

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BULANIK UZMAN SİSTEM KULLANARAK TIKAYICI UYKU APNE
HİPOPNE SENDROMUNUN CİDDİYET SEVİYESİNİN TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Can ZOROĞLU

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Biyomedikal Mühendisliği Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BULANIK UZMAN SİSTEM KULLANARAK TIKAYICI UYKU APNE
HİPOPNE SENDROMUNUN CİDDİYET SEVİYESİNİN TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Can ZOROĞLU
(504131402)**

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Biyomedikal Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Öğr. Gör. Dr. Serkan TÜRKEİ

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504131402 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Can ZOROĞLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**BULANIK UZMAN SİSTEM KULLANARAK TIKAYICI UYKU APNE HİPOPNE SENDROMUNUN CİDDİYET SEVİYESİNİN TAHMİNİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Öğr. Gör. Dr. Serkan TÜRKEİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. İnci ÇİLESİZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. İhsan KAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi: **25 Mayıs 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

Verdiği tavsiyeler ile bana hem bu çalışmada hem de akademik geleceğimi şekillendirmemde yardımcı olan, kendisini tanımaktan ve hocam olmasından büyük bir mutluluk duyduğum danışmanım Dr. Serkan TÜRKEİ'ye, yardımsever bir şekilde bilgilerini paylaşarak tıp alanındaki bir soruna çözüm arayan böyle bir çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için elzem olan uzman görüşünü edinmemi sağlayan başta Prof. Dr. Fatma Tülin KAYHAN ile Uzm. Dr. K. Hakan KAYA olmak üzere Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim ve Araştırma Hastanesi KBB kliniği doktorlarına teşekkür ederim.

Mayıs 2015

Can Zoroğlu

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı.....	2
1.2 Literatür Araştırması.....	2
2. OSAHS	11
2.1 Nedenleri.....	11
2.2 Risk Faktörleri	13
2.3 Tanı.....	14
2.3.1 Semptomlar	14
2.3.2 PSG.....	15
2.3.3 Alternatif tanı yöntemleri	17
2.3.3.1 Radyolojik yöntemler.....	17
2.3.3.2 Endoskopik yöntemler	18
2.3.3.3 Diğer yöntemler	18
2.4 Tedavi	18
3. UZMAN SİSTEMLER VE BULANIK MANTIK	21
3.1 Uzman Sistemler.....	21
3.1.1 Uzman sistemlerin türleri	24
3.1.1.1 Kural tabanlı sistemler	24
3.1.1.2 Çerçeve tabanlı sistemler	25
3.1.1.3 Bulanık mantığa dayanan uzman sistemler.....	25
3.1.1.4 Tümevarım yöntemini kullanan sistemler.....	26
3.1.1.5 Olgu tabanlı sistemler	27
3.1.1.6 Yapay sinir ağı yöntemini kullanan sistemler.....	28
3.2 Bulanık Mantık ve Bulanık Kümeler.....	30
3.2.1 Bulanık kümelerdeki bazı temel kavramlar	31
4. BULANIK SİSTEMLER.....	37
4.1 Bulanıklaştırıcı.....	37
4.2 Bulanık Sistemde Kurallar.....	39
4.3 Çıkarım Süreci	40
4.3.1 Mamdani yöntemi	40
4.3.2 Takagi-Sugeno	42
4.3.3 Tsukamoto yöntemi.....	42
4.4 Netleştirme.....	42

4.4.1 Ağırlık merkezi yöntemi	43
4.4.2 Alanların toplamının merkezi.....	43
4.4.3 Maksimum netleştiriciler	43
4.4.4 Yüksekliklerin ortalaması.....	44
5. MATERYAL VE METOT	45
5.1 Tanımlar.....	45
5.2 BUS Tasarımı	47
5.2.1 Bulanıklaştırma	47
5.2.2 Kurallar, çıkarım ve netleştirme	49
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	51
6.1 Tasarım	51
6.2 Sınama	54
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ	65

KISALTMALAR

AASM	: American Academy of Sleep Medicine
AHI	: Apne Hipopne İndeksi
ANFIS	: Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
BÇ	: Boyun Çevresi
VKİ	: Vücut Kitle İndeksi
BUS	: Bulanık Uzman Sistem
CPAP	: Continous Positive Airway Pressure
CT	: Computed Tomography
DSM-IV	: Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders 4. Baskısı
EEG	: Elektroensafalogram
EKG	: Elektrokardiyogram
EMG	: Elektromiyogram
EOG	: Elektrookülogram
ESS	: Epworth Slepiness Scale
ESTDD	: Expert System For Thyroid Disease Diagnosis
FIS	: Fuzzy Inference System
HDL	: High Density Lipoprotein
ICSD-90	: International Classification of Sleep Disorders
KVS	: Kardiyovasküler Sistem
LDL	: Low Density Lipoprotein
min SpO2	: Kandaki En Düşük Oksijen Çözünürlüğü
MRI	: Magnetic Resonance Imaging
ODİ	: Oksijen Desatürasyon İndeksi
OSAHS	: Obstructive Sleep Apnea Hypopnea Syndrome
PSG	: Polisomnografi
REM	: Rapid Eye Movement
SSS	: Santral Sinir Sistemi
ÜF	: Üyelik Fonksiyonu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : BUS'ların amaçlarına göre sınıflandırılması.....	10
Çizelge 2.1 : OSAHS'ın sınıflandırılması.	16
Çizelge 2.2 : PSG sonucu OSAHS'a işaret eden bulgular.....	17
Çizelge 3.1 : Hava tahmini için karar çizelgesi	26
Çizelge 4.1 : Giriş ve çıkış dilsel terimlerinin üyelik dereceleri	41
Çizelge 5.1 : Hasta verilerinin özetleri	45
Çizelge 6.1 : Hasta verileri ve ODİ kullanılarak oluşturulmuş sistemin sonuçları ...	52
Çizelge 6.2 : SpO ₂ kullanılarak yapılan tahminler.	52
Çizelge 6.3 : Çıkarım adımında yapılan değişiklikler sonrası tahminler.	53
Çizelge 6.4 : Sınıflandırma başarıları ve korelasyon değerleri.....	53
Çizelge 6.5 : Sınama verileri için tahminler.	54
Çizelge 6.6 : Çıkarımdaki değişiklikleri sonrası sınamadaki tahmin sonuçları.....	54
Çizelge 6.7 : Sınama adımındaki sınıflandırma başarıları ve korelasyon değerleri. .	55

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Farenksin anatomik yapısı.....	12
Şekil 2.2: OSAHS'ın patofizyolojik döngüsü.	13
Şekil 2.3: Örnek bir PSG kurulumu.....	16
Şekil 2.4 : PSG yardımıyla CPAP titrasyonu.	19
Şekil 2.5 : OSAHS tedavi basamakları.....	20
Şekil 3.1 : Kural tabanlı sistemin blok diyagramı.....	24
Şekil 3.2 : ID3'ün çizelgedeki verilerle oluşturduğu karar ağacı.	27
Şekil 3.3 : Olgu tabalı sistemlerin akış şeması.	28
Şekil 3.4 : Yapay sinir ağının mimarisi.	29
Şekil 3.5 : Sıcaklık uzayının dilsel terimlerle bulanık kümelere ayrılması.	32
Şekil 3.6 : Üyelik fonksiyonlarındaki ölçüler.....	33
Şekil 3.7 : Üçgen tipi üyelik fonksiyonu	33
Şekil 3.8 : Yamuk tipi üyelik fonksiyonu.....	34
Şekil 3.9 : Çan tipi üyelik fonksiyonu.	34
Şekil 3.10 : Gaussian tipi üyelik fonksiyonu.	35
Şekil 3.11 : Sigmoid tipi üyelik fonksiyonu.	35
Şekil 4.1 : Bulanık sistem ve bileşenleri.....	37
Şekil 4.2 : Oksijen debisi ve ısıtma gücü değişkenlerinin üyelik fonksiyonları.....	41
Şekil 4.3 : Çıkarım adımı sonucu elde edilen bulanık küme.	42
Şekil 4.4 : Ağırlık merkezi yöntemiyle netleştirme.	43
Şekil 4.5 : Maksimum ilk veya son yöntemi.	43
Şekil 4.6 : Maksimumların ortası yöntemiyle netleştirme.	44
Şekil 4.7 : Yüksekliklerin ortalaması yöntemiyle netleştirme.	44
Şekil 5.1 : Mallampati skorlaması.	47
Şekil 5.2 : En düşük SpO ₂ 'nin üyelik fonksiyonları ve bunlara karşılık gelen dilsel terimler.	47
Şekil 5.3 : ODI'nin üyelik fonksiyonları ve bunlara karşılık gelen dilsel terimler. ..	48
Şekil 5.4 : VKI'nin üyelik fonksiyonları ve bunlara karşılık gelen dilsel terimler. ..	48
Şekil 5.5 : Mallampati skoru için üyelik fonksiyonları ve bunlara karşılık gelen dilsel terimler.	48
Şekil 5.6 : BÇ için üyelik fonksiyonları ve bunlara karşılık gelen dilsel terimler.....	48
Şekil 5.7 : Ciddiyeti ifade eden üyelik fonksiyonları ve bunlara karşılık gelen dilsel terimler.	49
Şekil 5.8 : BUS'un kural tabanı.	49
Şekil 6.1 : Hasta 14'ün çıkarım ve netleştirme sonuçları.	53

BULANIK UZMAN SİSTEM KULLANARAK TIKAYICI UYKU APNE HİPOPNE SENDROMUNUN CİDDİYET SEVİYESİNİN TAHMİNİ

ÖZET

Tıkayıcı (Obstruktif) uyku apne hipopne sendromu (OSAHS) üst solunum yolundaki tekrarlayan tıkanmalar sonucu oluşan önemli bir sağlık sorunudur. OSAHS'ın hipertansiyon, koroner kalp hastalığı, felç gibi hastalıklara neden olabileceği görülmüştür. Bunun yanı sıra tıkanmalar nedeniyle gece uykusunun bölünmesi, gün içi uykululuğuna yol açmakta buna bağlı olarak trafik ve iş kazaları meydana gelebilmektedir.

OSAHS teşhisi uyku laboratuvarlarında polisomnografi (PSG) ile yapılmaktadır. Ancak bu işlem ile başarılı sonuçların alınabilmesi hastanın PSG öncesi bir takım kurallara uymasını, laboratuvarın yeterli fiziksel şartları ve ekipmanları sağlamasını gerektirdiğinden oldukça yorucu ve zaman alıcıdır. Bunun yanı sıra PSG'nin hastanın sırt üstü pozisyonda yatma eğilimini arttırdığı ve pozisyonel OSAHS hastaları için yanıltıcı sonuçlara yol açtığı görülmüştür. Diğer bir sorun OSAHS'ın varlığı ile ciddiyetini gösteren apne hipopne indeksindedir (AHİ). AHİ aralıkları için tek bir standart var iken 3 farklı hipopne tanımının olması bir tanıma göre OSAHS hastası olan birinin hipopne sayısının diğer bir tanım kullanıldığında daha az çıkması nedeniyle sağlıklı olduğu bulgusuna ulaşılabilir. Tüm bunlar ve uzmanlar ile yapılan görüşmeler sonucunda elde edilen bulgular PSG'ye alternatif bir tanı yönteminin ve daha esnek AHİ aralıklarının gerekliliğine işaret etmektedir.

Yapay zekanın bir alanı olan uzman sistemler tarım, kimya, uzay teknolojisi, jeoloji ve tıp gibi çeşitli alanlarda karar destek aracı olarak kullanılmaktadır. Zadeh'in 1965'te önerdiği bulanık kümelerin hem sayısal hem de dilsel değişkenlerin bir arada kullanılmasına olanak tanınması, uzman sistemlerin insaninkine benzer bir akıl yürütme becerisini kazanarak uzman sistemlere yukarıda bahsedilen problemlere çözüm olma potansiyelini vermektedir.

Bu çalışmanın amacı OSAHS'ın ciddiyet derecesini tahmin etmek üzere bir bulanık uzman sistem tasarlamaktır. Bu çalışma kapsamında girdi olarak vücut kitle indeksi (VKİ), uyku sırasında kandaki en düşük oksijen çözünürlük yüzdesi (min SpO₂), Mallampati skoru ve boyun çevresi (BÇ) kullanılmıştır. Çıktı olarak ise standart AHİ aralıklarının bulanıklaştırılmasıyla oluşturulmuş bir ölçü kullanılmıştır. Uzman görüşlerine göre oluşturulmuş kurallara göre Mamdani yöntemini kullanarak sisteme girilen hasta verisinden bulanık bir sonuç elde edilmiştir. Sistemin son çıkışı olan tahminler bir önceki adımda elde edilen sonucun ağırlık merkezi yöntemi kullanarak keskinleştirilmesiyle elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen ciddiyet derecesi tahminlerine göre hastalar hafif, orta ve ağır OSAHS'lı şeklinde sınıflandırılmıştır. Son olarak, tahmin sonuçları hastaların gerçek AHİ değerleri ile karşılaştırılmıştır ve model, geliştirilmesi esnasında verileri kullanılmayan hastalar üzerinde sınanmıştır.

SEVERITY DEGREE PREDICTION OF OBSTRUCTIVE SLEEP APNEA HYPOPNEA SYNDROME USING FUZZY EXPERT SYSTEM

SUMMARY

OSAHS is an important health problem which results from repetitive obstructions in upper airways. In apnea, respiration completely arrests whereas airflow partly continues in hypopnea. Arrests or reductions in airflow lead to oxygen desaturation in blood, and this in turn, causes arousals. Insufficient sleep may lead to daytime sleepiness, fatigue and even traffic and occupational accidents. Also, it is detected that OSAHS is related to arterial hypertension, hypercoagulability, reduced cerebral perfusion, atherosclerosis, cardiac arrhythmia, coronary artery disease, congestive heart failure, ischemic stroke, axonal peripheral neuropathy and diabetes mellitus. Prevalence of the disease is 4% among middle-aged men, and 2% women in the same age category. It is predicted that these ratios increase for 65 age and older.

OSAHS is diagnosed and graded by analyzing some physiological parameters such as brain and heart signals, oxygen saturation, airflow, respiratory movements which are obtained in sleep laboratories by means of PSG. Laboratory tests alone are not sufficient for diagnosis. Results must be interpreted by experienced staffs. However, manual scoring of the resulting recording entails too much effort and time to the medical specialists and as a consequence it implies a high economic cost. Also, in order to obtain accurate results, these minimal conditions have to be provided: Sound proof and climatized room that can be kept in complete darkness, a comfortable bed and the technical installations for recording the biological signals, avoiding the patient from the use of sleeping pills or narcotics several days before the study and from strenuous physical exercise on the day of the study, and not to drink coffee, black tea or alcoholic beverages. Insufficiency in one of these conditions may result in misleading results by reducing sleep quality. Moreover, OSAHS may be result from sleeping in supine position and it is shown that PSG may overestimate the severity of OSAHS in some patients with positional OSAHS. Another problem lies

in the classification OSAHS patients according to their severity degree using crisp AHI intervals, because in contrast with one standard AHI intervals, there are 3 different hypopnea definitions. These differences in definition lead to misclassifications when the standard AHI intervals are not adjusted. Therefore, this indicates the need for more flexible AHI intervals rather than crisp ones.

Expert systems are used for decision making in various fields such as agriculture, chemistry, space technology, geology and medicine. The basic idea behind ES is to transfer the vast body of task-specific knowledge from a human to a computer. This knowledge is then stored in the computer and users call upon the computer for specific advice as needed. The computer can make inferences and arrive at a specific conclusion. Then like a human consultant, it gives advices and explains, if necessary, the logic behind the advice. Zadeh's introduction the fuzzy sets enable to use both numerical and linguistic variables together, and provide expert systems with the ability of human-like reasoning. Therefore, expert systems can be solution for the problem uncertainty in medical data and its classification which arises from the complex nature of medicine.

The aim of the study is to design a fuzzy expert system to predict the severity degree of OSAHS by using data which is predominantly collected through physical examination. Determining OSAHS severity is important because first, it is also an indicator for some of serious health problems such as heart diseases, hypertension and second, there is need for measures to evaluate treatment response.

Pre-operation data of 24 patients who had robotic surgery for treatment of OSAHS are used. Data is divided into two: 14 of them for designing the fuzzy expert system and 10 patient data for testing the model. min SpO₂, body mass index, Mallampati score, and neck circumference information are used as inputs of the system. 14 patients also had oxygen desaturation index (ODI) data and a second system which uses ODI instead of min SpO₂ was designed. However, this system could not to be tested since the patients in test group did not have the ODI data. Both the inputs and output is fuzzified as the first step of the design. Then, fuzzy output is obtained via Mamdani inference method according to constructed rules which are based on domain expert views. Finally, the fuzzy output is defuzzified by centroid method in order to get crisp prediction for a given input. All these steps are performed using the FIS tool of Matlab version of R2013a.

The output is severity prediction which is formed based on AASM 1999 AHI criteria. Then, this prediction compared with the actual AHI scores of the patients. Classification accuracy for the patients in the first group (design) is 0.79 and correlation between our prediction and AHI is 0.61. However, data of 4 patients seemed to be inconsistent with their AHI. After consulting domain experts it is learned that this situation resulted from some other factors which affect OSAHS severity such as obstructions in soft palate, oropharynx and epiglottis. These patients are excluded since no data is available to evaluate these obstructions. After these exclusions, classification accuracy rises 100%, and correlation coefficient becomes 0.89. Second system could classify 12 patients accurately and correlation between its prediction results and AHI is 0.78. After same exclusions, accuracy becomes 100% and correlation reaches to 0.88. For the test result, classification accuracy is 90% and value of correlation coefficient is 0.58. Inconsistency problem here is also available for 1 patient. After leaving this patient out, accuracy and correlation coefficient become 100% and 0.82.

The study shows that fuzzy logic can be successfully applied for OSAHS severity degree prediction problem and a possibility of simpler alternative to PSG and proposes fuzziness in standard AHI intervals as different point of view.

1. GİRİŞ

Tıkayıcı (Obstrüktif) uyku apne sendromu uyku sırasında üst hava yolundaki tekrarlayan tıkanıklıklar sonucu gelişen, birçok vücut sistemini ilgilendiren önemli bir sağlık sorunudur. Hastalık kendini solunumun tamamen durduğu apne ya da kısmen azaldığı hipopne ile gösterir. Bu yüzden hastalık tıkayıcı apne hipopne sendromu (OSAHS) olarak da adlandırılır [1]. Solunumdaki azalma veya durma kanda oksijen (O_2) doygunluğunun azalmasına ve nefes alma için daha fazla gayret harcanmasına neden olarak uyanmalara yol açar. Bu durum gün içinde uyku hali, yorgunluk ve odaklanma sorunlarına neden olduğundan trafik ve iş kazalarına yol açabilmektedir [2, 3]. Bunun yanı sıra OSAHS'ın arteriyel hipertansiyon, hiperkoagülabilité, azalmış serebral perfüzyon, ateroskleroz, kardiyak aritmi, koroner arter hastalığı, konjestif kalp yetmezliği, iskemik inme, aksonal periferik nöropati ve diabetes mellitus hastalıkları ile ilişkili olduğu görülmüştür [4]. Bu hastalık orta yaş grubu erkeklerde %4, kadınlarda ise %2 oranında görülmektedir [5]. 65 yaş ve üstü içinse hastalık prevalansının arttığı görülmüştür [6].

OSAHS tanısı polisomnografi (PSG) yardımı ile uyku laboratuvarlarında hastalık şüphesi bulunan kişilerin uyku ve solunumla ilgili fizyolojik parametrelerin incelenmesiyle yapılmaktadır. OSAHS varlığı ve ciddiyet seviyesi bu parametrelerin incelenmesiyle yapılan skorlamalar sonucu elde edilen apne hipopne indeksi (AHİ) ile belirlenir. Ancak geçerli olan 3 farklı hipopne tanımına karşılık aralık sınırları keskin tek bir AHİ standardının bulunması hastalık varlığı ve ciddiyetiyle ilgili sonucu etkileyebilmektedir. Değişen tanımlara göre aralıkların sınırları değiştirilmediği takdirde standart tanıma göre sonucu pozitif olan kişilerin %40'ına kadarının negatif olduğu görülmüştür [7]. Üstelik PSG sonuçlarının skorlama işleminin el ile yapılması uzman için oldukça yorucu ve zaman alıcı olması maliyetin artmasını beraberinde getirir [8]. Tüm bunlar ve uzmanlar ile yapılan görüşmeler sonucu elde edilen bulgular sınırları esnek AHİ aralıklarının ve hastalığın teşhisine yardımcı, PSG'ye alternatif yöntemlerin gerekliliğine işaret etmektedir.

Uzman sistemler tarım, kimya, uzay teknolojisi, jeoloji ve tıp gibi çeşitli alanlarda karar vermede destek aracı olarak kullanılmaktadır [9]. Uzman sistem kendisine depolanan konuya özel bilgi ve verileri kullanarak çıkarımlar yapan, tavsiyeler verebilen ve gerektiği takdirde ulaştığı sonucun arkasındaki mantığı açıklayabilen programlardır [10]. Zadeh'in 1965'te önerdiği bulanık kümelerin hem sayısal hem de dilsel değişkenlerin bir arada kullanılmasına olanak tanınması, uzman sistemlerin insaninkine benzer bir akıl yürütme becerisini kazanması sağlamıştır. Bu sayede bulanık uzman sistemler (BUS) tıbbın karmaşık doğasından kaynaklanan verilerdeki ve sınıflandırmadaki belirsizliğe çözüm olabilmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı OSAHS'in ciddiyet derecesini ağırlıklı olarak fiziksel muayene ile elde edilen verilerle tahmin etmek üzere bir BUS tasarlamaktır. Ciddiyeti belirlemek önemlidir zira OSAHS kalp hastalığı, hipertansiyon gibi önemli başka hastalıklara yol açabilmektedir. İkincisi, OSAHS tedavisine verilen cevabı değerlendirmek için ölçülere ihtiyaç duyulmaktadır. BUS girdi ve çıktıların üyelik fonksiyonlarıyla (ÜF) bulanık kümelere ayrıldığı, alan uzmanı veya veriler yardımıyla oluşturulan kurallar vasıtasıyla bu kümeler arasında ilişkilerin kurulduğu ve yeni bir veri girildiğinde oluşturulan kurallar uyarınca çıkarım yapabilen sistemlerdir. Bu çalışma kapsamında girdi olarak VKİ, min SpO₂, Mallampati skoru ve BÇ kullanılmıştır. Çıktı ise ciddiyet dereceleri arasındaki keskin geçişleri yumuşatmak için standart AHİ aralıklarının bulanıklaştırılması ile oluşturulmuştur. Daha sonra elde edilen ciddiyet derecesi tahminlerine göre hastalar hafif, orta ve ağır OSAHS'lı şeklinde sınıflandırılmıştır. Eldeki verilen OSAHS teşhisi konmuş kişilerden oluştuğundan sağlıklı olma durumu dikkate alınmamıştır. Son olarak, tahmin sonuçları hastaların gerçek AHİ değerleri ile karşılaştırılmıştır ve model, geliştirilmesi esnasında verileri kullanılmayan hastalar üzerinde sınanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Tıp alanında uzman sistemlerin kullanılması Zadeh'in bulanık kümelerle ilgili çalışmasından yaklaşık bir 10 yıl sonra MYCIN ile başlamıştır [11]. MYCIN, Boolean cebri ve örüntü eşleştirmeye dayanan, tanı işleminde karar desteği için kullanılan bir sistemdi. MYCIN'de her ne kadar bulanık mantık kullanılsa da en

önemli bileşenlerinden birinin kesinlik faktörleri olması, tıbbi kararlar verirken belirsizliğin önemli rol oynadığının fark edildiğini göstermektedir. Bulanık mantığın tıptaki ilk başarılı uygulamalarından biri CADIAG ile olmuştur. Bu uzman sistemde tıbbi kayıtlar hastane bilgi sistemlerinden alınmıştır. Daha sonra bu bilgiler bulanıklaştırılmış ve kurallar oluşturulmuştur. Sistem teşhis bilgisini üretmek için bulanık çıkarım kullanmıştır. SPHINX ve CLINAID de bulanık mantığın kullanıldığı erken tarihli uzman sistemlerdendir [11].

