İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULANIK MANTIK SINIFLANDIRMADAN YARARLANARAK KABLO MALZEMESİ SEÇİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Taner AYDIN

Anabilim Dalı: ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ

Programı: ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2004

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULANIK MANTIK SINIFLANDIRMADAN YARARLANARAK KABLO MALZEMESİ SEÇİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Taner AYDIN
(504001111)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26 Nisan 2004
Tezin Savunulduğu Tarih: 20 Mayıs 2004

Tez Danışmanı: **Doç. Dr. Özcan KALENDERLİ**
Diğer Jüri Üyeleri: **Prof. Dr. Aydoğan ÖZDEMİR (İ.T.Ü.)**
Doç. Dr. Tayfun GÜNEL (İ.T.Ü.)

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

Son yıllarda bilgisayarların gelişmesine paralel olarak insanlar işlerini ve yerlerini bilgisayarlara bırakma eğilimindedir. Bunun sonucu olarak, insanın düşünce yapısına benzer, eğitilebilen ve karar verebilen sistemlerin ve kontrol mekanizmalarının geliştirilmesinde farklı yöntemlerden yararlanma üzerine yoğunlaşılmıştır. Bulanık mantık da bu yöntemler içerisinde kendine önemli bir yer bulmuştur.

Büyük bir zevkle çalıştığım bu alanla tanışma fırsatını veren ve tez çalışmamda da desteklerini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Özcan Kalenderli'ye ve yine her konuda bana destek olan aileme en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Mayıs, 2004 **Taner Aydın**

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ **ii**

KISALTMALAR **v**

TABLO LİSTESİ **vi**

ŞEKİL LİSTESİ **vii**

SEMBOL LİSTESİ **viii**

ÖZET **ix**

SUMMARY **xi**

1. GİRİŞ **1**
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 4

2. BULANIK MANTIK **5**
2.1. Bulanık Mantığın Tarihçesi ve Uygulama Alanları 6
2.2. Temel İşlemler ve Bulanık Küme Kavramı 7
2.2.1. Bulanıklaştırıcı 9
2.2.2. Kural Tablosu 10
2.2.3. Durulaştırma 13

3. KABLOLAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER **15**
3.1. Kabloların Sınıflandırılması 15
3.1.1. F-kablolar 15
3.1.2. N-kablolar 15
3.1.3. Y-kablolar 16
3.2. Kablolarda Kullanılan Simgeler 17
3.3. Kablolarda Anma Gerilimi 19
3.3.1. F ve N - tipi kablolarda Anma Gerilimi 19
3.3.2. Y - tipi kablolarda Anma Gerilimi 20
3.4. Kablo İletkenleri 21
3.5. Kablolar ve Yalıtkan Malzemeler 21
3.5.1. Yalıtkan Malzemeler ve Dielektrik Özellik 23
3.5.1.1. Dielektrik Sabiti 23
3.5.1.2. Delinme Dayanımı 24

3.5.1.3. Frekans ve Sıcaklığın Dielektrik Özelliklere Etkisi 25
3.5.2. Kablolarda Sıklıkla Kullanılan Yalıtkan Malzemeler 25
3.5.2.1. Termoplastikler (Plastomerler) 25
3.5.2.2. Elastomerler 29
3.5.2.3. Duroplastikler(Duromerler) 33
3.6. Kablo Tasarımı 33

4. KABLO YALITKANI SEÇİMİNDE BULANIK MANTIK YÖNTEMİ 42
4.1. Karar verici sistemin giriş ve çıkış büyüklükleri arasındaki ilişki 42
4.1.1. Kabloya uygulanan gerilim 42
4.1.2. Kablonun çalışma sıcaklığı 43
4.1.3. Kablonun kullanıldığı yer 44
4.1.4. Yalıtkan et kalınlığı ve iletken yarıçapı arasındaki fiziksel oran 44
4.2. Bulanık karar verici sistem, kurallar ve algoritmalar 44

5. İLETKEN MALZEME SEÇİMİNDE BULANIK MANTIK 55
5.1. Karar Verici Sistemin Giriş Büyüklükleri 56
5.1.1. Özgül Ağırlık 56
5.1.2. Öziletkenlik 56
5.1.3. Isıl İletkenlik 56
5.1.4. Isıl Genleşme 57
5.1.5. Ergime Sıcaklığı 57
5.2. Bulanık karar verici sistem, kurallar ve algoritmalar 57

6. SONUÇLAR 63

KAYNAKLAR 65

EKLER 68

ÖZGEÇMİŞ 73

KISALTMALAR

CR : Polikloropren
COA : Alanların merkezi (Center Of Area)
BOA : İki bölge (Bisector Of Area)
MOM : Maksimumların ortalaması (Mean Of Maximum)
SOM : Maksimumların en küçüğü (Smallest Of Maximum)
LOM : Maksimumların en büyüğü (Largest Of Maximum)
TS : Türk Standartları
HDPE : Yüksek basınç polimerizasyonlu etilen (High Density PE)
LDPE : Düşük basınç polimerizasyonlu etilen (Low Density PE)
C-C : Karbon - karbon bağı
N : Azot gazı
FIS : Bulanık karar sistemi (Fuzzy Inference System)

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1 : Üyelik fonksiyonları ile temsil edilen kural tablosu 12
Tablo 2.2 : Üyelik fonksiyonları ile temsil edilen genelleştirilmiş kural tablosu 12
Tablo 3.1 : Bazı malzemelerin fiziksel özellikleri 24
Tablo 3.2 : Tasarım örneğinde kullanılan kablonun özellikleri 35
Tablo 4.1 : Malzemelerin delinme dayanımları ve maksimum çalışma sıcaklıkları 53
Tablo 5.1 : İletken malzemelere ilişkin fiziksel özellikler 62

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 : Sistem modelinin keskinliği ile sistem karmaşıklığı arasındaki ilişki 2
Şekil 2.1 : Ağırlık kümeleri ve üyelik fonksiyonları 7
Şekil 2.2 : Bulanıklaştırıcı ve çalışma ilkesi 10
Şekil 3.1 : Bir orta gerilim güç kablosu örneği 17
Şekil 3.2 : Tasarım örneğinde kullanılan kablo 36
Şekil 4.1 : Kabloda elektrik alanı hesabında göz önüne alınan büyüklükler 43
Şekil 4.2 : Yalıtkan seçiminde kullanılan Sugeno Bulanık Karar Verici Sistem 45
Şekil 4.3 : Sıcaklık girişine ilişkin üyelik fonksiyonları 46
Şekil 4.4 : Gerilim girişine ilişkin üyelik fonksiyonları 47
Şekil 4.5 : Kablo kullanım yerine ilişkin üyelik fonksiyonları 48
Şekil 4.6 : Kablo fiziksel boyutuna ilişkin üyelik fonksiyonları 49
Şekil 4.7 : Yalıtkan seçiminde kullanılan karar verme algoritmaları 50
Şekil 4.8 : Tasarlanan kontrolörün, yalıtkan çıkışının simulink programında simülasyonu 51
Şekil 4.9 : Tasarlanan kontrolörün, DışKılıf çıkışının simulink programında simülasyonu 52
Şekil 5.1 : İletken seçiminde kullanılan Sugeno Bulanık Karar Verici Sistem 57
Şekil 5.2 : Özgül ağırlık giriş büyüklüğüne ilişkin üyelik fonksiyonları 58
Şekil 5.3 : Öziletkenlik giriş büyüklüğüne ilişkin üyelik fonksiyonları 58
Şekil 5.4 : Isıl iletkenlik giriş büyüklüğüne ilişkin üyelik fonksiyonları 59
Şekil 5.5 : Isıl genleşme giriş büyüklüğüne ilişkin üyelik fonksiyonları 59
Şekil 5.6 : Ergime sıcaklığı giriş büyüklüğüne ilişkin üyelik fonksiyonları 61
Şekil 5.7 : Tasarlanan kontrolörün çıkış büyüklükleri 61
Şekil 5.8 : Tasarlanan kontrolörün Simulink programında simülasyonu 62

SEMBOL LİSTESİ

μ : Üyelik fonksiyonu
x : Küme elemanı
X : Temel küme
a : Gerçek açıklık
p : Geometrik karakteristik
α : Eşdeğer açıklık
η : Faydalanma faktörü
C : Kapasite
X_C : Kapasitif reaktans
X_L : Endüktif reaktans
L : Endüktans (özindüklenme katsayısı)
μ_0 : Manyetik geçirgenlik
α_0 : Sıcaklık sabiti
X_S : Kablonun birim uzunluğunun reaktansı
R_{DA} : Doğru akım direnci
R_{AA} : Alternatif akım direnci
S : Kesit alanı
k_s : Alternatif akım direnci deri etkisi katsayısı

BULANIK MANTIK SINIFLANDIRMADAN YARARLANARAK KABLO MALZEMESİ SEÇİMİ

ÖZET

Elektrik mühendisliğinin en temel elemanlarından birisi olan güç dağıtımında taşıyıcı ortam görevi yapan kablolardır. Kablolar, bir veya daha fazla sayıda damara sahip olan yalıtılmış iletkenlerden oluşmaktadır. Kablolar kullanım amacına, kullanım yerine, uygulanan gerilime göre F-tipi, N-tipi ve Y-tipi olmak üzere üç ana grupta toplanmaktadır.

Kabloların vazgeçilmez unsurlarından birisi ise yalıtımdır. Kablolarda yalıtım amacıyla kullanılacak malzemelerin seçiminde ise çok farklı parametreler yeralmakta olup, ana parametreler ise kablonun kullanım yeri, sıcaklığı, boyutları, kablonun maruz kaldığı gerilim ve dolayısıyla elektrik alandır.

Farklı yalıtkan malzemeler, çeşitli elektriksel, fiziksel ve kimyasal özellikleriyle yukarıdaki parametrelere uygunluk gösterdikleri zaman yalıtkan olarak tercih edilirler. İlk yalıtkan malzeme 1834 yılında keşfedilen Gütaperka (Gutta-percha)'dır. Kağıt, yağlı kağıt, yağ, gaz (N) kablolarda kullanılan diğer yalıtkan malzemelerdir. F ve N-kablolarda yalıtkan olarak genellikle doğal kauçuk ve yapay malzemeler, Y kablolarda ise emdirilmiş kağıt ve polimerler kullanılmaktadır. Emdirilmiş kağıt, çok yüksek gerilimli kablolarda oldukça vazgeçilmez olmasına karşın 35 kV ve daha alt seviyelerdeki Y-kablolarda yerini polimerlere bırakmıştır.

Güç kablolarının vazgeçilmezi olan yalıtkan malzemelerin kablo yalıtkanı olarak seçiminde Bulanık mantığın kullanımı, ayrıca iletken malzemelerin sınıflandırılması tezin ana temasını oluşturmaktadır. Çeşitli malzemelere ait farklı elektriksel, fiziksel ve kimyasal özellikler bulanık karar verici sistemin giriş büyüklükleri olarak verilmiş, kural algoritmasına oluşturulmuş ve farklı koşullar altında hangi yalıtkan malzemenin seçileceği, çıktı olarak karar verici sistemden alınmıştır.

Yalıtkan ve dış kılıf seçimine ait bulanık sistemin tasarımında giriş büyüklükleri olarak kablonun fiziksel boyutları, kabloya uygulanan gerilim, sıcaklık ve kablonun kullanıldığı yer ve kullanım alanı ele alınmıştır. Bulanık sistemin çıkış büyüklükleri ise, kabloda kullanılacak olan yalıtkan ve kablonun dış kılıfıdır. Bulanık karar verici sistemin yalıtkan çıkış büyüklükleri olarak ele alınan malzemeler kağıt, EPR (etilen-propilen kauçuk), PVC (polivinilklorür), XLPE (çapraz bağlı polietilen) ve PE (polietilen)'dir.

Bulanık karar verici sistemin dış kılıf çıkış büyüklükleri olarak ele alınan malzemeler ise kurşun, EVA (etilen-vinil asetat kopolimer), PVC (polivinilklorür), CR (polikloropren) ve PE (polietilen)'dir.

İletken malzemelerin sınıflandırılmasına ilişkin bulanık sistemin tasarımında giriş büyüklükleri olarak malzemelerin özgül ağırlıkları, özgül iletkenlikleri, ısıl iletkenlikleri ısıl genleşme katsayıları ve ergime sıcaklıkları ele alınmıştır. İletken malzemelerin sınıflandırılmasına ilişkin bulanık karar verici sistemin çıkış büyüklükleri olarak ele alınan malzemeler ise gümüş, bakır, alüminyum, nikel, demir ve süperiletken'dir.

Bulanık karar verici sistem Matlab 6.12 FIS (Bulanık Karar verici Sistem) editörü kullanılarak tasarlanmış, ayrıca tasarlanan yapının Matlab Simulink programında simülasyon programı da hazırlanmıştır. FIS sistemi olarak iki sistemden biri olan Sugeno bulanık karar verici sistemi kullanılmıştır. Diğer sistem ise Mamdani bulanık karar verici sistemidir.

THE CHOICE OF CABLE MATERIALS USING FUZZY LOGIC CLASSIFICATION

SUMMARY

Cables are one of the transmission mediums for the Power distribution, which is main part of Electrical Engineering. Cables consist of one or more veined isolated conductors. Cables are classified into three groups as F-type, N- type and Y- type according to their usage purpose, usage place and applied voltage.

One of the most important issues with the cables is insulating. Many parameters affect the choice of the material that will be used as insulating material and usage place of the cable, temperature, dimension of the cable and electrical field caused by applied voltage are the main parameters. The different insulating materials are preferred as insulator, when they agree with the parameters mentioned above, with their several electrical, physical and chemical properties. The first insulating material is Gutta-percha, which was been discovered at 1834. Paper, oiled paper, oil and gas (N) are other insulating materials used in cables. Polymers and oiled paper are used in N-type cables, natural rubber and artificial materials are used for F and N–type cables as insulating materials. Although the oiled paper is commonly used in very high voltage applied cables, polymers are used in Y-type cables,which applied voltage is under 35 kV.

Using the fuzzy logic for the choice of the insulating materials, which are very important for power cables, as cable insulators and classification of conductors are the main theme of this thesis. The different electrical, physical and chemical properties that belongs several materials have been chosen as system inputs for the fuzzy inference system, rule algorithms have been established and the choice of the insulating materials with different inputs has been defined as the output in fuzzy inference system.

The physical dimensions of the cable, the voltage applied to the cable, temperature and usage purpose of the cable have been considered as input variables while design of fuzzy inference system for the choice of the Insulator and outer cover materials. The output variables are the insulating materials that will be used as cable insulators and cable outer cover. The materials considered as insulator output of fuzzy inference system are paper, EPR (ethylen-propilen rubber), PVC (polyvinilchlorine), XLPE (cross connected polyethylene) and PE (polyethylene).

The materials considered as outer cover output of fuzzy inference system are lead, EVA (ethylene-vinyl acetate copolymer), PVC (polyvinilchlorine), CR (polycloropren) and PE (polyethylene).

Thermal conductivity, thermal expansion, melting temperature, specific weight and specific conductivity of the meterials have been considered as input variables while design of fuzzy inference system for classification of the conductive materials. The materials considered as outputs of fuzzy inference system are silver, copper, aluminum, nickel, iron and super conductors while design of fuzzy inference system for classification of the conductive materials.

The fuzzy inference system has been designed using Matlab 6.12 FIS (Fuzzy Inference System) editor and also a simulation program of the designed system has been prepared using Matlab Simulink program. Sugeno fuzzy inference system has been used as FIS system. The other system is Mamdani fuzzy inference system.

1. GİRİŞ

Elektrik mühendisliğinde güç kablolarının vazgeçilmez unsuru, yalıtım ve dolayısıyla onu da oluşturan kablo yalıtkanlarıdır. Kablo yalıtkanlarının kullanımının ana amacı, uygulanan gerilimde ve oluşan elektrik alanında kablonun, çevresindeki varlıkların ve canlıların güvenliğini sağlamaktır. Ayrıca tüm yalıtkanlardan beklendiği gibi mekanik, ısıl, elektriksel ve ekonomik istekleri yerine getirmektir.

Herhangi bir elektriksel yalıtkanın elektriksel delinmeye karşı dayanımını etkileyen pek çok etken vardır. Sıcaklık, uygulanan gerilim, nem, basınç, kablonun kullanım yeri, kablo iletkeninin ve yalıtkanının fiziksel özellikleri bu farklı etkenlerden sadece birkaçıdır. Örneğin, sıcaklığın artmasıyla malzemenin zamanla özelliklerini yitirmesi anlamına gelen yaşlanma hızlanır ya da nemden dolayı yalıtkan malzemenin içinde ağaçlanma adı verilen ve kablonun ömrünü kısaltan yapılanmalar oluşabilir.

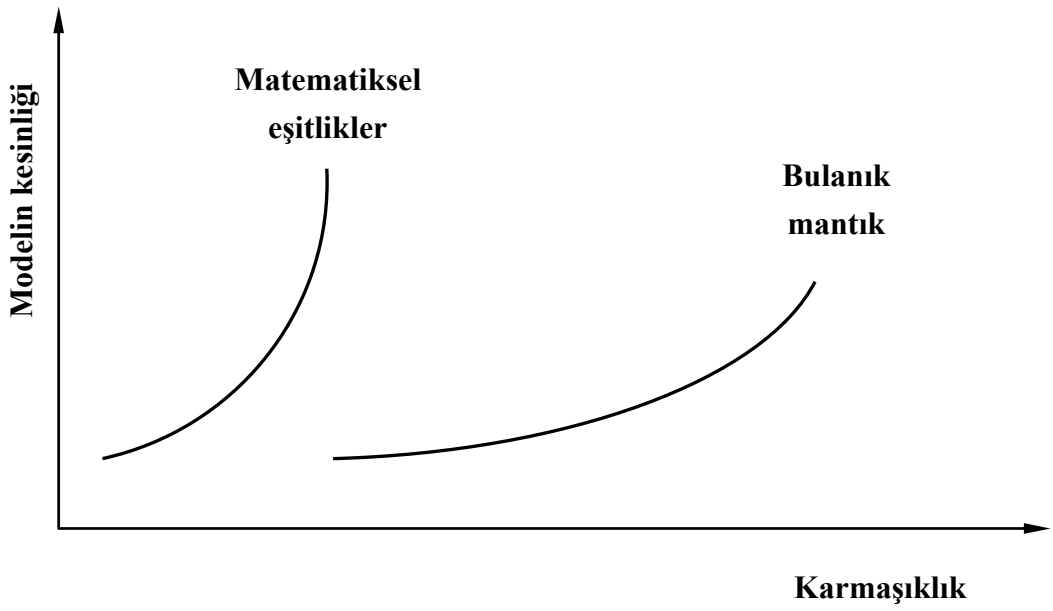
Yalıtkanlar; katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilirler. Günümüzde en çok kullanılan yalıtkanlar katı halde bulunanlar olup, polimerler ve kağıt yaygın olarak kullanılmaktadır. Sıvı halde bulunan yalıtkanlara en güzel örnek yalıtkan yağlardır. Azot (N), gaz halinde bulunan yalıtkanlara örnek olarak verilebilir.

Kablolarda kullanılacak yalıtkan veya iletken malzemenin, uygun ve ihtiyaçları karşılayacak şekilde seçiminde malzemelerin karakteristik özelliklerinin dikkate alınması gereklidir. Bunlardan en önemlileri:

- Elektriksel özellikler,
- Isıl ve mekanik özellikler,
- Fiziksel ve kimyasal özellikler ve
- Maliyettir.

Uygun malzemeye karar vermede karar verenin bilgisi, deneyimi, ayırdığı zaman etkili olmaktadır. Karar verme sürecini kısaltmak, doğru ve seçenekleri tarayarak karar vermek, insan faktöründen gelebilecek hataları en aza indirmek için karar vermedeki işlemleri bilgisayara taşımak ve seçimi bilgisayar üzerinde uygun bir yöntemle, tüm durumları gözden kaçırmadan, değerlendirerek yapmak ilgi çeken bir konudur. Bu amaçla yapay zeka, yapay sinir ağı, bulanık mantık, genetik algoritma gibi farklı yöntemler kullanılabilir. Bu tezde bu yöntemlerden bulanık mantık yöntemi tercih edilmiştir.

Bulanık mantığın en önemli avantajlarında birisi, ele alınan sistemin karmaşıklığı arttıkça matematiksel eşitliklerin, ele alınan sistemin kesin modelini oluşturmadaki eksikliğini ve hatta yetersiz kalmasını bir şekilde gidermesidir. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi, sistemin karmaşıklığı arttıkça bulanık mantık yönteminde ele alınan sistemin modeli, matematiksel modele göre daha kesin ve daha doğru yapılabilmektedir. Üstelik, klasik mantığın varolduğu bir sistemde, bulanık mantık da doğal olarak uygulanabilmektedir [1].



Şekil 1.1: Sistem modelinin keskinliği ile sistem karmaşıklığı arasındaki ilişki

Bulanık mantık, son yıllarda geniş bir uygulama alanı bulmuş ve klasik mantıktan farklı olarak 'kesin doğru' ya da 'kesin yanlış' kavramlarına, 'az doğru', 'çok yanlış',

‘yaklaşık olarak doğru’ gibi kavramları da eklemiştir. Çok farklı uygulama alanı bulan bulanık mantıkla ilgili bazı çalışma konularından örnekler aşağıda belirtilmiştir:

- Uzaktan eğitimde bulanık mantık kuramı [2],
- Tek fazlı bir kesintisiz güç kaynağının bulanık mantıkla denetimi [3],
- Sumo robotları için bulanık mantıkla hareket optimizasyonu uygulaması [4],
- Nesne kaynaştırma işlemi için yapay sinir ağı - bulanık mantık tekniği tabanlı bir yöntem [5],
- Bulanık mantık tabanlı yüzey modelleme ve üç boyutta nesne kaynaştırma işlemine uygulaması [6],
- Mayın tarama robotu [7],
- Kalite fonksiyonu yayılımı uygulamalarında alternatif bulanık mantık yaklaşımları [8],
- Torna işlemlerinde kesici takım aşınmasının bulanık mantık ile modellenmesi [9],
- Bulanık Mantık tekniği kullanarak güç sistemlerinin yıldırımdan korunması [10],
- Türk vergi sisteminde bulanık mantık ve uygulamaları [11],
- Güç sistemlerinin denetiminde bulanık mantık [12],
- Elektrostatikte bulanık çözümler [1],
- Karmaşık elektromanyetik alan problemlerinin çözümünde yapay zeka sistemi, sonlu elemanlar yöntemi ve bulanık mantık [13],
- Kısmi boşalma örüntü sınıflandırılmasında bulanık mantık uygulaması [14],
- Nükleer güç santralı için bulanık mantık denetleyici geliştirilmesi [15],
- Şekil tanıma ve veri işleme [16],
- Çok kanallı görüntü işleme için adaptif filtreleme yaklaşımı [17],

- Gerçek zamanlı MPEG video için bulanık mantık tabanlı oran kontrolü [18],
- Araç takip mesafesinin otomatik olarak korunmasında bulanık mantık [19],
- Bir Fazlı Telekom Eviricilerin Bulanık Mantıkla Denetimi [20],
- Tahta yüzeylerin kalite kontrol otomasyonunda Bulanık Mantık [21],
- Otonom hareketli robotlar için bir bilişsel mimari [22],
- Endüstriyel elektrostatikte bulanık çözümler [23],
- Yüksek Gerilimli Elektrot Sistemlerinde Elektrik Alan Optimizasyonu [24].

