



Bireylerin Koroner Arter Hastalığı Risk Seviyesinin Bulanık Uzman Sistem Yaklaşımı İle Belirlenmesi

Çağatay Teke^{1*} 

¹ Bayburt Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bayburt, Türkiye
cagatayteke@bayburt.edu.tr

Öz

Koroner Arter Hastalığı (KAH) dünya genelinde insanların hayatını kaybetmesine sebep olan en önemli hastalıklardan biridir. Tıp alanında yaşanan gelişmeler bu hastalığın tedavisini kolaylaştırır da risk faktörlerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesinde hala birtakım yetersizlikler söz konusudur. Bu çalışmada, KAH ile ilgili yaygın belirti ve şikayetleri olan bireyler göz önüne alınarak tanıda kullanılan çeşitli risk faktörleri belirlenmiştir. Ayrıca bulanık uzman sistem yöntemi kullanılarak bireylerin KAH risk düzeylerini tespit etmek amacıyla bir yapay zeka sistemi geliştirilmiştir. Tasarlanan sistem kural tabanlı olup, bu kural tabanı yapısı tıp uzmanlarından edinilen bilgilerle oluşturulmuştur. Sistem, bireylerin hastalık riskini azaltmak için kendi kendine risk değerlendirmesi ve özelleştirilmiş öneriler sunmaktadır. Bu sayede koroner arter hastalığından muzdarip kişilerin sayısındaki artış önenebilir veya geciktirilebilir.

Anahtar kelimeler: Bulanık uzman sistem, yapay zekâ, risk değerlendirmesi, koroner arter hastalığı, bulanık mantık, kronik hastalıklar.

Determination of Coronary Artery Disease Risk Level of Individuals by Fuzzy Expert System Approach

Abstract

Coronary Artery Disease (CAD) is one of the most important diseases that cause people to die worldwide. Although developments in medicine facilitate the treatment of this disease, there are still some inadequacies in identifying and evaluating risk factors. In this study, various risk factors used in the diagnosis were determined by considering individuals with typical symptoms and complaints related to CAD. In addition, an artificial intelligence system has been developed to determine the CAD risk levels of individuals by using the fuzzy expert system method. The designed system is rule-based, and this rule-based structure was created with the knowledge obtained from medical experts. The system provides self-risk assessment and customized recommendations to reduce individuals' disease risk. In this way, the increase in the number of people who have coronary artery disease can be prevented or delayed.

Keywords: Fuzzy expert system, artificial intelligence, risk assessment, coronary artery disease, fuzzy logic, chronic diseases.

1. Giriş (Introduction)

Dünya çapında yapılan araştırmalara göre, kalp ve damar hastalıkları sebebiyle 2018 ile 2030 yılları arasında yaklaşık 23,6 milyon kişinin hayatını kaybetmesi beklenmektedir. Koroner Arter Hastalığının (KAH), ilgili hastalık grubu içerisinde en yüksek ölüm oranına sahip olduğu belirtilmektedir (Şahan ve Gezer, 2021). Buna bağlı olarak, günümüzde, sağlık sorunları ile ilgili bilimsel çalışmalar insanların daha sağlıklı bir

yaşam sürmelerini sağlamak için artmaktadır. Tıbbi gelişmelerin de etkisiyle KAH tedavisi daha erişilebilir hale gelse de, hastaları etkileyen birçok risk faktörü ve bu faktörlerin birbiriyle ilişkisi nedeniyle bu hastalığın teşhisinde güçlükler yaşanmaktadır. Bir bireyin herhangi bir risk faktörü kötü olabilirken bir diğeri çok iyi olabilir. Bu nedenle, çeşitli risk faktörlerinin kombinasyonu ve etkileşimi, risk faktörlerinin insanlar üzerindeki etkisinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

* Sorumlu yazar.
E-posta adresi: cagatayteke@bayburt.edu.tr

Alındı : 17 Temmuz 2022
Revizyon : 2 Ağustos 2022
Kabul : 4 Ağustos 2022

Bilgisayar ve yazılım teknolojilerindeki gelişmeler hesaplamalı analizler için kullanılabilse de risk faktörlerinin değerlendirilmesinde ve yorumlanmasında yeterince kullanılmamaktadır. Bunun temel nedeni, bu teknolojilerdeki gelişmelerin temelini klasik mantık kurallarının oluşturmasıdır. Geleneksel bilgisayar teknolojisinin ortaya koyduğu bu sınırlamalar nedeniyle insanlar için risk faktörlerini değerlendirmek ve yorumlamak için yoğun insan emeği ve beyin gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. İnsanlar aldıkları eğitim, tecrübe ve edindikleri bilgi ile bunun üstesinden gelirler (Yıldız, 2008).

