

# BULANIK MANTIK SINIFLANDIRMADAN YARARLANARAK KABLO MALZEMESİ SEÇİMİ

Taner AYDIN<sup>1</sup>

Özcan KALENDERLİ<sup>2</sup>

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi,  
Elektrik Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul

<sup>1</sup>e-posta: taydin@tt-tim.com.tr

<sup>2</sup>e-posta: ozcan@elk.itu.edu.tr

*Anahtar sözcükler: Yüksek gerilim, kablo malzemesi, Bulanık Mantık*

## ÖZET

*Bu çalışmada, bulanık mantık sınıflandırıcıdan yararlanılarak çeşitli çalışma koşulları altında bulunan kablolarda kullanılacak olan yalıtkan malzemelerinin seçimi ile iletken malzemelerin sınıflandırılması yapılmıştır. Tasarlanan Sugeno bulanık karar verici sistemi yardımıyla, farklı giriş koşulları altında karar verici sistemin çıkış büyüklüğü olarak yalıtkan ve iletken malzemeler seçilmektedir.*

## 1. GİRİŞ

Kablolar, elektrik mühendisliğinin temel bağlantı elemanlarından birisi olup güç dağıtımında, akım taşıyıcı ortam görevi yaparlar. Kablolar, bir veya birden fazla sayıda damara sahip olan yalıtılmış iletkenlerdir. Kablo yalıtkanlarının kullanımının ana amacı, uygulanan gerilimde ve oluşan elektrik alanında, kablonun ve çevresindeki varlıkların ve canlıların güvenliğini sağlamaktır.

Kablolarda kullanılan yalıtkanlar; katı, sıvı ve gaz olmak üzere üçe ayrılır. Günümüzde katı yalıtkan malzeme olarak polimerler ve kağıt, yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektriksel yalıtkanların görevlerini yapabilecekleri maksimum bir elektriksel dayanma sınırı mevcut olup, bu sınırı etkileyen pek çok etken vardır. Sıcaklık, uygulanan gerilim, nem, basınç, kablonun kullanım yeri, kablo iletkeninin ve yalıtkanının fiziksel özellikleri bu etkenlerden sadece birkaçıdır.

Bir kabloda kullanılacak uygun malzemeye karar vermede, fiziksel, teknolojik ve ekonomik özelliklerin çokluğu nedeniyle seçim ve doğru karar sürecini kısaltmak, insan faktöründen gelebilecek hataları en aza indirmek için karar vermedeki işlemleri uygun bir yöntemle bilgisayara taşımak ilgi çeken bir konudur. Bu çalışmada, bu amaçla kullanılan yapay zeka, yapay sinir ağı, bulanık mantık, genetik algoritma gibi farklı yöntemlerden bulanık mantık yöntemi tercih edilmiştir. Ayrıca, iletken malzemelerin karakteristik özelliklerinden yararlanarak, iletken malzemelerin sınıflandırılmasına ilişkin bir çalışma da bulanık mantık yöntemi tercih edilerek yapılmıştır.

Bulanık mantığın en önemli avantajlarından birisi, sistemin karmaşıklığı arttıkça bulanık mantık yönteminde ele alınan sistem modelinin, matematiksel modele göre daha kesin ve daha doğru kurulabilmesidir. Üstelik, klasik mantığın var olduğu bir sistemde, bulanık mantık da doğal olarak uygulanabilmektedir [1].

Bulanık mantık, son yıllarda geniş bir uygulama alanı bulmuş olup, karmaşık elektromanyetik alan problemlerinin çözümü [2], kısmi boşalma işaretlerinin sınıflandırılması [3], çok kanallı görüntü işleme [4], gerçek zamanlı MPEG video [5], endüstriyel elektrostatik [6] ve güç sistemlerinin yıldırımdan korunması [7] yöntemin uygulamalarına örnek çalışma konularından sadece birkaçıdır. Konunun öncülerinden Zadeh'e göre, bulanık mantık kullanımında eğilimler, yapay sinir ağları ile birlikte hesaplamalar ve genetik algoritma kullanımı yönünde gelişecektir [8].

## 2. BULANIK MANTIK

Bulanık mantık tabanlı bir denetleyici, genel olarak üç kısımdan oluşur. Bunlar sırasıyla, bulanıklaştırıcı, kural tablosu ve durulaştırıcı. Bulanık süreçte ilk aşama bulanıklaştırma aşamasıdır. Giriş değerleri, bulanıklaştırıcı tarafından bulanık duruma getirilerek bir sonraki aşamaya sunulur.

