

Araştırma Makalesi | Research Article

Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Trafik Kazası Riskinin Değerlendirilmesi

Seçil Kulaç^{1,2*} , Seher Arslankaya¹ 

¹ Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye.

² Bursa Teknik Üniversitesi, Kalite Koordinatörlüğü, Bursa, Türkiye.

Özet

Trafik kazalarından kaynaklanan ölümler ve yaralanmalar tüm dünyada ciddi bir sorun olmaya devam etmektedir. Trafik kazalarına sebep olan faktörler oldukça çeşitlidir ve genellikle çoklu etkenlerin birleşimi sonucunda meydana gelirler. Sürücü davranışları, yol koşulları, araç durumu, iklim faktörleri, trafik kurallarının ihlali, yaya veya yolcuların hatalı davranışları ile eksik altyapı ve trafik düzenlemeleri gibi çeşitli faktörler kazaların oluşumunda etkilidir. Bu çalışmada, trafik kazalarını etkileyen dış etkenler ve sürücü etkeni dikkate alınarak bulanık mantık yaklaşımı ile trafik kazası olasılığı analiz edilmiştir. Bulanık mantık yaklaşımı ile model geliştirilmesinde önemli bir konu olan üyelik işlevlerinin belirlenmesinde 2022 yılına ait Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri ve 2019 yılına ait Trafik Kaza ve Denetim İstatistikleri Raporları'ndan yararlanılarak yeni bir kaza tahmin modeli önerilmiştir. Önerilen modelde, faktörlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla regresyon analizi uygulanmıştır. Analiz sonucunda yaş, alkol, saat, hız, hava durumu faktörlerinin kaza olasılığını anlamlı bir şekilde etkilediği tespit edilmiştir. Çalışma sonuçları, önerilen modelin, trafik kazalarının oluşumunu tahmin etmede sürücü etkeni ve dış faktörlerin karmaşıklığını dikkate alan etkili bir araç olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: bulanık mantık, trafik kazaları, karayolu güvenliği, trafik kaza değişkenleri, regresyon analizi

Traffic Accident Risk Assessment with Fuzzy Logic Approach

Abstract

Traffic accidents continue to be a major global concern due to the significant number of deaths and injuries they cause. The factors that cause traffic accidents are quite diverse and usually occur as a result of a combination of multiple factors. Various factors such as driver behavior, road conditions, vehicle characteristics, climate factors, non-compliance with traffic rules, pedestrian and passenger movements, infrastructure and traffic regulations are effective in the occurrence of accidents. In this study, the possibility of a traffic accident was analyzed with a fuzzy logic approach, taking into account the driver factors and external factors that affect traffic accidents. In determining the membership functions, which is an important issue in model development with the fuzzy logic approach, a new accident prediction model was proposed by using the Highway Traffic Accident Statistics for 2022 and the Traffic Accident Control Statistics Reports for 2019. In the proposed model, regression analysis was applied to evaluate the effects of the factors on the dependent variable. As a result of the analysis, it was determined that age, alcohol, time, speed and weather factors significantly affected the probability of an accident. The study results show that the proposed model is an effective tool that takes into account the complexity of driver factors and external factors in predicting the occurrence of traffic accidents.

Keywords: fuzzy logic, traffic accidents, road safety, traffic accident variables, regression analysis

* İletişim / Contact: Seçil Kulaç, Bursa Teknik Üniversitesi, Kalite Koordinatörlüğü, Bursa-Türkiye; e-posta: secil.kulac@btu.edu.tr.

Gönderildiği tarihi / Date submitted: 05.12.2023, Kabul edildiği tarih / Date accepted: 09.02.2024

Alıntı / Citation: Kulaç, S. ve Arslankaya, S. (2024). Bulanık mantık yaklaşımı ile trafik kazası riskinin değerlendirilmesi. *Trafik ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi*, 7(1), 44–56. doi: 10.38002/tuad.1400522

Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Trafik Kazası Riskinin Değerlendirilmesi

Ülkemizde araç sayısının hızla artması, trafik sıkışıklığına, hava kirliliğine, zaman kaybına ve ülke ekonomisinin büyük bir kısmının ulaşımına ayrılmasına neden olmaktadır. Ayrıca, bu durum trafik kazalarının da artmasına yol açmaktadır. Literatürde, trafik kazasına neden olan faktörler üç ana kategoride sınıflandırılmaktadır: İnsan faktörleri, araç faktörleri, yol ve çevresel faktörler (Atalay, 2010; Özgan, 2003). Gelecekteki kazaları önlemek ve tüm bu parametreleri içeren anlamlı veya anlamsız büyük veri kümelerine dayanarak hangi sistemlerin geliştirilebileceği yönünde çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Bolat, 2019). Bu çalışmalarda kullanılan teknikler arasında yapay sinir ağları, bulanık mantık, veri madenciliği ve makine öğrenimi yer almaktadır. Bu çalışmada, hem trafik kazalarının oluşumunu anlamak hem de kazaları önlemek amacıyla sürücü ve dışsal faktörlerin etkileşimini inceleyen bir trafik kaza olasılığı tahmin modeli önerilmektedir. Trafik kazalarının oluşumunda belirsizlik ön planda olduğundan model oluşturulurken bulanık mantık yaklaşımı tercih edilmiştir. Bu yöntem, belirsiz ve karmaşık etkenler arasındaki ilişkileri modellerken daha esnek bir çerçeve sunmaktadır. Önerilen modelin temel girdi verileri; saat, sürücü yaşı, alkol kullanımı, araç hızı ve hava durumu gibi değişkenlerden oluşmaktadır. Modelin çıktı verisi ise belirtilen faktörlerin etkileşimi sonucu ortaya çıkan trafik kazası olasılığıdır. Çalışma, trafik kazalarına etki eden önemli değişkenleri belirlemek amacıyla regresyon analizi içermekte olup, bu analiz her bir faktörün trafik kazası olasılığı üzerindeki spesifik etkilerini belirlemek için uygulanmıştır. Trafik kazası tahmini ve yol güvenliği performansı birçok araştırma çalışmasının konusu olmuştur. İncelenen çalışmaların bir bölümü aşağıda özetlenmiştir.

Wang, Zheng ve Meng (2011), trafik kazası riskini tahmin etmek amacıyla bulanık mantık yaklaşımını kullanmıştır. Driss, Benabdeli, Saint-Gerand ve Hamadouche (2015), karayolu kazalarına maruz kalma derecesinin tanımlanması ve ilgili faktörlerin karmaşıklık düzeyinin analiz edilmesi için bulanık mantığa dayalı bir trafik kazası tahmin modeli önermiştir. Pal ve Bhattacharjee (2015), kaza istatistik verilerini (sürücünün yaşı, onarım maliyeti ve para cezası) kullanarak bulanık kural tabanlı bir tahmin modeli geliştirmiştir. Gajendran, Serin, Seenu ve Swati (2015), kaza tahmin modeli için Sistem Dinamik Modeli, Bulanık Mantık ve Bayesian

Yöntemi'ni karşılaştırmışlardır. Karimi, Eslamizad, Mostafae, Haghshenas ve Malakoutkhan (2016), sürücünün fiziksel ve psikolojik sağlığının bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak trafik kazası riskine etkisini araştırmıştır. Falamarzi, Borhan, Rahmat, Cheraghi ve Javadi (2016), trafik güvenliğinden kaynaklanan sorunlardan etkilenen sokaklara öncelik veren bir uzman sistem geliştirmek için bulanık mantık kullanmıştır. Nikolaev, Sapego, Jakubovich, Berner ve Stroganov (2016), trafik güvenliğinde olay tespiti ve önceliğinin tanımlanması için bulanık mantığa dayalı bir algoritma önermiştir. Murat ve Çakıcı (2016), Denizli ilindeki trafik kazaları verilerini bulanık kümeleme yöntemleri kullanarak analiz etmiştir. Gaber, Wahaballa, Othman ve Diab (2017), bulanık mantık yaklaşımını kullanarak bir tahmin modeli geliştirmeyi amaçlamıştır. Katsoukis, Konguetsof, Iliadis ve Papadopoulos (2018), trafik kazalarını bulanık mantık yaklaşımını kullanarak sınıflandırmıştır. Wahaballa, Diab, Gaber ve Othman (2017), bulanık mantık yaklaşımı ile geliştirdikleri trafik kazası tahmin modelinde yol genişliği, kaldırım koşulları, ortalama saatlik trafik hacmi, hız, karayoluna erişim noktalarının sayısı ve trafik işaretleri koşullarının etkisini analiz etmiştir. Omari, Shatnawi, Khedaywi ve Miqdady (2019), Coğrafi Bilgi Sistemi verilerini kullanarak trafik kazası olasılığı yüksek yerlerin tespit edilmesinde bulanık mantık yaklaşımını kullanarak tahminde bulunmuştur. Upadhyaya ve Vinothina (2019), bulanık mantık yaklaşımını kullanarak kaza olasılığı analizi yapmıştır. Çalışmada, sürücü etkenine bağımlı değişkenler (alkol kullanımı, hız, yaş, ses sistemi kullanımı) girdi olarak kullanılmıştır. Siyavuş (2022), kazaya sebebiyet veren sürücü ve çevresel faktörleri değerlendirilmiştir. Öncü ve Önder (2023), trafik kazalarını veri madenciliği yöntemlerinden biri olan birliktelik kuralları ile analiz etmiştir.