Bulanık mantığın tıp alanında karşılaşılan belirsizlikleri yönetmekteki başarısı ve uzman sistemlerde kullanıldığında elde edilen sonuçlar BUS'ların tıbbın pek çok dalında çeşitli amaçlarla kullanıldığı çalışmaların yapılmasına sebep olmuştur. Bu bölümde gelecekteki çalışmalara yön gösterme amacı doğrultusunda geçmiş çalışmalara yer verilmiştir.

Abdullah ve ark., BUS kullanarak hipertansiyon riskini belirlemiştir. Girdi verileri olarak yaş, VKİ, kan basıncı ve kalp atış hızını (dakikadaki kalp atışı sayısı) kullanmışlardır [12]. Riberio ve ark., yaş, menapoza girme yaşı, basitleştirilmiş bulanık VKİ (standart VKİ'deki sınırları belli sınıfların bulanık kümelere uyarlanmış hali) ve hormon replasman tedavisi (menapoz dönemi rahatsızlıklarını tedavi etmek için üretimi eksilen hormonların tedarikini içeren bir tedavi) uygulanma bilgilerini kullanarak, göğüs kanseri riskini orta, yüksek ve çok yüksek şeklinde dilsel terimlerle ifade etmişlerdir [13].

Neshat ve ark., BUPA karaciğer bozuklukları veri setini kullanarak karaciğer bozukluğunun teşhisinde ve bu bozukluğun ciddiyetini düşük veya yüksek olarak belirleyen bir BUS geliştirmişlerdir [14]. Lee ve Wang diyabet hastalığı için karar desteği sağlayan ontoloji tabanlı bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sistem 5 katmanlı bir bulanık ontolojisi, bulanık diyabet ontolojisi ve anlamsal bir karar destek aracısını içermektedir [15].

Allahverdi ve ark., yaş, kolesterol seviyesi, yüksek yoğunluklu lipoprotein (HDL) kolesterolü ve kan basıncı verilerini kullanarak hastanın 10 yıllık koroner kalp hastalığı risk oranını belirlemişlerdir. Cinsiyet ve sigara kullanımı da risk üzerinde etkili olmasına rağmen ikili değerler alan değişkenler olduğundan bunlar sisteme girdi olarak verilmek yerine, bulunabilecekleri 4 farklı durum için 4 farklı kurallar kümesi oluşturulmuştur. Hesaplanan risk değeri ve düşük yoğunluklu lipoprotein

(LDL) kolestrolünün seviyesine göre sistem doktora çıkan sonuca göre hastanın normal yaşantısına devam etmesini, beslenme biçimini değiştirmesi ya da ilaç tedavisi görmesini gerektiği şeklinde çeşitli alternatifleri sunmaktadır [16].

Keleş ve arkadaşları UCI makine öğrenmesi veri deposundan aldıkları 516 iyi huylu, 445 kötü huylu kitleleri içeren 6 öznitelik içeren verileri kullanarak göğüs kanseri teşhisi yapan bir nöro BUS geliştirmişlerdir. BUS'tan farklı olarak nöro BUS'ta kurallar yapay sinir ağlarının kullanıldığı öğrenme algoritmalar ile oluşturulmuştur. Kullanım kolaylığı olması açısından geliştirdikleri sistem için bir kullanıcı ara yüzü de tasarlamışlardır [17]. Castanho ve ark. 311 hastanın verilerini kullanarak genetik bulanık sistem ile hastalardaki prostat kanserinin hangi aşamada olduğunu belirlemişlerdir. Genetik bulanık sistem kuralların, üyelik fonksiyonlarının oluşturulması, parametrelerin ayarlanması gibi işlemler için genetik algoritmanın kullanıldığı, tıpkı nöral BUS gibi, melez bir sistemdir [18].

Oladele ve ark. adaptif nöro bulanık inferans sistemini (ANFIS) sıtma teşhisi için kullanmışlardır. Her hasta için öznitelikleri semptomlar olan ve semptomların varlığı ya da yokluğuna göre 1 veya 0 değerleri alan vektörler oluşturmuştur. Sistemin girdisi bu vektörler olup, çıktısı sıtma teşhis edildiğinde 1, aksi halde 0'dır. Öğrenme algoritması olarak danışmanlı (supervised) ve danışmansız yöntemlerin bir arada kullanıldığı melez öğrenme metodunu tercih etmişlerdir [19].

Ali Keleş ve Aytürk Keleş ESTDD olarak isimlendirdikleri nöro BUS'u tiroit hastalığını teşhis etmek için kullandı. 215 örnek, 3 sınıf ve 5 öznitelikten oluşan bir veri seti kullanmışlardır. ESTDD'nin kullanıcı ara yüzü ve hasta bilgilerinin saklandığı bir veri tabanı da vardır. Sistemin teşhis doğruluğu %95.33'e ulaşmaktadır. Ayrıca ESTDD'nin doktorların eğitimi amacıyla da kullanılabilme özelliği vardır. Sistem rastgele seçtiği hastanın verilerini ekrana getirerek, doktordan teşhis yapmasını istemektedir. Daha sonra kendi teşhisi ya da sisteme daha önce kaydedilmiş bir teşhis varsa bununla doktorun teşhisini karşılaştırıp sonucu göstermektedir [20].

Anestezi alanı tıpla ilgili bulanık kontrol uygulamalarının en fazla yapıldığı alanlardan biridir. Hastaların yaşamsal parametrelerinin izlenmesi ve ilaç enjeksiyonun hastanın anestezi durumunda kalmasını sağlayacak şekilde kontrol edilmesini sağlayan çalışmalar içermektedir. Bu çalışmalardan bazıları, anestezi

derinliğinin ayarlanması [21], kas gevşetilmesi [22], anestezi sırasında hipertansiyonun kontrolü [23] ve operasyon sonrası kan basıncının korunmasını ele almaktadır [24].

Kalbin bir pompa gibi işlev görmesi bulanık kontrolün yapay kalplerle ilgili çalışmalarda uygun bir araç olmasını sağlamıştır. Lee ve ark., yapay kalpler için nöral ve bulanık kontrolörlerin kullanıldığı ileri bir sistem geliştirmiştir [25]. Olegario ve ark, vücudun değişen ihtiyaçlarından kaynaklanan kan akış hızındaki ani değişimler sonucu yapay kalplerin atriyumunda oluşan negatif basıncın neden olduğu kanın boşalması problemine çözüm geliştirmişlerdir [26].

Bulanık kontrolün kullanıldığı başka bir alanda şeker hastalığı tedavisinde kullanılan yapay pankreas uygulamalarıdır. Atlas ve ark., geliştirdikleri yapay pankreasta diyabet konusunda uzman kişilerin akıl yürütme şeklini taklit etmek için bulanık mantık teorisini uygulamışlardır. Bu sistem kandaki glukozu hipoglisemi ve hiperglisemiye olaylarının önüne geçmek için belli bir aralıkta tutmayı hedefleyen aralığı kontrol (control-to-range) ve glukoz seviyesini belli bir noktada tutmaya çalışan hedefli kontrol (control-to-target) yöntemlerini kullanmaktadır [27].

Fizyolojik parametreleri izleyip, bunlarda kritik değişimler meydana geldiğinde uyarı veren BUS'lar da tasarlanmıştır. Becker ve ark., ameliyat esnasında hastaların yaşamsal parametrelerini dikkate alarak kurallar ve bulanık çıkarım vasıtasıyla hastanın hemodinamik durumunu değerlendiren akıllı bir hasta izleme ve uyarı sistemi geliştirmişlerdir [28]. Yeni doğan bebeklerde oksijen seviyesinin fizyolojik sınırlar içinde tutulması kritik önemde olduğu dile getirilmektedir. Bu yüzden hayati parametreleri elektrokardiyografi, deri içine yerleştirilen kısmi oksijen basıncı izleyicisi ve puls (nabız) oksimetrisi ile sürekli izlenmektedir. Bu izleyiciler izlenen parametreler fizyolojik sınırların dışına çıktığında uyarı vermektedir. Ancak çoğunlukla bebeğin hareketinden kaynaklı oluşan dikkate değer miktarda yanlış uyarı da üretilmektedir. Wolf ve ark., bu duruma çözüm olarak bulanık mantığa dayanan otomatikleştirilmiş bir sistem geliştirmişlerdir [29].

Kanserin erken teşhisi tedavinin başarısı için kritik önemdedir. Bu yüzden belli yaşın üzerindeki hastaların rutin olarak çeşitli kanser taramalarından geçirilmesi önerilmektedir. Bu tarama yöntemlerinin vücuda zararlı bir etkisinin olmaması ve doğruluklarının yüksekliği önemlidir. Philips ve ark., 3 grup deneğe göğüs kanseri

işaretçisi olan uçucu organik bileşikleri gözlemlemek için nefes testi uygulamıştır. İlk grup anormal mamografili ve kanserleri biyopsi ile doğrulanmış olanlardan, ikincisi anormal mamografili ancak biyopsisi negatif olanlardan, diğer grup ise yaş olarak ilk grupla aynı olan sağlıklı kişilerden oluşmaktadır. Interrelative Miner bulanık mantık yazılımını kullanılarak 1. ve 3. gruptaki hastalar eğitim ve tahmin kümelerine rastgele atanmışlardır. Daha sonra sağlıklı ve hasta kişilerin tipiklik matrisleri belirlenmiş ve bunlar sağlıklı ve hasta olma durumlarının üyelik derecelerini hesaplamak için kullanılmıştır. Bu iki üyelik derecesi arasındaki fark göğüs kanseri tahmini için kullanılmıştır. Oluşturulan bu model anormal mamografi ve negatif biyopsi sonuçlu olan 2. grup üyeleri üzerinde sınanmıştır. Bulguları bu çalışmada kullandıkları bulanık mantık modelinin önceki bir çalışmalarında tahmin için kullandıkları diskriminant analize göre daha iyi sonuç verdiğini ve nefesteki uçucu organik bileşik analizine dayalı bu yöntemin güvenli bir alternatif olduğunu göstermiştir [30]. Şeker ve ark., ise hastalığın çeşitli evreleri boyunca uygulanması gereken tedavinin planlanmasında önemli olan prognoza yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında prognostik karar için bir kesinlik derecesi sağlayan bulanık k-en yakın komşu sınıflayıcısını göğüs kanseri işaretçilerini değerlendirmek için kullanmış, lojistik regresyon ve çok katmanlı ileri beslemeli geri yayılım sinir ağı yöntemleri ile karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar bulanık k-en yakın komşu yönteminin diğer iki yönteme göre tahmin doğruluğunu daha yüksek ve daha güvenilir bir prognostik model olduğunu göstermişlerdir [31]. Steinman ve ark., hastalık aşamalarının takibi için bir çerçeve önermiştir. Bu model hastalığın bir aşamadan diğerine ani ve kesikli bir şekilde değil, bir takım ara basamakları kat ederek geçmesini göz önünde bulundurup bulanık kümeleri kullanmışlardır [32].

BUS tıkayıcı ve diğer uyku apne çeşitlerinin belirlenmesinde de kullanılmıştır. Bonillo ve ark., hava akışı, solunum hareketleri (solunum sırasındaki göğüs ve batin hareketleri) ve kandaki oksijen doygunluğu sinyallerinden yola çıkarak uyku apne hipopne sendromu teşhisi yapmışlardır. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için sinyalleri bir ön işlemde geçirdiler. Bu işlemde sinyallerdeki artifaktlar belirlenerek yanlış pozitiflerin önüne geçilmeye çalışılmıştır. Solunum hareketleri ve hava akışı sinyallerindeki apne olaylarının olduğu aralıkları bulmak için geliştirdikleri algoritma ile belli uzunluktaki bir zaman aralığı penceresini tüm sinyal üzerinde yürütülüp, örnekleme yapılmıştır. Daha sonra her örneği temsilen bir genlik değeri

hesaplanmıştır. Bahsi geçen çalışmada pencere aralığı 2 dakikaya ayarlanıp bu pencereyi sinyal üzerinde yürüterek benzer şekilde referans genliği hesaplanmıştır. Eğer örnek genliği referans genliğinden %10 düşük ve örneğin aralığı 8 saniyeden büyükse, o örneğe karşılık düşen zaman aralığını olası apne olayı olarak işaretlemişlerdir. Bu işaretlenen olası apne olayları eğer altlarında kayda değer bir fizyolojik neden yatıyorsa apne olayı olarak düşünülmüştür. Yazarlar bu fizyolojik nedenin varlığını gösterebilmek için apneyi işaret edecek olayların belli bir zaman aralığında örtüşmesi gerektiği şeklinde yorum yapmışlardır. Zaman aralığının başlangıç noktası olarak oksijen desaturasyonunun bitimini almışlar ve buradan 30 saniye geriye giderek hava akışı ve solunum hareketleri sinyallerinde apneyi işaret eden değişimleri gözlemlemişlerdir. Başlangıç noktası olarak oksijen desaturasyonunun bitimini almalarının nedeni apne varlığının bu sinyalde diğer sinyallere göre belirli gecikmeyle görülmesinden dolayıdır. Eğer bu değişimler belirtilen zaman aralığında oluyorsa yazarlar bu aralıkta apne olayının olabileceği düşüncesine varmışlardır. Daha sonra elde edilen bu apne örüntülerini apne, hipopne veya yanlış pozitif şeklinde sınıflandırmak için bulanık çıkarım sistemi kullanılmıştır. Bu sistemde öncelikle örüntünün oksijen desatürasyonu sinyali süre ve genlik düşüşünün büyüklüğüne göre değerlendirilip, desatürasyon uzayı için üyelik derecesi belirlenmiştir. Bundan sonra, örüntünün hava akışı ve solunum hareket sinyalleri apne aralığının süresi ve bu aralıktaki genlik düşüşünün büyüklüğü ile önceki adımda bulunan üyelik derecesi hesaba katılarak belli kurallar altında apne, hipopne ve normal solunum çıkış değişkenleri için üyelik dereceleri belirlenmiştir. Son olarak, eğer apne veya hipopnenin üyelik derecesi normal solunumun üyelik derecesinden büyükse o örüntü apne olayı olduğu sonucuna varılmıştır. Göğüs ve batin hareket sinyallerinden elde edilen apne aralıklarındaki hareket yüzde bilgileri ikinci bir bulanık sisteme girilerek apnenin çeşidi tıkalı, merkezi veya bileşik olarak belirlenmiştir [33].

Nazeran ve ark., hava akışı sinyallerini kullanarak OSAHS'ı belirleyen bir bulanık çıkarım sistemi geliştirmişlerdir. Elde ettikleri sinyalleri bir dizi sinyal işleme adımlarından geçirdikten sonra ardışık 3 saniyelik aralıklar için alan ve standart sapmaları hesaplamışlardır. Bu çalışmada değerler hastalara göre değiştiği için her hasta için normal nefes alma sinyallerinin ilk 60 ya da 120 saniyesinde hesaplanan alan ve standart sapma değerleri ile normalize edilmiştir. Normalize edilmiş alan ve

standart sapma değerleri bulanık sistemin girdileri olarak kullanılmıştır. Bu girdilerin üyelik fonksiyonları 4 hastanın apne ve hipopne olaylarından türetilmiştir. Bu adımdan sonra gelen bulanık çıkarım, ya da başka bir deyişle kural değerlendirme, Mamdani yöntemiyle yapılmıştır. Son adım olan netleştirme (defuzzification) işlemi için centeroid yöntemi kullanılarak tıkayıcı uyku apnesi, hipopne ve normal nefes alma durumları için üyelik dereceleri belirlenmiştir [34]. Bu ve önceki çalışmanın amacı apne ve hipopne olaylarını fizyolojik sinyallerden belirlemek ve skorlama işlemine yardım edip onu otomatikleştirmektir. Ancak her iki çalışmada da PSG kullanılmaktadır.

Polat ve ark., PSG'den elde edilen uyanma (arousal) indeksi, AHİ, REM evresindeki minimum O₂ doğunluğu ve O₂ doğunluğunun %89'dan büyük olduğu aralıklardaki yüzde uyku süresi verileri ile ANFIS'i bire karşı hepsi yöntemiyle uygulayarak hastaları normal ile hafif, orta ve ağır OSAHS'lı şeklinde sınıflandırmışlardır. ANFIS'in her örnek için tek bir sınıf çıktıısı vermesi ancak buradaki problemin bulanıklığından doğan her örneğin üyelik dereceleriyle orantılı olarak birden fazla sınıfa ait olduğu gerçeği bire karşı hepsi yönteminin kullanım ihtiyacını doğurur. Bu yöntem çoklu sınıf problemini her sınıf için eğitim kümesini o sınıfa ait olan ve olmayanlar şeklinde iki sınıfa ayırmasıyla ikili sınıf problemine dönüştürmektedir [35]. Bu çalışmada yalnızca PSG verileri kullanıldığından başarısı PSG'nin başarısına bağlı olmaktadır.

Ohayon insomnia, OSAHS gibi uyku bozukluklarının epidemiyolojik çalışmalarında kullanılmak üzere Sleep-Eval isminde bir BUS geliştirmiştir. Bu sistem tipik uzman sistemler gibi bir bilgi tabanı, çıkarım motoru, kullanıcı ara yüzü içermekte ve ek olarak da 2 sinir ağı ve 1 matematiksel ön işlemci içermektedir. Bilgi tabanı uyku alışkanlıklarını, hijyenini DSM-IV ve ICSD-90 sınıflandırmalarına göre değerlendiren bir anket içermektedir. Anketteki her soruya sıklık, miktar, yoğunluk, derecelendirilmiş evet-hayırlarla (kesinlikle mevcut, kısmen mevcut, nerdeyse yok, vb.) ilgili seğenekler eşlik etmektedir. Çıkarım motoru bilgi tabanındaki bilgileri soru yöneltmek, hipotezler oluşturmak ve tanısal sonuçlara ulaşmak için kullanmıştır. Sistem öncelikle tüm deneklere uygulanan standart bir anketle başlar, daha sonra cevapları kullanarak bir takım tanısal hipotezler oluşturarak bunları daha ileri soru ve çıkarsamalarla doğrular veya reddeder. Bu işlem tüm olasılıklar tükenene kadar sürdürölmektedir. Sleep-Eval'de sinir ağı, çıkarım motoru tarafından deneklerin

cevapları ile kriter ve teşhislerdeki belirsizliği yönetmek için kullanılmıştır. İlk sinir ağı sabittir ve görevi bulanık cevap kümelerini yönetmektir. İkincisi ise dinamiktir ve görevi ICSD-90'da bulunan bir hastalığı teşhis etmekte kullanılan kriterlerin verilen cevaplara göre ağırlıklarını hesaplamaktır. Birikimli ağırlıklar bir hastalığın veya teşhisin varlığı ya da yokluğunun belirlenmesi için kullanılmaktadır. Matematiksel ön işlemci yaşı aylara veya haftalara ve saatleri dakika veya saniyelere çevirmek, semptomların süresini karşılaştırmak ya da sayısal bir tuş takımından girilecek yanıtların alabileceği değerlerin aralığını ayarlamak gibi bir dizi matematiksel işlem yapmaktadır. Bu prosedür semptomların birden fazla işaret ettiği durumlarda gerekli olan ayırt edici teşhiste semptomların ortaya çıkış sırasının bilinmesine ihtiyaç duyulduğunda kullanılmaktadır [36].

OSAHS olasılığını [37-39] ve uyku apnesinin [40] klinik skorunu tahmin için denklemler kullanan çalışmalar vardır. Bu modeller OSAHS hastası olan ile olmayanı ayırt etmek için hasta tarafından raporlanan semptomların bilgisiyle demografik ve antropometrik değişkenleri kullanmaktadır. Rowley ve ark. bu modellerin kullanılabilirliğini inceledi ve modellerin pozitif ve negatif durumları yeterince doğru ayırt edemediğini ancak yarı gece PSG uygulaması için hastaları önceliklendirmede yararlı olabileceği sonucuna varmışlardır [41]. Magalang ve ark. OSAHS teşhisinde puls oksimetrisinden elde edilen farklı indekslerin görece kullanılabilirliğini ve bunların kombinasyonunun AHİ tahmini geliştirip geliştirmediğini incelemişlerdir [42]. Marcos ve arkadaşları oksimetri verisinde zaman alanı ve frekans alanı öz niteliklerini elde ederek AHİ tahmini yapmış ve gerçek AHİ değeri ile bu öz niteliklerin arasında çoklu lineer regresyon ve çok katmanlı perseptron kullanarak ilişki kurmuşlardır [43]. Ancak bu 2 çalışma sadece oksijen doygunluğu gibi alacağı değerler üzerine obezite ve dil büyüklüğü gibi etkenlerin belirleyici olabildiği bir veriye odaklanmıştır.

Yapılan çalışmalar içerek analizinden geçirildiğinde BUS'ların tıptaki kullanım amaçlarının teşhis, kontrol, izleme ve tahmin şeklinde sınıflandırılmıştır. Çizelge 1.1'de yukarıda bahsedilen çalışmaların bu dört gruba göre sınıflandırılması görülmektedir. Bu tezdeki BUS tahmin yapma amacıyla tasarlanmıştır.

Çizelge 1.1 BUS'ların amaçlarına göre sınıflandırılması.

Amaç	Yazar	Çalışma
Teşhis	Keleş ve ark. (2011)	[17]
	Oladele ve ark. (2014)	[19]
	Keleş ve Keleş (2008)	[20]
	Bonillo ve ark. (2014)	[21]
	Nazeran ve ark. (2001)	[34]
	Polat ve ark. (2008)	[35]
Kontrol	Shieh ve ark. (2006)	[21]
	Chuang ve ark. (2009)	[22]
	Furutani ve ark. (2004)	[23]
	Ying ve Sheppard (1994)	[24]
	Lee ve ark. (1996)	[25]
	Olegario ve ark. (2003)	[26]
	Atlas ve ark. (2010)	[27]
İzleme	Becker ve ark. (1997)	[28]
	Wolf ve ark. (1996)	[29]
Tahmin	Abdullah ve ark. (2011)	[12]
	Riberio ve ark. (2014)	[13]
	Neshat ve ark. (2008)	[14]
	Lee ve Wang (2011)	[15]
	Allahverdi ve ark. (2007)	[16]
	Castanho ve ark. (2013)	[18]
	Philips ve ark. (2006)	[30]
	Seker ve ark. (2003)	[31]
	Steimann (1996)	[32]
	Ohayon (1999)	[36]
	Crocker ve ark. (1990)	[37]
	Dinges (1995)	[38]
	Viner ve ark. (1991)	[39]
	Flemons ve ark. (1994)	[40]
	Magalang ve ark. (2003)	[42]
	Marcos ve ark. (2012)	[43]

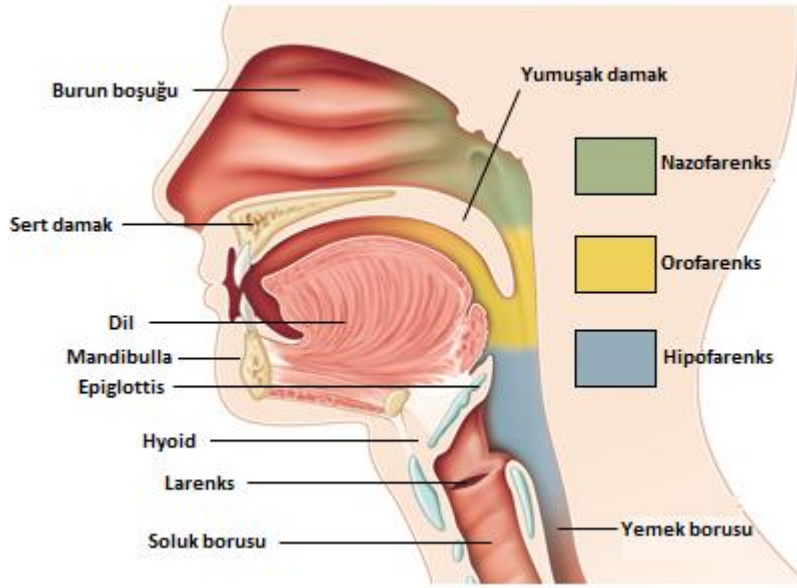
2. OSAHS

OSAHS uyku sırasında en az 10 saniye süren tekrarlayan tıkanmalar sonucu soluk alma ile içeri alınan havanın akışının azalması ya da tamamen durduğu bir hastalıktır [1]. Genellikle alveoler ventilasyonun azalması ile oksijen desatürasyonu, obstrüksiyon uzun sürerse hiperkapni ortaya çıkmaktadır. Apne veya hipopnenin sonlanması çoğunlukla uyanma ile olmaktadır. Tekrarlayan uyanmalar uyku bölünmelerine ve gündüz aşırı uykuya eğilime yol açmaktadır [44]. Yinelenen hipoksi ve hiperkapni olaylarının sempatik sinirleri uyarmasıyla oluşan nörolojik değişiklikler kardiyovasküler komplikasyonlara neden olmaktadır [45]. Sağlıklı insanda uyku sırasında sempatik sinir sistemi aktivitesi düşüktür. Uyanmalar ile artan sinirsel aktivite sonucu ani kardiyak ölüm, miyokard infarktüs, anjina olayları artmaktadır [46]. AHİ (uykuda saat başına düşen apne veya hipopne sayısı) değeri 5 veya üzerinde olması bir kişide OSAHS varlığını düşündürebilmektedir [47]. Ancak bazı yan şikayetler de bulunmalıdır. Bu ayrıntılar Tanı başlığı altında verilecektir.

