



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNDE HATA TANISI İÇİN DGA TABANLI HİBRİT AKILLI SİSTEM

ENGİN BAKER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Erkan DURSUN

EŞ-DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Seçil Varbak NEŞE

İSTANBUL, 2022



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNDE HATA TANISI İÇİN DGA TABANLI HİBRİT AKILLI SİSTEM

ENGİN BAKER
(523119007)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Erkan DURSUN

EŞ-DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Seçil Varbak NEŞE

İSTANBUL, 2022



MARMARA UNIVERSITY
INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES
IN PURE AND APPLIED SCIENCES



DGA-BASED HYBRID INTELLIGENT SYSTEM FOR FAULT DIAGNOSTICS OF POWER TRANSFORMERS

ENGİN BAKER

MASTER THESIS

Department of Electrical and Electronics Engineering

Thesis Supervisor

Dr. Öğr. Üyesi Erkan DURSUN

Thesis CO- Supervisor

Dr. Öğr. Üyesi Seçil Varbak NEŞE

ISTANBUL, 20

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimde Bulanık Mantık alanında verdiği bilgiler ile çalışmamın temelini oluşturan Prof. Dr. Ahmet Fevzi BABA hocama, LabVIEW programında verdiği destek ve yönlendirmeleri için Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ hocama veri setlerinin elde edilmesi sırasında yardımcı olan ve tecrübelerini esirgemeyen TEİAŞ kurumuna, Taif Üniversitesi'nden İbrahim B.M. TAHA'ya teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu günlere gelmemde gösterdikleri her türlü özveri ve desteklerinden dolayı annem Emine BAKER, babam Erturul BAKER 'e ve tez çalışmam sırasında beni motive eden kardeşlerim Ezgi BAKER ve Ekrem Can BAKER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda mesai ve zaman kavramlarını gözetmeden desteklerini hiç esirgemeyen, verdikleri vizyon gösterdikleri yol ve yöntemlerle daha verimli çalışmamı sağlayan değerli danışman hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Erkan DURSUN'a ve Dr. Öğr. Üyesi Seçil Varbak NEŞE'ye özel teşekkür ve şükranlarımı sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
SEMBOLLER/SYMBOLS	vi
KISALTMALAR / ABBREVIATIONS.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ/LIST OF FIGURES	viii
TABLO LİSTESİ/LIST OF TABLES.....	ix
1. GİRİŞ/INTRODUCTION	1
1.1. Tezin Amacı.....	2
1.2. Gaz Analizörleri.....	2
1.2.1 Dahili tip gaz analizörleri	4
1.2.2 Laboratuvar tip gaz analizörleri	4
1.2.3 Saha tipi gaz analizörleri	4
1.3. DGA Nedir?	4
1.4. Transformator İç Hataları	5
1.4.1 Kısmi deşarj (PD).....	5
1.4.2 Düşük enerjili deşarj (D1)	5
1.4.3 Yüksek enerjili deşarj (D2)	5
1.4.4 Termal hata.....	5
1.5. Klasik DGA Hata Tanı Metotları	5
1.5.1 Key Gaz Metodu (KGM).....	6
1.5.2 Duval Triangle Metodu (DTM).....	7
1.5.3 Sadeleştirilmiş IEC Metodu (SIM)	8
1.6. Akıllı DGA Hata Tanı Modelleri	8
1.6.1 Bulanık mantığın DGA ile kullanılması	8
1.6.2 Matematiksel ve istatistiksel yaklaşımların DGA ile kullanılması	9
1.6.3 Destek vektör makinesinin DGA ile kullanılması	9
1.6.4 Yapay sinir ağlarının DGA ile kullanılması.....	9
1.7. Literatür Taraması	10
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
2.1. Kullanılan Veri Seti.....	13
2.2. Bulanık Mantığın Hata Tanı Metotlarına Uygulanması	14
2.3. Önerilen DGA Tabanlı Hibrit Akıllı Sistem(HAS).....	16
2.3.1 LabVIEW programında sistemin oluşturulması	19

3. BULGULAR VE TARTIŞMA	21
4. SONUÇ	24
KAYNAKLAR/REFERENCES	25
5. EKLER	29
EK-1 Veri Setleri	29
EK-2 Giriş Üyelik Fonksiyonları	37
EK-3 LabVIEW Blok Şeması	42
ÖZGEÇMİŞ.....	43



ÖZET

GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNDE HATA TANISI İÇİN DGA TABANLI HİBRİT AKILLI SİSTEM

Güç transformatörleri elektrik şebekelerinin en önemli ve pahalı ekipmanlarından. Güçlerinin büyük ve gerilim seviyelerinin yüksek olması soğutma ve yalıtım açısından transformatör yağı kullanılmasını mecbur kılmaktadır. Bu sebeple güç transformatörlerinin nüve, sargılar ve izolasyon malzemeleri gibi önemli parçaları transformatör yağı ile dolu tank içerisinde bulunur. Kapalı bir alanda bulunan bu malzemelerde oluşabilecek arızaları tespit etmek zordur. Arızanın hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilememesi elektrik enerjisine bağımlılığın arttığı günümüzde, ekonomik olarak büyük üretim kayıplarına, iş dünyasında planlamada oluşacak aksaklıklara, iletişimde kesintilere ve sosyal açıdan birçok olumsuzluğa neden olabilmektedir. DGA tabanlı hata tanı metotları ile transformatörlerde oluşabilecek bir hata önceden kestirilebilmekte ve hata büyümeden gerekli önlemler alınabilmektedir. Literatürde mevcut çalışmalarda hata tanısı klasik DGA Tabanlı metotlar ile maksimum %90 doğrulukla gerçekleştirilmiştir. Enerjinin kesintiye uğramaması ve transformatörlerin etkin ve güvenilir şekilde işletilerek yaşam döngüsünü tamamlaması bu başarı oranlarının artırılmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada DGA Tabanlı Hata Tanı Metotları temel alınarak bulanık mantık ve matematiksel yaklaşımın birlikte kullanıldığı akıllı hibrit bir hata tanı sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem LabVIEW ortamında oluşturulmuş ve transformatörlere ait 317 adet arıza veri seti ile test edilmiştir. Test sonucunda %95,58 doğrulukla yüksek bir başarı elde edilmiştir. Bu çalışma ile oluşturulan grafik ara yüzü transformatör işletmecileri ve üreticileri için kullanım kolaylığı sağlayacaktır.

ABSTRACT

DGA-BASED HYBRID INTELLIGENT SYSTEM FOR FAULT DIAGNOSTICS OF POWER TRANSFORMERS

Power transformers are one of the most important and expensive equipment of electrical networks. Their high power and high voltage levels require the use of transformer oil in terms of cooling and insulation. For this reason, important parts of power transformers such as core, windings and insulation materials are in a tank filled with transformer oil. This makes it difficult to detect when a fault occurs in the transformer. Failure to detect the fault quickly and accurately can cause great economic losses, disruptions in planning in the business world, interruptions in communication and many social negativities in today's world where the dependence on electrical energy has increased. Thanks to the use of DGA-Based fault diagnosis methods, a fault that may occur in the transformer can be predicted and necessary precautions can be taken before the faults grows. In the existing studies in the literature, fault diagnosis was performed with traditional DGA-based methods with a maximum accuracy of 90%. The fact that the energy is not interrupted and that the transformers are operated effectively and reliably to complete their life cycle requires increasing these accuracy rates. In this study, DGA Based Fault Diagnosis methods are based. A hybrid fault diagnosis system is designed in which fuzzy logic and mathematical approach are used together. This system was created in the LabVIEW environment and tested with 317 fault data sets of transformers. As a result of the test, a high accuracy was achieved with an accuracy of 95.58%. The graphical interface created with this study will provide ease of use for transformer operators and manufacturers.

SEMBOLLER/SYMBOLS

$f_{KGM}^{th}(x)$	FKGM Modelinin Termal Hata İçin Ayırışık Hata Olasılığı (2.1)
$f_{SIM}^{th}(x)$	FSIM Modelinin Termal Hata İçin Ayırışık Hata Olasılığı (2.2)
$f_{DTM}^{th}(x)$	FDTM Modelinin Termal Hata İçin Ayırışık Hata Olasılığı (2.3)
$f_{KGM}^{pd}(x)$	FKGM Modelinin PD Hatası İçin Ayırışık Hata Olasılığı (2.4)
$f_{SIM}^{pd}(x)$	FSIM Modelinin PD Hatası İçin Ayırışık Hata Olasılığı (2.5)
$f_{DTM}^{pd}(x)$	FDTM Modelinin PD Hatası İçin Ayırışık Hata Olasılığı (2.6)
$f_{KGM}^{arc}(x)$	FKGM Modelinin Ark Hatası İçin Ayırışık Hata Olasılığı (2.7)
$f_{SIM}^{arc}(x)$	FSIM Modelinin Ark Hatası İçin Ayırışık Hata Olasılığı (2.8)
$f_{DTM}^{arc}(x)$	FDTM Modelinin Ark Hatası İçin Ayırışık Hata Olasılığı (2.9)
AI_{Th}	Termal Hata Doğruluk Endeksi
AI_{PD}	PD Hatası Doğruluk Endeksi
AI_{Ar}	Ark Hatası Doğruluk Endeksi
$f_{Thermal}$	Termal Hata Tümleşik Olasılığı (2.10)
f_{PD}	PD Hatası Tümleşik Olasılığı (2.11)
f_{Arcing}	Ark Hatası Tümleşik Olasılığı (2.12)

KISALTMALAR / ABBREVIATIONS

BM	Bulanık Mantık
D1	Düşük Enerjili Deşarj
D2	Yüksek Enerjili Deşarj
DGA	Çözülmüş Gaz Analizi (Dissolved Gas Analysis)
DT	Deşarj ve Ark Karışımı
DRM	Doernenburg Oran Metodu
DTM	Duval Üçgen Metodu
DVM	Destek Vektör Makinaları
FDTM	Bulanık Mantık Tabanlı DTM
FKGM	Bulanık Mantık Tabanlı KGM
FL	Fuzzy Logic
FSIM	Bulanık Mantık Tabanlı SIM
HAS	Önerilen Hibrit Akıllı Sistem
IRM	IEC Oran Metodu
KGM	Key Gaz Metodu
LFSM	LabVIEW Fuzzy System Designer
PD	Kısmi Deşarj (Partial Discharge)
PPM	Milyonda Parça (Parts Per Million)
RRM	Rogers Oran Metodu
SIM	Sadeleştirilmiş IEC Metodu
T1	Yağda ve/veya selülozda 300 °C altında Termal Hata.
T2	Yağda ve/veya selülozda 300 °C üstünde Termal Hata.
T3	Yağda ve/veya selülozda 700 °C üstünde Termal Hata
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİL LİSTESİ/LIST OF FIGURES

Şekil 1.1 Gaz analizörünün yapısı [12]	3
Şekil 1.2 Gaz absorbe dalga numaraları	3
Şekil 1.3 DTM koordinatları ve hata bölgeleri	7
Şekil 2.1 BM akış şeması	14
Şekil 2.2 DTM giriş üyelik fonksiyonu (%C2H2)	14
Şekil 2.3 Çıkış üyelik fonksiyonu	15
Şekil 2.4 Mamdani çıkarım mekanizması	15
Şekil 2.5 Sistem özet şeması	17
Şekil 2.6 Sistem akış diagramı	17
Şekil 2.7 LabVIEW ön panel	20
Şekil 5.1 KGM H2 giriş üyelik fonksiyonu	37
Şekil 5.2 KGM CH4 giriş üyelik fonksiyonu.....	37
Şekil 5.3 KGM CO giriş üyelik fonksiyonu.....	37
Şekil 5.4 KGM C2H2 giriş üyelik fonksiyonu.....	37
Şekil 5.5 KGM C2H4 giriş üyelik fonksiyonu.....	38
Şekil 5.6 KGM C2H6 giriş üyelik fonksiyonu.....	38
Şekil 5.7 KGM %H2 giriş üyelik fonksiyonu	38
Şekil 5.8 KGM %C2H4 giriş üyelik fonksiyonu	38
Şekil 5.9 KGM %CO giriş üyelik fonksiyonu	39
Şekil 5.10 KGM %C2H2 giriş üyelik fonksiyonu	39
Şekil 5.11 KGM %CH4 giriş üyelik fonksiyonu	39
Şekil 5.12 KGM %C2H6 giriş üyelik fonksiyonu	39
Şekil 5.13 DTM %CH4 giriş üyelik fonksiyonu.....	40
Şekil 5.14 DTM %C2H4 giriş üyelik fonksiyonu.....	40
Şekil 5.15 DTM %C2H2 giriş üyelik fonksiyonu.....	40
Şekil 5.16 SIM R1 giriş üyelik fonksiyonu.....	41
Şekil 5.17 SIM R2 giriş üyelik fonksiyonu.....	41
Şekil 5.18 SIM R3 giriş üyelik fonksiyonu.....	41
Şekil 5.19 LabVIEW blok şeması	42

TABLO LİSTESİ/LIST OF TABLES

Tablo 1.1 KGM hata tanısı kuralları [18].....	6
Tablo 1.2 Tipik gaz konsantrasyonları [19]	6
Tablo 1.3 SIM hata tanısı kuralları[19].....	8
Tablo 2.1 AI doğruluk endeksi değerleri	16
Tablo 3.1 Çeşitli çalışmalarda klasik DGA metotlarına ait başarı oranları	21
Tablo 3.2 BM uygulanmış klasik hata tanı modellerinin doğrulukları	21
Tablo 3.3 Önerilen sistemin örnek çıkışları	22
Tablo 3.4 Önerilen Hibrit Akıllı Sistem(HAS) performansı.....	23
Tablo 5.1 Kullanılan veri setleri.....	29



1. GİRİŞ/INTRODUCTION

Güç transformatörlerinde meydana gelecek iç hataların birçoğu transformatörü günlerce devre dışı bırakabilmektedir. Bu durum elektrik enerjisine bağımlılığın arttığı günümüzde ekonomik olarak büyük üretim kayıplarına, iş dünyasında planlamada oluşacak aksaklıklara, iletişimde kesintilere ve sosyal açıdan birçok olumsuzluğa neden olabilmektedir [1]. Güç transformatörlerinin servis sürekliliğinin şebekeler açısından hayati önem taşıması transformatörün doğru bir şekilde işletilmesini mecbur kılmaktadır. Transformatörlerin doğru şekilde işletilmesi; bakımlarının zamanında ve eksiksiz yapılmasını, koruma ekipmanlarından gelen bilgileri takip etmeyi ve bu alınan bilgileri doğru analiz etmeyi zorunlu kılmaktadır.

Güç transformatörleri üzerinde birçok koruma ekipmanı bulunmaktadır. Bunlar buchholz rölesi, ani basınç rölesi, termik koruma, tank koruma, diferansiyel koruma ve yağ seviye gibi koruma düzenleridir. Bu geleneksel koruma düzenleri bir trafoda bir arıza meydana geldiğinde alarm ya da kesme vererek transformatördeki hatanın sisteme zarar vermesini engeller. Fakat günümüzde hatanın koruma cihazı ile algılanıp kesilmesi plansız elektrik kesintilerine yol açması sebebiyle kabul edilebilir bir durum değildir. Dolayısıyla bu geleneksel koruma düzenleri yerine hatayı çok daha öncesinde algılayıp, plansız kesintilerin önüne geçip, transformatörün hatanın son evresine gelmesi ile oluşacak erken yaşlanma veya tamamen kullanım dışı olma ihtimallerini ortadan kaldıran önleyici teknik ve sistemlere ihtiyaç doğmuştur [2].

1956 yılında buchholz rölesinde biriken gazların arıza teşhisinde kullanılabileceğine dair bir çalışma yayınlanmıştır [3]. Bu çalışma transformatörler için Çözünmüş Gaz Analizi (DGA) (Dissolved Gas Analysis) tekniğinin ortaya çıktığı ilk çalışma olmuştur. 1969 yılında ise ilk kez Doernenburg tarafından trafo yağında çözünmüş gazların hata tanısı amacıyla kullanılmasına dair bir metot ileri sürülmüştür. 1978 yılında Rogers tarafından bir başka hata tanı metodu geliştirilmiştir [4]. Aynı yıl IEEE C57.104:1978 ve IEC 60599:1978 standartları yayımlanmıştır. Bu standartlar DGA süreçleri ve teknikleri hakkında bilgiler içeren ilk standartlardır. 1995 yılında ise ilk defa trafolar için dahili gaz analizörleri üretilmiştir.

Gaz Analizörlerinin kullanılmasının yaygınlaşmasıyla transformatör yağı içerisinde bulunan çözünmüş gazlar ile ilgili birçok veri elde edilmiştir. Uzmanlar bu verileri

kullanarak transformatörlerin durumu hakkında birçok DGA tabanlı hata tanı metodu ileri sürmüşlerdir [4-7]. İleri sürülen hata tanı metotları trafo yağı içerisindeki çözünmüş gazları çeşitli kurallara ve sınır değerlere göre işleyerek hata tanısında bulunmaktadır. Böylece trafo içerisinde yeni başlayan hatalar tespit edilip plansız kesintilerin önüne geçilmektedir. Fakat bu hata tanı metotlarının insan yargı ve tecrübesine dayalı olması zaman zaman hatalı tanımlar ortaya çıkmasına neden olmaktadır [8].