Literatürde, çeşitli faktörlerin kaza olasılığı üzerindeki etkileri incelenmiş olmasına rağmen, genellikle bu faktörler arasındaki etkileşim göz ardı edilmiştir. Bu çalışma, bulanık mantık prensiplerine dayalı bir model kullanarak, sürücü yaşı, alkol kullanımı, saat, hız ve hava durumu gibi faktörler arasındaki karmaşık ilişkileri değerlendirerek kaza olasılığını belirlemeyi amaçlamaktadır. Önerilen model, sürücü kaynaklı hataların ve dışsal faktörlerin etkileşimini dikkate alarak trafik güvenliği açısından daha derinlemesine bir anlayış sunmaktadır.

Çalışmanın katkıları arasında, sürücü kaynaklı hataların belirlenmesinde ve bu hataların kaza

olasılığı üzerindeki etkisinin nicel olarak değerlendirilmesinde bulanık mantık modelinin kullanılması yer almaktadır. Ayrıca regresyon analiziyle elde edilen faktör etki dereceleri, sürücü yaşı, alkol kullanımı, saat, hız ve hava durumu gibi öncelikli etkenlerin belirlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu bilgiler, sürücü eğitim programlarının geliştirilmesi, alkol ve hız kontrolü gibi önlemlerin etkili bir şekilde uygulanması ve sürücülerin daha bilinçli bir şekilde trafiğe katılması için rehberlik sağlayabilir.

Bu makale, trafik güvenliği alanındaki literatürdeki boşluğu, sürücü ve dışsal faktörler arasındaki etkileşimlerin anlaşılmasına yönelik kapsamlı bir analiz sunarak doldurmaktadır.

Çalışmanın devamı, genel olarak şu bölümleri içermektedir: ikinci bölümde bulanık mantık yaklaşımı ve önerilen model açıklanmıştır. Üçüncü bölümde bulgular ve dördüncü bölümde tartışma kısmına ve gelecekteki araştırmalar için önerilere yer verilmiştir.

2. Yöntem

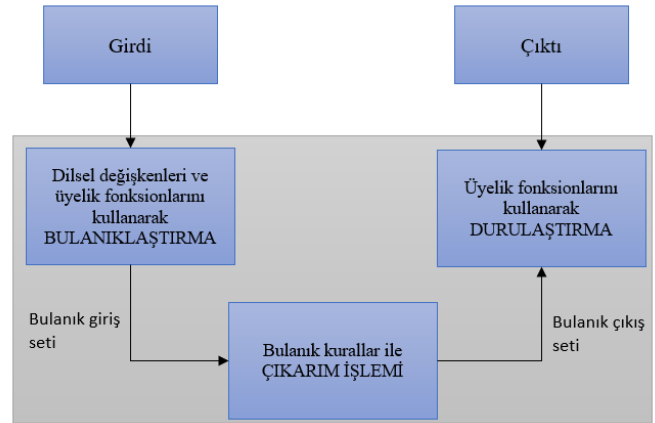
Bu çalışmada, trafik kazalarını etkileyen sürücü etkeni ve dış etkenler dikkate alınarak bulanık mantık yaklaşımı ile trafik kazası olasılığı analiz edilmiştir.

Bulanık küme teorisi, belirsizliği ölçmek ve modellemek amacıyla Zadeh (1965) tarafından geliştirilmiş olup olasılık teorisine bir alternatiftir. Bulanık mantık, kesin sınırlar yerine belirsizlik içeren durumları modellemek ve anlamak için kullanılan bir yapay zekâ dalıdır. Geleneksel mantık, olayları kesin olarak doğru veya yanlış olarak sınıflandırırken bulanık mantık, belirsizlik içeren durumları daha iyi ele alır. Bu yaklaşım, insan düşünme şekline daha yakın olan esnek ve sezgisel bir model sunar. Bulanık mantık, sayısal olmayan terimlerle çalışarak karmaşık gerçek dünya problemlerini çözmek için kullanılır. Özellikle belirsizlik, karmaşıklık ve gerçek dünyadaki değişkenlik gibi durumlarda bulanık mantık, karar verme süreçlerini modellemek ve optimize etmek için kullanılan etkili bir araçtır (Ansari ve Islamia, 1998; Adnan, Sarkheyli, Zain ve Haron, 2015). Bu yöntem, özellikle trafik sistemleri, endüstriyel kontrol, yapay zekâ, tıbbi tanı ve robotik gibi alanlarda geniş bir uygulama potansiyeline sahiptir. Bulanık mantık yaklaşımı, trafik kazalarının belirsiz doğasıyla başa çıkmak ve kazaları tahmin etmek için kullanılmaktadır (Wahaballa ve diğerleri, 2017). Bu

yöntem, fiziksel, çevresel ve psikolojik faktörlerin karmaşıklığını ele almada etkilidir.

2.1. Bulanık Kural Tabanı Modeli

Bulanık çıkarım sistemi kullanan bulanık kural tabanlı bir model Şekil 1’de gösterilmektedir. Model dört ana bileşenden oluşur:



Şekil 1. Bulanık mantığa dayalı sistemin yapısı (Nikolaev ve diğerleri, 2016)

1. *Girdi Verisi*: Girdi ve çıktı değişkenlerini ve bunlarla ilgili tüm bilgileri içerir (Nikolaev ve diğerleri, 2016).

2. *Bulanıklaştırma*: Giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işlemidir (Elmas, 2003).

3. *Kural tabanı*: Bulanıklaştırılmış giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki ilişkinin sağlandığı bulanık kuralları içermektedir.

4. *Çıkarım işlemleri*: Bulanık mantık, bulanık çıkarım ve durulaştırma işlemlerini kullanarak belirsizlik içeren verileri işlemektedir. Bulanık çıkarım, bulanık kurallar kümesine dayalı olarak, girdi değerlerinin belirsizliği altında sonuç çıkarmak için kullanılır. Bu süreç, insan benzeri sezgi ve deneyime dayalı mantıksal kuralları kullanarak, belirsiz veya karmaşık durumlardan çıkarımda bulunmayı sağlar. Durulaştırma ise, bulanık küme teorisi içinde, belirsizliği azaltmak ve kesinleştirmek amacıyla verilerin netleştirilmesi işlemidir. Bu işlem, bulanık verilerin net bir şekilde tanımlanması ve daha kesin bir yapıya kavuşturulması için kullanılır (Nikolaev ve diğerleri, 2016).

2.2. Uygulama

Bu çalışmada, trafik kazalarını etkileyen sürücü etkeni ve dış etkenler dikkate alınarak trafik kazası olasılığı tahmini için bulanık mantık modeli önerilmiştir. Model girdi verileri ve üyelik

fonksiyonlarının belirlenmesinde 2022 yılına ait Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri ile 2019 yılına ait Trafik Kaza ve Denetim İstatistikleri Raporları'ndan (Kurt ve Küçüköner, 2019) ve literatürdeki ilgili çalışmalardan yararlanılmıştır.

Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri Raporu, ülkemiz genelinde meydana gelen trafik kazalarına ilişkin istatistiksel verileri sunmak amacıyla Türkiye İstatistik Kurumu tarafından yayımlanmaktadır. Diğer taraftan, Trafik Kaza ve Denetim İstatistikleri Raporu (Kurt ve Küçüköner, 2019) 2009-2018 yılları arasında Türkiye genelinde gerçekleşen trafik kazalarının detaylı bir analizini içermektedir.

Bu çalışmada önerilen modelde 5 bulanık girdi değişkeni dikkate alınmıştır. Bunlar:

- Saat
- Sürücü yaşı
- Alkol kullanımı
- Araç hızı
- Hava durumu verileridir.

Model çıktısı ise kaza olasılığıdır.

Uygulama, Matlab programını kullanarak fuzzy arayüzü üzerinden gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. Üyelik Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Yamuk üyelik fonksiyonu, belirli bir değişkenin üyelik derecesini modelleme açısından esneklik ve ifade gücü sunan sıklıkla tercih edilen bir fonksiyondur (Kar, 2017). Dört köşe noktası aracılığıyla geniş aralıkları doğrusal olarak temsil etme yeteneği, karmaşık durumları etkili bir şekilde modellemeyi sağlamaktadır. Bu nedenle tüm değişkenler için yamuk üyelik fonksiyonu tercih edilmiştir.

Şekil 2'de önerilen modelin yapısı gösterilmektedir. Modelde durulaştırma işlemi için ağırlık merkezi yöntemi ve çıkarım işlemi için mamdani yöntemi tercih edilmiştir.

Türkiye'deki trafik kazalarının saatlere göre dağılımı, Şekil 3'te sunulmuştur. Bu grafikte gece yarısından sabah 07:00'ye kadar kaza sayısının düşük seviyede olduğu, 07.00-17.00 arasında arttığı ve 17:00'den gece yarısına kadar azaldığı görülmektedir. Bu grafik temel alınarak saat girdisi için etki değerleri ve üyelik

sınıfları belirlenmiştir. Belirlenen "saat" girdisinin üyelik fonksiyonu, Şekil 4'te sunulmuştur.

Tablo 1. Sözel ifadeler

Veriler	Sözel İfadeler
Saat	S (Sabah), O (Öğle), A (Akşam), G (Gece), GS (Gece yarısı sonrası)
Yaş	G (Genç), O (Orta), OU (orta yaş üstü), Y (Yaşlı)
Alkol kullanımı	A (Az), O (Orta), Y (Yüksek), CS (Çok Yüksek)
Hız	D (Düşük), O (Orta), (Y) Yüksek, CY (Çok yüksek)
Hava durumu	S (Sisli), Y (Yağmurlu), (K) Karlı, A (Açık)
Kaza olasılığı	A(Az),O (Orta), Y (Yüksek), CY (Çok Yüksek)

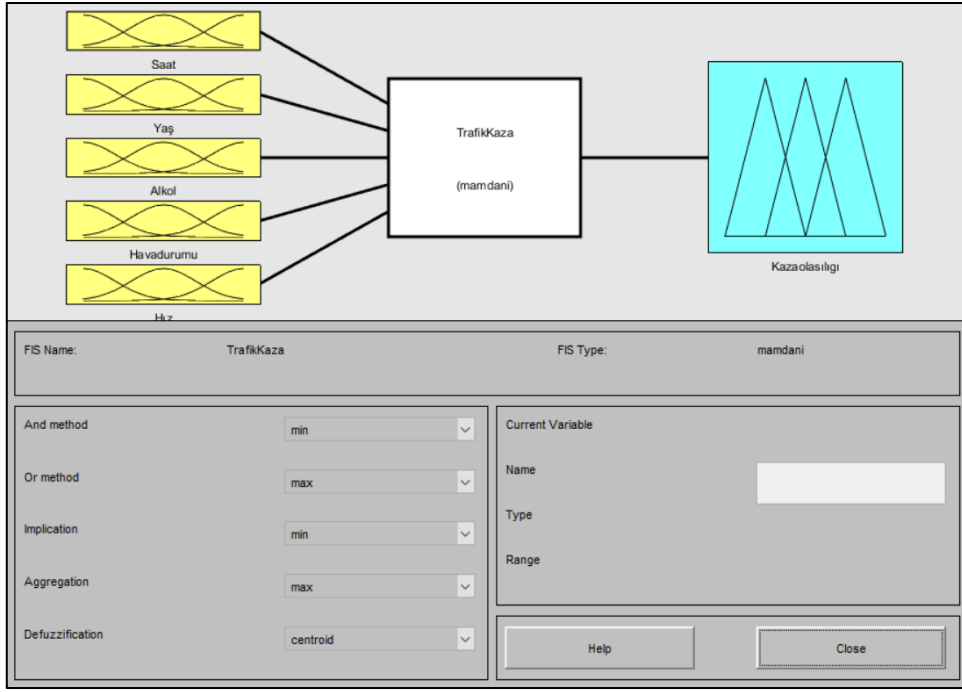
Alkol kullanımı, hız ve hava durumu girdi verilerinin üyelik fonksiyonlarını belirlenmesinde Falamarzi ve diğerleri (2016), Nikolaev ve diğerleri (2016), Uyrca ve Atılgan (2018) ve Yaprak ve Akbulut (2019) çalışmalarından yararlanılmıştır.

Girdi verileri için belirlenen üyelik fonksiyonları Şekil 4-8'de gösterilmiştir.

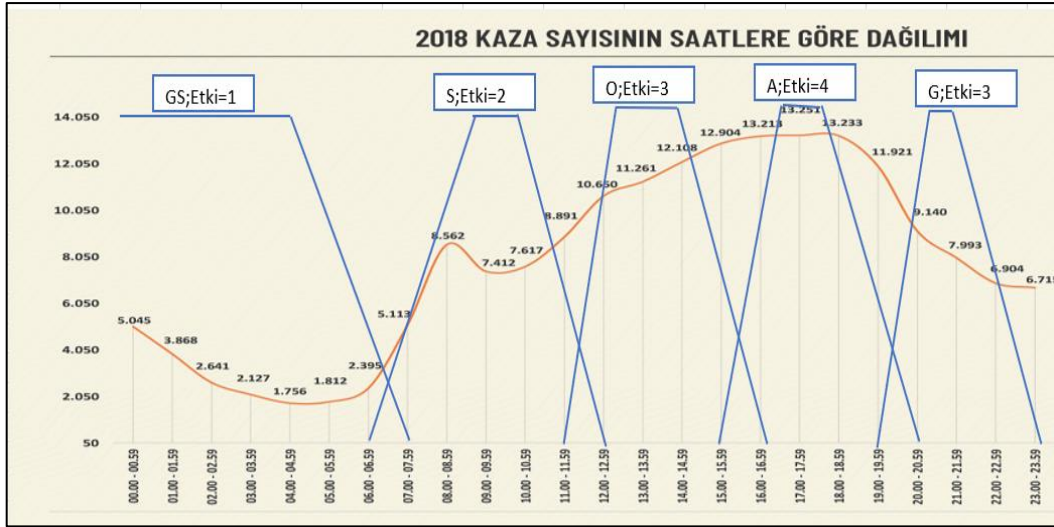
Kural tabanında her bir durum için kural oluşturulmaktadır. Bu çalışmada belirlenen 5 girdi ve 1 çıktı verisi için 1280 adet kural oluşturulmuştur.

Kurallar aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur:

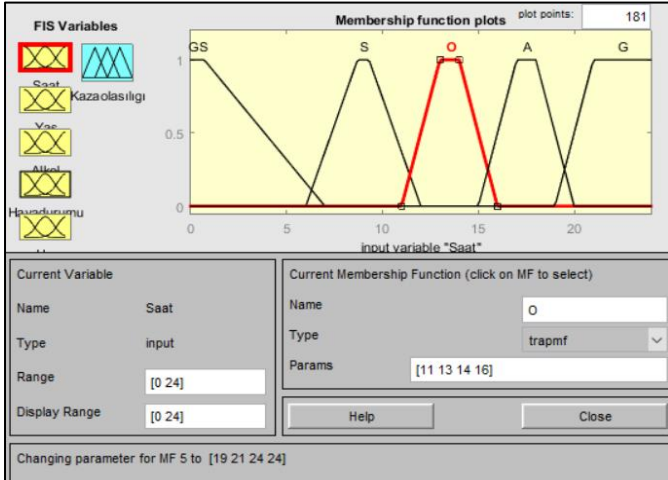
1. Trafik Kaza ve Denetim İstatistikleri Raporu'ndan (Kurt ve Küçüköner, 2019) yararlanılarak her bir sözel ifade için 1-4 arasında "etki" değeri belirlenmiştir. Tablo 2'de "saat" girdi verisinin sözel ifadeleri için belirlenen "etki" değerleri gösterilmiştir. Etki değerleri Şekil 3'te ki grafik dikkate alınarak belirlenmiştir. Örneğin; gece yarısından sabah 07.00'a kadar kaza sayıları diğer saat aralıklarına göre daha düşük seviye olduğu için bu saat aralığı yani GS (Gece yarısı sonrası) sözel ifadesi için etki değeri 1, kaza sayılarının en yüksek düzeye ulaştığı akşam (17.00-18.00) yani A(Akşam) sözel ifadesi için etki değeri ise 4 olarak belirlenmiştir.



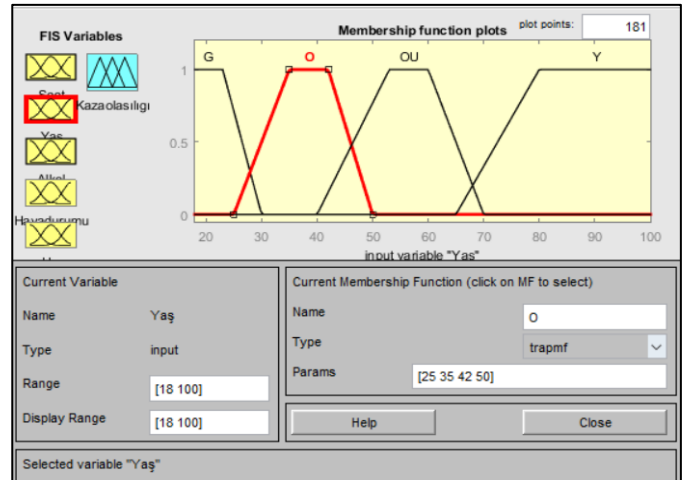
Şekil 2. Bulanık mantık trafik kaza tahmin modeli yapısı



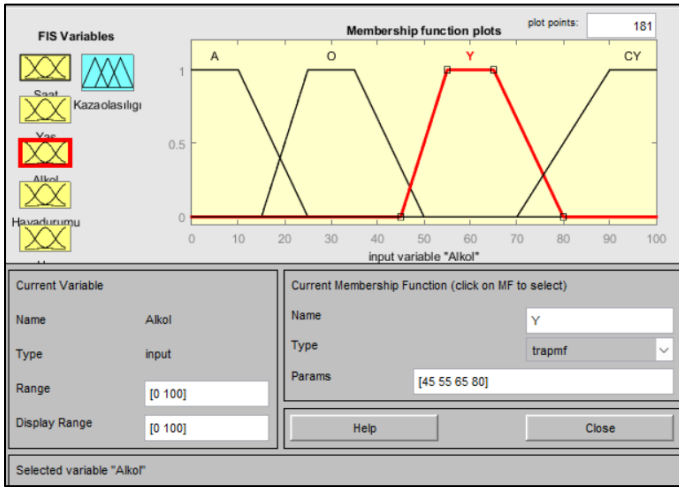
Şekil 3. Trafik kazalarının saatlere göre dağılımı (Kurt ve Küçüköner, 2019)



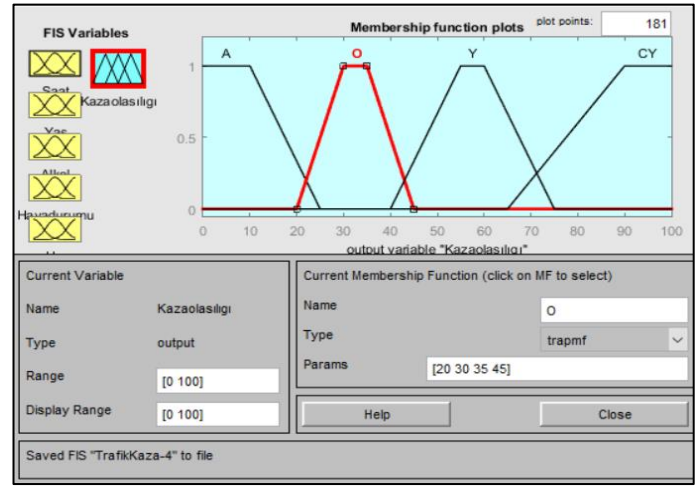
Şekil 4. "Saat" girdi verisinin üyelik fonksiyonu



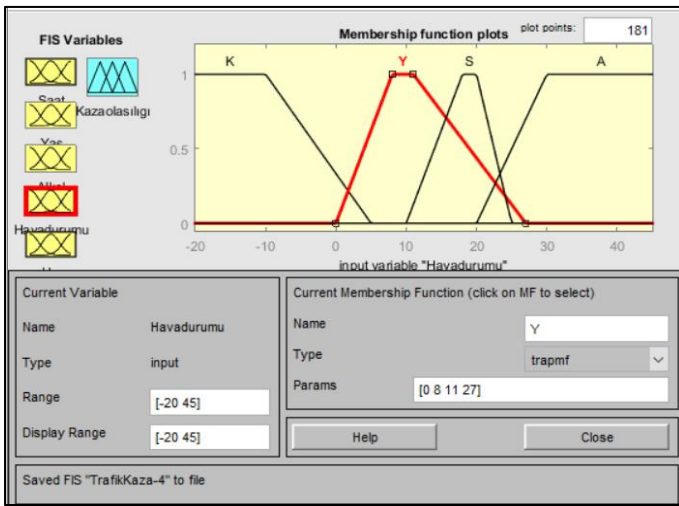
Şekil 5. "Yaş" girdi verisinin üyelik fonksiyonu



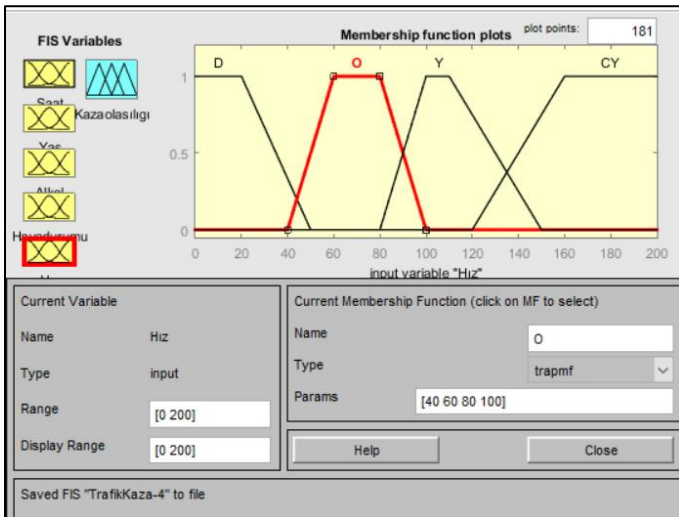
Şekil 6. "Alkol kullanımı" girdi verisinin üyelik fonksiyonu



Şekil 9. "Kaza olasılığı" çıktı verisinin üyelik fonksiyonu



Şekil 7. "Hava durumu" girdi verisinin üyelik fonksiyonu



Şekil 8. "Hız" girdi verisinin üyelik fonksiyonu

"Kaza Olasılığı" çıktı verisinin üyelik fonksiyonu ise Şekil 9'da gösterilmiştir.

2.2.2. Kural Tabanının Oluşturulması

Tablo 2. "Saat" girdi verisinin etki puanları

Saat	Kod	Üyelik	Etki
Gece Yarısı Sonrası	GS	00:00-07:00	1
Sabah	S	06:00-12:00	2
Öğle	O	11:00-16:00	3
Akşam	A	15:00-20:00	4
Gece	G	19:00-24:00	3

2. Tüm kurallar için toplam etki puanı hesaplanmıştır. Tablo 3'te hesaplanan etki puanlarının bir bölümü gösterilmiştir.

Tablo 3. Etki puanı ve kaza olasılığı hesaplama

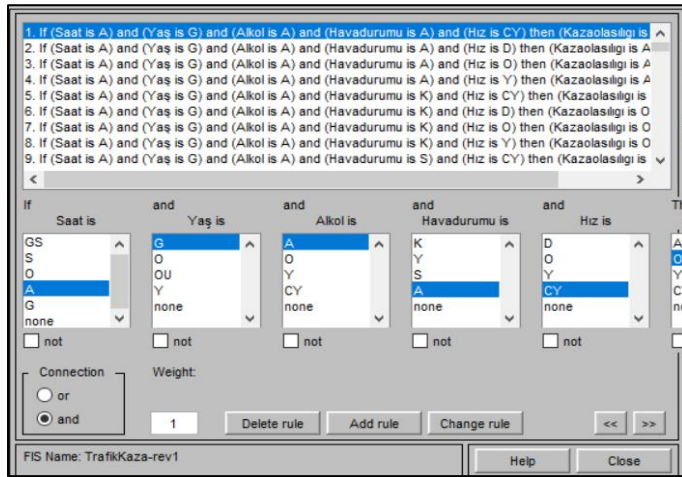
Kural	Sözel İfade				Etki Puanı							
	Saat	Yaş	Alkol Kullanım Durumu	Hava Durumu Hız	Kural	Saat	Yaş	Alkol Kullanım Durumu	Hava Durumu Hız	Toplam Etki	Kaza Olasılığı	
1	A	G	A	A	CYA-G-A-A-CY	4	1	1	1	4	11	O
2	A	G	A	A	D A-G-A-A-D	4	1	1	1	1	8	A
3	A	G	A	A	O A-G-A-A-O	4	1	1	1	2	9	A
4	A	G	A	A	Y A-G-A-A-Y	4	1	1	1	3	10	A
5	A	G	A	K	CYA-G-A-K-CY	4	1	1	4	4	14	O
6	A	G	A	K	D A-G-A-K-D	4	1	1	4	1	11	O
7	A	G	A	K	O A-G-A-K-O	4	1	1	4	2	12	O

3. Hesaplanan toplam etki değerine göre tüm durumlar için kaza olasılığı sözel ifadesi tanımlanarak kurallar oluşturulmuştur.

Tablo 4. Kaza olasılığı sınıflandırması

Sıra	Kaza olasılığı	KOD	Üyelik	Toplam Etki
1	Az	A	0-25	5<= etki <=10
2	Orta	O	20-45	11<= etki <=15
3	Yüksek	Y	40-75	16<= etki <=20
4	Çok Yüksek	CY	65-100	21<= etki <=26

4. Oluşturulan kurallar Matlab programı Fuzzy ara yüzünde bulunan Rule Editor kısmına tanımlanır. Şekil 10'da oluşturulan kuralların bir bölümü gösterilmektedir.



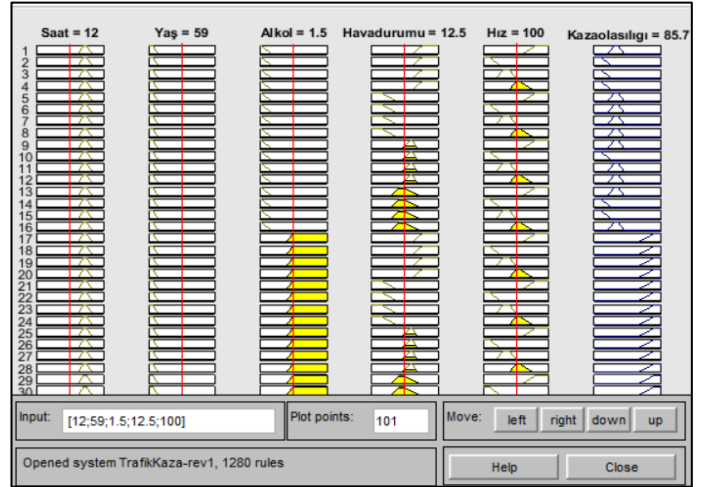
Şekil 10. Bulanık kural tabanı

Örnek olarak ilk 5 kural aşağıda gösterilmiştir:

1. Eğer Saat A, Yaş G, Alkol A, Hava Durumu A ve Hız CY ise o zaman Kaza Olasılığı O'dur.
2. Eğer Saat A, Yaş G, Alkol A, Hava Durumu A ve Hız D ise o zaman Kaza Olasılığı A'dır.
3. Eğer Saat A, Yaş G, Alkol A, Hava Durumu A ve Hız O ise o zaman Kaza Olasılığı A'dır.
4. Eğer Saat A, Yaş G, Alkol A, Hava Durumu A ve Hız Y ise o zaman Kaza Olasılığı A'dır.
5. Eğer Saat A, Yaş G, Alkol A, Hava Durumu K ve Hız CY ise o zaman Kaza Olasılığı O'dur.

2.2.3. Çıkarım İşlemleri

Şekil 11'de bulanık çıkarım ekranı gösterilmiştir. Bulanık çıkarım sayfası, kural kümesinin grafiksel temsilidir. Girilen giriş değerinin tüm kuralların üyelik fonksiyonlarıyla nerede kesiştiğini görüntüler.



Şekil 11. Bulanık çıkarım ekranı

3. Bulgular

Geliştirilen trafik kazası olasılığı tahmini bulanık mantık modeli ile 40 farklı girdi verisi için kaza olasılığı hesaplanmıştır. Bulanık mantık modeli ile belirlenen kaza olasılıkları Tablo 5'te gösterilmektedir.

MATLAB programı bulanık mantık ara yüzünde oluşturulan modelin girdi verileri ile kaza olasılığındaki değişim grafiksel olarak incelenmiştir.

Şekil 12, hız ve alkol seviyesine bağlı olarak kaza olasılığındaki değişimi göstermektedir. Bu grafikte görüldüğü üzere hız ve alkol kullanım düzeyi arttıkça kaza olasılığında artış olmaktadır. Aynı zamanda düşük hız seviyelerinde alkol kullanımının, kaza olasılığını %60'a kadar yükselttiği gözlemlenmiştir.

Şekil 13, alkol kullanım durumu ve saat aralığına göre kaza olasılığındaki değişimi göstermektedir. Bu grafik, alkol kullanımının kaza olasılığını artırdığını ve düşük alkol kullanım düzeylerinde ise 15.00-20.00 saat aralığında kaza olasılığının %50'ye yaklaştığını göstermektedir.

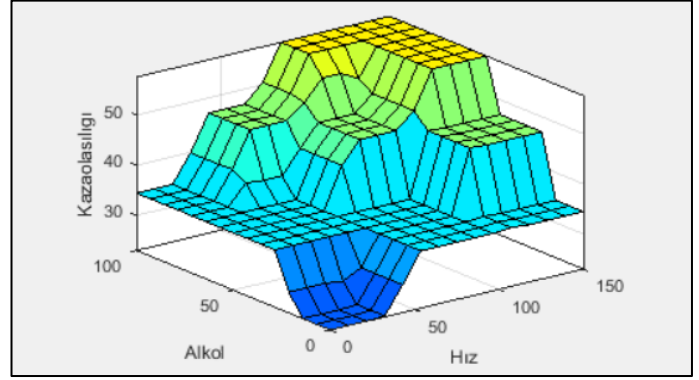
Şekil 14 ise yaş ve hız durumuna göre kaza olasılığındaki değişimi göstermektedir. Şekil 14, yaş ve hız durumunun kaza olasılığı üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde göstermektedir. Grafik, hız seviyelerinin 100 km üzerine çıktığında kaza olasılığının %85'e kadar yükseldiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, düşük hız seviyelerinde, özellikle 25-40 yaş aralığında kaza olasılığının arttığı gözlemlenmiştir.

Bu grafikler, faktörlerin etkileşiminin kaza olasılığı üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, bulanık mantık modelinin karmaşıklığını ve çeşitli faktörlerin birleşik etkilerini

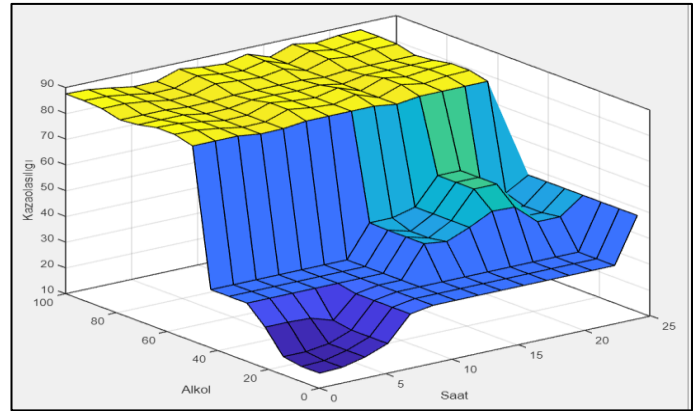
anlama yeteneğini güçlendirmektedir. Bu analiz yaş, hız, alkol seviyesi gibi değişkenlerin bir araya geldiği noktada kaza olasılığının nasıl değiştiğini daha derinlemesine anlamamıza katkı sağlamaktadır.

Tablo 5. Farklı girdi verileri için kaza olasılığı

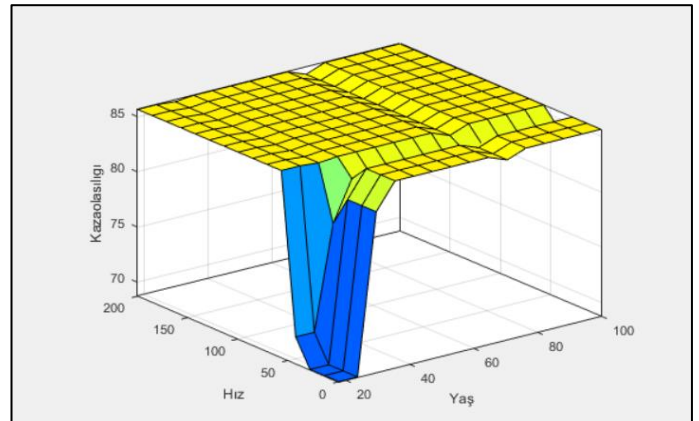
No	Saat	Sürücü Yaşı	Alkol Kullanım Oranı (%)	Hava durumu	Hız (km/saat)	Kaza Olasılığı (%)
1	16	24	93	18	140	51.1
2	18	29	25	13	30	24.3
3	17	40	80	-10	120	85.7
4	19	35	75	16	45	47.3
5	23	65	72	-5	135	83.4
6	5	22	95	15	95	34.6
7	13	32	82	-8	128	57.6
8	10	27	18	2	38	11.3
9	21	48	22	-7	105	34.8
10	15	72	80	-18	100	84.4
11	19	23	13	12	75	26.9
12	19	23	13	12	120	34.4
13	19	23	13	12	30	10.5
14	19	23	13	12	60	22
15	19	23	13	-7	60	34.4
16	19	23	13	-7	120	34.4
17	19	23	90	-7	60	57.6
18	19	23	70	-7	55	34.4
19	19	23	70	19	129	53.8
20	19	23	95	-11	130	57.6
21	4	57	71	12	75	35
22	2	58	10	-15	75	34.2
23	2	58	10	-15	37	23.9
24	2	37	10	-15	37	50
25	5	36	62	-15	137	34.6
26	17	57	50	12	143	57.6
27	17	57	50	12	56	50
28	17	57	50	-14	56	57.6
29	18	56	33	16	135	57.6
30	16	56	33	16	25	34.4
31	16	56	33	16	93	47.6
32	3	39	57	16	56	24.6
33	3	61	10	38	56	10
34	3	61	10	18	123	34.3
35	16	61	30	18	125	57.6
36	16	51	30	18	59	34.4
37	16	51	30	18	82	51.1
38	16	50	30	10	129	57.6
39	1	39	59	20	51	34.1
40	1	35	59	8	12	9.1



Şekil 12. Hız ve alkol kullanım durumuna göre kaza olasılığı



Şekil 13. Alkol kullanım durumu ve saat aralığına göre kaza olasılığı



Şekil 14. Yaş ve hız durumuna göre kaza olasılığı

3.1. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, bir bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi inceleyen ve bu ilişkiyi nicel olarak değerlendiren bir istatistiksel yöntemdir. Bu analiz değişkenler arasındaki ilişkiyi anlamak, bağımlı değişkenin değerini öngörmek ve etki derecelerini ölçmek amacıyla kullanılır (Eşidir ve Çubuk, 2023).

Bu çalışmada, trafik kazalarının karmaşık etmenlerini anlamak ve bu etmenlerin kazalara olan etkisini nicel olarak değerlendirmek amacıyla regresyon analizi kullanılmıştır. Literatürde sıklıkla vurgulanan insan faktörleri, araç faktörleri, yol ve çevresel faktörler,

trafik kazası oranlarının artışının temel nedenlerini oluşturmaktadır. Bu çalışmada incelenen faktörler arasında yer alan saat, sürücü yaşı, sürüş öncesi alkol kullanımı, araç hızı ve hava durumu, önerilen trafik kazası olasılığı tahmin modelinin temel girdi verilerini oluşturmaktadır.

Regresyon analizi, bu faktörlerin trafik kazası olasılığı üzerindeki etkilerini nicel olarak ölçmek, bu etkilerin istatistiksel anlamlılığını belirlemek ve öncelikli etkenleri belirleyerek trafik kazalarını öngörmek için kullanılmıştır. Bu analiz, her bir faktörün kazalara olan katkısını anlama ve bu bilgileri kullanarak önleyici tedbirler geliştirmek adına önemli bir araçtır. Dolayısıyla regresyon analizi, trafik güvenliği açısından etkili stratejiler oluşturmak amacıyla bu çalışmada tercih edilen bir istatistiksel yöntemdir.

Tablo 5'te gösterilen girdi verilerine göre hesaplanan kaza olasılıkları veri setine SPSS programı ile regresyon analizi uygulanmıştır.

Bu çalışmada korelasyon analizi, trafik kazası olasılığı ile saat, sürücü yaşı, sürüş öncesi alkol kullanımı, araç hızı ve hava durumu gibi faktörler arasındaki ilişkileri değerlendirmek için uygulanmıştır. Korelasyon analizi sonuçları, bağımsız değişkenlerin trafik kazası olasılığı üzerindeki etkisini nicel olarak ölçerek hangi faktörlerin daha güçlü bir şekilde ilişkilendiğini ve bu ilişkilerin yönünü belirleme konusunda bilgi sağlamaktadır. Bu sayede regresyon analizinde kullanılacak değişkenlerin seçiminde ve modelin doğruluğunun değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Değişkenler arası ilişkiler korelasyon analizi ile incelenmiştir (Tablo 6.). Pozitif korelasyonlar aynı yönlü ilişkiyi, negatif korelasyonlar ise ters yönlü ilişkiyi göstermektedir. "Kaza" ile "Saat" arasında orta düzeyde pozitif yönlü anlamlı bir ilişki olduğunu görülmektedir ($r = .498$, $p = .004$). "Kaza" ile "Hız" arasındaki korelasyon katsayısı ise $r = .596$ 'dır, yani daha yüksek pozitif yönde anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir ($p = .000$). "Alkol Kullanım Oranı" değişkeni ile "Kaza" arasındaki korelasyon katsayısı $r = .518$ 'dir, bu da orta düzeyde ve pozitif yönlü anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir ($p = .000$). "Hava Durumu" ile "Kaza" arasındaki korelasyon katsayısı ise $r = -.331$ 'dir, bu da orta düzeyde ve negatif yönlü anlamlı bir ilişki olduğunu

göstermektedir ($p = .018$). "Kaza" ile "Sürücü Yaşı" arasındaki korelasyon katsayısı $r = 0.327$ 'dir ($p = .020$). Bu değer, ortalama düzeyde ve pozitif yönlü anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir. Yani, genç yaştaki sürücüler ile kaza olasılığı arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ancak bu ilişkinin gücünün "Kaza" ile "Alkol Kullanım Oranı" veya "Kaza" ile "Hız" arasındaki ilişkiler kadar güçlü olmadığını göstermektedir.

Tablo 6. Değişkenler arası korelasyon analizleri

	Ort. (SS)	1	2	3	4	5	6
1. Kaza	41.89 (19.08)	1					
2. Saat	13.45 (6.98)	.408*	1				
3. Sürücü Yaşı	41.42 (15.82)	.327*	-.209	1			
4. Alkol Kullanım Oranı (%)	44.3 (29.01)	.518**	.090	-.143	1		
5. Hava Durumu	5.45 (13.83)	-.331*	-.044	.046	-.141	1	
6. Hız (km/saat)	83.42 (39.52)	.596**	.287*	.100	.286*	-.067	1

Not: * $p < .05$, ** $p < .01$.

Tablo 7'de katsayılar, her bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki matematiksel ilişkiyi tanımlar. p değerleri bu ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını gösterir. $p < .05$ ise; bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamlıdır. $p > .05$ ise bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamlı değildir. Tablo 7'de, bağımsız değişkenler için $p < .05$ olduğundan, bu değişkenlerin bağımlı değişken üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Bulgular, belirlenen değişkenlerin kaza olasılığını anlamlı düzeyde etkilediğini göstermektedir.

Ayrıca β değeri bağımsız değişkenin standart sapmasındaki bir birimlik değişimin bağımlı değişkenin standart sapması üzerindeki değişimi göstermektedir.

- Saat değerinin bir birimlik artışı kaza olasılığının standart sapmasında .363 artışa sebep olmaktadır.
- Yaş değerinin bir birimlik artışı kaza olasılığının standart sapmasında .444 artışa sebep olmaktadır.
- Alkol kullanım oranı değerinin bir birimlik artışı kaza olasılığının standart sapmasında .425 artışa sebep olmaktadır.

Tablo 7. Kaza olasılığına ilişkin regresyon analizi

	Katsayılar (B)	Standart Hata	β	t	p-değeri	Düşük %95	Yüksek %95
1 (Aşama)	-16.54	6.50		-2.55	.016	-29.75	-3.33
Saat	.99	.24	.36	4.21	.000	.51	1.47
Sürücü Yaşı	.54	.10	.44	5.25	.000	.33	.74
Alkol Kullanım Oranı (%)	.28	.06	.42	4.96	.000	.16	.39
Hava durumu	-.35	.11	-.26	-3.16	.003	-.58	-.13
Hız (km/saat)	.15	.04	.31	3.47	.001	.06	.24

- Hava durumu değerinin bir birimlik artışı kaza olasılığının standart sapmasında .256 azalışa sebep olmaktadır.
- Hız değerinin bir birimlik artışı kaza olasılığının standart sapmasında .308 artışa sebep olmaktadır.

Kaza olasılığını etkileme düzeyine göre faktörler sırasıyla sürücü yaşı, alkol kullanım durumu, saat, hız, hava durumu olarak belirlenmiştir.

4. Tartışma

Kaza öncesi veri analizi ve bütünsel koordinasyon, trafik kazalarının azaltılması için hayati bir rol oynayarak, kazaların oluşumunu anlamak ve önceden müdahale etmek adına kritik bir adımdır. Bu bağlamda detaylı veri toplama ve kurumsal iş birliği, trafik kazalarının azaltılması için etkin stratejiler geliştirme konusunda temel bir öneme sahiptir.

Bu çalışmada, trafik kazalarını etkileyen faktörler göz önüne alınarak trafik kaza olasılığı tahmin modeli önerilmiştir. Trafik kazalarının karmaşık ve belirsiz doğası göz önüne alınarak bulanık mantık yaklaşımı tercih edilmiş ve sürücü ile dışsal faktörlerin kaza olasılığı üzerindeki etkisi regresyon analiziyle incelenmiştir.

Trafik kazaları ölümlere, yaralanmalara ve maddi-sosyal kayıplara yol açan ciddi bir sorun olup çeşitli faktörlerden kaynaklanmaktadır. Trafik kazalarında sürücü kaynaklı hataların belirgin bir rolü olduğu istatistiklerle ortaya konmuştur, bu istatistikler 2022 yılında sürücü kaynaklı hataların kazalarda %86.8'lik bir orana sahip olduğunu göstermektedir (Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri Raporu, 2022). Bu sebeple bu ciddi sorunu ele almak ve çözüme kavuşturmak için öncelikli olarak sürücü etkenine odaklanılmalıdır. Sürücülerin kaza yapmalarına sebep olan faktörlerin belirlenmesi, anlaşılması ve bu faktörlere yönelik uygun çözümlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu adımlar, trafik kazalarının

azaltılması ve toplumsal anlamda olumlu etkilerin sağlanması için önemli bir role sahiptir (Delice, 2015).

Literatürdeki çalışmalarda, trafik kaza analizinde veri madenciliği ve bulanık mantık tekniklerinin yaygın bir şekilde kullanıldığını görülmektedir. Bu teknikler, kazaların nedenlerini belirleme, olası kazaları tahmin etme ve kazaları sınıflandırma gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Sürücü davranışları, çevresel faktörler, yol koşulları ve trafik işaretleri gibi değişkenlerin, kazaların oluşumunda ve sonuçlarında önemli rol oynadığı görülmüştür. Bu faktörlerin analizi, kazaların nedenlerini anlamak ve öncelikli müdahale gerektiren alanları belirlemede büyük önem taşımaktadır.

Alkol kullanımı, hız, yaş, eğitim durumu, ses sistemi kullanımı, yağış durumu ve yolun fiziki koşulları gibi çeşitli faktörlerin trafik kazası oluşumunu etkilediğine dair literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. 2015-2019 yılları arasında gerçekleşen kazaların yaklaşık 3'te 2'si gece ve 25-50 yaş aralığındaki sürücülerin kullandığı otomobillerde, eğimsiz ve yatay kurb bulunmayan karayolu kesimlerinde meydana geldiği tespit edilmiştir (Önder ve Öncü, 2023). Benzer şekilde bu çalışmada önerilen bulanık mantık modeli ile 15.00-20.00 saatleri arasında ve 25 yaş üstü sürücüler için kaza olasılığında artış olduğu tespit edilmiştir. Bulanık mantık modelinde gece saatlerinde kaza olasılığının arttığı bulanık çıkarım grafiklerinde görülmektedir. Ayrıca, regresyon analizinde yaş ve alkol kullanım durumu faktörlerinin kaza olasılığını etkileyen en önemli faktörler olduğu tespit edilmiştir.

Upadhy ve Vinothina (2019) çalışmalarında hız ve alkol düzeyi yüksek olduğunda kaza olasılığının da yüksek olduğunu belirtmekte, ses kullanımı ve alkolün yüksek olduğu durumlarda ise kaza olasılığının göz ardı edilemeyeceğini vurgulamaktadır. Benzer şekilde, bu çalışmada önerilen bulanık mantık modeli sonuçlarına göre;

alkol kullanımının arttığı durumlarda ve hız düzeyinin yükseldiği durumlarda kaza olasılığının arttığı tespit edilmiştir.

Literatürdeki çalışmalarda, çeşitli faktörlerin kaza olasılığı üzerindeki etkileri incelenmiş olmasına rağmen, bu faktörler arasındaki etkileşim genellikle göz ardı edilmiştir. Bu çalışmada, faktörler arasındaki etkileşimler incelenmiş ve kaza olasılığındaki değişim bulgular bölümünde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Regresyon analizine göre kaza olasılığını etkileyen faktörler etki derecesine göre sırasıyla sürücü yaşı, alkol kullanım durumu, saat, hız ve hava durumu olarak belirlenmiştir. Sürücü kaynaklı hataların kazalarda %86.8'lik bir orana sahip olması ve bu çalışmada sürücü yaşı ile alkol kullanım durumunun kaza olasılığını en çok etkileyen faktör olması durumu göz önünde bulundurulduğunda sürücü kaynaklı kazaların azaltılması yönünde ciddi önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu bağlamda sürücü eğitim programlarının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması önerilmektedir. Ayrıca alkol ve uyuşturucu kullanımının önlenmesi için sıkı denetimlerin yanı sıra bilinçlendirme kampanyalarının düzenlenmesi etkili olabilir. Son olarak sürücü kaynaklı kazaların azaltılmasında teknolojik gelişmelerden yararlanabilir. Araçlara güvenlik sistemleri eklemek, sürücüyü uyararak veya otomatik müdahalede bulunarak kazaları önleyebilir. Örneğin; şerit takip sistemi, yorgunluk uyarı sistemi, yaya algılama sistemi ve acil fren sistemi gibi teknolojiler, sürücü hatalarının neden olduğu kazaların önlenmesinde etkili olabilir. Bu tür sistemler, sürücülerin dikkat dağınıklığı veya ani durumlarda müdahale ederek kazaların önlenmesine katkı sağlayabilir. Bu nedenle, sürücü destek sistemlerinin ve güvenlik teknolojilerinin yaygınlaştırılması, trafik kazalarının azaltılması için önemli bir adım olabilir.

Bu model, bulanık mantık prensiplerine dayalı olarak geliştirilmiştir. Ancak, modelin kapsamını belirleyen temel faktör, girdi ve çıktı değişkenlerinin sözel ifadeleriyle oluşturulan kurallardır. Modelin girdi ve çıktı sayısında ki artış kural sayısında artışa yol açmaktadır. Bu durum programın, kabul edilebilir yanıt sürelerini aşarak makul bir çalışma süresinde cevap verememesine neden olabilmektedir. Bu nedenle kazalara sebep olabilecek diğer etkenler (örneğin; sürücü eğitim durumu, yol koşulları gibi faktörler) modele dâhil edilmemiştir. Bu kısıtlılıkları

gidermek amacıyla fiziki koşulların değerlendirildiği benzer bir bulanık mantık modeli oluşturulabilir.

Gelecekteki araştırmalar, daha geniş ve kapsamlı veri setlerini kullanarak sürücü davranışları, çevresel faktörler ve altyapı unsurları gibi çoklu değişkenler arasındaki ilişkileri daha derinlemesine analiz etmeyi hedeflemelidir. Ayrıca kaza olasılığının ölümlü, yaralanmalı veya maddi hasarlı kaza olarak sınıflandırılması ve bu sınıflandırmalara göre kaza olasılığının tahmin edilmesine yönelik önerilen modelin geliştirilmesi bu çalışmanın gelecek adımları arasında yer alabilir.

Etik Kurul Onay Beyanı

İlgili çalışmada insan veya hayvan katılımcılardan veri toplanmadığı için etik kurul izni gerekmemektedir.

Kaynakça

- Adnan, M. R. H., Sarkheyli, A., Mohd Zain, A. ve Haron, H. (2015). Fuzzy logic for modeling machining process: A review. *Artificial Intelligence Review*, 43, 345-379.
- Al-Omari, A., Shatnawi, N., Khedaywi, T. ve Miqdady, T. (2020). Prediction of traffic accidents hot spots using fuzzy logic and GIS. *Applied Geomatics*, 12, 149-161.
- Ansari, A. Q. ve Islamia, J. M. (1998). The basics of fuzzy logic: A tutorial review. *Computer Education-Stafford-Computer Education Group*, 88, 5-8.
- Atalay, A. (2010). *Türkiye'deki trafik kazalarının mekansal ve zamansal analizi* (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Bolat, H. (2019). *Kayseri il emniyet müdürlüğü trafik kaza verilerinin veri madenciliği yaklaşımları ile analizi* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Delice, M. (2015). Trafik kazalarına etki eden sürücüyle ilgili faktörlerin çoklu regresyon analiziyle incelenmesi. *Uluslararası Hakemli Beşeri ve Akademik Bilimler Dergisi*, 4(11), 198-210.

- Driss, M., Benabdeli, K., Saint-Gerand, T. ve Hamadouche, M. A. (2015). Traffic safety prediction model for identifying spatial degrees of exposure to the risk of road accidents based on fuzzy logic approach. *Geocarto International*, 30(3), 243-257.
- Elmas, Ç. (2003). *Bulanık mantık denetleyiciler*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Eşidir, K. A. ve Çubuk, M. (2023). Çoklu doğrusal regresyon analizi ile bölgesel kaynakların ihracat fiyatlarının incelenmesi: Yüksek karbonlu ferrokrom örneği. *Bölgesel Kalkınma Dergisi*, 1(1), 104-116.
- Falamarzi, A., Borhan, M. N., Rahmat, R. A. O., Cheraghi, S. ve Javadi, H. H. S. (2016). Development of a fuzzy expert system to prioritize traffic calming projects. *Jurnal Teknologi*, 78(2), 43-53.
- Gaber, M., Mohamed Wahaballa, A., Mahmoud Othman, A. ve Diab, A. (2017). Traffic accidents prediction model using fuzzy logic: Aswan desert road case study. *JES. Journal of Engineering Sciences*, 45(1), 28-44.
- Gajendran, C., Serin, V. K., Seenu, S. G. ve Swati, P. (2015). Different methods of accident forecast based on real data. *Journal of Civil & Environmental Engineering*, 5(4), 180-184.
- Kar, İ. (2017). *Bulanık çıkarsama sistemleri ile veri madenciliği yöntemlerinin sınıflama performansının benzetim çalışması ile karşılaştırılması ve sağlık alanında uygulanması* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri 2022 (Mayıs 2023). Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Karayolu-Trafik-Kaza-Istatistikleri-2022-49513>.
- Karimi, A., Eslamizad, S., Mostafae, M., Haghshenas, M. ve Malakoutikhah, M. (2016). Road accident modeling by fuzzy logic based on physical and mental health of drivers. *International Journal of Occupational Hygiene*, 8(4), 208-216.
- Katsoukis, A., Konguetsof, A., Iliadis, L. ve Papadopoulos, B. (2018). Classification of Road Accidents Using Fuzzy Techniques. *Ieee*.
- Kurt, G. ve Küçüköner, N. (2019). Trafik Kaza ve Denetim İstatistikleri Raporu. *Polis Akademisi Yayınları*: 75, Rapor No: 27.
- Murat, Y. S. ve Cakici, Z. (2017). An Integration of Different Computing Approaches in Traffic Safety Analysis. *Transportation Research Procedia*, 22, 265-274.
- Nikolaev, A. B., Sapego, Y. S., Jakubovich, A. N., Berner, L. I. ve Stroganov, V. Y. (2016). Fuzzy Algorithm for the Detection of Incidents in the Transport System. *International Journal of Environmental and Science Education*, 11(16), 9039-9059.
- Öncü, A. E. ve Önder, M. (2023). Jandarma bölgesinde gerçekleşen trafik kazalarının veri madenciliği yöntemiyle analizi. *Trafik ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 143-158.
- Özgan, E. (2003). *Sivas ili çevre devlet karayollarında meydana gelen trafik kazalarının çok yönlü klinik araştırması ve kritiği* (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Pal, J. ve Bhattacharjee, V. (2015). Prediction of fine in accidents using fuzzy rule based model. *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science*, 1(9), 109-114.
- Siyavuş, A. E. (2022). Üsküdar'da meydana gelen trafik kazalarının coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla analizi. *Trafik ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 65-82.
- Upadhyay, M. ve Vinothina, V. (2019). Fuzzy Logic Based Approach for Possibility of Road Accidents. *Third National Conference on Computational Intelligence*. 1427(012011), 1-10.
- Uyurca, Ö. ve Atılğan, İ. (2018). Ankara ilinde meydana gelen trafik kazalarının incelenmesi. *Kent Akademisi*, 11(4), 618-626.
- Wahaballa, A., Diab, A., Gaber, M. ve Othman, A. (2017). *Sensitivity of Traffic Accidents Mitigation Policies Based on Fuzzy Modeling: A Case Study*. 2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Yokohama, Japan.

Wang, H., Zheng, L. ve Meng, X. (2011). *Traffic Accidents Prediction Model Based on Fuzzy Logic*. Advances in Information Technology and Education. Communications in Computer and Information Science. Springer, Berlin, Heidelberg.

Yaprak, Ş. ve Akbulut, A. M. (2019). Trafik Kaza ve Denetim İstatistikleri. *Polis Akademisi Yayınları*.

Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.