Bulanık mantık ilk olarak 1960'larda Zadeh tarafından matematiksel bir modelleme yaklaşımı olarak geliştirilmiştir. 1970'lerde Mamdani ve Assilian, bir buhar motorunu bulanık bir sistem modeli aracılığıyla kontrol etmiştir. İlerleyen yıllarda başarılı uygulamaların ardından bulanık mantığa olan ilgi artmış ve ardından 1989 yılında uluslararası bir çalışma ortamı olarak bulanık mantık mühendislik laboratuvarları kurulmuştur (Abduljabar, 2011). Bulanık mantık ile ilgili çalışmalar sonraki yıllarda da devam etmiştir. Örneğin, Allahverdi vd. (2007) koroner kalp hastalığı riskini belirlemek için bulanık bir uzman sistem tasarlamıştır. Sistem kullanıcılara yaşamları, beslenmeleri ve ilaç tedavisi alma durumu hakkında tavsiyelerde bulunmaktadır. Schuster vd. (2002) bir karar destek sistemi aracılığıyla bulanık mantık kullanarak koroner kalp hastalığı riskini değerlendirmiştir. Pal vd. (2012) klinik parametreleri kullanarak bulanık uzman sistem yaklaşımıyla KAH'ı incelemiştir. Çalışma kapsamında, risk değerlendirmesini desteklemek için bulanık bir uzman sistem geliştirilmiştir. Khatibi ve Montazer (2010) koroner kalp hastalığı riskini değerlendirmek için bulanık bir kanıtsal hibrit çıkarım motoru kullanmıştır. Bilgi birleştirme işlemini gerçekleştirmek için kanıtsal birleştirme kuralları kullanılmıştır. Muthukaruppan ve Er (2012) KAH'ı teşhis etmek için bulanık uzman sistem ve parçacık optimizasyonu yaklaşımlarını içeren hibrit bir sistem tasarlamıştır. Bulanık kural tabanı oluşturulurken karar ağaçları kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde ise parçacık optimizasyonu yaklaşımından faydalanılmıştır. Duarte vd. (2006) miyokard perfüzyon sintigrafisi hastalarını seçmek için bulanık küme teorisi üzerine uygulanan klinik-epidemiolojik veriler ve koşu bandı testi sonuçlarını kullanmıştır. Adeli ve Neshat (2010) kalp hastalığının teşhisi için Matlab yazılımı aracılığıyla bulanık bir uzman sistem tasarlamıştır. Sikchi vd. (2013) kalp hastalıkları için genel bir bulanık uzman sistem tasarlamıştır. Bu sistem kalp hastalıklarının teşhisinde destekleyici bir araç olarak kullanılmıştır. Parvin ve Abhari (2012) kalp hastalığının teşhisi için bulanık bir veri tabanı oluşturmuştur. Teşhis için kullanılan verilerde belirsizlik olduğunda, bulanık mantık yaklaşımına dayalı veri tabanı karar vericilere doğru veriler sağlamıştır. Maranate vd. (2015) normalleştirilmiş bir ağırlık vektörüne dayalı bulanık bir

analitik hiyerarşi süreci kullanarak obstrüktif uyku apnesi risk faktörlerine öncelik vermek için bir çalışma yapmıştır. Dominguez Hernández vd. (2013) atipik glandüler hücrelerde servikal kanseri teşhis etmek için bir uzman sistem geliştirmiştir. Sistem bulanık mantık ve görüntü işleme dayanmaktadır. Üç aşaması vardır. Bunlar risk teşhisi, sitolojik bir görüntünün yorumlanması ve kanser öncül yaralanmalarının belirlenmesidir. Sistem, daha doğru tanı için destekleyici bir araç olarak kabul edilmiştir. Abdualimov ve Obrezan (2021) koroner arter hastalığını tahmin etmede yapay zeka tekniklerinden yapay sinir ağlarını kullanmıştır. Bu kapsamda, hastaların elektrokardiyografi ve koroner anjiyografi sonuçlarını kullanan bir yapay sinir ağı tasarlanmıştır. Bu yapay sinir ağının çıktısı ise koroner arter lezyonu varlığı olarak tanımlanmıştır. Faieq ve Mijwil (2022) kalp hastalığı teşhisi için destek vektör makineleri ve yapay sinir ağı yöntemini kullanarak tahmin uygulaması gerçekleştirmiştir. Her iki yöntemin tahmin performansları incelendiğinde, koroner arter hastalığı için destek vektör makineleri yöntemi ile yapılan tahminin doğruluğunun daha yüksek olduğu görülmüştür. Atomsa vd. (2022) koroner arter hastalığının teşhisi için bulanık mantık tabanlı bir uzman sistem geliştirmiştir. Mamdani çıkarım mekanizmasına sahip olan bu uzman sistem 174 kuralı bünyesinde barındırmaktadır. Geliştirilen bulanık uzman sistemin performansını ölçmek amacıyla Nijeryada toplanan veriler kullanılmıştır.

Bulanık uzman sistem sağlık, finans, imalat alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır (Thani ve Kasbe, 2022; Matinfar ve Golpaygani, 2022; Abdulrahman vd., 2014; Masoumeh vd., 2021; Hernández-Vera vd., 2017; Amelia vd., 2009). Sağlık alanındaki çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmaların hastalık teşhisi üzerine yoğunlaştığı görülmektedir (Thani ve Kasbe, 2022; Matinfar ve Golpaygani, 2022; Atomsa vd., 2022; Singla vd., 2020; Sikchi vd., 2013; Parvin ve Abhari, 2012; Muthukaruppan ve Er, 2012; Dominguez Hernández vd., 2013; Arab vd., 2021; Adeli ve Neshat, 2010). Bu çalışmada ise sınırlı sayıda çalışmanın yer aldığı koroner arter hastalığı risk belirlenmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

2. Materyal ve Metot (Material and Method)

2.1. Koroner arter hastalığı (Coronary artery disease)

KAH dünyadaki önemli kronik hastalıklardan biridir. Koroner arterler olarak bilinen kalbi besleyen atardamarların daralması veya tıkanması sonucunda kan akışının kısmen veya tamamen durmasıyla oluşur. Bu hastalık önceden fark edilmezse ve gerekli önlemler alınmaz ise kalpte emboli ve ritim bozuklukları nedeniyle kan akışının durmasına, kalp krizine ve ölüme neden olabilir (Anonim, 2021). Dünyadaki ölümlerin çoğu KAH'dan kaynaklanmaktadır. 2018 yılı verilerine

göre, dünyadaki toplam ölümlerin %16,6'sı KAH sebebiyle gerçekleşmiştir. Türkiye'nin de dâhil olduğu Avrupa bölgesinde ise bu oran %25,4'tür (Ahcıoğlu ve Yılmazel, 2021).