1.1. Tezin Amacı

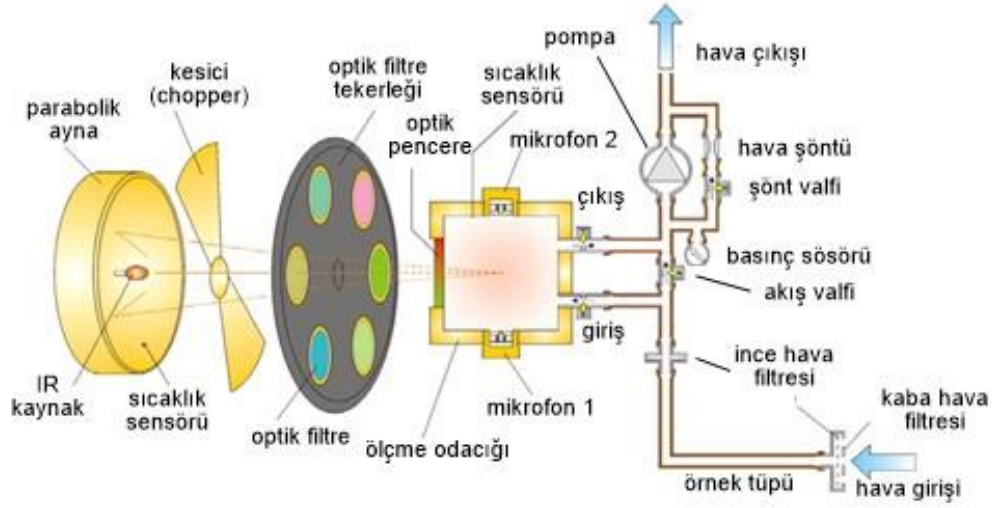
Literatürde birçok DGA tabanlı hata bulma metodu bulunmaktadır. Bu yöntemler klasik hata tanı metotları ve akıllı modeller olarak 2 ana gruba ayrılmaktadır [8,9]. Klasik hata tanı metotları doğrudan gaz miktarlarını, gazların birbirine oranlarını ya da gazların bağlı yüzdelelerini kullanarak hata tanısı gerçekleştirir. Anahtar Gaz Metodu (KGM), Rogers Oran Metodu (RRM), Doernenburg Oran Metodu (DRM), IEC Oran Metodu (IRM), Sadeleştirilmiş IEC Oran Metodu (SIM) ve Duval Triangle Metodu (DTM) klasik metotların en sık kullanılanlarıdır. Bu yöntemler uzmanların tecrübelerinden oluşturulmuş ve insan yargısına dayalı olması sebebiyle zaman zaman başarısız teşhisler yapmaktadır [10]. Akıllı modeller ise klasik hata tanı metotlarının doğruluklarını artırmayı amaçlar. Literatürde bulanık mantık, yapay sinir ağları, destek vektör makinesi ve matematiksel yaklaşım kullanılarak hata doğruluklarını artırmayı hedefleyen birçok çalışma vardır.

Bu çalışmada klasik hata tanı metotlarına Bulanık Mantık (BM) uygulanıp BM tabanlı modeller matematiksel yaklaşımla ele alınarak hata tanı doğruluklarının artırılması amaçlanmaktadır. Önerilen sistem ile BM tabanlı KGM, DTM ve SIM modellerinin verdiği sonuçlar matematiksel bir yaklaşımla işlenerek daha yüksek doğrulukta hata tahmini amaçlanmaktadır. LabVIEW üzerinden oluşturulan hibrit sistem kullanıcı ara yüzü ile transformatör yağ analiz laboratuvarlarına, trafo işletmecilerine ve üreticilerine kullanım kolaylığı sunmaktadır.

1.2. Gaz Analizörleri

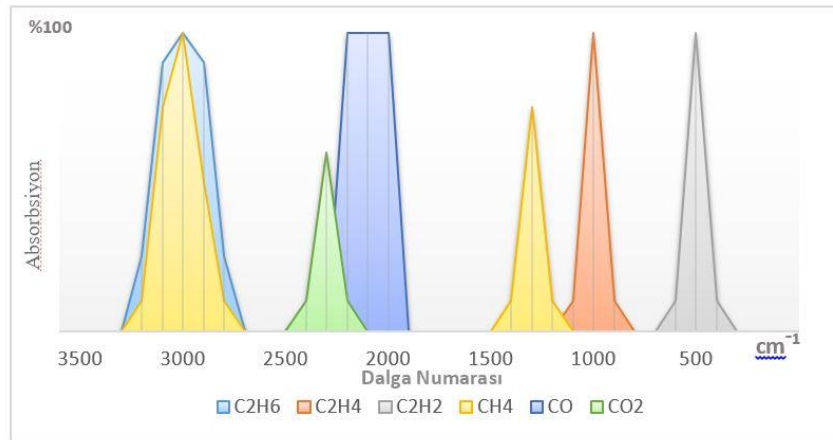
Gaz analizör cihazları, foto akustik spektrometre ve gaz kromatografisi tekniklerine göre çalışırlar. Şekil 1.1'de foto akustik spektrometre tekniğine göre çalışan bir gaz analizörünün yapısı gösterilmektedir. Yağ örneği ölçme tankına istenilen periyotlarla transformatör yağı doldurulur. Bir radyasyon kaynağı vasıtası ile çeşitli dalga boylarında üretilen ışınlar yağ örneği ölçme tankına gönderilir. Yağ örneği tankına gönderilen ışınlar,

her biri farklı dalga boyunu absorbe edecek gazlar tarafından absorbe edilir. Işını absorbe eden gazın kinetik enerjisi artarak tankın yan cidarlarında bulunan mikrofonlara çarpar. Çarpmanın etkisiyle bir basınç dalgalanması oluşur. Mikrofonlar vasıtasıyla bu basınç dalgalanması akustik frekans sinyallerine dönüştürülür. Bu sinyalin analiziyle yağ numunesinin içerisindeki gaz miktarları belirlenir [11].



Şekil 1.1 Gaz analizörünün yapısı [12]

Şekil 1.2 gazların absorbe ettiği dalga numaralarını göstermektedir. Grafiğe göre metan gazı dalga numarası (ν) 3000 cm^{-1} olan ışını absorbe etmektedir. Bir başka ifadeyle $\lambda = 1/\nu$ formülünden dalga boyu $\lambda = 3,3$ mikrometre olan ışını absorbe ettiği anlaşılmaktadır.



Şekil 1.2 Gaz absorbe dalga numaraları

Gaz kromatografisi ile çalışan gaz analizörleri ise numune alınmış trafo yağındaki gazları, biri sabit diğeri hareketli faz olmak üzere birbirleriyle karışmayan iki fazlı bir sistemde ayırıştırarak, tanılar ve miktarlarını belirler.

Analizör cihazlarının dahili tip, laboratuvar tip ve saha tipi olmak üzere 3 farklı kullanım alanı vardır.

1.2.1 Dahili tip gaz analizörleri

Trafo üzerinde bulunurlar. Bir veya aynı merkezde bulunan birden fazla trafonun çözünmüş gaz ölçümünü yapma yetenekleri vardır. Uzaktan izleme sistemleriyle beraber kullanılarak trafolardaki anlık değişimlerin izlenmesine olanak sağlarlar. Maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle kullanımları yaygın değildir [13,14].

1.2.2 Laboratuvar tip gaz analizörleri

Laboratuvarlarda bulunan gaz analizörleridir. Trafolardan alınan yağ örneklerinin laboratuvar ortamında ölçümünü yapar. Tonlarca yağdan alınan birkaç litrelik bir yağ numunesi, yağın tamamını temsil etmektedir. Bu sebeple numune alırken önemsiz gibi görülen küçük bir hata, ölçümlere büyük oranda yansır. Ölçüm sonuçlarının bu hatalardan etkilenmemesi sebebiyle belirlenmiş kurallar vardır. Bu kurallar IEC-60567 ve IEC-60475 standartlarında detaylı olarak anlatılmaktadır [13].

1.2.3 Saha tipi gaz analizörleri

Bu gaz analizörleri taşınabilir ekipmanlar olması sebebiyle saha kullanımına uygundur. Farklı konumlarda, yerinde teşhis gereken durumlarda veya sık sık ölçüm yapılması gereken yaşlanmış trafolarda kullanılır [13,14].

1.3. DGA Nedir?

Transformatör mineral yağı ve selüloz izolasyonu yaşam döngüsü boyunca çeşitli elektriksel ve termal etkilere maruz kalır. Bu etkiler transformatör yağı içerisinde bazı gaz çıkışlarına neden olur. Bu gazlar Hidrojen (H_2), Metan (CH_4), Etan (C_2H_6), Etilen (C_2H_4), Asetilen (C_2H_2), Karbonmonooksit (CO), Karbondioksit (CO_2) ve Nitrojendir (N_2). Belirtilen gazlar gaz analizör cihazları ile teşhis edilir. Miktarları belirlenen çözünmüş gazlar uzman deneyimleriyle oluşturulmuş hata tanı teknikleriyle analiz edilir. DGA ile,

- Arızanın tespiti (arıza olup olmadığına karar verilmesi)
- Arızanın teşhisi (arıza tipine karar verilmesi)
- Arızanın yeri (çekirdek, sargı, yağ, selüloz kağıt)

- Arızanın şiddeti (gaz miktarları ve gaz miktarı artış miktarı)

yorumlanarak trafoyun durumu belirlenir. Tüm bu süreçler DGA olarak adlandırılır [15-17].

1.4. Transformatör İç Hataları

Güç transformatörlerinde arıza genel olarak üretim aşamasında, tasarım ya da işçilik kaynaklı eksiklikler, yanlış iletken boyutlandırmaları, kötü bağlantı noktaları, izolasyonun üretim aşamasında aldığı mekanik darbeler, kullanılan malzemelerin mikro yapısındaki çatlak, boşluklar, kağıdın ya da iletkenin korozyona uğraması gibi sebeplerden kaynaklanmaktadır [17]. Transformatörlerde oluşabilecek hatalar IEEE Std.C57.104-2019 da aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [18].

1.4.1 Kısmi deşarj (PD)

Transformatör içerisinde lokal bir elektrik alanın, izolasyonun dielektrik kapasitesini aştığı bölgede görülen bir parlama olarak tanımlanabilir. Bunun sonucunda kağıt izolasyon üzerinde X-Wax (bir tür mum) birikmesine neden olur.

1.4.2 Düşük enerjili deşarj (D1)

Yağda ve/veya kâğıtta düşük enerjili deşarjların meydana gelmesi sonucunda kağıt üzerinde karbonlaşmış delikler ve/veya yağ içerisinde karbon parçacıklarının oluşmasına neden olur.

1.4.3 Yüksek enerjili deşarj (D2)

Yağda ve/veya kâğıtta yüksek enerjili deşarjların meydana gelmesi kâğıtta tahribat ve karbonizasyon, deşarjın olduğu uçlarda metal füzyonu ve yağ içerisinde metal eriyiği gibi sonuçlara neden olur.

1.4.4 Termal hata

Yağda ve/veya kâğıtta; kahverengimsi dönüşüm bulunuyorsa 300°C'nin altında bir termal hata (T1), eğer kömürleşme var ise 300°C üzerinde bir termal hata (T2) meydana gelmiştir. Kömürleşmede güçlü bir dönüşüm (700 °C), metal parçalarda renk değişimleri (800 °C) veya metal füzyonu (1000 °C) T3 hatasının göstergeleridir.

1.5. Klasik DGA Hata Tanı Metotları

Elektriksel ve termal arızalar trafo yağı içerisinde bazı gazları açığa çıkarır [6]. Bu gaz çıkışı trafo yağının ya da selüloz kağıdın trafo içerisinde meydana gelen bir hata sonucunda bozulmasından kaynaklanmaktadır [1]. Bu gazlar Hidrojen (H₂), Metan (CH₄),

Etan (C₂H₆), Etilen (C₂H₄), Asetilen (C₂H₂), Karbonmonooksit (CO), Karbondioksit (CO₂) ve Nitrojen(N₂) olarak açığa çıkar. Bu gazların miktarları ise PPM (milyonda bulunan parça) olarak ifade edilir [6]. Madeni yağlı transformatörlerde oluşan elektriksel ve termal arızalarda meydana çıkan gazın analizi için IEEE Std.C57.104-2019 [18] ve IEC 60599:2015 [19] standartları kullanılmaktadır. Bu standartlarda hata tipleri ve DGA hata tanı metotları detaylı olarak açıklanmıştır. Bu çalışmada tercih edilen DGA hata tanı metotları, Key Gaz Metodu, Duval Triangle Metodu ve Sadeleştirilmiş IEC Metodudur.

1.5.1 Key Gaz Metodu (KGM)

KGM altı farklı gazın (H₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂, CO) konsantrasyonunu kullanarak transformatör içerisindeki hatayı tahmin eder. Bu gazlar TCG (Toplam Yanıcı Gaz) olarak adlandırılır. Tablo 1.1 ortaya çıkan gaz miktarları ile hataların ilişkisini göstermektedir [18].

Tablo 1.1 KGM hata tanısı kuralları [18]

Anahtar Gaz	Hata Tipi	Ortaya Çıkan Tipik TCG miktarları
C₂H₄	Yağda Isınma	Baskın miktarda C ₂ H ₄ ile daha az miktarda C ₂ H ₆ , CH ₄ , ve H ₂ . Çok yüksek sıcaklıklarda C ₂ H ₂ izleri.
CO	Selülozda Isınma	Baskın miktarda CO, çok daha az miktarda H ₂ .
H₂	PD	Baskın miktarda H ₂ ile az miktarda CH ₄ ve çok az miktarda C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ .
H₂, C₂H₂	Ark	Baskın miktarda H ₂ ve C ₂ H ₂ ile az miktarda CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ izleri. Ark selülozda gerçekleşmiş ise CO.

Ayrıca KGM transformatörün normal durumunu teşhiste en başarılı geleneksel metottur. Tablo 1.2 normal bir transformatörde transformatör yağı içerisindeki tipik gaz miktarlarını göstermektedir [19].

Tablo 1.2 Tipik gaz konsantrasyonları [19]

Key Gaz	(PPM)
Hidrojen (H₂)	50-150
Metan (CH₄)	30-130
Karbon monoksit (CO)	400-600
Asetilen (C₂H₂)	
Etilen (C₂H₄)	60-280
Etan (C₂H₆)	20-90
Karbon dioksit (CO₂)	3.800-14.000

1.5.2 Duval Triangle Metodu (DTM)

DTM trafo hatalarını grafiksel gösterimle tahmin eder. Şekil 1.3 DTM üçgeninin hata bölgelerini ve üçgensel koordinatlarını göstermektedir. Üçgende 7 hata bölgesi bulunmaktadır. Üçgenin kenarları ise CH₄, C₂H₂ ve C₂H₄'ün birbirlerine göre bağıl yüzdeleri temsil etmektedir. Bir hatayı tahmin etmek için gerekli olan üçgensel koordinatlar Denklem (1.1), (1.2), (1.3)'te olduğu gibi hesaplanmaktadır.

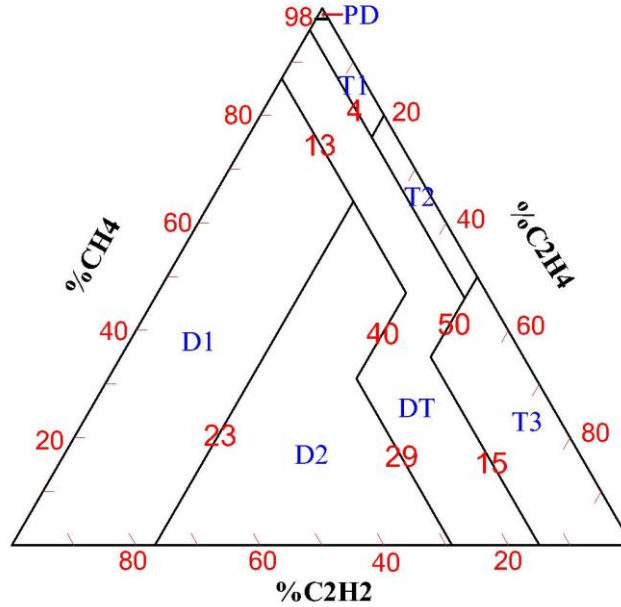
$$\%C_2H_2 = 100 * x / (x+y+z) \quad (1.1)$$

$$\%C_2H_4 = 100 * y / (x+y+z) \quad (1.2)$$

$$\%CH_4 = 100 * z / (x+y+z); \quad (1.3)$$

$$x = (C_2H_2); y = (C_2H_4); z = (CH_4), \text{ ppm.}$$

Hesaplanan bu bağıl yüzdelere Duval üçgeninin koordinatlarını oluşturmaktadır [7,18,19]. Bu koordinatlar kullanılarak üçgenin içerisine çekilen çizgiler bir noktada kesişir. Bu kesişim noktasının bulunduğu bölge DTM'in hata tanısıdır.



