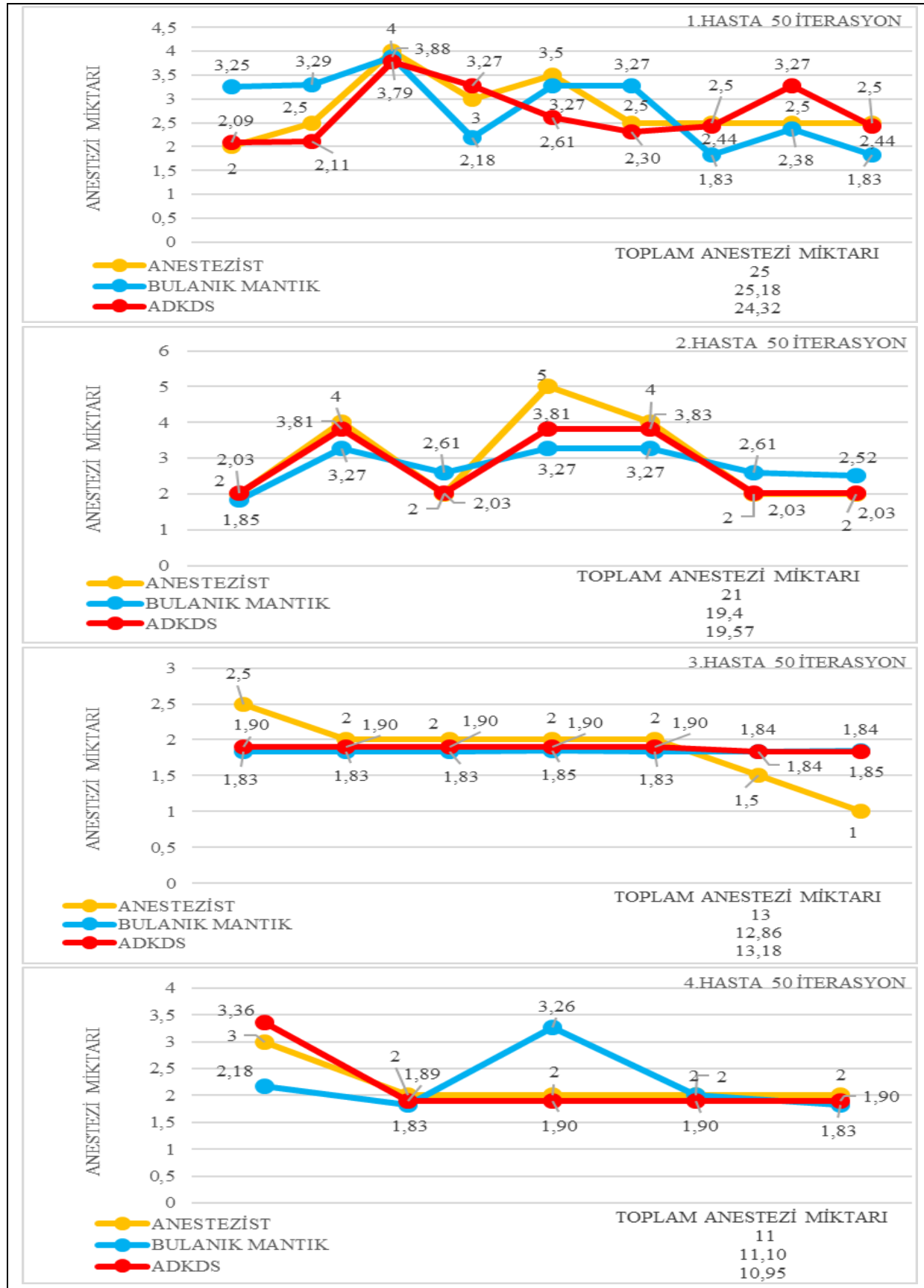
Tablo 5'de dört hastanın ameliyat esnasında, her 5 dakikada bir ölçülen SAP ve HPR değerlerine göre anesteziistin vermiş olduğu anestezi miktarının, BM ve ADKDS ile karşılaştırılması gösterilmektedir.

Tablo 5. Hastalara verilen anestezi miktarları ve MSE karşılaştırması.