Çalışma kapsamında danışılan doktorlardan edinilen bilgilere göre KAH risk faktörleri LDL, HDL, hipertansiyon, sigara kullanımı, diyabet (tip 2), obezite yani vücut kitle indeksi (BMI), fiziksel aktivite, yaş ve genetik yatkınlık olarak sınıflandırılmıştır. Her bir risk faktörü aşağıda açıklanmıştır (Babacan Abanonu vd., 2009):

- Düşük yoğunluklu lipoprotein kolesterol (LDL): Çalışmalar, LDL'nin koroner kalp hastalıkları için en kritik faktör olduğunu göstermiştir. LDL değerinin düşmesinin koroner kalp hastalığı riskini azaltacağı ileri sürülmüştür. LDL kolesterol düzeyi düşük olan kişiler sigara, diyabet, obezite veya hipertansiyon gibi diğer yüksek risk faktörlerine sahip olsalar bile bu hastalık için risk düzeylerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. Amerikan Kalp Derneği tarafından yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen verilere göre, LDL kolesterol düzeyi 130 mg/dL'nin üzerinde olan kişilerin KAH açısından yüksek risk taşıdığı gözlemlenmiştir.
- Yüksek yoğunluklu lipoprotein kolesterol (HDL): Sağlık üzerine yapılan araştırmalara göre bireylerin HDL kolesterol düzeyleri ile KAH olma riskleri arasında ters bir ilişki olduğu ortaya konmuştur. Düşük HDL kolesterol seviyeleri (40 mg/dL'den düşük) KAH için riskli iken, daha yüksek seviyelerin (60 mg/dL'den yüksek) kalbi koruyan faktörler arasında olduğu ortaya konmuştur.
- Hipertansiyon: KAH'nın en kritik risk faktörleri arasındadır. Tüm koroner arter vakalarının %35'i hipertansiyondan kaynaklanmaktadır.
- Sigara kullanımı: Sigara içmek KAH riskini 2-3 kat artırır ve diğer risk faktörleri ile birleştiğinde bu risk düzeyinin çok daha fazla artmasına neden olur. Sigara içenlerde kalp krizine bağlı ölüm erkeklerde 2,7 kat, kadınlarda ise 4,7 kat artmaktadır.
- Diyabet: Diyabet, KAH için bir diğer önemli risk faktörüdür ve riski erkeklerde iki kat, kadınlarda dört kat artırır. Düşük HDL ve yüksek LDL, diyabetli kişilerde KAH'a yol açan mekanizmalar arasındadır. Bu nedenle diyabet hastalarının LDL değerinin daha düşük bir seviyede (<100 mg/dL) tutulması gerektiği yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur.
- Obezite (BMI): Amerikan Kalp Derneği tarafından yapılan bir çalışmada obezitenin KAH için en kritik risk faktörlerinden biri olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalar, koroner kalp hastalıkları riskini azaltmak için hafif bir kilo kaybının bile önemli olduğunu göstermektedir.

- Fiziksel aktivite: Yetersiz fiziksel aktivite, riski ortalama olarak iki katına çıkarmaktadır. Düzenli fiziksel aktivitenin LDL kolesterol düzeyini azalttığı, HDL kolesterol düzeyini yükselttiği ve kan basıncını düşürdüğü görülmektedir.
- Yaş: Koroner kalp hastalığı riski yaşla birlikte artar. Kadınlarda 55, erkeklerde 45 yaşından sonra önemli ölçüde bir risk artışı söz konusudur.
- Aile öyküsü: Bireyin birinci derece akrabalarında koroner kalp hastalığı olayının varlığı riski artırmaktadır. Kişi diğer risk faktörlerini ortadan kaldırsa bile bu risk her zaman mevcuttur.