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı:

Giriş bölümünde verilen bilgiler ışığında, güç kablolarında yalıtkanların ve iletkenlerin farklı ihtiyaç alanlarında ve çok farklı ölçütler söz konusu olduğunda, malzemelerin fiziksel, elektriksel ve diğer özelliklerini dikkate alarak ihtiyaca en uygun şekilde seçiminde ve sınıflandırılmasında bulanık mantığın kullanılması, bu tezin amaç ve kapsamını oluşturmaktadır.

Eldeki verilerin çokluğu ve karmaşıklığı karşısında kısa zamanda ve doğru karar verme zorunluluğunu, insanın karar verme mantığına yakın bir şekilde yapan ve öğretilmiş yapılar olan Bulanık karar verici sistemlerle gerçekleştirmek, tezin dayanak noktasını oluşturmaktadır.

2. BULANIK MANTIK

Bulanık mantık, bir önerme ya kesin doğrudur ya da kesin yanlıştır temeline dayanan klasik mantığın yetersiz kaldığı alanlarda, bir gereksinim olarak ortaya çıkmış ve farklı bir çok alanda başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Klasik mantık sistemleri, sadece belirli koşullarda oluşan, kesin doğruluk değerleri 'doğru' ya da 'yanlış'tan birisine sahip önermelerle ilgilenirler ve belirsizlikle ilgilenmezler. Dolayısıyla klasik mantık, sadece bir sistemin matematik modelinin kesin olarak bilindiği durumlarda anlamlı sonuçlar sunabilmektedir.

Bulanık mantık, matematiksel olarak, 'çok-değerlilik' ifade etmektedir ve değişkenlerin üyelik fonksiyonları [0, 1] arasında değer almaktadır. Burada "0" bir önermenin yanlışlığını, "1" bir önermenin doğruluğunu ve [0, 1] aralığındaki değerler ise bir önermenin 'az doğru', 'çok doğru', 'çok yanlış', 'yaklaşık olarak doğru', 'yaklaşık olarak yanlış' vb. gibi olabileceğini göstermektedir.

Bulanık doğruluk kavramı, sıradan doğruluk kavramıyla benzerlikler gösterir, fakat daha geneldir ve uygulama alanı daha geniştir. Belirsizliğin, doğruluk ölçütünün keskin bir şekilde tanımlanmamasından kaynaklanan durumlardaki problemlerle uğraşmak için doğal bir yol sağlar. Çok-değerli bulanıklık, belirlenemezlik ya da belirsizliğin derecelerine, olay ya da ilişkilerin kısmi oluşlarına karşılık gelir [25].

Bulanık mantık, klasik mantığın uygulanabildiği her alanda uygulanabileceği gibi, kendi varlığının çıkış nedeni olan ve klasik mantığın yetersiz kaldığı doğrusal olmayan ve karmaşık sistemlerin kontrolünde de kullanılmaktadır. Bir sistemin bulanık modelinin çıkartılmasında, sistemden elde edilen sayısal veriler ve sistemi kontrol eden operatör deneyimlerinden faydalanılır. Matematiksel modeli oluşturmanın getireceği zorluklar düşünüldüğünde basit ve kolay anlaşılabilir bir yazılıma sahip olan bulanık mantık, bir çok uygulama alanında ön plana çıkmaktadır. Bulanık sistemler, eğitilebilir dinamik sistemlerdir. Bir fonksiyonu, çıktıların girdilere ne şekilde bağlı olduğunun matematiksel modelini bilmeksizin tahmin ederler.

2.1 Bulanık Mantığın Tarihçesi ve Uygulama Alanları

Klasik mantık sistemleri, kesin doğruluk değeri olan önermelerle uğraşır ve matematiksel sonuçlar çıkartır, belirsizliklerle ilgilenmez. Bu tür kavramlar matematiksel olarak birden fazla değer alabilen kavramlardır. Bundan dolayı mantığın "kesin doğru" ve "kesin yanlış" net değerlerinin yanına bir de "belirlenemezlik" ilkesinin eklenmesi gerekir. Bu da, "Bulanık Mantık"ın inceleme konusuna girer.

Bulanık mantık, klasik mantıkta yeralan kesin doğruluk değerlerinin yanına sözcüksel olarak "çok doğru", "kısmen doğru", "yaklaşık olarak doğru" gibi yargıları da kullanıma sunmuştur. Dolayısıyla bulanık mantık, klasik mantıktaki "doğru" ve "yanlış" kavramlarına bu ifadeleri güçlendirici ya da zayıflatıcı tanımlamalar getirmiştir.

1920'li yıllarda Heisenberg tarafından elektronların konum ve hızları hesaplanırken belirlenemezlik ilkesi ilk defa ortaya çıkartılmış olan bir kavram olup, klasik mantığın ‘doğru’ ve ‘yanlış’tan oluşan değer kümesine, bir üçüncüsü eklenerek, ‘belirlenemezlik’ de ifade edilebilir duruma getirilmiş oldu.

1930’ların başlarında Polonyalı mantıkçı Jan Lukasiewicz ilk üç-değerli mantık sistemini geliştirdi. Lukaziewicz, daha sonra doğruluk değerlerinin kümesini tüm sayılara genelleştirdi. 1930’larda kuantum filozofu Max Black, sürekli değerlere sahip mantığı, eleman düzeyinde kümelere uyguladı. Black, bulanık-küme üyelik fonksiyonlarından söz eden ilk kişi oldu.

1965’te Californiya'daki Berkeley Üniversitesi'nden Lotfi Zadeh, çok-değerli küme teorisini geliştirdi ve ‘bulanık mantığın’ bir bilim dalı olarak gelişmesine önemli katkılarda bulundu. Lofti Zadeh, Azeri asıllı bir bilim adamıdır. Uzun yıllar Californiya'daki Berkeley Üniversitesi'nde bilimsel çalışmalarda bulunmuştur. Yayınladığı bilimsel makalelerde genel olarak bulanık mantık ve yapay zeka üzerinde durmuştur. 1965 yılında, "Bulanık Mantık" üzerine hazırladığı yazılar bugünkü temel mantıksal yaklaşımlardan, karmaşık sistemlere kadar genişçe bir alanda matematiksel mantığın bulanık mantık ile önünü açmıştır.

1990’larda endüstriyel alanlardaki başarılı uygulamalar ve gelişen teknolojinin beraberinde getirdiği ihtiyaçlarla hızlı bir ivme kazanan bulanık mantık, günümüzde özellikle mühendislik bilimleri ve tıp alanında kullanılmaktadır (elektronik ev eşyaları,

bilgisayarlar, uçaklar, füzeler, çimento sektörü vb.). Zadeh'e göre, bulanık mantık kullanımında eğilimler yapay sinir ağları ile birlikte hesaplamalar ve genetik algoritma kullanımı yönünde gelişerek devam edecektir [26].

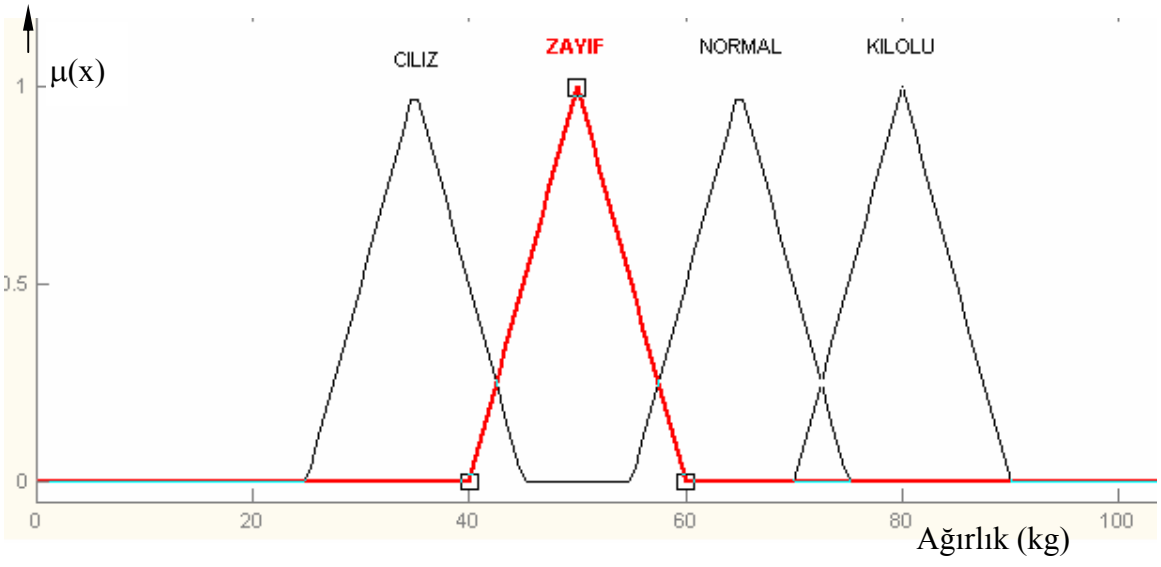
2.2 Temel İşlemler ve Bulanık Küme Kavramı

Bulanık küme kuramı, 'belirsizlik'in bir tür biçimlenişi, formüllendirilmesidir. Bir çeşit çok-değerli küme kuramıdır. Fakat işlemleri, diğer küme kuramlarından farklılıklar gösterir.

Kümedeki her bir birey, çift-değerli küme kuramlarında olduğu gibi 'üye' ya da 'üye değil' olarak değil, [0, 1] arasında almış olduğu üyelik derecesi oranında bir üye olarak görülür. Bir elemanın herhangi bir kümedeki üyelik derecesi '0.75' ise ilgili eleman kümeye %75 aittir. Eğer elemanın üyelik derecesi '0' ise eleman o kümeye ait değildir. Eğer küme elemanın üyelik derecesi '1' ise eleman o kümeye tamamen (%100) aittir.

Örneğin, Ahmet, Burak, ve Celil'in sırasıyla 65 kg, 74 kg ve 80 kg ağırlığındaki üç yetişkin insan olduğunu düşünelim. Kilo kavramı ile ilgili olarak mevcut kümeler ve bu kişilerin ilgili kümelerdeki üyelik dereceleri Şekil 2.1'deki gibidir.

$$\mu_{normal} = \{ \frac{1}{Ahmet} + \frac{0.1}{Burak} + \frac{0}{Celil} \} \tag{2.1}$$



Şekil 2.1: Ağırlık kümeleri ve üyelik fonksiyonları

Normal kiloya ilişkin ‘normal kilolular’ kümesi (2.1) eşitliğindeki gibidir.

Şekil 2.1’den de görülebileceği üzere, Burak normal kilolular kümesinde “0.1” üyelik derecesine, kilolular kümesinde ise “0.4” üyelik derecesine sahiptir. Dolayısıyla bir eleman, üyelik fonksiyonunun değerine bağlı olarak birden fazla kümenin üyesi olabilmektedir. Celil ise normal kilolular kümesinde “0” üyelik derecesine sahiptir.

Yukarıda verilen örnekteki bulanık kümede, üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmış olup tanımı (2.2)'de verildiği gibidir. Bununla birlikte, gaussian, trapozoidal (yamuk), cauchy, sinusoidal, sigmoid üyelik fonksiyonları da bulanık kontrol uygulamalarında kullanılmaktadır.

$$\text{Üçgen}(\xi;\ \xi_1,\ \xi_2,\ \xi_3) = \begin{cases} 0 & \xi_1 \geq \xi \\ \dfrac{\xi - \xi_1}{\xi_2 - \xi_1} & \xi_2 \geq \xi \geq \xi_1 \\ \dfrac{\xi_3 - \xi}{\xi_3 - \xi_2} & \xi_3 \geq \xi \geq \xi_2 \\ 0 & \xi \geq \xi_3 \end{cases} \qquad (2.2)$$

X1 ve X2, X evreninde tanımlanmış iki bulanık küme olsun. μ_{X1} ve μ_{X2} sırasıyla, X1 ve X2 bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonları olmak üzere, kesişme, birleşme ve tümleme (değilleme) işlemleri (2.3), (2.4) ve (2.5)’te belirtildiği gibidir.

- Kesişme işlemi:

$$\mu_{X1 \cap X2}(x) = \text{en-küçük } \{\mu_{X1}(x),\ \mu_{X2}(x)\} \qquad (2.3)$$

- Birleşme işlemi:

$$\mu_{X1 \cup X2}(x) = \text{en-büyük } \{\mu_{X1}(x),\ \mu_{X2}(x)\} \qquad (2.4)$$

- Tümleme işlemi:

$$\mu_{X1}^{-}(x) = 1 - \mu_{X1}(x) \quad (2.5)$$

Bulanık mantıkta, değişkenlerin üyelik fonksiyonları [0, 1] aralığında değer aldığında, bir önermenin 'az doğru', 'çok doğru', 'çok yanlış', 'yaklaşık olarak doğru', 'yaklaşık olarak yanlış' vb. gibi, değerler alabilmesi mümkün olup, matematiksel ifadeleri B, Y evreninde tanımlanmış bir bulanık küme olmak üzere (2.6), (2.7) ve (2.8)'de belirtildiği gibidir [27].

- Çok:

$$\mu_{ÇOK(B)}(Y) = \{\mu_B(Y)\}^2 \quad (2.6)$$

- Az - çok:

$$\mu_{AÇ(B)}(Y) = \{\mu_B(Y)\}^{0.5} \quad (2.7)$$

- Değil:

$$\mu_B^{-}(Y) = 1 - \mu_B(Y) \quad (2.8)$$

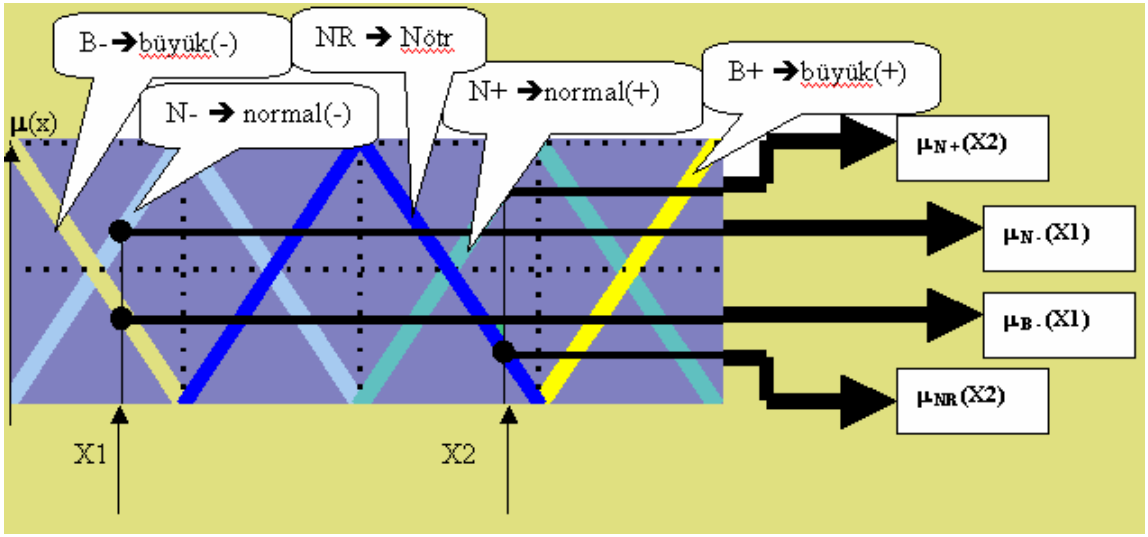
Bulanık mantık tabanlı bir denetleyici, genel olarak üç kısımdan oluşur. Bunlar sırasıyla, bulanıklaştırıcı, kural tablosu ve durulaştırıcı olup akış diyagramı EK-A'daki gibidir.

2.2.1 Bulanıklaştırıcı

Bulanık süreçte ilk aşama bulanıklaştırma aşamasıdır. Giriş değerleri, bulanıklaştırıcı (fuzzifier) tarafından bulanık duruma getirilerek bir sonraki aşamaya sunulur.

Şekil 2.2'de görülen bulanıklaştırıcının görevi, giriş işaretleri olan X1 ve X2'nin, NR ➔ nötr, B- ➔ büyük(-), N- ➔ normal(-), B+ ➔büyük(+), N+ ➔ normal(+) bulanık kümelerine üye olup olmadıklarını belirlemek ve eğer üyeyse de üyelik derecesini ortaya çıkarmaktır.

Şekil 2.2'de X1 girişinin B- ve N- bulanık kümelerinde, X2 girişinin ise NR ve N+ bulanık kümelerinde üyeliğe sahip oldukları görülür. Sonuç olarak, bulanıklaştırıcı çıkışında $\mu_{B-}(X1)$, $\mu_{N-}(X1)$, $\mu_{NR}(X2)$ ve $\mu_{N+}(X2)$ ilgili üyelik dereceleri ortaya çıkar ve bunlar da kural tablosuna işlenmek üzere iletilirler.



Şekil 2.2: Bulanıklaştırıcı ve çalışma ilkesi

2.2.2 Kural Tablosu:

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

Elde edilen üyelik değerleri, X1 ve X2 girişlerinin ait oldukları bulanık kümedeki bulanıklılık dereceleridir. Kural tablosunda verilen kurallar, sözel olarak:

IF(eğer) < condition (önerme) > THEN (öyleyse) < output (bulanık önerme) > (2.9)

şeklinde ifade edilir.

Bu ifade sadece tek bir kural için geçerli olup, birden fazla kuralın söz konusu olması durumunda birbirlerine ELSE veya ELSE IF ifadeleri ile bağlanabilirler.

Şekil 2.2'deki bulanıklaştırıcı çıkışları için örnek bir kural tablosu, (2.10), (2.11), (2.12), ve (2.13)'te olduğu gibi tanımlanabilir:

Kural 1 if $\mu_{N-}(X1)$ and $\mu_{N+}(X2)$ then $\mu_{N-}(X3)$ else (2.10)

Kural 2 if $\mu_{N-}(X1)$ and $\mu_{NR}(X2)$ then $\mu_{NR}(X3)$ else (2.11)

Kural 3 if $\mu_{B-}(X1)$ and $\mu_{N+}(X2)$ then $\mu_{N+}(X3)$ else (2.12)

Kural 4 if $\mu_{B-}(X1)$ and $\mu_{NR}(X2)$ then $\mu_{B+}(X3)$. (2.13)

Burada kullanılan and terimi AND (VE) bağlacı olup, küme işlemlerinde kesişim işlemine karşılık düşer. Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları dikkate alındığında bu AND bağlacı bir minimum alma işlemidir. Dolayısıyla (2.10), (2.11), (2.12) ve (2.13)'te and ile birbirine bağlanan terimlere minimum alma işlemi uygulandığında, üyelik fonksiyonlarına bağlı olarak aşağıda yazılan ifadeler elde edilir.

Kural 1 $\min[\mu_{N-}(X1), \mu_{N+}(X2)] = \mu_{N-}(X3)$ (2.14)

Kural 2 $\min[\mu_{N-}(X1), \mu_{NR}(X2)] = \mu_{NR}(X3)$ (2.15)

Kural 3 $\min[\mu_{B-}(X1), \mu_{N+}(X2)] = \mu_{N+}(X3)$ (2.16)

Kural 4 $\min[\mu_{B-}(X1), \mu_{NR}(X2)] = \mu_{B+}(X3)$. (2.17)

Bu denklemler kısaca ifade edilirse:

$$\mu(X3) = \min[\mu(X1), \mu(X2)] \quad (2.18)$$

yazılabilir. Bu ifade aslında X1 ve X2 uzayları arasındaki ilişkiyi temsil eder ve kartezyen çarpım olarak

$$X3 = X1 \times X2 \quad (2.19)$$

şeklinde yazılabilir. Dolayısıyla (2.14), (2.15), (2.16) ve (2.17)'de verilen ifadeler X1 ve X2 uzayları arasındaki bulanık ilişkiyi verir. Bulanık ilişkiler genellikle tablolar, ilişki diyagramları veya matrislerle temsil edilirler.

Belirtilen örnekten de anlaşılacağı gibi X1 ve X2 uzayları arasındaki ilişkiyi temsil eden X3 kartezyen çarpımı sonucunda, X1 ve X2 uzaylarında tanımlı olan bulanık kümeler iki boyutlu bir bulanık küme olarak X3 uzayına taşınırlar. Bu ilişki, üyelik fonksiyonlarına bağlı olarak, tablo biçiminde yazılabilir.

Tablo 2.1 Üyelik fonksiyonları ile temsil edilen kural tablosu

KURAL TABLOSU	$\mu_{N+}(X2)$	$\mu_{NR}(X2)$
$\mu_{N-}(X1)$	$\mu_{N-}(X3)$	$\mu_{NR}(X3)$
$\mu_{B-}(X1)$	$\mu_{N+}(X3)$	$\mu_{B+}(X3)$

Tablo 2.2 Üyelik fonksiyonları ile temsil edilen genelleştirilmiş kural tablosu

GENELLEŞTİRİLMİŞ KURAL TABLOSU	X2
X1	X3

Kural tablolarında yukarıda verilen örnekteki gibi AND işlemi kullanılabileceği gibi, farklı fonksiyonlar da kullanılabilir.