Young ve ark., yaptıkları çalışmada sadece AHİ kriterini kullandığında hastalığın yaygınlığını erkekler için %24, kadınlar için %9 bulmuştur. Bu kritere gün içi uykulu olma durumunu da katınca oranlar erkek ve kadın için sırasıyla %4 ve %2 olmuştur. Ülkemizde ise yaygınlık %0.9-1 olarak tahmin edilmektedir [44].

2.1 Nedenleri

OSAHS temelde üst havayolu yapılarının kollabe olmaya eğiliminin daralma ve kapanmaya potansiyel oluşturmamasından kaynaklanmaktadır. Uyanırken farenksin açık kalmasını sağlayan refleksler uykuda zayıflayarak apne, hipopne gelişimini kolaylaştırmaktadır [48]. Şekil 2.1’de farenksin anatomik yapısı görülmektedir. Üst havayolunda tıkanma gelişmesinin temel olarak farengeal kasların tonusuna, inspirasyon esnasında oluşan negatif basınca ve üst havayolunun anatomisine bağlı olduğu görülmüştür [3].

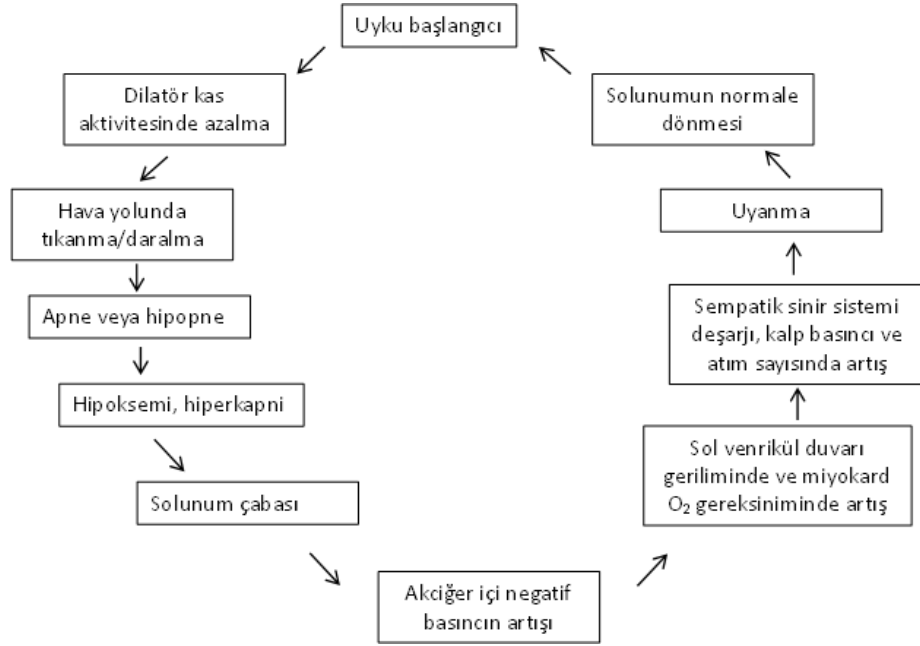


Şekil 2.1: Farenksin anatomik yapısı. Farenks nazofarenks, orofarenks ve hipofarenks olmak üzere 3 kısma ayrılır. [49]'dan uyarlanmıştır.

Burun ucu ve ağız içinden soluk borusuna kadar uzanan üst havayolunu daraltan tonsiller hipertrofi, büyük uvula, dil kökünde hipertrofi gibi patolojik durumlar soluk alımı sırasında normalden daha fazla negatif basınç oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum da obstrüktif apneye neden olmaktadır [4]. Farenksteki açıklığı kapanma yönünde etkiyen negatif intraluminal basınç kuvveti ve yağ dokusunun baskısı ile üst hava yolunu dilate eden kaslar arasındaki denge belirlemektedir [48]. OSAHS hastalarında mandibula uzunluğunda azalma, hyoid kemiğinde aşağı konumlanma gibi anatomik farklılıkların olduğu görülmüştür. Hava yolu uzunluğunda artışın farenks kapanma eğiliminde etkili olduğu fark edilmiştir. Farenks çevre yağ dokusu, dil hacmi, yumuşak damak ve farenks lateral duvarı hacimlerinin hastalarda normal durumdan daha fazla olduğu görülmüştür [1].

Burunda ortaya çıkan bir sorun OSAHS gelişimine neden olabilmektedir. Uyku sırasında ağız içi direnç burundakinden fazla olmaktadır. Dolayısıyla, burunda tıkanıklık meydana gelirse kemik bir çatıya sahip olmayan farenksin kapanması kolaylaşabilir [48]. Ağız açık şekilde uyumak, mandibulanın geriye gitmesine neden olacağından apneye neden olabilmektedir. Uykudayken üst hava yolunun tıkanmasında buradaki dilatör kaslar ile solunum kasları arasındaki uyumsuzluktan da kaynaklanabilir [1]. Normalde nefes alma sırasında üst hava yolu dilatörleri hava yolunu açık tutmak için solunum kaslarından önce kasılır. Uyku sırasında dilatör kaslara giden uyarının azalması nedeniyle bu kasların etkinliği azalır ve solunum

diyaframa bağlı hale gelir. Negatif solunum basıncına dayanamayan üst hava yolu en zayıf noktasından kapanır. Hastalığın patofizyolojik döngüsü şekil 2.2’de özetlenmiştir [1].



Şekil 2.2: OSAHS’ın patofizyolojik döngüsü. [1] ve [50]’den uyarlanmıştır.

2.2 Risk Faktörleri

Obezite: Fazla kilo hava yolu çevresinde yağ birikimini ve kasların etkinliğini azalttığından üst hava yolunun kapanma eğilimini artırmaktadır. Obezitenin OSAHS riskini, özellikle orta yaş yetişkinlerde, 10-14 kat artırdığı görülmüştür [1].

Anatomik etkenler: Geniz etinin bulunması, bademciğin büyük olması soluk alma sırasında hava yolu negatif basıncını artırdığından hava yolu direncinin artışına neden olmaktadır [50]. Bunun dışında çenenin küçük olması (mikrognati) veya alt çenenin geride olması (retrognati) gibi kraniyofasiyel bozukluklar, tiroid yetmezliği (hipotroidizm), akromegali, dilin normalden büyük olması (makroglossi) ve düşük damak hastalıkları neden oldukları anatomik değişikliklerden ötürü OSAHS riskini arttırmaktadır [1].

Sigara, alkol ve sakinleştirici kullanımı: Alkol ve sedatifler dilatör kasların etkinliğini ve oluşan apne veya hipopneye uyanmayla verilen cevabı azaltmaktadır. Apnelerin sayısı ve sıklığının alkol alımı sonrası uykuda daha şiddetli olduğu

görülmüştür. Sigara doğrudan üst solunum yolları inflamasyonu ile solunum direncinin artmasına neden olmaktadır [4].

Genetik: Semptom ve laboratuvar bulgularının OSAHS hastalarının akrabalarında normal nüfusa göre hastalığın daha sık görülmesi OSAHS gelişiminde genetik faktörlerin rolü olduğunu düşündürmektedir [4].

Yaş: İleri yaşta üst solunum yollarındaki kasların tonusu azalır. Hastalığın yaygınlığı orta yaş üzerindeki kişilerde gençlere nazaran 2-3 kat daha fazladır [50]. Ancak yaşına tek başına önemli bir risk faktörü olup olmadığı kesin değildir [1].

Cinsiyet: Hastalık erkeklerde kadınlardan iki kat sık görülmektedir [50]. Erkeklerin farengeal anatomik yapıları ve havayolu morfolojileri (yağ dağılımı, kraniyofasial boyutlar v.s) farenkste tıkanma oluşumunu kolaylaştırmaktadır [4]. Ancak menopoz sonrası kadınlarda hastalık sıklığının artması prevalanstaki farkın hormonlardan kaynaklanabileceğini düşündürmektedir [50].

2.3 Tanı

OSAHS tanısı fizik muayene ile semptomların gözlenmesi ve bunların genellikle PSG'nin kullanıldığı laboratuvar sonuçlarıyla birleştirilmesi sonucu konur. Bu bölümde sırasıyla semptomlar, PSG ve PSG dışındaki alternatif yöntemler incelenecektir.

2.3.1 Semptomlar

Horlama: Her ne kadar OSAHS'da %70-95 oranla en sık görülen semptom olsa da, hasta olmayan kişilerde de görülebileceği için tanı koymak için tek başına yeterli bir bulgu olmamaktadır. Horlama şikayeti olan hastaların %35'inde OSAHS tespit edilmiştir [4]

Gündüz uykululuk hali: Hasta tekrarlayan apnelere cevap olarak uyandığından uykunun REM evresinde yeterince kalamayıp, gecenin büyük bölümünü yüzeysel uykuda geçirmektedir. Bu nedenle gündüz aşırı bir uyku ihtiyacı hissetmektedir. Ancak bu uykululuk hali insomnia gibi başka uyku bozukluklarında da görülebileceğinden spesifik olmayan bir semptomdur. Gündüz uykululuğu nicilemek için Epworth uyku ölçeği (ESS) kullanılmaktadır. Hastalara otururken, kitap

okurken, televizyon izleme veya arabada trafik ışığında bekleme gibi durumlar esnasında uykuya dalma şanslarını soran ve bu ihtimali 0'dan 3'e kadar değişen sayılarla değerlendirmelerini isteyen bir anket uygulanmaktadır [51]. Anketin sonucu 10 ve üzerindeyse sonuç pozitif olarak kabul edilmektedir [52].

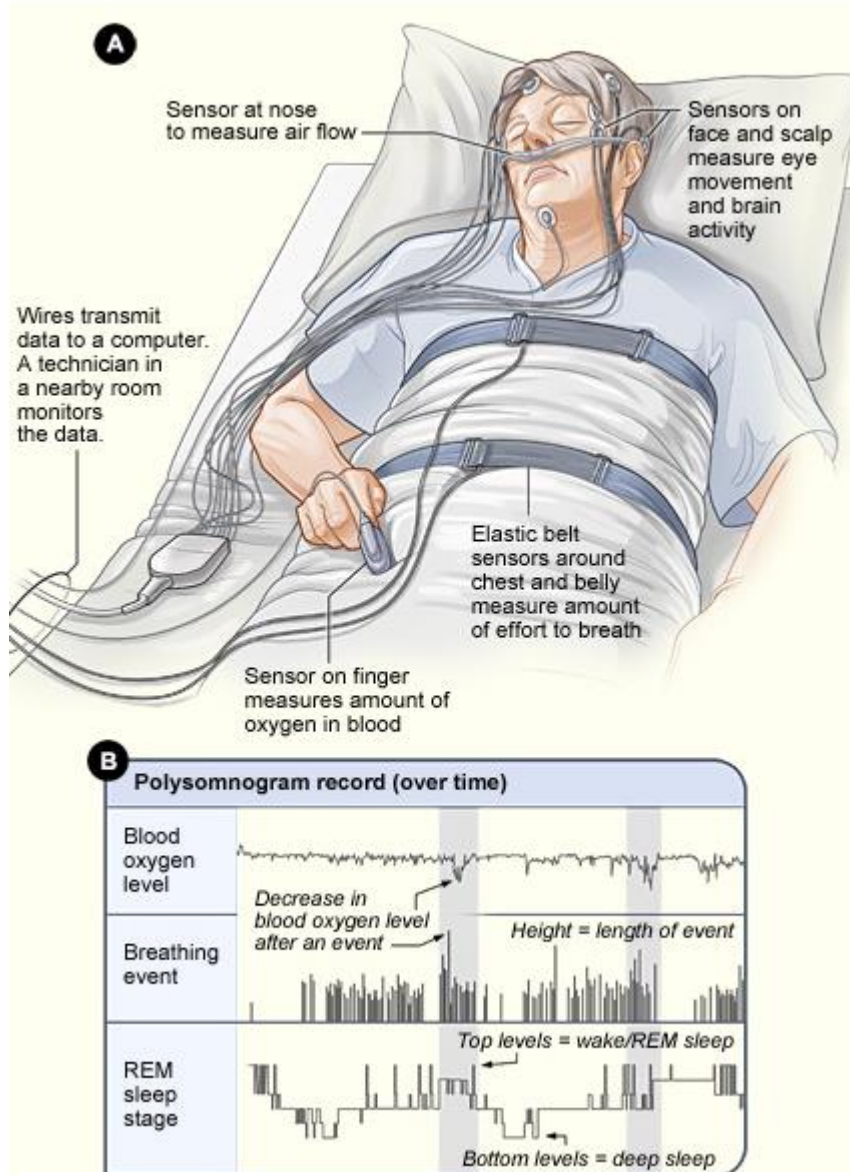
Yukarıda bahsedilen ana semptomların yanı sıra, unutkanlık, dikkat dağınıklığı, reflü, impotans, ağız kuruluğu, geceleyin öksürmeleri bir takım ikincil semptomlar da görülebilir [4].

2.3.2 PSG

Bu yöntemle kişinin OSAHS olup olmadığı ve hastalık varsa bunun ciddiyeti belirlenmektedir. Uyku merkezlerinde uygulanan bu yöntemde kişinin uyku sırasındaki solunumsal, sinirsel, kardiyovasküler gibi fizyolojik parametreleri ile bir takım fiziksel parametreleri de kaydedilmektedir.

PSG sırasında vücuttaki çeşitli biyolojik sinyallerin kaydı bir dizi cihaz birlikte yapılmaktadır. EEG ile beyindeki sinyallerin frekansları belirlenerek kişinin hangi uyku evresinde olduğu saptanmaktadır. Uyku evrelerinin belirlenmesi için EEG'nin yanı sıra, hızlı göz hareketlerini belirlenmesinde EOG ve kas hareketlerini kaydetmede EMG cihazları da kullanılmaktadır [1,4]. Boyna yerleştirilen bir mikrofona horlama kaydedilmektedir. Parmak üzerine yerleştirilen puls (nabız) oksimetrisi kandaki oksijen doygunluğu ve nabzın izlenmesine yarar. Hava akışı burnun yanına veya içine yerleştirilen basınç dönüştürücüsü (transducer) veya ısılıçift (thermocouple) ile belirlenir. EKG, apne kaynaklı desatürasyonun kalpte ritim bozukluğuna yol açıp açmadığını göstermektedir [1]. Solunum çabası karın ve göğüs çevresine sarılan elektrotlar yardımıyla gözlenir. Şekil 2.3'te örnek bir PSG kurulumu görülmektedir. Bu cihazlardan elde edilen sinyaller yardımıyla apne ve hipopne sayısı belirlenmektedir. Örneğin hava akımı sinyalinin tamamen düzleşmesini veya genliğinde en az %30 azalmayı O₂ doygunluk sinyalinde bir düşüş ve uyanma takip etmesi apne veya hipopneye işaret eder [1]. Belirlenen apne ve hipopne sayıları saat cinsinden uyku süresine bölünerek OSAHS'ın varlığının saptanması ile derecelendirilmesinde kullanılan AHİ elde edilir. Farklı OSAHS seviyelerini gösteren AHİ aralıkları Çizelge 2.1'de, OSAHS için karakteristik PSG bulguları Çizelge 2.2'de görülmektedir.

Polysomnogram



Şekil 2.3: Örnek bir PSG kurulumu [53]. B’de kandaki O₂ seviyesi, solunum olayları ve REM evresi kayıtları görülmektedir.

Çizelge 2.1 : OSAHS’ın sınıflandırılması [54].

AHI	Ciddiyet
<5	Normal
4-15	Hafif OSAHS
14-30	Orta OSAHS
≥30	Ağır OSAHS

Çizelge 2.2 : PSG sonucu OSAHS'a işaret eden bulgular [4].

Bulgular
Yüzeyel uyku süresinde artış, derin uyku ve REM uyku süresinde azalma
Sık tekrarlayan apneler, hipopneler ve uyanma reaksiyonları
Sık tekrarlayan oksijen desatürasyonu epizodları
Apnelerin sıklığı/süresi ve oksijen desatürasyonunun derecesi/süresi artış
Apne esnasında tipik olarak paradoksal göğüs ve karın hareketleri
Apne esnasında bradikardi, sonrasında ise taşikardi ve ritim bozukluğu
Sık tekrarlayan apne epizodları ile kesilen düzensiz ve gürültülü horlama sesi

2.3.3 Alternatif tanı yöntemleri

Bu yöntemler PSG yerini tutmasa da, PSG uygulanması gereken hastaların belirlenmesi için kullanılabilir [4]. Her OSAHS şüphesiyle gelen hastaya PSG uygulanması bu işlemin uzman ekip gerektirmesi, pahalı olması, zaman alıcı olması, hem dünyada hem ülkemizde uyku çalışması yapılabilecek nitelikli uyku laboratuvarı sayısının yeterli olmaması nedeniyle ekonomik ve pratik açıdan uygulanabilir görünmemektedir [4]. Alternatif tanı yöntemleri radyolojik, endoskopik ve diğer yöntemler başlıkları altında incelenecektir.

2.3.3.1 Radyolojik yöntemler

Sefalometri, bilgisayarlı tomografi (CT) ve manyetik rezonans görüntüleme (MRI) solunum yolu görüntülenmesinde kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır [4, 44].

Diş hekimleri ve ortodontistler tarafından sıklıkla kullanılan sefalometri ile baş ve boynun lateral grafisi çekilerek, kemik ve yumuşak dokular iki boyutlu olarak değerlendirilmektedir [55]. Özellikle genç ve obez olmayan hastalarda üst solunum yolunu kapatan alt ve üst çene bozukluklarını saptanmak ve buna yönelik tedaviyi planlanmak için kullanılabilir [44].

CT OSAHS teşhisi için sıklıkla kullanılsa da solunum yolunun nazofarenksten larenkse kadar olan tüm anatomik boyutunun, yumuşak doku ve kemiksel oluşumlarının kesitsel alanlarını gösterdiğinden damak ve dil gerisindeki bölgelerin değerlendirilmesinde faydalı olabilmektedir [44].

MRI üst solunum yolundaki yumuşak dokuların aksiyal, sagittal, koronal kesitsel alan ve hacimlerini en iyi şekilde gösteren yöntemlerden biridir. Dezavantajı pahalı olması ve görüntüleme işleminin uzun sürmesidir [44].

2.3.3.2 Endoskopik yöntemler

Endoskopi OSAHS'a neden olan tıkanıklıkların yerini ve derecesi belirlemek için hastalara uyanırken veya uyurken uygulanabilir. Uyanırken bu işlem Müller manevrası ile gerçekleştirilmektedir. Uygulama sırasında uykudaki negatif inspiratuar basınç taklit edilmeye çalışılsa da hastanın çeşitli ilaçlarla uyutulduğu uyku endoskopisinde daha başarılı sonuçlar elde edilmektedir [55].

2.3.3.3 Diğer yöntemler

Hastalara PSG uygulanmadan önce kardiyak patolojilerinin varlığını gösteren EKG, polisitemi varlığını gösteren tam kan sayımı, gündüz oksijenizasyon ve alveoler ventilasyonun göstergesi olan arter kan gazları, ek solunum hastalıklarının göstergesi olarak akciğer grafisi ve solunum fonksiyon testleri yapılabilir. Bunların yanı sıra OSAHS'a neden olabilecek hipotiroidi, akromegali, obezite gibi hastalıkları ve komplikasyonları belirlemek için tiroid, hipotalamus ve hipofiz hormon testleri istenebilir [44].

2.4 Tedavi

Tedavide öncelikli olarak risk faktörlerinin azaltılması veya ortadan kaldırılması hedeflenmektedir. Bunlar zayıflama, alkol, sigara ve sedatiflerden uzaklaşma, kilo verme sayılabilir. Hastalarda zayıflama ile AHİ'de azalma ve uyku kalitesinde düzelme gerçekleşebilir [55]. Hatta bazen yalnızca kilo vererek hastalığın iyileştiği görülmüştür. En az %10 oranında zayıflamak, birçok semptomun düzelmesine neden olabilir [44]. Buna ek olarak sırtüstü pozisyonda uyumanın engellenmesiyle pozisyona bağımlı hafif OSAHS'lılarda uykudaki solunum bozukluklarının düzeldiği görülmüştür [4].

Farengeal dilatatör kas tonusunu artırarak apneleri engelleyen, uyku yapısını bozmayan ve önemli yan etkileri olmayan bir ilaç bulunmamaktadır. Protriptilin, medroksiprogesteron, asetazolamid gibi ilaçlar kısmen başarılı sonuçlar verse de mevcut durumda ilaç OSAHS tedavisinde bir seçenek olarak görünmemektedir [56].