2.2. Bulanık uzman sistem yapısı (Fuzzy expert system structure)

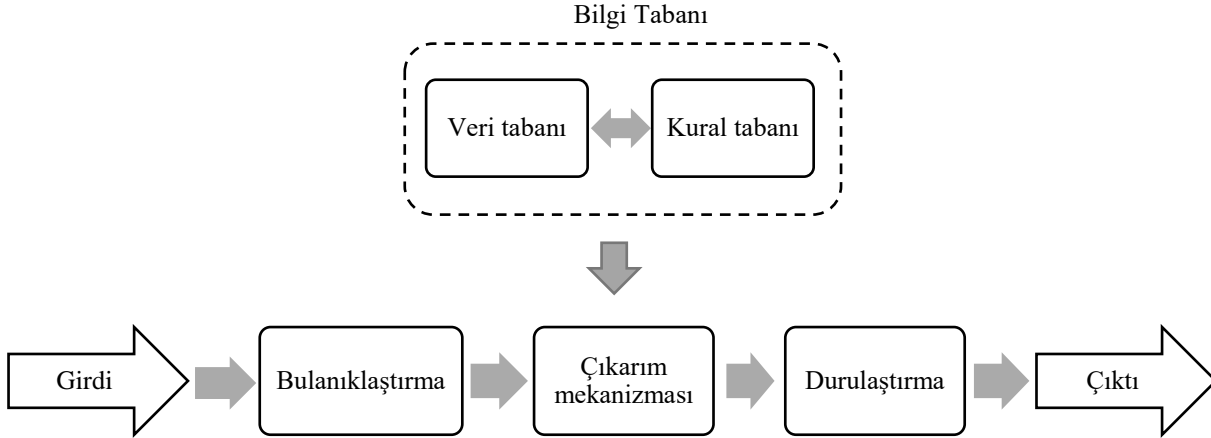
KAH tanısı için karar verme aşamasında kurulacak bir sistemde bulanık mantık ilkelerinin uygulanması, klasik mantık ilkelerinin olumsuz yönlerini ortadan kaldıracaktır. Klasik mantığın temeli olan küme teorisinde bir nesne ya bir kümeye aittir ya da değildir. Böylece klasik kümeler için üyelik derecesinin ya 1 ya da 0 olduğu söylenebilir. Başka bir üyelik derecesi düşünülemez. Bu durum hastaların risk düzeylerinin belirlenmesinde hatalara yol açmaktadır. Öte yandan, bulanık küme teorisinde üyelik derecesi 0 ile 1 arasında değerler alabilir. Diğer bir deyişle üyelik derecesi [0, 1] aralığı arasında değerler alır ve $\mu(x)$ olarak gösterilir. Bu, bireylerin risk düzeylerini belirlemede daha doğru sonuçlar verir (Dobric ve Zarkovic, 2021; Karimi vd., 2022).

Bulanık uzman sistem, belirsizliklerin, çelişkilerin ve dilsel ifadelerin bilgisayar ortamında işlenmesini sağlayan bir yapay zeka teknolojisidir. Bir bulanık sistem dört unsurdan oluşur; bulanıklaştırma, bilgi tabanı, çıkarım mekanizması ve durulaştırma. Bulanık uzman sistemin ana yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir. Bu sistemin ilk adımı girdi değişkenlerini belirlemek ve girdi değerlerini bulanıklaştırmaktır. İkinci adım, uzman bilgisi aracılığıyla bir bilgi tabanı oluşturmaktır. Giriş ve çıkış değerleri arasındaki ilişkiler bu adımda belirlenir. Uzman bilgisi kullanılarak oluşturulan kurallara dayalı olarak elde edilen değerler, üçüncü adım olarak çıkarım mekanizmasında işlenir. Son olarak, net değerlerin elde edilmesi için bulanık çıktı değerleri, durulaştırma birimine gönderilir (Singla vd., 2020; Arab vd., 2021).

Girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonları, uzmanlar tarafından edinilen bilgiler kullanılarak oluşturulmuştur. Bu çalışmada, bu bilgileri temsil etme kabiliyeti en yüksek olan üçgen ve yamuksal üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Üçgenin köşeleri olarak üçgen üyelik fonksiyonu için a_1 , a_2 ve a_3 olmak üzere üç parametre vardır. a , b , c ve d , yamuk üyelik fonksiyonunun köşeleri olarak dört parametreye sahiptir. Bu üyelik fonksiyonlarına uygun üyelik derecesi belirleyebilmek için (1) denklemindeki formüllerden yararlanılır.

Bilgi tabanı, bulanık mantık kontrolü ile dilsel ifadelerin kullanılmasını sağlayan bir ara yüzdür. Veri tabanı ve kural tabanı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Veri tabanı, giriş ve çıkış değerlerinin dilsel tanımlarını, üyelik fonksiyonlarını, değişkenlerle

ilgili bilgileri ve bulanık mantık kontrolünde kullanılan bulanık fonksiyonların tanımlarını kapsar. Kural tabanı ise KAH için uzmanlar tarafından belirlenen denetim kurallarını içerir. Bu kurallar, KAH'ın girdi ve çıktı



Şekil 1. Bulanık uzman sistemin yapısı (Structure of the fuzzy expert system)

$$\mu(X_i) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & , x \leq a_1 \text{ ve } x \geq a_3 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1} & , a_1 < x \leq a_2 \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2} & , a_2 < x < a_3 \end{array} \right\} \quad \mu(X_i) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & , x \leq a \text{ ve } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a} & , a < x < b \\ 1 & , b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & , c < x < d \end{array} \right\} \quad (1)$$

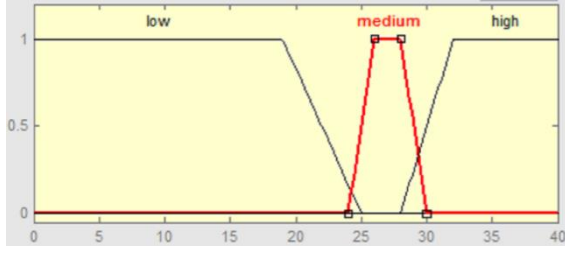
parametreleri arasındaki mantıksal ilişkileri açıklar. “if-then” komutları kuralları oluşturur.