Şekil 1.3 DTM koordinatları ve hata bölgeleri

Üçgende bulunan D1 ve D2 yüksek ve düşük enerjili arkları, PD kısmi deşarjları, T1, T2 ve T3 çeşitli sıcaklıklardaki termal hataları ve DT ark ve termal hatalarının karışımını temsil eder [7].

1.5.3 Sadeleştirilmiş IEC Metodu (SIM)

Bu yöntem 4 farklı gazın (CH_4 , H_2 , C_2H_2 , C_2H_4) birbirlerine oranlarını kullanarak hata tahmini yapar. Yöntemin kuralları Tablo 1.3'te verilmiştir [19]. Tabloya göre CH_4/H_2 oranı 0,2'den küçük ise PD hatası, diğer bir oran olan $\text{C}_2\text{H}_2 / \text{C}_2\text{H}_4$ 0,2'den büyük ise ark, küçük ise termal hata olarak tanımlanır.

Tablo 1.3 SIM hata tanısı kuralları[19]

DURUM	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$	CH_4/H_2
PD Hatası		<0,2
Ark Hatası	>0,2	
Termal Hata	<0,2	

1.6. Akıllı DGA Hata Tanı Modelleri

Klasik DGA metotları, sınır değerlere yakınlık, çoklu hata ve tanımlanmamış aralıklar gibi durumlarda doğru sonuçlar verememekte, arıza tahminlerinde yanlış ya da belirsiz tahminler yapmaktadırlar. Akıllı hata tanı modelleri ile bu problemler ortadan kaldırılarak hata tanı doğruluklarını artırmak amaçlanmaktadır. Literatürde bulanık mantık, yapay sinir ağları, destek vektör makinesi, matematiksel ve istatistiksel yaklaşımlar kullanan akıllı modeller transformatör arıza tanı doğruluğunu artırma amacıyla sıkça kullanılmaktadır [8].

1.6.1 Bulanık mantığın DGA ile kullanılması

Bulanık Mantık (BM) geleneksel küme mantığından farklı olarak bulanık küme kuramını kullanır. Geleneksel kümelerde bir nesne bir kümenin elemanıysa 1 değilse 0 olarak derecelendirilir. Geleneksel kümelerdeki bu keskin ifadeler bulanık kümelerde bir aitlik derecesi ile yumuşatılır. Böylece geleneksel mantıktaki 0 ya da 1 keskin ifadeleri yerini $[0,1]$ aralığında bir aitlik derecesine bırakır.

BM, giriş, bulanıklaştırma, kural tabanı, çıkarım ünitesi, durulaştırma ve çıkış bölümlerinden oluşur. Bulanıklaştırma giriş değerlerinin bulanık küme üyeliği fonksiyonları vasıtasıyla dahil olmasıdır. Üyeliği fonksiyonları üçgen, yamuk, gauss ya da kullanıcı tanımlı bir geometri seçilerek yapılır.

Bulanıklaştırılan girişler If-Else yapısıyla oluşturulan kural tabanı ile çıkarım ünitesinde işlenerek bulanık bir çıkış elde edilir. Çıkarım ünitesinde Mamdani, Takagi-Sugeno ve Singleton gibi çıkarım mekanizmalarından uygun olanı seçilir.

Elde edilen bulanık çıkışlar durulaştırma adımımda keskin çıkışa dönüştürülerek süreç sonlandırılır. Durulaştırma yöntemleri olarak ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi, ağırlık ortalaması durulaştırma yöntemi ya da maksimum durulaştırma yöntemlerinden birisi seçilir [20].

BM'nin klasik DGA metotlarına uygulanması ile yanlış ve belirsiz sonuçlar asgariye indirilmektedir.

1.6.2 Matematiksel ve istatistiksel yaklaşımların DGA ile kullanılması

Klasik DGA yöntemlerinin verdiği sonuçları matematiksel ve istatistiksel olarak yorumlayan tekniklerdir. Net bir matematiksel yorumlama teorisinin olmaması, transformatör arıza tanısı alanında hala bir boşluktur. Bununla birlikte literatürde regresyon analizi, Gaussian Bayesian ağları, Markov modellemesi, koşullu olasılık ve grey teorisi gibi girişimler bulunmaktadır [8].

1.6.3 Destek vektör makinesinin DGA ile kullanılması

Destek Vektör Makinesi (DVM) sınıflandırma ve regresyon problemlerinin çözümünde sıkça başvurulan yapay zeka tekniklerindedir. Temel amacı bir veri kümesindeki elemanları en doğru iki sınıfa ayırmaktır. Bu sınıflandırmayı en iyi aşırı düzlemi kullanarak yapar. En iyi aşırı düzlem bir veri kümesinde en yakın iki nokta için en büyük mesafeye sahiptir [21].

DVM trafo hatalarının sınıflandırılmasında sıkça kullanılır. Trafo durumunu sıralı ikili karşılaştırmalar ile belirler. DVM tabanlı modeller trafonun normal, arızalı durum sınıflandırması, elektriksel, termal arıza sınıflandırması, PD, ark sınıflandırması ve son olarak D1, D2 sınıflandırması adımlarını sırasıyla yaparak hata tanısı gerçekleştirir [8].

1.6.4 Yapay sinir ağlarının DGA ile kullanılması

Yapay Sinir Ağları (YSA) insanın sinir sistemini esas alan akıllı öğrenme sistemidir. YSA veri setlerinden aldığı eğitim ile kendi deneyimini oluşturur. Edindiği deneyim ile benzer örneklere benzer sonuçlar verir. Proses elemanları ve bunları birbirine bağlayan bağlantılardan oluşur. Temel olarak girdi katmanı, ara katman ve çıktı katmanlarından oluşur [22].

YSA ile oluşturulan modeller genelleme yeteneği ve doğrusal olmayan girdi çıktı eşleşmesi nedeniyle eğitilmemiş verilerde de yaklaşık olarak doğru sonuçlar vermektedir. Bu nedenle YSA'nın DGA tabanlı arıza teşhis problemine uygulanması, çözülmemiş ve belirsiz teşhis konularını çözmeye olanak sağlamaktadır.

YSA modelleri klasik hata tanı metotlarındaki gaz miktarlarını giriş olarak kullanır. YSA modellerinin çıkışı ise klasik hata tanı metodunun tanılayabildiği hatalardan birisidir. Eğitim kriterleri kullanılan klasik hata tanı metodunun hata sınıflandırma kurallarına bağlıdır. YSA tabanlı modellerin yüksek öğrenme yetenekleri, uygulandıkları klasik hata tanı metodunun hata tanı doğruluğunu artırmaya olanak sağlar [8].

1.7. Literatür Taraması

K. Patekar vd. [16] çalışmalarında RRM, IRM ve DTM'yi YSA ile beraber kullanmışlardır. YSA destekli model ile daha yüksek doğruluk elde etmişlerdir. Çalışmada ayrıca Matlab ortamında bir ara yüz geliştirilmiştir. C.E. Lin vd.[2] RRM, IRM, DRM ve KGM kullanıp bir birleşik model geliştirmişlerdir. Model 101 adet veri setiyle test edilmiş ve %93,8 doğruluğa ulaşmıştır. Sherif S.M. Ghoneim vd. [6] 386 adet veri seti kullanarak gaz konsantrasyonlarına bağlı bir tahmin modeli önermişlerdir. Önerilen model %71,5 doğrulukla arızayı tahmin etmiştir. Abu Siada vd.[10] kullandıkları veri setiyle yaptıkları analizde KGM, DRM, RRM, IRM ve DTM'e ait başarı oranlarını sırasıyla %86,7, %57, %50, %51,7 ve %88 olarak bulmuşlardır. Sonrasında bu yöntemleri BM ile kullanarak 8 hatayı doğru tahmin etmişlerdir. J.L. Guardado vd.[23] 33 veri seti ile 5 farklı hata tanı metodu için YSA kullanarak %87-100 arasında değişen başarı oranları elde etmişlerdir. Sandip Apte vd.[24] RRM ve IRM'yi BM ile kullanarak yöntemlerin başarı oranlarını artırmışlardır. Sherif S.M. Ghoneim vd. [25] yaptıkları bir diğer çalışmada DTM, RRM ve IRM yöntemlerini matematiksel bir yaklaşımla birleştirip bir hata tahmin modeli önermişlerdir. Model 386 veri seti ile %85,2 doğrulukla hataları tahmin etmiştir. Y. Zhang vd.[26] Genetik Algoritma ve DVM'yi beraber kullanarak bir model önermişlerdir. 267 adet veri seti ile test edilen model %85,71 doğrulukla hataları tahmin etmiştir. S. Souahlia vd.[27] RRM ve DRM kullanarak 2 adet DVM Modeli tasarlamışlardır. DVM içinde Polinom ve Gauss olmak üzere iki ayrı yöntem kullanmışlardır. Oluşturdukları 4 model 135 adet veri seti ile test edilmiştir. RRM Tabanlı Gauss yöntemli DVM Modeli %85 doğrulukla hataları en iyi tahmin eden yöntem olmuştur.

V. Gomathy. vd.[28] DVM'yi Sıralı Minimal Optimizasyon (SMO) yöntemi ile kullanmışlardır. Modellerinde giriş olarak doğrudan gaz miktarlarını kullanmışlardır. 75 adet veri setiyle yapılan testte SVM-SMO modeli %96,13 doğrulukla hataları tahmin etmiştir. Z. Sahri vd.[29] DVM ve genetik algoritma ile beraber çalışan DVM olmak

üzere karşılaştırmalı bir çalışma yapılmışlardır. Giriş olarak gaz miktarlarını doğrudan kullanmışlardır. IEC TC10 ve Malezya Elektrik İdaresinden aldıkları 2 ayrı veri setiyle modellerini test etmişlerdir. Önerdikleri model 167 Adet IEC TC10 veri setiyle %51,92 gibi düşük bir doğruluk elde etmesine rağmen Malezya Elektrik İdaresinden alınan 1228 adet veri setiyle %86,24 doğrulukla hataları doğru tahmin etmiştir. A. Dhini vd.[30] bir DVM modeli önermişlerdir. Modelin girdileri doğrudan gaz miktarlarıdır. 117 Adet IEC TC10 verisini kullanarak test ettikleri modelin doğruluğu %91,56 olmuştur. D. Liu vd.[31] 2 aşamalı bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın 1. Aşamasında Kernel Bulanık Ortalama Kümelemesi, 2. Aşamasında DVM kullanmışlardır. Çalışmalarında girdi olarak doğrudan gaz miktarlarını almışlardır. Önerdikleri model 330 adet veri setiyle yaptıkları testte %83 doğrulukla hataları tahmin etmiştir. J. Singh vd.[32] DVM kullanarak bir model önermişlerdir. Modelde gaz miktarları doğrudan giriş olarak kullanılmıştır. Önerdikleri model 150 adet veri setiyle yapılan testte %92,21 doğrulukla hataları tahmin etmiştir. H. Ma vd.[33] Transformatörlerin arıza teşhisi için DVM, Genetik Algoritma (GA) ile DVM ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ile DVM olmak üzere 3 sınıflandırma yaklaşımını incelemişlerdir. Çalışmalarında giriş olarak C₂H₂/C₂H₄, CH₄/H₂ and C₂H₄/C₂H₆ gaz oranları kullanmışlardır. 118 Veri setiyle test ettikleri çalışmalarında DVM, GADVM ve PSODVM yaklaşımlarının sınıflandırma doğruluğu sırasıyla %57,14, %60,71, %85,71'e ulaşmıştır. Karşılaştırma sonuçları, önerilen PSODVM yaklaşımının diğer iki yaklaşımdan daha iyi performansa sahip olduğunu göstermektedir. Y. Benmahamed vd.[34] Yarasa algoritmasını kullandıkları DVM-BAT ve DVM-GAUSS sınıflandırıcıları olmak üzere 2 farklı sınıflandırıcı ile 2 model geliştirmişlerdir. Çalışmalarında giriş olarak 5 yanıcı gazın miktarlarını direk olarak kullanmışlardır. Toplam 481 adet veri setiyle yapılan çalışmada başarı oranı DVM-BAT optimizasyonu ile en yüksek %93,75 olmuştur.

Literatürdeki çalışmaların bir kısmı az veri seti ile gerçekleştirilmiştir. Veri seti fazla olan çalışmalarda ise yüksek doğrulukta tahminler yapılamamıştır. Bu çalışmada, başarı oranı düşük olan DRM, RRM ve IRM yöntemleri yerine KGM, SIM ve DTM yöntemleri tercih edilmiştir. IEC TC 10 Data Base, TEİAŞ, [6] ve [10]'dan alınan 317 adet veri seti ile bulanık tabanlı hata tanı modelleri test edilmiştir. Önerilen hibrit sistem BM tabanlı KGM, DTM ve SIM yöntemlerinin verdiği sonuçları matematiksel bir yaklaşımla işleyip daha yüksek doğrulukta hata tahmini yapmaktadır. LabVIEW üzerinden oluşturulan

Hibrit Sistem kullanıcı ara yüzüne de sahip olduğundan transformatör işletmecileri ve üreticilerine kullanım kolaylığı sunmaktadır.



2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölüm 3 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada kullanılan veri setlerinden bahsedilmiştir. İkinci aşamada BM'nin DGA hata tanı metotlarına uygulanması anlatılmıştır. Üçüncü aşamada ise hibrit sistemin detayları verilmiştir.

2.1. Kullanılan Veri Seti

DGA trafo yağında bulunan gazları kullanarak trafonun durumunu belirler. Bu gazlar transformatör normal durumdayken belli miktarlarda bulunurlar. Gazların miktarları PPM büyüklüğüyle ifade edilir. PPM bir karışımdaki toplam madde miktarının milyonda bir birimlik miktarına denir. Bu gaz miktarları kullanılan hata tanı metoduna göre belirli işlemlerden geçirilerek giriş bilgileri oluşturulur. Girişler hata tanı metodunun kurallarına göre denetlenerek trafo durumu belirlenir.

Bir trafoya ait TCG olarak adlandırılan H₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂ ve CO yanıcı gazlarının miktarları DGA için gerekli veri setlerini oluşturur. DGA tabanlı hata tanı metotları bu gazları kullanarak hatayı tahmin eder.

Bu tezde önerilen modellerin performansını ölçmek için yanıcı gaz miktarlarının yanı sıra trafodaki gerçek arızanın bilgisi de gerekmektedir. Böylelikle önerilen modellerin hata tanısı, gerçek hatayla karşılaştırılarak model performansları bulunur.

Bu çalışmada IEC TC 10 veri tabanında bulunan 117 adet veri seti, TEİAŞ'dan alınan 13 adet veri seti, [6]'dan alınan 178 adet veri seti ve [10]'dan alınan 8 adet veri seti ile beraber toplamda 317 adet veri seti kullanılmıştır. Kullanılan veri setleri Ek-1'de verilmiştir.

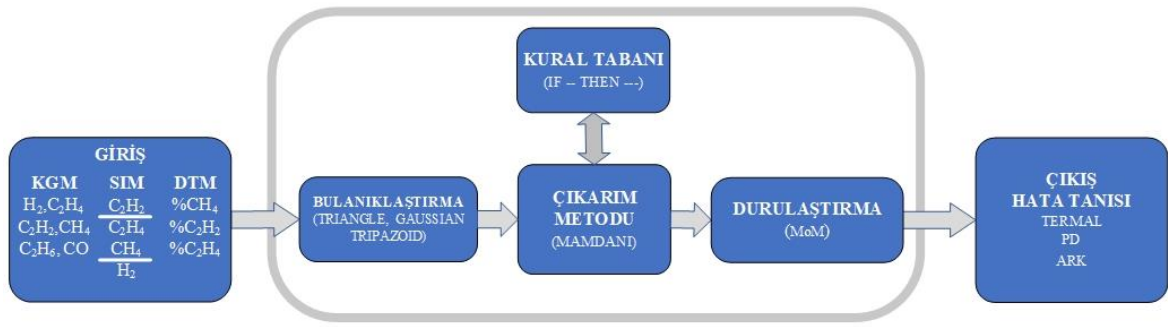
Bu veri setleri bir trafonun hatalı durumda iken ölçülen gaz miktarı ile hata sonrasında deneyimli mühendisler ve bakım uzmanları tarafından görsel kontrol ile teşhis edilmiş gerçek hatadan oluşmaktadır.

Veri setlerinin çeşitli kaynaklardan toplanması ve farklı hata tanı metotlarını bir arada kullanması gerçek hatalar verisinin sınıflandırılması ihtiyacını doğurmuştur. IEC TC10 veri setinde ark hatası D1 ve D2 olmak üzere 2 kısımda ele alınırken [10]'da ark olarak geçmektedir. Benzer olarak termal hatalar bazı veri setlerinde T1, T2, T3 olarak sınıflandırılmasına rağmen bazı veri setlerinde de termal hata olarak detaylandırılmadan ele alınmaktadır. Hata tanı metotlarında da yine benzer şekilde SIM ve KGM metotlarında hatalar PD, ark ve termal arıza iken DTM de ark hatası D1-ve D2 hatası olarak termal hata ise T1-T2-T3 olarak sınıflandırılmıştır.

Bu çalışmada hem veri seti çeşitliliğini sağlamak adına hem de farklı yöntemleri bir arada kullanmak için gerçek hatalar termal hata, PD ve ark olarak sınıflandırılmıştır.