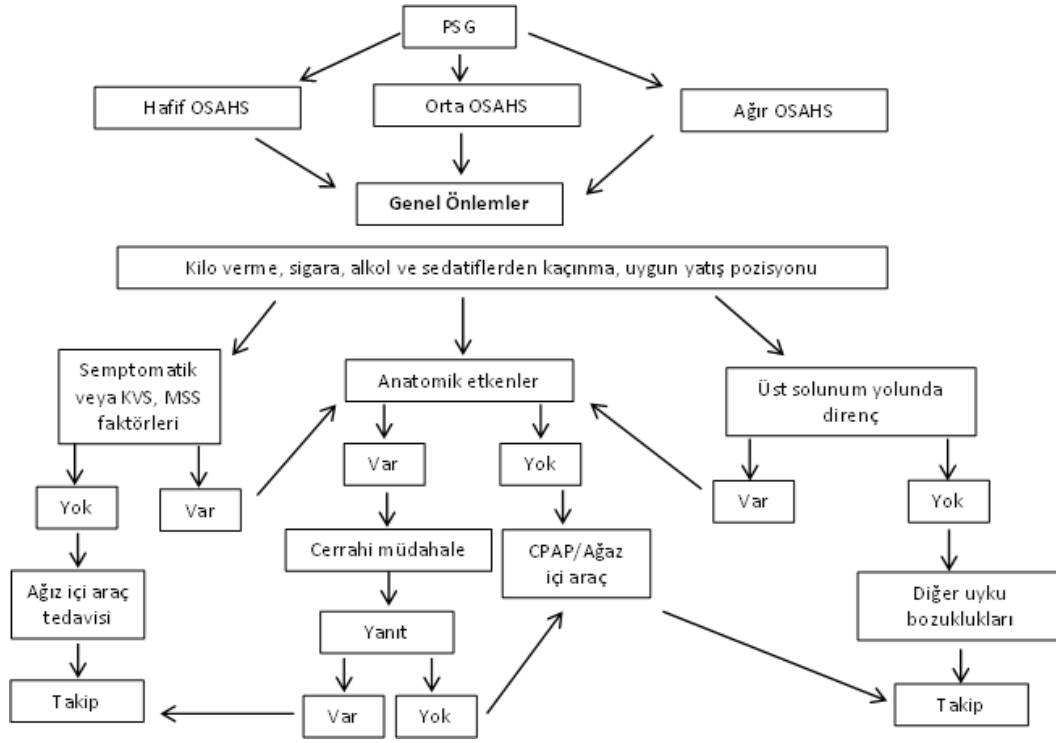
Sık karşılaşılan bir hastalık için basit ve etkili tedavi arayışı ağız içi aygıtlarla tedavi seçeneğinin gelişmesini sağlamaktadır. Bu tedavi şeklinde alt çene ve/veya dilin repozisyonu ile üst solunum yolunun daralma ve kollabe olma eğiliminin azaltılması hedeflemektedir [57]. Hafif ve orta dereceli OSAHS'lılarda, CPAP tedavisi kullanılamayan olgularda alternatif bir tedavi seçeneği olarak görülmektedir [44].

Sullivan ve ark., tarafından ilk kez tanımlanan CPAP gösterdiği başarı nedeniyle orta ve ağır OSAHS tedavisinde altın standart olarak kabul edilmektedir [80]. Bu yöntem manuel veya otomatik olarak PSG ile elde edilen verilere dayanarak titre edilmiş sabit basınç verilerek uygulanmaktadır (Şekil 2.4). Titrasyonun amacı, gece boyunca oluşabilecek tüm tıkanma olaylarını engelleyebilecek en düşük basıncı saptamaktır [58]. CPAP etki mekanizmasına dair en çok kabul gören görüşe göre pozitif basıncın bir tür stent gibi üst hava yolu kollapsını engelleyip ve açıklığı devam ettirmektedir [4]. CPAP tedavisi OSAHS'lı hastalara genellikle nazal maske, nazal yastık ya da oronazal maskeyle uygulanmaktadır. Tedavi başlangıcında hastanın rahat edeceği maske tipinin seçilmesi önemlidir, çünkü CPAP kullanımında ilk deneyim tedavinin uzun dönem devamlılığı açısından belirleyici olabilmektedir [58].



Şekil 2.4 : PSG yardımıyla CPAP titrasyonu [44].

Her ne kadar CPAP etkili bir tedavi yöntemi olsa da, tıkanma yerinin tam olarak saptanabildiği olgularda cerrahi tedavi uygulanabilir. Anatomik tıkanıklığa yol açan mikrognati, iri tonsiller, iri ve sarkık yumuşak damak gibi sorunlar ameliyat ile düzeltilebilir [44].



Şekil 2.5 : OSAHS tedavi basamakları. [44]'ten uyarlanmıştır.

3. UZMAN SİSTEMLER VE BULANIK MANTIK

Bu bölümde uzman sistemin tanımı, tarihçesi, çeşitleri ve uygulama alanlarına yönelik bilgiler verilecek, bulanık kümeler tanıtıldıktan sonra tez kapsamında kullanılan bulanık uzman sistemler incelenecektir.

3.1 Uzman Sistemler

Uzman sistem uzmandan elde edilen bilgilere dayanarak karar verme esnasında karşılaşılan zor sorunları çözmek için hem bilimsel gerçekleri hem de deneyimleri (heuristics) kullanan, etkileşimli, bilgisayar tabanlı bir karar aracı olarak tanımlanmaktadır [59].

Uzman sistemler yapay zekânın 1960'ların ortalarında gelişen bir koludur. Arkasındaki prensip uzmanlığın insandan bilgisayara aktarılmasıdır. Uzman sistemin amaçlarından biri uzmanlık bilgisini daha geniş bir kesime yaygınlaştırmaktır [58].

Uzmandan elde edilen bilgiler veri tabanında depolanır ve ihtiyaç olduğunda kullanıcılar veya programlar tarafından erişilmektedir. Uzman sistem çıkarımlar yapıp bir sonuca ulaşabilmeli ve tıpkı uzman insan gibi sonuca ulaşmak için kullandığı mantığı açıklama becerisinde olmalıdır [60]. Her ne kadar yazında her uzman sistemin eşit derecede göstermesi gereken uzlaşmış karakteristikler olmasa da aşağıdaki 5 özellik uzman sistemleri alışlagelmiş programlardan ayıran vasıflardır [59]:

- Matematiksel ve sembolik bilgiyle akıl yürütmesi,
- Deneyimsel (olası) ve algoritmik (kesin) yöntemleri kullanması,
- Problem alanında uzmanla beraber çalışması,
- Problemin çözümüne yönelik verdiği yanıtların gerekçelerini anlaşılabilir kılması,
- Esnekliğini korumasıdır.

1965 yılında NASA'nın Mars'a insansız uzay aracı gönderme planları kapsamında Mars toprağının kimyasal analizini yapan bir bilgisayar programına ihtiyaç duyulmuştu. Çünkü geleneksel yöntemde, eldeki kütle spektrum verisini oluşturabilecek muhtemel bileşikler laboratuvarında sentezlenip, bu bileşiklerin veriyle eşleşip eşleşmediğini görmek için test yapılmaktadır. Bu yöntemdeki temel zorluk, milyonlarca yapının oluşturulup test edilmesi gerekebileceğidir. Bunun üzerine NASA başında Edward Feigenbaum bulunan Stanford Üniversitesi'ndeki araştırma grubundan bu işi yapan bilgisayar programını yapmasını istemiştir. Bu grup, spektrum verisine karşı düşen bileşikleri bulmak için sadece karmaşık arama algoritmaları kullanmak yerine, alanında uzman kişilerin (domain expert) bilgisini de kullanarak olası kimyasal yapıların sayısını azalttıkları DENDRAL programını geliştirmiştir [61].

İlk ticari uzman sistem 1970'lerde Carnegie Mellon'da geliştirilen XCON'dur. Digital Equipment Company için VAX bilgisayar sistemlerinin konfigürasyonuna yardım etmek için geliştirilmiştir. XCON şirketin 1986 yılında 20 milyon dolar tasarruf etmesini sağlamıştır. Başka bir başarılı sistem Stanford Araştırma Enstitüsü tarafından jeologlara maden yataklarını keşfetmede yardım etmesi için geliştirilen PROSPECTOR'dur. PROSPECTOR, doğu Washington'daki bir bölgede araştırma sondajı yapılmasını tavsiye ederek, 100 milyon dolar değerinde molibden rezervi bulunmasını sağlamıştır [61].

Uzman sistemlerin bu başarısı şirketlerin ve hükümetlerin dikkatini çekmiş, uzman sistemler geliştirmek için 1980'li yıllarda pek çok araştırma grubu ve projelerin oluşmasını sağlamıştır. Örneğin DuPont şirketinin oluşturduğu kendi yapay zekâ grubu, geliştirdikleri 100 uzman sistemle 1988 yılında şirketin tahminen 10 milyon dolar tasarruf etmesini sağlamıştır. Fortune 1000 bulunan şirketlerin 3'te 2'sinden fazlası günlük faaliyetlerinde kullanmak üzere bu teknolojiye dâhil olmuştur. 1981 yılında Japonya akıllı makineler oluşturmak için 10 yıllık bir planı içeren Beşinci Nesil Projesi'ni duyurmuştur. Amerika Birleşik Devletleri'nde Microelectronics and Computer Technology şirketi, uzman sistem gelişimini ilerletmek için bir araştırma konsorsiyumu olarak kurulmuştur. Uzman sistemlerin sadece sayısının yanı sıra kullanım alanları da oldukça artmıştır. 1992'de yapılan bir yazın incelemesi aşağıdakileri uzman sistemlerin kullanım alanları olarak belirlemiştir [61]:

- Tarım
- İşletme
- Kimya
- Haberleşme
- Bilgisayar sistemleri
- Eğitim
- Elektronik
- Jeoloji
- Çevre
- Bilgi yönetimi
- Hukuk
- Madencilik
- Matematik
- Tıp
- Meteoroloji
- Askeriye
- Uzay teknolojisi
- Ulaştırma

Bu alanlar arasından tıp, ilgilendiği konuların karmaşık doğası nedeniyle zorlu bir alandır. Birbiriyle etkileşen çok sayıdaki elemandan ve değişkenden oluşan yapısı sınırları keskin matematiksel tekniklerin uygulanmasına yeterince imkân vermemektedir. Bunun yanı sıra, kesin olmayan, hatta bazen birbiriyle çelişen bilgilerin varlığı, fiziksel bilimlere nazaran, tıbbın bir gerçeğidir. Tıbbi kararlar verirken bu sorunların göz önünde bulundurulması hayati önem arz etmektedir [62].

Tıpta karşılaşılan, bilgilerin kesin olmama sorunun kaynakları şu şekilde sınıflandırılabilir [62]:

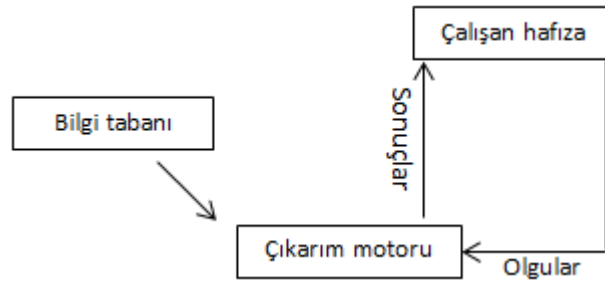
- Hastanın semptomlarıyla ilgili bilgiler verirken bunun oldukça öznel, abartılı veya olduğundan daha az ciddi olarak anlatılması; geçirdiği önceki hastalıklardan, ameliyatlardan veya kullandığı ilaçlardan bahsetmeyi ihmal etmesi, hastanın tıbbi geçmişi hakkında şüphelere yol açarak karar vermeyi zorlaştırması,
- Doktorun nesnel veriler elde etmek için gerçekleştirdiği fiziksel muayenenin hatalara ve önemli endikasyonların gözden kaçmasına müsait olması ya da normal ve sağlıklı durum arasındaki sınırın her zaman açık olmayışından ötürü diğer endikasyonları yanlış yorumlayabilmesi,
- Laboratuvar sonuçlarının ölçüm araç ve tekniklerinden ötürü hatalı olabilmesi veya yanlış etiketleme sonucu karışabilmesi veya hastanın test sonucunu etkileyecek bir davranışta bulunması,
- CT, MR, ultrason ve diğer klinik incelemenin sonuçlarının sağlık çalışanının doğru yorumlayabilmesine bağlı olmasıdır.

3.1.1 Uzman sistemlerin türleri

Bu bölümde uzman sistem geliştirmede kullanılan yöntemler incelenecektir. Ayrı başlıklar altında bahsedilecek olsa da farklı türlerin ortak noktaları vardır. Hatta bazen birden fazla türün bir arada kullanıldığı uzman sistemler mevcuttur. Bulanık mantık türü uzman sistemlerin üzerinde, bu çalışmada kullanılan yöntem olduğundan, daha fazla durulacaktır.

3.1.1.1 Kural tabanlı sistemler

DENDRAL, XCON, MYCIN gibi ilk uzman sistemler bu türdendir. Aslında uzman sistem geliştirmek için ilk olarak bu yöntemin kullanılması oldukça doğaldır. Çünkü gerçek uzmanlar da bilgileri ve deneyimlerinden oluşan bir takım kuralları kullanıp, probleme özgü verilerle de çıkarımlar yaparak karşılaştıkları problemleri çözerler. Ayrıca uzmanlığı bilgisayara aktarmanın en iyi yolunun kural kümeleriyle olabileceği düşünülüyordu. Şekil 3.1’de kural tabanlı uzman sistemlerin kısımları görülmektedir [63].



Şekil 3.1 : Kural tabanlı sistemin blok diyagramı.

Bilgi tabanı alana özgü bilginin kurallar şeklinde saklandığı yerdir. Çalışan hafıza probleme özgü olguların ve çıkarım motorunun ulaştığı sonuçları içerir. Çıkarım motoru sonuçlar üretmek için bilgi tabanındaki kuralların yanı sıra çalışan hafızadaki bilgileri kullanır. Kural tabanlı sistemler geri ve ileri yönlü olmak üzere 2 şekilde çalışmaktadır. Geri yönde çalışması için sisteme kanıtlanması istenen bir hipotez ve olguyla ilgili bilgiler verilmektedir. Örneğin bir kişinin belirli hastalığa yakalanıp, yakalanmadığı belirleme problemi için bu sistemi kullanmak uygun olabilir. İleri yönlü çalışma şeklinde bir hipotez kanıtlamak yerine eldeki olgulardan mümkün olduğunca yeni bilgiler üretmeye çalışmaktadır. Ulaşılan yeni bilgiler bilgi tabanında yeni kurallar atışlar ve atışlenen her kuralda çalışan hafızaya yeni

bilgilerin eklenmesini sağlamaktadır. Bu süreç bilgi yeni bir kural atışlemeyinceye kadar sürmektedir. Bu çalışma şeklinde sistem örneğın, hastanın verilen semptomlarına göre muzdarip olabileceğı hastalıkları tahmin edebilmektedir [63].

3.1.1.2 Çerçeve tabanlı sistemler

Bu çeşit sistemler köklerini bilişsel psikologların insanın bir problemi çözmek nasıl zihinsel modeller oluşturduğuna yönelik geliştirdikleri teorilerden almıştır ve gelişimini nesne yönelimli programlaya borçludur. Bu teorilerden Barlett'inkine göre insan deneyimlerine dayanarak kavramlarla ilgili zihninde taslaklar oluşturur. Yeni bir problemle karşılaştığında o problemi çözmek için ihtiyaç duyduğu genel bilgileri içeren taslağı bir şablon gibi kullanır. Minsky bu fikirden esinlenerek, bir kavramla ilgili tipik bilgileri bilgisayarda kodlamak için çerçeve olarak adlandırdığı bir veri yapısı önerdi. Çerçeve kavramın esas özelliklerini belirten etiketler ile bunların aldığı değerler ve usule ilişkin bilgilerden oluşur. Kavramın özel bir örneğı ile karşılaştıldığında, özelliklerinin değerleri girilir [63]. Örneğın insanı yaş, cinsiyet, kilo gibi özellikleri ve yürüme, konuşma gibi eylemlerini ifade eden prosedürleri ile tanımlayabiliriz. İnsan kavram çerçevesi altında “Mehmet” isminde 30 yaşında ve erkek olan bir örnek çerçeve bulunabilir.

Çerçeve tabanlı sistemler genellikle simulasyon problemlerinde kullanılmıştır. Çünkü bu tür problemler doğası gereğı etkileşen nesneleri içerir. Fırkateyndeki buhar sistemini simüle eden ve gemi mühendislerinin eğitimi amacıyla kullanılan STEAMER programı buna örnektir. Bu sistemde vanalar, şalterler gibi tesisin çeşitli bileşenleri kullanıcı tarafından ayarlanarak yapılan düzenlemelerin neden olduğu basınç ve sıcaklık değışimleri gözlenebilir [63].

3.1.1.3 Bulanık mantığa dayanan uzman sistemler

Günlük hayatta karşılaştığımız problemleri ifade etmek için “fazla, çok az, hasta, ağır hasta gibi sınırları belirsiz dilsel terimleri kullanırız. Zadeh'in 1965'te ortaya attığı bulanık kümeler fikri bu terimlerin matematiksel olarak ifade edilebilmesini sağlayarak dilsel değışkenler içeren problemlerin bilgisayar yardımıyla çözülebilmesine olanak sağlamıştır. Bu türdeki uzman sistemlerin gerçek hayattaki ilk uygulaması Mamdani ve Assilian tarafından bir buhar motorunu kontrol etmek geliştirilen bulanık kontrolördür. Bulanık mantık ve kümelerle ilgili daha geniş bilgi bölüm 3.2'de verilecektir.

3.1.1.4 Tümevarım yöntemini kullanan sistemler

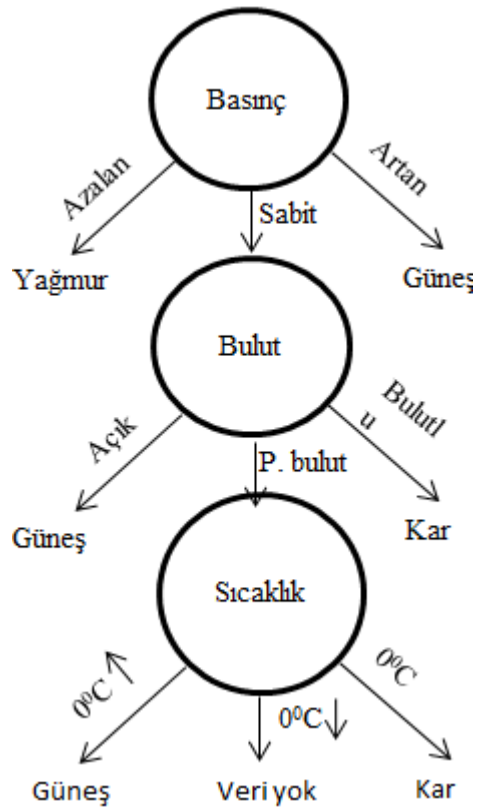
Çoğu uzman sistem gerçek bir uzman ile iş birliği yapılarak geliştirilir. Ancak bazı problemlerin zorluğu böyle bir uzmanın varlığını mümkün kılmayabilir. Böyle durumlarda uzman sistem geliştiricisi geçmiş örneklerden bilgi çıkarmaya çalışır. Bu örnek bir takım koşullar ile bunların çıktılarından oluşur [63]. Örneğin hava tahmininde koşullar sıcaklık, rüzgar yönü ve basınç iken, çıktı yağmurun yağıp yağmayacağı olabilir. Bunun gibi örneklere sahip geliştirici tümevarım yöntemiyle bir hava tahmini uzman sistemi geliştirebilir.

Tümevarım verilen olgulardan akıl yürütme ile genel prensip veya kurallar çıkartmaktır. Örneğin, Ali futbolu, basketbolu, yüzmeyi seviyorsa, Ali sporu seviyor şeklinde sonuç çıkarılabilir. Bu yöntemde sonuç çıkarmak için mevcut bilgideki örüntüler aranır.

En sık kullanılan tümevarım algoritmalarından biri ID3'tür. ID3 probleme dair geçmiş örnekleri kullanarak bir karar ağacı oluşturur. Bu karar ağacının öznelilikleri sonuca ulaşma çabasını en aza indirecek şekilde düğümlere yerleştirildiği heuristic yöntem kullanılarak inşa edilir [63]. Çizelge 3.1'de geçmiş hava durumu bilgisi, Şekil 3.2'de ise ID3'ün bu örnekleri kullanarak oluşturduğu karar ağacı görülmektedir. Karar ağacı "Eğer..., O halde..." yapısıyla da ifade edilebilir. Bu nedenle tümevarım yöntemi kural tabanlı uzman sistemler ile birlikte kullanılabilir.

Çizelge 3.1 : Hava tahmini için karar çizelgesi. [63]'ten uyarlanmıştır.

Karar Etmenleri				Sonuç
Sıcaklık	Rüzgar Yönü	Bulut Durumu	Basınç	
0 ⁰ C'nin üstünde	Batı	Bulutlu	Azalan	Güneşli
0 ⁰ C'nin altında	Önemli değil	Bulutlu	Sabit	Karlı
0 ⁰ C'nin üstünde	Doğu	Bulutlu	Yükselen	Güneşli
0 ⁰ C'nin üstünde	Önemli değil	Parçalı bulutlu	Sabit	Güneşli
0 ⁰ C'nin üstünde	Güney	Açık	Azalan	Yağmurlu
0 ⁰ C	Kuzey	Parçalı bulutlu	Sabit	Karlı

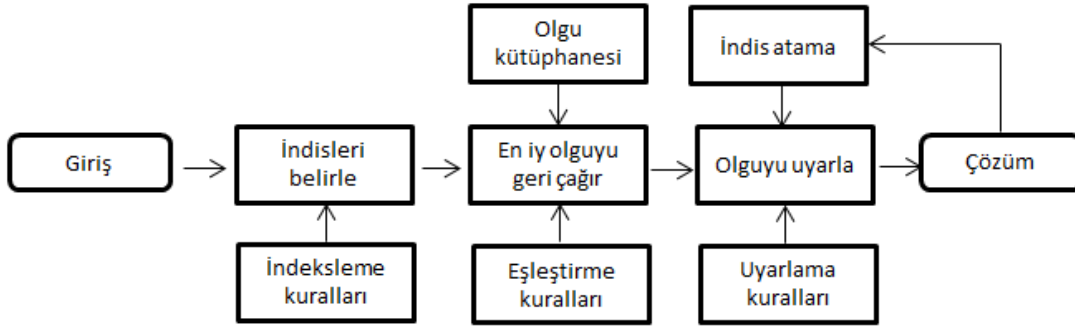


Şekil 3.2 : ID3’ün çizelgedeki verilerle oluşturduğu karar ağacı. [63]’ten uyarlanmıştır.

Tümevarım yöntemi borsa hareketlerini tahmin için kullanılmıştır. Tahmin sonucu yükselen, azalan ve durgun piyasa olarak sınıflandırılmıştır. Başarısı sistemin başarısı piyasa analistinkinden yüksek çıkmıştır [63].

3.1.1.5 Olgu tabanlı sistemler

Bu sistemi yeni bir problem geldiğinde bunun geçmiştekilerle olan benzerliğini araştırır. Eğer yeterince eşleşme bulursa bu problemin çözümü olarak geçmiş olgunun çözümünü önerir. Eğer araştırma sonuçsuz kalırsa bu yeni bir olgu olarak kaydedilir. Sistem temel olarak şu 4 adımı takip eder: 1. Güncel problem hakkında giriş bilgisi eldesi, 2. Geçmiş olgularla benzerliğinin araştırılması, 3. Benzerlik bulunan olgunun probleme uyarlanması, 4. Çözüm önerisi. Bu adımlar ayrıntılı olarak Şekil 3.3’de gösterilmektedir [63].



Şekil 3.3 : Olgu tabalı sistemlerin akış şeması. [63]’ten uyarlanmıştır.

Olgular kütüphanede öznitelikleri ya da diğer bir deyişle indeksleri ile depolanır. Bu indeksler örneğin semptomlar ve bu semptomların varlığında konulan tanılar şeklinde olabilir. Öncelikle sistem bir takım kurallar yardımıyla problemin özniteliklerini belirler. Bu işlem arama uzayı daraltarak sadece ilgili problemlerin geri çağrılmasını sağlar. Daha sonra problemin her indeksinin geri çağrılan olguların indeksleri ile benzerliği en yakın komşuluk yöntemiyle hesaplanır. İndekslere eşleşme işlemindeki önemine göre ağırlıklandırmalar yapılabilir. Her öznitelik için elde edilen benzerlik skoru toplanıp toplam benzerlik skoru bulunur [63].