Çıkarım birimi, kontrol fonksiyonunun yürütüldüğü ve karar verme sürecinin gerçekleştiği yapıdır. Bilgi tabanından elde edilen kurallar ve bulanıklaştırma arayüzünden elde edilen bulanık girdiler işlenerek karar verilir. Seçilen mantıksal çıkarım mekanizması ile karar verildikten sonra net olmayan sonuçlar elde edilir (Singla vd., 2020; Arab vd., 2021). Bilginin modelleme türüne göre kural tabanında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar Mamdani, Sugeno, Tsukamoto, Larsen, Şen, Zadeh, Dines-Rescher ve Gödel yöntemleridir. Bu yöntemlerden bazıları spesifik bir alana yönelmişken bazıları ise daha geniş bir kullanım alanına sahiptir (Özkan, 2018). Özellikle Mamdani ve Sugeno yöntemleri yaygın kullanım alanına sahiptir. Bu iki yöntemde girdi değişkenlerinin bulanıklaştırılması ve bulanık mantıkla ilgili işlemler benzerdir. İkisi arasındaki fark üyelik fonksiyonudur. Mamdani yönteminde, kurallar min operatöründen geçirildikten sonra her kuralın çıktı üzerinde ne kadar etkili olduğu sonucuna varılır. Bu çıktılarda max operatörü kullanıldıktan sonra bulanık sonuç elde edilir. Sonuç olarak bir bulanık küme elde edilir. Sugeno yöntemi ise girdi değişkenleri bulanık bir küme olmasına rağmen kesin bir çıktı verir (Vukadinovic, 2013).

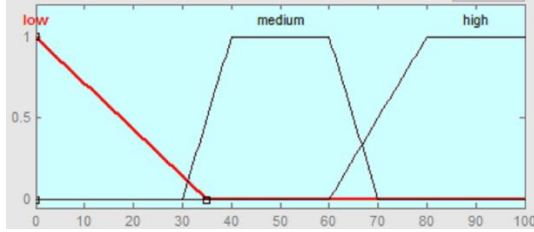
Çıkarım mekanizmasından elde edilen bulanık değerler, durulaştırma ara yüzü vasıtasıyla net değerlere dönüştürülür. Durulaştırmanın farklı yöntemleri vardır. Bunlardan en sık kullanılanı ağırlık merkezi yöntemidir. Burada, üyelik fonksiyonu ile sınırlandırılan alanın ağırlık merkezi, en belirgin parça değeri olarak tanımlanır. Son olarak elde edilen değer sistemin çıktısıdır ve yüzde olarak KAH risk seviyesini verir.

2.3. Uygulama (Implementation)

Bulanık uzman sistem, MATLAB programı bulanık mantık araç kutusu kullanılarak geliştirilmiştir. Bulanık uzman sistemin ilk adımı girdi ve çıktı değerlerinin belirlenmesidir. Sistemde dokuz girdi değişkeni ve bir çıktı değişkeni vardır. Girdi parametrelerinin ve çıktı parametresinin değerleri doktorlardan edinilen bilgilere göre oluşturulmuştur. Girdi değişkenleri ve bunlara ait örnek bir üyelik fonksiyonu Tablo 1 ve Şekil 2’de, çıktı değişkeni ve üyelik fonksiyonu ise Tablo 2 ve Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Obezite (BMI) faktörünün üyelik fonksiyonları (Membership functions of BMI factor)



Şekil 3. KAH risk seviyesinin üyelik fonksiyonları (Membership functions of CAD risk level)

Tablo 1. Girdi değişkenleri (Input parameters)

Girdi değişkeni	Aralık değeri	Bulanık küme adı
LDL	0-100	Düşük
	90-140	Orta
	130-500	Yüksek
HDL	0-45	Düşük
	40-65	Orta
	60-300	Yüksek
Hipertansiyon	0	Hayır
	1	Evet
Sigara kullanımı (günlük adet)	0-7	Düşük
	4-18	Orta
	12-100	Yüksek
Diyabet (Tip 2)	0	Hayır
	1	Evet
(BMI)	0-25	Düşük
	24-30	Orta
	28-40	Yüksek
Fiziksel aktivite (haftalık, dakika)	0-90	Düşük
	80-170	Orta
	160-250	Yüksek
	240-400	Çok Yüksek
Yaş	0-40	Düşük
	35-55	Orta
	45-100	Yüksek
Aile öyküsü	0	Hayır
	1	Evet

Tablo 2. Çıktı değişkeni (Output parameter)

Çıktı değişkeni	Aralık değeri	Bulanık küme adı
-----------------	---------------	------------------

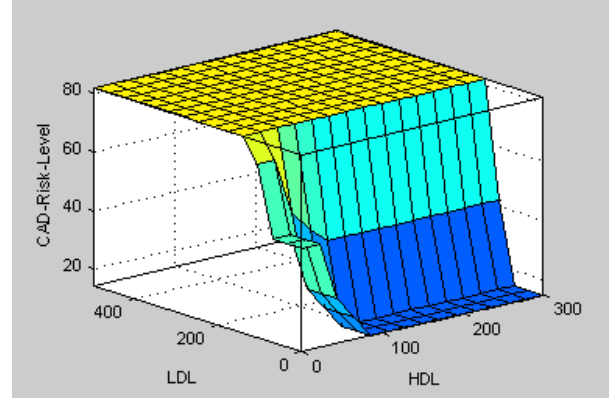
KAH risk seviyesi (%)	0-35	Düşük
	30-70	Orta
	60-100	Yüksek

Değişkenler arasındaki ilişkileri anlamak için üyelik fonksiyonları belirlendikten sonra bulanık kural tabanı oluşturulmuştur. Uygulama için oluşturulan bulanık modelin kural tabanı tamamen uzman bilgi ve deneyimlerine dayalı olarak oluşturulmuştur. Mevcut girdi değişkenlerinden beşi üç bulanık kümeye, biri dört bulanık kümeye, diğer üçü ise iki bulanık kümeye ayrılarak aralarındaki etkileşimden 7776 kural elde edilmiştir. Giriş ve çıkış değerlerini kullanan örnek kurallar Şekil 4'de verilmiştir.