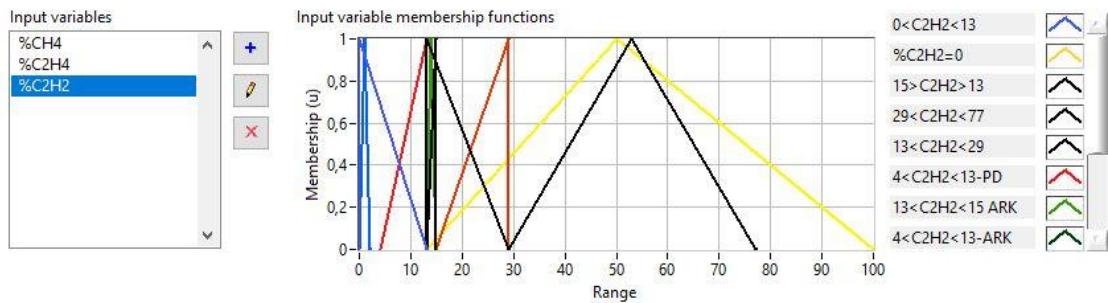
2.2. Bulanık Mantığın Hata Tanı Metotlarına Uygulanması

Klasik hata tanı metotları bazı durumlarda belirsiz ya da yanlış sonuçlar vermektedir. Bu nedenle hata tanı metotlarına BM uygulanmıştır. KGM, SIM ve DTM hata tanı metotlarına BM uygulaması LabVIEW Fuzzy System Designer(LFSD) aracı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.1 kullanılan BM yapısını göstermektedir.



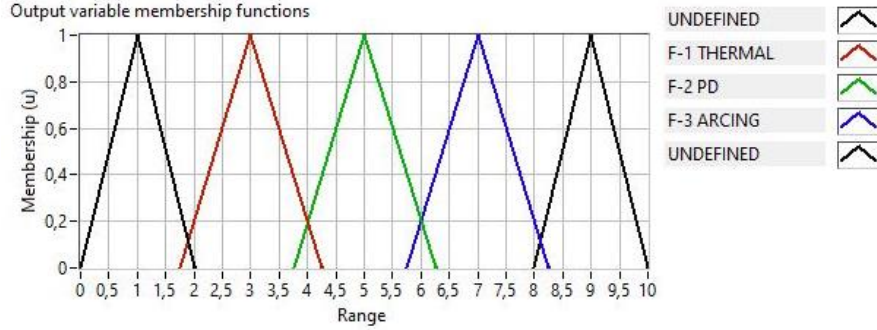
Şekil 2.1 BM akış şeması

Giriş bilgisi olarak gazlara ait miktar, miktarların birbirlerine oranı ve bağıl oranların yüzdeleri kullanılmıştır. Giriş üyelik fonksiyonu olarak triangle, gaussian ile tripazoid fonksiyonları kullanılmıştır. Giriş üyelik fonksiyonlarının sınırları hata tanı metotlarının sınır değerlerine göre belirlenmiştir. DTM hata tanı metoduna uygulanmış örnek giriş üyelik fonksiyonu Şekil 2.2’de verilmiştir. Üyelik fonksiyonlarının tamamı Ek-2’de verilmiştir.



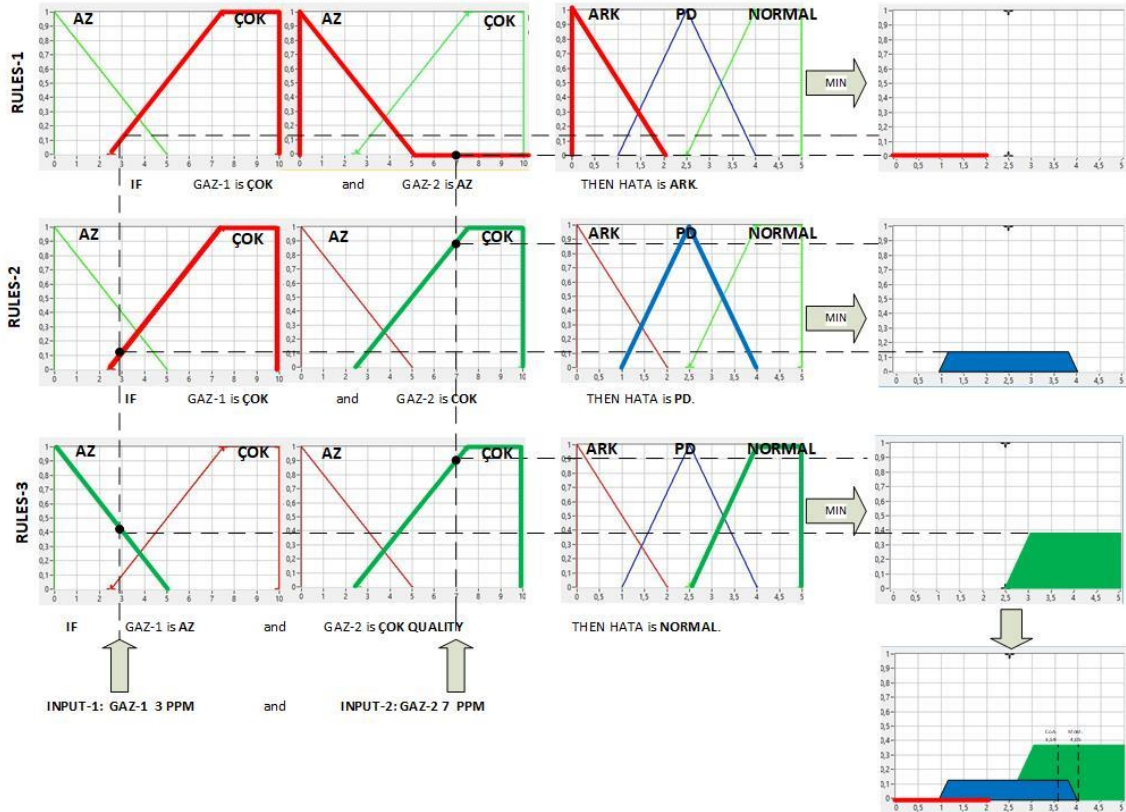
Şekil 2.2 DTM giriş üyelik fonksiyonu (%C2H2)

Çıkış üyelik fonksiyonu ise termal hata, PD, ark hatası ve kod dışı durumlarını temsil edecek biçimde Şekil 2.3'teki gibi oluşturulmuştur. Kural tabanı 2. Bölümde verilen metotların kurallarına göre oluşturulmuştur.



Şekil 2.3 Çıkış üyelik fonksiyonu

Çıkarım metodu olarak Mamdani çıkarım mekanizması seçilmiştir. Mamdani çıkarım mekanizmasının DGA'ya uyarlanmış basit bir görseli Şekil.2.4'te verilmiştir. Mamdani mekanizmasında giriş gazlar her bir kuralda test edilir ve minimum işleminden geçirilerek bulanık çıkışlar üretilir. Ardından bulanık çıkışlar üst üste bindirilerek çıkarım mekanizması aşaması tamamlanır.



Şekil 2.4 Mamdani çıkarım mekanizması

Son olarak durulaştırma aşamasında en büyüğün ortası (mean of max.) yöntemi seçilmiştir. Bu yöntem en büyük yüksekliğe sahip bulanık çıkış kümesinde maksimum yüksekliğin sınırlarını belirleyen iki noktanın ortalamasını seçer. Durulaştırma adımının ardından keskin çıkış elde edilerek BM süreci tamamlanır.

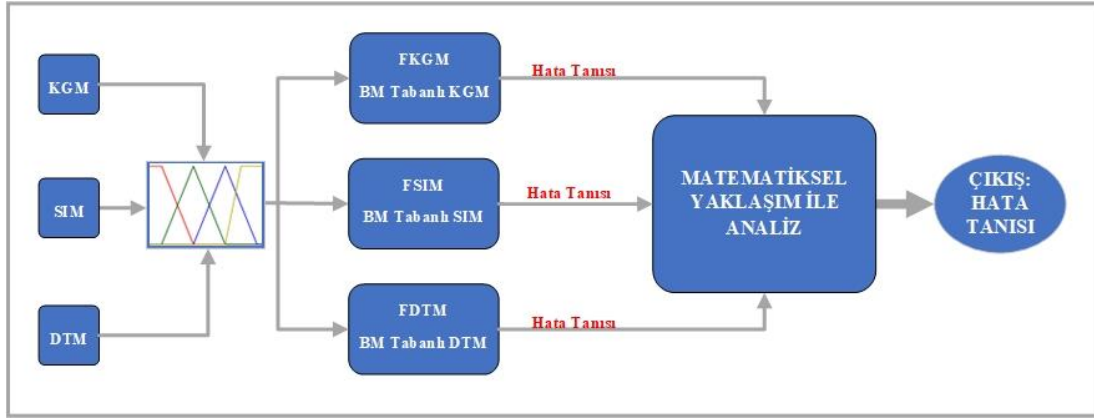
BM tabanlı SIM (FSIM), BM tabanlı KGM (FKGM) ve BM tabanlı DTM (FDTM) 317 veri setiyle kontrol edilmiş ve sırasıyla %92,11, %88,64, %94,64 doğruluk oranları elde edilmiştir. Tablo 2.1'e göre DTM ile oluşturulmuş FDTM ısınma ve ark hatasında sırasıyla %98,675 ve %92,308 doğrulukta tahminler yaparak en doğru sonuçları vermişken PD hatasında FKGM %95,65 doğrulukla diğer modellere göre daha üstündür. FSIM ise ısınma ve ark hatalarında başarılı sonuçlar vermişken PD hatasında en düşük performansı göstermiştir. Tabloda "AI" her bir metodun hataya göre 'Doğruluk Endeksi' parametresini vermektedir.

Tablo 2.1 AI doğruluk endeksi değerleri

Yöntem	ISINMA			PD			ARK		
	Doğru	Yanlış	Doğru. % *AI _{TH}	Doğru	Yanlış	Doğru % *AI _{PD}	Doğru	Yanlış	Doğru % *AI _{ARC}
FKGM	138	13	91,391%	22	1	95,65%	121	22	84,615%
FSIM	147	4	97,351%	18	5	78,26%	127	16	88,811%
FDTM	149	2	98,675%	19	4	82,61%	132	11	92,308%

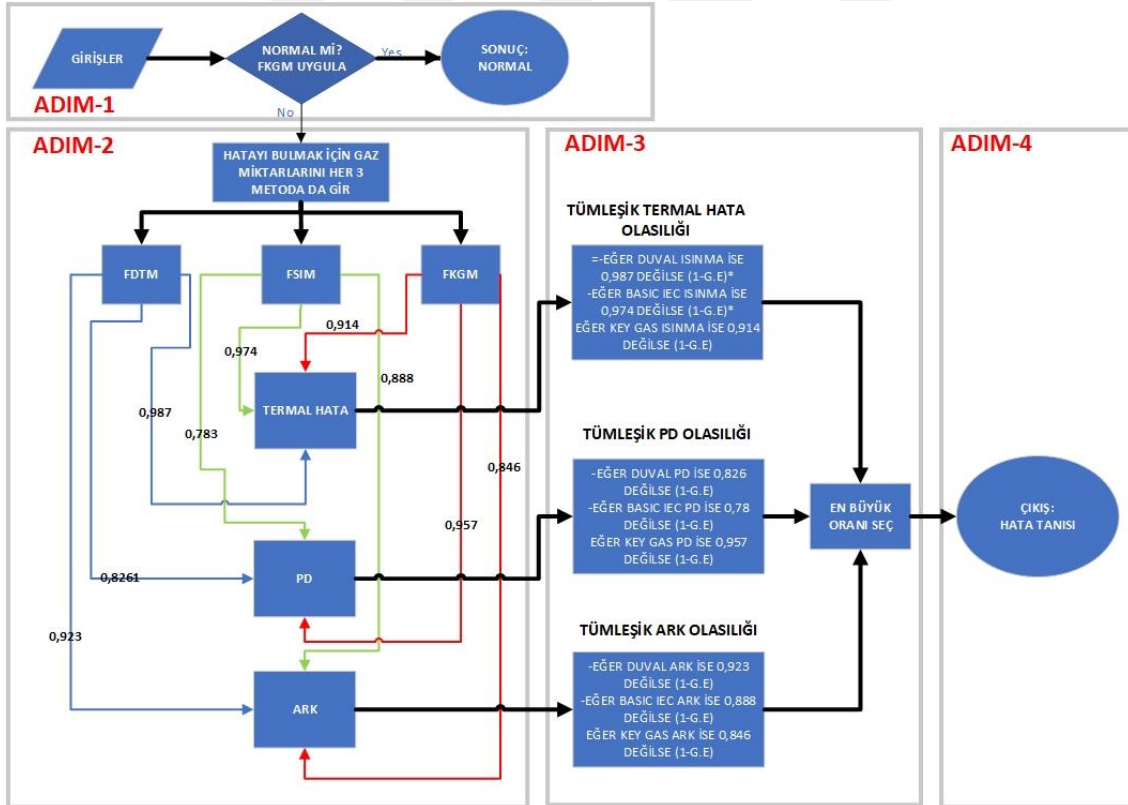
2.3. Önerilen DGA Tabanlı Hibrit Akıllı Sistem(HAS)

Güç trafoları arıza tanısı için Önerilen DGA tabanlı Hibrit Akıllı Sistem(HAS), BM ve matematiksel yaklaşımın bir arada kullanıldığı yüksek doğrulukta tahmin yapan hibrit bir sistemdir. Şekil 2.5 sistemin özet şemasını göstermektedir. Bu şemada verildiği üzere, önerilen sistem, klasik hata tanı metodlarını BM'li modellere dönüştürür. Ardından BM tabanlı FKGM, FSIM ve FDTM hata tanı modellerinin sonuçlarını matematiksel yaklaşımla analiz eder ve hata önermesinde bulunur.



Şekil 2.5 Sistem özet şeması

Şekil-2.6 sistemin akış şemasını göstermektedir. Akış diyagramı verilmiş olan modelin çalışması kullanıcının gaz miktarlarını girmesiyle başlar. Diyagramda belirtilen Adım-1'de transformatörde hata olup olmadığı FKGM ile belirlenir. Hata yoksa sonraki bölümlere geçilmez ve transformatörün normal durumda olduğu bilgisi verilir.



Şekil 2.6 Sistem akış diagramı

Hata varsa Adım-2’de analiz için FKGM, FSIM ve FDTM modelleri kullanılır. Her hatanın ilgili modele göre olasılıkları ‘Ayrışık Hata Olasılığı’ olarak adlandırılır ve Denklem (2.1)-(2.9) ile hesaplanır. ‘AI’ değerleri Tablo 2.1’de verilmiştir. ‘x’ değeri BM tabanlı modellerin LabVIEW programında verdiği hata çıkışıdır.

$$f_{KGM}^{th}(x) = \begin{cases} AI_{Th}, & x = Thermal \\ 1 - AI_{PD}, & x = PD \\ 1 - AI_{Ar}, & x = Arcing \end{cases} \quad (2.1)$$

$$f_{SIM}^{th}(x) = \begin{cases} AI_{Th}, & x = Thermal \\ 1 - AI_{PD}, & x = PD \\ 1 - AI_{Ar}, & x = Arcing \end{cases} \quad (2.2)$$

$$f_{DTM}^{th}(x) = \begin{cases} AI_{Th}, & x = Thermal \\ 1 - AI_{PD}, & x = PD \\ 1 - AI_{Ar}, & x = Arcing \end{cases} \quad (2.3)$$

$$f_{KGM}^{pd}(x) = \begin{cases} 1 - AI_{Th}, & x = Thermal \\ AI_{PD}, & x = PD \\ 1 - AI_{Ar}, & x = Arcing \end{cases} \quad (2.4)$$

$$f_{SIM}^{pd}(x) = \begin{cases} 1 - AI_{Th}, & x = Thermal \\ AI_{PD}, & x = PD \\ 1 - AI_{Ar}, & x = Arcing \end{cases} \quad (2.5)$$

$$f_{DTM}^{pd}(x) = \begin{cases} 1 - AI_{Th}, & x = Thermal \\ AI_{PD}, & x = PD \\ 1 - AI_{Ar}, & x = Arcing \end{cases} \quad (2.6)$$

$$f_{KGM}^{arc}(x) = \begin{cases} 1 - AI_{Th}, & x = Thermal \\ 1 - AI_{PD}, & x = PD \\ AI_{Ar}, & x = Arcing \end{cases} \quad (2.7)$$

$$f_{SIM}^{arc}(x) = \begin{cases} 1 - AI_{Th}, & x = Thermal \\ 1 - AI_{PD}, & x = PD \\ AI_{Ar}, & x = Arcing \end{cases} \quad (2.8)$$

$$f_{DTM}^{arc}(x) = \begin{cases} 1 - AI_{Th}, & x = Thermal \\ 1 - AI_{PD}, & x = PD \\ AI_{Ar}, & x = Arcing \end{cases} \quad (2.9)$$

Ayrışık hata olasılıkları hesaplandıktan sonra Adım-3’e geçilir. Burada Denklem (2.10),(2.11),(2.12)’deki gibi her hatanın Tümüleşik Olasılıkları hesaplanır. Hesaplama sonucunda en büyük olasılıklı hata hibrit model HAS’ın çıkışı olur.