Bunlardan bazıları:

Birleşme:

$$X1 \vee X2 = \text{en-büyük } \{X1, X2\} \tag{2.20}$$

Sınır Toplamı:

$$X1 \oplus X2 = \text{en-küçük } \{1, X1 + X2\} \tag{2.21}$$

Cebirsel Toplam:

$$X1 + X2 = X1 + X2 - X1.X2 \tag{2.22}$$

Drastik Toplam:

$$X1 \cup X2 = \begin{cases} X1 & X2 = 0 \\ X2 & X1 = 0 \\ 1 & X1, X2 < 0 \end{cases} \quad (2.23)$$

Drastik Çarpım:

$$X1 \cap X2 = \begin{cases} X1 & X2 = 1 \\ X2 & X1 = 1 \\ 0 & X1, X2 < 0 \end{cases} \quad (2.24)$$

Sınır Çarpımı:

$$X1 \otimes X2 = \text{en-büyük } \{0, X1 + X2 - 1\} \quad (2.25)$$

Ayırma Toplamı:

$$X1 \Delta X2 = \text{en-büyük}\{\text{en-küçük}(X1, 1 - X2), \text{en-küçük}(1 - X1, X2)\} \quad (2.26)$$

2.2.3 Durulaştırma

Kural tablosu 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. Bulanık denetim algoritmasının son aşaması olan durulaştırıcıda bilinen durulaştırma yöntemlerinden uygun olan biri kullanılarak bu işlem yapılır. Bunlardan en çok bilinenleri;

- Alanların merkezi yöntemi (COA)

- İki bölge yöntemi (BOA)

- Maksimumların ortalaması (MOM)

- Maksimumların en küçüğü (SOM)

- Maksimumların en büyüğü (LOM)

- Sugeno bulanık modelleri

- Tsukamoto bulanık modelleri

Alanların merkezi yöntemi, durulaştırma işleminde en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Durulaştırıcı çıkışı $z_ç$ olmak üzere, alanların merkezi yöntemi aşağıdaki şekilde uygulanır:

$$z_ç = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mu_i(z_i) * z_i}{\sum_{i=1}^{n} \mu_i(z_i)} \tag{2.27}$$

Yukarıdaki formülasyonda i kural numarasını, n ise kural sayısını belirtmektedir.

3. KABLOLAR HAKKINDA GENEL BİLGİ

3.1 Kabloların Sınıflandırılması

Kablolar, elektrik gücünü ileten ve elektrik aygıtlarını bu amaçla birbirine bağlamaya yarayan bağlantı elemanlardır. Kablolar, genel olarak üç ana sınıfta incelenirler.

3.1.1 F-kablolar

Normal ve hafif işletme koşullarına dayanıklı devinebilen kablolardır. Yeraltına, sıva içine veya sıva altına döşenmezler. F-kablolar:

- Damar iletkenin malzemesine göre yalnız bakır,
- Yalıtkan malzemesine göre lastik yalıtkanlı ve termoplastik (PVC) yalıtkanlı,
- Kablonun biçimine göre yuvarlak ve yassı,
- Damar iletkenindeki tel sayısına göre sadece çok telli,
- Tellerin incelik derecesine göre ince telli, çok ince telli ve şerit telli,
- Damar sayısına göre sadece çok damarlı,

3.1.2 N-kablolar

Normal ve hafif işletme koşullarına dayanıklı, sabit döşenen iç tesisat (döşem) kablolarıdır. Yeraltına döşenmezler. 16 mm^2 (16 mm^2 dahil) ye kadar bir telli (som) yapılabilirler. 16 mm^2 den sonra çok tellidir. N-kablolar:

- Damar iletkenin malzemesine göre yalnız bakır,
- Yalıtkan malzemesine göre lastik yalıtkanlı, ve termoplastik (PVC) yalıtkanlı,

- Kablonun biçimine göre yuvarlak, ara şeritli ve yassı,
- Damar iletkenindeki tel sayısına göre bir telli (som) ve çok telli,
- Tellerin incelik derecesine göre ince telli ve normal telli,
- Damar sayısına göre bir damarlı ve çok damarlı,

olmak üzere alternatiflere sahiptir.

3.1.3 Y-kablolar

Maden ocakları gibi mekanik ve kimyasal etkilerin fazlaca olduğu ağır işletme koşullarına dayanıklı, yeraltına, beton kanala veya duvara sabit olarak döşenen güç kablolarıdır. Bu kablolara yeraltı kablosu da denilmektedir. Y-kablolar açıkta, bina içinde, yeraltında ve su altında kullanılabilir. Su altında kullanılacak olan Y-kabloların seçiminde tatlı su ile sığ ve derin su koşulları gözönünde bulundurulur. Y-kablolar:

- Damar iletkenin malzemesine göre yalnız bakır ve alüminyum,
- Yalıtkan malzemesine göre termoset yalıtkanlı ve termoplastik (PVC) yalıtkanlı,
- Anma gerilimine göre alçak ve orta gerilim,
- Metal kılıfı bulunmasına göre kurşun kılıflı,
- Sarmal bakır sargı bulunmasına göre sarmal bakır sargılı,
- Bakır siper bulunmasına göre bakır siperli,
- Zırh bulunmasına göre çelik zırhlı,
- Damar iletkeninin kesit biçimine göre daire kesitli, kesme kesitli,
- Damar iletkenindeki tel sayısına göre bir telli ve çok telli,
- Damar sayısına göre bir damarlı ve çok damarlı,

olmak üzere alternatiflere sahiptir.

Şekil 3.1'de görülen kablo, elektrik alanı düzgünleştirici, iç ve dış lastik yarıiletken tabakalı, yağa ve aleve dayanıklı, bir orta gerilim güç kablosudur.



Şekil 3.1: Bir orta gerilim güç kablosu örneği

1- Kalaylı, ince çok telli bakır iletken
2- İç yarı iletken tabaka
3- EPR yalıtkan kılıf
4- Dış yarı iletken tabaka
5- Kloropren-kauçuk dış kılıf

3.2 Kablolarda Kullanılan Simgeler

Kablolar standart simgelerle tanımlanmaktadır. Simgeler, kablonun kullanılma amacını, çalışma koşullarını, damar ve iletken malzemenin özelliklerini ve kablonun anma gerilimini belirten harf ve rakamlardan oluşmaktadır. Kablo simgelerinde, kabloyu oluşturan malzemelere ilişkin harf ve rakamlardan oluşan simgeler, yalıtkan kılıftan itibaren başlanarak içten dışa doğru sıralanır.

TS 621, kablo simgelerini belirleyen harflere ilişkin bir standarttır. TS 621'de kablonun kullanım amacı ve yeri, işletme koşulu ve döşeme biçimi, iletken malzeme, yalıtkan malzeme, kılıf, sargı, siper, zırh, dış kılıf, dış etkilere dayanıklılık, kablonun özel biçimi, damar iletkeninin kesit biçimi, damar iletkeninin tel sayısı, tellerin incelik derecesi ve koruma damarlarına ilişkin bilgi veren simgesel harfler ve bunların anlamları yeralmaktadır.

Üç kısımdan oluşan kablo simgelerinde görülen harf ve rakamların anlamı şu şekildedir:

Birinci bölüm, kablonun kullanma amacını ve yerini belirten bölümdür.

İkinci bölüm, kablonun kullanıldığı işletme koşullarını, döşeme biçimini ve yapısını oluşturan katmanları oluşturan bölümdür.

Üçüncü bölüm, kablonun damar sayısını, kesitini, anma gerilimini ve diğer özelliklerini belirten bölümdür.

Simgenin ilk harfi olarak kablonun kullanma amacını belirten harf konulur. Örneğin, sinyal ve kumanda kabloları için S, telefon kabloları için T harfi başa yazılır. Kablo, ayrıca yeraltı maden ocaklarında kullanılacak türdense ve simgede bu özelliğin de belirtilmesi gerekiyorsa başa ayrıca O harfi eklenir. Böylece simgenin birinci bölümü OT olur. Güç kabloları için harf kullanılmaz ve birinci bölüm boş geçilir.

İkinci olarak işletme koşulunu belirten harf gelir. Örneğin, ağır işletme koşullarına dayanıklı sinyal kabloları için ikinci harf Y olduğundan simgenin ilk iki harfi SY olur.

Ardından iletken malzemesini belirten harf gelir. Örneğin, alüminyum iletken için A harfi konulur ve simge SYA olur. Bakır iletkenler için harf simge kullanılmaz ve simge SY olarak kalır.

Daha sonra, yalıtkan kılıfın malzemesini belirten harf gelir. Örneğin, alüminyum iletkenli ve termoplastik (PVC) yalıtkanlı kablolar için simge SYAV olur.

Bu harflerden sonra, kabloda yeralan siper, zırh ve benzeri katmanları belirten harfler yalıtkan kılıftan başlanarak içten dışa doğru sıralanır. Örneğin, yalıtkan kılıfı PVC olan, yassı çelik tel zırhlı ve zırhın üzerinde uygun bir madde sürülerek pasa karşı korunmuş olan bakır iletkenli bir güç kablosu YKŞ-p simgesiyle belirtilir. Birinci ve ikinci bölümü oluşturan yukarıdaki harflerden sonra, kablonun damar sayısının yanına çarpı konularak her bir damar iletkeninin mm^2 olarak anma kesiti yazılır. Örneğin, YVV 3x70. Düşük kesitli iletken de varsa o da eklenir. Örneğin, YVV 3x70/35 gibi.

Damar çiftleri 2x yazılarak belirtilir. Örneğin, damar iletkeninin kesiti 0.75 mm^2 olan ve 7 çift damarı bulunan kablo için 7x2x0.75 yazılır.

Y tipi kablolarda damar sayısını ve damar iletkeninin kesitini belirten sayılardan sonra, damar iletkeninin kesit biçimini, damar iletkeninin çok telli olduğunu belirten harfler konulur. Örneğin, damar iletkeni kesme kesitli ve çok telli ise simge YAVV 3x70sç/35 dir.

Simgenin en sonuna kablonun anma gerilimi yazılır. Örneğin, YVV 3x70/35sçm 0,6/1 kV.

YE_3MV-I 3x70ç/35 simgesi, açıklayıcı bir örnek olarak ele alındığında:

Y: Ağır işletme koşullarına dayanıklı güç kablosu

E_3: XLPE yalıtkan kılıf

M: Sarmal bakır sargı

-I: PVC dış kılıf

3x: Üç adet damar

70: İletkenin kesiti 70 mm^2

ç: Yuvarlak çok telli iletken (ş harfi sıkıştırımış iletkeni belirtir)

35: Sarmal bakır sargının kesiti 35 mm^2

3.3 Kablolarda Anma Gerilimi

3.3.1 F ve N- tipi kablolarda Anma Gerilimi

Bu iki tip kabloda:

U_0: Faz iletkeniyle toprak arasındaki gerilimin etkin değeridir [Volt].

U: İki faz iletkeni arasındaki gerilimin etkin değeridir [Volt].

Alternatif akım tesisatlarında, kablonun anma gerilimi tesisatın anma gerilimine eşit ya da büyük olmalıdır.

Doğru akım tesisatlarında, tesisatın anma gerilimi kablonun anma geriliminin 1.5 katına kadar olabilir.

Sürekli işletme gerilimleri, kabloların anma gerilimlerinin:

Alternatif akım tesisatlarında 1.15, doğru akım tesisatlarında 1.725 katından, iletkenlerinden biri topraklanmış olan bir fazlı alternatif akım tesisatlarında 0.664, doğru akım tesisatlarında ise 0.862 katından fazla olmamalıdır.

3.3.2 Y- tipi kablolarda Anma Gerilimi:

Y-tipi kablolarda:

U_0: Faz iletkeniyle metal kılıf, siper ya da toprak arasındaki gerilimin etkin değeridir [kV].

U: Üç fazlı durumda faz iletkenleri arasındaki gerilimin etkin değeridir [kV].

$$U = \sqrt{3}\, U_0 \qquad (3.1)$$

Üç fazlı sistemin gerilimi anma geriliminin:

- Üç fazlı alternatif akım tesisatlarında, anma gerilimi 8.7/15 kV'a kadar olan kablolarda 1.15, 20.3/35 kV kablolarda ise 1.20 katından,
- İletkenlerden her ikisi de topraklanmamış bir fazlı alternatif akım tesisatlarında, anma gerilimi 20.3/35 kV'a kadar olan kablolarda 1.328U'dan
- İletkenlerden biri topraklanmamış bir fazlı alternatif akım tesisatlarında, anma gerilimi 20.3/35 kV'a kadar olan kablolarda 0.664U'dan büyük olmamalıdır.

3.4 Kablo İletkenleri

F ve N-tipi kablolarda bakır iletkenler, Y- tipi kablolarda ise bakır ya da alüminyum iletkenler kullanılmaktadır. Bakır iletkeni oluşturan teller TS 18'e göre tavlanmış som elektrolitik bakırdır. Damar iletkeni bir telli veya çok telli olabilir.

Bir telli iletken dairesel veya biçimlendirilmiş bir tek telden oluşan som iletkendir. Çok telli iletken ise tümü veya bir kısmı sarmal sarılmış olan, birden çok telden oluşan iletkendir. Teller arasındaki boşlukların azaltılması ve iletken çapının küçültülmesi için teller biçimlendirilerek biraraya getirildiğinde ise sıkıştırılmış iletken adını alırlar.

Damar iletkenleri daire veya kesme kesitli olmak üzere iki türlüdür. Kesiti daire biçiminde olan iletkene daire kesitli iletken denir ve F ve N–tipi kablolarda genellikle bu tür iletkenler kullanılmaktadır. Kesiti daire kesmesi biçiminde olan iletkene kesme kesitli iletken denir.

Çok telli iletkeni oluşturan teller incelik derecesine göre normal, ince ve çok ince olmak üzere üçe ayrılırlar. F–tipi kablolarda bükülgenlik önemli olduğundan tüm kesitler çok ince tellidir. N–tipi kablolar döşenme sırasında zorlandığından, 16 mm^2 ve daha büyük kesitler için çok tellidir. Y–tipi kablolar 25 mm^2 ve daha büyük kesitler için çok tellidir.

3.5 Kablolar ve Yalıtkan Malzemeler

Yalıtkanlar, kabloların yapısında yeralan ve gerilime dayanmayı sağlayan yalıtıcı malzemelerdir.

İlk yalıtkan malzeme 1834 yılında keşfedilen Gütaperka (Gutta-percha)'dır. Doğal bir kauçuk olan Gütaperka, Malezya gibi bir takım ülkelerde bulunan ağaçlardan alınan bir suyun kaynatılıp, kemiksi bir form almasıyla elde edilmiştir. Termoset bir malzemedir. Kağıt, yağlı kağıt, yağ, gaz (N) kablolarda kullanılan diğer yalıtkan malzemelerdir.

F ve N-kablolarda yalıtkan olarak doğal kauçuk ve yapay malzemeler, Y-kablolarda ise emdirilmiş kağıt ve polimerler kullanılmaktadır. Emdirilmiş kağıt, çok yüksek gerilimli kablolarda oldukça vazgeçilmez olmasına karşın 35 kV ve daha alt seviyelerdeki Y-kablolarda yerini polimerlere bırakmıştır.

Polimerler fiziksel özelliklerine göre; doğal malzemeler ve yapay malzemeler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Termoset polimerler (duromerler) ve termoplastikler (plastomerler) yapay malzemeler sınıfına dahildir. Elastomerler ise, hem doğal malzemeler hem de yapay malzemeler sınıfına dahildir. Elastomerlerin çapraz bağlama (vulkanizasyon) sonunda esneklik özellikleri geliştirilmiştir.

Termoplastikler genellikle sünektir, kırılmadan önce şekil değiştirirler. Mekanik özellikleri yükleme hızına, yükleme süresine ve sıcaklığa önemli ölçüde bağlıdır. Oda sıcaklığında sabit gerilme altında sünme nedeni ile sürekli şekil değiştirirler. Plastomerler, yüksek sıcaklıklarda plastik olarak şekil değiştirilebilen, soğutulduğunda ise sertleşen fakat yeniden ısıtıldığında plastik özelliği kazanan makromoleküler malzemelerdir.

Termoset plastikler ise gevrektir, plastik şekil değiştirme olmadan kırılır. Sıcaklık artınca mukavemetleri azalır fakat yumuşamazlar. Aşırı sıcaklıkta ayrışırlar ve kavrulurlar. Plastiklerin esneklik modülleri küçüktür, genellikle metallerin 1/100'ü kadardır.

Polimerlerde molekül zincirlerinin boyu büyük ve yanal atom veya molekül gruplarının boyutu ve sayısı yüksek ise birbirleri ile dolaşık halde olan zincirlerin hareketi daha çok kısıtlanır. Bunun sonucu olarak şekil değiştirme direnci ve mukavemet artar, sünme ise azalır. Ayrıca komşu moleküller arasında oluşan çapraz bağlar ve ağaçlanma olayı şekil değiştirme direncini yani rijitliği önemli ölçüde etkiler.

Kauçukta molekül zincirleri çok uzun olup bükülmüş ve kangal şeklinde dolanmış durumdadır. Yük uygulanınca bağ açıları döner, bükümler açılır ve sonuçta % 700-1000 düzeyinde elastik şekil değiştirme görülür, yük kalkınca zincirler tekrar ilk haline dönerler. Bu davranışlarından dolayı bu tür polimerlere elastomerler denir. Duromerler, kritik sıcaklığın üzerinde ısıtıldıklarında sertleşen ve geri dönüşlü plastik özelliğine sahip olmayan polimerlerdir.

Bu sınıflara girmeyen yalıtkan malzemeler de kablo yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar kritik ergime noktalarının üzerinde elastomerler gibi davranan çapraz bağlı poliolefinler (çapraz bağlı polietilen buna bir örnek olarak verilebilir) içerir. Bu sınıfta ayrıca, işlem sıcaklığında termoplastik ve işletme sıcaklığında elastomer özelliği gösteren termoplastik elastomerler de vardır.

3.5.1 Yalıtkan Malzemeler ve Dielektrik Özellikleri

Yalıtkan olarak kullanılacak bir malzemenin özdirenci ve delinme dayanımı yüksek, dielektrik sabiti ise küçük olmalıdır. Yalıtkan malzemelerin özdirenci 10^{10} ohm.m'nin üzerinde, delinme dayanımı ise 10-20 kV/mm arasındadır.

İletkenlerin yalıtımı için en uygun malzeme polimerlerdir. Üretilmeleri kolay ve ucuz olmalarına rağmen yüksek sıcaklıklarda uygulamalarda pek uygun değildirler. Özellikle termoplastikler sıcaklıkla kolay yumuşarlar.

3.5.1.1 Dielektrik Sabiti

Elektriksel kutuplaşma, malzeme yüzeyinde yük birikimine neden olur. Dielektrik malzemede kalıcı kutuplaşma varsa yük birikimi kendiliğinden oluşur. Kalıcı kutuplaşma olmayan bir elemana elektrik alanı uygulanınca dış etki ile kutuplaşma meydana gelir. Dolayısıyla, yüzeyde elektriksel yük birikimi oluşur. Her iki durumda da yüzeydeki yük yoğunluğu elektrik alan şiddeti ile orantılıdır.

Elektriksel yük yoğunluğu q, $1cm^2$'de biriken elektron sayısı olarak tanımlanır. Birbirine paralel iki iletken levha arasındaki uzaklık (elektrot açıklığı) a (cm) ve uygulanan gerilim U (Volt) ise aralarındaki elektrik alan şiddeti:

$$E = U / a \tag{3.2}$$

olur. Levhalar arasında boşluk varsa elektriksel yük yoğunluğu:

$$q_0 = \varepsilon_0 * E \tag{3.3}$$

dir. Eğer iletken levhalar arasında herhangi bir malzeme varsa, elektriksel yük yoğunluğu

$$q_m = \varepsilon_m * E \tag{3.4}$$

dir. Burada, ε_m malzemenin dielektrik sabitidir. ε_m büyüdükçe kablonun kapasitesi C_k'da artar. C_k arttıkça kapasitif reaktansı $X_k = 1 / \omega C_k$ azalır. X_k azaldıkça kablonun

çektiği akım (I) artar ve kayıp enerji artmış olur. Belirtilen ifadeler formülize edilecek olursa:

$$\varepsilon_m \sim C_k \tag{3.5}$$

$$X_k = 1 / \omega C_k \tag{3.6}$$

$$I = U / X_k \tag{3.7}$$

Tablo 3.1'de, bazı malzemelerin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.1 Bazı malzemelerin fiziksel özellikleri

MALZEME	Dielektrik Sabiti ε	Özdirenç (ohm-m)	Delinme Dayanımı (kV/mm)
Polietilen	2.3	10^{14}	20
Bakalit	7.5	10^{10}	12
Teflon	2.1	10^{12}	-
Polistiren	2.5	10^{16}	20
Polivinil Klorür	7	10^{14}	-
Kauçuk	7	-	20
Cam	7	10^{13}	10
Mika	7	10^{11}	40

3.5.1.2 Delinme Dayanımı

Elektriksel yalıtkanın temel özelliği özdirençtir. Gerçekte bir yalıtkanın dayanabileceği bir kritik elektriksel alan şiddeti vardır. Bu değer aşılınca aşırı akım sonucu yalıtkan malzeme yanma, kavrulma veya ergime şeklinde tahrip olur ve yalıtkanlık işlevi sona erer. Alanın bu kritik değerine delinme dayanımı denir. Bu nedenle yalıtkan malzemelerin delinme dayanımının yüksek olması önemlidir.

3.5.1.3 Frekans ve Sıcaklığın Dielektrik Özelliklere Etkisi

Elektrik alanı ile kutuplaşma yani yük yoğunluğu değişimi eşzamanlı ise bir periyot boyunca enerji kaybı olmaz. Eğer kutuplaşma alanın gerisinde kalırsa δ farkı oluşur. Bu faz farkı frekansa ve sıcaklığa bağlıdır. Dielektrik sabitinin maksimum olduğu frekansa rölaksasyon frekansı denir ve tersine de rölaksasyon süresi denir. Rölaksasyon frekansı malzemenin rezonans frekansına karşılık gelir. Rölaksasyon frekansından yüksek frekanslarda ise dielektrik sabiti hızla azalır.

Polimerlerde sıcaklık arttıkça dielektrik sabit hızla artar ki bu da istenen bir durum değildir. Ancak sıcaklık daha da artırılırsa ısıl titreşimler artar ve dielektrik sabit azalır. Aynı sıcaklıkta frekans arttıkça dielektrik sabit de artar. Frekans büyüdükçe kapasitif reaktans X_k azalır. X_k azalırsa kablonun çektiği akım (I) artar ve kayıp enerji artmış olur.