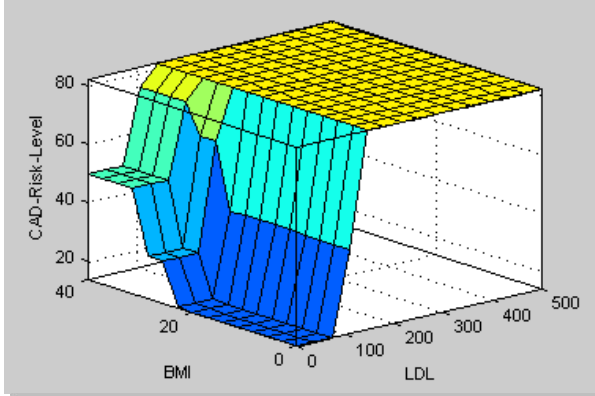
Tasarlanan sistemde çıkarım mekanizması olarak Mamdani yaklaşımı kullanılmıştır. Bir operatörlü tüm kurallar için sistemde girişlerin mantıksal kombinasyonları oluşturulmuştur. Ayrıca kuralların toplama işlemi için max yöntemi kullanılmıştır. Çıkarım sonucu elde edilen bulanık değerler durulaştırma ünitesine gönderilerek gerçek sayılara dönüştürülmüştür. Durulaştırma alt sisteminde ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma (Findings and Discussion)

Sistemdeki değişkenlerin yüzey görüntüleyici örnekleri Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 5, LDL ve HDL değişkenlerinin koroner arter hastalığı risk seviyesine olan etkisini ifade ederken Şekil 6. ise BMI ve LDL değişkenlerinin koroner arter hastalığı risk seviyesine olan etkisini göstermektedir.



Şekil 5. LDL ve HDL faktörlerine ait yüzey görüntüsü (Surface viewer of LDL and HDL factor)



Şekil 6. BMI ve LDL faktörlerine ait yüzey görüntüsü
(Surface viewer of BMI and LDL factor)

Tasarlanan sistem ayrıca bireylerdeki KAH risk düzeyini azaltmak için kişiselleştirilmiş ipuçları ve öneriler de sağlar. Örnek girdi verilerine karşılık gelen %83 KAH risk seviyesi için kişiselleştirilmiş ipuçları ve öneriler örneği Tablo 3'te sunulmuştur.

1484. If (LDL is low) and (HDL is high) and (smoking is low) and (BMI is high) and (age is high) and (diabetes is no) and (hypertension is no) and (Genetic-Predisposition is no) and (Physical-Activity is low) then (CAD-Risk-Level is medium) (1)

1485. If (LDL is low) and (HDL is high) and (smoking is low) and (BMI is high) and (age is high) and (diabetes is no) and (hypertension is no) and (Genetic-Predisposition is no) and (Physical-Activity is medium) then (CAD-Risk-Level is low) (1)

1486. If (LDL is low) and (HDL is high) and (smoking is low) and (BMI is high) and (age is high) and (diabetes is no) and (hypertension is no) and (Genetic-Predisposition is no) and (Physical-Activity is high) then (CAD-Risk-Level is low) (1)

1487. If (LDL is low) and (HDL is high) and (smoking is low) and (BMI is high) and (age is high) and (diabetes is no) and (hypertension is no) and (Genetic-Predisposition is yes) and (Physical-Activity is low) then (CAD-Risk-Level is medium) (1)

1488. If (LDL is low) and (HDL is high) and (smoking is low) and (BMI is high) and (age is high) and (diabetes is no) and (hypertension is no) and (Genetic-Predisposition is yes) and (Physical-Activity is medium) then (CAD-Risk-Level is low) (1)

1489. If (LDL is low) and (HDL is high) and (smoking is low) and (BMI is high) and (age is high) and (diabetes is no) and (hypertension is no) and (Genetic-Predisposition is yes) and (Physical-Activity is high) then (CAD-Risk-Level is low) (1)

1490. If (LDL is low) and (HDL is high) and (smoking is low) and (BMI is high) and (age is high) and (diabetes is no) and (hypertension is yes) and (Genetic-Predisposition is no) and (Physical-Activity is low) then (CAD-Risk-Level is medium) (1)

1491. If (LDL is low) and (HDL is high) and (smoking is low) and (BMI is high) and (age is high) and (diabetes is no) and (hypertension is yes) and (Genetic-Predisposition is no) and (Physical-Activity is medium) then (CAD-Risk-Level is low) (1)

1492. If (LDL is low) and (HDL is high) and (smoking is low) and (BMI is high) and (age is high) and (diabetes is no) and (hypertension is yes) and (Genetic-Predisposition is no) and (Physical-Activity is high) then (CAD-Risk-Level is low) (1)

1493. If (LDL is low) and (HDL is high) and (smoking is low) and (BMI is high) and (age is high) and (diabetes is no) and (hypertension is yes) and (Genetic-Predisposition is yes) and (Physical-Activity is low) then (CAD-Risk-Level is medium) (1)

1494. If (LDL is low) and (HDL is high) and (smoking is low) and (BMI is high) and (age is high) and (diabetes is no) and (hypertension is yes) and (Genetic-Predisposition is yes) and (Physical-Activity is medium) then (CAD-Risk-Level is medium) (1)

1495. If (LDL is low) and (HDL is high) and (smoking is low) and (BMI is high) and (age is high) and (diabetes is no) and (hypertension is yes) and (Genetic-Predisposition is yes) and (Physical-Activity is high) then (CAD-Risk-Level is low) (1)

1496. If (LDL is low) and (HDL is high) and (smoking is low) and (BMI is high) and (age is high) and (diabetes is yes) and (hypertension is no) and (Genetic-Predisposition is no) and (Physical-Activity is low) then (CAD-Risk-Level is medium) (1)

If LDL is low and HDL is high and smoking is low and BMI is high and age is high

Connection: or and

Weight: 1

Buttons: Delete rule, Add rule, Change rule, <<, >>

Şekil 4. Tasarlanan sistemin kural tabanından bir kesit (A section from the rule base of the designed system)

Tablo 3. Kişiselleştirilmiş öneriler örneği (Example of customized recommendations)

<p>Bireyin koroner arter hastalığı risk düzeyi %83'tür. Bu nedenle, birey yüksek bir risk düzeyine sahiptir. Kardiyalji (kalp ağrısı) ve taşikardi (kalp çarptırması) koroner arter hastalığının belirtileri olabilir. Bireyin koroner arter hastalığı risk değerinin yüksek olması, bireyin koroner arter hastalığı hastası olma olasılığının yüksek olduğunu gösterir.</p> <p>Kolesterol seviyelerini dengeler ve fiziksel aktiviteler gerçekleştirseniz koroner arter hastalığı riskini azaltabilirsiniz. Sonuçları doktorunuzla paylaşmalı ve riskinizi tartışmalısınız. Doktorunuz size yardımcı olacak ve bazı tıbbi muayeneler isteyecektir. Vakit kaybetmeden önce elektrokardiyografi (EKG) yaptırılmalıdır. Riskinizi azaltmak için acele etmelisiniz.</p>
--

4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada, bireylerin KAH risk düzeyini belirlemek için bulanık uzman sistem geliştirilmiştir. KAH'a neden olan faktörlerin etki düzeyleri ve birbirleri üzerindeki etkileri çeşitli belirsizliklere sahiptir. Bu nedenle uzman sistem tasarlanırken bulanık mantık yaklaşımı kullanılmıştır. Ayrıca bulanık kümeler ve kural tabanı oluşturulurken uzman doktorlardan edinilen bilgi ve deneyimlerden faydalanılmıştır.

Geliştirilen sistem, bireyin ilgili tıbbi verileri aracılığıyla bireyin KAH risk değerini yüzde olarak vermektedir. Ayrıca, riski azaltmak için kişiselleştirilmiş öneriler de sunmaktadır. Tasarlanan sistem sayesinde bireyler KAH risk düzeylerini değerlendirebilir ve bu riski azaltabilir. Sistem kolay, anlaşılır ve hızlı olduğu için rahatlıkla kullanılabilir. Ancak bu sistem hastane testleri veya doktor muayenelerinin yerini almayı amaçlamamaktadır.

Bulanık uzman sistem yaklaşımı, gelecekte farklı kronik hastalıklarla ilgili çalışmalarda kullanılabilir. Tüm kronik hastalıklar dikkate alınarak bireylerin toplam kronik hastalık risk düzeyinin belirlenmesi ileri bir çalışma olarak düşünülebilir.

Teşekkür (Acknowledgment)

Koroner arter hastalığı hakkında değerli görüşlerini paylaşan Sakarya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi doktorlarına teşekkür ederim.

Kaynaklar (References)

- Abdualimov, T.P., Obrezan, A.G., 2021. Prediction of the fact and degree of coronary artery disease using the processing of clinical and instrumental data by artificial intelligence. *Vestnik of Saint Petersburg University. Medicine*, 16(3), 153–158.
- Abduljabar, J.S., 2011. Bulanık mantık yöntemleri kullanılarak gazlı içeceklerde karbondioksit kontrolü. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye.
- Abdulrahman, U.F.I., Panford, J.K., Hayfron-Acquah, J.B., 2014. Fuzzy logic approach to credit scoring for micro finances in Ghana. *International Journal of Computer Applications*, 94(8), 11-18.
- Adeli, A., Neshat, M., 2010. A fuzzy expert system for heart disease diagnosis. *International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, 17-19 March 2010, Hong Kong, pp. 1-6.
- Ahıcıoğlu, A., Yılmazel, G., 2021. Halk sağlığı gözüyle koroner arter hastalığı ve sağlık okuryazarlığı. *Türkiye Sağlık Okuryazarlığı Dergisi*, 2(2), 81-88.
- Allahverdi, N., Torun, S., Saritas, I., 2007. Design of a fuzzy expert system for determination of coronary heart disease risk. *International Conference on Computer Systems and Technologies*, 14-15 June 2007, Bulgaria, pp. 1-8.
- Amelia, L., Wahab, D.A., Hassan, A., 2009. Modelling of palm oil production using fuzzy expert system. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 8735-8749.
- Anonim, 2021. Angiography to diagnose the coronary artery disease [Internet]. Baskent University Ankara Hospital. <http://www.baskent-ank.edu.tr/saglik-rehberi/oku.php?konu=koroner-arter-hastaliginin-tanisinde-anjiyografi>. Erişim Tarihi: 5 Haziran 2021.
- Arab, S., Rezaee, K., Moghaddam, G., 2021. A novel fuzzy expert system design to assist with peptic ulcer disease diagnosis. *Cogent Engineering*, 8, 1-23.
- Atomsa, Y., Muhammad, L.J., Ishaq, F.S., Abdullahi, Y., 2022. Feature selection based fuzzy expert system for efficient diagnosis of coronary artery disease. *Journal of Clinical and Medical Images, Case Reports*, 2(2), 1-9.
- Babacan Abanonu, G., Türkyılmaz, E., Güzelbulut, F., Denizli, N., Dayan, A., Okuroğlu, N., Karatoprak, C., Aydın, N., Demirtunç, R., 2009. Koroner arter hastalığı majör risk faktörleri ve c-reaktif proteinin değerlendirilmesi. *Haydarpaşa Numune Eğitim ve Araştırma Hastanesi Tıp Dergisi*, 49(3), 159-167.
- Dobrić, G., Žarković, M., 2021. Fuzzy expert system for metal-oxide surge arrester condition monitoring. *Electrical Engineering*, 103, 91-101.
- Domínguez Hernández, K.R., Aguilar Lasserre, A.A., Posada Gómez, R., Palet Guzmán, J.A., González Sánchez, B.E., 2013. Development of an expert system as a diagnostic support of cervical cancer in atypical glandular cells, based on fuzzy logics and image interpretation. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 1–17.
- Duarte, P.S., Mastrocolla, L.E., Farsky, P.S., Sampaio, C.R.E.P.S., Tonelli, P.A., Barros, L.C., Ortega, N.R., Pereira, J.C.R., 2006. Selection of patients for myocardial perfusion scintigraphy based on fuzzy sets theory applied to clinical-epidemiological data and treadmill test results. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 39(1), 9–18.
- Faieq, A.K., Mijwil, M.M., 2022. Prediction of heart diseases utilising support vector machine and artificial neural network. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 26(1), 374-380.
- Hernández-Vera, B., Lasserre, A.A.A., Cedillo-Campos, M.G., Herrera-Franco, L.E., Ochoa-Robles, J., 2017. Expert system based on fuzzy logic to define the production process in the coffee industry. *Journal of Food Process Engineering*, 40(2), e12389.
- Karimi, H., Khamforoosh, K., Maihami, V., 2022. Improvement of DBR routing protocol in underwater wireless sensor networks using fuzzy logic and bloom filter. *Plos One*, 17(2), 1-20.
- Khatibi, V., Montazer, G.A., 2010. A fuzzy-evidential hybrid inference engine for coronary heart disease risk assessment. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 8536–8542.
- Maranate, T., Pongpullponsak, A., Ruttanaumpawan, P., 2015. The prioritization of clinical risk factors of obstructive sleep apnea severity using fuzzy analytic hierarchy process. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 1–13.
- Masoumeh, Z., Mohamad, K., Hasan, J., 2021. Design of a new fuzzy expert system for project portfolio risk management. *Innovation Management and Operational Strategies*, 1(4), 403-421.
- Matinfar, F., Golpaygani, A.T., 2022. A fuzzy expert system for early diagnosis of multiple sclerosis. *Journal of Biomedical Physics & Engineering*, 12(2), 181-188.
- Muthukaruppan, S., Er, M.J., 2012. A hybrid particle swarm optimization based fuzzy expert system for the diagnosis of coronary artery disease. *Expert Systems with Applications*, 39(14), 11657–11665.
- Özkan, M., 2018. Bulanık çıkarım sistemi ile bireysel personel performansının değerlendirilmesinde bir uygulama. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 19(2), 372-388.
- Pal, D., Mandana, K.M., Pal, S., Sarkar, D., Chakraborty, C., 2012. Fuzzy expert system approach for coronary artery disease screening using clinical parameters. *Knowledge-Based Systems*, 36, 162–174.
- Parvin, R., Abhari, A., 2012. Fuzzy database for heart disease diagnosis. *Medical Processes Modeling and Simulation of the 2012 Autumn Simulation Multi-Conference*, 28-31 October 2012, USA.
- Schuster, A., Adamson, K., Bell, D.A., 2002. Fuzzy Logic in a decision support system in the domain of coronary heart disease risk assessment. In: Barro S., Marin R. (ed.) *Fuzzy logic in medicine*, Physica, Heidelberg.

- Sikchi, S.S., Sikchi, S., Ali, M.S., 2013. Design of fuzzy expert system for diagnosis of cardiac diseases. *International Journal of Medical Science and Public Health*, 2(1), 56–61.
- Singla, N., Sadawarti, H., Singla, J., Kaur, B., 2020. Development of multilayer fuzzy inference system for diagnosis of renal cancer. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 39, 885–898.
- Şahan, D., Gezer, D., 2021. Koroner arter hastalarında çevrimiçi sağlık uygulamalarının kullanımı. *Van Sağlık Bilimleri Dergisi*, 14(1), 106-113.
- Thani, I., Kasbe, T., 2022. Expert system based on fuzzy rules for diagnosing breast cancer. *Health and Technology*, 12, 473-489.
- Vukadinovic, D., 2013. *Fuzzy logic: applications, systems and Technologies*, Nova Science Publishers, New York.
- Yildiz, B., 2008. Ratio analysis with fuzzy logic: an empirical study. *World Account Sci.*, 10(2), 183–205.