$$f_{Thermal} = f_{KGM}^{th}(x) * f_{SIM}^{th}(x) * f_{DTM}^{th}(x) \quad (2.10)$$

$$f_{PD} = f_{KGM}^{pd}(x) * f_{SIM}^{pd}(x) * f_{DTM}^{pd}(x) \quad (2.11)$$

$$f_{Arcing} = f_{KGM}^{arc}(x) * f_{SIM}^{arc}(x) * f_{DTM}^{arc}(x) \quad (2.12)$$

2.3.1 LabVIEW programında sistemin oluşturulması

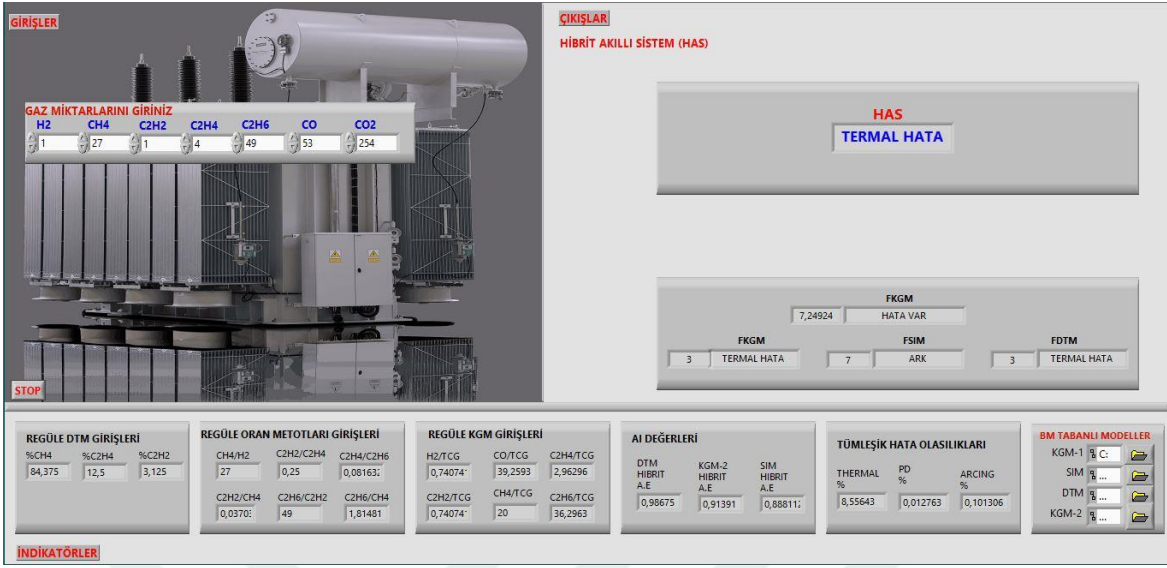
HAS Labview programında 3 ortamda tasarlanmıştır. Birinci ortam hata tanı metotlarına BM'nin uygulandığı LFSD aracıdır. LFSD aracıyla metotlar BM'ye dönüştürülür.

İkinci ortam LabVIEW'in ön panel olarak adlandırdığı grafik ara yüzüdür. Şekil 2.7'de kullanıcının gaz miktarlarını girdiği girişler, hata önermelerinin bulunduğu çıkışlar, gazların matematiksel olarak birbiriyle ilişkilerinin gösterildiği göstergeler ve BM'ye dönüştürülmüş modellerin çağrıldığı dosya yolları (file path) bulunmaktadır.

Son ortam ise programın arka planda çalışmasını sağlayan blok diyagram (block diagram) bölümüdür. Bu bölümde LabVIEW'in geniş kütüphanesinde bulunan döngüler, girişleri diziye çeviren dizi dönüştürücüleri (build array), koşullandırma yapıları (case structer) matematiksel işlem ve karşılaştırma operatörleri bulunmaktadır.

Gaz miktarları, matematiksel operatörler ile her bir hata tanı metodunun kullanabileceği regüle edilmiş girişlere dönüştürülür. Dizi dönüştürücü fonksiyonu ile regüle edilmiş girişler diziye dönüştürülür. Dizi haline getirilmiş girişler dosya yolu fonksiyonuyla çağırılan '.fs' dosyaları ile beraber 'BM Fuzzy Controler' operatörünün girişini oluştururlar. Metotların BM süreçleri 'BM Fuzzy Controler' içerisine gerçekleşir. Burada belirlenen üyelik fonksiyonları ile bulanıklaştırılan girişler, kural tabanları ve çıkarım metotlarıyla işlenip durulaştırılarak bir BM çıkışı elde edilir. BM çıkışı 0 ile 10 arasında bir sayıdır. Bu çıkış, karşılaştırma operatörleriyle sınırlar ve case structure yapısıyla bulanık modellerin hata önermesi gerçekleştirilir.

Koşul yapısı çıkışından alınan veriler her bir hatanın olma olasılığının hesaplanacağı 3 farklı koşul yapısı operatörüne gönderilir. Burada her bir hatanın ayrışık hata olasılığı hesaplanır ve akış diyagramında Adım-3'te bulunan tümleşik olasılıkların hesaplanması aşamasına geçilir. Bulanık tabanlı hata tanı modelinden gelen ayrışık hata olasılıkları; tümleşik termal hata, tümleşik PD hatası ve tümleşik ark hatasının olasılıklarına, çarpım operatörüyle dönüştürülür. Son olarak bulunan bu 3 tümleşik hata olasılıklarından en büyük olanı HAS'ın çıkışı olur.



Şekil 2.7 LabVIEW ön panel

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Klasik DGA metotları uzman tecrübelerine göre yapılmış kurallardan oluşmaktadır. Bu kurallar bir sınır değere göre hatayı belirlemektedir. Sınır değerlere yakın arıza durumlarında hata tanı doğrulukları düşmektedir. Tablo 3.1 çeşitli çalışmalarda test edilmiş klasik hata tanı metotlarının başarılarını göstermektedir. İncelenen çalışmalarda klasik DGA hata tanı metotlarının başarı oranları %90'ın altında kalmıştır.

Tablo 3.1 Çeşitli çalışmalarda klasik DGA metotlarına ait başarı oranları

ÇALIŞMA	VERİ SETİ SAYISI	ROGERS (RRM) BAŞARI	IEC (IRM) BAŞARI	DOERN. (DRM) BAŞARI	KEY GAZ (KGM) BAŞARI	DUVAL (DTM) BAŞARI
[5]	122	%45,2	%66,7	%83,9	%58,1	-
[6]	386	%44,82	%50,26	-	-	%60,88
[10]	383	%50	%51,7	%57	%86,7	%88
[16]	10	%30	%50	-	-	%70
[25]	386	%48,5	%58,4	-	-	%81,7
[35]	561	%72,73	-	%46,7	-	-

Klasik hata tanı metotlarının hata doğruluklarının düşük olması akıllı sistemlerin DGA alanına entegrasyonunu mecbur kılmıştır.

Bu tezde önerilen sistem LabVIEW ortamında geliştirilmiştir. Öncelikle RRM, IRM, SIM, DRM, KGM ve DTM klasik hata tanı metotlarına BM uygulanmıştır. Oluşturulmuş BM tabanlı hata tanı modellerinin performansı 317 adet veri setiyle test edilmiştir. Hata tanı doğruluğu düşük olan RRM, IRM ve DRM çalışmadan çıkarılmıştır. Tablo 3.2 bu çalışmada BM uygulanmış modellerin doğruluklarını göstermektedir.

Tablo 3.2 BM uygulanmış klasik hata tanı modellerinin doğrulukları

VERİ SETİ SAYISI	BM ROGERS (FRRM) BAŞARI	BM IEC (FIRM) BAŞARI	BM DOERN. (FDRM) BAŞARI	BM KEY GAZ (FKGM) BAŞARI	BM SADE. IEC (FSIM) BAŞARI	BM DUVAL (FDTM) BAŞARI
317	%43,85	%54,26	%62,78	%88,64	%92,11	%94,64

Klasik hata tanı metotlarına sadece BM uygulamasıyla dahi KGM, SIM ve DTM hata tanı doğruluklarının artırıldığı Tablo 3.2'den anlaşılmaktadır.

Hata doğruluklarını daha da artırmak için FKGM, FSIM ve FDTM modellerini bir arada kullanan bir matematiksel yaklaşım geliştirilmiştir. Oluşturulan FKGM, FSIM ve FDTM modellerinin başarı oranları genel başarı yerine arıza çeşidine göre ele alınmıştır.

Böylelikle bir model bir arıza türünde çok başarılı ise bu metodun sonuca etkisi o hata türünü verdiği durumlarda daha fazla olacaktır. Matematiksel yaklaşımda aynı zamanda tutarlılığın sonuca etkisi de yüksektir. Bir model bir hata türünde çok başarılı olsa dahi diğer 2 model farklı bir hatada birleşmişse sonuç bu 2 modelin önerdiği şekilde çıkabilir. Tablo 3.3'te bu durumlara örnek veri setleri bulunmaktadır.

Tablo 3.3'te bazı hatalı trafolarla ait veri setleri ve sistemden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Tabloda kırmızı renk yanlış, yeşil renk doğru tahminleri göstermektedir.

Tablo 3.3 Önerilen sistemin örnek çıktıları

Hatalı Trafolarla Ait Data Setler									HAS Sonuçlar			
	GERÇEK HATA	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2	FSIM	FDTM	FKGM	OUT.
1	ISINMA	1	27	1	4	49	53	254	ARK	ISL	ISL	ISL
2	ISINMA	48	610		10	29	1900	970	ISL	PD	ISL	ISL
3	ISINMA	40000	400	6	600	70	800	218	ISL	ISL	PD	ISL
4	ISINMA	150	22	11	60	9			ISL	ISL	ARK	ISL
5	PD	9340	995	7	6	60	60	620	ARK	PD	PD	PD
6	PD	40280	1069	1	1	1060	1	-	PD	PD	PD	PD
7	PD	26788	18342	-	27	2111	704	-	ISL	PD	PD	PD
8	PD	106	4	0	1	2			PD	ISL	PD	PD
9	ARK	2510	202	1730	208	139			PD	ARK	ARK	ARK
10	ARK	169	38	5,8	6,5	48,5			ARK	ARK	PD	ARK
11	ARK	17	42	20	12	192			ARK	ARK	ISL	ARK
12	ARK	522	50	27	23	8	672	2294	PD	ARK	ISL	ARK

Matematiksel yaklaşımın çalışma prensibini bir örnekle açıklayacak olursak, Tablo 3.3'te gaz miktarları verilen 8 numaralı hatalı trafoyu ele alalım. Bu gaz miktarlarına göre; FSIM **PD**, FDTM **Isınma** ve FKGM **PD** çıkışını vermektedir.

$$f_{Thermal} = f_{KGM}^{th}(x) * f_{SIM}^{th}(x) * f_{DTM}^{th}(x) \quad (2.10) \text{ Tümleşik Isınma Olasılığı}$$

$$= (1-0,9565) * (1-0,7826) * 0,9867 = \%0,933$$

$$f_{PD} = f_{KGM}^{pd}(x) * f_{SIM}^{pd}(x) * f_{DTM}^{pd}(x) \quad (2.11) \text{ Tümleşik PD Olasılığı}$$

$$= 0,9565 * 0,7826 * (1-0,9867) = \%0,991$$

$$f_{Arcing} = f_{KGM}^{arc}(x) * f_{SIM}^{arc}(x) * f_{DTM}^{arc}(x) \quad (2.12) \text{ Tümleşik Ark Olasılığı}$$

$$= (1-0,9565) * (1-0,7826) * (1-0,9867) = \%0,013$$

Buradan bir max() operatörüyle sonuç **PD** olarak bulunacaktır.

Bu vaka ile bir metot herhangi bir hatada çok başarılı sonuçlar verse de önerilen sistem HAS'ta sonucu belirleyen şey tutarlılıktır. Eğer iki model birbiriyle tutarlı bir çıktı verirken diğer model yüksek doğrulukta olmasına rağmen farklı bir sonuç verirse sonuç tutarlılıktan yana olabilir. Isınma hatasında FDTM % 98,67 ile çok yüksek bir doğruluk yakalasa da eğer diğer iki model ısınma hatasını desteklemezse sonuç diğer iki metodun önerdiği olarak çıkabilir.

Tablo 3.4 önerilen sistem ile sistemin kullanmış olduğu BM tabanlı modellerin hata bazında ve genel tahmin doğruluklarını göstermektedir. Önerilen sistem 317 hatalı trafonun 303'ünün hatasını doğru bilerek yüksek bir performans göstermiştir.

Tablo 3.4 Önerilen Hibrit Akıllı Sistem(HAS) performansı

Metot	Termal	PD	Ark	Genel		
	Doğru. %	Doğru. %	Doğru. %	Doğru Tanı	Yanlış Tanı	Doğru. %
FKGM	91,39%	95,65%	84,62%	281	36	88,64%
FSIM	97,35%	78,26%	88,81%	292	25	92,11%
FDTM	98,68%	82,61%	92,31%	300	17	94,64%
HAS	99,34%	91,30%	92,31%	303	14	95,58%

4. SONUÇ

DGA güç trafolarında yeni başlayan arızaları tespit etmek için kullanılır. Arızaların tanısı için DGA tabanlı birçok uygulama yapılmıştır. Literatürde klasik hata tanı metotları ve akıllı hata tanı modelleri olarak 2 farklı yöntem vardır.

Klasik hata tanı metotları trafo yağında çözünmüş gazların doğrudan giriş olarak kullanıldığı ve ilgili standartlarda kendisine yer bulmuş olan yöntemlerdir. DTM, KGM ve RRM, DRM, IRM gibi oran metotları klasik hata tanı metotlarının başında gelmektedir. Bu metotlar uzmanların tecrübelerine dayanarak oluşturulmuştur ve hata tanı doğrulukları düşüktür. Hata tanı doğruluklarını artırmak için ise BM, YSA, DVM, Matematiksel ve istatistiksel yaklaşımlar gibi teknikleri içeren akıllı hata tanı modelleri geliştirilmiştir. Ancak günümüzde yeterli miktarda ve güvenilir veri setleriyle yapılmış, çok yüksek doğruluklara ulaşmış bir yöntem bulunmamaktadır.

Bu çalışmada BM ve matematiksel yaklaşımın bir arada kullanıldığı bir hibrit akıllı sistem geliştirilmiştir. Sistemin tasarımı LabVIEW ortamında yapılmıştır. Sistem performansını objektif olarak analiz edebilmek için çeşitli kaynaklardan, kurumlardan ve standartlardan veri setleri toplanarak veri seti çeşitliliği sağlanmıştır. Önerilen Sistem 317 adet veri setiyle test edilmiş ve 303 adet hatayı doğru tahmin ederek %95,58 başarı oranı yakalamıştır. Sistemin geliştirilmeye açık esnek yapısı sayesinde yeni metotlar içerisine kolaylıkla dahil edilerek başarı oranlarının artırılması mümkündür.

Önerilen sistem DGA yağ laboratuvarlarına, transformatör üretici ve işletmelerine LabVIEW programına ihtiyaç duymadan kullanabilecekleri 'exe' uzantılı bir kullanıcı arayüz de sunmaktadır.

KAYNAKLAR/REFERENCES

- [1] Saad M., Tenyenhuis E.(2017) On-Line Gas Monitoring for Increased Transformer Protection. IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), 22-25 October, Saskatoon, Saskatchewan, CANADA
- [2] Lin C.E., Ling J.-M. ve C.-L. Huang “An Expert System for Transformer Fault Diagnosis Using Dissolved Gas Analysis” IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 8, No. 1, January 1993
- [3] Howe, V. H. (1956). The identity and significance of gases collected in Buchholz protectors. Metropolitan-Vickers Electrical Company
- [4] Rogers, R. R. (1978). IEEE and IEC codes to interpret incipient faults in transformers, using gas in oil analysis. IEEE transactions on electrical insulation, (5), 349-354.
- [5] Kim S.K., Kim S.J, Seo H.D, Jung J.R., Yang H.J.(2013) New Methods Of DGA Diagnosis Using IEC TC 10 And Related Databases Part 1: Application Of Gas-Ratio Combinations. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation 20(2), 685 – 690
- [6] Ghoneim S.M., Taha I.B.M.(2016) A New Approach Of DGA Interpretation Technique for Transformer Fault Diagnosis. Electrical Power and Energy Systems, 81, 265-274
- [7] Duval M.(2002) A Review of Faults Detectable by Gas-in-Oil Analysis in Transformers. IEEE Electrical Insulation Magazine,18(3), 8-17
- [8] Wani, S. A., Rana, A. S., Sohail, S., Rahman, O., Parveen, S., & Khan, S. A. (2021). Advances in DGA based condition monitoring of transformers: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 149, 111347.
- [9] Lakehal, A., Ghemari, Z., ve Saad, S., "Transformer fault diagnosis using Dissolved Gas Analysis technology and Bayesian networks", Proceedings of the 4th International Conference on Systems and Control, 2015, s: 194-198.
- [10] Abu-Siada A., Hmood S.(2015) A New Fuzzy Logic Approach to Identify Power Transformer Criticality Using Dissolved Gas-in-Oil Analysis. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 67, Pages 401-408
- [11] Bakar N.A., Abu-Siada A., Islam S.(2014) A Review of Dissolved Gas Analysis Measurement and Interpretation Techniques. IEEE Electrical Insulation Magazine 30(3), 39-49

- [12] UV - Görünür Spektroskopi; Fotoakustik Spektroskopi (photoacoustic spectroscopy) http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_848.html (30.05.2022)
- [13] Online Trafo Tağ Gaz Analiz Sistemleri <https://www.famenerji.com/uploads/tr/urunler/dosyalar/trafo-online-yag-gaz-izleme-sistemi-calisto-9.pdf> (30.05.2022)
- [14] Multiple Gas Transformer DGA, <https://www.gegridsolutions.com/md/multi.htm> (30.05.2022)
- [15] Mahmoudi N., Samimi M.H., Mohseni H.(2019) Experiences with Transformer Diagnosis by DGA: Case Studies. IET Generation, Transmission & Distribution,13(23), 5431-5439
- [16] Patekar K.D., Chaudhry B.(2019) DGA Analysis Of Transformer Using Artificial Neural Network To Improve Reliability In Power Transformers. IEEE 4th International Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems (CATCON), 21-23 November, Chennai, INDIA
- [17] Ding, H., Heywood, R., Lapworth, J., Josebury, R., Roxborough, A., & McCulloch, E. (2017, June). Practical experience of dissolved gas in transformer oil for the detection of incipient faults. In 2017 IEEE 19th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL) (pp. 1-5). IEEE.
- [18] IEEE Std C57.104™(2019) Guide for the Interpretation of Gases Generated in Mineral Oil-Immersed Transformers
- [19] IEC 60599(2015), Edition 3.0 Mineral Oil-Filled Electrical Equipment in Service – Guidance On The Interpretation Of Dissolved And Free Gases Analysis
- [20] Ödük M. N.(2019) Bulanık Mantık Yöntemi Ve Uygulamaları, 1.Basım İksad Yayınları, Ankara
- [21] Neşe, S. V.(2014) Rüzgâr Santrallerindeki Elektriksel ve Mekanik Arızaların Temel Bileşenler Analizi ve Destek Vektör Makinaları Yöntemleriyle Sınıflandırılması. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye
- [22] Öztemel E. (2012) Yapay Sinir Ağları, 3.Basım, Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul
- [23] Guardado J.L., Naredo J.L., Moreno P., Fuerte C.R.(2001) A Comparative Study Of Neural Network Efficiency In Power Transformers Diagnosis Using Dissolved Gas Analysis. IEEE Transactions On Power Delivery, Volume. 16(4), 643 – 647

- [24] Apte S., Somalwar R., Wajirabadkar A. (2018) Incipient Fault Diagnosis of Transformer by DGA Using Fuzzy Logic. IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), 18-21 December, Chennai, INDIA
- [25] Ghoneim S.M., Mansour D., Bedir I., Alharthi M. (2019) A Decision Transformer Fault Diagnostics System Based on Dissolved Gas Analysis. 21st International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), 17-19 December, Cairo, EGYPT
- [26] Zhang, Y., Li, X., Zheng, H., Yao, H., Liu, J., Zhang, C., ... & Jiao, J. (2019). A fault diagnosis model of power transformers based on dissolved gas analysis features selection and improved krill herd algorithm optimized support vector machine. IEEE Access, 7, 102803-102811.
- [27] Souahlia, S., Bacha, K., & Chaari, A. (2013, March). SVM-based decision for power transformers fault diagnosis using Rogers and Doernenburg ratios DGA. In 10th International Multi-Conferences on Systems, Signals & Devices 2013 (SSD13) (pp. 1-6). IEEE.
- [28] Gomathy, V., & Sumathi, S. (2013). Implementation of SVM using sequential minimal optimization for power transformer fault analysis using DGA. International Journal of Computers & Technology, 10(5), 1687-1699.
- [29] Sahri, Z., & Yusof, R. (2015, May). Fault diagnosis of power transformer using optimally selected DGA features and SVM. In 2015 10th Asian Control Conference (ASCC) (pp. 1-5). IEEE.
- [30] Dhini, A., Surjandari, I., Faqih, A., & Kusumoputro, B. (2018, November). Intelligent fault diagnosis for power transformer based on DGA data using support vector machine (SVM). In 2018 3rd International Conference on System Reliability and Safety (ICSRS) (pp. 294-298). IEEE.
- [31] Liu, D. H., Bian, J. P., & Sun, X. Y. (2008, July). The study of fault diagnosis model of DGA for oil-immersed transformer based on fuzzy means Kernel clustering and SVM multi-class object simplified structure. In 2008 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (Vol. 3, pp. 1505-1509). IEEE.
- [32] Singh, J., Kumari, P., Kaur, K., & Swami, A. K. (2016, May). Condition assessment of power transformer using SVM based on DGA. In 2016 Al-Sadeq International Conference on Multidisciplinary in IT and Communication Science and Applications (AIC-MITCSA) (pp. 1-5). IEEE.

- [33] Ma, H., Zhang, W., Wu, R., & Yang, C. (2018, March). A Power Transformers Fault Diagnosis Model Based on Three DGA Ratios and PSO Optimization SVM. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 339, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.
- [34] Benmahamed, Y., Kherif, O., Tegar, M., Boubakeur, A., & Ghoneim, S. S. (2021). Accuracy improvement of transformer faults diagnostic based on DGA data using SVM-BA classifier. *Energies*, 14(10), 2970.
- [35] Huang, Y. C., Yang, H. T., & Huang, C. L. (1997). Developing a new transformer fault diagnosis system through evolutionary fuzzy logic. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 12(2), 761-767.



5. EKLER

EK-1 Veri Setleri

Tablo 5.1 Kullanılan veri setleri

NO	GERÇEK ARIZA	ARIZA SINIFI	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2	Ref.
1	T1 ve T2	TERMAL	1270	3450	8	1390	520	483	44500	IEC
2	T1 ve T2	TERMAL	3420	7870	33	6990	1500	573	4640	IEC
3	T1 ve T2	TERMAL	360	610	9	260	259	12000	74200	IEC
4	T1 ve T2	TERMAL	1	27	1	4	49	53	254	IEC
5	T1 ve T2	TERMAL	3675	6392	5	7691	2500	101	833	IEC
6	T1 ve T2	TERMAL	48	610	0	10	29	1900	970	IEC
7	T1 ve T2	TERMAL	12	18	0	4	4	559	1710	IEC
8	T1 ve T2	TERMAL	66	60	0	7	2	76	90	IEC
9	T1 ve T2	TERMAL	1450	940	61	322	211	2420	3560	IEC
10	T1 ve T2	TERMAL	0	18900	330	540	410	3900	710	IEC
11	T1 ve T2	TERMAL	960	4000	6	1560	1290	15800	50300	IEC
12	T1 ve T2	TERMAL	24700	61000	1560	42100	26300	14400	30400	IEC
13	T1 ve T2	TERMAL	14	44	1	7	124	128	2746	IEC
14	T1 ve T2	TERMAL	2031	149	0	3	20	556	3008	IEC
15	T1 ve T2	TERMAL	480	1075	0	1132	298	464	1000	IEC
16	T1 ve T2	TERMAL	40000	400	6	600	70	800	218	IEC
17	T3	TERMAL	8800	64064	0	95650	72128	290	90300	IEC
18	T3	TERMAL	6709	10500	750	17700	1400	290	1500	IEC
19	T3	TERMAL	1100	1600	26	2010	221	0	1430	IEC
20	T3	TERMAL	290	966	57	1810	299	72	756	IEC
21	T3	TERMAL	2500	10500	6	13500	4790	530	2310	IEC
22	T3	TERMAL	1860	4980	1600	10700	0	158	1300	IEC
23	T3	TERMAL	860	1670	40	2050	30	10	690	IEC
24	T3	TERMAL	150	22	11	60	9	0	0	IEC
25	T3	TERMAL	400	940	24	820	210	390	1700	IEC
26	T3	TERMAL	6	2990	67	26076	29990	6	26	IEC
27	T3	TERMAL	100	200	11	670	110	100	650	IEC
28	T3	TERMAL	290	1260	8	820	231	228	826	IEC
29	T3	TERMAL	1550	2740	184	5450	816	1140	9360	IEC
30	T3	TERMAL	3910	4290	1230	6040	626	1800	11500	IEC
31	T3	TERMAL	12705	23498	5188	34257	6047	4004	8539	IEC
32	T3	TERMAL	1	8	6	100	8	300	5130	IEC
33	T3	TERMAL	300	700	36	1700	280	760	9250	IEC
34	T3	TERMAL	107	143	2	222	34	193	1330	IEC
35	T	TERMAL	124	166	0	59	87	530	3750	[8]
36	T	TERMAL	103	74	0	9	80	754	2605	[8]
37	T1	TERMAL	42	124	0	8	1			[7]

38	T1	TERMAL	36	167	0	18	230			[7]
39	T1	TERMAL	10	56	0	70	72			[7]
40	T1	TERMAL	9	38	0	8	93			[7]
41	T1	TERMAL	36	21	0	2	65			[7]
42	T1	TERMAL	161	38	0	13	210			[7]
43	T1	TERMAL	38	38	0	14	296			[7]
44	T1	TERMAL	13	59	0	44	117			[7]
45	T1	TERMAL	10	44	0	28	106			[7]
46	T1	TERMAL	15	7	0	5	92			[7]
47	T1	TERMAL	85	98	0	30	315			[7]
48	T1	TERMAL	74	173	0	33	263			[7]
49	T1	TERMAL	122	161	0	35	271			[7]
50	T1	TERMAL	69	174	0	15	267			[7]
51	T1	TERMAL	113	137	0	34	173			[7]
52	T1	TERMAL	111	67	0	9	105			[7]
53	T1	TERMAL	18	30	0	8	146			[7]
54	T1	TERMAL	21	14	0	90	191			[7]
55	T1	TERMAL	31,2	8,9	0	4,4	119			[7]
56	T1	TERMAL	34	8,6	0	3,1	70,3			[7]
57	T1	TERMAL	10	24	0	5	80			[7]
58	T1	TERMAL	0	43	0	9	146			[7]
59	T1	TERMAL	0	215	0	18,4	555			[7]
60	T1	TERMAL	0	153	0	11,7	395			[7]
61	T1	TERMAL	0	187	0	13	609			[7]
62	T1	TERMAL	320	131	0	127	187			[7]
63	T1	TERMAL	13,2	18,7	4,7	79,5	97,4			[7]
64	T1	TERMAL	16,4	45,5	0	3,8	68,7			[7]
65	T1	TERMAL	0	33,7	0	11,4	136			[7]
66	T1	TERMAL	54,9	8,8	0	2,5	80			[7]
67	T1	TERMAL	93,5	131,9	0	11,7	39			[7]
68	T1	TERMAL	16	68	0	15	124			[7]
69	T1	TERMAL	11	46	0	18	155			[7]
70	T1	TERMAL	16	68	0	19	157			[7]
71	T1	TERMAL	29	71	0	20	158			[7]
72	T1	TERMAL	19	48	0	18	76			[7]
73	T1	TERMAL	8	16	0	7	88			[7]
74	T1	TERMAL	10	26	0	6	147			[7]
75	T1	TERMAL	9	56	1	7	135			[7]
76	T1	TERMAL	45	125	0	25	111			[7]
77	T1	TERMAL	16	105	0	15	224			[7]
78	T1	TERMAL	10	63	0	35	176			[7]
79	T1	TERMAL	6	38	0	32	93			[7]
80	T1	TERMAL	12	28	0	3	102			[7]

81	T1	TERMAL	27	28	0	8	136			[7]
82	T1	TERMAL	27	49	0	9	192			[7]
83	T1	TERMAL	24	47	0	10	113			[7]
84	T1	TERMAL	43	28	0	9	72			[7]
85	T1	TERMAL	25	29	0	8	137			[7]
86	T1	TERMAL	19	62	0	5	95			[7]
87	T1	TERMAL	157	46	0	12	76			[7]
88	T1	TERMAL	115	129	0	36	316			[7]
89	T1	TERMAL	112	68	0	9	136			[7]
90	T1	TERMAL	11	271	0	32	465			[7]
91	T1	TERMAL	121	73	0	11	179			[7]
92	T1	TERMAL	128	35	0	17	213			[7]
93	T1	TERMAL	16	80	0	10	134			[7]
94	T1	TERMAL	92	27	0	7	67			[7]
95	T1	TERMAL	36	94	2	13	78			[7]
96	T1	TERMAL	6	197	0	16,9	476,9			[7]
97	T1	TERMAL	24,7	20,4	6,8	71	117			[7]
98	T1	TERMAL	820	1740	128	867	951			[7]
99	T1	TERMAL	74	100	0	17	85			[7]
100	T1	TERMAL	39,4	65,2	0	8,1	103,9			[7]
101	T1	TERMAL	74,8	30,1	0	13,6	82,3			[7]
102	T1	TERMAL	79	40	0	10	264			[7]
103	T1	TERMAL	5	14	0	5	234			[7]
104	T2	TERMAL	15	139	0	343	160			[7]
105	T2	TERMAL	0	6	0	67	52			[7]
106	T2	TERMAL	26	398	0	319	85			[7]
107	T2	TERMAL	31	63	7	714	246			[7]
108	T2	TERMAL	2	5	0	172	81			[7]
109	T2	TERMAL	3	5	3	185	90			[7]
110	T2	TERMAL	16	98	0	64	35			[7]
111	T2	TERMAL	2	123	0	18	7			[7]
112	T2	TERMAL	185	302	0	33	27			[7]
113	T2	TERMAL	14	15	0	73	42			[7]
114	T2	TERMAL	62	425	26	651	276			[7]
115	T2	TERMAL	88,7	460,8	18,3	184,6	94,9			[7]
116	T2	TERMAL	109	102	0	91	28			[7]
117	T2	TERMAL	0	4,9	0	172	81			[7]
118	T2	TERMAL	24	78	7	779	266			[7]
119	T2	TERMAL	24	80	6	741	258			[7]
120	T3	TERMAL	18	35	0	110	2			[7]
121	T3	TERMAL	10	4	0	87	1			[7]
122	T3	TERMAL	8	1	0	60	0			[7]
123	T3	TERMAL	24	20	0	87	4			[7]

124	T3	TERMAL	21	42	0	92	4			[7]
125	T3	TERMAL	35	29	0	78	7			[7]
126	T3	TERMAL	8	88	0	252	45			[7]
127	T3	TERMAL	0	28	6	408	64			[7]
128	T3	TERMAL	0	100	7	1365	309			[7]
129	T3	TERMAL	0	106	6	871	170			[7]
130	T3	TERMAL	86	480	9	644	155			[7]
131	T3	TERMAL	121	450	116	898	146			[7]
132	T3	TERMAL	0	3,4	0	54	0			[7]
133	T3	TERMAL	11	13	0	127	2			[7]
134	T3	TERMAL	4	2	0	63	1			[7]
135	T3	TERMAL	20	26	0	55	6			[7]
136	T3	TERMAL	34	174	0	361	52			[7]
137	T3	TERMAL	7	31	0	148	23			[7]
138	T3	TERMAL	0	0	0	142	0			[7]
139	T3	TERMAL	89	281	22	1216	145			[7]
140	T3	TERMAL	0	10	5	68	17			[7]
141	T3	TERMAL	39	525	16	2925	538			[7]
142	T3	TERMAL	9	47	0	628	144			[7]
143	T3	TERMAL	53	189	5	295	25			[7]
144	T3	TERMAL	12	270	0	275	0			[7]
145	T3	TERMAL	0	153	13	677	130			[7]
146	T3	TERMAL	27	51	0	153	0			[7]
147	T3	TERMAL	0	0	0	57	9			[7]
148	T3	TERMAL	9	302	9	651	124	831	3936	TEÍAS
149	T3	TERMAL	127	780	19	1077	137	602	5038	TEÍAS
150	T2	TERMAL	82	359	0	401	196	397	2739	TEÍAS
151	T3	TERMAL	153	175	4	202	72	133	2216	TEÍAS
152	PD	PD	32930	2397	0	0	157	313	560	IEC
153	PD	PD	37800	1740	8	8	249	56	197	IEC
154	PD	PD	92600	10200	0	0	0	6400	103151	IEC
155	PD	PD	8266	1061	0	0	22	107	498	IEC
156	PD	PD	9340	995	7	6	60	60	620	IEC
157	PD	PD	36036	4704	10	5	554	6	347	IEC
158	PD	PD	33046	619	0	2	58	51	1	IEC
159	PD	PD	40280	1069	1	1	1060	1	0	IEC
160	PD	PD	26788	18342	0	27	2111	704	0	IEC
161	PD	PD	231	3997	0	5584	1726	0	2194	[8]
162	PD	PD	384	388	33	110	55	173	932	[8]
163	PD	PD	110	7	0	0	0	0	0	[7]
164	PD	PD	134	13	0	0	156	0	0	[7]
165	PD	PD	1458	9	0	0	1812	0	0	[7]
166	PD	PD	195	5,3	0	0	0	0	0	[7]

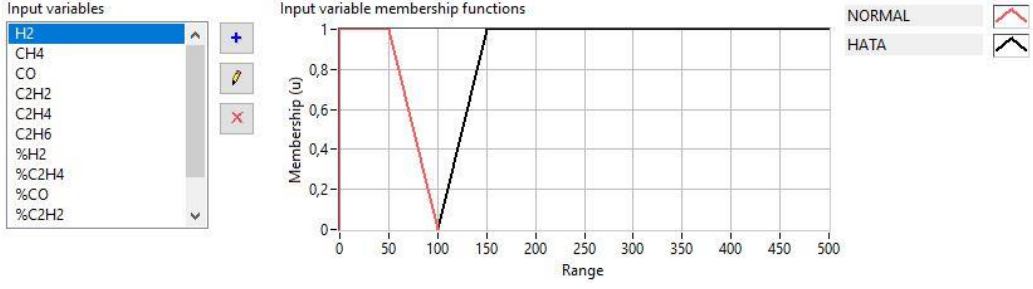
167	PD	PD	106	4	0	1	2	0	0	[7]
168	PD	PD	109	4	0	9	11	0	0	[7]
169	PD	PD	109	16	0	0	0	0	0	[7]
170	PD	PD	100	18	0	0	0	0	0	[7]
171	PD	PD	160	24,7	0	0	38,5	0	0	[7]
172	PD	PD	134	13	0	0	267	0	0	[7]
173	PD	PD	187	5	0	0	1	0	0	[7]
174	PD	PD	121	3	0	0	1	0	0	[7]
175	D1	ARK	2510	202	1730	208	139	0	0	[7]
176	D1	ARK	109	19	59	12	5	0	0	[7]
177	D1	ARK	135	27	13	9	24	0	0	[7]
178	D1	ARK	174	27	29	12	6	0	0	[7]
179	D1	ARK	179	29	33	17	10	0	0	[7]
180	D1	ARK	142	17	38	7	4	0	0	[7]
181	D1	ARK	595	32	65	18	4	0	0	[7]
182	D1	ARK	720	7	101	15	0	0	0	[7]
183	D1	ARK	163	26	133	19	7	0	0	[7]
184	D1	ARK	153	18	278	0	9	0	0	[7]
185	D1	ARK	111	2,8	27,5	0	47	0	0	[7]
186	D1	ARK	124	14	13	0	4	0	0	[7]
187	D1	ARK	137	6	16,5	6,4	11,4	0	0	[7]
188	D1	ARK	169	38	5,8	6,5	48,5	0	0	[7]
189	D1	ARK	186	38,3	85,9	37	13	0	0	[7]
190	D1	ARK	151	13,5	9,2	5	50,7	0	0	[7]
191	D1	ARK	476	28	148	36	27	0	0	[7]
192	D1	ARK	3559	187	1140	230	22	0	0	[7]
193	D1	ARK	4879	262	1827	332	15	0	0	[7]
194	D1	ARK	4127	267	2060	355	18	0	0	[7]
195	D1	ARK	137	33	111	29	8	0	0	[7]
196	D1	ARK	818	94	978	121	49	0	0	[7]
197	D1	ARK	500	97	121	40	193	0	0	[7]
198	D1	ARK	119	8	21	0	20	0	0	[7]
199	D1	ARK	205	20	6	0	8	0	0	[7]
200	D1	ARK	254	5,2	88	9,3	0	0	0	[7]
201	D1	ARK	225	4,7	89	8,7	0	0	0	[7]
202	D2	ARK	47	9	81	16	4	0	0	[7]
203	D2	ARK	629	402	1127	298	16	0	0	[7]
204	D2	ARK	35	11	146	7	0	0	0	[7]
205	D2	ARK	64	18	122	4	1	0	0	[7]
206	D2	ARK	30	14	43	9	1	0	0	[7]
207	D2	ARK	323	115	446	130	7	0	0	[7]
208	D2	ARK	80	28	107	15	4	0	0	[7]
209	D2	ARK	19	12	63	8	2	0	0	[7]

210	D2	ARK	152	116	414	131	7	0	0	[7]
211	D2	ARK	57	148	42	72	197	0	0	[7]
212	D2	ARK	85	49	399	50	4	0	0	[7]
213	D2	ARK	48	20	31	41	69	0	0	[7]
214	D2	ARK	88	21,8	41,5	41,2	79,2	0	0	[7]
215	D2	ARK	292	346	196	313	32	0	0	[7]
216	D2	ARK	26,6	4	50	8	0	0	0	[7]
217	D2	ARK	41	16	106	58	19	0	0	[7]
218	D2	ARK	37	11,8	83,3	43,6	15,5	0	0	[7]
219	D2	ARK	123	50,7	65,9	62	9	0	0	[7]
220	D2	ARK	46	21	93	11	1	0	0	[7]
221	D2	ARK	243	127	588	122	20	0	0	[7]
222	D2	ARK	61	21	89	26	2	0	0	[7]
223	D2	ARK	75	5	36	69	31	0	0	[7]
224	D2	ARK	65,4	20,2	40,2	39	70	0	0	[7]
225	D2	ARK	155	49	10,7	42	69,3	0	0	[7]
226	D2	ARK	88,5	22,8	7,5	12	108,4	0	0	[7]
227	D2	ARK	12,4	6,5	15	69	15,3	0	0	[7]
228	D2	ARK	215	84,8	212	1002	87,7	0	0	[7]
229	D2	ARK	17	42	20	12	192	0	0	[7]
230	D1	ARK	32930	2397	0	0	157	313	560	IEC
231	D1	ARK	37800	1740	8	8	249	56	197	IEC
232	D1	ARK	92600	10200	0	0	0	6400	103151	IEC
233	D1	ARK	8266	1061	0	0	22	107	498	IEC
234	D1	ARK	9340	995	7	6	60	60	620	IEC
235	D1	ARK	36036	4704	10	5	554	6	347	IEC
236	D1	ARK	33046	619	0	2	58	51	1	IEC
237	D1	ARK	40280	1069	1	1	1060	1	0	IEC
238	D1	ARK	26788	18342	0	27	2111	704	0	IEC
239	D1	ARK	78	20	28	13	11	0	784	IEC
240	D1	ARK	305	100	541	161	33	440	3700	IEC
241	D1	ARK	35	6	482	26	3	200	2240	IEC
242	D1	ARK	543	120	1880	411	41	76	2800	IEC
243	D1	ARK	1230	163	692	233	27	130	115	IEC
244	D1	ARK	645	86	317	110	13	74	114	IEC
245	D1	ARK	60	10	4	4	4	780	7600	IEC
246	D1	ARK	95	10	39	11	0	122	467	IEC
247	D1	ARK	6870	1028	5500	900	79	29	388	IEC
248	D1	ARK	10092	5399	37565	6500	530	42	413	IEC
249	D1	ARK	650	81	270	51	170	380	2000	IEC
250	D1	ARK	210	22	7	6	6	19	74	IEC
251	D1	ARK	385	60	159	53	8	465	1250	IEC
252	D1	ARK	4230	690	1180	196	5	438	791	IEC

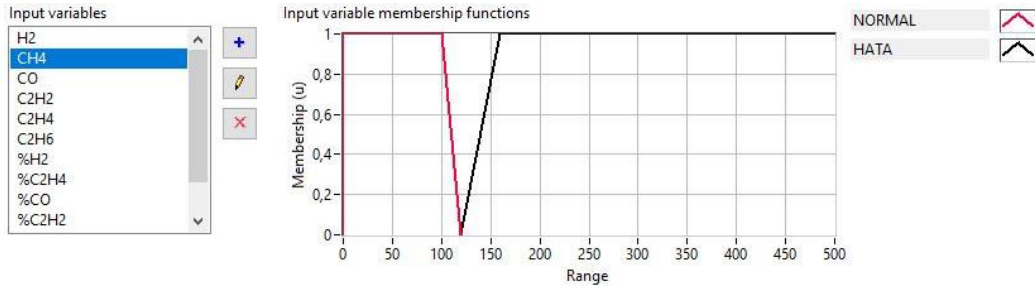
253	D1	ARK	7600	1230	1560	836	318	4970	4080	IEC
254	D1	ARK	595	80	244	89	9	524	2100	IEC
255	D1	ARK	120	25	40	8	1	500	1600	IEC
256	D1	ARK	8	0	101	43	0	192	4067	IEC
257	D1	ARK	6454	2313	6432	2159	121	3628	225	IEC
258	D1	ARK	2177	1049	705	440	207	4571	3923	IEC
259	D1	ARK	1790	580	619	336	321	956	4250	IEC
260	D1	ARK	1330	10	182	66	20	231	1820	IEC
261	D1	ARK	4	1	52	7	2	93	519	IEC
262	D1	ARK	1900	285	7730	957	31	681	732	IEC
263	D1	ARK	57	24	30	27	2	540	2518	IEC
264	D1	ARK	1000	500	500	400	1	200	1000	IEC
265	D2	ARK	440	89	757	304	19	299	1190	IEC
266	D2	ARK	210	43	187	102	12	167	1070	IEC
267	D2	ARK	2850	1115	3675	1987	138	2330	4330	IEC
268	D2	ARK	7020	1850	4410	2960	0	2140	1000	IEC
269	D2	ARK	545	130	239	153	16	660	2850	IEC
270	D2	ARK	7150	1440	1760	1210	97	608	2260	IEC
271	D2	ARK	620	325	244	181	38	1480	2530	IEC
272	D2	ARK	120	31	94	66	0	48	271	IEC
273	D2	ARK	755	229	460	404	32	845	5580	IEC
274	D2	ARK	5100	1430	1010	1140	0	117	197	IEC
275	D2	ARK	13500	6110	4040	4510	212	8690	1460	IEC
276	D2	ARK	1570	1110	1830	1780	175	135	602	IEC
277	D2	ARK	3090	5020	2540	3800	323	270	400	IEC
278	D2	ARK	1820	405	634	365	35	1010	8610	IEC
279	D2	ARK	535	160	680	305	16	172	338	IEC
280	D2	ARK	13	3	6	3	1	4	51	IEC
281	D2	ARK	137	67	104	53	7	196	1678	IEC
282	D2	ARK	1084	188	769	166	8	38	199	IEC
283	D2	ARK	34	21	56	49	4	95	315	IEC
284	D2	ARK	7940	2000	5390	3120	355	1130	285	IEC
285	D2	ARK	150	130	30	55	9	120	200	IEC
286	D2	ARK	8200	3790	5830	4620	250	31	85	IEC
287	D2	ARK	260	215	277	334	35	130	416	IEC
288	D2	ARK	75	15	26	14	7	105	322	IEC
289	D1	ARK	530	345	250	266	85	3900	20000	IEC
290	D2	ARK	60	5	21	21	2	188	2510	IEC
291	D2	ARK	90	28	32	31	8	1380	11700	IEC
292	D2	ARK	220	77	240	170	22	1800	13800	IEC
293	D2	ARK	5900	1500	2300	1200	68	750	335	IEC
294	D2	ARK	420	250	800	530	41	300	751	IEC
295	D2	ARK	2800	2800	3600	3500	234	92	718	IEC

296	D2	ARK	99	170	190	200	20	140	1160	IEC
297	D2	ARK	310	230	760	610	54	150	631	IEC
298	D2	ARK	800	160	600	260	23	490	690	IEC
299	D2	ARK	1500	395	323	395	28	365	576	IEC
300	D2	ARK	20000	13000	57000	29000	1850	2600	2430	IEC
301	D2	ARK	305	85	130	197	25	813	8380	IEC
302	D2	ARK	1900	530	434	383	35	1890	7570	IEC
303	D2	ARK	110	62	250	140	90	680	6470	IEC
304	D2	ARK	3700	1690	3270	2810	128	22	86	IEC
305	D2	ARK	2770	660	763	712	54	522	1490	IEC
306	D2	ARK	245	120	167	131	18	829	4250	IEC
307	D2	ARK	1170	255	325	312	18	5	1800	IEC
308	D2	ARK	4419	3564	2025	2861	668	909	9082	IEC
309	D2	ARK	810	580	490	570	111	1100	6800	IEC
310	D2	ARK	5000	1200	1100	1000	83	140	265	IEC
311	D2	ARK	10000	6730	10400	7330	345	1980	3830	IEC
312	D2	ARK	1570	735	1740	1330	87	711	4240	IEC
313	ARKING	ARK	441	207	261	224	43	161	1123	[8]
314	ARKING	ARK	217	286	884	458	14	176	1544	[8]
315	D2	ARK	522	50	27	23	8	672	2294	TEÍAS
316	D2	ARK	690	284	525	494	50	14	131	TEÍAS
317	D2	ARK	149	117	190	211	28	112	1570	TEÍAS

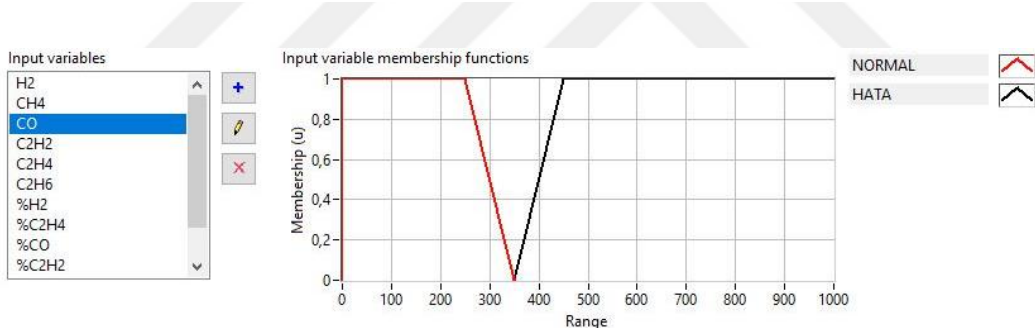
EK-2 Giriş Üyelik Fonksiyonları



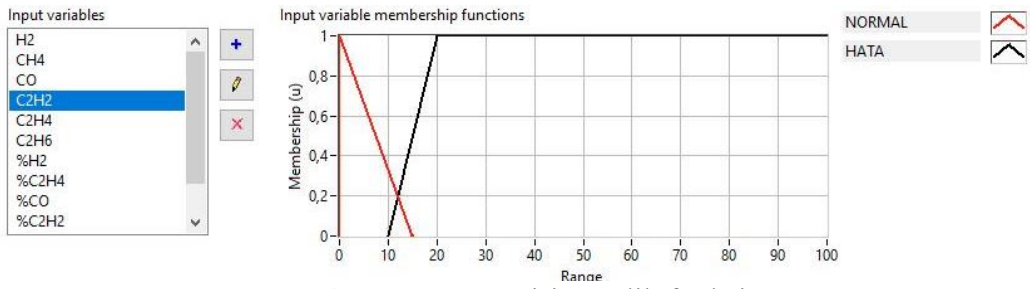
Şekil 5.1 KGM H2 giriş üyelik fonksiyonu



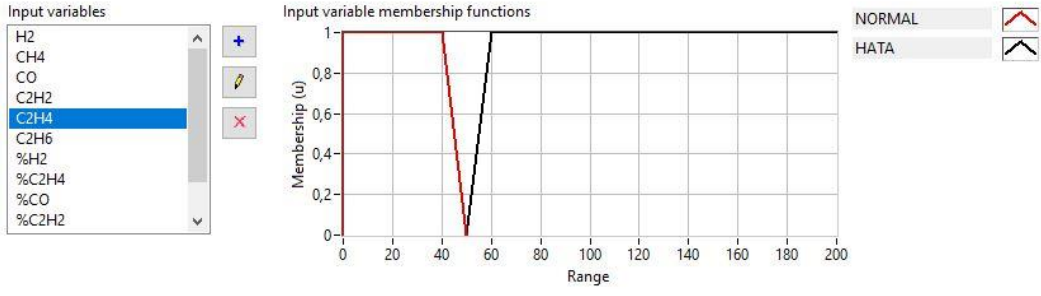
Şekil 5.2 KGM CH4 giriş üyelik fonksiyonu



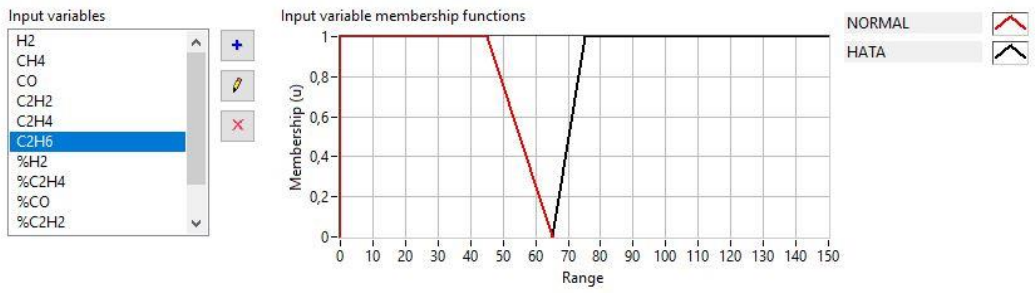
Şekil 5.3 KGM CO giriş üyelik fonksiyonu



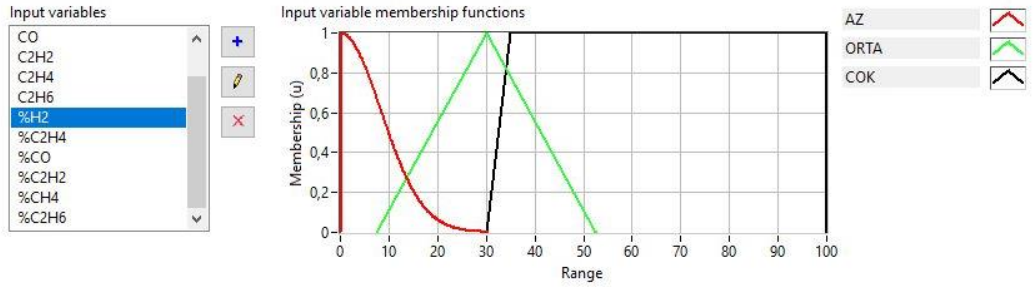
Şekil 5.4 KGM C2H2 giriş üyelik fonksiyonu



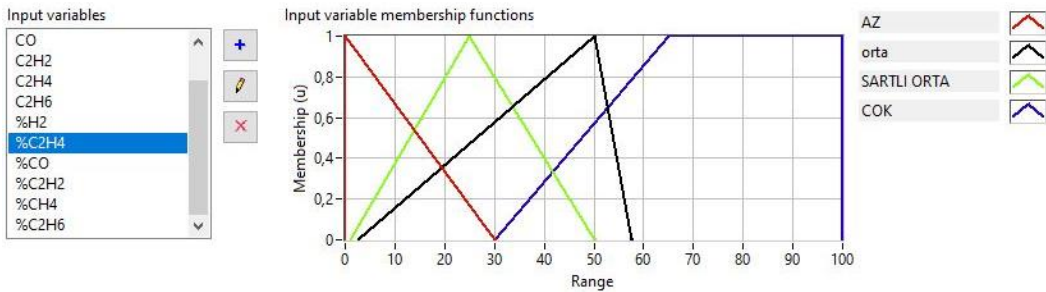
Şekil 5.5 KGM C2H4 giriş üyelik fonksiyonu



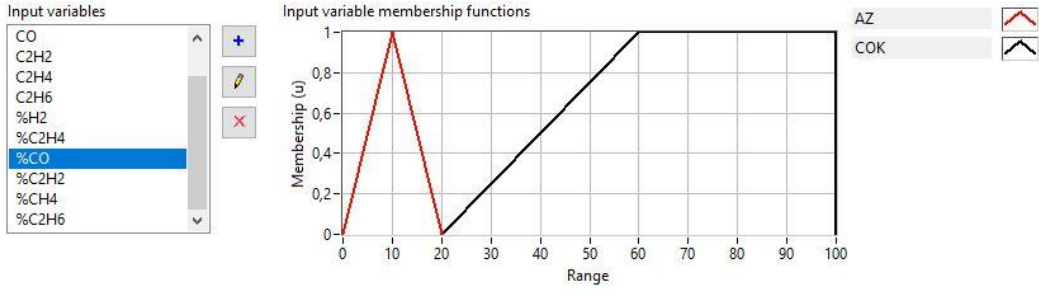
Şekil 5.6 KGM C2H6 giriş üyelik fonksiyonu



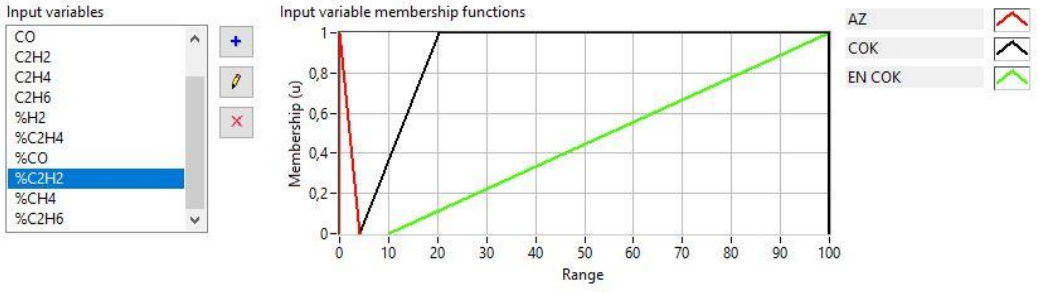
Şekil 5.7 KGM %H2 giriş üyelik fonksiyonu



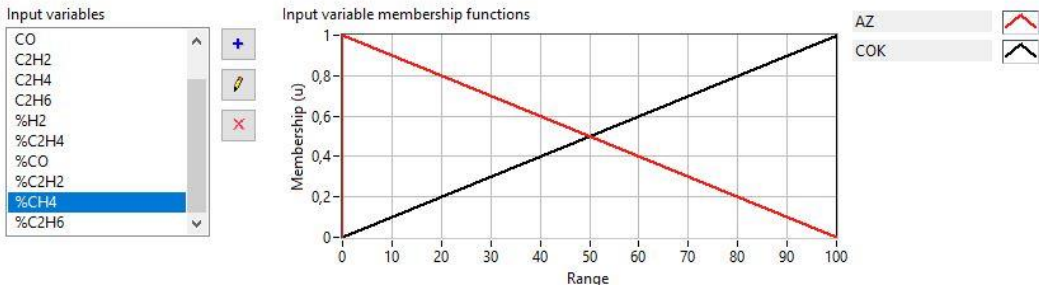
Şekil 5.8 KGM %C2H4 giriş üyelik fonksiyonu



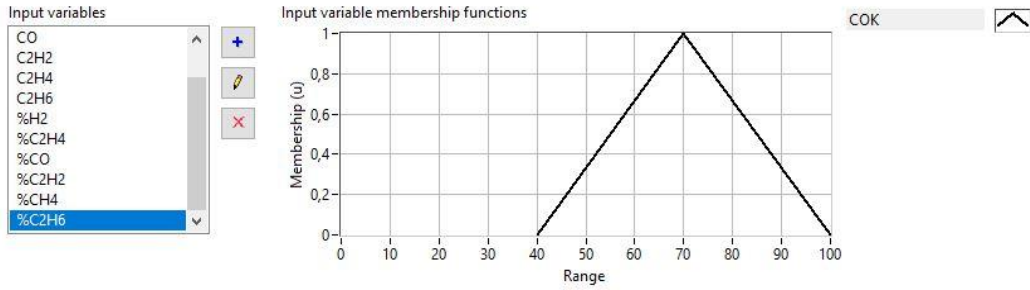
Şekil 5.9 KGM %CO giriş üyelik fonksiyonu



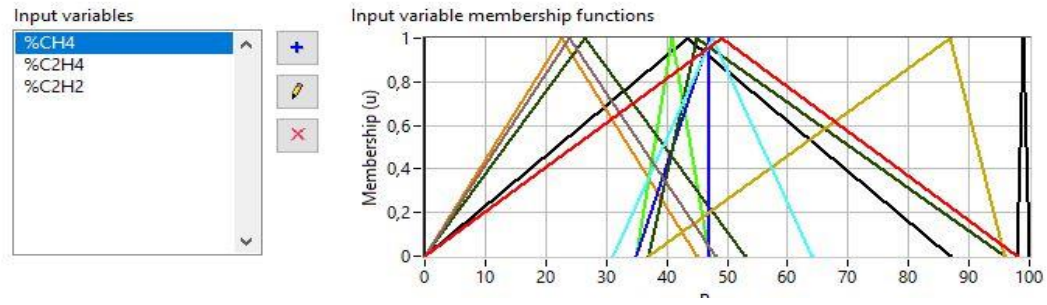
Şekil 5.10 KGM %C2H2 giriş üyelik fonksiyonu



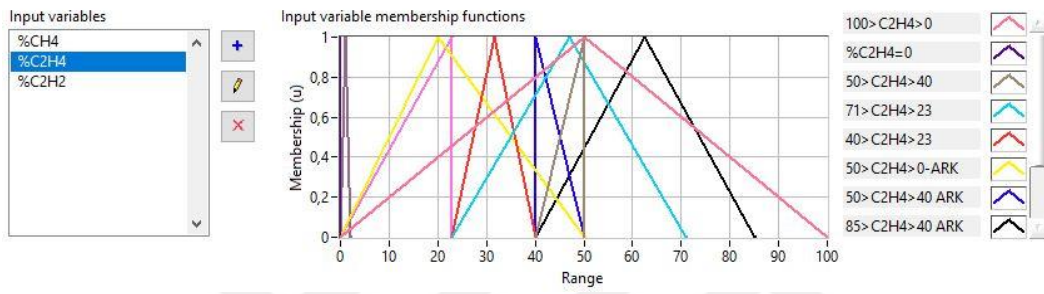
Şekil 5.11 KGM %CH4 giriş üyelik fonksiyonu



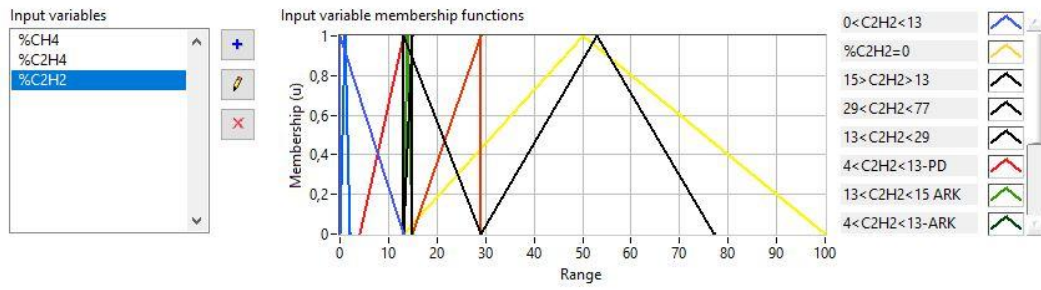
Şekil 5.12 KGM %C2H6 giriş üyelik fonksiyonu



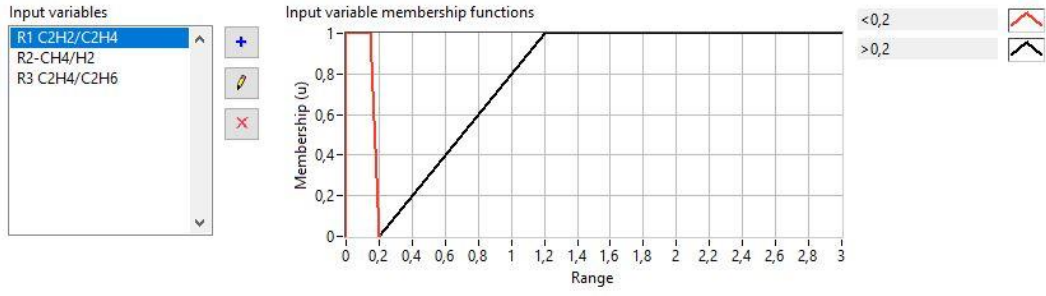
Şekil 5.13 DTM %CH4 giriş üyelik fonksiyonu



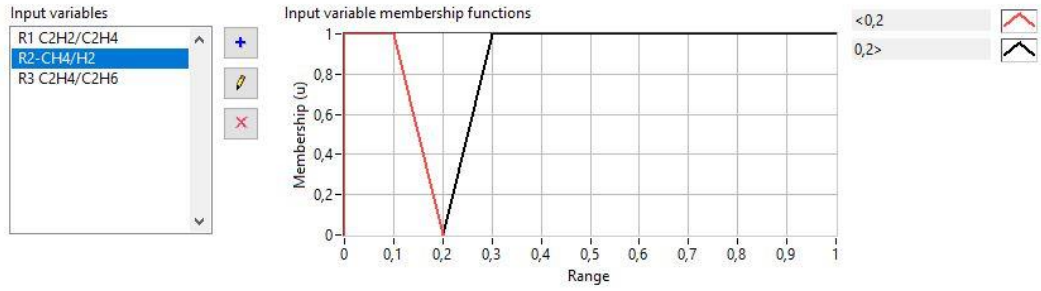
Şekil 5.14 DTM %C2H4 giriş üyelik fonksiyonu



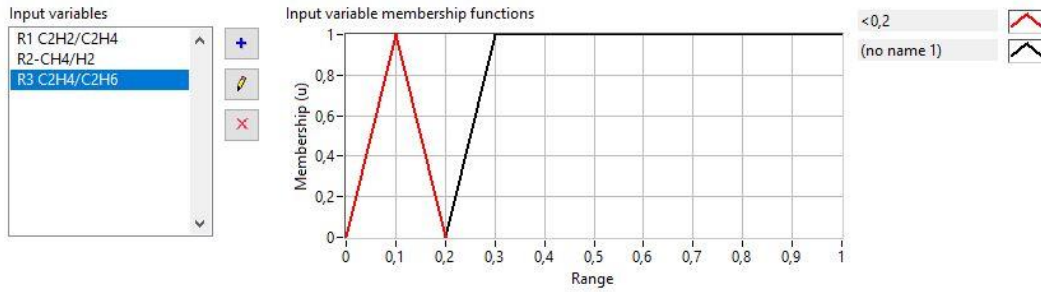
Şekil 5.15 DTM %C2H2 giriş üyelik fonksiyonu



Şekil 5.16 SIM R1 giriş üyelik fonksiyonu

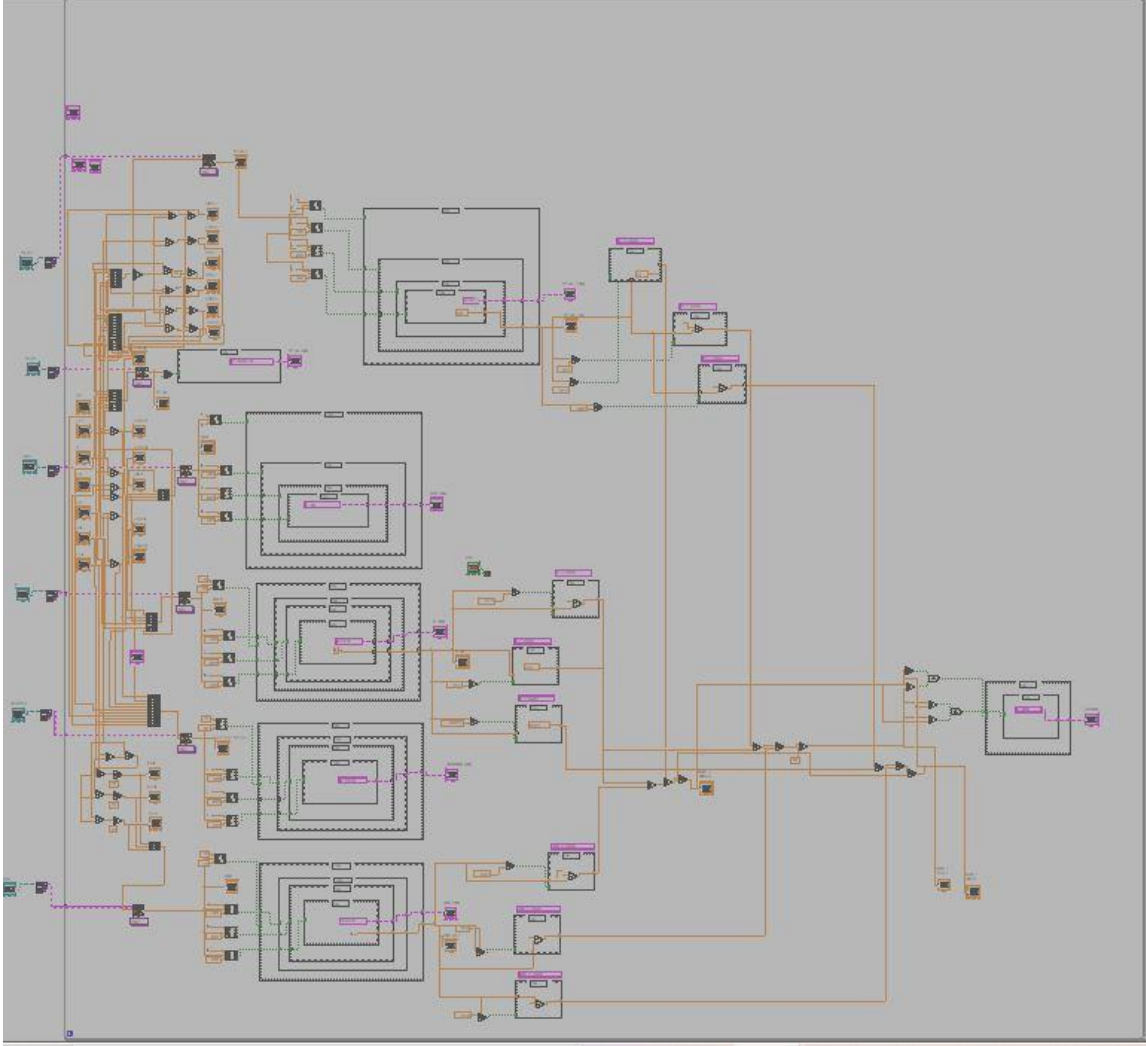


Şekil 5.17 SIM R2 giriş üyelik fonksiyonu



Şekil 5.18 SIM R3 giriş üyelik fonksiyonu

EK-3 LabVIEW Blok Şeması



Şekil 5.19 LabVIEW blok şeması

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı :Engin Baker

Eğitim Bilgileri

2022, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İstanbul

2014, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

2007, Hacı Mehmet Sabancı Anadolu Lisesi, Sivas