Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi
29(2), 241-250, 2017

Science and Eng. J of Fırat Univ.
29(2), 241-250, 2017

Maddi Hasarlı Trafik Kazaları İçin Sinirsel-Bulanık Ağ Tabanlı Bir Kusur Tespit Modeli

Çiğdem ACI[a], Ali Can YILMAZ[b]

[a] Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mersin Üniversitesi, 33343, Mersin, Türkiye
caci@mersin.edu.tr

[b] Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Çukurova Üniversitesi, 01330, Adana, Türkiye

(Geliş/Received: 06.03.2017; Kabul/Accepted: 27.07.2017)

Özet

Maddi hasarlı bir trafik kazası meydana geldiğinde, kazaya dahil kişilerin tümü, yetkili ve görevli kişinin gelmesine lüzum görmezlerse, bunu aralarında yazılı olarak saptamak sureti ile kaza yerinden ayrılabilirler. Kazaya dahil kişiler kendi aralarında anlaşamaz ise tarafların kayıplarının tazmin edilmesi için kusur oranlarının belirlenmesinin önemi büyüktür. Son yıllarda trafik kazalarıyla ilgili hazırlanan bilirkişi raporları incelendiğinde kusur oranlarının kabaca belirlendiği, ayrıntılı kaza analizlerinin yapılmadığı görülmektedir. Bu çalışmada, karşılıklı anlaşma yoluyla çözülemeyen ve hakkında dava açılıp bilirkişi görüşüne ihtiyaç duyulan maddi hasarlı trafik kazalarında hassas kusur tespiti yapacak ANFIS (Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi) tabanlı bir model geliştirilmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun konuyla ilgili 2016 yılına kadar yapılan istatistiklerine göre, en sık görülen kaza tipleri göz önüne alınarak dört adet temel kaza senaryosu benzetim yoluyla yeniden canlandırılmıştır. Her senaryo için 500 adet veri üretilmiş, 10 katlı çapraz doğrulama ile bu verilerin %90'ı eğitim %10'u ise test için kullanılmış olup alınan sonuçlar, önceki çalışmalarda elde edilen tahmin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda ANFIS tabanlı kusur tahmin modelinin, kazaya yönelik çeşitli parametreleri değerlendirerek çok düşük hata oranları ile taraflara ait kusurları belirleyebildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Trafik kazası, Kusur oranı tahmini, Kaza yeniden canlandırma, ANFIS.

A Fault Detection Model Based on Neuro-Fuzzy Network for Property Damage Only Traffic Accidents

Abstract

When a property damage only traffic accident occurs, all persons involved in the accident can leave the accident area by notifying them in writing if they do not find it necessary for the authorized and responsible person to arrive. If the persons involved in the accident can not come into an agreement, it is important to determine the default rates in order to compensate the losses of the parties. When expert reports prepared for traffic accidents in recent years are examined, it is seen that fault rates are roughly determined and detailed accident analyzes are not performed. In this study, an ANFIS (Adaptive Network Based Fuzzy Logic Inference System) based model was developed to detect sensitive defaults in property damage only traffic accidents that cannot be resolved by mutual agreement and in which cases were filed and expert opinions were needed. According to statistics of the Turkish Statistical Institute until 2016, four basic accident scenarios have been simulated taking into account the most common accident types. For each scenario 500 data were generated, 90% of these data were used for training and 10% of the data were used for testing with 10-fold cross-validation and the results were compared with the prediction results obtained from previous studies. As a result of the study, ANFIS based default prediction model can be used to determine the defaults of the parties with very low error rates by evaluating various parameters for the accident.

Keywords: Traffic Accident, Fault Rate Prediction, Accident Reconstruction, ANFIS

1. Giriş

Trafik kazaları bir tür haksız fiil olup, hukuki sorumluluğu da beraberinde getirmektedir. Günlük yaşamda trafiğe çıkmayan hiçbir insan düşünülmeyeceğinden, trafik kazası her insanın başına gelebilecek olağan bir olay olarak nitelendirilmektedir. Bu nedenle, bir trafik kazasına karışan veya maruz kalan kişilerin olaydaki kusur durumlarının teknik, hukuki ve

bilimsel bir şekilde objektif olarak ortaya konulması gerekir.

Trafik kazaları ile ilgili hükümler, 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu'nun [1], 81-84. maddeleri ile Karayolları Trafik Yönetmeliği'nin [2], 152-157. maddelerinde düzenlenmiştir. Trafik kazaları sonucunda, idari, cezai ve hukuki sorumluluklar doğabilmektedir. Trafik kazası gerçekleştikten sonra kazaya sebep olan kusur ve sorumluluğun ortaya çıkartılması çok önemlidir. Çünkü kusurdan dolayı karşı tarafa zarar verildiğinde; haksız fiilden doğan hukuki sorumluluk oluşur. Bu sorumluluğun da tazmin edilmesi gerekir. Kişilerin kusurları nedeniyle tazmin etmekle yükümlü olduğu zarar, zarar-kusur ilişkisine bağlıdır. Zararlar kişilerin kusurları nispetinde karşılanmak durumundadır. Zira her zarar, kusur oranında karşılandığı gibi; cezalar da kusurları oranında indirime tabi olur [3]. Trafik kazalarında kusur ve sorumluluk oranının belirlenmesinde, bilimsel, teknik ve hukuki düzenlemelerden yararlanılması gerekir.

1 Nisan 2008 tarihinden itibaren yapılan değişiklikle, maddi hasar meydana gelen kazalarda, kazaya dahil kişilerin tümü, yetkili ve görevli kişinin gelmesine lüzum görmezlerse, bunu aralarında yazılı olarak saptamak sureti ile kaza yerinden ayrılabilirler [2]. Kaza tespit tutanağı adı verilen bu belge kazaya karışanlar tarafından doldurulup imzalanır ve sigorta kurumlarına teslim edilir. Bu işlemin ardından sigorta kurumları kazayı, Trafik Sigortaları Bilgi Merkezi [4] tarafından önceden belirlenmiş maddi hasarlı kaza senaryolarına göre inceleyip kazaya dahil olan sürücülerin kusur oranlarını %0-%100 veya %50-%50 olacak şekilde paylaştırıp, hazırladıkları belgeyi Sigorta Bilgi ve Gözetim Merkezi'ne [5] 5 iş günü içinde iletirler. Tarafların zararları, kusurları nispetinde karşılanır ve herhangi bir adli kovuşturmaya gerek kalmaz.