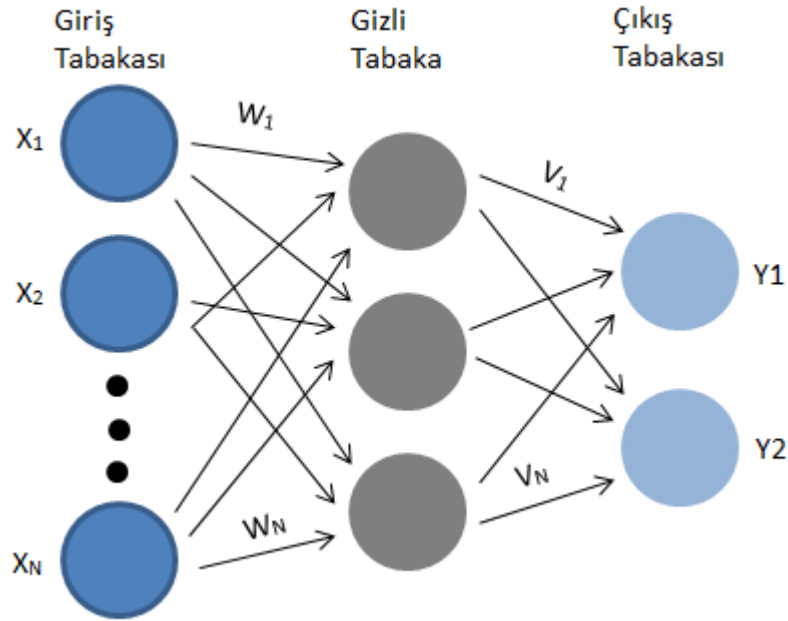
Uyarlama işleminde ise öncelikle girdi ve eşleşen geçmiş olgu arasındaki farklılıklar belirlenir. Sonra bir takım kurallar yardımıyla uyarlamalar yapılır. Bazen hiçbir uyarlama gerekmebilir. Bazen de fark o kadar büyüktür ki insan müdahalesi gerekebilir.

Bu tür uzman sistemler müşterilerin ürünle ilgili sorunları bildirdiği şirketlerin müşteri destek bölümlerinde kullanılabilir. CASCADE bu amaçla kullanılan bir sistemdir [63].

3.1.1.6 Yapay sinir ağı yöntemini kullanan sistemler

Bir yapay sinir ağı gelen verileri dinamik olarak işleyen birbirine bağlı nöron adı verilen birimlerden oluşur. Tipik olarak birçok girdi vardır ve bunlara farklı ağırlıklar vererek etkileri değiştirilebilir. Daha sonra bu girdilerin değerleri toplanarak çıktı değerleri hesaplanır. Ağırlıklar hatayı minimum yapacak şekilde her adımda yeniden hesaplanır. Sonuçta bir eşik fonksiyonu yardımıyla çıktılar sınıflara ayrılır. Girdiler ve çıktılar arasında bunları birbirine bağlayan hipotetik katmanlar vardır. İşlem kolaylığı sağlayan ancak gerçek hayatta bir karşılığı olmayan bu kısımlara gizli

tabakalar denir. Şekil 3.4’da giriş, gizli ve çıkış katmanları ile bunları bağlayan ağırlıklandırılmış bağlantılar görülmektedir.



Şekil 3.4 : Yapay sinir ağının mimarisi. W giriş ve gizli tabakası arasındaki ağırlıkları, V gizli tabaka ile çıkış arasındaki ağırlıkları temsil etmektedir.

Ağırlıklar algoritmanın eğitimi ile belirlenir. Bu eğitim danışmanlı, danışmansız veya takviyeli öğrenme yöntemleriyle yapılabilir. Örneğin danışmanlı öğrenmede en sık kullanılan algoritma olan geri yayılım algoritmasında, hatanın azalmasında etkili olan ağırlık fazla, küçük bir etkisi olan ağırlık ise az değiştirilir. İsminin geri yayılım olmasının nedeni ise ağırlıkları ayarlamaya önce gizli tabaka ile çıkış tabakası arasındaki ağırlıklardan başlayıp daha sonra geri katmanlar arasındaki ağırlıklara doğru gitmesindendir. Eğitim tamamlandıktan sonra algoritma eğitim kümesinde bulunmayan yeni verilerle test edilir.

Yapay sinir ağı kullanılarak geliştirilen uzman sistemlerden biri olan ALVINN bir insanın sürüşünü izleyerek aracı kullanmayı öğrenmiştir. Sinir ağı girişi 30×32 birim ile iki boyutlu kamera görüntüsünü alır. Bunlar 5 birimden oluşan tek bir gizli tabakaya bağlıdır. Sistemin çıkışı ise aracı yolda tutmak için izlenmesi gereken yolun doğrusal temsili içeren 30 birimden oluşur. Bütünleşik kameradan gelen görüntü ağ boyunca ilerler ve en aktif çıkış birimi aracın gideceği yönü tayin eder. Sistem geri yayılım algoritması ile eğitilmiştir [64].

3.2 Bulanık Mantık ve Bulanık Kümeler

19. yüzyılda fizikçiler moleküler düzeydeki süreçlerle ilgilenmeye başladıklarında karşılırlarına Newton mekaniğinin bu düzeyde birbiri ile etkileşen çok sayıdaki parçacıklara uygulanması gibi üstesinden gelinemeyecek bir hesaplama yükünü çıkardı. Bu durum geleneksel bilimin kesinliği zorunlu kılıp, belirsizliği bilim dışı gören görüşünden, belirsizliğin kaçınılmaz olduğu ve tolere edilmesi gerektiği şeklindeki alternatif görüşe geçişi başlatmıştır. Problemlerdeki belirsizliği yönetmek üzere mikroskopik parçacıkların tek tek değil, uygun makroskobik değişkenlerle ilişkilendirilmiş istatistiksel ortalamalarının ele alındığı istatistiksel mekanik kullanılmıştır [65]. İstatistiksel mekanikte Newton mekaniğinde kesinliğe yer vermeyen calculusun yerine olasılık teorisi geçmiştir. Calculus aralarında deterministik olarak belirlenebilen ilişkiler olan az sayıda değişkenin olduğu problemlere uygulanabilirken, istatistiksel yöntemler çok fazla sayıda rasgele değişken ihtiyaç duymaktadır. Bu iki yöntem her ne kadar birbirini tamamlayıcı gibi görünse de, yalnızca karmaşıklık ve rasgelelik açısından iki uç noktada kümelenmiş problemlere uygundur ve Warren Weaver'ın düzenli basitlik (organized simplicity) ve düzensiz karmaşıklık (disorganized complexity) olarak adlandırdığı bu tür problemler tüm sistem problemlerinin küçük bir kısmını kapsar. Sorunlar genelde aralarında deterministik olmayan birçok ilişki bulunan çok sayıda bileşeni içeren doğrusal olmayan sistemler şeklindedir. Doğa, çevre ve sosyal bilimleri ile tıpta yaygın olan bu tür problemleri Weaver düzenli karmaşıklık (organized complexity) olarak isimlendirmiştir [65].

1960'lı belirsizliği yönetmek için yeni teoriler geliştirilene kadar olasılık teorisi bu amaçla kullanılan tek teoriydi. Ancak yeni teoriler olasılık teorisinin belirsizliğin yalnızca bir yönünü temsil edebildiğini göstermiştir. Bu çalışmalar arasında Lotfi A. Zadeh'in 1965'te yayınladığı Bulanık Küme teorisinin özel bir yeri vardır. Çünkü bulanık kümelerde üyeliğin sadece ya hep ya hiç şeklinde değil, belirli bir dereceye kadar üye olarak da ifade edilebilmesi, yalnızca olasılık teorisine değil onun dayandığı Aristo mantığına da meydan okumadır. Bulanık kümeler Zadeh'in 1965 yılındaki makalesinde şu şekilde tanımlanmıştır:

“X genel elemanı x olarak gösterilen bir noktalar (nesneler) kümesi olsun. Dolayısıyla $X=\{x\}$ dir. X'deki bir bulanık A kümesi (sınıfı) X'deki her bir elemanı

$[0,1]$ aralığındaki bir reel sayı ile ilişkilendiren, $f_A(x)$ x 'in A 'daki üyelik derecesini göstermek üzere, bir üyelik (karakteristik) fonksiyon ile karakterize edilir. Dolayısıyla $f_A(x)$ 'in değeri 1'e yakın olduğu ölçüde, x 'in A 'da daha yüksek bir üyelik derecesi vardır [66]. “

Bulanık mantık günlük hayatımızda tanımlamalar yapmak için kullandığımız sınırları belli olmayan “uzun, kısa, sıcak, soğuk” gibi muğlak dilsel terimlerin de hesaplamalarda kullanılmasına olanak tanımıştır. Hatta hesaplama ve akıl yürütme için sayılar yerine kelimelerin kullanıldığı Kelimelerle Hesaplama yöntemiyle eş değer görülmüştür [67].

Bulanık mantık ve bulanık kümenin sıklıkla birbiri yerine kullanılması kafa karışıklığına yol açabilmektedir. Aslında bu karışıklığının nedeni bulanık mantığın biri dar öteki geniş iki farklı anlamının olmasındandır. Dar anlamıyla bulanık mantık çok değerli (multivalued) mantığın genişletilmesi ve genelleştirilmesi olarak görülebilmektedir. Geniş anlamda ise bulanık mantık bulanık küme ile neredeyse eş anlamlıdır ve bulanık mantık sıklıkla bu anlamında kullanılmaktadır [65].

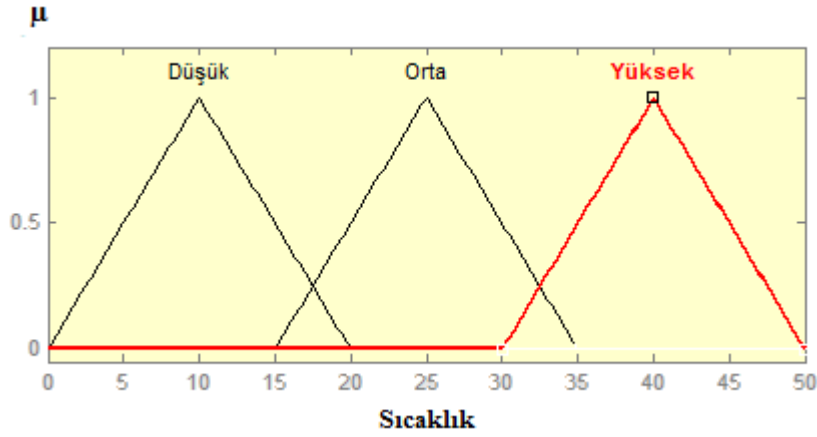
3.2.1 Bulanık kümelerdeki bazı temel kavramlar

Keskin bir A kümesinin karakteristik fonksiyonu evrensel kümedeki her elemana, o elemanın A 'nın elemanı olup olmamasına göre sırasıyla 1 ve 0 değerlerini atar. Bu fonksiyon bulanık kümelerde $[0, 1]$ aralığındaki bir reel sayıyı atayacak şekilde genelleştirilir. X evrensel kümesindeki bir elemanın bulanık bir B kümesindeki üyelik derecesini belirten bu karakteristik fonksiyona üyelik fonksiyonu denir ve şu şekillerde gösterilir:

$$\mu_B: X \rightarrow [0, 1] \text{ ya da } B: X \rightarrow [0, 1]$$

İkinci gösterim kafa karışıklığına yol açabilecekmiş gibi gözüke de, her bulanık küme tek bir üyelik fonksiyonu ile tanımlandığından bu gösterim soruna yol açmamaktadır.

Bulanık mantığın avantajlarından biri de doğal dil ile matematiksel işlemler yapabilmektir. Bunu gerçekleştirebilmek için dilsel değişkenler ve bunların alacağı değerler olan dilsel terimler tanımlanmalıdır. Şekil 3.5’de sıcaklık dilsel değişkeninin aldığı değerler olan “düşük”, “orta” ve “yüksek” dilsel terimleri görülmektedir.



Şekil 3.5 : Sıcaklık uzayının dilsel terimlerle bulanık kümeler ayrılması.

Bulanık kümelerdeki en önemli kavramlardan biri keskin kümeler ile bulanık kümeler arasında ilişki kurulmasını sağlayan α -kesim ve güçlü α -kesimdir. Sırasıyla şu şekilde tanımlanırlar [65]:

$${}^{\alpha}A = \{x | A(x) \geq \alpha\}$$

$${}^{\alpha+}A = \{x | A(x) > \alpha\}$$

Örneğin Sıcaklık dilsel değişkeninin Orta isimli bulanık kümesinin bazı elemanları payda eleman, pay o elemanın üyelik derecesi olmak üzere:

$$\text{Orta} = \left\{ \frac{0}{15}, \frac{0.3}{18}, \frac{0.5}{20}, \frac{0.7}{22}, \frac{1}{25} \right\}$$

$\alpha=0.5$ olarak alırsak

$${}^{0.5}\text{Orta} = \left\{ \frac{0}{15}, \frac{0}{18}, \frac{1}{20}, \frac{1}{22}, \frac{1}{25} \right\}$$

$\alpha=1$ olarak alırsak

$${}^1\text{Orta} = \left\{ \frac{0}{15}, \frac{0}{18}, \frac{0}{20}, \frac{0}{22}, \frac{1}{25} \right\}$$

Aynı işlemleri α 'nın 0, 0.3 ve 0.7 değerleri için de tekrarlayıp ${}^{0.3}\text{Orta}$ ve ${}^{0.7}\text{Orta}$ elde ettikten sonra ${}_{\alpha}\text{Orta}$ özel bir bulanık küme olmak üzere

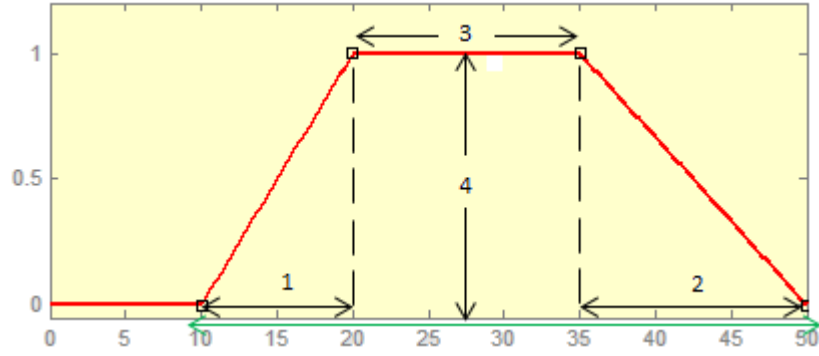
$${}_{\alpha}\text{Orta} = \alpha \times {}^{\alpha}\text{Orta} \quad (3.1)$$

işlemi tüm α değerleri için uygulanır. Son olarak

$$\text{Orta} = {}_0\text{Orta} \cup {}_{0.3}\text{Orta} \cup {}_{0.5}\text{Orta} \cup {}_{0.7}\text{Orta} \cup {}_1\text{Orta}$$

ile orijinal bulanık küme elde edilir. Bu adımlardan da görüldüğü gibi α -kesim (ve de güçlü α -kesim) bulanık kümeler ile keskin kümeler arasında geçiş yapma imkânını sağlar.

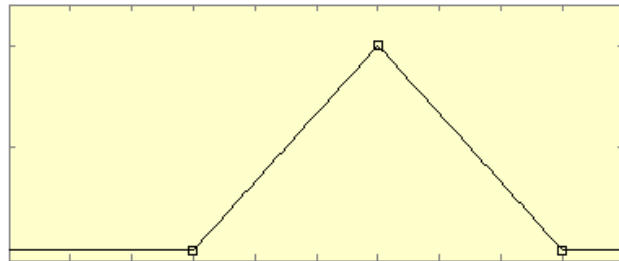
Üyelik fonksiyonlarının özellikleri Şekil 3.6’da gösterilen dayanak, sınır, çekirdek ve yükseklik ölçüleri ile tanımlanır [65].



Şekil 3.6 : Üyelik fonksiyonlarındaki ölçüler. Yeşil ok üyelik fonksiyonun dayanağını, 1 ve 2 sınırları, 3 çekirdeğini ve 4 yüksekliğini göstermektedir.

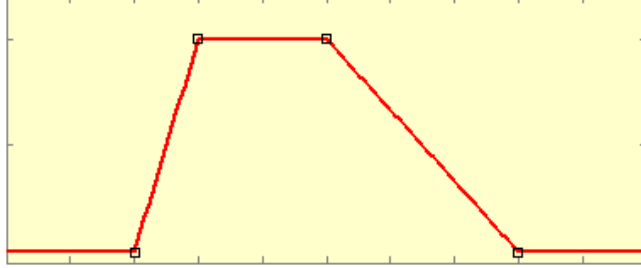
Farklı tipte üyelik fonksiyonları vardır. Örneğin Şekil 10’daki üçgen tipiyken, Şekil 3.6’daki yamuk tipindedir. Eldeki problemin yapısına göre uygun üyelik fonksiyon tipi, dayanak ve sınır uzunlukları ile dilsel terimler kullanılmalıdır. Örneğin hava tahmini ile ilgili problemde 40°C için “yüksek” dilsel terimi uygun iken nükleer reaksiyonlarla ilgili problemlerde bu terim belirtilen sıcaklık için uygun değildir. Üyelik fonksiyonlarının yükseklik değeri genelde 1 olsa da normalaltı bulanık kümeler için bu değer 1’in altındadır. Ayrıca sınır uzunluklarının birbirine eşit olması yani üyelik fonksiyonunun orta noktasına göre simetrik olması gerekmemektedir.

Üyelik fonksiyonlarının türleri Şekil 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 ve 11’da gösterilmiştir [68].



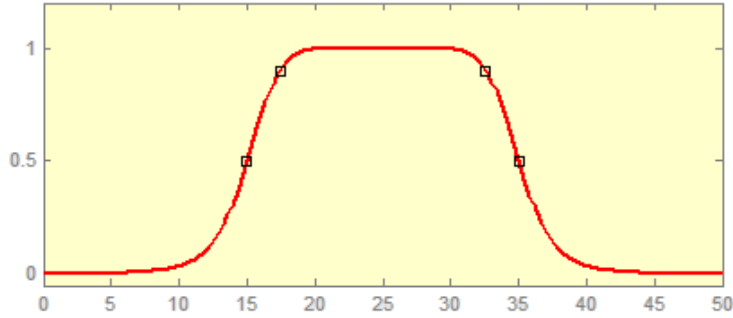
Şekil 3.7 : Üçgen tipi üyelik fonksiyonu üçgenin köşelerini temsilen a, b ve c parametreleri ile belirlenir.

$$\text{Üçgen ÜF (x: a, b, c)} = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x > c \end{cases} \quad (3.2)$$



Şekil 3.8 : Yamuk tipi üyelik fonksiyonu yamuğun köşelerini temsilen a, b, c ve d parametreleri ile belirlenir.

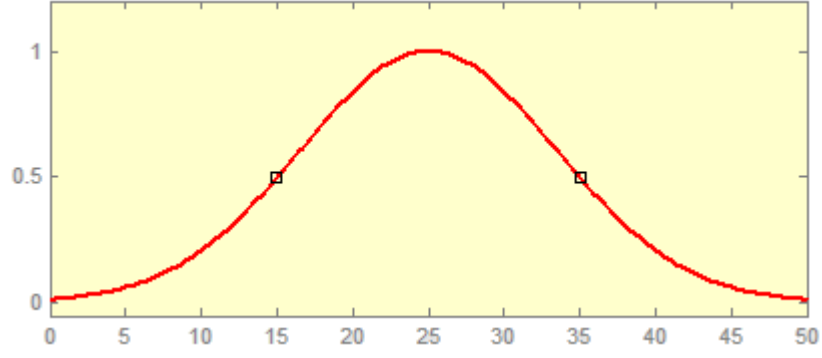
$$\text{Yamuk ÜF (x: a, b, c, d)} = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ 1, & b \leq x < c \\ \frac{c-x}{c-b}, & c \leq x \leq d \\ 0, & x > d \end{cases} \quad (3.3)$$



Şekil 3.9 : Çan tipi üyelik fonksiyonu.

$$\text{Çan ÜF (x: a, b, c)} = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (3.4)$$

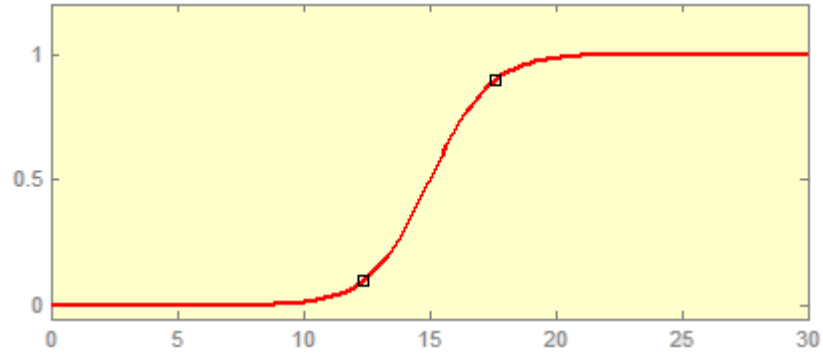
a, b ve c sırasıyla çanın genişliğini, eğimini ve merkezini kontrol eden parametrelerdir.



Şekil 3.10 : Gaussian tipi üyelik fonksiyonu.

$$\text{Gaussian } \ddot{U}F(x; m, \sigma) = e^{-\frac{(x-m)^2}{\sigma^2}} \quad (3.5)$$

m ve σ sırasıyla ortalama ve standart sapma olmak üzere



Şekil 3.11 : Sigmoid tipi üyelik fonksiyonu.

$$\text{Sigmoid } \ddot{U}F(x; a, c) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}} \quad (3.6)$$

a ve c sırasıyla fonksiyonun eğimi ve orta nokta olmak üzere

Bulanık kümelerde de keskin kümelerde olduğu gibi tümleme, kesişim ve birleşim işlemcileri vardır. Ancak keskin kümelerdeki her işlemci için tek bir tür olmasından farklı olarak bulanık kümelerde, o işlemcilere ait aksiyomlara uyulduğu sürece, aynı işlemci için birden fazla tür oluşturulabilir. Standart türdeki tümleme, kesişim ve birleşim işlemcileri şu şekilde tanımlanır:

Standart tümleme: Bir bulanık A kümesinin tümleyeni $\bar{A}$ ile gösterilir. X evrensel küme olmak üzere [65]:

$$\bar{A}(x) = 1 - A(x) \quad \forall x \in X \quad (3.7)$$

Standart kesişim: Verilen A, B iki bulanık kümesinin kesişimi aşağıdaki gibi tanımlanır [65]:

$$(A \cap B)_{(x)} = \min [A(x), B(x)] \quad (3.8)$$

Kesişim işlemcileri genel olarak t-norm olarak isimlendirilir.

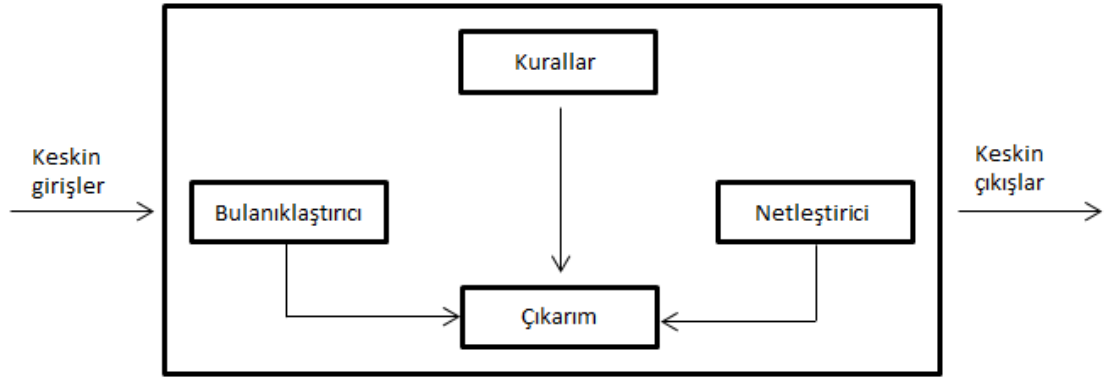
Standart birleşim: A ve B iki bulanık küme olmak üzere standart birleşim aşağıdaki gibi tanımlanır [65]:

$$(A \cup B)_{(x)} = \max [A(x), B(x)] \quad (3.9)$$

Birleşim işlemcileri genel olarak s-norm ya da t-konorm olarak isimlendirilir.