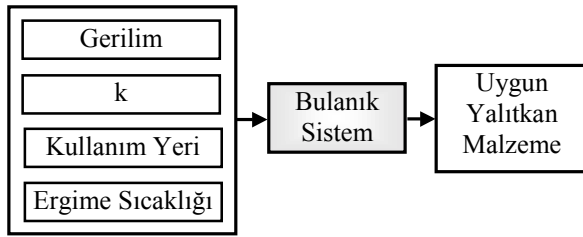
Bulanıklaştırma işlemlerinin yapılmasından sonra, bulanık kurallardan oluşan kural çizelgesi devreye girer. Bulanık kurallar topluluğu, varolan bulanık verilerin kullanılarak yeni bulanık sonuçların alınabilmesini sağlarlar. Bu işlemin sonucunda bulanık bir çıktı işareti elde edilerek durulaştırıcıya gönderilir.

Kural çizelgesi yardımıyla tüm kurallar işlenip ilgili her bir kurala ilişkin bulanık sonuçlar elde edildikten sonra, bu sonuçlara ilişkin gerçek sonuçlar bulanık denetleyicinin durulaştırma biriminde yapılan durulaştırma işleminden sonra elde edilir. Bu çalışmada yalıtkan malzeme seçimi ve iletken

malzeme sınıflandırılmasında kullanılan kurallar Ekler bölümünde listelenmiştir. Kural çizelgesinin oluşturulması, oluşturanların bilgi, deneyim ve isteklerine çok bağlıdır.

### 3. KABLO YALITKANI SEÇİMİNDE BULANIK MANTIK KULLANIMI

Karar verici sistemin giriş büyüklükleri olarak; kabloya uygulanan gerilim, kablonun çalışma sıcaklığı, kablonun kullanıldığı yer, yalıtkan et kalınlığı ve iletken yarıçapı arasındaki fiziksel oran ele alınmıştır. Karar verici sistemin kablo yalıtkanı çıkış büyüklükleri, polivinilklorür (PVC), polietilen (PE), emdirilmiş kağıt, çapraz bağlı polietilen (XLPE), etilenpropilen kauçuk (EPR)'dir. Yalıtkan seçiminde kullanılan sistemin genel yapısı Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1: Yalıtkan malzeme seçiminde kullanılan bulanık yapı.

Bulanık sistemin giriş büyüklüklerinin oluşturulmasında yamuk (trapezoidal) üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Yalıtkan seçiminde kullanılan üyelik fonksiyonları ve karar verme algoritmalarının oluşturulmasında Çizelge 1'den yararlanılmıştır.

Çizelge 1: Yalıtkan malzemelerin delinme dayanımları ve maksimum çalışma sıcaklıkları [9, 10].

MALZEME	$E_d$ (kV/cm)	$T_{maksimum}$
PVC	110-130	80
XLPE	200-220	120
PE	190-210	90
Kağıt	700-800	-
EPR	100	90
EVA	200-210	120

#### 3.1 Kabloya uygulanan gerilim ve kablonun fiziksel boyutları

Tüm yalıtkanların, (1) denklemiyle verilen kablo iletkenine uygulanan  $U$  gerilimi ve  $k$  sabitiyle doğru orantılı olarak oluşan  $E_{max}$  maksimum elektrik alanına karşı bir delinme dayanım sınırı vardır [11].

$$E_{max} = k \cdot U \quad (1)$$

Denklemdaki  $k$  sabiti,  $r_1$  iletken yarıçapı,  $r_2$  siper yarıçapı olmak üzere

$$k = \frac{1}{r_1 \cdot \ln(r_2 / r_1)} \quad (2)$$

dir. Kablonun sağlıklı ve elektriksel boşalma olmaksızın bir şekilde işlevini yerine getirebilmesi için yalıtkanın  $E_d$  delinme dayanımının,  $E_{max}$  maksimum elektrik alan şiddetinden büyük olması veya  $E_{max}$ 'ın  $E_d$ 'den küçük olması gerekir ( $E_{max} \leq E_d$ ).