Hasta Sayısı	Giriş Çıkış Değerleri	Yöntem	1.Durum	2.Durum	3.Durum	4.Durum	5.Durum	6.Durum	7.Durum	8.Durum	9.Durum	Toplam
Hasta 1	SAP (mmHg)		164	161	192	156	172	161	152	157	154	
	HPR (p/m)		65	96	99	80	72	81	73	78	73	
	AO (%u)	ANEST. [13]	2	2.5	4	3	3.5	2.5	2.5	2.5	2.5	25
	AO (%u)	BM [13]	3.25	3.29	3.88	2.18	3.27	3.27	1.83	2.38	1.83	25.18
	AO (%u)	ADKDS	<b>2.09</b>	<b>2.11</b>	<b>3.79</b>	<b>3.27</b>	<b>2.61</b>	<b>2.30</b>	<b>2.44</b>	<b>3.27</b>	<b>2.44</b>	<b>24.32</b>
		BM MSE	1.5625	0.6241	0.0144	0.6724	0.0529	0.5929	0.4489	0.0144	0.4489	4.4314
		ADKDS MSE	<b>0.0081</b>	<b>0.1521</b>	<b>0.0441</b>	<b>0.0729</b>	<b>0.7921</b>	<b>0.04</b>	<b>0.0036</b>	<b>0.5929</b>	<b>0.0036</b>	<b>1.7094</b>
Hasta 2	SAP (mmHg)		149	184	139	182	163	158	158			
	HPR (p/m)		88	94	98	74	78	90	87			
	AO (%u)	ANEST. [13]	2	4	2	5	4	2	2			21
	AO (%u)	BM [13]	1.85	3.27	2.61	3.27	3.27	2.61	2.52			19.4
	AO (%u)	ADKDS	<b>2.03</b>	<b>3.81</b>	<b>2.03</b>	<b>3.81</b>	<b>3.83</b>	<b>2.03</b>	<b>2.03</b>			<b>19.57</b>
		BM MSE	0.0225	0.5329	0.3721	2.9929	0.5329	0.3721	0.2704			5.0958
		ADKDS MSE	<b>0.0009</b>	<b>0.0361</b>	<b>0.0009</b>	<b>1.4161</b>	<b>0.0289</b>	<b>0.0009</b>	<b>0.0009</b>			<b>1.4847</b>
Hasta 3	SAP (mmHg)		110	130	130	110	130	120	120			
	HPR (p/m)		90	70	70	68	72	75	76			
	AO (%u)	ANEST. [13]	2.5	2	2	2	2	1.5	1			13
	AO (%u)	BM [13]	1.83	1.83	1.83	1.85	1.83	1.84	1.85			12.86
	AO (%u)	ADKDS	<b>1.90</b>	<b>1.90</b>	<b>1.90</b>	<b>1.90</b>	<b>1.90</b>	<b>1.84</b>	<b>1.84</b>			<b>13.18</b>
		BM MSE	0.4489	0.0289	0.0289	0.0225	0.0289	0.1156	0.7225			1.3962
		ADKDS MSE	<b>0.36</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.1156</b>	<b>0.7056</b>			<b>1.2212</b>
Hasta 4	SAP (mmHg)		150	110	115	110	110					
	HPR (p/m)		96	74	107	95	90					
	AO (%u)	ANEST. [13]	3	2	2	2	2					11
	AO (%u)	BM [13]	2.18	1.83	3.26	2	1.83					11.1
	AO (%u)	ADKDS	<b>3.36</b>	<b>1.89</b>	<b>1.90</b>	<b>1.90</b>	<b>1.90</b>					<b>10.95</b>
		BM MSE	0.6724	0.0289	1.5876	0	0.0289					2.3178
		ADKDS MSE	<b>0.1296</b>	<b>0.0121</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>					<b>0.1717</b>

Tablo 5’te görüldüğü gibi hasta 1 için ADKDS ile tahmin edilen anestezi miktarı, anesteziye ve BM’ye göre daha düşük çıkmıştır. Bununla birlikte ADKDS’nin, BM’ye göre MSE’si daha düşüktür. Hasta 2 için her durumda anestezi miktarına, ADKDS’nin tahmin ettiği anestezi miktarı daha yakın çıkmıştır. Bu durum, Şekil 11’de hasta sayısal veri grafiklerinde de ADKDS eğrilerinin Anestezi eğrilerine olan yakınlığı ile doğrulanmaktadır. Ayrıca ADKDS’nin, BM’ye göre MSE yi oldukça minimize ettiği Tablo 5’te görülmektedir.





Şekil 11. Hasta sayısal verilerinin grafiksel gösterimi.

Hasta 3 için ise ADKDS, her ne kadar toplam verilecek anestezi miktarını, anestezi ve BM'ye göre yüksek tahmin etmişse de tüm durumlarda ki anestezi miktarı tahmini, anesteziye yakın olup MSE'si BM'ye göre daha düşüktür. Hasta 4'te ise BM'ye göre 4. durum hariç diğer tüm durumlarda anestezi miktarına daha yakın tahminlerde bulunduğu ve toplam anestezi miktarında da anesteziye daha yakın olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca hatayı BM'ye göre oldukça küçülttüğü gözlemlenmektedir. Şekil 11'de gösterilen hasta sayısal veri grafikleri ile hastaların her durumunda anestezi miktarına en yakın tahminde bulunanın ADKDS olduğu görülmektedir.

## V. SONUÇ

Anestezi derinliği bir hastanın operasyon esnasında, ağrısız bir şekilde ameliyat geçirebilmesi için önemlidir. Bu derinliği sağlamak için bazı anestezi maddeleri kullanılır. Bu çalışmada, ameliyatlarda anesteziye yardımcı olmak için YBS temelli bir anestezi derinlik karar destek sistemi geliştirilmiştir. Tasarlanan sistem, hastalardan elde edilen giriş değerleri SAP, HPR ve çıkış parametresi olarak ta AO kullanılarak üyelik fonksiyonlarının en uygun değerlerini elde etmek için KSA'nın her adımında arama, hesaplama ve değerlendirme gerçekleştirmiştir. Çalışmada kullanılan dört hasta için operasyon esnasında verilecek anestezi miktarları, literatürde yapılan BM temelli sisteme göre, anesteziye daha yakın şekilde tahmin edilmiş ve karşılaştırılan sisteme göre hata oldukça düşürülmüştür. Örneğin 4. hasta için verilebilecek toplam anestezi miktarını anestezi 11 (%ou) belirlemişken, BM tabanlı sistem 11.1 (%ou) tahmin etmiştir. Tasarladığımız sistem ise 10.95 (%ou) tahmin ederek anestezi miktarına daha yakın sonuç elde etmektedir. Ayrıca karşılaştırılan BM sisteminin MSE'si 2.3178 iken ADKDS'nin MSE'si 0.1717 olarak hesaplanarak hatayı oldukça düşürdüğü de görülmektedir. ADKDS uygulamasının gerçek zamanlı bir sistem üzerinde de başarıyla çalıştırılması sonucunda, bu performansın sağlanacağı düşünülmekte ve gelecek çalışmalar için, KSA'daki arama sürecini azaltmak amacı ile kuantum tabanlı arama algoritmalarının kullanılması planlanmaktadır.

## VI. KAYNAKLAR

- [1] R. J. Kitz ve C. D. Vandem "A History and the scope of anesthetic practice," 2nd. ed., vol. 1, New York, USA: Churchill - Livingstone, 1986. Chpt : 1, in Anesthesia cd.
- [2] B. E. Marshall ve D. E. Lockenfer, "General anaesthetics, Goodman and Gilman's, the pharmacological basis of therapeutics," 8th ed., Oxford: Pergamon Press, 1990, pp. 285-311.
- [3] E. Eger, "New Inhaled Anesthetics," *Anesthesiology*, vol.80, no. 1, pp. 906-922, 1994.
- [4] J.C. Snow, "Anestezi El Kitabı," 1. baskı. İzmir, Türkiye: İzmir Güven Kitapevi, 1986, ss. 315-324.
- [5] S.G.Greenhow, D.A.Linkens ve A.J.Asbury, "Development of an expert system advisor for anaesthetic control," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 37, no. 3, pp. 215-229, 1992.

- [6] K. Becker, B. Thull, H. Kasmacher-Leidinger, J. Stemmer, G. Rau, G. Kalf ve H. Zimmermann, "Design and validation of an intelligent patient monitoring and alarm system based on fuzzy logic process model," *Artif Intell Med.*, vol.11, no. 1, pp. 33-53, 1997.
- [7] L. Vefghi ve D.A. Linkens, "Internal representation in neural networks used for classification of patient anesthetic states and dosage," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 59, no. 2, pp. 75– 89. 1999.
- [8] A. Yardimci, A. Ferikođlu ve N. Hadimiođlu, "Microcontroller Based Fuzzy Logic Sevofluorane Anesthesia Control System," International Conference on Computational Intelligence, pp. 137-147, 2001.
- [9] M. Mahfouf, A.J. ASbury ve D.A. Linkens, "Unconstrained and constrained generalised predictive control of depth of anaesthesia during surgery," *Control Engineering Practice*, vol. 11, no. 12 ,pp. 1501-1515,2003.
- [10] J.S. Shieh, D.A. Linkens ve J.E.Peacock, "A computer screen-based simulator for hierarchical fuzzy logic monitoring and control of depth of anaesthesia," *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 67, no.3, pp. 251-265, 2004.
- [11] C.S. Nunes, M. Mahfouf ve D.A. Linkens, "Fuzzy modelling for controlled anaesthesia in hospital operating theatres," *Control Engineering Practice*, vol. 14, no. 5 pp. 563-572, 2006.
- [12] H. M. Saraoglu ve B. Edin, "E-Nose System for Anesthetic Dose Level Detection using Artificial Neural Network," *Journal of Medical Systems*, vol. 31, no. 6,pp. 475-482, 2007.
- [13] S. Şanlı ve H.M. Saraoglu, "A Fuzzy Logic-Based Decision Support System on Anesthetic Depth Control for Helping Anesthetists in Surgeries," *Journal of Medical Systems*, vol. 31, no. 6, pp. 511-519,2007.
- [14] H. M. Saraoğlu, "Anestezi derinliği için kullanılan parametrelerin etki seviyelerinin belirlenmesi," 10. Akademik BiliŐim Konferansı, Çanakkale,Türkiye,2008.
- [15] R. Güntürkün, "Estimation of Medicine Amount Used Anesthesia by an Artificial Neural Network," *Journal of Medical Systems*, vol. 34, no. 5, pp. 941-946, 2010.
- [16] R. Merer, j. Nieuwland, A. M. Zbinden ve S. S. Hacisalihzade, "Fuzzy logic control of blood pressure during anesthesia," *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 12, no. 6, pp. 12-17, 1992.
- [17] M. Yılmaz ve E. Arslan, "Bulanık mantığın jeodezik problemlerin çözümünde kullanılması," 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu,İstanbul,Türkiye,2005, ss. 512-522.
- [18] N. A. Zinab, "Bulanık mantık ile grup asansör kontrol sisteminin tasarımı ve simülasyonu," Yüksek lisans tezi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2011.

- [19] F. Esponda, . S. Forrest ve P. Helm, “A Formal Framework for Positive and Negative Detection Schemes,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B, Cybernetics*, vol. 34, no.1, pp. 357-373, 2004.
- [20] O. Engin ve A. Döyen, “Artificial Immune Systems and Applications in Industrial Problems,” *Gazi University Journal of Science*, vol.17, no.1, pp. 71–84, 2004.
- [21] B. Alatas, İ. Aydın ve E. Akın, “Asenkron Motorların Hata Teşhisinde Yapay Bağışıklık Sistemi Yaklaşımı,” 2. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, İstanbul, 2005, ss. 76-85.
- [22] L.N. De Castro ve F.J. Von Zuben, “The Clonal Selection Algorithm with Engineering Applications,” Genetic and Evolutionary Computation Conference(GECCO), LAs Vegas, USA, 2000, pp. 36-37.
- [23] Ö.Taşkırdı, “Bulanık mantık ile sınavlara hazırlık için performans artırma yazılımı,” Yüksek lisans tezi,Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye, 2013.