4. BULANIK SİSTEMLER

Şekil 4.1’de tipik bir bulanık sistemin yapısı görülmektedir. Şekilde görülen kısımlar tek tek incelenecektir.



Şekil 4.1 : Bulanık sistem ve bileşenleri. [69]’dan uyarlanmıştır.

4.1 Bulanıklaştırıcı

Giriş değerlerindeki belirsizlikleri tanımlayarak keskin değerler bulanık niceliklere dönüştürülür. Üyelik fonksiyonları ile temsil edilen bu belirsizlikler örneğin ölçümlerdeki hatalar ya da standart sapma olabilir. Bulanıklaştırma süreci keskin niceliklere üyelik değerleri atanmasını içerir. Bu atama işlemi aşağıda bahsedilen bir takım yöntemlere göre yapılır.

Uzmanla dayanan atama: Uzman atama işlemini konuyla ilgili bilgi ve deneyimlerini kullanarak gerçekleştirir.

Çıkarım ile atama: Bu yöntemde üyelik fonksiyonu olgular ve bilgilerden yola çıkılarak oluşturulur. Örneğin verilen bir üçgenin eşkenar, dik ve çeşitkenar üçgen bulanık kümeleri için üyelik dereceleri aşağıdaki gibi belirlenebilir [69]:

A, B, C üçgenin iç açıları olsun ve şu koşullar sağlansın:

$A \geq B \geq C \geq 0$ ve $A + B + C = 180^\circ$. μ_E , μ_D ve μ_C sırasıyla eşkenar, dik ve çeşitkenar üçgen bulanık kümelerini için üyelik dereceleri olsun.

$$\mu_E(A, B, C) = 1 - \frac{1}{60^\circ} \min(A - B, B - C) \quad (3.10)$$

$$\mu_D(A, B, C) = 1 - \frac{1}{90^\circ} (A - 90^\circ) \quad (3.11)$$

$$\mu_C(A, B, C) = \min \begin{cases} 1 - \mu_E(A, B, C) \\ 1 - \mu_D(A, B, C) \end{cases} \quad (3.12)$$

İç açıları 85° , 35° ve 60° olan bir üçgen verilsin. Yukarıdaki formüllere göre bu üçgenin 3 tür üçgen için üyelik dereceleri $\mu_E = 0.583$, $\mu_D = 0.944$ ve $\mu_C = 0.055$ olarak bulunur [69].

Sıralama yöntemi: Evrensel kümedeki elemanlar oluşturulan bir bulanık kümenin tanımına göre ikili olarak karşılaştırılıp, içlerinde bir sıralama oluşturulur ve bu sıra elemanların o bulanık kümeye üyelik derecesinin bir temsili olur [69]. Örneğin araçlar evrensel kümesinde bir E, “en iyi araçlar” bulanık kümesi oluşturulsun. Bir anketle insanlardan evrensel kümedeki araçlar için bir tercih sırası yapması istensin. Sonuç olarak araçların tercih edilme yüzdeleri bu araçların E bulanık kümesindeki üyelik derecelerinin bir göstergesi olur.

Açısal bulanık kümeler: Bu bulanık kümeler tanımlı oldukları koordinatlar açısından standart bulanık kümelerden farklıdır. Bu kümeler açılı evrensel uzayında tanımlandıklarından her 2π döngüde tekrarlanır. Dilsel değişkenlerin aldığı değerler birim çember üzerinde tanımlı θ açılarından oluşur ve üyelik dereceleri aşağıdaki formül ile hesaplanır [69]:

$$\mu(\theta) = \cos\theta \tan\theta \quad (3.12)$$

Yapay sinir ağı yöntemi: Veriler eğitim ve test kümesi olarak ikiye ayrılır. Eğitim işleminde sınıfları belli olan verilerin koordinatları sinir ağına giriş olarak verilerek hangi koordinatların hangi sınıfa ait olduğu öğrenilir. Test işlemi de tamamlandıktan sonra sinir ağı herhangi bir verinin sınıflara olan üyelik derecesinin belirlenmesi için kullanılabilir.

Genetik algoritma yöntemi: Bu algoritma Darwin’in “şartlara en iyi uyum sağlayan hayatta kalır” ilkesine göre çalışır. İlk adım olarak elde veriler ve probleme göre bulanık değişkenler için üyelik fonksiyonları oluşturulur. Bu fonksiyonlar bit dizileri (yani genler) olarak şifrelendikten sonra uç uca eklenerek kromozomlar oluşturulur. Kromozomlar deşifre edilip fenotipler elde edildikten sonra bir hedef değeri üretmesi

için değerlendirme fonksiyonuna gönderilir. Hedef değeri kromozomun performansının ölçüsüdür. Bu değer yapay sinir ağındaki eşik fonksiyonunun benzeri bir işlev gören uygunluk fonksiyonunda üyelik fonksiyonlarının uygunluklarını belirlemek için kullanılır. Bu işlemler çözüm bulunana ya da önceden belirlenen nesil sayısına ulaşılan kadar devam eder [69, 70].

Tetikleyici akıl yürütme (Inductive reasoning): Bu yöntem elde çok miktarda ve statik verileri olduğu, girdi-çıkı ilişkilerinin belirlenmesi için iyi tanımlanmış bir veri tabanının bulunduğu sistemler için uygundur. İlk adım olarak entropiyi en aza indirecek şekilde verileri 2 sınıfa ayıran eşik doğrusu belirlenir. Bu bölme işlemi her adımda eşik değerleri de hesaplanarak başlangıçta belirlenen değere ulaşılan kadar devam ettikten sonra sınıflar, ya da bulanık kümeler, elde edilir. Oluşan şekle göre üyelik fonksiyonu belirlenir [69].

4.2 Bulanık Sistemde Kurallar

Kurallar girdilerle birlikte çıkarım yapmak için gereken unsurlardandır. Bunlar uzmanlar tarafından belirlenebileceği gibi yapay sinir ağı gibi makine öğrenmesi yöntemleriyle verilerden yola çıkılarak da oluşturulabilir. Kurallar “Eğer x A ise O halde y B’dir” şeklinde ifade edilebilir. Kuralın *Eğer* kısmına öncül, *O halde* kısmına ardıl denir. Kuraldaki x ve y dilsel değişkenler, A ve B ise bulanık kümelerle tanımlanan dilsel terimlerdir. Bulanık kurallar çıkış değişkeninin özelliğine göre farklı türde olabilir.

Mamdani tipi bulanık kurallarda çıkış tıpkı giriş gibi bulanık kümedir. Çıkışın tek değerden oluştuğu kurallar *tekli* olarak isimlendirilir. Bu yapısıyla hesaplama yükünü oldukça azalttığından pratik uygulamalarda tercih edilirler. Eğer çıkış bir fonksiyon olarak ifade ediliyorsa bu *Takagi-Sugeno* türünde bir kuraldır. Bu fonksiyon pratik olarak x giriş y çıkış, a ve b parametre olmak üzere, $y = ax+b$ şeklinde lineer bir fonksiyondur. Fonksiyonda $a=0$ alınırsa, kural tekli tipteki bir kurala dönüştürülmüş olur. Ardıl kısmı monotonik bir üyelik fonksiyonu (artan ya da azalan) ile ifade edilen kurallar *Tsukamoto* türündedir [71].

Kurallarda birden fazla giriş de bulunabilir. Bu girişler kurallarda “ve” ya da “veya” işlemcileriyle aşağıdaki birleştirilebilirler:

Eğer $x_1 A_{i1}$ ve $x_2 A_{i2}$ ve ... ve $x_p A_{ip}$ ise O halde $y B_i$ 'dir. $i=1, 2, \dots, r$. Buradaki i öncül değişkendeki dilsel terim sayısı (Sıcaklık değişkenindeki düşük, orta ve yüksek gibi), p giriş uzayının boyutudur.

Kural kümesinde, eğer her x girişi için en az bir kural varsa “tamlik”, aynı öncül önerme için farklı ardıl önerme yoksa “tutarlılık” ve bulanık kurallardaki herhangi bir kuralın öncül önermesinde bulunan bulanık kümenin diğer kurallardaki öncül önermelerdeki bulanık kümelerle kesişimi boş küme değilse “süreklilik” özellikleri bulunur.

4.3 Çıkarım Süreci

Bu adımda Mamdani, Takagi-Sugeno veya Tsukamoto yöntemleriyle kuralların çizdiği çerçeveye göre bulanık girişlerden çıkışlar elde edilir.

4.3.1 Mamdani yöntemi

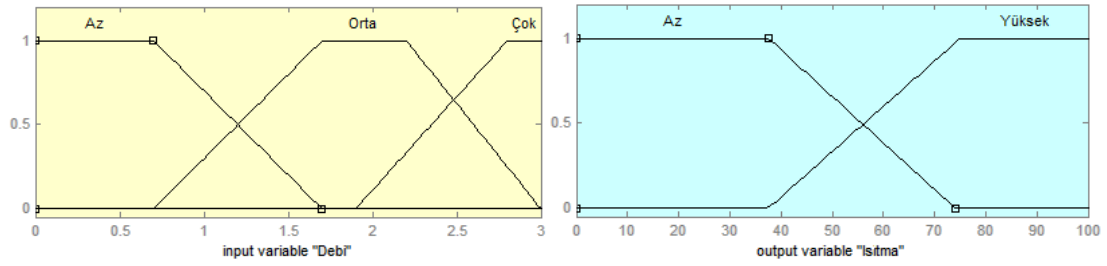
Yöntem 1975 yılında Mamdani ve Assilian tarafından bulanık mantığın ilk gerçek uygulaması olan buhar motorunun kontrolü çalışmasında önerilmiştir. 3 adımdan oluşmaktadır [72]:

$1 \leq i \leq r$, $x \in X$, A_i girişteki, B_i çıkıştaki bulanık kümeler olmak üzere sisteme bir A' girişi uygulanırsa,

1. Doğruluk değeri $\beta_i = \max[\mu_{A'(x)} \wedge \mu_{A_i(x)}]$ hesaplanır.
2. B'_i çıkış bulanık kümeleri elde edilir: $\mu_{B'_i(y)} = \beta_i \wedge \mu_{B_i(y)}$, $y \in Y$
3. B'_i çıkış kümeleri bir araya getirilir: $\mu_{B'(y)} = \max \mu_{B'_i(y)}$, $y \in Y$

Kesişim işlemcisi olarak $\min[\mu_{A'(x)}, \mu_{A_i(x)}]$ kullanıldığından yöntem max-min çıkarımı olarak da isimlendirilir. Bu adımlar bir örnek üzerinden incelenecektir [72].

Isıtma gücünün oksijen debisine göre belirlendiği bir sistemde oksijen debisi $A = \{\text{az, orta, çok}\}$, ısıtma gücü $B = \{\text{az, yüksek}\}$ bulanık kümeleriyle gösterilmektedir. Giriş tanım kümesi $X = \{0, 1, 2, 3\}$ ve çıkış tanım kümesi $Y = \{0, 25, 50, 75, 100\}$. Şekil 4.2'deki üyelik fonksiyonlarına göre bulanık terimlerin üyelik dereceleri Çizelge 4.1'deki gibidir. Örnekteki amaç sisteme $A' = [1, 0.6, 0.3, 0]$ girişi uygulandığında elde edilen B' çıkışını bulmaktır.



Şekil 4.2 : Oksijen debisi ve ısıtma gücü değişkenlerinin üyelik fonksiyonları.

Çizelge 4.1 : Giriş ve çıkış dilsel terimlerinin üyelik dereceleri.

Giriş					Çıkış					
Dilsel Terimler	Tanım Kümesi Elemanları				Dilsel Terimler	Tanım Kümesi Elemanları				
	0	1	2	3		0	25	50	75	100
Az	1.0	0.6	0.0	0.0	Az	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0
Orta	0.0	0.4	1.0	0.4	Yüksek	0.0	0.0	0.3	0.9	1.0
Çok	0.0	0.0	0.1	1.0						

Kurallar şu şekildedir:

1. Eğer oksijen debisi az ise O halde ısıtma gücü azdır.
2. Eğer oksijen debisi orta ise O halde ısıtma gücü yüksektir.
3. Eğer oksijen debisi çok ise O halde ısıtma gücü azdır.

A' girişi yukarıdaki her kural içim uygulanarak kuralların doğruluk/ateşleme değerleri olan β bulunur.

$$\beta_1 = \max [\mu_{A'}(x) \mu_{A1(x)}] = \max([1, 0.6, 0.3, 0]) \wedge \max([1, 0.6, 0, 0]) = 1$$

$$\beta_2 = \max [\mu_{A'}(x) \mu_{A2(x)}] = \max([1, 0.6, 0.3, 0]) \wedge \max([1, 0.4, 1, 0.4]) = 0.4$$

$$\beta_3 = \max [\mu_{A'}(x) \mu_{A3(x)}] = \max([1, 0.6, 0.3, 0]) \wedge \max([0, 0, 0.1, 1]) = 0.1$$

Her kuralın sonuç bulanık kümesi elde edilir.

$$B'_1 = \beta_1 \wedge B_1 = 1 \wedge [1, 1, 0.6, 0, 0] = [1, 1, 0.6, 0, 0]$$

$$B'_2 = \beta_2 \wedge B_2 = 0.4 \wedge [0, 0, 0.3, 0.9, 1] = [0, 0, 0.3, 0.4, 0.4]$$

$$B'_3 = \beta_3 \wedge B_3 = 0.1 \wedge [1, 1, 0.6, 0, 0] = [0.1, 0.1, 0.1, 0, 0]$$

Sonuç bulanık kümesinin eldesi için kuralların çıkışları maksimumları alınarak birleştirilir.

$$B = \max \mu_{B'}(y) = [1, 1, 0.6, 0.4, 0.4]$$

4.3.2 Takagi-Sugeno

Bu yöntemde ardıl kısmı genellikle bir lineer veya sabit fonksiyon olan Takagi – Sugeno türündeki kurallar kullanılır [71]:

R_i : “Eğer $x_1 A_{i1}$ ve $x_2 A_{i2}$ ve ... ve $x_k A_{ik}$ ise O Halde $f_i(x_1, x_2, \dots, x_k)$ ”, $i=1, 2, \dots, n$

Her kuralın çıkış fonksiyonları birleştirilerek sonuç fonksiyonu bulunur:

$$F(x) = \frac{A_1(x)f_1(x) + A_2(x)f_2(x) + \dots + A_n(x)f_n(x)}{A_1(x) + A_2(x) + A_3(x)} \quad (4.1)$$

4.3.3 Tsukamoto yöntemi

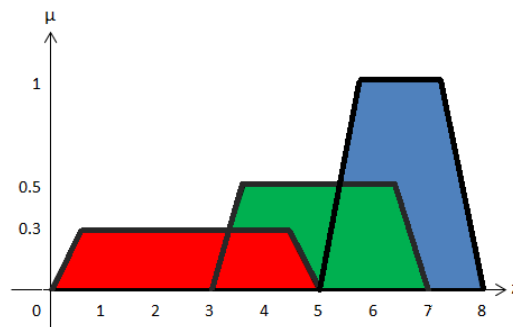
Kural tipi olarak Tsukamoto türünün kullanıldığı yöntemdir:

“Eğer $x A_i$ ise O Halde $y C_i$ dir”, $i = 1, 2, \dots, n$, C_i monoton olarak artan veya azalan bir fonksiyondur. Tüm kuralların çıkışlarının birleştirilmesiyle elde edilen sonuç [71]:

$$C(x) = \frac{\sum_{i=1}^n C_i^{-1} A_i(x)}{\sum_{i=1}^n A_i(x)} \quad (4.2)$$

4.4 Netleştirme

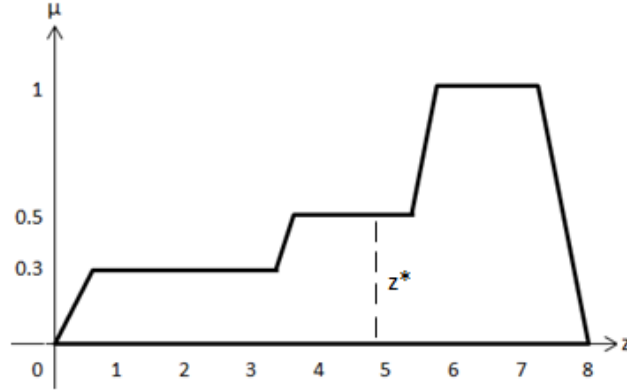
Yukarıda bahsedilen kuralları birleştirip çıkarım yapan yöntemlerin çoğu sonuç olarak bir bulanık küme verir. Ancak uygulamalarda ihtiyaç sıklıkla keskin bir çıkıştır. Bu yüzden bulanık kümeyi en iyi yansıtacak şekilde bir sayı üretmeye çalışan netleştirme yöntemlerine ihtiyaç vardır. Örnek olarak Şekilde 4.3’de verilen her bir kuralın çıktısının toplanmasıyla elde edilen bulanık sonucu farklı netleştirme yöntemleriyle keskin hale getirelim [72].



Şekil 4.3 : Çıkarım adımı sonucu elde edilen bulanık küme.

4.4.1 Ağırlık merkezi yöntemi

Bu yöntemde her kuralın alan olarak çıktısının maksimumları alınarak oluşturan birleştirilmesiyle oluşan şeklin alan merkezinin hesaplanır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 : Ağırlık merkezi yöntemiyle netleştirme.

$$z^* = \frac{\int z\mu_B(z)dz}{\int \mu_B(z) dz}, \quad z^* = 4.9 \text{ bulunur} \quad (4.3)$$

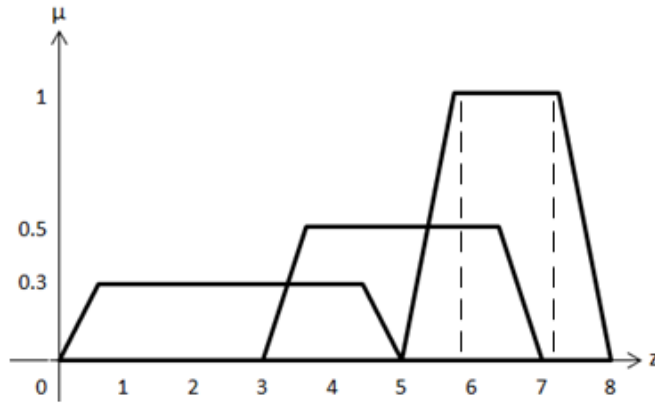
4.4.2 Alanların toplamının merkezi

Alanlarının ayrı ayrı bulunup daha sonra bunların merkezinin belirlendiği yöntemdir.

$$z^* = \frac{\sum_i z_i A_{zi}}{\sum_i A_{zi}} \quad (4.4)$$

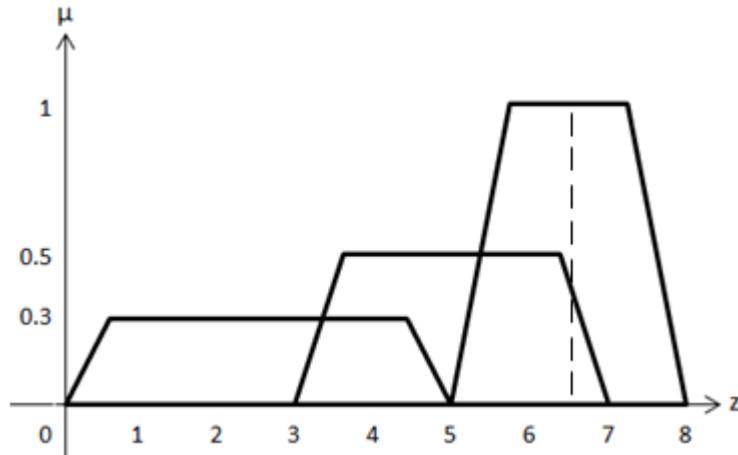
4.4.3 Maksimum netleştiriciler

Maksimumun ilki veya sonu



Şekil 4.5 : Maksimum ilk veya son yöntemi. $z_{ilk} = 5.9$ ve $z_{son} = 7.1$ dir.

Maksimumların ortası

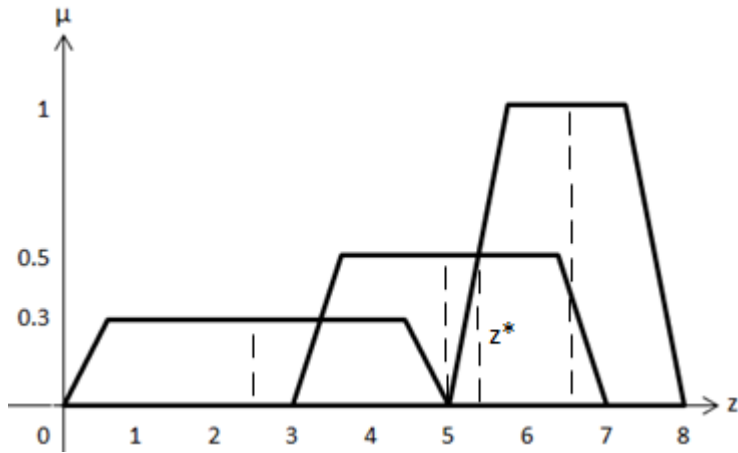


Şekil 4.6 : Maksimumların ortası yöntemiyle netleştirme.

$$z^* = \frac{z_{ilk} + z_{son}}{2} = 6.5 \text{ bulunur} \quad (4.5)$$

4.4.4 Yüksekliklerin ortalaması

Bu yöntemde netleştirilmiş değer alanların hesaplanması yerine sonuç bulanık kümesindeki yüksekliklerin ağırlıklı ortalaması alınarak bulunur (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 : Yüksekliklerin ortalaması yöntemiyle netleştirme.

$$z^* = \frac{\sum_i z_i h_i}{\sum_i h_i}, \quad z^* = 5.41 \text{ bulunur.} \quad (4.6)$$

5. MATERİYAL VE METOT

Bu çalışmada robotik cerrahi ameliyatı geçirmiş 24 hastanın operasyon öncesi minimum SpO₂, VKİ, Mallampati skoru ve BÇ verileri kullanılmıştır. Veri kümesi hastaların 14'ü sistemin tasarımında, 10'u ise sistemin sınanmasında kullanılmak üzere 2'ye ayrılmıştır. Çizelge 5.1'de bu gruplardaki hastaların verileri özetlenmiştir. Tasarımın ilk aşamalarında eldeki verilerde SpO₂ yerine O₂ desatürasyon indeksi (ODİ) bulunmaktaydı. Bu yüzden giriş verisi olarak kurallar ODİ'ye göre belirlenmişti. Ancak daha sonra verisi elde edilen 10 hastada ODİ yerine SpO₂ bilgisinin bulunması ve sistemin sınanma gerekliliği, tasarımın bu veriye göre yeniden düzenlenmesine sebep olmuştur. Çizelge 5.1'deki veriler arasından ESS AHI ile kayda değer bir korelasyon içermediğinden [73], yaş ise hastalağın ciddiyetiyle arasında kesin bir ilişki saptanamadığı [1, 55] için kullanılmamıştır. Bu bölümde öncelikle kullanılan veriler ve bunlarla ilişkili parametrelerin tanımı yapılacaktır. Daha sonra BUS tasarımı adım adım incelenecektir.

Çizelge 5.1 : Hasta verilerinin özetleri.

Grup	Yaş	min SpO ₂	ODİ	VKİ	ESS	BÇ	AHI
Tasarım	52±7.4	82.4±7.8	22.3±16.5	32.5±5.5	11±4.6	41±3.2	28±18.3
Test	50±8.1	77.8±6.3	-	28.5±5	13.6±1.4	40±2.9	26.9±12.5

5.1 Tanımlar

Apne: Uyku sırasında soluk alımının en az 10 saniye durmasıdır [47].

Hipopne: AASM tarafından 1999 ve 2007 yıllarında 3 farklı hipopne tanımı yapmıştır. 1999 yılı tanımına hipopne, Chicago kriterleri olarak da bilinir, hava akımının herhangi bir uyanma veya oksijen desaturasyonu olması gerekmeksizin %50'den fazla azalması ya da hava akımındaki daha az oranda bir azalmaya %3'den büyük oksijen desatürasyonu veya uyanmanın eşlik etmesidir. Bu ve bundan sonra

bahsedilecek düşüşler referans değerine göredir. Referans değeri uyku süresince stabil bir soluk alma örüntüsü olan hastalar için apne/hipopne olayının 2 dakika öncesindeki stabil soluk alma ve oksijenlenmenin ortalama genliğidir. Stabil soluk alma örüntüsü olmayan hastalar içinse referans değeri olay başlangıcının 2 dakika öncesindeki en derin 3 nefesin ortalama genliğidir [47]. 2007 yılında tavsiye edilen ve alternatif olmak üzere 2 tanım yapılmıştır. Tavsiye edilen tanıma göre hipopne hava akımındaki %30 düşüşe %4 veya daha büyük desatürasyonun eşlik etmesindeyken, alternatif tanım %50 düşüş ile birlikte %3 desatürasyon veya uyanma gerektirmektedir [7].

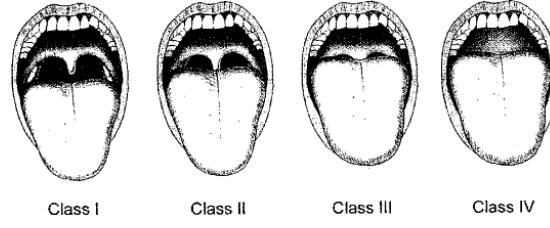
Minimum SpO₂: Uyku sırasındaki kandaki en düşük oksijen çözünürlük yüzdesidir. Hafif, orta ve ağır OSAHS hastaları için bu yüzdelerin aralıkları sırasıyla min SpO₂≥%90, %80≤min SpO₂<%90 ve min SpO₂<%80'dir [74].

ODİ: Uykudayken saat başına gerçekleşen O₂ desatürasyonu (O₂ doygunluğunun %90'ın altına düşmesi) sayısıdır [75].

VKİ: Vücuttaki yağ miktarını ifade eden bir ölçüdür. Vücut ağırlığının metre cinsinden boyun karesine bölünmesiyle elde edilir. 25≤VKİ<30 aralığındaki kişiler aşırı kilolu, 30 ve üzeri ise obez olarak nitelendirilir. VKİ'nin 28'in üzerinde olması uyku apne sendromu riskini obez olmayanlara göre 8-12 kat arttırmaktadır [55].

BÇ: Bazı araştırmacılar boyun bölgesindeki yağ dokusu artışının daha önemli olduğunu ve dolayısıyla BÇ ölçümünün VKİ'ye göre daha geçerli olduğunu söylemiştir [1]. BÇ'nin erkeklerde 43 cm, kadınlarda 38 cm'den fazla olması hastalık riskini yükseltmektedir [55].

Mallampati skoru: Orijinalde anestezide intübasyon riski yüksek hastaları belirlemek için geliştirilmiştir ve OSAHS muayenesinde kullanılmak üzere öncekiyle tek fark olarak dilin dışarı çıkarılmadan değerlendirmenin yapılması şeklinde modifiye edilmiştir. İnceleme sonucu 1'den 4'e kadar bir derecelendirme yapılır [76] (Şekil 5.1).



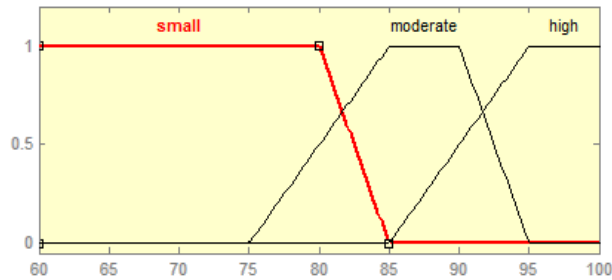
Şekil 5.1 : Mallampati skorlaması. Sınıf I: Yumuşak damak ve uvula tümüyle görünür. Sınıf II: Yumuşak damak ve uvulanın bir kısmı görünür. Sınıf III: Yumuşak damak görünür. Sınıf IV: Yumuşak damak görünmez [76].

5.2 BUS Tasarımı

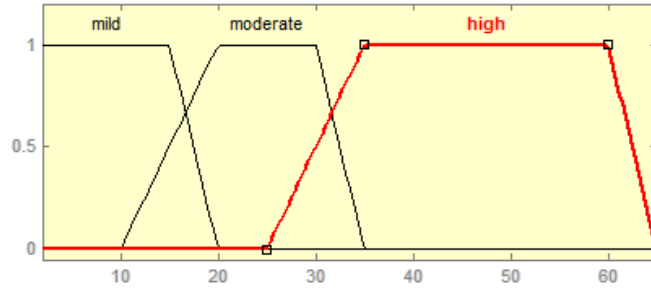
Bu bölümde Şekil 4.1’de gösterilen bulanık sistem şemasındaki bileşenlerin bu çalışmadaki karşılıkları incelenecektir. Tasarım Matlab 2013a ortamında “fuzzy logic” aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

5.2.1 Bulanıklaştırma

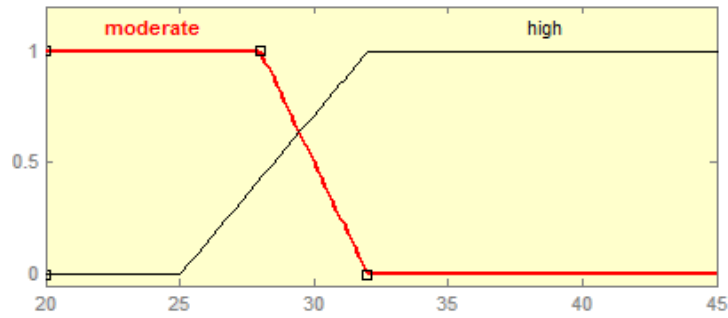
Bu adımda sınırları keskin olan giriş parametreleri aralıkları hem yazın incelemesiyle hem de uzman görüşüne dayanarak bulanıklaştırılmıştır. En düşük SpO_2 girişi %60-85 aralığı için “az”, %75-95 aralığı için “orta” ve %85-100 için “yüksek” dilsel terimleriyle 3 bulanık kümeye ayrılmıştır (Şekil 5.2). ODİ’de “az”, “orta” ve “yüksek” bulanık kümelerine karşılık gelen aralıklar sırasıyla 2-20, 10-35 ve 25-65’tir (Şekil 5.3). VKİ’de 20-32 ve 25-45 aralıkları sırasıyla “orta” ve “yüksek” dilsel terimleriyle ifade edilmiştir (Şekil 5.4). Mallampati skoru Şekilde görüldüğü gibi 3 kısma ayrılmıştır (Şekil 5.5). BÇ ise 35-44 cm arası için “orta”, 40-47 cm arası için “yüksek” bulanık kümelerine ayrılmıştır (Şekil 5.6). Son olarak, ciddiye derecesini temsil eden ve standart AHI aralıklarından temel alan çıkış 3-20 aralığı için “hafif”, 10-35 için “orta” ve 25-60 değerleri için “yüksek” dilsel terimleriyle ifade edilmektedir (Şekil 5.7).



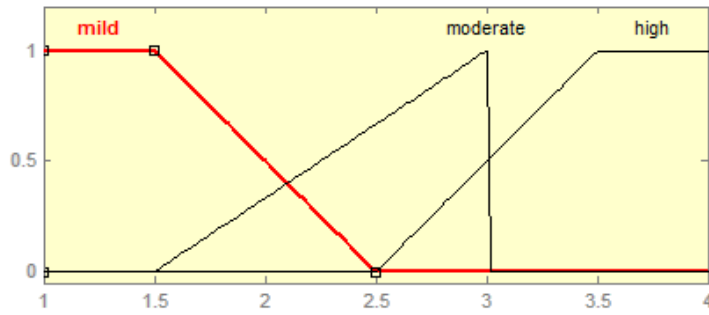
Şekil 5.2 : En düşük SpO_2 ’nin üyelik fonksiyonları ve bunlara karşılık gelen dilsel terimler.



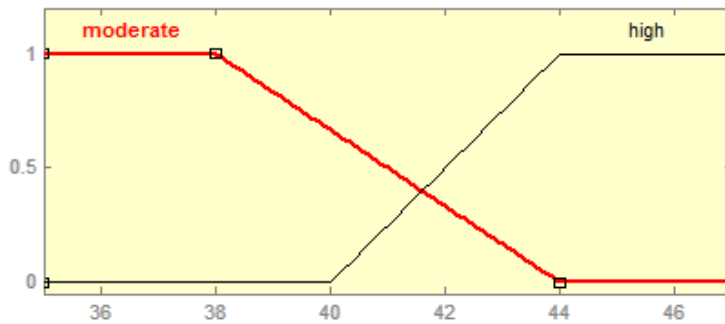
Şekil 5.3 : ODI'nin üyelik fonksiyonları ve bunlara karşılık gelen dilsel terimler.



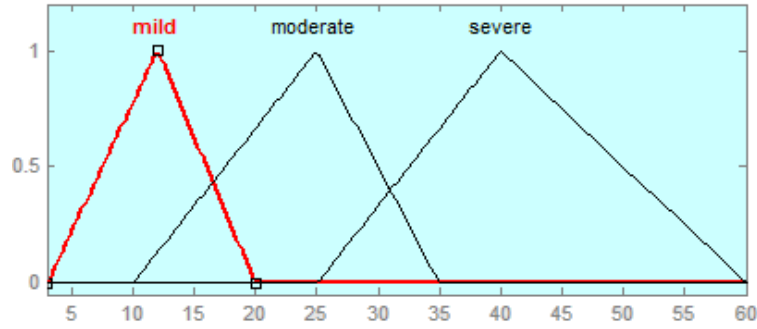
Şekil 5.4 : VKİ'nin üyelik fonksiyonları ve bunlara karşılık gelen dilsel terimler.



Şekil 5.5 : Mallampati skoru için üyelik fonksiyonları ve bunlara karşılık gelen dilsel terimler.



Şekil 5.6 : BÇ için üyelik fonksiyonları ve bunlara karşılık gelen dilsel terimler.



Şekil 5.7 : Ciddiyeti ifade eden üyelik fonksiyonları ve bunlara karşılık gelen dilsel terimler.

5.2.2 Kurallar, çıkarım ve netleştirme

Çalışmada geliştirilen BUS için Otolarengoloji uzmanlarıyla görüşerek Şekil 5.8’de görülen 16 kural oluşturulmuştur. ODİ için yazılan kurallar ile bunlar arasındaki tek fark, ODİ ile SpO_2 ‘nin negatif korelasyona sahip olmasından dolayı “az” ile “yüksek” terimlerinin yer değiştirmesidir.

1. If (SpO is small) and (BMI is high) then (Severity is severe) (1)
2. If (SpO is moderate) and (BMI is high) and (Mallampati is moderate) and (NC is high) then (Severity is severe) (1)
3. If (SpO is small) and (BMI is moderate) and (Mallampati is high) and (NC is high) then (Severity is severe) (1)
4. If (SpO is high) and (BMI is moderate) and (Mallampati is high) and (NC is moderate) then (Severity is moderate) (1)
5. If (SpO is moderate) and (BMI is moderate) and (NC is moderate) then (Severity is moderate) (1)
6. If (SpO is small) and (BMI is moderate) and (Mallampati is high) and (NC is moderate) then (Severity is moderate) (1)
7. If (SpO is small) and (BMI is moderate) and (Mallampati is mild) and (NC is moderate) then (Severity is moderate) (1)
8. If (SpO is moderate) and (BMI is high) and (Mallampati is mild) and (NC is high) then (Severity is moderate) (1)
9. If (SpO is moderate) and (BMI is high) and (Mallampati is high) then (Severity is moderate) (1)
10. If (SpO is high) and (BMI is moderate) and (Mallampati is moderate) and (NC is moderate) then (Severity is mild) (1)
11. If (SpO is moderate) and (BMI is moderate) and (Mallampati is moderate) and (NC is moderate) then (Severity is mild) (1)
12. If (SpO is high) and (BMI is high) and (Mallampati is high) and (NC is high) then (Severity is severe) (1)
13. If (SpO is moderate) and (BMI is moderate) and (Mallampati is high) and (NC is high) then (Severity is moderate) (1)
14. If (SpO is high) and (BMI is moderate) and (Mallampati is mild) and (NC is high) then (Severity is moderate) (1)
15. If (SpO is high) and (BMI is high) and (Mallampati is high) and (NC is high) then (Severity is moderate) (1)
16. If (SpO is high) and (BMI is high) and (NC is moderate) then (Severity is mild) (1)

Şekil 5.8 : BUS’un kural tabanı. Parantez içindeki rakamlar o kural için ağırlığı ifade etmektedir. Burada her kural eşit olarak ağırlıklandırılmıştır.

Çalışmada çıkarım yöntemi olarak Mamdani yöntemi kullanılmıştır. Aslında Takagi-Sugeno ve Tsukamoto yöntemlerinin hesaplama yükleri, daha azdır ve bu fark daha büyük veriler ile uğraşıldığında görünür olmaktadır. Ancak Mamdani yönteminin akisine diğer 2 yöntemde kuralların çıkışı bulanık olmadığından sistemin açıklayıcılığı ve yorumlanabilirliği azalmaktadır [77]. Ayrıca Takagi-Sugeno tipi bir kuralın çıkışı sabit bir sayı ya da belirli bir fonksiyon, Tsukamoto tipinde ise monoton bir fonksiyondur. Sistemin çıkışı olan AHİ için belirli veya monoton bir fonksiyon ile ifadesinin pek mümkün görünmemesi ve kural çıkışlarının keskin değerler olması bu çalışma kapsamında kullanılan bulanık AHİ aralıkları fikrine

uygun olmamasından ötürü Takagi-Sugeno ya da Tsukamoto yöntemleri tercih edilmemiştir. Diğer yöntemler kullanılarak yapılan netleştirme işlemlerine göre ağırlık merkeziyle elde edilen sonuçlar daha iyi olduğundan bu yöntem seçilmiştir.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde sırasıyla tasarım ve test adımlarının sonuçları verilecektir. Her iki adımda da tahmin sonuçlarının doğrulanması hastaların gerçek AHİ değerleri ile yapılmıştır. Bu doğrulama iki şekildedir: 1) Hastaların OSAHS ciddiyetlerinin doğru biçimde belirlenebilmesi, 2) Tahmin değerleri ile AHİ skorları arasında kayda değer bir korelasyonun elde edilebilmesidir. Test grubunda ODİ verisine sahip herhangi bir hasta bulunmadığından girdi olarak SpO₂ yerine ODİ kullanan sistemin yalnızca tasarım sonucu verilebilmektedir.

6.1 Tasarım

Çizelge 6.1’de 14 hastanın verileri ile ODİ bilgisini kullanan sistemin tahmin sonuçları görülmektedir. Hafif, orta ve ağır OSAHS grupları sırasıyla yeşil, sarı ve kırmızı ile renklendirilmiştir. AHİ’nin hastalık ciddiyet sınıflandırılması standart aralıklara göre iken tahmin sonuçları bulanıklaştırılmış AHİ aralıklarına göre gruplandırılmıştır. Çizelge 6.1’de görüldüğü gibi 14 hastanın 12’si OSAHS ciddiyetlerine göre doğru biçimde sınıflandırılmıştır. Tahmin ile AHİ skoru arasındaki korelasyon katsayısının değeri $r = 0.78$ bulunmuştur. Hastaların verileri ile sahip oldukları AHİ skorlarının uyumu incelendiğinde 5, 11, 12 ve 13 numaralı hastaların sahip oldukları ODİ, VKİ, Mallampati ve BÇ değerlerine göre beklenenden daha düşük AHİ skorları aldığı görülmüştür. Uzman görüşü alındığında OSAHS’ın ciddiyetinin yumuşak damak, orofarenks ve epiglotttaki değişik derecelerdeki tıkanmalar gibi bu sistemde kullanılamayan parametrelerce de etkilendiği öğrenilmiştir. Dolayısıyla sistemin başarısının daha gerçekçi olarak değerlendirmek için bu hastalar çıkartıldığında tüm hastalar doğru bir şekilde sınıflandırılabilmiş ve $r = 0.88$ değerine ulaşılmıştır. Çizelge 6.2’de ise ODİ yerine min SpO₂ kullanıldığında yapılan tahminler görülmektedir. Bu sistemin de 12 hastayı doğru sınıflandırmakla birlikte AHİ ile korelasyonu 0.56’dır. Bu daha düşük değerinin nedeni AHİ’nin ODİ ile korelasyonunun min SpO₂ ile olduğundan daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır [75, 78]. Belirtilen hastalar çıkarıldığında sınıflandırma başarısı

ve korelasyon sonucu önceki sistemle aynı olmaktadır. Bu sonuçlar Mamdani yönteminin ilk 2 adımında minimum, 3. adımında ise maksimum operatörleri kullanılarak elde edildi. Ancak minimum kullanıldığında kuralın gücü ile çıkışının aldığı değer sadece üyelik derecesi en düşük olan giriş parametresi tarafından belirlendiğini farkettim. Bu durumu düzeltmek ilk 2 adımda çarpım, son adımda toplam operatörleri kullanılarak Çizelge 6.3'te görülen sonuçlara ulaşıldı. Yapılan bu değişikliklerden sonra sistemin sınıflandırma başarısı ve korelasyon değerleri Çizelge 6.4'te görülmektedir. Şekil 6.1'de ise hasta 14'ün giriş verilerine göre atışlanan kurallar sonucu elde edilen bulanık çıkışlar ile netleştirme işlemi sonrası elde edilen tahmin sonucu görülmektedir.

Çizelge 6.1 : Hasta verileri ve ODİ kullanılarak oluşturulmuş sistemin sonuçları.

Hasta	ODİ	VKİ(kg/m ²)	Mallampati	BÇ(cm)	AHİ	Tahmin
1	16.7	41.6	4	45	27.1	34.3
2	23.5	26.4	3	36	13	19.0
3	2.6	27.3	3	37	11.4	17.9
4	42.4	32.08	2	39	71.2	41.7
5	21.2	32.8	4	43	19.8	23.3
6	3	24.5	3	40	19.5	18.3
7	39.6	31.6	2	45	40.4	41.7
8	10.4	27.6	3	38	21.5	17.9
9	64	40.6	3	46	62	42.3
10	3.3	28.8	1	42	21.5	19.9
11	22.3	35.6	2	43	20	33.0
12	19.8	38	4	41	10.1	24.7
13	16.5	38.1	3	45	22.1	35.1
14	27.4	30.5	3	40	33	27.8

Çizelge 6.2 : SpO₂ kullanılarak yapılan tahminler.

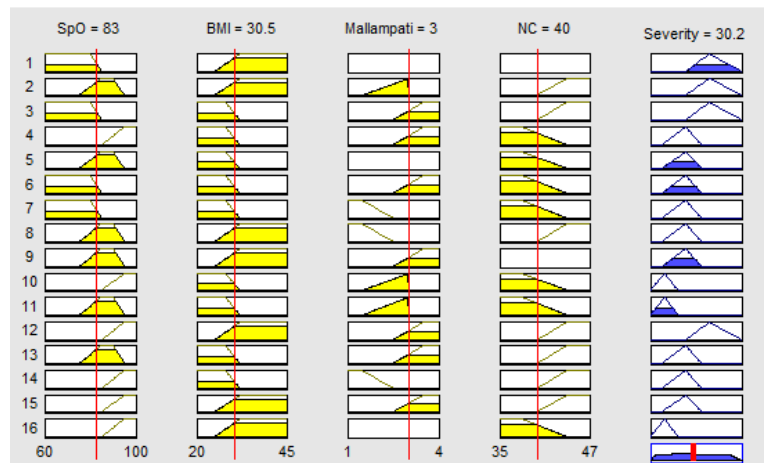
Hasta	min SpO ₂ (%)	AHİ	Tahmin
1	82	27.1	34
2	87	13	19
3	91	11.4	18.9
4	75.3	71.2	41.7
5	81	19.8	34.9
6	90	19.5	18.9
7	79	40.4	36.3
8	88.4	21.5	19
9	81	62	35.4
10	85	21.5	23.1
11	88.4	20	31.3
12	82	10.1	34
13	60	22.1	41.7
14	83	33	30.2

Çizelge 6.3 : Çıkarım adımında yapılan değişiklikler sonrası tahminler.

Hasta	AHI	Tahmin
1	27,1	33,3
2	13	18,5
3	11,4	17,9
4	71,2	41,7
5	19,8	35,3
6	19,5	18,1
7	40,4	39,6
8	21,5	18,4
9	62	39,2
10	21,5	23,3
11	20	31,1
12	10,1	33,3
13	22,1	41,7
14	33	29,0

Çizelge 6.4 : Sınıflandırma başarıları ve korelasyon değerleri.

Çıkarımda min. ve maks. kullanımı				Çıkarımda çarpma ve toplama kullanımı			
1. durum		2. durum		1. durum		2. durum	
Başarı	Korelasyon	Başarı	Korelasyon	Başarı	Korelasyon	Başarı	Korelasyon
%86	0.56	%100	0.88	%79	0.61	%100	0.89



Şekil 6.1 : Hasta 14'ün çıkarım ve netleştirme sonuçları. Her satır bir kurala, sütunlarda bu kuralların öncül ve ardıl kısımlarına karşılık gelmektedir. Sağ en alttaki grafik ise netleştirme sonucunu göstermektedir.

6.2 Sınama

Bu adım, sınamada kullanılan hastaların sadece SpO₂ değerleri olduğundan ODİ'ye dayanan sistem için gerçekleştirilememiştir. Çizelge 6.3'te sınamada kullanılan hastaların verileri ile tahmin sonuçları gösterilmektedir. 10 hastanın 9'u doğru şekilde sınıflandırılmış ve korelasyon 0.53 olarak bulunmuştur. Hasta 5 AHİ skoru ile verileri arasındaki uyumsuzluk nedeniyle çıkarıldıktan sonra elde edilen sınıflandırma başarısı %100 ve korelasyon değeri 0.78'dir. Çıkarım adımında yapılan değişiklikler oluşan tahmin değerleri ile sınıflandırma başarısı ve korelasyondaki değişiklikler sırasıyla Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7'de gösterilmiştir. Buradaki 1. durumda hasta 5 işlemlere dahil iken, 2. durumda bu hasta çıkarılmıştır.

Çizelge 6.5 : Sınama verileri için tahminler.

Hasta	min SpO ₂ (%)	VKİ (kg/m ²)	Mallampati	BÇ (cm)	AHİ	Tahmin
1	81	28	2	37	23.7	30.5
2	75	29	4	37	25	33.7
3	87	24.5	3	37	13.8	19.0
4	68	28	3	40	40.9	34.0
5	72	41	2	41	15	41.7
6	78	26	4	44	52	37.2
7	86	27	3	39	15.4	19.0
8	75	31.3	4	45	32.7	41.7
9	73	28	4	42	31.2	35.9
10	82.64	22.6	2	40	19	20.4

Çizelge 6.6 : Çıkarımdaki değişiklikleri sonrası sınamadaki tahmin sonuçları.

Hasta	AHİ	Tahmin
1	23.7	27,8
2	25	32,8
3	13.8	18,4
4	40.9	35,1
5	15	41,7
6	52	38,4
7	15.4	18,8
8	32.7	41,7
9	31.2	37,9
10	19	21,6

Çizelge 6.7 : Sınama adımıındaki sınıflandırma başarıları ve korelasyon değerleri.