Kazanın sadece maddi hasarlı olarak gerçekleştiği ama tarafların anlaşamadığı durumlarda ise araçların yeri değiştirilmeden en yakın trafik ekibi çağrılır ve "Trafik Kaza Tespit Tutanağı" düzenlenir. "Trafik Kaza Tespit Tutanağında" kusur oranı belirtilmemekte sadece "asli ve diğer kusurlar" belirtilmektedir. Bu uygulama kusur oranı tespiti için her kazadan sonra mahkeme kararı veya bilirkişi raporunu zorunlu hale getirmiştir. Trafik kazalarıyla ilgili hazırlanan bilirkişi raporları incelendiğinde kusur oranlarının kabaca belirlendiği, ayrıntılı kaza analizlerinin yapılmadığı görülmektedir. Bunun başlıca sebebi hem teknik imkansızlık hem de mevzuat yetersizliğidir. Son yıllarda, bazı bilirkişilerin raporlarını oluştururken vCrash [6], Edge-FX [7], REC-TEC [8], Pc-Crash [9] gibi kazaların benzetim yoluyla analizini yapan paket programlar kullandığı görülmüş olsa da bahsi geçen yazılımların lisans ücretlerinin yüksek olması ve bu yazılımları kullanmanın teknik bilgi gerektirmesinden dolayı yaygınlaşmamıştır. Bununla birlikte, bilirkişiler raporlarında kaza benzetim yazılımlarını kullansalar bile kusur oranı belirleme işlemini yine kabaca yapmaktadırlar.

Kusur oranlarının kabaca belirlenmesi, kazaya karışanların ve/veya sigorta şirketlerinin haksızlığa uğramasına sebep olmaktadır. Oysa literatürde kusur oranlarının belirlenmesi ile ilgili yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır: Cangül [10] tezinde, trafik kazalarındaki kusur oranlarını belirlemeye yarayan uzman bir sistem geliştirmiş ve kusur oranlarını etkileyen faktörler üzerine soru-cevap anketleri kullanarak değerlendirmeler yapmıştır. Bu tezde karar destek sistemi kullanılmış olup kazalar sadece araç-araç ve yaya-araç ekseninde sınıflandırılmıştır. Kazanın yeniden canlandırılması yaklaşımı yapılmamıştır. Schneider vd. [11] iki motosiklet çarpışmasında kusur oranlarının belirlenmesi üzerine yaptıkları çalışmada, motosiklet sürücülerinin arkadan çarpmalı kazalarda asli kusurlu olmalarının daha muhtemel olduğu ancak kavşak kazalarında genellikle tali kusurlu oldukları sonucuna varmışlardır. Goh vd. [12] karışık logit modelleme yaklaşımı kullanarak, yol durumu, hız limitleri, trafik/ışıklandırma şartları, sürücünün yaşı, cinsiyeti ve tecrübesi gibi yol/çevre, araç ve sürücü ilişkili değişkenlerin asli kusurluluk durumunda etkili faktörler olduğunu ortaya koymuşlardır. Sonuçlara göre, bölünmüş yolların özellikle tecrübeye bağlı kazaları büyük oranda azalttığı görülmüştür. Zhang vd.'nin [13] Çin'deki yaya-araç kazalarının şiddeti ve kusur oranları üzerine yaptıkları çalışmanın sonuçları, yayaların asli kusurlu oldukları kazalarda ölümlerin ve ciddi yaralanma vakalarının daha muhtemel olduğunu ortaya koymuştur. Islam vd. [14] Alabama'daki römorklu ve römorksuz

kamyon kazalarında asli kusurluluk üzerine yaptıkları kapsamlı çalışmada, bu tür kazalardaki yaralanmanın şiddetinin malzemenin tahmin edilen ortalama süper-elastikiyetine büyük oranda bağlı olduğu savunulmuştur. Yılmaz vd. [15], trafik kazalarında çarpışma anındaki kusurluluk durumunun anlaşılmasında doğrudan etkisi olan deformasyon enerjisini yapay zeka yöntemleri ile tahmin etmiştir. Yılmaz vd. [16], başka bir çalışmada Yapay Sinir Ağları'nı (YSA) kusur oranı tahmini için kullanmışlardır. Çalışmada, üç çeşit YSA (İleri Beslemeli Çok Katmanlı (İBÇK), Genelleştirilmiş Regresyon (GR) ve Fonksiyon Uydurma (FU)) kullanılmış olup yüksek doğrulukta tahmin sonuçları elde edilmiştir. Literatürdeki çalışmalardan anlaşılacağı üzere, trafik kazalarında kusur tespiti son yıllarda üzerinde oldukça çalışılan bir konu olsa da Sinirsel-Bulanık Ağ metodunu bu alanda kullanan bir çalışma henüz yapılmamıştır.

Bu çalışmada, Türkiye İstatistik Kurumu'nun konuyla ilgili 2016 yılına kadar yapılan istatistiklerine göre [17] en sık görülen kaza tipleri göz önüne alınarak dört adet temel kaza senaryosu benzetim yoluyla yeniden canlandırılmıştır. Kazaya karışan araçlardan elde edilen parametreler göz önüne alınıp tarafların kusur oranları Bulanık Mantık metodu ile tahmin edilmiştir. Elde edilen tahmin sonuçları önceki çalışmalarda elde edilen tahmin sonuçları Yılmaz vd. [16] ile karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri kümesinin elde edilmesi

Çalışma materyali olarak en sık görülen kaza senaryolarından dört tanesi seçilmiş ve bu kazaların benzetimi için zeminlerin özdeş ve tam kuru olması (sürtünme katsayısı = 1), kazaların yalnızca maddi hasarlı olması, kazanın oluş şekline göre çarpışma açıları için uygun değerler alınması gibi kabuller yapılmıştır. Kaza senaryoları, vCrash [6] isimli, iki ve üç boyutlu kaza canlandırmalarının yapılabildiği bir benzetim programında yeniden canlandırılmıştır. Araçların hızları ve aldıkları deformasyonlar giriş verisi olarak kullanılırken kazaya karışanların kusur oranları çıkış verisi olarak alınmıştır. Bu bağlamda, her senaryo için 500 adet veri üretilmiş, bu verilerin %90'ı eğitim %10'u ise test için kullanılmıştır.

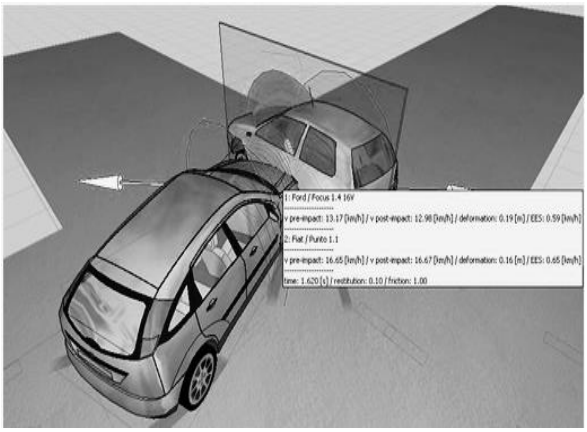
Kazalarda, çarpışma anında deformasyon enerjisine dönüşen hız ölçüsü anlamına gelen "Enerji Denklik Hızı (Energy Equivalent Speed) (EES)" önemli bir parametredir. Günümüz teknolojisine sahip araçların hemen hemen hepsi kilitlenmesiz fren sistemine (ABS) sahip olduğu için frenleme esnasında tekerlekler sürekli olarak kilitlenmemekte ve yol yüzeyinde lastik izleri araçların çarpışma hızlarını belirleyebilecek kadar oluşmamaktadır. Bu durumda, ne kadar yüksek hız, o kadar yüksek deformasyon enerjisi prensibi devreye girmektedir. Araçların EES değerleri (1)'deki gibi hesaplanır:

$$\frac{EES_1}{EES_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}\frac{S_{def1}}{S_{def2}}} \text{ ve } EES_2 = \sqrt{\frac{2.E_D}{m_2\left(\frac{S_{def1}}{S_{def2}}+1\right)}} \qquad (1)$$

Burada m_1 ve m_2 araçların "kg" cinsinden kütleleri, S_{def1} ve S_{def2} araçların çarpışma bölgelerinde oluşan deformasyon derinliklerinin "metre" cinsinden değeri, E_D ise araçların çarpışmaya bağlı olarak kaybettikleri kinetik enerjinin "Joule" cinsinden değeridir. Veri kümesi olarak kullanılan kaza senaryolarının teknik ayrıntıları aşağıda özetlenmiştir:

Senaryo 1:

Bu kazada, iki binek araç eşit kollu kavşakta (herhangi bir trafik ışığı, polis, "DUR" tabelası vs. yok) birbirlerine çarpmıştır (Şekil 1).

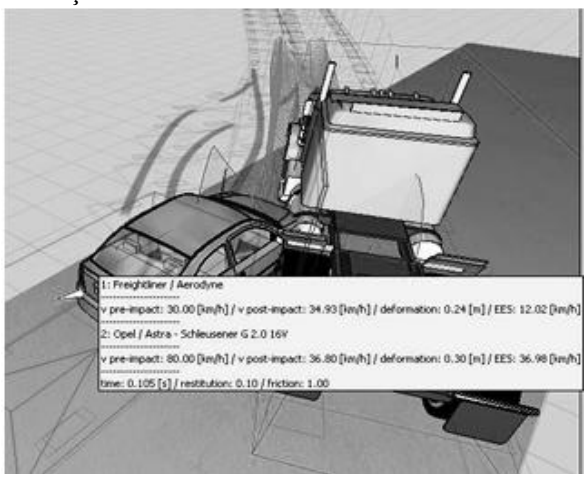


Şekil 1. Senaryo 1 için araçların birbirlerine ilk teması anındaki vCrash görüntüsü

Bu senaryoda, araçların birbirlerine dik açıda çarptıkları, araçların her ikisinin de lastiklerinin temas ettikleri yol yüzeylerinin özdeş ve tam kuru zemin olduğu (sürtünme katsayısı, $\mu = 1$), hızlar hakkında fikir verecek lastik izlerinin olmadığı, kazanın yalnızca maddi hasarlı olduğu kabul edilmiştir.

Senaryo 2:

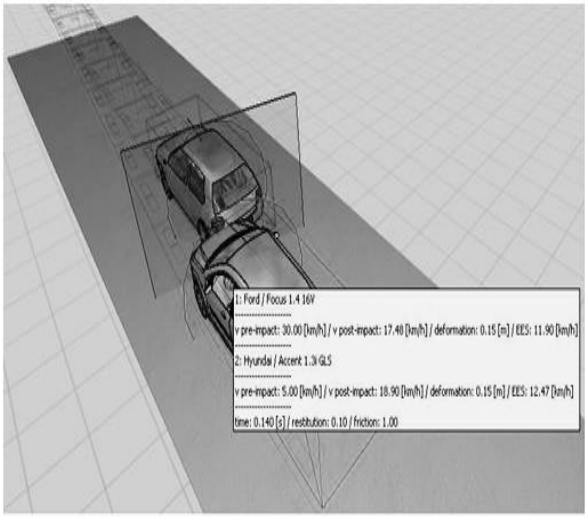
Bu senaryoda, sağ şeritten ilerleyen bir kamyon (araç 1) sol şeritten gelen bir binek otomobilin (araç 2) önüne kırarak kazaya sebebiyet vermiştir (Şekil 2). Kamyon sürücüsü kanunun "şerit değiştirme kurallarına uymama" maddesinden %75 oranında "asli kusurlu" iken sol şeritten gelen binek araç sürücüsü "dikkatsiz araç kullanma" sebebiyle %25 oranında "tali kusurlu" kabul edilmiştir. Görüldüğü üzere, herhangi bir hız ve çarpışma analizi (soldan gelen aracın yasal hız sınırının çok üzerinde ilerlemesi gibi) yapılmadan sadece ilgili kanun dikkate alınmıştır. Bu maddi hasarlı senaryoda, yol yüzeyinin özdeş ve tam kuru olduğu ve çarpışma anında araçlar arası açının 45º olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 2. Senaryo 2 için araçların birbirlerine ilk teması anındaki vCrash görüntüsü

Senaryo 3:

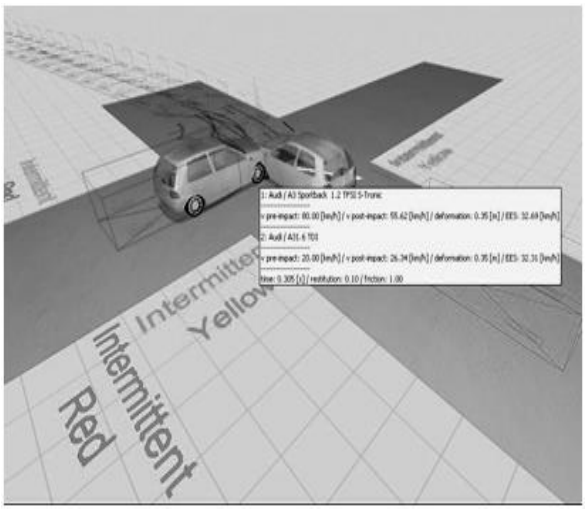
Bu senaryoda, yasal hız alt limitinin de altında yavaş giden bir araca (araç 1) yasal sınırlar içerisinde ilerleyen diğer bir araç (araç 2) arkadan çarpmıştır (Şekil 3). Kanuna göre arkadan çarpan araç %100 "asli kusurlu" olarak belirtilmiştir. Ancak, öndeki aracın aşırı yavaş gitmesi (yasal hız alt sınırının altında), arkadaki aracın yasal hız sınırları içerisinde ilerlemesi ve/veya deformasyon miktarları gibi bir durum göz önüne alınmamıştır. Bu senaryo için, zeminin özdeş ve tam kuru, araçların çarpışma esnasında aynı doğrultuda olduğu varsayılmıştır.



Şekil 3. Senaryo 3 için araçların birbirlerine ilk teması anındaki vCrash görüntüsü

Senaryo 4:

Bu senaryoda, fasılalı kırmızı ışık yönünden kavşağa giren bir araç (araç 1) ile fasılalı sarı ışık yönünden kavşağa giren bir araç (araç 2) çarpışmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Senaryo 4 için araçların birbirlerine ilk teması anındaki vCrash görüntüsü

Fasılalı kırmızı tarafından gelen araç "fasılalı kırmızı ışıklı kavşağa dikkatsiz ve tedbirsiz girmek ve kavşağa yaklaşırken yavaşlamamak" durumundan %75 "asli kusurlu", diğer araç "fasılalı kırmızı sarı kavşağa dikkatsiz ve tedbirsiz girmek ve kavşağa yaklaşırken yavaşlamamak" hükmüne dayanarak ve ilgili herhangi bir analiz yapılmadan (araçların hızları gibi) %25 "tali kusurlu" olarak belirtilmiştir.

Bu senaryoda da, araçların birbirlerine dik açıda çarptıkları, araçların her ikisinin de lastiklerinin temas ettikleri yol yüzeylerinin özdeş ve tam kuru zemin olduğu (sürtünme katsayısı, μ = 1), hızlar hakkında fikir verecek lastik izlerinin olmadığı, kazanın yalnızca maddi hasarlı olduğu kabul edilmiştir. Yapılan çalışmada vCrash yazılımından elde edilen verilerle ilgili açıklayıcı istatistiksel bilgiler her senaryo için sırasıyla Tablo 1, 2, 3 ve 4'te verilmiştir.

Tablo 1. Senaryo 1 için açıklayıcı istatistikler

	Deformasyon (m) (araç 1)	**Deformasyon (m) (araç 2)**	**Hız (km/s) (araç 1)**	**Hız (km/s) (araç 2)**	**Kusur (%) (araç 1)**	**Kusur (%) (araç 2)**
Minimum	0.072	0.065	15	20	0	18
Maksimum	1.637	1.598	170	175	82	100
Ortalama	0.849	0.774	68.818	74.108	28.028	72
Std. Sapma	0.421	0.408	37.198	36.672	26.786	26.797

Tablo 2. Senaryo 2 için açıklayıcı istatistikler

	Deformasyon (m) (araç 1)	**Deformasyon (m) (araç 2)**	**Hız (km/s) (araç 1)**	**Hız (km/s) (araç 2)**	**Kusur (%) (araç 1)**	**Kusur (%) (araç 2)**
Minimum	0.077	0.079	25	25	0	18
Maksimum	1.009	1.019	180	175	82	100
Ortalama	0.306	0.321	78.397	76.703	28.028	72
Std. Sapma	0.183	0.177	37.128	35.022	26.786	26.797

Tablo 3. Senaryo 3 için açıklayıcı istatistikler

	Deformasyon (m) (araç 1)	**Deformasyon (m) (araç 2)**	**Hız (km/s) (araç 1)**	**Hız (km/s) (araç 2)**	**Kusur (%) (araç 1)**	**Kusur (%) (araç 2)**
Minimum	0.071	0.078	50	20	51	20
Maksimum	0.895	0.958	80	35	80	49
Ortalama	0.339	0.355	66.429	20.429	66.429	33.571
Std. Sapma	0.219	0.235	11.089	9.589	7.859	7.859

Tablo 4. Senaryo 4 için açıklayıcı istatistikler

	Deformasyon (m) (araç 1)	**Deformasyon (m) (araç 2)**	**Hız (km/s) (araç 1)**	**Hız (km/s) (araç 2)**	**Kusur (%) (araç 1)**	**Kusur (%) (araç 2)**
Minimum	0.061	0.052	15	20	0	18
Maksimum	1.151	1.061	80	150	82	100
Ortalama	0.849	0.774	58.817	71.201	28.028	72
Std. Sapma	0.362	0.324	37.197	34.713	26.786	26.797

2.2. Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS)

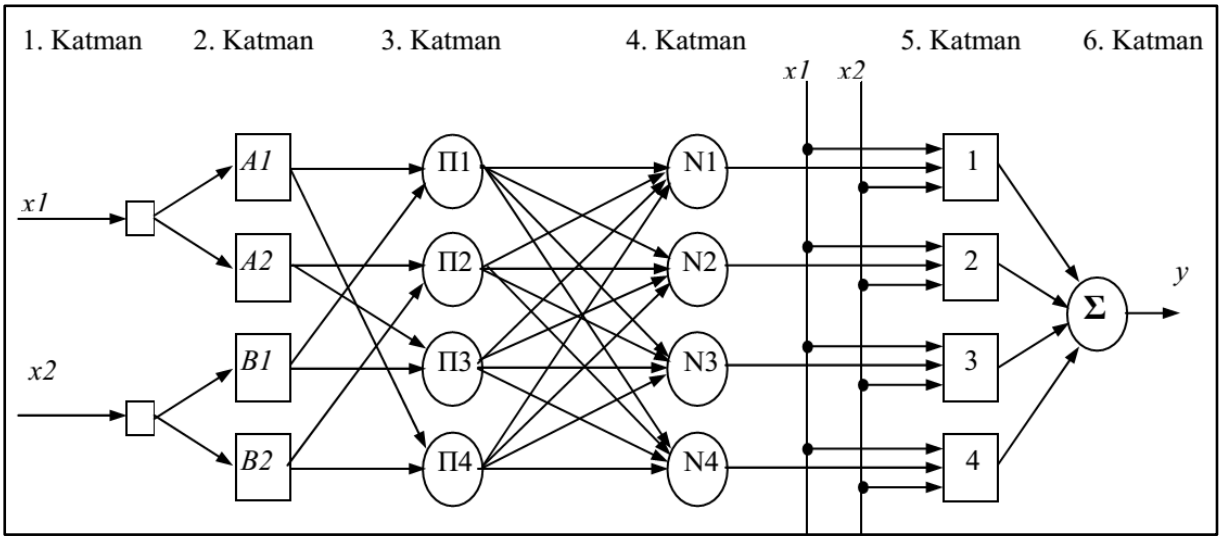
Bulanık mantık ve sinir ağları, akıllı sistemlerin geliştirilmesinde birlikte kullanılan tamamlayıcı araçlardır. YSA, ham verilerle uğraşıldığında iyi sonuçlar veren düşük seviyeli bir yapıdır. Bulanık mantık ise, uzman görüşü sonucu elde edilen dilsel bilgileri kullanarak daha yüksek seviyeli sonuçlar çıkarmaktadır. Aslında bulanık sistemlerin öğrenme kabiliyeti yoktur ve kendilerini yeni çevreye adapte edemezler. Diğer yandan YSA öğrenme kabiliyetine sahiptir; fakat kullanıcı tarafından anlaşılmazlar [18-19].

ANFIS (Adaptive Network based Fuzzy Inference System, Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık

Mantık Çıkarım Sistemi) yapısı, Sugeno tipi bulanık sistemlerin, sinirsel öğrenme kabiliyetine sahip bir ağ yapısı olarak temsilinden ibarettir. Bu ağ, her biri belli bir fonksiyonu gerçekleştirmek üzere, katmanlar halinde yerleştirilmiş düğümlerin birleşiminden oluşmuştur [20].

Sinirsel bulanık sistemler, YSA'ların paralel hesaplayabilme ve öğrenme kabiliyeti ile bulanık mantığın uzman bilgisini kullanarak sonuçlar çıkarabilme özelliklerinin birleşiminden oluşur. Sonuç olarak sinirsel bulanık sistemler sayesinde YSA'lar daha anlaşılır hale gelir [21].

ANFIS, ele alınan problem için oluşturulan yapıya göre olası tüm kuralları atayabilmekte veya kuralların veriler yardımıyla uzman tarafından atanmasına olanak vermektedir. ANFIS'in kural oluşturabilmesi veya kural oluşturulmasına olanak sağlaması uzman görüşlerinden faydalanması anlamına gelmektedir. Bu nedenle birçok tahmin probleminde YSA'lara uzman görüşlerinden faydalanma imkânı tanıdığı için ortalama hata kareler kriterine göre daha iyi sonuçlar elde edilmesini mümkün kılmaktadır [22].



Şekil 5. Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi

ANFIS'in öğrenme algoritması, en küçük kareler yöntemi ile geri yayılmalı öğrenme algoritmasının bir arada kullanılmasından oluşan melez öğrenme algoritmasıdır. ANFIS 6 katmandan oluşmaktadır (Şekil 5). ANFIS yapısındaki her katmana ait düğüm işlevleri ve katmanların isleyişi sırasıyla şöyledir [22]:

1.Katman: Giriş katmanı olarak adlandırılmaktadır. Bu katmandaki her düğümden alınan giriş sinyalleri diğer katmanlara aktarılır.

2.Katman: Bulanıklaştırma katmanı olarak adlandırılır. Giriş değerlerini bulanık kümelere ayırmada üyelik fonksiyonu olarak genelleştirilmiş Bell aktivasyon fonksiyonunu kullanılmaktadır. Burada, her bir düğümün çıkısı, giriş değerlerine ve kullanılan üyelik fonksiyonuna bağlı olan üyelik derecelerinden oluşmaktadır.

3.Katman: Kural katmanıdır. Bu katmandaki her bir düğüm, Sugeno bulanık mantık çıkarım sistemine göre oluşturulan kuralları ve sayısını ifade etmektedir.

4.Katman: Normalizasyon katmanıdır. Bu katmandaki her bir düğüm, kural katmanından gelen tüm düğümleri giriş değeri olarak kabul etmekte ve her bir kuralın normalleştirilmiş ateşleme seviyesini hesaplamaktadır.

5.Katman: Arındırma katmanıdır. Arındırma katmanındaki her bir düğümde verilen bir kuralın ağırlıklandırılmış sonuç değerleri hesaplanmaktadır.

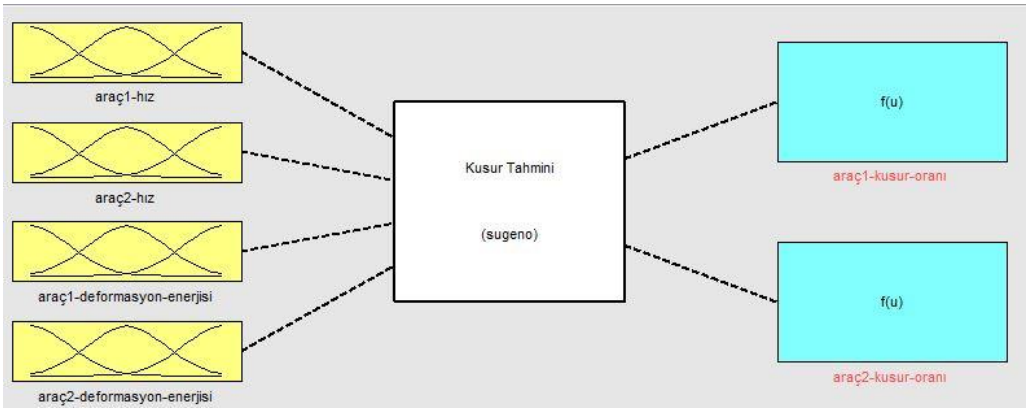
6.Katman: Toplam katmanıdır. Burada, 5.katmandaki her bir düğümün çıkış değeri toplanarak ANFIS sisteminin gerçek değeri elde edilir.

3. Sonuçlar

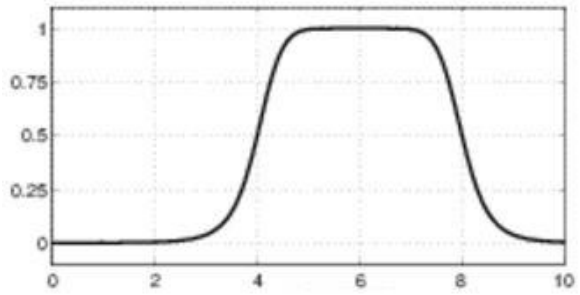
Trafik kazalarındaki kusur oranlarının tahminini yapacak Bulanık Mantık modeli

MATLAB [23] yazılımındaki ANFIS [24] arayüzü ile gerçekleştirilmiştir. Veri kümesini oluşturan ham verilere, ANFIS arayüzüne girmeden önce normalizasyon işlemi yapılmış olup tüm girdi ve çıktılar 0-1 aralığına indirgenmiştir.

Şekil 6'da da görüldüğü üzere, Sinirsel-bulanık kusur tahmin modeli tasarlanırken tüm senaryolar için Takagi-Sugeno [21] tipi bulanık model kullanılırken, üyelik fonksiyonu olarak 'gbellmf' (Şekil 7) kullanılmıştır [25]. Veriler tahmin modellerinde işlenmeden önce normalize edildiği için üyelik fonksiyonunun parametreleri de buna uygun şekilde ayarlanmıştır. Araç 1'in hızı, Araç 2'nin hızı, Araç 1 'in deformasyon enerjisi, Araç 2'nin deformasyon enerjisi olmak üzere dört adet giriş bilgisi; Araç 1 ve Araç 2'nin kusur oranları ise çıkış bilgisi olarak kullanılmıştır. Senaryo 1 için 12 düğüm ve 4 kural, Senaryo 2 için 12 düğüm ve 6 kural, Senaryo 3 için 5 düğüm ve 2 kural, Senaryo 4 içinse 12 düğüm 8 kural kullanılmıştır. Bu değerler, yapılan denemeler sonucunda en iyi sonucu aldığımız modele göre belirlenmiştir. Tahmin modelleri ile ilgili belirtilmeyen tüm parametrelerde MATLAB ANFIS arayüzünün varsayılan değerleri kullanılmıştır.



Şekil 6. ANFIS arayüzünde tasarlanan bulanık kusur tahmin modeli.



Şekil 7. Gbellmf üyelik fonksiyonu.

Veriler 10-katlı çapraz doğrulama kullanılarak rastgele eğitim ve test kümelerine ayrılmıştır. Kusur tahmin modellerinin başarısını değerlendirmek için, korelasyon katsayısı (R), Ortalama Karesel Hata (OKH), Ortalama Mutlak Hata (OMH) ve Standart Tahminsel Hata (STH) değerlendirme kriterleri kullanılmıştır. OKH, OMH ve STH ölçüm değerleri ile model tahminleri arasındaki hata oranını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Sıfıra yakın değerler, tahmin gücünün yüksek olduğunu göstermektedir. R değeri ise gerçek gözlem değeri ile tahmin değeri arasında farkı ifade etmek için kullanılan değerdir. 0 ile 1 arasında değer alır ve bu değer 1'e yaklaştıkça tahmin modelinin doğruluğu artar. Bu kriterlerin formülleri sırasıyla Eşitlik (2), (3), (4) ve (5)'te verilmiştir.

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - O_m)^2}} \quad (2)$$

$$OKH = \left[\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{O_i - P_i}{n}\right)^2\right] \quad (3)$$

$$OMH = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|O_i - P_i| \quad (4)$$

$$STH = \sqrt{1 - \frac{\sum(O_i - P_i)^2}{n}} \quad (5)$$

Burada "n" test için kullanılan veri noktalarının sayısını, "P_i" tahmin edilen değeri, "O_i" gözlemlenen değeri ve "O_m" gözlemlenen değerlerin ortalamasını göstermektedir.

Bulanık tahmin modelinden elde edilen OKH, OMH, STH ve R değerleri her senaryo için sırasıyla Tablo 5, 6, 7 ve 8'de verilmiştir.

Tablo 5. Senaryo 1 için tahmin sonuçları

Katlar	OKH	OMH	STH	R
1	0.113	0.193	0.337	1.000
2	0.026	0.110	0.161	1.000
3	0.119	0.152	0.345	1.000
4	2.821	0.527	1.680	0.998
5	0.162	0.220	0.403	1.000
6	0.142	0.180	0.376	1.000
7	0.255	0.239	0.505	1.000
8	0.245	0.212	0.495	1.000
9	0.156	0.211	0.395	1.000
10	0.076	0.151	0.275	1.000
Ortalama	0.412	0.220	0.497	1.000

Tablo 6. Senaryo 2 için tahmin sonuçları

Katlar	OKH	OMH	STH	R
1	0.352	0.314	0.593	1.000
2	0.487	0.415	0.698	1.000
3	0.345	0.339	0.587	1.000
4	9.912	0.744	3.148	0.994
5	0.211	0.265	0.460	1.000
6	0.375	0.323	0.612	1.000
7	0.530	0.347	0.728	1.000
8	0.343	0.315	0.586	1.000
9	0.482	0.300	0.694	1.000
10	0.285	0.305	0.534	1.000
Ortalama	1.332	0.367	0.864	0.999

Tablo 7. Senaryo 3 için tahmin sonuçları

Katlar	OKH	OMH	STH	R
1	0.000	0.011	0.019	1.000
2	0.000	0.000	0.000	1.000
3	0.002	0.259	0.463	0.998
4	0.000	0.000	0.000	1.000
5	0.000	0.000	0.000	1.000
6	0.007	0.481	0.861	0.995
7	0.000	0.000	0.000	1.000
8	0.000	0.000	0.000	1.000
9	0.002	0.259	0.463	0.999
10	0.000	0.000	0.000	1.000
Ortalama	0.001	0.101	0.181	0.999

Tablo 8. Senaryo 4 için tahmin sonuçları

Katlar	OKH	OMH	STH	R
1	0.659	0.333	0.812	1.000
2	0.243	0.257	0.493	1.000
3	0.245	0.213	0.495	1.000
4	0.165	0.221	0.407	1.000
5	0.242	0.229	0.492	1.000
6	0.060	0.154	0.245	1.000
7	0.467	0.269	0.683	1.000
8	0.219	0.199	0.468	1.000
9	0.056	0.148	0.237	1.000
10	0.380	0.260	0.616	1.000
Ortalama	0.274	0.228	0.495	1.000

Tablo 9'da ise YSA kullanılarak yapılan tahminden elde edilen sonuçlar [16] ile ANFIS modelinden elde edilen ortalama sonuçlar kıyaslanmıştır.

Tablo 9. ANFIS modeli ile Yılmaz vd. [16] çalışmasının kıyaslanması.

Tahmin Modeli	Senaryo 1		Senaryo 2		Senaryo 3		Senaryo 4	
	OKH	R	OKH	R	OKH	R	OKH	R
ANFIS	0.412	1.000	1.332	0.999	0.001	0.999	0.274	1.000
İBÇK	1.867	0.999	2.017	0.999	0.012	0.999	1.551	0.998
GR	2.743	0.998	2.821	0.996	0.013	0.998	0.979	0.996
FU	2.607	0.998	2.119	0.998	0.817	0.999	2.865	0.999

Elde edilen sonuçlara dayanarak aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir:

- Tablo 5, 6, 7 ve 8 incelendiğinde en düşük hata oranının (0.000) Senaryo 3 için alındığı görülmektedir. Bu sonucun alınmasında Senaryo 3'teki (arkadan çarpma) kusur oranlarının diğer senaryolara göre doğru tahmin etmeye daha uygun olmasından kaynaklanmaktadır.

- En yüksek hata oranları ise kusur oranlarının birbirine çok yakın olarak seyrettiği Senaryo 4'te (fasılalı kırmızı-sarı ışık çarpışması) alındığı görülmüştür. Buradaki kusur tahmini çok kritik olmasına karşın en kötü durumda bile %1'i bulmayan (0.812) STH ile kusur oranları tahmin edilmiştir.
- Kusur tahminlerinin R değerleri tüm katlar ve senaryolar için 1'e çok yakın çıkmıştır.
- Tablo 9 incelendiğinde, Yılmaz vd. [16] tarafından yapılan çalışmada geliştirilen İBÇK, GR ve FU tabanlı kusur tahmin modelleri ANFIS tabanlı modelden daha kötü sonuçlar üretmişlerdir. Tüm senaryolar için, ANFIS tabanlı modelin OKH değerleri daha düşük, R değerleri ise daha yüksek veya aynıdır. R değeri, çok küçük bir aralıkta değişiklik gösterdiğinden tahmin modelleri arasındaki fark da çok küçük olmaktadır. Önceki çalışmada performans metriği olarak sadece OKH ve R kullanıldığı için ANFIS modelinden elde edilen sonuçlar ancak bu iki metrik üzerinden kıyaslanabilmiştir.
- Tablo 9'daki Senaryo 1 sonuçları incelendiğinde, 0.412 OKH değeri ile ANFIS modeli, kendinden sonraki en iyi model olan İBÇK modelinden yaklaşık 4.5 kat daha iyi sonuçlar üretmiştir. Bu fark, GR modeli ile kıyaslandığında yaklaşık 6.5 kattır. Senaryo 2 sonuçlarında YSA tabanlı modeller birbirine çok yakın sonuçlar üretmiş olup ANFIS tabanlı model bu sonuçlardan yaklaşık 1.5 kat daha iyidir. Senaryo 3'te ise ANFIS modelinin başarısı çok ciddi boyutlardadır. Kendinden sonraki en iyi modelden 12 kat farkla daha iyi sonuçlar üretmiştir. Senaryo 4'te ise bu değer yaklaşık 3.5 kattır.
- Yukarıdaki kıyaslamalardan da anlaşılmaktadır ki Bulanık Mantık ile YSA'ların birlikte kullanımı, İBÇK, GR ve FU tabanlı modeller gibi yalnızca YSA'ların kullanımından çok daha iyi sonuçlar vermektedir.

4. Tartışma

Türkiye'deki trafik kazalarında çekişmeli ya da ölümlü/yaralanmalı hallerdeki kusur tespit sistemi tamamen bilirkişilerin inisiyatifine bırakılmış, öznel bir yapıdadır. Bilirkişilerin öznel olarak değerlendirdikleri trafik kazalarının oluş şekli ve buna bağlı kusur oranları, taraflara pay edilecek ceza oranlarına doğrudan etki etmektedir. Bu durumun hem maddi hem de hukuki sonuçları bulunmaktadır. Bilirkişilerin yaptığı kusur değerlendirme yöntemi, kusur oranı yüksek olan tarafı asli kusurlu; kusur oranı düşük olan tarafı iste tali kusurlu gösterip kusuru sadece tek tarafa yükleme mantığına dayanır. Örneğin, tarafların kusur oranı %75-%25 olarak belirlenmiş bir kazada bütün sorumluluğu %75 olan taraf yüklenir. Bu doğru bir yaklaşım değildir. Mahkemeler bu kusur oranlarına dayanarak hüküm vermekte, sigorta şirketleri bu oranları göz önüne alarak hasar maliyeti ödemesi yapmaktadırlar.

Yapılan bu çalışma ile ileride kusur oranı analizi yapılacak kazaların benzetimlerinin yapılmasına gerek bırakmadan, başta araçların almış oldukları deformasyonlar olmak üzere, kazaya yönelik çeşitli parametreleri değerlendirerek, basit bir arayüzle kusur oranı tahmini yapabilecek bir yazılımın algoritmik temelleri atılmıştır. Yapılan çalışmanın kapsamı genişlemeye çok müsait olduğundan (bu makalede sadece dört adet kaza senaryosu göz önüne alınmıştır) konuyla ilgili yeni çalışmaların önü açıktır. Ayrıca, önerilen kusur tespit modeli, konuyla ilgili mercilere (Trafik Şube Müdürlüğü, kaza bilirkişileri, sigorta şirketleri, trafik polisleri, hukukçular, vb.) fikir verebilecek, gerekli yasal düzenlemeler için yol gösterici olacaktır.

5. Kaynaklar

1. Karayolları Trafik Kanunu. (1983). Trafik Kazaları. Kanun no: 2918, Kısım Yedi, Madde 81-84. http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/KanunYonetmelik/2918SayiliKanun.pdf (Son erişim tarihi: 13 Haziran 2017).

2. Karayolları Trafik Yönetmeliği. (1997). Trafik Kazaları. Kısım Yedi, Madde 154-157. http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.8182&sourceXmlSearch=&MevzuatIliski=0 (Son erişim tarihi: 13 Haziran 2017).

3. Küçük, A.K. (2017). Trafik Kazalarında Kusur ve Sorumluluk. Garanti Sigorta. http://www.guvencehesabi.org.tr/source/yazilar/Birlikten_Sayi4.pdf (Son erişim tarihi: 13 Haziran 2017).

4. Trafik Sigortaları Bilgi Merkezi (TRAMER). (2017). Maddi Hasarlı Kaza Senaryoları. https://www.sbm.org.tr/tr/Documents/ktt_kaza_durum_senaryolari.pdf (Son erişim tarihi: 13 Haziran 2017).

5. Sigorta Bilgi ve Gözetim Merkezi. (2017). http://www.sbm.org.tr/tr (Son erişim: 13 Haziran 2017).
6. Virtual Crash. (2017). vCrash 2.0. College of Industrial Engineers and Surveyors. http://www.vcrash3.com/ (Son erişim tarihi: 13 Haziran 2017).
7. Edge-FX. (2017). http://www.visualstatement.com/en/Home.aspx (Son erişim tarihi: 13 Haziran 2017).
8. REC-TEC. (2017). http://www.rec-tec.com/ (Son erişim: 13 Haziran 2017).
9. PC-Crash. (2017). http://www.pc-crash.com/ (Son erişim: 13 Haziran 2017).
10. Cangul, E. (2010). Trafik kazalarında kusur oranı ölçümü için uzman bir sistemin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 129s.
11. Schneider, W.H., Savolainen, P.T., Boxel, D.V. and Beverley, R. (2012). Examination of factors determining fault in two-vehicle motorcycle crashes, Accid. Anal. Prev., **45**: 669–676.
12. Goh, K., Currie, G., Sarvi, M. and Logan, D. (2014). Factors affecting the probability of bus drivers being at-fault inbus-involved accidents, Accid. Anal. Prev., **66**:20–26.
13. Zhang, G., Yau, K.K.W. and Zhang, X. (2014). Analyzing fault and severity in pedestrian–motor vehicle accidents in China, Accid. Anal. Prev., **73:**141–150.
14. Islam, S., Jones, S.L. and Dye, D. (2014). Comprehensive analysis of single- and multi-vehicle large truck at-fault crashes on rural and urban roadways in Alabama, Accid. Anal. Prev., **67**:147–158.
15. Yılmaz, A.C., Acı, Ç. and Aydın, K. (2015). "MFFNN and GRNN models for prediction of energy equivalent speed values of ınvolvements ın traffic accidents", Int. J. Aut. Eng. Tech., **4(2):**102-109.
16. Yılmaz, A.C., Acı, Ç. and Aydın, K. (2016). Traffic Accident Reconstruction and An Approach for Prediction of Fault Rates Using Artificial Neural Networks: A case study in Turkey", Traffic Inj. Prev. **17(6)**: 585-589.
17. Türkiye İstatistik Kurumu. (2017). Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri. http://www.tuik.gov.tr. (Son erişim tarihi: 13 Haziran 2017).
18. Jang, J.S.R., Sun, C.T. and Mizutani, E. (1997). Neuro- Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, First Edition, Prentice Hall, 614s.
19. Özçalık, H.R. ve Uygur, A.F. (2003). Dinamik Sistemlerin Uyumlu Sinirsel Bulanık Ağ Yapısına Dayalı Etken Modellenmesi, KSÜ Fen Ve Mühendislik Dergisi. **6(1)**: 36-46.
20. Tsoukalas, L.H. and Uhrig, R.E. (1996). Fuzzy And Neural Approaches in Engineering. New York, Ny: John Wiley & Sons, 600s.
21. Jang, J.S.R. (1993). ANFIS: Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems, IEEE Trans. Syst. Man Cybern. **23(03)**:665-685.
22. Çakıt, E. (2008). El becerisine etki eden faktörlerin değerlendirilmesine yönelik bulanık mantık yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 130s.
23. MathWorks. (2017). MatLab Software. http://www.mathworks.com/products/matlab. (Son erişim tarihi: 13 Haziran 2017).
24. MathWorks. (2017). ANFIS. https://www.mathworks.com/help/fuzzy/neuro-adaptive-learning-and-anfis.html. (Son erişim tarihi: 13 Haziran 2017).
25. MathWorks. (2017). gbellmf https://www.mathworks.com/help/fuzzy/gbellmf.html (Son erişim tarihi: 13 Haziran 2017).