3.5.2 Kablolarda Sıklıkla Kullanılan Yalıtkan Malzemeler

Kablo yapımında kullanılan en önemli malzemelerden biri polimerler olup, bu malzemeler termoplastikler, elastomerler ve duroplastikler olmak üzere üç ana gruptan oluşmaktadır:

3.5.2.1 Termoplastikler (Plastomerler)

Aşağıda, kablo yalıtkanı olarak sıklıkla kullanılan Termoplastik malzemeler yeralmaktadır:

PVC: Polivinilklorür

PE: Polietilen

EEA: Etilen-etil-akrilit

EVA: Etilen-vinil-asetat kopolimer (VA <= % 30)

EBA: Etilen-butil-akrilit

PP: Polipropilen

PA: Poliamid

ETFE: Etilen-tetrafluoretilen kopolimer

FEP: Tetrafluoretilen-heksafluorpropilen kopolimer

XLPE: Çapraz bağlı polietilen

Ayrıca, polifin ve doğal kauçuk karışımları, termoplastik poliüretan ve poliester de termoplastikler sınıfındandır. Termoplastikler, elastomerlerin ve termoset polimerlerin aksine belirli sıcaklık aralığında tekrarlanabilir olarak soğumayla sertleşen, ısınmayla yumuşayan, yumuşadığında kalıplama ve püskürtmeyle biçimlendirilen plastik özelliğe sahiptir. Termoplastik, lineer veya dallı moleküllerden oluşur. Termoplastik, polietilen plastiklerin içinde yapısı en basit olandır.

Etilenin yüksek basınç polimerizasyonunda (HDPE), zincir molekülleri yan alkil kümeleriyle şekillenmiştir. Düşük basınçlı iyonik polimerizasyon (LDPE), çok az dallı lineer zincirlere yolaçar. Polietilenin zincir molekülleri az dallı ise kristalleşme daha fazla olabilir. Kristalleşmenin artmasıyla ergime sıcaklığı, çekme kuvveti, young modülü (katılık), sertlik ve çözücülere karşı direnç artar. Öte yandan, darbe direnci germe çatlamaları ve saydamlık azalır.

Tüm termoplastikler gibi poliolefinler de (polietilen ve polipropilen bunlara örnek olarak verilebilir) değişik boyuttaki makromoleküllerin karışımından meydana gelir. Ortalama moleküler ağırlığı ile seçilen uygun polimerizasyon koşullarında ve belli sıırlar içinde moleküler ağırlık dağılımı denetlenebilir. Ortalama moleküler ağırlığın ve moleküler ağırlık dağılımını mekanik özellikler üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Zincir uzunluğunun artmasıyla çekme dayanımı, yırtılmadaki uzama ve darbe dayanımı ve de plastikleşmiş malzemenin akışkanlığı da artar. Ergime akışkanlığının artması malzeme üzerinde çalışmayı güçleştirir.

Termoplastiklerden, kullanma koşullarına uygun plastikler yapılabilmektedir. Standart termoplastik olan PVC'ye ve PE'ye ek olarak, kopolimer olabilen monomerler ve etilenin doğrudan polimerizasyonu ile elde edilen termoplastikler ve elastomerler de kablo yapımında önemli yer tutmaktadır.

Polivinil klorür (PVC)

İç tesisat kablolarında ve bükülgen kablolarda yalıtkan malzeme olarak polivinilklorür önemli bir yere sahiptir. Başlama maddesi olan vinilklorür, genellikle etilenin

klorlanmasıyla elde edilir. Bu emülsiyon (E-PVC), suspensiyon (S-PVC) ve madde polimerizasyonu (M-PVC) yöntemiyle polivinil klorüre dönüştürülür.

Kablo yapımında kullanılan PVC, genellikle suspensiyon yöntemiyle elde edilir. Polimerizayon soucunda elde edilen saf PVC hizmet sıcaklığında sert ve kırılgan, aynı zamanda ısıl bakımdan kararsız olduğundan kullanışlı değildir. Yalıtkan malzemeler için gerekli olan elektrik, mekanik ve ısıl özelliklerle birlikte iyi işlemsel özellikler katkı maddelerinin eklenmesiyle elde edilir.

En önemli katkı maddeleri plastikleştiriciler, stabilizerler, dolgular ve yumuşatıcı yağlardır. Plastikleştirici olarak normalde kulanılan DOP (di-2-etilheksifitaleyt) veya DIDP (diizodesilfitaleyt) gibi organic asit esterleridir. Azeleyn veya sebasis asit esterleri özellikle soğuğa karşı direnç kazandıran bileşiklerdir. Bunlar yüksek hizmet sıcaklıklarında trimellit asit esterleri veya polyester plastikleştiricileri içerir.

Stabilizerler, hizmet ve işlem sırasında PVC bileşiği üzerinde ısıl ve ısıl oksitlenme bakımından kararlılık sağlar. Kural olarak, bazik kurşun sülfat veya kurşun fitaleyt gibi kurşun tuzları stabilizer olarak kullanılır. Oksitlenme önleyiciler de, örneğin oksitlenme ile plastikleştiricinin bozulmasını önlemek için ayrıca gereklidir.

Dolgular özelliklerin karışımını sağlamak amacıyla kullanılır. PVC bileşiklerinde kullanılan dolgular genellikle kalsiyum karbonat ve kaolindir. Yumuşatıcı yağlar genellikle hayvansal yağar olup, PVC'nin kolay işlenebilmesini sağlar.

Polietilen (PE)

Polietilen parafinin yapısına benzer olan makromoleküler hidrokarbondur. Çok iyi bir dielektrik özelliğe sahip olan bu yalıtkan malzeme çapraz bağsız (termoplastik PE) ya da çapraz bağlı (XLPE) yapıdadır. Termoplastik ile çapraz bağlı polietilen iyonizasyon boşalmalarından çabuk etkilendiğinden, anma gerilimi 3,5/6 kV'tan büyük olan kablolarda yalıtkan kılıfın altında ve üstünde yarı iletken katman bulunması zorunludur.

Orta gerilim ve yüksek gerilim kablolarında işletme güvenliğinin sağlanmasının yanısıra, özellikle önemli olan, yalıtkan kılıfla yarıiletken katman arasında iyi yapışma sağlanması ve hava kabarcıklarının bulunmamasıdır. Bunun için yüksek arılıkta malzeme kullanılması ve yapım işlemleri sırasında temizliğe özen gösterilmesi gerekir.

Bu önemli nokta, kablonun her yapım uzunluğuna kısmi boşalma deneyi uygulanarak denetlenir.

Termoplastik polietilen, çapraz bağlı polietilenle karşılaştırıldığında, düşük ısı-basınç özelliği nedeniyle güç kablolarında hemen hemen kullanılmamaktadır.

Çapraz bağlı polietilen (XLPE)

Termoplastikten elde edilen XLPE malzeme kristalit ergime noktasının üzerinde elastomer özellikleri gösterir. Bu nedenle, ısı altında boyutsal kararlılığı ve mekanik özellikleri iyileştirilmiştir. Çapraz bağlı polietilenin elde edilmesinde üç yöntem uygulanmaktadır:

Peroksitlerle çapraz bağlama

Bu yöntemde organik kökenli bileşikler, özellikle organik peroksitler birbirine bağlanır. Önceden, polietilen genellikle buhar tüpü içinde sürekli vulkanizasyon ile çapraz bağlanırdı. Bu uygulamada polietilen çapraz bağlamayı başlatan peroksitle karıştırılır ve iletkenin üzerine yaklaşık 130^{o}C derece sıcaklıkta basılır. Aynı işlem sırasında yalıtılacak damar, yüksek basınçta doymuş buharla dolu olan yaklaşık 125 m uzunluğundaki tüp içinden geçirilir. Organik peroksit 16-22 bar basınç altında ve yaklaşık 200-220^{o}C derece sıcaklıkta reaktif primer kökler içinde ayrışarak çapraz bağlama sağlanır. Çapraz bağlama işleminin hemen ardından soğutma işlemi gelir. Bu işlem aynı düzenek içinde, basınç altında ve yaklaşık 25-50 m uzunluğundaki bölgede gerçekleştirilir. Peroksit tepkimede ortaya çıkan gazlar nedeniyle, vulkanize edilen malzeme içinde kabarcıkların oluşması önlenmelidir.

Bu yöntemin seçenekleri olarak sıvılar ve gazlar içeren yöntemler de geliştirilmiştir. Örneğin, silikon yağ veya ergimiş tuz, ısı iletiminde ortam olarak kullanılır. Bu yöntemde, buharla vulkanizasyona tabi tutulduğunda, yüksek sıcaklıklarda ve düşük basınçlarda çapraz bağlama sağlanır.

Elektron ışınlayarak çapraz bağlama

Polimer zincirleri peroksitlerde olduğu gibi ısıtmaya gerek görülmeden, doğrudan yüksek enerjili elektron ışınlayarak çapraz bağlanır.

Silokseyn köprüleriyle çapraz bağlama

Uygun alkoksinaller polimer zincirlerine köksel eklendiğine göre, poliolefinler de silokseyn köprüleriyle çapraz bağlanabilirler. Nemin varlığı ve katalist oluşmasıyla silanol kümeleride hidroliz meydana gelir ve silokseyn bağlar oluşur. Böylece daha öncekilerden tamamen farklı olarak, alışılmış yöntemlerle elde edilen çapraz bağlı PE'in özelliklerinin karışımı olan ve temelde ona benzeyen çapraz bağlı polimer matris meydana gelir.

3.5.2.2 Elastomerler

Aşağıda, kablo yalıtkanı olarak sıklıkla kullanılan elastomer malzemeler yeralmaktadır:

NR: Doğal kauçuk

IIR: Butil kauçuk

SBR: Stiren-butadien kauçuk

NBR: Nitril-butadilen kauçuk

EPR: Etilen-propilen kauçuk

EPDM: Etilen-propilen dien monomer kauçuk

CR: Polikloropren

CSM: Klorsülfonil polietilen

CM: Klorlanmış polietilen

SiR: Silikon kauçuk

ECO: Epiklorodin kauçuk

EVA: Etilen-vinil asetat kopolimer (VA > % 30)

Elastomerlerin molekül zincirleri termoplastiklerin aksine geniş gözlü ağ şeklindedir. Çapraz bağ veya vulkanizasyon ile malzeme esneklik özelliği kazanır. Çok küçük çekme

kuvvetinde geniş sınırlar içinde geri dönüşlü uzama gösterir. Bu özelliği nedeniyle, bu malzemeler genellikle bükülgen kablolarda kullanılmaktadır.

Günümüzde elastomerlerin büyük bölümünden kablo yapımında yararlanılmaktadır. Bunlar, özellikli bileşiklerin, örneğin aşınmaya, yağa, hava koşullarına, ısıya ve aleve dayanıklı bileşiklerin yapımını sağlar. Ayrıca, bu bileşiklere iyi elektrik ve mekanik özellikler kazandırır.

Son dönemlerde alışılmış elastomer olan kauçuğun kullanımında önemli düşüş görülmektedir. Bunun yerine etilenin ve propilenin kopolimerizasyonu ile elde edilen yapay elastomerler kullanım alanı bulmaktadır. EPR olarak bilinen bu etilen propilen kopolimerler çift çapraz içermediğinden, doymamış kauçuklar için (örneğin doğal kauçuk) uygun olan vulkanizasyon yöntemiyle çapraz bağlanamazlar. Diğer yandan bu elastomerler, ana molekül zincirlerinde çift bağların olmaası nedeniyle ısıl oksidasyonla ayrışmaya, mor ötesi ışınların etkisine, ozona ve ısıya karşı önemli dayanıklılık gösterirler.

Dien'in (çift bağlı, özel bir hidrat malzemesi) birleştirilmesiyle EPDM elastomerler elde edilir. Çapraz bağlamada çift bağ etkisi ana zincirde değil yan kümede etkili olur.

Termoplastik elastomerler (TPE)

Termoplastik elastomerler kristalit ergime noktasının üzerindeki sıcaklıklarda termoplastik özelliklere sahip olup, kristalit ergime noktasının altında elastomerler gibi davranırlar. Bu nedenle de termoplastik elastomerler olarak anılırlar.

Termoplastik elastomerlerin bir başka sınıfı üç-blok polimerleri olarak bilinen stiren ve etilen butilendir. Kablo yapımında kullanılan diğer tür elastomerler poliklopren, klorosülfonat, polietilen ve klorinat polietilendir. Bu malzemeler çevre etkilerine uygun üstünlükleri nedeniyle kılıf malzemesi olarak tercih edilmektedirler.

Yarıiletken kauçuk

Doğal kauçuğa ve yapay elastomer bileşiklerine yarı iletken dolguların (örneğin karbon siyahı) katılmasıyla özdirenci birkaç ohm-cm den birkaç bin ohm-cm ye kadar olan bileşikler elde edilebilir. Yarıiletken kauçuk bileşikleri genellikle maden ocağı

kablolarında kontrol ve uyarı amacıyla iç yarı iletken katmanlarda, keza yapay elastomer yalıtkanlı yüksek gerilim kablolarında alan sınırlayıcı olarak kullanılırlar.

Doğal kauçuk (NR)

Doğal kauçuk, ekvator kuşağındaki ülkelerde yetişen kauçuk ağacının kabuğunun altındaki doku hücrelerinden alınan sütün kimyasal işlemlerle, elektrokoyulaştırma veya başka yöntemlerle koyulaştırılmasıyla elde edilir. Kauçuğa vulkanizasyon sağlayıcı ve yaşlanmayı önleyici katkıların, özel seçilen dolguların ve yapay elastomerlere uygun karışımların eklenmesiyle hazırlanan yalıtkan bileşikler kablolarda kullanılır.

Doğal kauçuk yapay elastomerlerden farklı olarak, üretim sırasında katkılarla pekişmesini sağlamak ve bileşiğe istenen plastikliği kazandırmak için ezme işleminden geçirilir. Yakın yıllarda kablo yapımında yapay elastomelerin kullanılmasıyla kauçuğun kullanılmasında önemli düşme olmuştur.

Sitren butadien kauçuk (SBR)

SBR, üretim yöntemine göre soğuk veya sıcak polimerlere ayrılan siten ve butadienin kopolimeridir. Soğuk polimerler (%24 normal sitren içeren) yüksek çekme ve yırtılma kuvveti ile çok iyi işletme özelliklerine sahip olan sıcak kauçuk türlerine benzerlik gösterirler.Bu nedenle bunlar, SBR-NR bileşiklerinin elde edilmesinde katkı olarak yeğlenirler. SBR ve SBR-NR karışımları izin verilen işletme sıcaklığı 60 derece olan Alçak Gerilim iç döşem kabloları ile bükülgen kablolar için uygundur.

Nitril butadien kauçuk (NBR)

Butadien ile akril nitrilin kopolimerizasyonu sonucunda elde edilen elastomerler SBR türlerine benzer olarak yağa ve hava koşullarına çok iyi dayanıklılık gösterirler. Bu nedenle bunlar dış kılıf malzemesi olarak tercih edilirler. Nitril butadien kauçuğa PVC karıştırılarak çok iyi alev dayanıklılığına sahip olan NBR-PVC karışımları elde edilir.

Butil kauçuk (IIR)

IIR, izobutilen ve izoprenin kopolimeridir. Çift bağların bağıl olarak küçük sayısı butil kauçuğun oksijen ve ozon etkilerine karşı duyarlığını çok azaltır. Esas üstünlüğü su emmesinin çok düşük olmasıdır. Uygun yapıdaki bileşiklerde ısıl dayanım sağlanarak

izin verilen işletme sıcaklığının 90^{o}C olması sağlanır. Özel etkin dolguların eklenmesiyle mekanik özellikleri, örneğin düşük sıcaklıkta esneklik özellikleri geliştirilebilir. Bu amaçla EPR ve EPDM yapay elastomerler eskiden beridir kullanılmaktadır. Butil kauçuk yalnız özel nedenlerle yeğlenir.

Etilen-propilen kauçuk (EPR)

EPR malzemesinin, Etilen-propilen kauçuk (EPR) ve Etilen-propilen terpolimer kauçuk (EPDM) olmak üzere genellikle iki türü kullanılır. EPR, C-C çift bağsız düşük yoğunluklu kopolimerdir. Mekanik ve elektrik özelliklerine bakıldığında, çapraz bağlı EPR ve EPDM arasında çok küçük farklılık vardır. Peroksit çapraz bağı, sülfür vulkanizasyonundan daha iyi olan uzun süreli ısı dayanımına ve ısı-basınç özelliğine sahiptir. Bu elastomerlerin belirgin özellikleri ozona, oksijene, iyonizasyona ve hava koşullarına dayanıklılık, düşük sıcaklıklarda iyi bükülgenlik ve hafifliktir.

EPR ve EPDM, bileşiğin yapısına bağlı olarak gösterdiği iyi dielektrik özellikleri nedeniyle 100 kV'a kadar yalıtımlar ve 80-90^{o}C izin verilen işletme sıcaklıkları için uygundur. PE yalıtkana EPR'un karıştırılması, karışımın mekanik dayanımının ve sertliğinin artmasına olanak verir.

Silikon kauçuk (SiR)

Silikon kauçuk, hidrolize edilmiş dimetildikorosilan ve metilfenildiklorosilan'ın polikondensasyonu ile elde edilir. Makromoleküler yapısı nedeniyle karbon zincirleri yerine, daha çok diğer polimerlerde olduğu gibi silikon-oksijen zincirlerini içerir. Silikon kauçuğa çapraz bağlama (vulkanizasyon) amacıyla organik peroksitlerle birlikte dolgular eklenir.

Silikon kauçuk çok iyi yalıtkanlık özelliği ve –50 ila +180^{o}C izin verilen işletme sıcaklığında alçak gerilim iç tesisat kablolarında ve bükülgen kablolarda yaygın olarak kullanılırlar. Silikon kauçuk nem geçirmez ve hava koşullarına dayanıklı olduğundan, kablo başlıklarının yapımında da tercih edilmektedir.

Etilen vinil asetat (EVA)

EVA bir kopolimer olup, termoplastik (içerdiği vinil asetat <= % 30) veya çapraz bağlamaya uygun elastomer gibi kullanılır. EVA kopolimerin özellikleri, içerdiği vinil

ve asetat oranına göre değişir. Çapraz bağlı EVA elastomerleri iyi ısı dayanıklılığı gösterir ve 120^{o}C izin verilen işletme sıcaklıklarında kullanılabilirler. Ayrıca, sıcak havada ve aşırı sıcak buharda çok iyi yaşlanma dayanıklılığı gösterir ve ayrıca özellikle yüksek sıcaklıklarda yeterli ısı-basınç özelliğine sahiptir. EVA bileşikleri ozona, oksijene, hava koşullarına karşı dayanım ve renk kararlılığı gösterir. Dinamik donma noktası –20 ila –30^{o}C sınırları içindedir. EVA'nın yalıtkan malzeme olarak uygulanması, elektrik özellikleriyle sınırlı olduğundan ancak alçak gerilim kablolarında kullanma alanı bulunmaktadır. EVA bileşikleri ısıya dayanıklı dış kılıfsız kablolarda, bükülgen kablolarda ve ısıtıcı kordonlarında kullanılır.

3.5.2.3 Duroplastikler (Duromerler)

Aşağıda, kablo yalıtkanı olarak sıklıkla kullanılan elastomer malzemeler yeralmaktadır:

EP: Epoksi reçine

PUR: Poliüretan reçine

Termoset polimerler elastomerlerden farklı olarak genellikle çapraz bağlanırlar. Çoğu kez termoplastiklerden ve elastomerlerden çok daha iyi eskime dayanımına ve boyutsal kararlılığa sahiptirler. Termoset polimerlerin yalıtkan malzeme olarak uygulanmasında, epoksi ve poliüretan reçinelerin kablo başlıklarında ve ekliklerinde dolgu olarak kullanılması sınırlıdır. Epoksiler, bazındaki dolgu reçineleri özellikle ısıl işlemle termoset durumuna dönüştürülür. Poliüretan reçine malzemeler oda sıcaklığında sertleştiğinden uygulamada üstünlük sağlar. Her iki tür reçine de, özellikle metallerle yapışmada yeterli iyilik göstermez [28].

3.6 Kablo Tasarımı

Kablo tasarımına ilişkin temel noktaları belirtmek amacıyla ele alınan kablo türü, 20.3/35 kV Y - tipi tek damarlı bir kablo'dur. Bu tip kablolarda;

- Damar iletkeni daire kesitlidir, kesme kesitli yapılamaz. En küçük kesit 25 mm^2 dir.

- Bakır siper bulunur. Bakır siper, yalıtkan kılıfı saran yarıiletken siper üzerindeki, yarıiletken katman üzerindedir.

- İletken ve yalıtkan kılıfın üzerinde birer yarıiletken siper bulunur.

- Çok damarlı olanlarında bakır siper üzerinde ayrıca zırh varsa, ikisinin arasında iç kılıf bulunur.

- Kablonun hasara uğrama olasılığı varsa, genellikle dış kılıfın altında çelik zırh bulunabilir.

- Zırh varsa zırhın altında iç kılıf yerine veya iç kılıfla birlikte zırha yastıklık yapan ayraç kılıf bulunur. İç kılıfın üzerine ayraç kılıf özelliklerini taşıyan malzemelerden kılıf sarılarak güçlendirilmesiyle de ayraç kılıf oluşturulabilir. İç kılıf, çekilmiş kılıf ise ve ayraç kılıfın özelliklerini taşıyorsa, ayrıca sargı kılıfla güçlendirilmesine gerek yoktur.

- Dış kılıf rengi kırmızıdır.

Ülkemizde yapılmakta olan ve en çok kullanılmakta olan 20.3/35 kV Y – kabloların yapıları, özellikleri ve kullanma yerleri aşağıda açıklanmıştır:

Adı: Bir damarlı XLPE OG güç kablosu

Anma gerilimi: 20.3/35 kV

Alternatif deney gerilimi (Kuruda): 51 kV

Simgesi : YE3SV-I 1x150ş/25

Ele alınan kabloda bir damar bulunmakta olup, anma kesiti 150 mm^2 olan ve yuvarlak çok telli sıkıştırılmış bir iletkene sahip, sarmal bakır sargısının kesiti 25 mm^2 olan bir kablodur. Simgede yeralan S harfi bakır siperi temsil etmekte olup, ş harfi iletkenin sıkıştırılmış olduğunu göstermekte olduğundan ayrıca ç harfinin yazılmasına gerek yoktur.