Çıkarımda min. ve maks. kullanımı				Çıkarımda çarpma ve toplama kullanımı			
1. durum		2. durum		1. durum		2. durum	
Başarı	Korelasyon	Başarı	Korelasyon	Başarı	Korelasyon	Başarı	Korelasyon
%90	0.53	%100	0.78	%90	0.58	%100	0.82

Çizelgelere bakıldığında 71.2, 62 gibi oldukça yüksek AHİ değerleri görülmektedir ve tahminler bu sayılara pek yakın değildir. Ancak bu tezde yapılmak istenen AHİ skorunu tam olarak bulmaya çalışmak değildir. Bunun yerine, hastaları OSAHS ciddiyetlerine göre doğru ve tutarlı sonuçlarla sınıflandırılmaya çalışılmıştır. Ayrıca, kullanılmakta olan standart AHİ aralıklarının aslında şu andaki kadar keskin sınırlara sahip olmayabileceğini göstermek amaçlanmıştır. Örneğin tasarım grubu verilerindeki hasta 1’in AHİ skoru, 27.1, onun orta seviyede OSAHS’a sahip olduğunu belirtirken, SpO₂ kullanan sistemin tahmin sonucu olan 34 hem “ağır” hem de “orta” ciddiyet sınıflarında üyelik derecelerine sahip olduğundan hastanın standart ölçüyle belirtilenden daha ciddi OSAHS’a sahip olabileceğini göstermektedir. Başka bir örnek olarak, hasta 6 standart aralıklara göre “orta” seviye olarak sınıflandırılırken, BUS ile edilen sonuca göre hastanın “hafif” grubuna da atanabileceği görülmektedir. Bu şekilde sınırları bulanık değer aralık fikrine destek sağlayan olgulardan biri de PSG’deki zorluklardan kaynaklanır. Doğru bir AHİ skoru elde edebilmek için en az şu şartlar sağlanmalıdır: Ses geçirmez, iklimlendirilmiş ve tam olarak karanlık bir oda, rahat bir yatak ile biyolojik sinyallerin kaydı için gerekli olan donanımlar, hastanın PSG’den önceki günlerde uyku ilacı ve sakinleştirici almaması, bir gün öncesi ağır fiziksel aktivitede bulunmaması ve kahve, siyah çay, alkollü içecek kullanmaması [79]. Bu koşullarından birinin bile sağlanmaması hastanın uyku kalitesinin düşmesine yol açarak hatalı AHİ sonuçları bulunmasına neden olabilir. Bunlara ek olarak, OSAHS sırtüstü pozisyonda yatmaktan kaynaklanıyor olabilir ve PSG’nin bazı pozisyonel OSAHS hastalarının AHİ skorlarının olduğundan fazla çıkmasına sebep olduğu gösterilmiştir [80].

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada OSAHS'ın ciddiyet seviyesi min SpO_2 , VKİ, Mallampati skoru, BÇ kullanılarak tahmin edilmiş ve sonuçlar hastaların gerçek AHİ skorlarıyla karşılaştırılmıştır. Bulgular bulanık uzman sistemlerin bu problem için başarı ile kullanılabileceğini göstermektedir. Her ne kadar çalışma bu haliyle min SpO_2 verisi PSG sırasında alındığı ve sağlıklı kişilerin verisini kullanılmadığı için PSG'ye alternatiftir denilemese de, tamamlanması zor olmayan bu eksikler BUS'un OSAHS teşhisine yardımcı olabilecek ucuz, hızlı bir alternatif olarak düşünülebileceğini göstermektedir. Üstelik önerilen bulanık AHİ aralıklarının sağladığı esneklik ile doktorlar hastaları daha rahat bir şekilde sınıflandırabilir. Bu bulanıklık standart AHİ aralıklarında fark edilmeyen “orta-yüksek”, “hafif-orta” gibi ara noktaları görünür kılarak daha açıklayıcı bir sınıflandırma sağlamaktadır. Matlab'in güçlü görselleştirme becerisi çalışmayı desteklemektedir. Örneğin, FIS'in kural görüntüleme seçeneği kullanılarak Şekil 6.1'deki gibi hangi risk faktörünün ciddiyet derecesi üzerinde daha belirleyici olduğunun görülmesi tedavi ile ilgili karar verme sürecine yardımcı olabilir.

Bulgularda belirtildiği üzere bazı hastaların AHİ skorları ile kullanılan verileri arasında uyumsuzluk görüldüğünden çıkarılması gerekmişti. Otolarengoloji uzmanı ile yapılan görüşme sonucu bu farkların AHİ'ye etki eden yumuşak damak, orofarenks, dil kökü ve epiglot seviyelerindeki tıkanmalardan kaynaklandığı anlaşılmıştır. Tıkanmanın derecesi Müller manevrası, uyku endoskopisi yapılarak ve VOTE ölçeği kullanılarak belirlenmektedir [55]. Çalışmada verileri kullanılan hastaların bahsedilen bölgelerdeki tıkanık dereceleri uyku endoskopisi ile belirlenmiş olmasına karşın tasarlanan BUS'ta bir öznitelik olarak kullanılmamasının nedeni her bölge için ayrı bir tıkanıklık değeri belirlenmiş olup, tıkanıklık derecesi altında tek bir başlık altında toplanmamasından kaynaklanmaktadır. Çünkü bu işlemde amaç cerrahi müdahale öncesi tıkanıklıkların yerini belirlemektir [81]. Bu çalışmada kullanılabilecek tarzda tıkanıklık verileri ile daha gerçekçi tahminler yapılabileceği düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında geliştirilen BUS'un hastane bilgi sistemleri ile bütünleştirilerek işlemin otomatikleştirilmesi düşünülmektedir. Bu sayede BUS kişinin başka kliniklerde elde edilen verilerine ulaşp bunlara göre bir OSAHS risk veya ciddiyet derecesi belirleyerek bir erken uyarı sistemi gibi çalışabilecektir. Bu uyarı aynı zamanda hastanın güncel şikayetinin tedavisi ile ilgili verilecek kararı etkileyebilecektir.

Etkileyici bir organizasyon ile farklı şekillerde etkileşebilen çok sayıda yapıyı içeren insan vücudunda oluşan sorunları tam olarak belirleyebilmek bu karmaşık yapıdan dolayı oldukça güç bir iştir. Doktorun hastalıkla ilgili tıbbi karar vermek için başvurduğu hasta hikayesini alma, fiziksel muayene, laboratuvar testleri gibi yollar zaman alıcı, pahalı ve bazen de yanıltıcı olabilmektedir. BUS'un karmaşıklığın doğal bir sonucu olan belirsizliği göz önüne alması ve hem sayısal hem de dilsel değişkenleri bir arada kullanmasının insan muhakemesine yakın oluşu onu tıbbın herhangi bir dalındaki karar verme probleminde kullanılmak üzere dikkate değer bir araç haline getirmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Demir, AU,** (2007). Obstrüktif uyku apne sendromu (OUAS) ve obezite. *Hacettepe Tıp Dergisi*, **38**, 177-93.
- [2] **Lloberes, P., Levy, G., Descals, C., Sampol, G., Roca, A., Sagales, T., ve DE LA CALZADA, M. D.** (2000). Self-reported sleepiness while driving as a risk factor for traffic accidents in patients with obstructive sleep apnoea syndrome and in non-apnoeic snorers. *Respiratory Medicine*, **94**, 971-976.
- [3] **Lindberg, E. V. A., Carter, N. E. D., Gislason, T., ve Janson, C.** (2001). Role of snoring and daytime sleepiness in occupational accidents. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **164**, 2031-2035.
- [4] **Evlice, A. T.** (2012). Obstrüktif Uyku Apne Sendromu. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*.
- [5] **Marin, J. M., Carrizo, S. J., Vicente, E., ve Agustí, A. G.** (2005). Long-term cardiovascular outcomes in men with obstructive sleep apnoea-hypopnoea with or without treatment with continuous positive airway pressure: an observational study. *The Lancet*, **365**, 1046-1053.
- [6] **Punjabi, N. M.** (2008). The epidemiology of adult obstructive sleep apnea. *Proceedings of the American Thoracic Society*, **5**, 136-143.
- [7] **Ruehland, W. R., Rochford, P. D., O'Donoghue, F. J., Pierce, R. J., Singh, P., ve Thornton, A. T.** (2009). The new AASM criteria for scoring hypopneas: impact on the apnea hypopnea index. *Sleep*, **32**, 150.
- [8] **Álvarez Estévez, D.** (2012). *Diagnosis of the sleep apnea-hypopnea syndrome: a comprehensive approach through an intelligent system to support medical decision*, (doktora tezi), Universidade Da Coruna, Coruna, İspanya.
- [9] **Durkin, J.** (1996). Expert systems: a view of the field. *IEEE Intelligent Systems*, **11**, 56-63.
- [10] **Liao, S. H.** (2005). Expert system methodologies and applications—a decade review from 1995 to 2004. *Expert Systems with Applications*, **28**, 93-103.
- [11] **Abbod, M. F., von Keyserlingk, D. G., Linkens, D. A., ve Mahfouf, M.** (2001). Survey of utilisation of fuzzy technology in medicine and healthcare. *Fuzzy Sets and Systems*, **120**, 331-349.

- [12] **Abdullah, A. A., Zakaria, Z., ve Mohamad, N. F.** (2011). Design and Development of Fuzzy Expert System for Diagnosis of Hypertension. *Second International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation*.
- [13] **Ribeiro, A. C., Silva, D. P., ve Araujo, E.** (2014). Fuzzy breast cancer risk assessment. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*.
- [14] **Neshat, M., Yaghobi, M., Naghibi, M. B., ve Esmaelzadeh, A.** (2008). Fuzzy expert system design for diagnosis of liver disorders. *International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling*.
- [15] **Lee, C. S., ve Wang, M. H.** (2011). A fuzzy expert system for diabetes decision support application. *Systems, Man, and Cybernetics*, **41**, 139-153.
- [16] **Allahverdi, N., Torun, S., ve Saritas, I.** (2007). Design of a fuzzy expert system for determination of coronary heart disease risk. *In Proceedings of the international conference on Computer systems and technologies*.
- [17] **Keleş, A., Keleş, A., Yavuz, U.** (2011). Expert system based on neuro-fuzzy rules for diagnosis breast cancer. *Expert Systems with Applications*, **38**, 5719-5726.
- [18] **Castanho, M. J. P., Hernandez, F., De Ré, A. M., Rautenberg, S., ve Billis, A.** (2013). Fuzzy expert system for predicting pathological stage of prostate cancer. *Expert Systems with Applications*, **40**, 466-470.
- [19] **Oladele, T. O., Sadiku, J. S., ve Oladele, R. O.** (2014). Coactive Neuro-Fuzzy Expert System: A Framework for Diagnosis of Malaria. *African Journal of Computing ve ICTs (AJOCICT)*. A Publication of the Computer Chapter of the Institute of Electrical ve Electronics Engineers (IEEE) Nigeria Section, **7**, 173-186.
- [20] **Keleş, A., ve Keleş, A.** (2008). ESTDD: Expert system for thyroid diseases diagnosis. *Expert Systems with Applications*, **34**, 242-246.
- [21] **Shieh, J. S., Kao, M. H., ve Liu, C. C.** (2006). Genetic fuzzy modelling and control of bispectral index (BIS) for general intravenous anaesthesia. *Medical Engineering and Physics*, **28**, 134-148.
- [22] **Chuang, C. T., Fan, S. Z., ve Shieh, J. S.** (2009). Rule extraction by fuzzy modeling algorithm for fuzzy logic control of cisatracurium as a neuromuscular block. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **22**, 129-140.
- [23] **Furutani, E., Araki, M., Kan, S., Aung, T., Onodera, H., Imamura, M., ve Maetani, S.** (2004). An automatic control system of the blood pressure of patients under surgical operation. *International Journal Of Control Automation And Systems*, **2**, 39-54.
- [24] **Ying, H., ve Sheppard, L. C.** (1994). Regulating mean arterial pressure in postsurgical cardiac patients. *IEEE Engineering in Medicine and Biology*, **13**, 671-677.

- [25] **Lee, M., Ahn, J. M., Min, B. G., Lee, S. Y., ve Park, C. H.** (1996). Total artificial heart using neural and fuzzy controller. *Artificial Organs*, **20**, 1220-1226.
- [26] **Olegario, P. S., Yoshizawa, M., Tanaka, A., Abe, K. I., Takeda, H., Yambe, T., ve Nitta, S. I.** (2003). Outflow control for avoiding atrial suction in a continuous flow total artificial heart. *Artificial Organs*, **27**, 92-98.
- [27] **Atlas, E., Nimri, R., Miller, S., Grunberg, E. A., ve Phillip, M.** (2010). MD-Logic Artificial Pancreas System A pilot study in adults with type 1 diabetes. *Diabetes Care*, **33**, 1072-1076.
- [28] **Becker, K., Thull, B., Käsmacher-Leidinger, H., Stemmer, J., Rau, G., Kalff, G., ve Zimmermann, H. J.** (1997). Design and validation of an intelligent patient monitoring and alarm system based on a fuzzy logic process model. *Artificial Intelligence in Medicine*, **11**, 33-53.
- [29] **Wolf, M., Keel, M., von Siebenthal, K., Bucher, H. U., Geering, K., Lehareinger, Y., ve Niederer, P.** (1996). Improved monitoring of preterm infants by Fuzzy Logic. *Technology and Health Care*, **4**, 193-201.
- [30] **Phillips, M., Cataneo, R. N., Ditkoff, B. A., Fisher, P., Greenberg, J., Gunawardena, R., ve Wong, C.** (2006). Prediction of breast cancer using volatile biomarkers in the breath. *Breast Cancer Research and Treatment*, **99**, 19-21.
- [31] **Seker, H., Odetayo, M. O., Petrovic, D., ve Naguib, R. N. G.** (2003). A fuzzy logic based-method for prognostic decision making in breast and prostate cancers. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, **7**, 114-122.
- [32] **Steimann, F.** (1996). The interpretation of time-varying data with DIAMON-1. *Artificial Intelligence in Medicine*, **8**, 343-357.
- [33] **Moret-Bonillo, V., Alvarez-Estévez, D., Fernández-Leal, A., ve Hernández-Pereira, E.** (2014). Intelligent approach for analysis of respiratory signals and oxygen saturation in the sleep apnea/hypopnea syndrome. *The Open Medical Informatics Journal*, **8**, 1.
- [34] **Nazeran, H., Almas, A., Behbehani, K., Burk, J., ve Lucas, E.** (2001). A fuzzy inference system for detection of obstructive sleep apnea. *Proceedings of the 23rd Annual International Conference of the IEEE*
- [35] **Polat, K., Yosunkaya, Ş., ve Güneş, S.** (2008). A new approach to diagnosing of importance degree of obstructive sleep apnea syndrome: pairwise AIRS and fuzzy-AIRS classifiers. *Journal of Medical Systems*, **32**, 489-497.
- [36] **Ohayon, M. M.** (1999). Improving decisionmaking processes with the fuzzy logic approach in the epidemiology of sleep disorders. *Journal of Psychosomatic Research*, **47**, 297-311.

- [37] **Crocker, B. D., Olson, L. G., Saunders, N. A., Hensley, M. J., McKeon, J. L., Allen, K. M., ve Gyulay, S. G.** (1990). Estimation of the Probability of Disturbed Breathing during Sleep before a Sleep Study. 2. *The American Review of Respiratory Disease*, **142**, 14.
- [38] **Dinges, D. F.** (1995). A survey screen for prediction of apnea. *Sleep*, **18**, 158-166.
- [39] **Viner, S., Szalai, J. P., ve Hoffstein, V.** (1991). Are history and physical examination a good screening test for sleep apnea?. *Annals of Internal Medicine*, **115**, 356-359.
- [40] **Flemons, W. W., Whitelaw, W. A., Brant, R., ve Remmers, J. E.** (1994). Likelihood ratios for a sleep apnea clinical prediction rule. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **150**, 1279-1285.
- [41] **Rowley, J. A., Aboussouan, L. S., ve Badr, M. S.** (2000). The use of clinical prediction formulas in the evaluation of obstructive sleep apnea. *Sleep-New York*, **23**, 929-942.
- [42] **Magalang, U. J., Dmochowski, J., Veeramachaneni, S., Draw, A., Mador, M. J., El-Solh, A., ve Grant, B. J.** (2003). Prediction of the apnea-hypopnea index from overnight pulse oximetry. *Chest Journal*, **124**, 1694-1701.
- [43] **Marcos, J. V., Hornero, R., Alvarez, D., Aboy, M., ve Del Campo, F.** (2012). Automated prediction of the apnea-hypopnea index from nocturnal oximetry recordings. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, **59**, 141-149.
- [44] **Tüzün, B.** (2006). *Obstrüktif Uyku Apne Sendromunda hs-Crp ve Homosistein Düzeyi*, (uzmanlık tezi), Süreyya Paşa Göğüs Kalp ve Damar Hastalıkları Eğitim ve Araştırma Hastanesi. İstanbul, Türkiye.
- [45] **Eisensehr, I., ve Noachtar, S.** (2001). Haematological aspects of obstructive sleep apnoea. *Sleep Medicine Reviews*, **5**, 207-221.
- [46] **Wilcox, I., McNamara, S. G., Collins, F. L., Grunstein, R. R., ve Sullivan, C. E.** (1998). "Syndrome Z": the interaction of sleep apnoea, vascular risk factors and heart disease. *Thorax*, **53**, 25-28.
- [47] **American Academy of Sleep Medicine Task Force.** (1999). Sleep-related breathing disorders in adults: recommendations for syndrome definition and measurement techniques in clinical research. *Sleep*, **22**, 667-689.
- [48] **Fogel, R. B., Malhotra, A., ve White, D. P.** (2004). Sleep 2: pathophysiology of obstructive sleep apnoea/hypopnoea syndrome. *Thorax*, **59**, 159-163.
- [49] **Colbert, B. J., Ankney, J. J., ve Lee, K.** (2012). *Anatomy, Physiology, and Disease: An Interactive Journey for Health Professionals*. Pearson Higher Ed.
- [50] **Duygu, Ö. Akgedik, R.** (2008). Obstrüktif Uyku Apne Sendromu. *Yeni Tıp Dergisi*, **25**, 201.

- [51] **Johns, M. W.** (1991). A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale. *Sleep*, **14**, 540-545.
- [52] <http://umm.edu/programs/sleep/health/quizzes/sleepiness>, alındığı tarih: 15.04.2015.
- [53] <http://www.nhlbi.nih.gov/health/health-topics/topics/slpst/during>, alındığı tarih: 15.04.2015.
- [54] **American Academy of Sleep Medicine, ve Iber, C.** (2007). The AASM manual for the scoring of sleep and associated events: rules, terminology and technical specifications. *American Academy of Sleep Medicine*.
- [55] **Yegin, Y.** (2014). *Tıkayıcı Uyku Apne Sendromlu Hastalarda Müller Manevrası ile Uyku Endoskopisi Bulgularının Vote Skalasına Göre Karşılaştırılması*, (uzmanlık tezi), Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim ve Araştırma Hastanesi, İstanbul, Türkiye.
- [56] **Köktürk, O., ve TU, Ç.** (2002). Obstrüktif uyku apne sendromu genel önlemler ve medikal tedavi. *Tüberküloz ve Toraks Dergisi*, **50**, 119-24.
- [57] **Kushida, C.A.** (Ed.) (2007). Obstructive Sleep Apnea: Diagnosis and Treatment. Informa Healthcare.
- [58] **Fidan, F., Ünlü, M., Sezer, M., GEÇİCİ, Ö., ve KARA, Z.** (2007). Uyku apne sendromlu hastalarda CPAP tedavisine uyum ve tedavinin anksiyete ve depresyon üzerine etkisi. *Tüberküloz ve Toraks Dergisi*, **55**, 271-7.
- [59] **Buchanan, B. G., ve Smith, R. G.** (1988). Fundamentals of expert systems. *Annual Review of Computer Science*, **3**, 23-58.
- [60] **Chen, Y., Hsu, C. Y., Liu, L., ve Yang, S.** (2012). Constructing a nutrition diagnosis expert system. *Expert Systems with Applications*, **39**, 2132-2156.
- [61] **Durkin, J.** (2001a). History and Applications. In Leondes, C. T. (Ed.). *Expert Systems, Six-Volume Set: The Technology of Knowledge Management and Decision Making for the 21st Century* (Cilt 1). (pp. 1-22). Academic Press.
- [62] **Adlassnig, K. P.** (1986). Fuzzy set theory in medical diagnosis. Systems, *IEEE Transactions on Man and Cybernetics*, **16**, 260-265.
- [63] **Durkin, J.** (2001b). History and Applications. In Leondes, C. T. (Ed.). *Expert Systems, Six-Volume Set: The Technology of Knowledge Management and Decision Making for the 21st Century* (Cilt 1). (pp. 23-52). Academic Press.
- [64] **Pomerleau, D. A.** (1989). Alvin: An autonomous land vehicle in a neural network (No. AIP-77). Carnegie-Mellon Univ Pittsburgh Pa Artificial Intelligence And Psychology Project.
- [65] **Klir, G., ve Yuan, B.** (1995). Fuzzy sets and fuzzy logic. New Jersey: Prentice Hall.
- [66] **Zadeh, L. A.** (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, **8**, 338-353.

- [67] **Zadeh, L. A.** (1996). Fuzzy logic = computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, **4**, 103-111.
- [68] **Yen, J., ve Langari, R.** (1998). Fuzzy logic: intelligence, control, and information. Prentice-Hall, Inc.
- [69] **Sivanandam, S. N., Sumathi, S., ve Deepa, S. N.** (2007). Introduction to fuzzy logic using MATLAB. Berlin: Springer.
- [70] **Arslan, A., ve Kaya, M.** (2001). Determination of fuzzy logic membership functions using genetic algorithms. *Fuzzy Sets and Systems*, **118**, 297-306.
- [71] **Nguyen, H. T., Prasad, N. R., Walker, C. L., ve Walker, E. A.** (2002). A first course in fuzzy and neural control. CRC press.
- [72] **Eksin İ, Kumbasar T.,** (2015). Bulanık Modelleme ve Kontrol Lisansüstü Ders Notu (Yayınlanmamış), İTÜ Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü.
- [73] **Bausmer, U., Gouveris, H., Selivanova, O., Goepel, B., ve Mann, W.** (2010). Correlation of the Epworth Sleepiness Scale with respiratory sleep parameters in patients with sleep-related breathing disorders and upper airway pathology. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, **267**, 1645-1648.
- [74] <http://healthysleep.med.harvard.edu/sleep-apnea/diagnosing-osa/understanding-results>, alındığı tarih: 22.04.2015.
- [75] **Chung, F., Liao, P., Elsaid, H., Islam, S., Shapiro, C. M., ve Sun, Y.** (2012). Oxygen desaturation index from nocturnal oximetry: a sensitive and specific tool to detect sleep-disordered breathing in surgical patients. *Anesthesia ve Analgesia*, **114**, 993-1000.
- [76] **Nuckton, T. J., Glidden, D. V., Browner, W. S., ve Claman, D. M.** (2006). Physical examination: Mallampati score as an independent predictor of obstructive sleep apnea. *Sleep-New York*, **29**, 903.
- [77] **Kaur, A., ve Kaur, A.** (2012). Comparison of Fuzzy Logic and Neuro-Fuzzy Algorithms for Air Conditioning System. *International Journal of Soft Computing and Engineering*, **2**, 2231-2307.
- [78] **Sahin, M., Bilgen, C., Tasbakan, M. S., Midilli, R., ve Basoglu, O. K.** (2014). A Clinical Prediction Formula for Apnea-Hypopnea Index. *International Journal of Otolaryngology*, 2014.
- [79] **Bloch, K. E.** (1997). Polysomnography: a systematic review. *Technology and Health Care*, **5**, 285-305.
- [80] **Metersky, M. L., ve Castriotta, R. J.** (1996). The effect of polysomnography on sleep position: possible implications on the diagnosis of positional obstructive sleep apnea. *Respiration*, **63**, 283-287.
- [81] **Kezirian, E. J., Hohenhorst, W., ve de Vries, N.** (2011). Drug-induced sleep endoscopy: the VOTE classification. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, **268**, 1233-1236.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Can ZOROĞLU
Doğum Yeri ve Tarihi : İzmir, 22.04.1990
E-Posta : zoroglu@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2013, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik
Yüksek lisans : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği