

# Mamdani FIS ile Senkron bir Makinenin Uyarma Akımının Hesaplanması

Fatih ATEŞ

Bursa Teknik Üniversitesi, 19360859074@btu.edu.tr

**Özetçe-** Bulanık mantık, crisp(ikili, kesin) verilerin üyelik fonksiyonlarını kullanarak linguistic(dilsel) verilere dönüştürülmesinde kullanılır. FIS yöntemi kullanılarak dört farklı öznitelğe bağlı olarak sonuç değerinin değişkenlik gösterdiği gerçek bir veri seti üzerinde kendi oluşturduğum fuzzy knowledge base ile dört öznitelik üzerinden sonuç değerini tahmin etmesi sağlanmıştır. Tahminler Mamdani metodolojisi kullanılarak CoA ve BoA toplama yöntemleriyle gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak ise gerçek değerlere oranla %92'ye varan bir doğruluk elde edilmiştir.

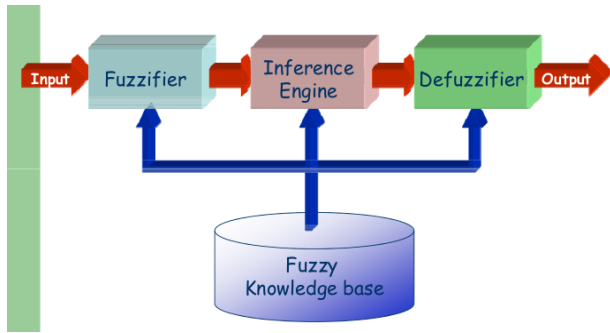
**Anahtar Kelimeler-** FIS, Fuzzifier, Inference, Defuzzifier, jFuzzyLogic, Fuzzy Rules, CoA, BoA.

## 1. GİRİŞ

Bulanık mantık, crisp verilerin üyelik fonksiyonlarını kullanarak linguistic verilere dönüştürülmesinde kullanılır. Günümüzde klimalar, arabalar, trenler gibi bir çok yerde farkında olmadan FIS sistemleriyle karşılaşmaktayız. FIS sistemlerinde en büyük belirleyici kriter ise uzman bilgisidir.

## 2. FIS

FIS temel olarak 4 ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla fuzzifier, inference engine, defuzzifier ve fuzzy knowledge basedir. Şekil 2.1 üzerinde FIS şeması görülmektedir.



Şekil 2.1 FIS

### I. Fuzzy Knowledge Base

Bir FIS sistemi oluşturulurken bilinmesi gereken en önemli şey fuzzy knowledge base oluşturulurken uzman bilgisinin çok büyük önem arz ettiğidir. Burada uzmanlar tarafından oluşturulan üyelik fonksiyonları ve yine uzmanlar tarafından oluşturulan Mamdani veya seçilen yönteme göre

kurallar bulunur. Aksi takdirde FIS sistemi tamamiyle yanlış sonuçlar üretebilir. Bu da FIS sistemlerinin bilinen en zayıf yanıdır.

### II. Fuzzifier

Crisp verilerinizi fuzzy knowledge base içerisinde bulunan üyelik fonksiyonlarınız sayesinde bulanıklaştırılmasını ve sonuç olarak bulanık çıktılar üretilmesini sağlar.

Bildiri içerisinde üyelik fonksiyonları oluşturulmasına “Yöntem” başlığı altında detaylı olarak değinilmiştir. Üyelik fonksiyonlarını oluşturulması veri setlerinin Box Plot grafiği çizdirilerek en küçük, en büyük ve medyan değerleri sayesinde parçalı fonksiyonlar elde edilerek gerçekleştirilmiştir.

### III. Inference Engine

Fuzzy knowledge base içerisinde bulunan kurallarınızı fuzzifierdan aldığı bulanık girdilere uygulayarak bulanık bir çıktı oluşturur.

Bildiri içerisinde Mamdani Fuzzy Modeli kullanılmıştır. Mamdani modeli “max-min implication” olarak da bilinir. Oluşturulan kurallar “IF-THEN” tipindedirler ve değerler diğer bir model olan Sugeno’daki gibi fonksiyon değil direkt olarak linguistic bir değerdir. Ek olarak kurallar AND-OR-ELSE gibi bağlaçlar ile bağlanırlar.

### IV. Defuzzifier

Inference Engine tarafından üretilen bulanık çıktıları Fuzzy knowledge base içerisinde bulunan üyelik fonksiyonuna göre birleştirir ve aggregation yöntemine göre sonuç üretir.

Bildiri içerisinde aggregation yöntemi olarak CoA ve BoA yöntemleri tercih edilmiştir.

## 3. VERİ SETİ

Kullanılmış olan veri setinde 4 özellik ve 1 çıktı değeri vardır. Bunlar;

- Iy (Yükleme akımı)
- PF (Güç Faktörü)
- e (Güç faktörü hatası)
- dIf (Senkron makinenin uyarma akımının değiştirilmesi)

- If (Senkron makinenin uyarma akımı)

4 adet özelliğe göre bir “If” değeri ölçülmüştür. Veri seti içerisinde 557 adet ölçüm verisi bulunmaktadır.

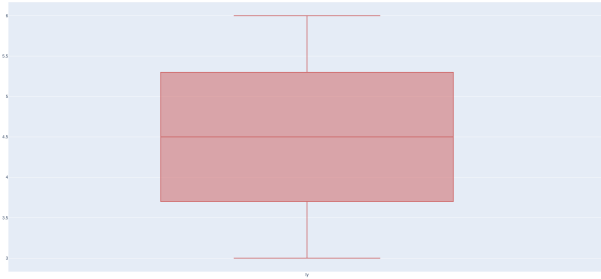
#### 4. YÖNTEM

Öncelikle veri setinin özelliklerini Box Plot ile çizdirerek medyan, Q1, Q3 gibi verileri elde edilerek üyelik fonksiyonlarını çizdirilmelidir.

Box Plot ile membership fonksiyonları oluşturabilmek için her öznitelik başına 5 veri hesaplanması gereklidir. Bunlar; median, Q1, Q3, en küçük değer, en büyük değerdir. Python üzerinde grafik işlemleri daha basit olduğu için Box Plot çizdirilirken Python kullanılmıştır.

Iy özniteliği için değerler ve Box Plot aşağıdaki gibidir;

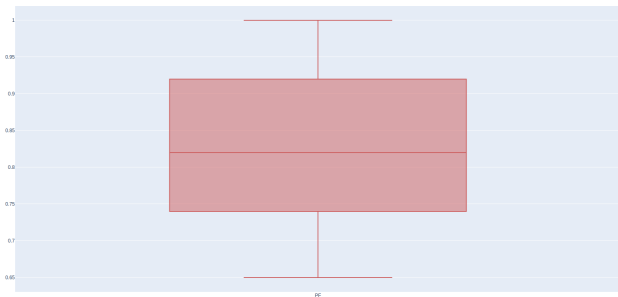
- Lowest: 3
- Largest: 6
- Median: 4.5
- Q1: 3.7
- Q3: 5.3



Şekil 4.1 Iy özniteliğinin Box Plot grafiği

PF özniteliği için değerler aşağıdaki gibidir;

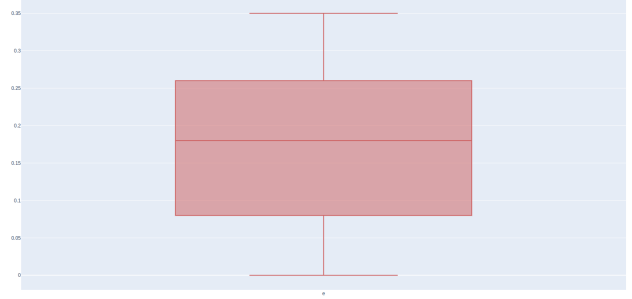
- Lowest: 0.65
- Largest: 1
- Median: 0.82
- Q1: 0.74
- Q3: 0.92



Şekil 4.2 PF özniteliğinin Box Plot grafiği

e özniteliği için değerler aşağıdaki gibidir;

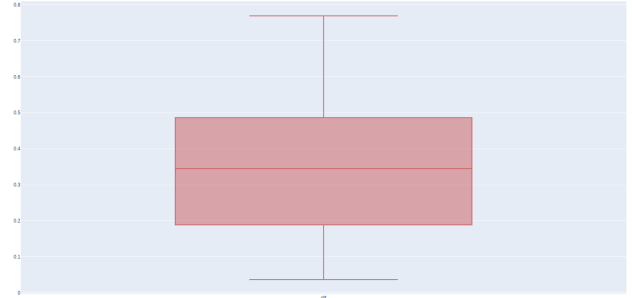
- Lowest: 0
- Largest: 0.35
- Median: 0.18
- Q1: 0.08
- Q3: 0.26



Şekil 4.3 e özniteliğinin Box Plot grafiği

dIf özniteliği için değerler aşağıdaki gibidir;

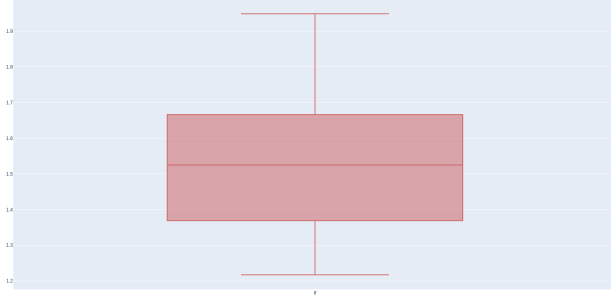
- Lowest: 0.037
- Largest: 0.769
- Median: 0.345
- Q1: 0.189
- Q3: 0.48625



Şekil 4.4 dIf özniteliğinin Box Plot grafiği

If özniteliği için değerler aşağıdaki gibidir;

- Lowest: 1.217
- Largest: 1.949
- Median: 1.525
- Q1: 1.369
- Q3: 1.66625



**Şekil 4.5 If özniteliğinin Box Plot grafiği**

Bu değerler eşliğinde oluşturulacak üyelik fonksiyonları için iki yöntem bulunmaktadır. Birincisi uzun bir süredir kullanılan ve üç parçalı bir üyelik fonksiyonu oluşturan yöntem ikinci metot ise daha yeni önerilmiş ve beş parçalı bir üyelik fonksiyonu oluşturan yöntemdir.

Beş parçalı üyelik fonksiyonu şekil 4.6 üzerinde gösterilmiş olan parçalı fonksiyonlar sayesinde oluşturulabilmektedir.

$$\text{Smallest, } A_1(x) = \begin{cases} 1; & x \leq Q_1 - 3I_{qr} \\ \frac{Q_1 - (x + 1.5I_{qr})}{1.5I_{qr}}; & Q_1 - 3I_{qr} \leq x \leq Q_1 - 1.5I_{qr} \\ 0; & x \geq Q_1 - 1.5I_{qr} \end{cases}$$

$$\text{Small, } A_2(x) = \begin{cases} 0; & x \leq Q_1 - 3I_{qr} \\ \frac{x - (Q_1 - 3I_{qr})}{1.5I_{qr}}; & Q_1 - 3I_{qr} \leq x \leq Q_1 - 1.5I_{qr} \\ \frac{Q_1 - x}{1.5I_{qr}}; & Q_1 - 1.5I_{qr} \leq x \leq Q_1 \\ 0; & x \geq Q_1 \end{cases}$$

$$\text{Medium, } A_3(x) = \begin{cases} 0; & x \leq Q_1 - 1.5I_{qr} \\ \frac{x - (Q_1 - 1.5I_{qr})}{1.5I_{qr}}; & Q_1 - 1.5I_{qr} \leq x \leq Q_1 \\ 1; & Q_1 \leq x \leq Q_3 \\ \frac{(Q_3 + 1.5I_{qr}) - x}{1.5I_{qr}}; & Q_3 \leq x \leq Q_3 + 1.5I_{qr} \\ 0; & x \geq Q_3 + 1.5I_{qr} \end{cases}$$

$$\text{Large, } A_4(x) = \begin{cases} 0; & x \leq Q_3 \\ \frac{x - Q_3}{1.5I_{qr}}; & Q_3 \leq x \leq Q_3 + 1.5I_{qr} \\ \frac{(Q_3 + 3I_{qr}) - x}{1.5I_{qr}}; & Q_3 + 1.5I_{qr} \leq x \leq Q_3 + 3I_{qr} \\ 0; & x \geq Q_3 + 3I_{qr} \end{cases}$$

$$\text{Largest, } A_5(x) = \begin{cases} 0; & x \leq Q_3 + 1.5I_{qr} \\ \frac{x - (Q_3 + 1.5I_{qr})}{1.5I_{qr}}; & Q_3 + 1.5I_{qr} \leq x \leq Q_3 + 3I_{qr} \\ 1; & x \geq Q_3 + 3I_{qr} \end{cases}$$

**Şekil 4.6 Beş parçalı üyelik fonksiyonu<sup>[1]</sup>**

Şekil 4.6 üzerinde görüldüğü üzere parçalı fonksiyonlar Box Plot metrikleri kullanılarak oluşturulmuştur. Ancak elimizdeki veri seti 557 veri kümesine sahip bir veri seti olduğu için eğer ki 5 parçalı bir üyelik kümesi kullanacak olursak en az  $5^n$  (n burada öznitelik sayısı) yani 625 adet kural yazılmalıdır. Veri setindeki veri sayısının azlığından dolayı 3 parçalı üyelik fonksiyonu tercih edilmiştir. 3 parçalı üyelik fonksiyonları Şekil 4.7 üzerinde görülebilen parçalı fonksiyonlar ile oluşturulabilmektedir.

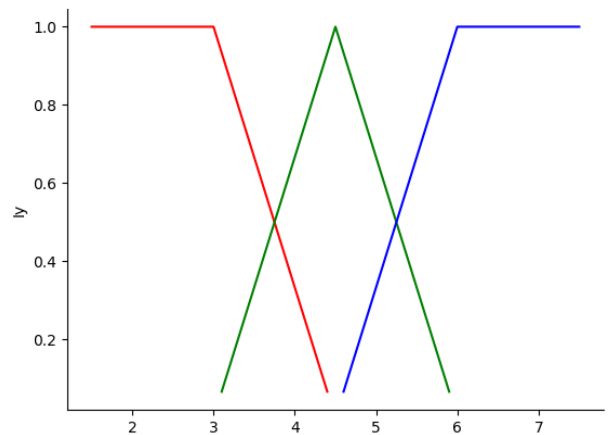
$$\text{State1} = \begin{cases} 1 & x \leq m_i \\ \frac{1}{m - m_i}x + \frac{m}{m - m_i} & m_i < x \leq m \\ 0 & x > m \end{cases}$$

$$\text{State2} = \begin{cases} 1 & x \leq m_i \\ \frac{1}{m - m_i}x - \frac{m_i}{m - m_i} & m_i < x \leq m \\ \frac{-1}{m_x - m}x + \frac{m_x}{m_x - m} & m < x \leq m_x \\ 0 & x > m_x \end{cases}$$

$$\text{State3} = \begin{cases} 0 & x \leq m \\ \frac{1}{m_x - m}x - \frac{m}{m_x - m} & m < x \leq m_x \\ 1 & x > m_x \end{cases}$$

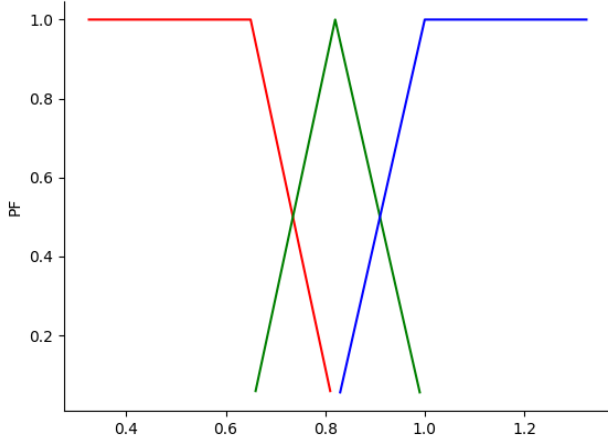
**Şekil 4.7 Üç parçalı üyelik fonksiyonu<sup>[2]</sup>**

İy özniteliği için oluşturulmuş olan üyelik fonksiyonu Şekil 4.8 ile verilmiştir.



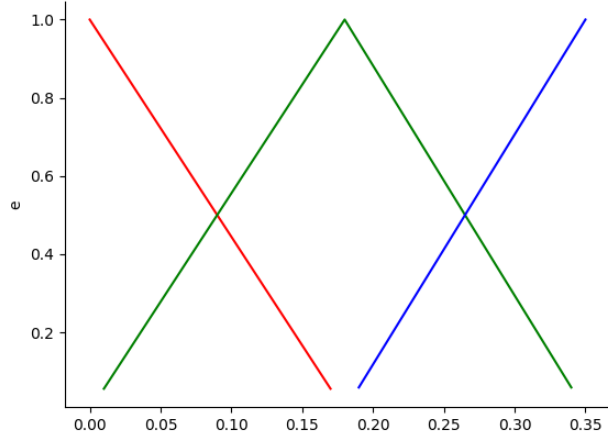
**Şekil 4.8 İy özniteliği üyelik fonksiyonu**

PF özniteliği için oluşturulmuş olan üyelik fonksiyonu Şekil 4.9 ile verilmiştir.



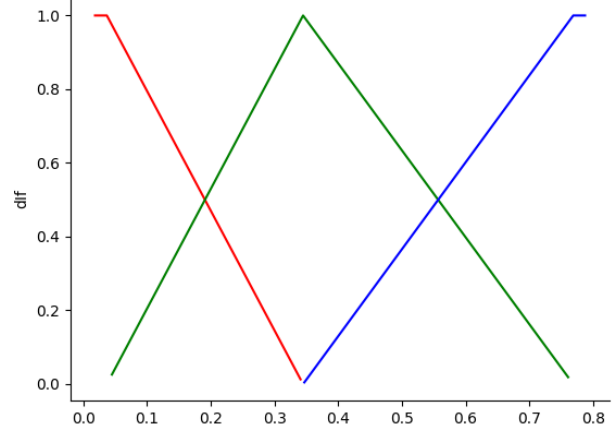
**Şekil 4.9 PF özniteliği üyelik fonksiyonu**

e özniteliği için oluşturulmuş olan üyelik fonksiyonu Şekil 4.10 ile verilmiştir.



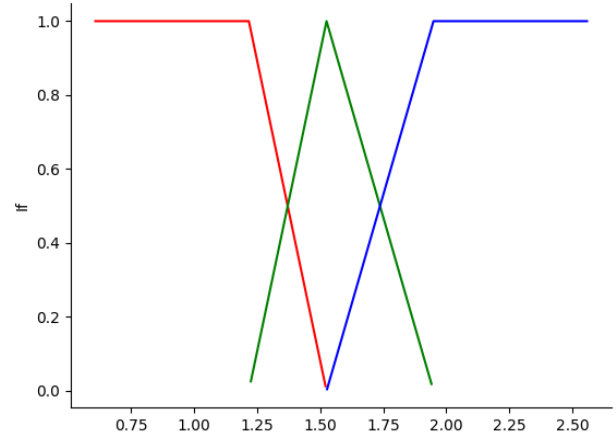
**Şekil 4.10 e özniteliği üyelik fonksiyonu**

dIf özniteliği için oluşturulmuş olan üyelik fonksiyonu Şekil 4.11 ile verilmiştir.



**Şekil 4.11 dIf özniteliği üyelik fonksiyonu**

If özniteliği için oluşturulmuş olan üyelik fonksiyonu Şekil 4.12 ile verilmiştir.



**Şekil 4.12 If özniteliği üyelik fonksiyonu**

Membership fonksiyonlarının oluşturulması tamamlandıktan sonra FCL<sup>[3]</sup> ile Şekil 4.13 üzerinde görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

```

FUZZIFY IyRate
  TERM low := TRAPE 0 0 3 4.5;
  TERM med := (3,0) (4.5,1) (6,0);
  TERM high := TRAPE 4.5 6 9 9;
END_FUZZIFY

FUZZIFY PFRate
  TERM low := TRAPE 0.2 0.2 0.652 0.821;
  TERM med := (0.652,0) (0.821,1) (0.991,0);
  TERM high := TRAPE 0.821 0.991 1.328 1.328
END_FUZZIFY

FUZZIFY eRate
  TERM low := TRAPE -0.1 -0.1 0 0.18;
  TERM med := (0,0) (0.18,1) (0.35,0);
  TERM high := TRAPE 0.18 0.35 0.5 0.5;
END_FUZZIFY

FUZZIFY dIfRate
  TERM low := TRAPE 0.016 0.016 0.04 0.347;
  TERM med := (0.016,0) (0.347,1) (0.77,0);
  TERM high := TRAPE 0.347 0.77 0.79 0.79;
END_FUZZIFY

DEFUZZIFY IfRate
  TERM low := TRAPE 0.6 0.6 1.22 1.53;
  TERM med := (1.22,0) (1.53,1) (1.95,0);
  TERM high := TRAPE 1.53 1.95 2.57 2.57;
  METHOD : COG;
  DEFAULT := 1.525;
END_DEFUZZIFY

```

**Şekil 4.13 FCL fuzzify ve defuzzify adımları**

Defuzzify kısmında elde edilen üyelik fonksiyonunda bir değer çıkmaması durumunda NaN durumuna düşmemesi için DEFAULT değer olarak 1.525 yani medyan tanımlanmıştır. Her ne kadar NaN durumuna düşen bir veriye sahip olmasak da bu verilerin haricinde veriler gelebileceği göz ardı edilmemelidir.

Fuzzify ve Defuzzify bölümleri tamamlandıktan sonra dört öznitelik ve üçer parçalı üyelik fonksiyonlarımız olduğuna göre en az  $3^4$  yani 81 adet kural oluşturulmalıdır. Başlangıçta tüm kuralların sonucu “low” değere işaret edecek şekilde ve tamamen AND bağlaçlarıyla oluşturulmuştur. Daha sonrasında veriseti If değerlerine göre sıralanmıştır böylece sonuç olarak elde edilecek olan değerler de sıralanmış olur.

Sıralama gerçekleştirildikten sonra beşer satır aralıklar ile verilerin denk geldikleri parçalar tespit edilerek kuralların işaret ettiği parçalar med ve high değerlerine güncellenmiştir. Güncelleme gerçekleştirildikten sonra hata değerleri CoA için aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

- MAE => 0.15719705272984164
- RMSE => 0.18592171065488275

Hata değerini daha da düşürebilmek için kurallar üzerinde değişiklik yapılmaya devam edilmiştir ancak yöntem değiştirilmiştir. Yeni yöntemde predict değerlerine göre yani istenen ve tahmin edilen değerlerin arasındaki farka göre veri kümesi sıralanmıştır ve en alta her zaman en çok hata oranını arttıran veri kalmaktadır. En çok hataya sebep olan verileri etkileyen kurallar üzerinde sonuç değerleri değiştirilerek ve bağlaçlar üzerinde değişiklikler gerçekleştirilerek hata değerlerinin CoA metodu için aşağıdaki değerlere gerilemesi sağlanmıştır.

- MAE => 0.07178920147606488
- RMSE => 0.08759046857426464

## 5. SONUÇ

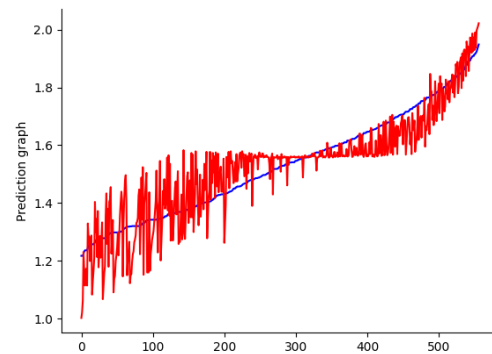
Geliştirilen FIS sistemi ile CoA üzerinde elde edilen hata değerleri aşağıdaki gibidir.

- MAE => 0.07178920147606488
- RMSE => 0.08759046857426464

BoA yöntemi için hata değerleri aşağıdaki gibidir.

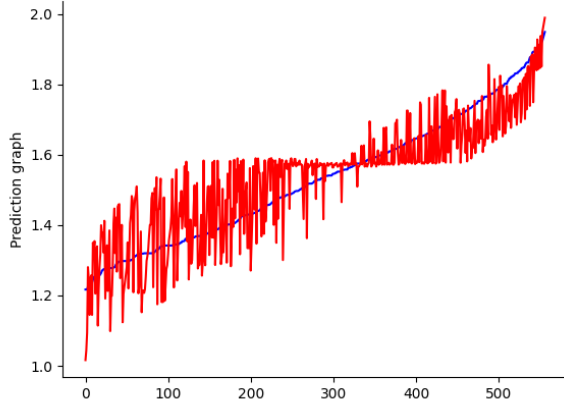
- MAE => 0.06396308797127467
- RMSE => 0.08051538814306027

Görüldüğü üzere %90 dolaylarında başarı oranlarına sahip bir şekilde tahmin gerçekleştirebildiği ortaya koyulmuştur. Buna karşın CoA yöntemi ile elde edilen sonuçlar ve gerçek değerler aynı grafikte Şekil 5.1 üzerinde verilmiştir.



**Şekil 5.1 CoA tahminleri ve gerçek değerler**

BoA değerleri ve gerçek değerler için de hata değerlerinde olduğu gibi aralarında ufak bir fark görülmektedir. Bu değerlerin farkı grafiğe de yansımıştır. BoA değerleri ve gerçek değerler grafiği şekil 5.2 üzerinde görülmektedir.



**şekil 5.2 BoA tahminleri ve gerçek değerler**

MoM yöntemi için hata değerleri aşağıdaki gibidir.

- MAE => 1.4061101427930272
- RMSE => 1.4600037510978092

LoM yöntemi için hata değerleri aşağıdaki gibidir.

- MAE => 0.17602335727109497
- RMSE => 0.28191388723186933

RoM yöntemi için hata değerleri aşağıdaki gibidir.

- MAE => 0.19051116696588882
- RMSE => 0.28938617827136487

Hata değerlerinden görüldüğü üzere RoM, LoM ve MoM değerleri büyük sapmalar yaşanıyorken CoA ve BoA yöntemlerinde tatmin edici bir tahmin edebilme yani genel itibariyle %90'ın üzerinde bir tahmin yeteneğine sahip bir sistem ortaya koyulmuştur.

## 6. REFERANSLAR

- [1] Hasan, M.F. and Sobhan, M.A. (2020) Describing Fuzzy Membership Function and Detecting the Outlier by Using Five Number Summary of Data. American Journal of Computational Mathematics, 10, 410-424. doi: 10.4236/ajcm.2020.103022.
- [2] Asanka, PPG & Perera, Amal. (2017). DEFINING FUZZY MEMBERSHIP FUNCTION USING BOX PLOT. IJRCAR. 5. 1-10.
- [3] Cingolani, Pablo & Alcalá-Fdez, Jesus. (2012). JFuzzyLogic: A robust and flexible Fuzzy-Logic inference system language implementation. IEEE International Conference on Fuzzy Systems. 1-8. 10.1109/FUZZ-IEEE.2012.6251215.