Kablonun kullanım yerleri:

İç ve dış tesisatta, büküm yarıçapı küçük olduğundan özellikle transformatör ve bağlama merkezlerinde, yeraltında, hafif olduğu için dik eğimli yerlerdeki döşemlerde kullanılır.

Tablo 3.2: Tasarım örneğinde kullanılan kablonun özellikleri

Damar sayısı x Anma kesiti (mm^2)	İletken çapı (en büyük) (mm)	Kablo çapı (ortalama) (mm)	Yalıtkan kılıf et kalınlığı (mm)	Dış kılıf et kalınlığı (mm)	Ağırlık (yaklaşık) (kg/km)
1x150ş/25	15,0	43	9	2.2	2760

Öncelikle, kablonun damar yarıçapı;

$\pi r^2 = 150\ mm^2$ ➔ $r = 6.91$ mm olarak bulunur. (3.8)

Şekil 3.2'de yarıçaplar, içten dışa doğru sırasıyla r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, R diye adlandırılırsa;

$r_1 = r = 6.91$ mm (3.9)

$r_2 = r_1 + k_1$ (3.10)

k_1 = Birinci yalıtkan tabakanın et kalınlığıdır.

$r_3 = r_2 + 9$ mm (3.11)

$r_4 = r_3 + k_2$ (3.12)

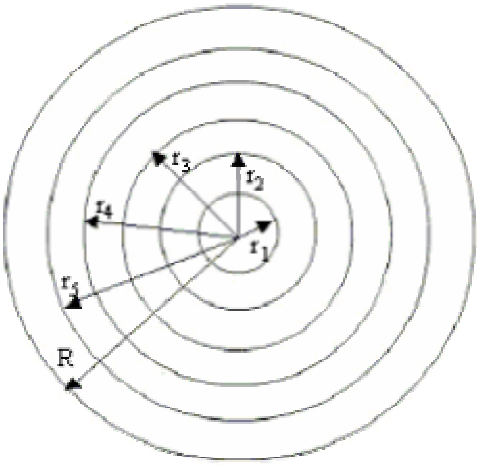
k_2 = İkinci yalıtkan tabakanın et kalınlığıdır.

$r_5 = r_4 + a_{SİPER}$ (3.13)

$a_{SİPER}$ = Siper et kalınlığıdır.

$R = r_5 + 2.2$ mm (3.14)

R = Kablo yarıçapı.



Şekil 3.2: Tasarım örneğinde kullanılan kablo

Ortalama kablo çapı 43 mm olduğuna göre, kablonun yarıçapı:

$R = 43 / 2 = 21.5$ mm'dir. (3.15)

$r_5 = 21.5 \text{ mm} - 2.2 \text{ mm} = 19.3 \text{ mm}$ (3.16)

bulunur. Kablo yarıçapı bilgisi kullanılırsa;

$r_1 + k_1 + 9\text{mm} + k_2 + a_{SİPER} + 2.2 \text{ mm} = 21.5 \text{ mm}$ (3.17)

dir. Bakır siperin anma kesiti 25 mm^2 olduğuna göre

$\pi \cdot (19.3 \text{ mm})^2 - \pi \cdot (r_4)^2 = 25 \text{ mm}^2 \rightarrow r_4 = 19.1 \text{ mm}$ (3.18)

Siper et kalınlığı ($a_{SİPER}$)

$a_{SİPER} = r_5 - r_4 = 19.3 \text{ mm} - 19.1 \text{ mm} = 0.2 \text{ mm}$ (3.19)

$6.91 \text{ mm} + k_1 + 9 \text{ mm} + k_2 + 0.2 \text{ mm} + 2.2 \text{ mm} = 21.5 \text{ mm}$ (3.20)

$k_1 + k_2 = 3.18 \text{ mm}$ (3.21)

ve $k_1 = k_2$ (iç ve dış yarıiletken siper kalınlıkları eşit) alınırsa

$k_1 = k_2 = 1.59$ mm (3.22)

bulunur. İç yarıiletken siper kalınlığını iletken damara, dış yarıiletken kalınlığını da yalıtkana eklenirse, yeni durumda;

Damar yarıçapı (r_1)

$r_1 = 6.91\text{mm} + 1.59\text{mm} = 8.5$ mm (3.23)

Siper yarıçapı (r_2)

$r_2 = r_1 + 9$ mm $+ k_2 = 8.5$ mm $+ 9$ mm $+ 1.59$ mm $= 19.1$ mm (3.24)

$a_{\text{DIŞ KILIF}} = 2.2$ mm (dış kılıf et kalınlığı) (3.25)

$U = 20.3$ kV (3.26)

olduğuna göre;

- $E_{max} = U / (r_1 \, ln \, (r_2 / r_1))$ (3.27)

$E_{max} = 20.3$ kV $/ (0.85$ cm $ln \, (1.91 / 0.85)) = 29.498$ kV/cm (3.28)

- $E_{min} = U / (r_2 \, ln \, (r_2 / r_1))$ (3.29)

$E_{min} = 20.3$ kV $/ (1.91$ cm $ln \, (1.91 / 0.85)) = 13.127$ kV/cm (3.30)

- $E_{ort} = U / (r_{ort} \, ln \, (r_2 / r_1))$ (3.31)

Önce r_{ort} değeri bulunmalıdır.

- $r_{ort} = (r_2 - r_1) / ln \, (r_2 / r_1)$ (3.32)

$r_{ort} = (19.1 – 8.5) / ln\ (19.1 / 8.5) = 13.093$ mm (3.33)

$E_{ort} = 20.3$ kV / (1.3093 cm ln (1.91 / 0.85)) = 19.15 kV/cm (3.34)

- $a = r_2 – r_1$ (gerçek açıklık) (3.35)

$a = 19.1 – 8.5 = 10.6$ mm (3.36)

- $p = (r_1 + a) / r_1 = q = r_2 / r_1$ (3.37)

$p = (8.5 + 10.6) / 8.5 = q = 2.247$ (3.38)

- $\alpha = r_1\ ln\ (r_2 / r_1)$ (eşdeğer açıklık) (3.39)

$\alpha = 8.5$ mm ln (19.1 / 8.5) = 6.882 mm (3.40)

- $\eta = \alpha / a$ (faydalanma faktörü) (3.41)

$\eta = 6.882$ mm / 10.6 mm = 0.649 < 1 (3.42)

Kablonun birim uzunluğunun kapasitesi :

- $C = 2\ \pi\ \varepsilon\ l / ln\ (r_2 / r_1)$ (3.43)

$l = 1$ m (birim uzunluk) (3.44)

$\varepsilon_{XLPE} = 2.2$ olmak üzere**,**

$C = 2\ \pi\ (8.854\ x10^{-12})\ 2.2 / ln\ (19.1 / 8.5) = 151.17\ x\ 10^{-12}$ F (3.45)

Kablonun birim uzunluğunun kapasitif reaktansı

- $X_C = 1 / (2 \pi f C)$ (3.46)

f = 50 Hz olmak üzere,

$X_C = 1 / (2 \pi 50 . 151.17 . 10^{-12}) = 21.06 . 10^6$ ohm/m (3.47)

- Kablodan akan akım $I = U / X_C$ (3.48)

$I = 20.3$ kV $/ 21.07 \times 10^6$ A $= 963.5 . 10^{-6}$ A (3.49)

- Kablonun endüktif direnci $X_L = 2 \pi f L$ (3.50)

Önce L özindüklenme katsayısı bulunmalıdır.

$L = (\mu_0 / 2 \pi)$ *ln* (r_2 / r_1) (3.51)

(μ_0: boşluğun manyetik geçirgenliği [H/m])

$L = (4 \pi 10^{-7} / 2 \pi)$ *ln* $(19.1 / 8.5) = 1.62 \times 10^{-7}$ H (3.52)

$X_L = 2 \pi 50 . 1.62 . 10^{-7} = 50.893 . 10^{-6}$ ohm/m (3.53)

Kablonun birim uzunluğunun ağırlığı:

Bu hesaplama için gerekli olan malzemelerin özgül ağırlıkları;

$\rho_{bakır} = 8.90$ g/cm^3 (3.54)

$\rho_{XLPE} = 0.96$ g/cm^3 (3.55)

$\rho_{PVC} = 1.50$ g/cm^3 (3.56)

$$G_{toplam} = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 \quad (3.57)$$

G_1: İletken damarın ağırlığı

G_2: XLPE yalıtkan kısmın ağırlığı

G_3: Bakır siperin ağırlığı

G_4: PVC dış kılıfın ağırlığı

l: Kablonun uzunluğu (boyu)

$$G_{toplam} = \pi\, l\, [r_{1bakır}^2 \,.\, 8.9\ g/cm^3 + ((r_2^2 - r_{1bakır}^2) \,.\, 0.96\ g/cm^3) +$$

$$(r_{Siper}^2 - r_2^2) \,.\, 8.9\ g/cm^3) + (R^2 - r_{Siper}^2) \,.\, 1.5\ g/cm^3)] \quad (3.58)$$

$$G_{toplam} = \pi\ 100\ cm \,.\, [0.691\ cm^2 \,.\, 8.9\ g/cm^3 + ((1.91\ cm^2 - 0.691\ cm^2) \,.\, 0.96\ g/cm^3) +$$

$$(1.93^2 - 1.91^2) \,.\, 8.9\ g/cm^3) + (2.15\ cm^2 - (1.93\ cm)^2) \,.\, 1.5\ g/cm^3)$$

$$G_{toplam} = 1335.045 + 956 + 214.734 + 422.984 = 2927.763\ g/m \quad (3.59)$$

olarak bulunur. Bulunan değerin katalogda verilen değerden fazla olması, iletken damarın çok telli olmasından dolayı aradaki boşluklardan kaynaklanmaktadır.

Kablonun birim uzunluğunun doğru akım direnci:

$$R_{20} = \rho\, l\, /\, S \quad (3.60)$$

$$\rho_{bakır} = 1.7241\ x\ 10^{-8}\ ohm\ m \quad (3.61)$$

$$S = 150\ mm^2 \quad (3.62)$$

l = 1 m alınırsa (3.63)

$$R_{20} = 1.7241\ ohm\ m\ x\ 10^{-8} \,.\, 1\ m\ /\ 150 \,.\, 10^{-6}\ m^2 \quad (3.64)$$

$$R_{20} = 1.1467 \cdot 10^{-4} \text{ ohm} \quad (3.65)$$

bulunur. Çalışma sıcaklığı 60-90^{o}C arasında bir değer, örneğin 85^{o}C seçilirse;

$$R_{85} = R_{20} [1 + \alpha_0 (t_2 - t_0)] \quad (3.66)$$

Bakır için $\alpha_0 = 0.00393$ 1/ ^{o}C (20^{o}C için) (3.67)

olduğundan;

$$R_{85} = 1.1467 \cdot 10^{-4} \cdot [1 + 0.00393 (85 - 20)] \quad (3.68)$$

$$R_{85} = 1.4396 \cdot 10^{-4} \text{ ohm} \quad (3.69)$$

bulunur. Kablonun birim uzunluğunun alternatif akım direnci:

$$X_S = [8 \pi f \cdot 10^{-7} / R_{DA}]^{0.5} \quad (3.70)$$

$$X_S = 0.9343 \quad (3.71)$$

$$k_s = X_S^4 / (192 + 0.8 X_S^4) \quad (3.72)$$

$$k_s = 3.956 \cdot 10^{-3} \quad (3.73)$$

$$R_{AA} = (1 + k_s) R_{DA} \quad (3.74)$$

$$R_{AA} = (1 + 3.956 \times 10^{-3}) 1.4396 \cdot 10^{-4} \quad (3.75)$$

$$R_{AA} = 1.44529 \cdot 10^{-4} \text{ ohm} \quad (3.76)$$

bulunur (85^{o}C'deki alternatif akım direnci).

4. KABLO YALITKANI SEÇİMİNDE BULANIK MANTIK YÖNTEMİ

Kablo yalıtkanı seçiminde iki bulanık karar verici sistemden biri olan Sugeno bulanık karar verici sistemi seçilmiş olup, diğer sistem Mamdani karar verici sistemidir.

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 çıkış büyüklükleri;

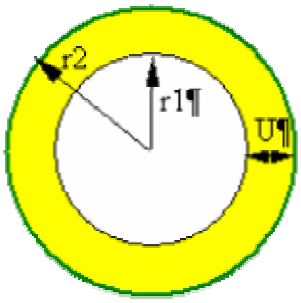
- Kablo yalıtkanı (PVC, PE, emdirilmiş kağıt, XLPE, EPR)
- Dış kılıf (PE, PVC, CR, EVA, kurşun)

4.1 Karar verici sistemin giriş ve çıkış büyüklükleri arasındaki ilişki

4.1.1 Kabloya uygulanan gerilim

Yüksek gerilim kablo yalıtkanı seçiminde en önemli etkenlerden biri, kablo iletkenine uygulanan gerilimin değeridir.

Tüm yalıtkanların, (4.1)'de görüldüğü gibi, kablo iletkenine uygulanan gerilimle doğru orantılı olarak oluşan elektrik alanına karşı bir delinme dayanım sınırı mevcuttur.



Şekil 4.1 Kabloda elektrik alanı hesabında göz önüne alınan büyüklükler

Şekil 4.1'de, U kabloya uygulanan gerilim, r_1 iletken yarıçapı ve (r_2 - r_1) yalıtkanın et kalınlığı olmak üzere herhangi bir r uzaklığındaki elektrik alanının değeri:

$$E_r = \frac{U}{r \ln \frac{r_2}{r_1}} \tag{4.1}$$

Kabloya uygulanan maksimum elektrik alan şiddeti:

$$E_{max} = \frac{U}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} \tag{4.2}$$

Herhangi bir yalıtkanın, kablonun sağlıklı bir şekilde işlevini sürdürebilmesi için yalıtkanın E_d delinme dayanımının, (4.2)'deki formülle ifade edilen, kablonun maruz kalabileceği maksimum elektrik alan şiddetinden büyük olması gerekir.

$$E_{max} \leq E_d \tag{4.3}$$

(4.3)'deki koşul sağlandığı sürece, yalıtkan görevini sağlıklı olarak sürdürebilir.

4.1.2 Kablonun çalışma sıcaklığı

Kablo yalıtkanları, kimyasal özelliklerinin izin verdiği sıcaklıklara kadar dayanabilirler. Dolayısıyla yalıtkanların çalışma sıcaklıklarının, kimyasal özelliklerinin izin verdiği maksimum sıcaklıktan daha düşük olmalıdır.

4.1.3 Kablonun kullanıldığı yer

Yüksek gerilim kabloları, klasik kullanılma alanları dışında özel amaçlı farklı bir çok alanda kullanılabilmektedir. Her bir özel kullanım alanına yönelik olarak, yine özel yalıtkanlar ve dış kılıflar kullanılmaktadır. Klasik kullanım alanlarında ise yalıtkan seçiminde diğer faktörler belirleyici olmaktadır.

4.1.4 Yalıtkan et kalınlığı ve iletken yarıçapı arasındaki fiziksel oran

Kablo yalıtkanı seçiminde önemli bir faktör de, kablo yalıtkanının maruz kaldığı (4.2)'deki ifadedeki maksimum elektrik alan şiddetini belirleyici olan ve ayrıca kablonun fiziksel boyutlarını da temsil eden

$$k = \frac{1}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} \qquad (4.4)$$

değeridir. (4.4) ifadesinin değeri ile maksimum alan şiddeti doğru orantılı olup, bu ifadenin değeri arttıkça kablo yalıtkanı üzerindeki elektriksel alanın değeri de artacaktır. Dolayısıyla, kablo yalıtkanının E_d delinme dayanımı, bulanık karar verici sisteminin giriş büyüklüklerinden birisi olan ve (4.4) ifadesi ile belirtilen k değerinin belirleyici olduğu maksimum elektrik alan şiddetinden büyük olduğu sürece, yalıtkan görevini yapabiliyor durumda olacaktır.

4.2 Bulanık karar verici sistem, kurallar ve algoritmalar

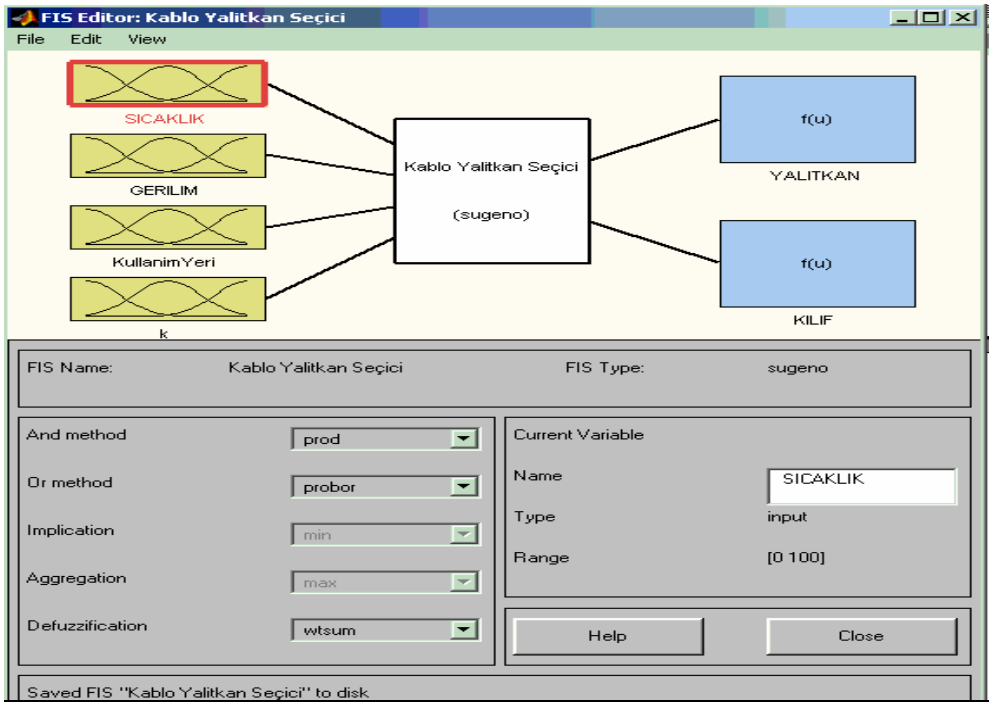
Kablo yalıtkanı seçiminde kullanılan bulanık karar verici sistemin genel yapısı Şekil 4.2'de görüldüğü gibidir.

Sugeno bulanık karar verici sisteminin sıcaklık, gerilim, kullanım alanı ve (4.2)'deki ifadede yeralıp fiziksel boyutları temsil eden k değeri olmak üzere dört tane girişi ve yalıtkan, kılıf olmak üzer iki tane çıkışı mevcuttur. Giriş büyüklüklerinden biri olan sıcaklık dört ana grupta değerlendirilmiş olup, bunlar:

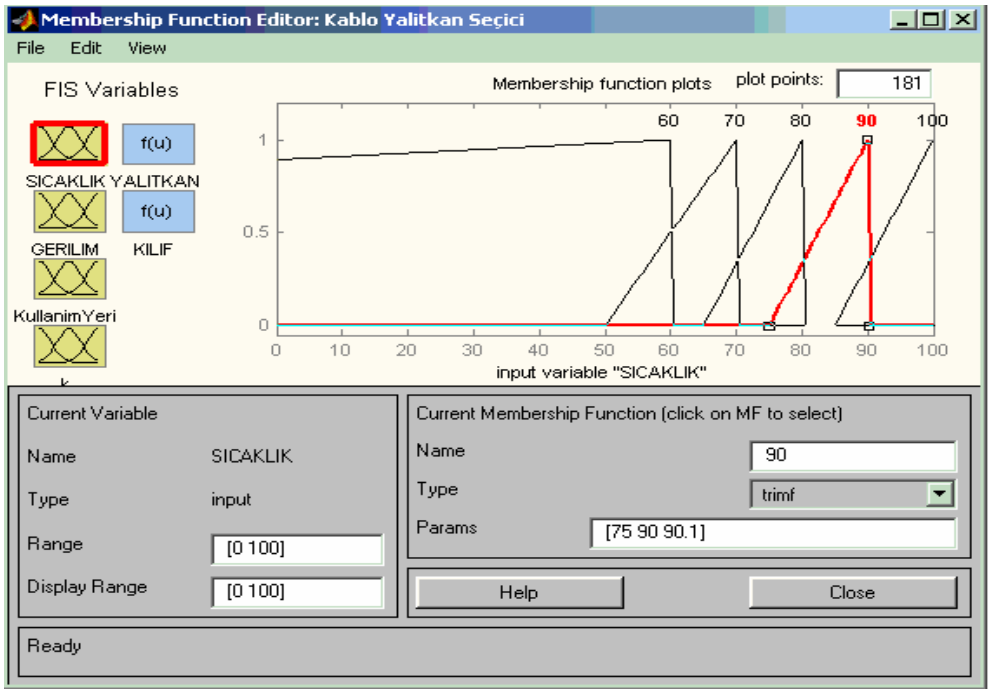
- $T \leq 60\ °C$
- $60\ °C < T \leq 70\ °C$
- $70\ °C < T \leq 80\ °C$
- $80\ °C < T \leq 90\ °C$
- $T > 90\ °C$

Yukarıda belirtilen her bir gruba ait üyelik fonksiyonları ise, Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

$T \leq 60\ °C$, yüksek gerilim kablosu için normal çalışma sıcaklığıdır.