Kabloya uygulanan gerilim, düzeyine göre alçak gerilim ( $U \leq 1$  kV), orta gerilim ( $1$  kV  $< U \leq 30$  kV) ve yüksek gerilim ( $U > 30$  kV) olmak üzere üçe ayrılır. Bulanık sistemin gerilim giriş büyüklüğü altı temel grupta incelenmiş olup (alçak gerilim, orta gerilim\_1, orta gerilim\_2, orta gerilim\_3, yüksek gerilim\_1 ve yüksek gerilim\_2), trapezoidal üyelik fonksiyonları aşağıda belirtildiği gibidir:

$$\begin{aligned} 0 \text{ kV} \leq U \leq 1 \text{ kV} &\rightarrow \text{Alçak gerilim} \\ 1 \text{ kV} < U \leq 10 \text{ kV} &\rightarrow \text{Orta gerilim}_1 \\ 10 \text{ kV} < U \leq 20 \text{ kV} &\rightarrow \text{Orta gerilim}_2 \\ 20 \text{ kV} < U \leq 30 \text{ kV} &\rightarrow \text{Orta gerilim}_3 \\ 30 \text{ kV} < U \leq 50 \text{ kV} &\rightarrow \text{Yüksek gerilim}_1 \\ 50 \text{ kV} < U \leq 250 \text{ kV} &\rightarrow \text{Yüksek gerilim}_2 \end{aligned}$$

Kablonun iç ve dış yarıçapına bağlı bir fiziksel büyüklük olan  $k$  sabiti ise dört temel grupta incelenmiş olup ( $k1.25$ ,  $k2.5$ ,  $k5$ ,  $k10$ ) trapezoidal üyelik fonksiyonları aşağıda belirtildiği gibidir:

$$\begin{aligned} 0 \leq k \leq 1.25 &\rightarrow k1.25 \\ 1.25 < k \leq 2.5 &\rightarrow k2.5 \\ 2.5 < k \leq 5 &\rightarrow k5 \\ 5 < k \leq 10 &\rightarrow k10 \end{aligned}$$

#### 3.2 Kablonun çalışma sıcaklığı

Bir kablonun çalışma sıcaklığının, yalıtkanlarının çalışabileceği maksimum sıcaklıktan daha düşük olması gerekir. Sıcaklık giriş büyüklüğü beş temel grupta incelenmiş olup ( $T60$ ,  $T70$ ,  $T80$ ,  $T90$ ,  $T100$ ) trapezoidal üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} 0 \text{ }^\circ\text{C} \leq T \leq 60 \text{ }^\circ\text{C} &\rightarrow T60 \\ 60 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 70 \text{ }^\circ\text{C} &\rightarrow T70 \\ 70 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 80 \text{ }^\circ\text{C} &\rightarrow T80 \\ 80 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 90 \text{ }^\circ\text{C} &\rightarrow T90 \\ 90 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 100 \text{ }^\circ\text{C} &\rightarrow T100 \end{aligned}$$

#### 3.3 Kablonun kullanıldığı yer

Kablonun özel kullanım alanına yönelik olarak, özel yalıtkanlar kullanılmaktadır. Kullanım yeri giriş büyüklüğü altı temel grupta incelenmiş olup (nehir, maden ocağı, gemi, yangın, su geçirilmemesi gereken uygulamalar ve diğer), göz önüne alınan trapezoidal üyelik fonksiyonları aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} 0 \leq \text{Kullanım yeri} \leq 0.5 &\rightarrow \text{Nehir,} \\ 0.5 < \text{Kullanım yeri} \leq 1.5 &\rightarrow \text{Maden ocağı,} \\ 1.5 < \text{Kullanım yeri} \leq 2.5 &\rightarrow \text{Gemi,} \\ 2.5 < \text{Kullanım yeri} \leq 3.5 &\rightarrow \text{Yangın,} \\ 3.5 < \text{Kullanım yeri} \leq 4.5 &\rightarrow \text{Su geçirilmemesi} \\ &\quad \text{gereken uygulamalar} \\ 4.5 < \text{Kullanım yeri} \leq 5.0 &\rightarrow \text{Diğer.} \end{aligned}$$

### 3.4 Yalıtkan Çıkış Büyüklükleri

Yalıtkan çıkış büyüklüğü ile gösterilirse, yalıtkan çıkış büyüklüklerinin aldığı değerler ve kablo yalıtkanları arasındaki ilişki  $F(z)$ , şu şekildedir:

$$F(z) = \begin{cases} 0.00, \text{ PVC} & z < 0.125 \\ 0.25, \text{ PE} & 0.125 \leq z < 0.375 \\ 0.50, \text{ Kağıt} & 0.375 \leq z < 0.625 \\ 0.75, \text{ XLPE} & 0.625 \leq z < 0.875 \\ 1.00, \text{ EPR} & z \geq 0.875 \end{cases}$$

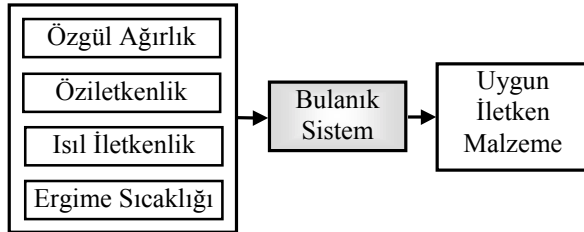
Karar verici sistemin yalıtkan çıkış büyüklüğüne ilişkin 28 kural oluşturulmuştur. Oluşturulan kurallar Ek A'da verilmiştir.

### 4. İLETKEN MALZEME SEÇİMİNDE BULANIK MANTIK KULLANIMI

İletken malzemelerin sınıflandırılmasına ilişkin bulanık sistemin tasarımında giriş büyüklükleri olarak kablonun ağırlığını, akım taşıma kapasitesini ve ısı özelliklerini belirleyen büyüklükler olarak malzemelerin özgül ağırlıkları, öziletkenlikleri, ısı iletkenlikleri ve ergime sıcaklıkları göz önüne alınmıştır. İletken malzemelerin sınıflandırılmasına ilişkin çıkış büyüklükleri olarak ele alınan malzemeler ise gümüş (Ag), bakır (Cu), alüminyum (Al), nikel (Ni), demir (Fe) ve süperiletkenlerdir.

#### 4.1 Bulanık karar verici sistem ve kurallar

İletken sınıflandırılmasında kullanılan sistemin genel yapısı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: İletken seçiminde kullanılan bulanık yapı.

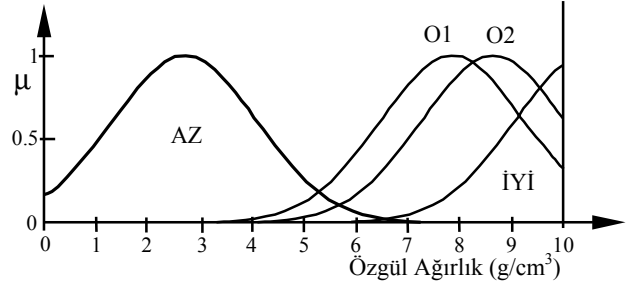
İletken malzemelere ilişkin üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasında Çizelge 2'de verilen iletken malzemelere ait fiziksel özelliklerden yararlanılmıştır. Bulanık sistemin giriş büyüklüklerinin oluşturulmasında Gaussian tipi üyelik fonksiyonları kullanılmıştır.

Çizelge 2: İletken malzemelere ilişkin fiziksel özellikler [9, 10]

Malzeme	Ag	Cu	Al	Ni	Fe
Öziletkenlik (ohm.cm) <sup>-1</sup>	6.30	5.85	2.95	1.46	1.03
Isıl İletkenlik (kal/cm.s°C)	0.196	0.960	0.570	0.222	0.190
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	10.50	8.92	2.70	8.90	7.86
Ergime Sıcaklığı (°C)	961.9	1084	660	1453	1538

### 4.2 Özgül Ağırlık

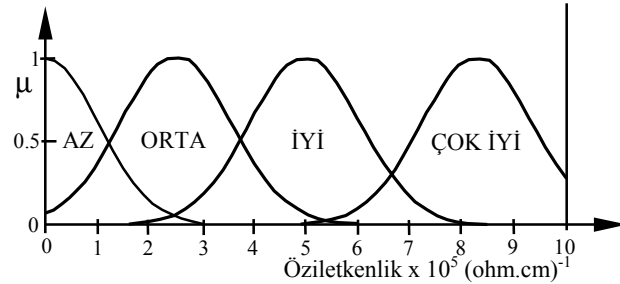
Şekil 3, özgül ağırlık giriş büyüklüğü Gaussian üyelik fonksiyonlarını göstermektedir. Bu şekil, malzemenin özgül ağırlığına (g/cm<sup>3</sup>) karşılık göz önüne alınan ( $\mu$ ) üyelik derecelerini göstermektedir.



Şekil 3: Özgül ağırlık giriş büyüklüğüne ilişkin üyelik fonksiyonları.

### 4.3 Öziletkenlik

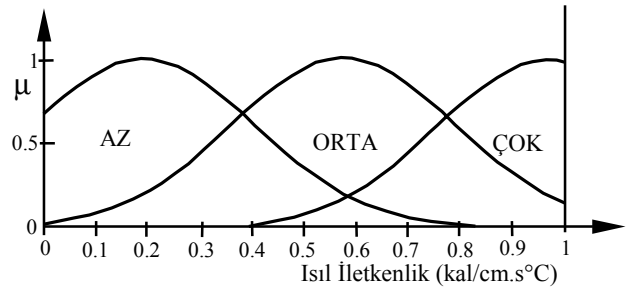
Şekil 4, öziletkenlik giriş büyüklüğü için üyelik fonksiyonlarını göstermektedir. Burada da malzemenin özgül iletkenliğine ((ohm.cm)<sup>-1</sup>) göre göz önüne alınan ( $\mu$ ) üyelik dereceleri görülmektedir.



Şekil 4: Öziletkenlik giriş büyüklüğüne ilişkin üyelik fonksiyonları.

### 4.4 Isıl İletkenlik

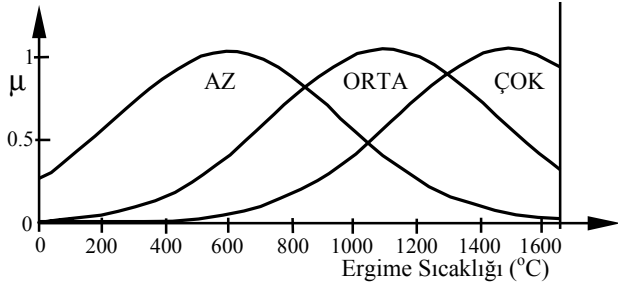
Şekil 5, ısı iletkenlik giriş büyüklüğü için üyelik fonksiyonlarını göstermektedir. Malzemenin ısı iletkenliğine (kal/cm.s°C) göre alacağı ( $\mu$ ) üyelik dereceleri bu şekilde tanımlanmıştır.



Şekil 5: Isıl iletkenlik giriş büyüklüğüne ilişkin üyelik fonksiyonları.

### 4.5 Ergime Sıcaklığı

Şekil 6'da, ergime sıcaklığı giriş büyüklüğü üyelik fonksiyonlarını göstermekte olup, yatay eksen malzemenin ergime sıcaklığını (°C), dikey eksen ise ( $\mu$ ) üyelik derecesini göstermektedir.



Şekil 6: Özgül ağırlık giriş büyüklüğüne ilişkin üyelik fonksiyonları.

#### 4.6 İletken Çıkış Büyüklükleri

İletken malzeme çıkış büyüklüğü  $z$  ile gösterilirse, bu büyüklüğün aldığı değerler ile iletkenler arasındaki ilişki  $F(z)$ , aşağıdaki gibi göz önüne alınmıştır:

$$F(z) = \begin{cases} 1, \text{ Gümüş (Ag)} & z < 1.5 \\ 2, \text{ Bakır (Cu)} & 1.5 \leq z < 2.5 \\ 3, \text{ Alüminyum (Al)} & 2.5 \leq z < 3.5 \\ 4, \text{ Nikel (Ni)} & 3.5 \leq z < 4.5 \\ 5, \text{ Demir (Fe)} & 4.5 \leq z < 5.5 \\ 6, \text{ Süperiletken} & z \geq 5.5 \end{cases}$$

Karar verici sistemin iletken çıkış büyüklüğüne ilişkin 6 kural oluşturulmuştur. Oluşturulan kurallar Ek B'de verilmiştir.

#### 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, elektrik mühendisliğinin önemli bir uygulama alanı olan kablolarda, kabloyu elektrik alanına, neme ve diğer dış etkenlere karşı korumakta kullanılan yalıtkan ve iletken malzemelerin seçimi ve sınıflandırılmasında bulanık mantık yönteminin uygulanabileceği gösterilmiştir.

Bu çalışma, tek damarlı ve kaçık eksenli olmayan kablolar için uygulanmıştır. Kablo yalıtkanları ve iletkenleri olarak piyasada sıklıkla kullanılan malzemeler arasından bulanık karar verici sistem ile değişik büyüklükler göz önüne alınarak seçimde bulunulmuştur.

Çözümlemede MATLAB 6.12 bulanık mantık programı kullanılmıştır. Kullanıcı dostu bir grafiksel arayüze sahip olan bu program, yapının tasarlanmasında ve sonuçlarının sınanmasında kullanıcıya büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Bulanık mantık sisteminde yöntemin olumsuzluklarından birisi, sistem girişlerine ilişkin üyelik fonksiyonlarının doğru bir biçimde tasarlanmasıdır. Bu da sistemi tasarlayanların bilgi ve deneyimi ile doğrudan ilişkilidir. Yalıtkan malzeme seçiminde kullanılan trapezoidal üyelik fonksiyonları kullanılması nedeniyle klasik mantığa yaklaşılmış,

iletken malzeme sınıflandırılmasında ise bulanık mantığın asıl işlevinden daha çok yararlanılmıştır.

Kablo iletken geometrisinin ve buna bağlı olarak oluşan elektrik alanla ilişkisinin bulanık mantıkla analizi, kablo yalıtkanı boyunca potansiyel ve elektrik alan değişiminin incelenmesi, kablo iletkeninin sarım şekline ve kesitine bağlı olarak yalıtkan seçiminin bir arada yapılması bu konuda yapılabilecek çalışmalardan bazılarıdır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Balog, E., Berta, I., "Fuzzy solutions in electrostatics", Journal of Electrostatics, Vol. 51-52, pp. 409-415, 2001.
- [2] Dokodopoulos, P. S., Satsios, K. J., Labridis, D. P., "An artificial intelligence system for a complex electromagnetic field problem: Part I-Finite element calculations and fuzzy logic development", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 35, No. 1, 516-522, 1999.
- [3] Salama, M. M. A., Bartnikas, R., "Fuzzy logic applied to PD pattern classification", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 7, No. 1, 118-123, 2000.
- [4] Khriji, I., Gabbouj, M., "Rational based adaptive fuzzy filters", Int. Journal of Computational Cognition, Vol. 2, No. 1, 113-132, 2004.
- [5] Tsang, D. H. K., Bensaou, B. L., Shirley, T. C., "Fuzzy based rate control for real-time MPEG video", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 6, No. 4, 504-516, 1998.
- [6] Kiss, I., Berta, I., Pula, L., Koczy, L. T., "Fuzzy logic in industrial electrostatics", Journal of Electrostatics, 40-41, 561-566, 1997.
- [7] Orille, A. L., Bogarra, S., Grau, M. A., Iglesias, J., "Lightning protection of power systems using fuzzy logic techniques", The 12<sup>th</sup> IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Vol. 2, pp.1406 - 1411, 25-28 May 2003.
- [8] The Math Works, Inc., Fuzzy Logic Toolbox for Use With Matlab, Users Guide Version 2.
- [9] Saner, Y., Güç Dağıtımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998.
- [10] Thue, W. A., Electrical Power Cable Engineering, Marcel Dekker, New York, 1999.
- [11] Özkaya, M. Yüksek Gerilim Tekniği, Cilt 1, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2004.

#### EKLER

##### EK A. Karar verici sistemin yalıtkan malzeme çıkış büyüklüğüne ilişkin kurallar:

1. IF [Sıcaklık is not T100] AND [Gerilim is Y\_2] AND [KullanımAlanı is DİGER] AND [k is 5] THEN [Yalıtkan is KAGIT]
2. IF [Sıcaklık is not T100] AND [Gerilim is O\_3] AND [KullanımAlanı is DİGER] AND [k is 5] THEN [Yalıtkan is PVC]

3. IF [Sıcaklik is not T100] AND [Gerilim is Y\_1] AND [KullanımAlani is DIGER] AND [k is 5] THEN [Yalitkan is PE]
  4. IF [Gerilim is ALC\_V] AND [KullanımAlani is NEHIR] THEN [Yalitkan is PVC]
  5. IF [Gerilim is O\_1] AND [KullanımAlani is MADEN] THEN [Yalitkan is PVC]
  6. IF [Gerilim is O\_2] AND [KullanımAlani is MADEN] THEN [Yalitkan is XLPE]
  7. IF [Gerilim is O\_1] AND [KullanımAlani is GEMI] THEN [Yalitkan is EPR]
  8. IF [Gerilim is O\_1] AND [KullanımAlani is YANGIN] THEN [Yalitkan is EPR]
  9. IF [Gerilim is O\_1] AND [KullanımAlani is SUGECMEZ] THEN [Yalitkan is XLPE]
  10. IF [Sıcaklik is not T100] AND [Gerilim is Y\_2] AND [KullanımAlani is DIGER] AND [k is 1.25] THEN [Yalitkan is PE]
  11. IF [Sıcaklik is not T100] AND [Gerilim is O\_3] AND [KullanımAlani is DIGER] AND [k is 1.25] THEN [Yalitkan is PVC]
  12. IF [Sıcaklik is not T100] AND [GERILIM is O\_3] AND [KullanımAlani is DIGER] AND [k is 2.5] THEN [Yalitkan is PVC]
  13. IF [Sıcaklik is not T100] AND [Gerilim is Y\_1] AND [KullanımAlani is DIGER] AND [k is 2.5] THEN [Yalitkan is PVC]
  14. IF [Sıcaklik is not T100] AND [Gerilim is Y\_1] AND [KullanımAlani is DIGER] AND [k is 1.25] THEN [Yalitkan is PVC]
  15. IF [Sıcaklik is not 100] AND [Gerilim is O\_3] AND [KullanımAlani is DIGER] AND [k is 10] THEN [Yalitkan is PE]
  16. IF [Sıcaklik is not T100] AND [Gerilim is Y\_1] AND [KullanımAlani is DIGER] AND [k is 10] THEN [Yalitkan is KAGIT]
  17. IF [KullanımAlani is DIGER] THEN [Yalitkan is PVC]
  18. IF [KullanımAlani is MADEN] THEN [Yalitkan is PVC]
  19. IF [KullanımAlani is GEMI] THEN [Yalitkan is PVC]
  20. IF [KullanımAlani is YANGIN] THEN [Yalitkan is PVC]
  21. IF [KullanımAlani is SUGECMEZ] THEN [Yalitkan is PVC]
  22. IF [Sıcaklik is not T100] AND [Gerilim is Y\_2] AND [KullanımAlani is DIGER] AND [k is 2.5] THEN [Yalitkan is PE]
  23. IF [Sıcaklik is not T100] AND [Gerilim is Y\_2] AND [KullanımAlani is DIGER] AND [k is 10] THEN [Yalitkan is KAGIT]
  24. IF [Gerilim is O\_1] AND [KullanımAlani is NEHIR] THEN [Yalitkan is XLPE]
  25. IF [Gerilim is O\_2] AND [KullanımAlani is NEHIR] THEN [Yalitkan is XLPE]
  26. IF [Gerilim is O\_3] AND [KullanımAlani is NEHIR] THEN [Yalitkan is XLPE]
  27. IF [KullanımAlani is NEHIR] THEN [Yalitkan is PVC]
  28. IF [Sıcaklik is 100] AND [KullanımAlani is DIGER] THEN [Yalitkan is XLPE]
- Ek B. Karar verici sistemin iletken malzeme çıkış büyüklüğüne ilişkin kurallar:**
1. IF [İletkenlik is COK\_IYI] THEN [İletken is SUPERİLETKEN]
  2. IF [İletkenlik is AZ] AND [OzgulAgirlik is ORTA\_1] AND [Isilİletkenlik is AZ] AND [ErimeSıcakligi is COK] THEN [İletken is FE]
  3. IF [İletkenlik is AZ] AND [OzgulAgirlik is ORTA\_2] AND [ErimeSıcakligi is COK] THEN [İletken is NI]
  4. IF [İletkenlik is AZ] AND [OzgulAgirlik is AZ] AND [Isilİletkenlik is ORTA] AND [ErimeSıcakligi is AZ] THEN [İletken is AL]
  5. IF [İletkenlik is IYI] AND [OzgulAgirlik is ORTA\_2] AND [Isilİletkenlik is COK] AND [ErimeSıcakligi is ORTA] THEN [İletken is CU]
  6. IF [İletkenlik is IYI] AND [OzgulAgirlik is YUKSEK] AND [Isilİletkenlik is AZ] AND [ErimeSıcakligi is ORTA] THEN [İletken is AG]