Şekil 4.2: Yalıtkan seçiminde kullanılan Sugeno Bulanık Karar Verici Sistem



Şekil 4.3: Sıcaklık girişine ilişkin üyelik fonksiyonları

Bulanık karar verici sistemin giriş büyüklüklerinden ikincisi ise kabloya uygulanan gerilimin değeridir. Kabloya uygulanan gerilim, kullanılan gerilimin şiddetine göre üçe ayrılır:

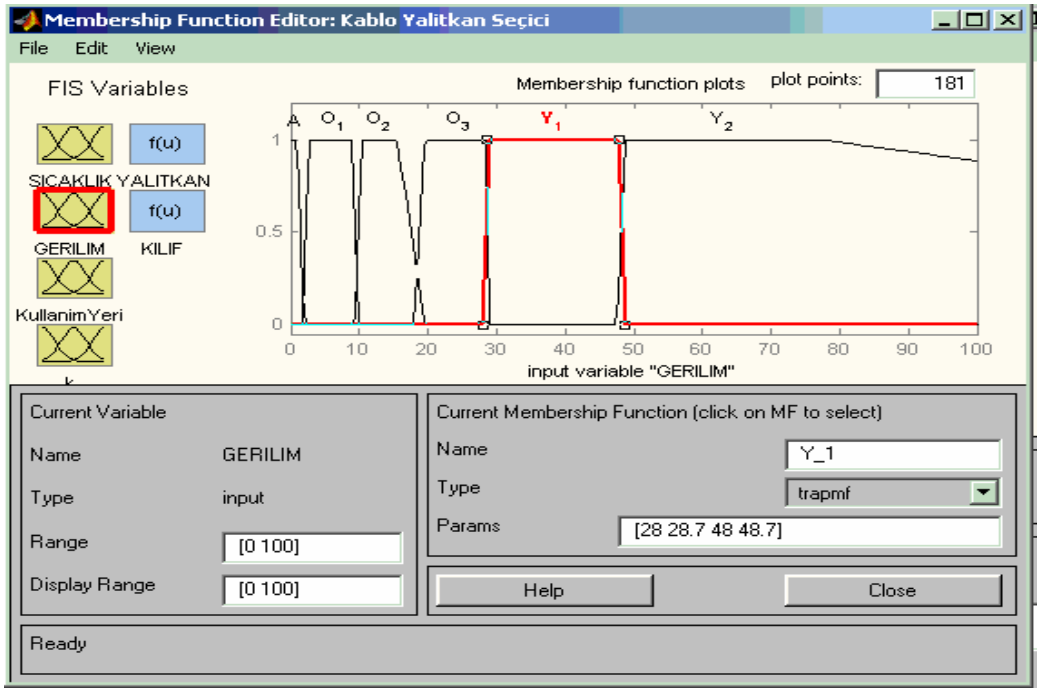
- Alçak gerilim ($U \leq 1$ kV)
- Orta gerilim ($1 \text{ kV} < U \leq 30$ kV)
- Yüksek gerilim ($U > 30$ kV)

Karar verici sistemin giriş büyüklüğü olarak ele alınan gerilim ise altı ana grupta değerlendirilmiş olup, bunlar:

- Alçak gerilim ($U \leq 1$ kV)
- Orta gerilim_1 ($1 \text{ kV} < U \leq 10$ kV)
- Orta gerilim_2 ($10 \text{ kV} < U \leq 20$ kV)
- Orta gerilim_3 ($20 \text{ kV} < U \leq 30$ kV)

- Yüksek gerilim_1 (30 kV < U ≤ 50 kV)
- Yüksek gerilim_2 (U > 50 kV)

Yukarıda belirtilen her bir gruba ait üyelik fonksiyonları ise, Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

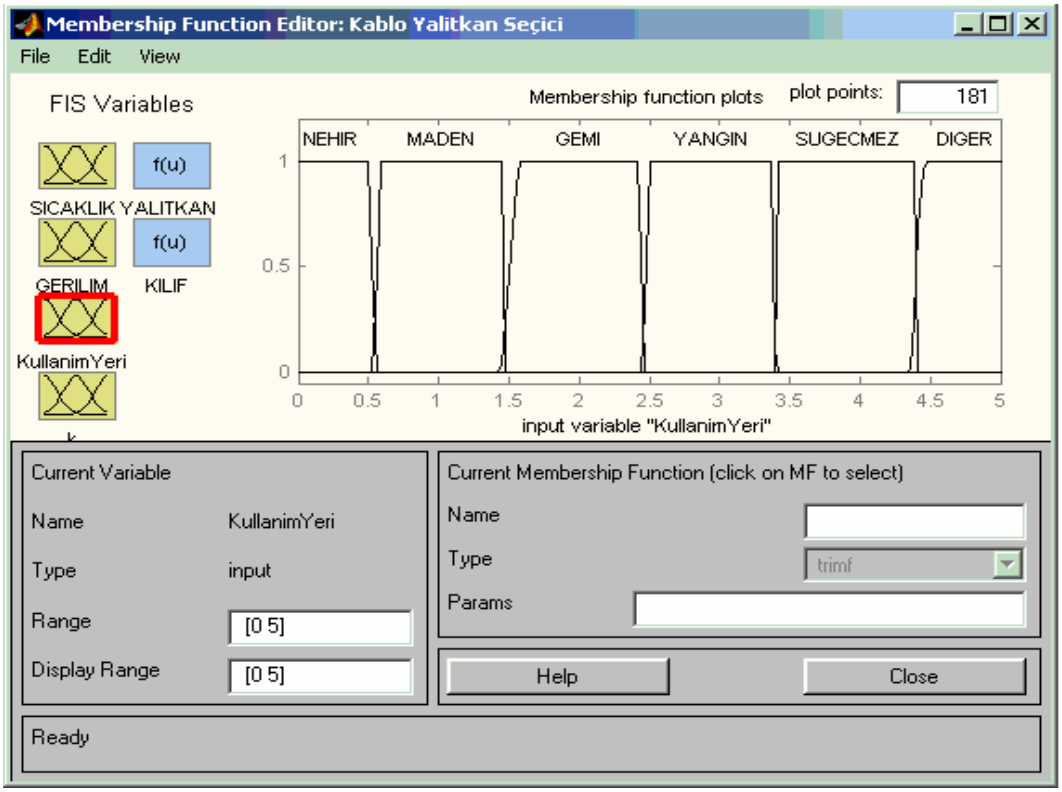


Şekil 4.4: Gerilim girişine ilişkin üyelik fonksiyonları

Bulanık karar verici sistemin giriş büyüklüklerinden bir diğeri de kablonun kullanılacağı yer ve dolayısıyla hangi amaçla kullanılacağıdır. Kablonun kullanılacağı yer, beş ana grupta ele alınmıştır, bunlar:

- Nehir,
- Maden ocakları,
- Gemi,
- Yangın,
- Su geçirilmemesi gereken uygulamalar,
- Diğer (özel amaçlı olmayan klasik kullanım alanları).

Yukarıda belirtilen her bir gruba ait üyelik fonksiyonları ise, Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



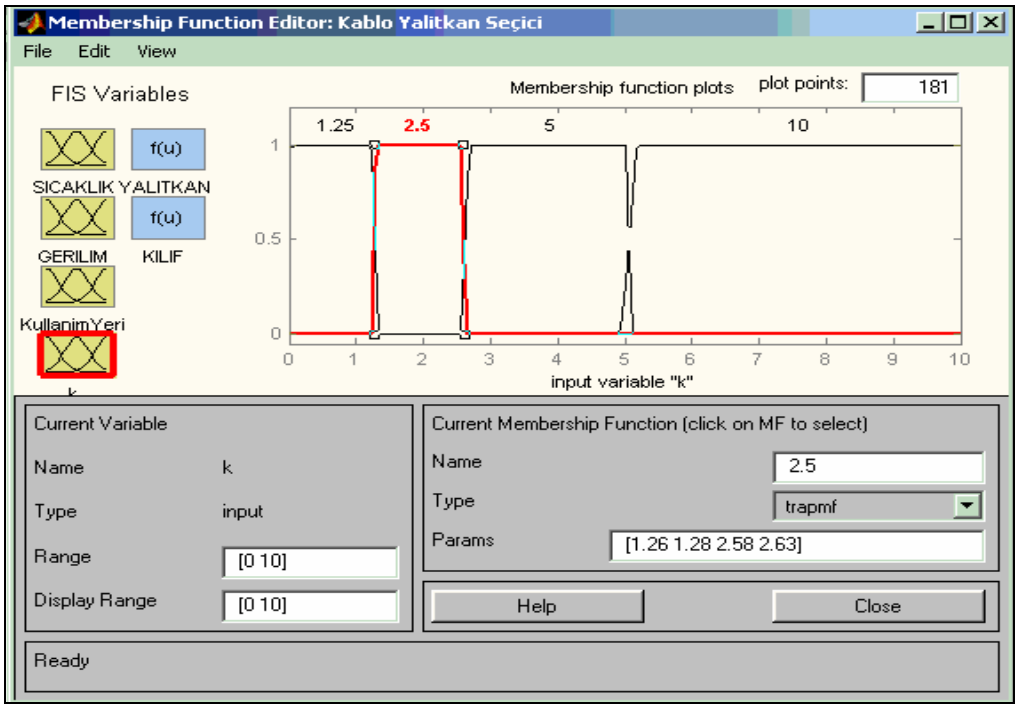
Şekil 4.5: Kablo kullanım yerine ilişkin üyelik fonksiyonları

Kullanım yeri giriş büyüklüğünün aldığı değere göre ifade ettiği anlam, aşağıdaki gibidir:

- Kullanım yeri $\leq$ 0.5 ➔ Nehir
- 0.5 < Kullanım yeri $\leq$1.5 ➔ Maden ocağı
- 1.5 < Kullanım yeri $\leq$2.5 ➔ Gemi
- 2.5 < Kullanım yeri $\leq$3.5 ➔ Yangın
- 3.5 < Kullanım yeri $\leq$4.5 ➔ Su geçirilmemesi gereken uygulamalar
- 4.5 < Kullanım yeri $\leq$5.0 ➔ Diğer

Sugeno bulanık karar verici sistemin giriş büyüklüklerinden sonuncusu, kablonun fiziksel büyüklüğünü temsil eden (4.4) ifadesinde belirtilen değerdir.

(4.4) ifadesindeki $k = \frac{1}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}}$ ifadesinin alacağı değerler dört grupta incelenmiştir.



Şekil 4.6: Kablo fiziksel boyutuna ilişkin üyelik fonksiyonları

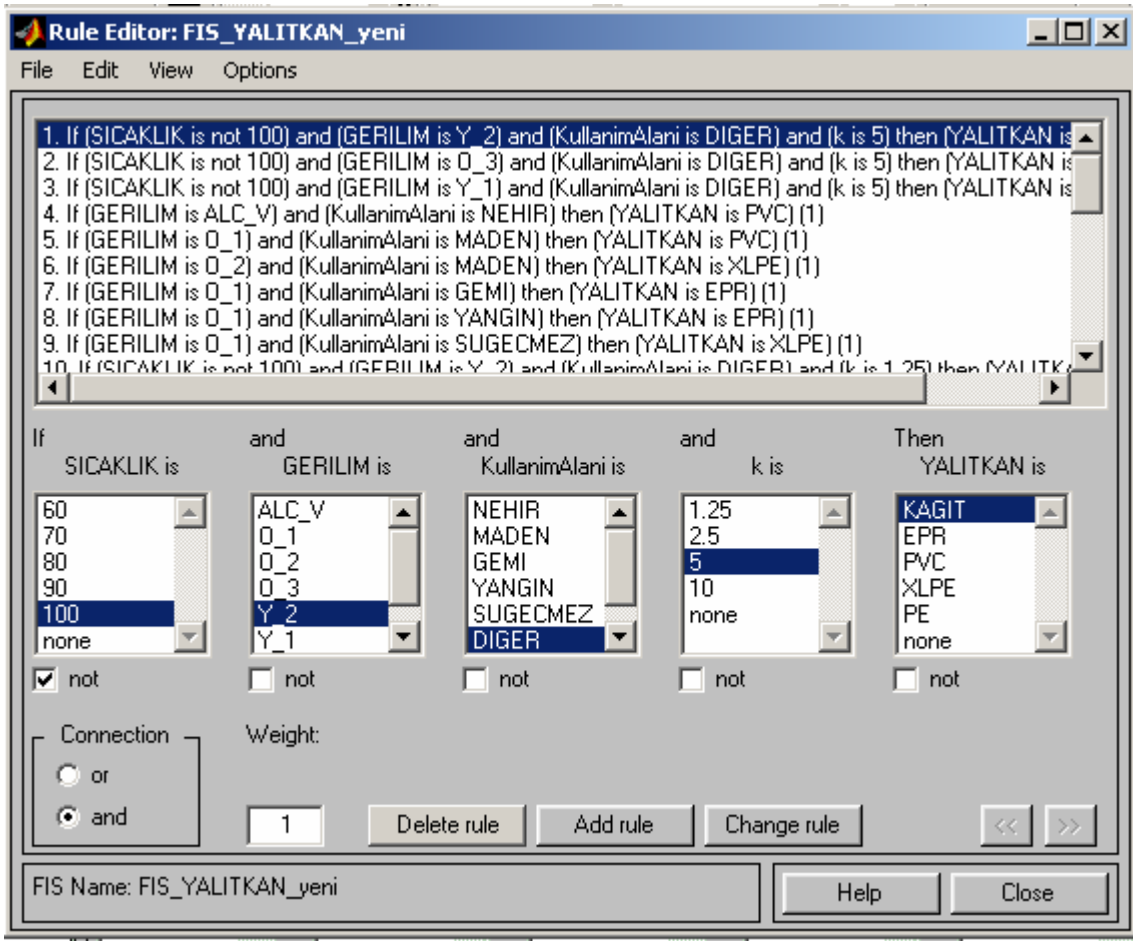
Şekil 4.6'da, k'nın aşağıda belirtilen dört farklı değer grubuna ait üyelik fonksiyonları görülmektedir.

- $k \leq 1.25$
- $1.25 < k \leq 2.5$
- $2.5 < k \leq 5$
- $k > 5$

Bulanık karar verici sistemin giriş büyüklerinden sıcaklık için üçgen üyelik fonksiyonu, diğerleri için ise, trapazoidal üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Bulanık Karar verici sistem kural yapıları ve kurallarına ilişkin bilgiler, Şekil 4.7'de yeralmaktadır. Kurallar, (2.9) ifadesinde belirtilmiş olduğu gibi,

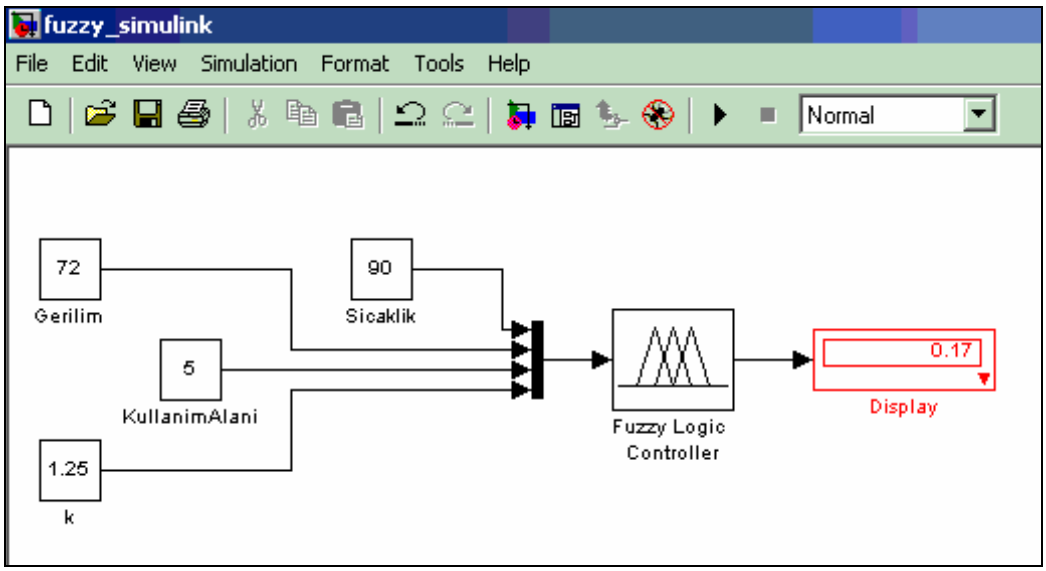
IF (eğer) < condition (önerme) > THEN (öyleyse) < output (bulanık önerme) >

şeklinde yazılmışlardır.



Şekil 4.7: Yalıtkan seçiminde kullanılan karar verme algoritmaları

Şekil 4.7'deki kuralların yazımında, bölüm 4.1'de belirtilen hususlar ve bu hususlar ile kablo yalıtkanı olarak seçilecek malzemeler arasındaki fiziksel ve elektriksel özelliklerin etkileşimi dikkate alınmıştır.



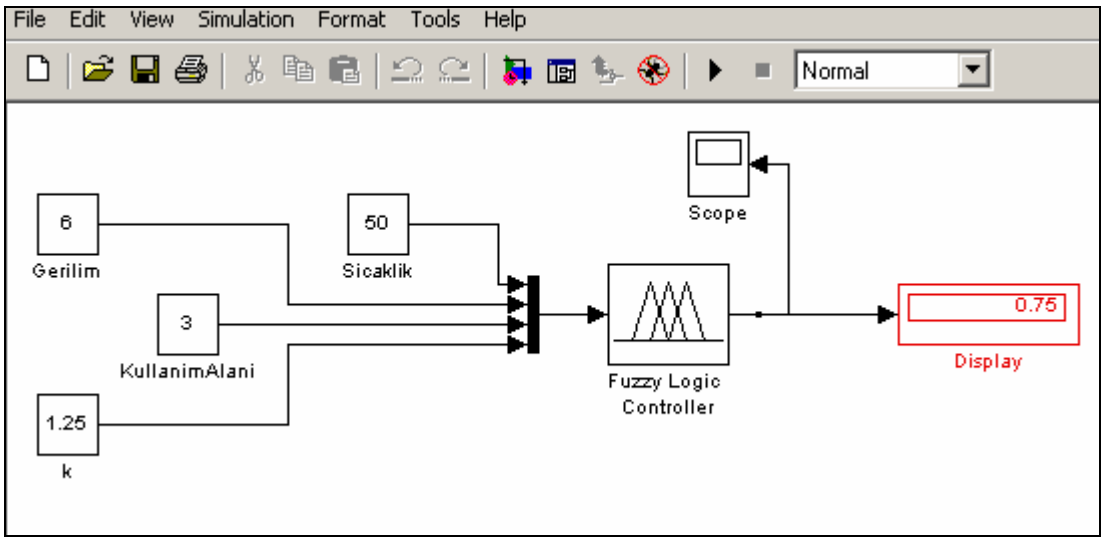
Şekil 4.8: Tasarlanan kontrolörün, yalıtkan çıkışının simulink programında simülasyonu

Şekil 4.8'de, tasarlanan bulanık mantık kontrolörünün yalıtkan çıkışı için, MATLAB 6.12 simulink programında simülasyonu görülmekte olup, sıcaklık, gerilim, kullanım alanı ve k sabiti giriş büyüklüklerine ilişkin olarak, bulanık karar verici sistemin seçtiği kablo yalıtkanını gösteren yalıtkan çıkış büyüklüğünün aldığı değerler yeralmaktadır.

Giriş büyüklükleri sırasıyla; 90°C, 72 kV, 5 (özel bir amaçla değil, klasik kullanım alanında kullanılmakta) ve 1.25 olup, belirtilen bu değerlere karşı bulanık karar vericinin ürettiği çıkış değeri 0.17'dir. Yalıtkan çıkış büyüklüğü z ile temsil edilirse, yalıtkan çıkış büyüklüklerinin aldığı değerler ve kablo yalıtkanları arasındaki ilişki F(z), aşağıda belirtildiği gibidir:

$$F(z) = \begin{cases} 0.00,\ \text{PVC} & z < 0.125 \\ 0.25,\ \text{PE} & 0.125 \le z < 0.375 \\ 0.50,\ \text{KAĞIT} & 0.375 \le z < 0.625 \\ 0.75,\ \text{XLPE} & 0.625 \le z < 0.875 \\ 1.00,\ \text{EPR} & z \ge 0.875 \end{cases} \qquad (4.5)$$

Şekil 4.8'deki simülasyonda, bulanık karar vericinin ürettiği çıkış değeri 0.17 olup, (4.5) ifadesinden de görülebileceği gibi, bu değer Polietilen (PE) yalıtkanını ifade etmektedir.



Şekil 4.9: Tasarlanan kontrolörün, DışKılıf çıkışının simulink programında simülasyonu

Şekil 4.9'da, tasarlanan bulanık mantık kontrolörünün DışKılıf çıkışı için, MATLAB 6.12 simulink programında simülasyonu görülmekte olup, sıcaklık, gerilim, kullanım alanı ve k sabiti giriş büyüklüklerine ilişkin olarak, bulanık karar verici sistemin seçtiği kablo dış kılıfını gösteren DışKılıf çıkış büyüklüğünün aldığı değerler yeralmaktadır.

Şekil 4.9'da, giriş büyüklükleri sırasıyla; 50°C, 6 kV, 3 (yangın riskine karşı özel kullanım amacı söz konusu) ve 1.25 olup, belirtilen bu değerlere karşı bulanık karar vericinin ürettiği çıkış değeri 0.75'dir.

Dış kılıf çıkış büyüklüğü t ile temsil edilirse, DışKılıf çıkış büyüklüklerinin aldığı değerler ve kablo malzemeleri arasındaki ilişki Y(t) , aşağıda belirtildiği gibidir:

$$Y(t) = \begin{cases} 0.00,\ PE & t < 0.125 \\ 0.25,\ PVC & 0.125 \le t < 0.375 \\ 0.50,\ CR & 0.375 \le t < 0.625 \\ 0.75,\ EVA & 0.625 \le t < 0.875 \\ 1.00,\ KURŞUN & t \ge 0.875 \end{cases} \qquad (4.6)$$

Şekil 4.9'daki simülasyonda, bulanık karar vericinin ürettiği çıkış değeri 0.75 olup, (4.6) ifadesinden de görülebileceği gibi, bu değer EVA dış kılıf malzemesini ifade etmektedir.

Karar verme algoritmalarının oluşturulmasında Tablo 4.1'de yeralan ve malzemelerin delinme dayanımını ve maksimum çalışma sıcaklıklarını gösteren verilerden yararlanılmıştır.

Tablo 4.1: Malzemelerin delinme dayanımları ve maksimum çalışma sıcaklıkları

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

Karar verme algoritmalarının oluşturulmasında Tablo 4.1'deki verilerden, Bölüm 4.1'de yeralan dört ana altbaşlıkta anlatıldığı şekilde yararlanılmıştır. Özel kullanım alanına sahip kablolarda ise karar verme algoritmalarının oluşturulmasında aşağıdaki hususlar gözönüne alınmıştır:

Yangın yaymaz kablolar, iç ve dış tesisatlarda kullanılır. Dış kılıf EVA (etilen vinil asetat) bazında tutuşabilirliği düşük olan ve ısıya dayanıklılığı artıran bileşiklerden oluşur. Bu kabloların yangında tutuşma gecikmesi 20 dakikanın üzerindedir.

Maden ocağı kablolarında anma gerilimi 5.8/10 kV'a kadar olan kablolar PVC (polivinil klorür) yalıtkanlıdır. Anma gerilimi 5.8/10 kV olan kabloların XLPE (çapraz bağlı polietilen) yalıtkanlı olması maden işletmeleri tarafından uygun bulunmaktadır.

Nehir ve deniz kabloları polimer veya kağıt yalıtkanlıdır. Normal olarak Alçak gerilim kabloları PVC (polivinil klorür), orta gerilim kabloları ise XLPE (çapraz bağlı polietilen) yalıtkanlıdır. Kurşun kılıflı kağıt yalıtkanlı kablolarda kurşun kılıf beklenen mekanik zorlanmalar nedeniyle olağandan daha kalındır.

Su geçirmez kablolar tatlı su altında veya yüksek oranda tatlı su içeren toprakta kullanılır. Kablonun damarlarına enlemesine ve boylamasına su sızmasını ve su ağaçlanması nedeniyle kablonun bozulmasını önlemek için, bu kablolarda metal siperin altında ve üstünde birer yarıiletken Q-katman bulunur. Q-katman, su ile karşılaştığında

şişerek suyu kablonun içinde yayılmasına engel olur. Q-katmanlı su geçirmez kablolarda dış kılıf siyah renkli polietilendir.

Gemi kablolarında ise TS (Türk Standartları) 2957'ye göre, yalıtkan kılıf EPR (etilen-propilen kauçuk), dış kılıf ise CR (polikloropren)'dir.

5. İLETKEN MALZEME SEÇİMİNDE BULANIK MANTIK

İletken malzeme seçiminde iki bulanık karar verici sistemden biri olan Sugeno bulanık karar verici sistemi seçilmiş olup, diğer sistem Mamdani karar verici sistemidir.

Karar verici sistemin giriş büyüklükleri olarak;

- İletken malzemelerin özgül ağırlıkları
- İletken malzemelerin öziletkenlikleri
- İletken malzemelerin ısıl iletkenlikleri
- İletken malzemelerin ısıl genleşmeleri
- İletken malzemelerin ergime sıcaklıkları

Karar verici sistemin çıkış büyüklükleri ise;

- Gümüş (Ag)
- Bakır (Cu)
- Alüminyum (Al)
- Nikel (Ni)
- Demir (Fe)
- Süperiletkenlerdir.

5.1 Karar Verici Sistemin Giriş Büyüklükleri

5.1.1 Özgül Ağırlık

Özgül ağırlık bir cismin birim hacminin ağırlığıdır. Birim hacimde bulunan atomların sayısı ile bir atomun ağırlığı çarpılırsa malzemenin özgül ağırlığı elde edilir. Birimi gram/cm^3 tür. Özgül ağırlık, malzemelerin türüne göre değişiklik göstermektedir.

5.1.2 Öziletkenlik

Boyu *l* (cm) ve kesiti S (cm^2) olan bir iletkenden U gerilimi (Volt) etkisinde geçen I akımı (Amper) gerilimle orantılıdır ve orantı katsayısı iletkenin R direncidir (ohm).

$$U = I \cdot R \tag{5.1}$$

İletkenin R direnci *l* boyu ile doğru, S kesiti ile ters orantılıdır.

$$R = \rho \cdot l / S \tag{5.2}$$

(5.2)'de görülen ρ katsayısına özdirenç denir ve özdirencin tersine de öziletkenlik denir ve (5.3) ile ifade edilir:

$$\sigma = 1 / \rho \tag{5.3}$$

Öziletkenliğin birimi 1/(ohm.cm)'dir.

5.1.3 Isıl İletkenlik

Isıl iletkenlik malzeme içinde ısıl enerjinin iletim hızını belirler. Foton dalgalarının hareketi elektronların hareketine benzer. Dolayısı ile ısıl iletkenlik katsayısı k, fononların saptırılmadan alabileceği serbest hareket yolu *l*, hareket hızları *v* ve ısıl kapasite C ile orantılıdır.

$$k = (1/3)\, v / C \tag{5.4}$$

(5.2)'den de görülebileceği gibi k ısıl iletkenliği malzeme türüne, iç yapıya, iç yapı kusurlarına ve sıcaklığa bağlıdır.

5.1.4 Isıl Genleşme

Bir malzemede sıcaklık dT kadar arttığında boyu d*l* kadar uzarsa birim boydaki artış sıcaklıktaki artışla doğru orantılıdır.

$$(dl / l) = \alpha \, dT \qquad (5.5)$$

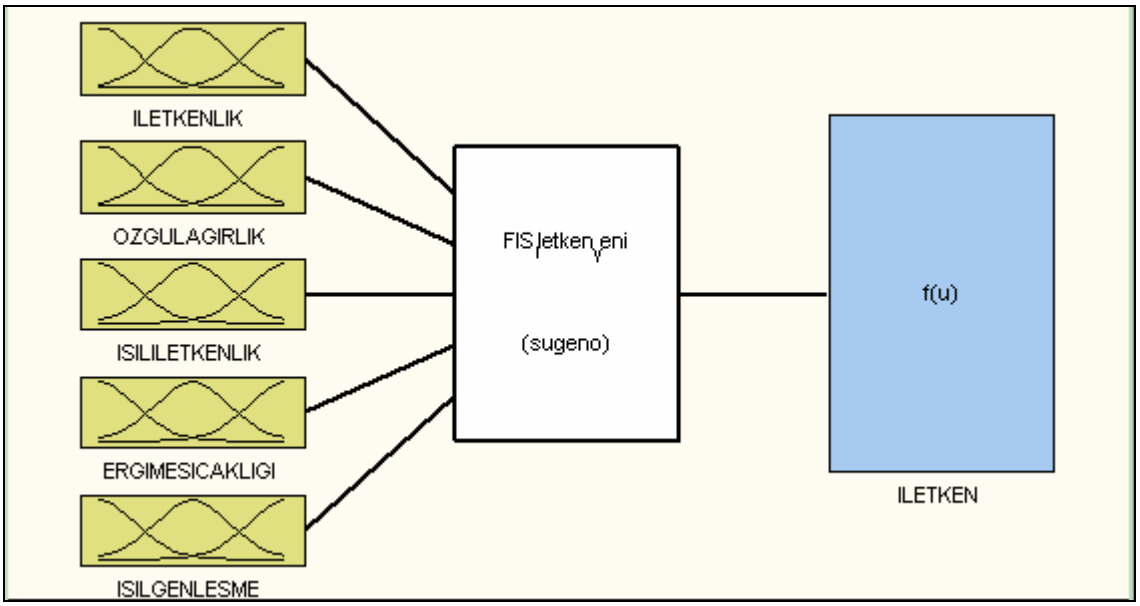
Burada, α genleşme katsayısıdır ve 1 °C sıcaklık artışına karşın birim boydaki artış anlamına gelir. Isıl genleşme katsayısı malzemenin türüne, iç yapısına ve sıcaklığa bağlıdır. Isıl genleşme katsayıları sıcaklıkla artar, bu artış yüksek sıcaklıklarda daha büyüktür.

5.1.5 Ergime Sıcaklığı

Katı malzemelerde kuvvetli bağlar egemendir. Katı halden sıvı hale geçerken bu bağlar kopar. Malzemelerin bağ enerjileri arttıkça, ergime sıcaklıkları da artar. Alüminyum için ergime sıcaklığı 660°C, demir için ergime sıcaklığı ise 1535°C'dir [29].

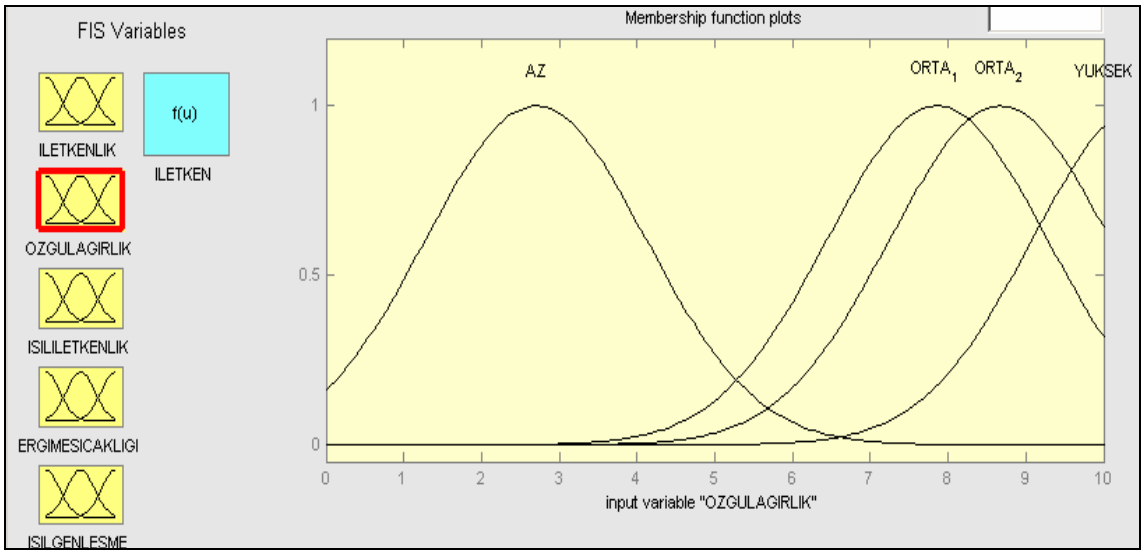
5.2 Bulanık karar verici sistem, kurallar ve algoritmalar

Kablo yalıtkanı seçiminde kullanılan bulanık karar verici sistemin genel yapısı Şekil 5.1'de görüldüğü gibidir.



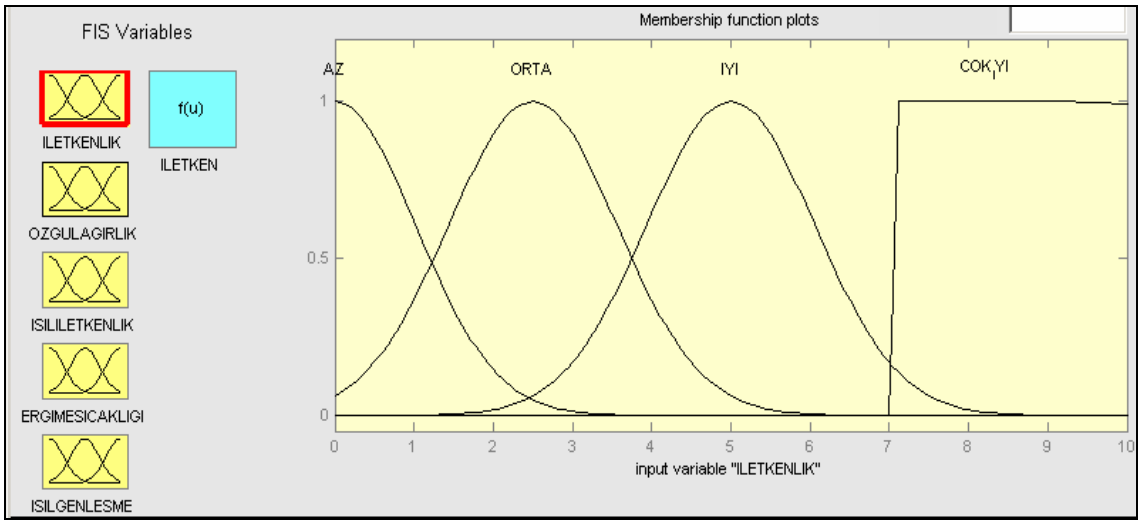
Şekil 5.1: İletken seçiminde kullanılan Sugeno Bulanık Karar Verici Sistem

Sugeno bulanık karar verici sisteminin giriş büyüklüklerinden biri olan özgül ağırlık, Az, Orta_1, Orta_2 ve Yüksek şeklinde dört ana grupta değerlendirilmiş olup, üyelik fonksiyonları Şekil 5.2'de belirtildiği gibidir:



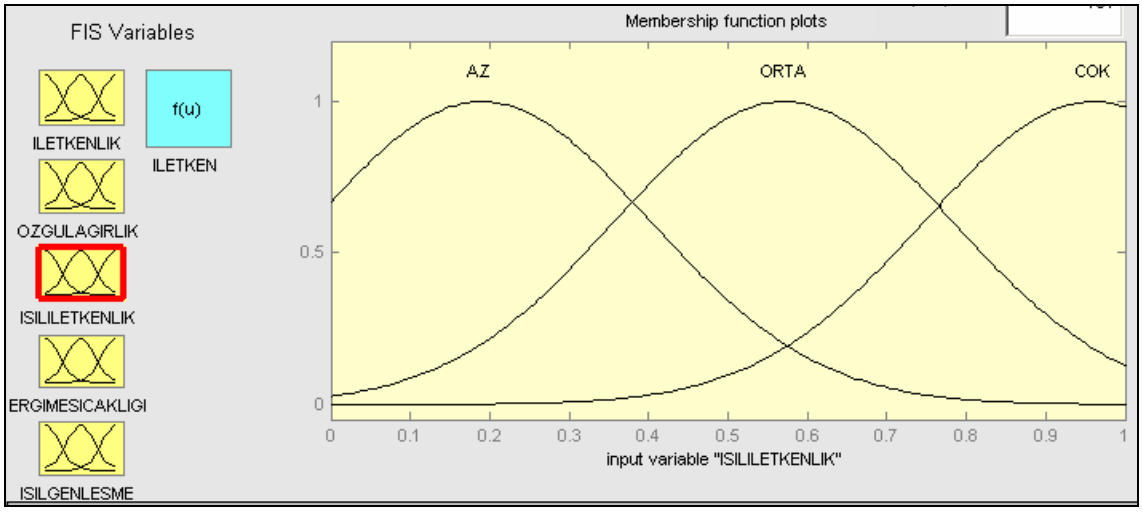
Şekil 5.2: Özgül ağırlık giriş büyüklüğüne ilişkin üyelik fonksiyonları

Sugeno bulanık karar verici sisteminin giriş büyüklüklerinden bir diğeri olan öziletkenlik, Az, Orta, İyi ve Çok İyi şeklinde dört ana grupta değerlendirilmiş olup, üyelik fonksiyonları Şekil 5.3'de belirtildiği gibidir:

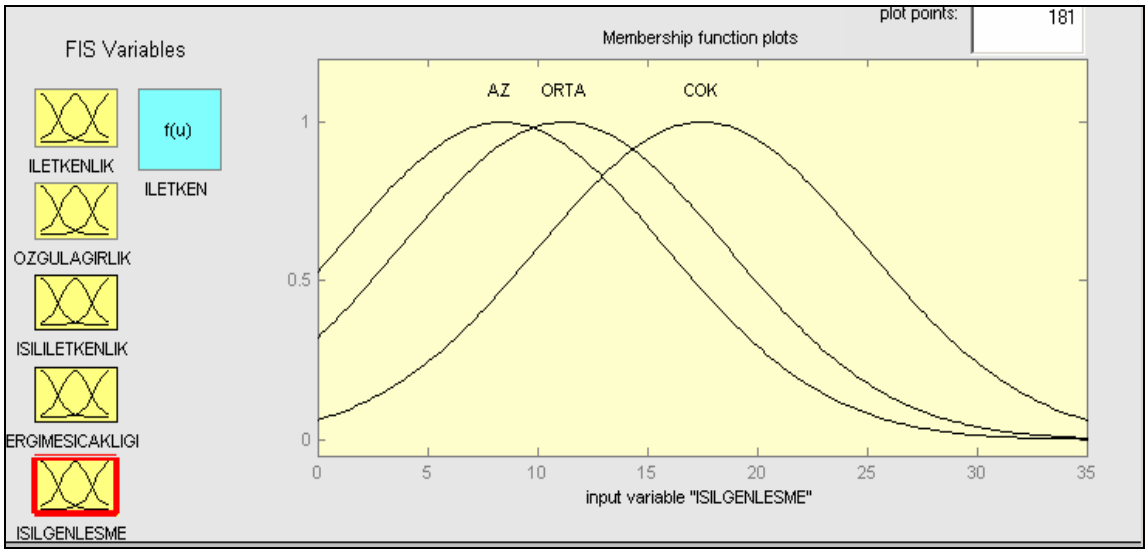


Şekil 5.3: Öziletkenlik giriş büyüklüğüne ilişkin üyelik fonksiyonları

Sugeno bulanık karar verici sisteminin giriş büyüklüklerinden üçüncüsü olan ısıl iletkenlik, Az, Orta, Çok şeklinde üç ana grupta değerlendirilmiş olup, üyelik fonksiyonları Şekil 5.4'de belirtildiği gibidir:



Şekil 5.4: Isıl iletkenlik giriş büyüklüğüne ilişkin üyelik fonksiyonları



Şekil 5.5: Isıl genleşme giriş büyüklüğüne ilişkin üyelik fonksiyonları

Sugeno bulanık karar verici sisteminin giriş büyüklüklerinden dördüncüsü olan ısıl genleşme Az, Orta, Çok şeklinde üç ana grupta değerlendirilmiş olup, üyelik fonksiyonları Şekil 5.5'de belirtildiği gibidir:

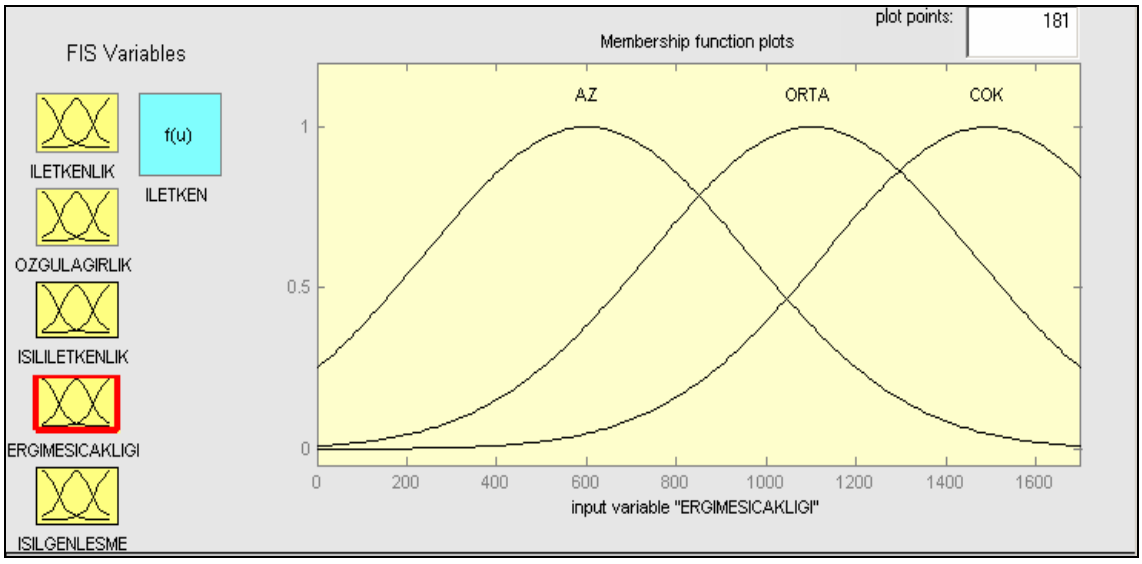
Sugeno bulanık karar verici sisteminin giriş büyüklüklerinden beşinci ve sonuncusu olan ergime sıcaklığı Az, Orta, Çok şeklinde üç ana grupta değerlendirilmiş olup, üyelik fonksiyonları Şekil 5.6'da belirtildiği gibidir:

Şekil 5.7'de, tasarlanan bulanık mantık kontrolörünün çıkışı için, MATLAB 6.12 simulink programında simülasyonu görülmekte olup, giriş büyüklüklerine ilişkin olarak, bulanık karar verici sistemin seçtiği iletken malzemeyi gösteren çıkış büyüklüğünün aldığı değerler yeralmaktadır.

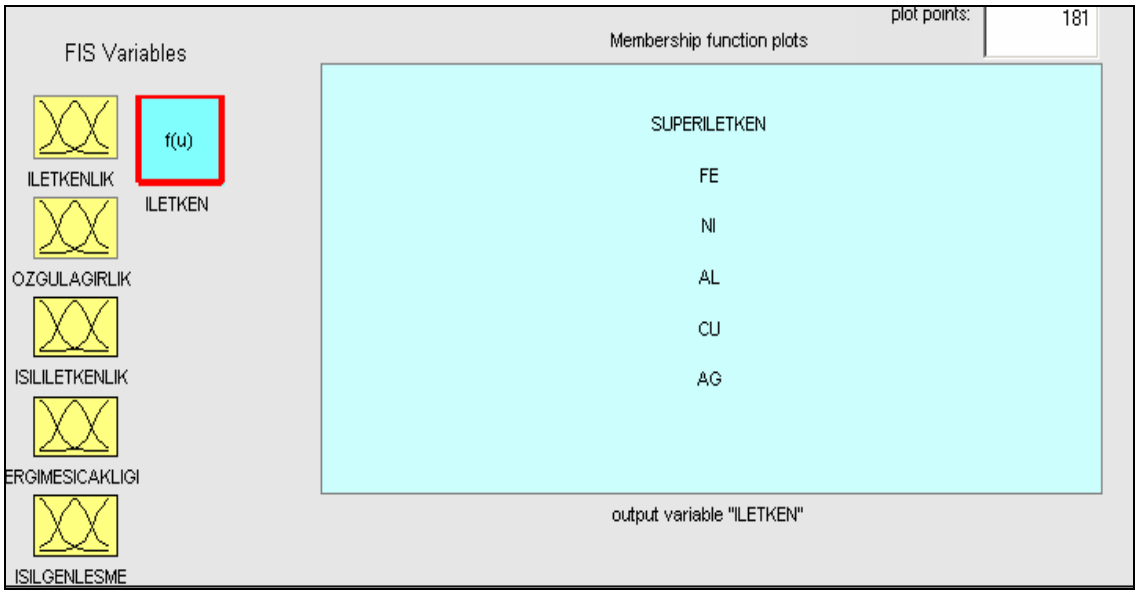
Çıkış büyüklüğü z ile temsil edilirse, çıkış büyüklüklerinin aldığı değerler F(z), aşağıda (5.6) ifadesinde belirtildiği gibidir:

$$F(z) = \begin{cases} 1, \text{Gümüş (Ag)} & z < 1.5 \\ 2, \text{Bakır (Cu)} & 1.5 \le z < 2.5 \\ 3, \text{Alüminyum (Al)} & 2.5 \le z < 3.5 \\ 4, \text{Nikel (Ni)} & 3.5 \le z < 4.5 \\ 5, \text{Demir (Fe)} & 4.5 \le z < 5.5 \\ 6, \text{Süperiletken} & z \ge 5.5 \end{cases} \qquad (5.6)$$

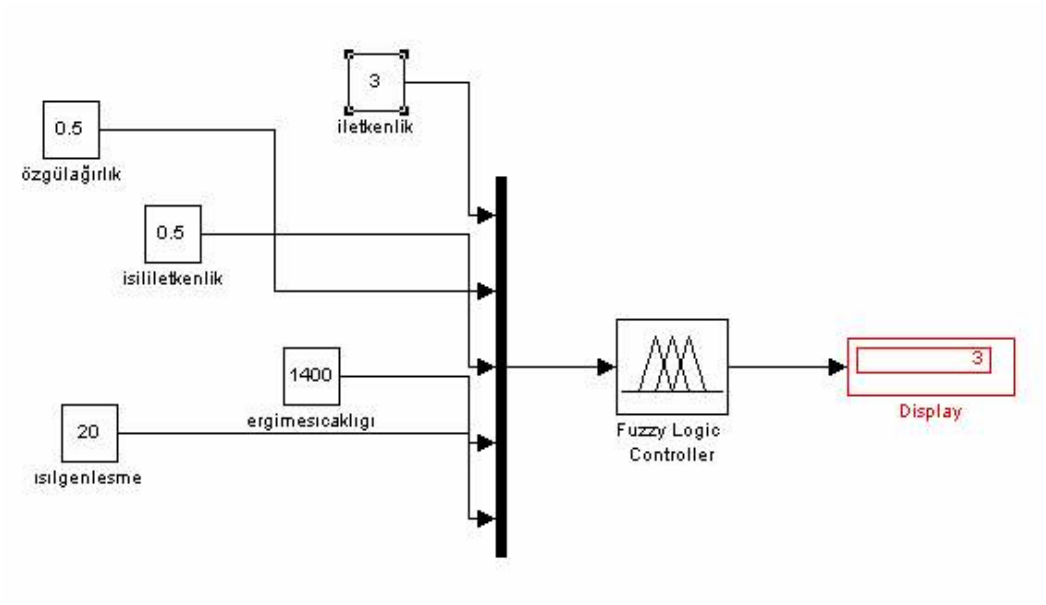
Şekil 5.8'de, tasarlanan bulanık mantık kontrolörünün çıkışı için, MATLAB 6.12 simulink programında simülasyonu görülmekte olup, giriş büyüklüklerine ilişkin olarak, bulanık karar verici sistemin seçtiği iletken malzemeyi gösteren değerler yeralmaktadır.



Şekil 5.6: Ergime sıcaklığı giriş büyüklüğüne ilişkin üyelik fonksiyonları



Şekil 5.7: Tasarlanan kontrolörün çıkış büyüklükleri



Şekil 5.8: Tasarlanan kontrolörün Simulink programında simülasyonu

İletken malzemelere ilişkin karar verme algoritmalarının oluşturulmasında Tablo 5.1'de yeralan iletken malzemelere ait fiziksel özelliklerden yararlanılmıştır.

Tablo 5.1: İletken malzemelere ilişkin fiziksel özellikler

Malzeme	Öziletkenlik $(ohm.cm)^{-1}$ x 10^5	Isıl İletkenlik (kal/cm.s°C)	Özgül Ağırlık (g/cm^3)	Isıl Genleşme Katsayısı 10^{-6} / °C	Ergime Sıcaklığı (°C)
Gümüş	6.30	0.196	10.50	19.80	961.93
Bakır	5.85	0.960	8.92	16.56	1084
Alüminyum	2.95	0.570	2.70	24.30	660
Nikel	1.46	0.222	8.90	12.96	1453
Demir	1.03	0.190	7.86	12.00	1538

6. SONUÇLAR

Tez çalışmasında, elektrik mühendisliğinin önemli bir uygulama alanı olan kablolarda, kabloyu elektrik alana, neme ve diğer dış faktörlere karşı korumakta kullanılan yalıtkan ve dış kılıfların seçiminde, ayrıca iletken malzemelerin sınıflandırılmasında bulanık mantık yönteminin uygulanabileceği gösterilmiştir.

Kablo yalıtkanı ve dış kılıf seçiminde bir çok faktör devreye girmekte, kablonun kullanıldığı yer, kabloya uygulanan gerilim, kablonun boyutları, iletkenin tek veya daha fazla damarlı oluşu, kaçık eksenli olup olmaması gibi geometrik faktörler ve kablo yalıtkanlarının ve dış kılıflarının fiziksel, kimyasal ve elektriksel özellikleri bunlardan bazılarıdır. Bu konuyla ilgili oldukça kompleks yazılımlar ticari amaçlara hizmet etmektedir.

- Bu çalışma, tek damarlı ve kaçık eksenli olmayan kablolar için uygulanmıştır.
- Kablo yalıtkanları olarak piyasada sıklıkla kullanılan PVC, PE, XLPE, EPR ve kağıt malzemeleri arasından bulanık karar verici sistem değişik faktörleri gözönüne alarak seçimde bulunmaktadır.
- Kablo dış kılıf malzemesi olarak PVC, PE, kurşun, CR ve EVA malzemeleri arasından bulanık karar verici sistem değişik faktörleri gözönüne alarak seçimde bulunmaktadır.
- İletken malzemelerin sınıflandırılmasında karar verici sistemin çıkış büyüklükleri olarak gümüş (Ag), bakır (Cu), alüminyum (Al), nikel (Ni), demir (Fe) ve süperiletkenler ele alınmıştır.
- Yalıtkan ve dış kılıf malzemesi seçiminde bulanık karar verici sistemin giriş büyüklükleri olarak ortamın sıcaklığı, kabloya uygulanan gerilim, kablonun kullanım alanı ve kablonun geometrik büyüklüğü ele alınmıştır.

- İletken malzemelerin sınıflandırılmasında giriş büyüklükleri olarak, malzemelerin öziletkenlikleri, özgül ağırlıkları, ısıl iletkenlikleri, ısıl genleşmeleri ve ergime sıcaklıkları ele alınmıştır.

- Her bir giriş büyüklüğüne ait üyelik fonksiyonları oluşturulmuş ve ardından karar verme kuralları bulanık karar verici sisteme tanıtılarak, farklı giriş büyüklükleri karşısında çıkış büyüklükleri olan yalıtkan ve dış kılıf malzemeleri bulanık sistemden elde edilmiş, son olarak tasarlanan sistemin MATLAB 6.12 Simulink programında benzetimi yapılmıştır.

- Kural tabloları oluşturulurken yalıtkan ve dış kılıf malzemesi seçiminde Bölüm 4.1'de belirtilen bilgiler ve Tablo 4.1'deki verilerden, iletken malzemelerin sınıflandırılmasında ise Tablo 5.1'deki verilerden yararlanılmış olup, kurallar sırasıyla EK-B, EK-C ve EK-D'de belirtildiği gibidir.

- Bulanık mantık sistemin en önemli unsurlarından biri, sistem girişlerine ilişkin üyelik fonksiyonlarının ve karar algoritmalarının doğru bir biçimde tasarlanması gerektiği olup, bu da sistemi tasarlayanların bilgi ve deneyimi ile doğrudan ilgilidir.

- Kullanıcı dostu bir grafiksel kullanıcı arayüzüne sahip olan bulanık mantık karar verici sistemi, yapının tasarlanmasında ve sonuçlarının sınanmasında kullanıcıya büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

- Tasarlanan sistemin üyelik fonksiyonlarının, tasarlanan sistemin gereklerine göre doğru bir biçimde tasarlanmasının önemi ve bunun insan deneyimiyle orantılı olması dezavantaj olarak görülebilir.

Kablo iletken geometrisinin ve buna bağlı olarak oluşan elektrik alanla ilişkisinin bulanık mantıkla analiz edilmesi, kablo yalıtkanı boyunca potansiyel ve elektrik alan değişiminin incelenmesi, kablo iletkeninin sarım şekline ve kesitine bağlı olarak yalıtkan seçiminin birarada yapılması tez konusuyla ilgili olarak işlenebilecek diğer konulardan bazılarıdır.

KAYNAKLAR

[1] **Balog, E. and Berta, I.,** 2001. Fuzzy Solutions in Electrostatics, Journal of Elecrostatics, 51-52 (2001), 409-415.

[2] **Semerci, Ç., Yıldırım, A. ve Bektaş, C.,** 2003. Uzaktan Eğitimde Bulanık Mantık Kuramı, International XII. Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks-TAINN, Çanakkale, Turkey.

[3] **Kömürcügil, H., Kükrer, O. ve Hacıoğlu, K.,** 1999. Tek Faz Bir Kesintisiz Güç Kaynağının Bulanık Mantık Denetimi, 7. IEEE Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı (SIU 99), 437-441.

[4] **Albayrak, M., Çakır, A. ve Coşkun, A.,** 2003. Sumo Robotları için Bulanık Mantıkla Hareket Optimizasyonu Uygulaması, International XII. Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks-TAINN, Çanakkale, Turkey.

[5] **Çınar, A. ve Arslan, A.,** 2003. Nesne Kaynaştırma İşlemi İçin Sinirsel Bulanık Mantık Tekniği Tabanlı Bir Yöntem, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 18, No 3, 65-72, Ankara.

[6] **Çınar, A. ve Arslan, A.,** 2002. Bulanık Mantık Tabanlı Yüzey Modelleme ve Üç Boyutta Nesne Kaynaştırma İşlemine Uygulaması, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 17, No 4, 23-36, Ankara.

[7] **Ertuğrul, M., Kaynak, O. ve Akın, H. L.,** 1997. Mayın Tarama Robotu, Savunma Sanayiindeki Son Gelişmeler Sempozyumu Gebze, 1997.

[8] **Kaymaz, P,** 2003. Kalite Fonksiyonu Yayılımı Uygulamalarında Alternatif Bulanık Mantık Yaklaşımları, Yüksek Lisans Tezi, Galatasaray Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

[9] **Kayacan, M. C., Çelik, Ş. A. ve Salman, Ö.,** 2003. Tornalama İşlemlerinde Kesici Takım Aşınmasının Bulanık Mantık ile Modellenmesi, II. Makina Tasarımı ve İmalat Teknolojileri Kongresi, 26-27 Eylül 2003, Konya**.**

[10] **Orille, A. L., Bogarra, S., Grau, M. A., Iglesias, J.,** 2003. Lightning protection of power systems using fuzzy logic techniques, The 12th IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Vol. 2, 25-28 May 2003, pp.1406 - 1411.

[11] **Yiğitbaşı, O. N.,** 2000. Türk Vergi Sisteminde Bulanık Mantık ve Uygulamaları, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Ekonometri Anabilim Dalı, İzmir.

[12] **Altaş, H. İ.,** 2000. Güç Uyartım Sistemlerinin Denetiminde Bulanık Mantık, Otomasyon Eylül 2000, Sayı 2000/09, 123-128, Bileşim Yayıncılık A.Ş., İstanbul.

[13] **Dokodopoulos, P. S., Satsios, K. J. and Labridis, D. P.,** 1999. 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.

[14] **Salama, M. M. A. and Bartnikas, R.,** 2000. Fuzzy Logic Applied to PD Pattern Classification, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 7, No. 1, 118-123.

[15] **Arbatlı, A. D. ve Akın, H. L.,** 1997. Bir Nükleer Güç Santralı için Bulanık Mantık Denetleyici Geliştirilmesi, TOK'97, Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 20-21 Şubat 1997, İstanbul, 35-42.

[16] **Huang, H. P. and Liu, Y. H.,** 2002. Fuzzy Support Vector Machines for Pattern Recognition and Data Mining, International Journal of Fuzzy Systems, Vol. 4, No. 3, 826-835.

[17] **Khriji, I. and Gabbouj, M.,** 2004. Rational Based Adaptive Fuzzy Filters, International Journal of Computational Cognition, Vol. 2, No. 1, 113-132.

[18] **Tsang, Danny H. K., Bensaou, B. L. and Shirley, T. C.,** 1998. Fuzzy Based Rate Control for Real-time MPEG Video, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 6, No. 4, 504-516.

[19] **Terzi, S., Topkara, Y. ve Albayrak, M.,** 2003. A Fuzzy Logic Model for Prevention of Vehicle Pursuit Distance as Automatically, International XII. Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks-TAINN, Çanakkale, Turkey.

[20] **Karabağ, Y., Altınay, M., Erfidan, T., ve Abut, N.,** 2003. Bir Fazlı Telekom Eviricilerin Bulanık Mantıkla Denetimi, International XII. Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks-TAINN, Çanakkale, Turkey.

[21] **Ünsalan, C. ve Erçil, A.,** 1997. Automated quality inspection of wood surfaces using texture analysis techniques, Proceedings of IEEE SIU'97, pp. 264-271, May 1997, Kusadasi, Turkey

[22] **Köse, H.,** 1997. Otonom Hareketli Robotlar için Sağlam Bir Bilişsel Mimariye Doğru, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Istanbul.

[23] **Kiss, I., Berta, I., Pula, L. and Koczy, L. T.,** 1997. Fuzzy Logic in Industrial Electrostatics, Journal of Electrostatics, 40&41 (1997), 561-566.

[24] **Chatterjee, A., Rakshit, A. and Mukherjee, P. K.,** 2001. A Self-Organizing Fuzzy Inference System for Electric Field Optimization of HV Electrode Systems, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 8, No. 6, 995-1002.

[25] **Zadeh, L.A.,** 1973 Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-3, pp. 28-44.

[26] **The Math Works,** Inc., Fuzzy Logic Toolbox for Use With Matlab, Users Guide Version 2.

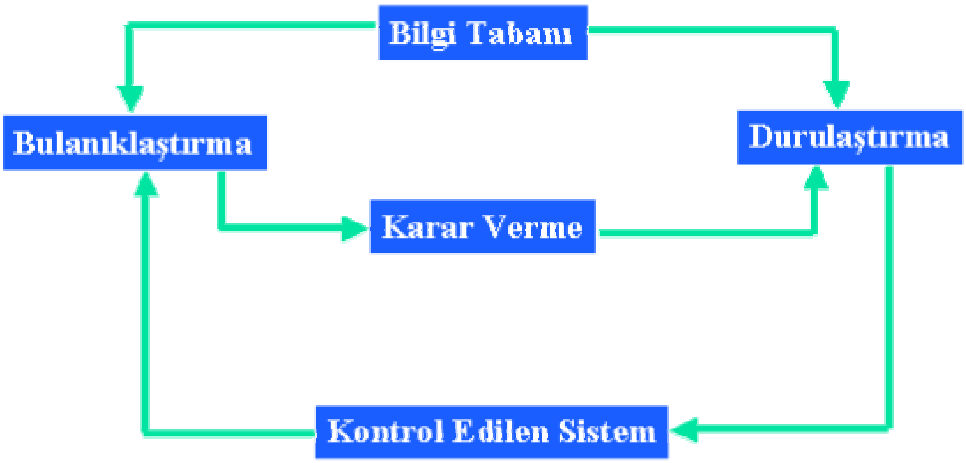
[27] **Sarı, E.,** 2001. Bir Isıtma ve Havalandırma Sisteminin Bulanık Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[28] **Saner, Y.,** 1998. Güç Dağıtımı, 1-24, Birsen Yayınevi, İstanbul.

[29] **Onaran, K.,** 1993. Malzeme Bilimi, 23-27, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.

EK A

Bulanık mantık programlama blok diyagramı



EK B

Karar verici sistemin Yalıtkan çıkış büyüklüğüne ilişkin kural algoritmaları:

1 IF [SICAKLIK is not 100] AND [GERILIM is Y_2] AND [KullanimAlani is DIGER] AND [k is 5] THEN [YALITKAN is KAGIT]

2 IF [SICAKLIK is not 100] AND [GERILIM is O_3] AND [KullanimAlani is DIGER] AND [k is 5] THEN [YALITKAN is PVC]

3 IF [SICAKLIK is not 100] AND [GERILIM is Y_1] AND [KullanimAlani is DIGER] AND [k is 5] THEN [YALITKAN is PE]

4 IF [GERILIM is ALC_V] AND [KullanimAlani is NEHIR] THEN [YALITKAN is PVC]

5 IF [GERILIM is O_1] AND [KullanimAlani is MADEN] THEN [YALITKAN is PVC]

6 IF [GERILIM is O_2] AND [KullanimAlani is MADEN] THEN [YALITKAN is XLPE

7 IF [GERILIM is O_1] AND [KullanimAlani is GEMI] THEN [YALITKAN is EPR]]

8 IF [GERILIM is O_1] AND [KullanimAlani is YANGIN] THEN [YALITKAN is EPR]

9 IF [GERILIM is O_1] AND [KullanimAlani is SUGECMEZ] THEN [YALITKAN is XLPE]

10 IF [SICAKLIK is not 100] AND [GERILIM is Y_2] AND [KullanimAlani is DIGER] AND [k is 1.25] THEN [YALITKAN is PE]

11 IF [SICAKLIK is not 100] AND [GERILIM is O_3] AND [KullanimAlani is DIGER] AND [k is 1.25] THEN [YALITKAN is PVC]

12 IF [SICAKLIK is not 100] AND [GERILIM is O_3] AND [KullanimAlani is DIGER] AND [k is 2.5] THEN [YALITKAN is PVC]

13 IF [SICAKLIK is not 100] AND [GERILIM is Y_1] AND [KullanimAlani is DIGER] AND [k is 2.5] THEN [YALITKAN is PVC]

14 IF [SICAKLIK is not 100] AND [GERILIM is Y_1] AND [KullanimAlani is DIGER] AND [k is 1.25] THEN [YALITKAN is PVC]

15 IF [SICAKLIK is not 100] AND [GERILIM is O_3] AND [KullanimAlani is DIGER] AND [k is 10] THEN [YALITKAN is PE]

16 IF [SICAKLIK is not 100] AND [GERILIM is Y_1] AND [KullanimAlani is DIGER] AND [k is 10] THEN [YALITKAN is KAGIT]

17 IF [KullanimAlani is DIGER] THEN [YALITKAN is PVC]

18 IF [KullanimAlani is MADEN] THEN [YALITKAN is PVC]

19 IF [KullanimAlani is GEMI] THEN [YALITKAN is PVC]

20 IF [KullanimAlani is YANGIN] THEN [YALITKAN is PVC]

21 IF [KullanimAlani is SUGECMEZ] THEN [YALITKAN is PVC]

22 IF [SICAKLIK is not 100] AND [GERILIM is Y_2] AND [KullanimAlani is DIGER] AND [k is 2.5] THEN [YALITKAN is PE]

23 IF [SICAKLIK is not 100] AND [GERILIM is Y_2] AND [KullanimAlani is DIGER] AND [k is 10] THEN [YALITKAN is KAGIT]

24 IF [GERILIM is O_1] AND [KullanimAlani is NEHIR] THEN [YALITKAN is XLPE]

25 IF [GERILIM is O_2] AND [KullanimAlani is NEHIR] THEN [YALITKAN is XLPE]

26 IF [GERILIM is O_3] AND [KullanimAlani is NEHIR] THEN [YALITKAN is XLPE]

27 IF [KullanimAlani is NEHIR] THEN [YALITKAN is PVC]

28 IF [SICAKLIK is 100] AND [KullanimAlani is DIGER] THEN [YALITKAN is XLPE]

EK C

Karar verici sistemin İletken çıkış büyüklüğüne ilişkin kural algoritmaları:

1 IF [ILETKENLIK is COK_IYI] THEN [ILETKEN is SUPERILETKEN]

2 IF [ILETKENLIK is AZ] AND [OZGULAGIRLIK is ORTA_1] AND [ISILILETKENLIK is AZ] AND [ERGIMESICAKLIGI is COK] THEN [ILETKEN is FE]

3 IF [ILETKENLIK is AZ] AND [OZGULAGIRLIK is ORTA_2] AND [ERGIMESICAKLIGI is COK] THEN [ILETKEN is NI]

4 IF [ILETKENLIK is AZ] AND [OZGULAGIRLIK is AZ] AND [ISILILETKENLIK is ORTA] AND [ERGIMESICAKLIGI is AZ] THEN [ILETKEN is AL]

5 IF [ILETKENLIK is IYI] AND [OZGULAGIRLIK is ORTA_2] AND [ISILILETKENLIK is COK] AND [ERGIMESICAKLIGI is ORTA] THEN [ILETKEN is CU]

6 IF [ILETKENLIK is IYI] AND [OZGULAGIRLIK is YUKSEK] AND [ISILILETKENLIK is AZ] AND [ERGIMESICAKLIGI is ORTA] THEN [ILETKEN is AG]

EK D

Karar verici sistemin DisKilif çıkış büyüklüğüne ilişkin kural algoritmaları:

1 IF [KullanimAlani is GEMI] THEN [DISKILIF is CR]

2 IF [KullanimAlani is SUGECMEZ] THEN [DISKILIF is PE]

3 IF [KullanimAlani is DIGER] THEN [DISKILIF is PVC]

4 IF [GERILIM is ALC_V] AND [KullanimAlani is NEHIR] THEN [DISKILIF is PVC]

5 IF [KullanimAlani is MADEN] THEN [DISKILIF is PVC]

6 IF [KullanimAlani is YANGIN] THEN [DISKILIF is EVA]

7 IF [GERILIM is not ALC_V] AND [KullanimAlani is NEHIR] THEN [DISKILIF is KURSUN]

ÖZGEÇMİŞ

Taner Aydın, 1977 yılında Karabük'te doğdu. 1994 yılında Safranbolu Lisesi'nden mezun oldu ve yine aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 1995 yılında İ.T.Ü. Dil ve İnkılap Tarihi Bölümü'ndeki bir yıllık hazırlık programının ardından, iki yıl süreyle İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'ndeki öğrenimini devam ettirdi. 1997 yılında İ.T.Ü. Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'ne yatay geçiş yapmaya hak kazanarak, 1999 yılında bu bölümden Lisans öğrenimini tamamladı. 2000 yılında İ.T.Ü. Dil ve İnkılap Tarihi Bölümü'ndeki bir yıllık hazırlık programının ardından, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Mühendisliği Programı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı.