

T.C
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR PETROL RAFİNERİ ÜNİTESİNDE(FCCU)
BULANIK MODELLEME VE KONTROL**

DOKTORA TEZİ

90885

Yük. Endüstri Müh. Mithat ZEYDAN

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ENDÜSTRİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Harun TAŞKIN

KASIM 1999

**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

T.C
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR PETROL RAFİNERİ ÜNİTESİNDE(FCCU)
BULANIK MODELLEME VE KONTROL**

DOKTORA TEZİ

Yük. Endüstri Müh. Mithat ZEYDAN

**Enstitü Anabilim Dalı: ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı: ENDÜSTRİ**

Bu tez .. /.. /1999 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Burhanettin CAN

Jüri Başkanı

Prof.Dr. Harun TAŞKIN

Jüri Üyesi

Doç.Dr. Murat MERÇAN

Jüri Üyesi

Doç.Dr. Ercan ÖZTEMEL

Jüri Üyesi

Doç.Dr.M.Sabih AKSOY

Jüri Üyesi

TEŞEKKÜR

Yaptığım bu çalışmada, konunun seçiminden başlayarak, çalışmamın her safhasında yaptığı katkı ve teşviklerinden dolayı sayın hocam Prof. Dr. Harun TAŞKIN'a teşekkürü bir borç bilirim. Tezimin uygulamaya yönelik kısmında, yaptığım çalışmalarında, bana bütün imkanları sağlayan, gösterdikleri yakın ilgiden ve çok istifade ettiğim fikirlerinden dolayı TÜPRAŞ yöneticilerine ve personeline, ayrıca Teknik Servisler Müdürlüğünden Aylin KURT ve Yeşim KÖPRÜLÜ'ye, FCC Ünitesi Proses Mühendisi Serdar KEMALOĞLU' na teşekkürlerimi bildiririm. Yine uygulamayla ilgili çalışmalarında, derin programlama bilgisinden önemli ölçüde yararlandığım Arş.Gör. Adem GÖLEÇ'e ve tezimi bitirme aşamasında yardımlarını esirgemeyen Mustafa ŞAHİN'e teşekkür ederim. Tabii ki, tezimin ortaya çıkmasında beni her zaman sonsuz sabırla destekleyen eşim Yasemin'e müteşekkirim.



İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. KİMYASAL PROSES ENDÜSTRİSİ.....	7
2.1.Giriş.....	7
2.2.Bilgisayarla Bütünleşik Proses.....	8
2.3.Genel Olarak Rafineri Bölümlerinin Tanıtımı.....	12
2.3.1.Akaryakıtlar bölümü.....	12
2.3.2.FCC prosesi.....	16
2.3.2.1 Rayzer (Yükseltici).....	17
2.3.2.2 Reaktör.....	19
2.3.2.3 Rejeneratör (Yanma odası).....	20
2.3.2.4 Frakşınaytır (Ayırıcı) kısmı.....	21
2.3.3. Yağlama yağları bölümü.....	23
2.4. Genel Proses Değişkenleri.....	24
2.5. Bir Rafinerideki Temel Faaliyetler	26
2.6. Bir Petrol Rafinerisinde FCCU'nun Yeri.....	27
2.7. Rafineri Prosesi Olarak FCC'nin Gelişimi.....	28
2.8. FCC Modelleme Tarihi: Kısa Bir Literatür Taraması.....	28
2.8.1 FCC'ye yönelik kontrol ve optimizasyon çalışmaları.....	29
2.8.2 Bazı Sistemler Niçin Çöktü.....	32
BÖLÜM 3. KONTROL.....	34
3.1. Kontrol Tanımı.....	34
3.1.1. Kontrolün tarihçesi.....	35

3.1.2. Proses kontrol.....	36
3.1.3. Klasik kontrol taslağı.....	37
3.1.4. Değişkenler.....	38
3.2. Çok Değişkenli Kontrol Sistemleri.....	39
3.2.1. Modern kontrol teorisi.....	40
3.2.2. İleri kontrol.....	40
3.2.3. Zeki kontrol.....	42
3.3. Zeki Kontrole Olan İhtiyaç.....	44
3.4. Bulanık Küme Teorisinin Temel Düşüncesi.....	46
3.5. Bulanık Mantığın Tarihçesi.....	47
3.6. Bulanık Sistemlere Giriş.....	50
3.6.1. Bulanık mantık nedir.....	50
3.6.2. Bulanık sayılar ve genişleme prensibi.....	54
3.7. Geleneksel Mantıkla Karşılaştırma.....	54
3.7.1. Bulanıklık ve olasılık.....	55
3.8. Dilsel Değişkenler.....	56
3.9. Bulanık Çıkarım.....	57
3.10. Bulanık Denetim Sistemleri.....	57
3.11. Uzman Sistemler.....	58
3.12. Kontrol (Karar) Yüzeyi.....	59
3.13. Genel Bulanık Mantık Kontrolörü.....	60
3.14. Bulanık Mantık Kontrol Sistem Modellerinin Özel Şekilleri.....	61
3.15. Bulanık Kontrol Sistem Tasarımında Kabuller	63
3.16. Bulanık Mantık Uygulamaları.....	64

BÖLÜM 4. BULANIK MODELLEME ALGORİTMASI (SİSTEM TANIMLAMA)..... 67

4.1. Giriş.....	67
4.2. Kural Oluşturma, Bulanık Gruplama.....	68
4.2.1. Grup geçerliliği ve grup sayılarının belirlenmesi.....	71
4.2.2. Üstel ağırlığın belirlenmesi.....	72
4.2.3. Grup merkezlerinin başlangıç konumları.....	73
4.2.4. Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması: sınıflandırma problemi.....	74
4.2.5. Girdi seçimi ve girdi üyeliklerinin atanması.....	75
4.2.6. Bulanık muhakeme ve bulanık çıkarım mekanizması	77

4.2.7. Bulanık kontrol kurallarının (proses durum değişkenleri ve kontrol değişkenlerinin) seçimi.....	78
4.3. Tüpraş Rafinerisindeki Proses Değişkenleri.....	78
4.3.1. Rafinerinin Global Planlama ve Optimizasyonu.....	83
BÖLÜM 5. UYGULAMA.....	87
5.1. Bulanık Gruplama.....	87
5.2. Grup Geçerliliği ve Grup Sayılarının Belirlenmesi.....	87
5.3. Üstel Ağırlığın Belirlenmesi.....	88
5.4. Grup Merkezlerinin Başlangıç Konumlarının Tespiti.....	89
5.5. Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması ve Sınıflandırılması.....	89
5.6. Girdi Seçimi ve Girdi Üyeliklerinin Atanması.....	90
5.7. Sonuç Çıktısının Elde Edilmesi.....	90
SONUÇLAR.....	93
TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	96
KAYNAKLAR.....	100
EKLER.....	109
EK A: TÜPRAŞ Proses Akış Şeması.....	109
EK B: Başlangıç Vektörleri.....	110
EK C: Optimum Üyelik Matrisi U.....	115
EK D: Üyelik Değerleri.....	114
EK E: Sistemin Bulanık Model Kuralları.....	117
EK F: İzmit TÜPRAŞ FCCU Değişkenlerine Ait Veriler.....	130
ÖZGEÇMİŞ.....	134

KISALTMALAR

DKS	: Sayısal Kontrol Sistemi
HCGO	: Ağır Çevrim Benzin
FCCU	: Akışkan Yataklı Katalitik Parçalanma Ünitesi
MOM	: En Büyüğün Ortalaması
RES	: Rejen Seviyesi
REYS	: Rejen Yatak Sıcaklığı
REB	: Rejen Basıncı
RKB	: Reaktör Basıncı
RKS	: Reaktör Seviyesi
RYS	: Riyzer Sıcaklığı
FB	: Frakşınaytır Basıncı
FRDB	: Frakşınaytır Reflux Dram Basıncı
PDRC	: PdRC-1
SRGS	: Şarj Riyzer Giriş Sıcaklığı
RHM	: Rejen Hava Miktarı
KSH	: Katalizör Sirkülasyon Hızı
KD	: Kompresör Devri
OVm	: Oktan-Varil Miktarı
SRJA	: Şarj API
V	: Viskozite
SUOP	: Şarj UOP k Faktörü
KK	: Konradson Karbon
CO ₂ CO	: CO ₂ /CO
LECO	: LECO Karbon(%)
TSM	: Toplam Şarj Miktarı
S _w	:Grup içi Bulanık Dağıtma Matrisi
S _B	:Gruplararası Bulanık Dağıtma Matrisi
S _{cs}	:Grup Geçerlilik Kriteri
S _T	:Bulanık Toplam Gruplama Matrisi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1	Sürekli Proses Endüstrisinde Bilgisayarla Bütünleşik İmalat Sistemi Fonksiyonları.....	10
Şekil 2.2	Toplam Kontrol Sistemi.....	11
Şekil 2.3	Genel FCC Ünitesinin Görünümü.....	15
Şekil 2.4	Tüpraş FCC UOP Tasarımı	18
Şekil 2.5	Genel FCC Proses Değişkenleri.....	25
Şekil 2.6	Bir Rafinerinin Genel Olarak Faaliyetleri.....	27
Şekil 2.7	Bir Petrol Rafinerisinde FCC'nin Konumu.....	27
Şekil 3.1	Düzenlemenin Prensip Şeması.....	34
Şekil 3.2	Değişkenler.....	39
Şekil 3.3	Direkt Zeki Kontrol.....	44
Şekil 3.4	Dolaylı Zeki Kontrol.....	44
Şekil 3.5	Zeki Kontrolde Kullanılan Teknikler.....	45
Şekil 3.6	Zeki Kontrol ve Üç Temel Yaklaşımı Arasındaki İlişkiler.....	46
Şekil 3.7	Bulanık Uygulama Sistemlerinin Tarihçesi.....	52
Şekil 3.8	Bulanık Mantık Kontrol Sistem Blok Diyagramı.....	61
Şekil 4.1	Bulanık Sistem Modelleme Akış Diyagramı	68
Şekil 4.2	Bulanık Sistem Modelleme işaret Akış Diyagramı.....	76
Şekil 4.3	İzmit TÜPRAŞ FCC Ünitesinin Değişkenleri.....	80
Şekil 4.4	Proses Endüstri Modelleme Sistem Akış Şeması.....	84
Şekil 5.1	Gruplara Karşılık Gelen Grup Geçerlilik İndeksi S_{cs}	87
Şekil 5.2	Üstel Ağırlığın Belirlenmesi.....	88
Şekil 5.3	Üstel Ağırlığın Hassas Belirlenmesi.....	89
Şekil 5.4	Gerçek Sistem ile Bulanık Sistem Benzin Oktan-Varil Çıktılar	91
Şekil 5.5	FCC Değişkenlerinin Değişim Grafiği.....	92

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1	Bulanık Mantığın Tarihsel Süreci.....	65
Tablo 4.1	J_m Amaç Fonksiyonu.....	69
Tablo 4.2	Bulanık C-Means Gruplama İşaret Akış Diyagramı.....	70
Tablo 4.3	Grup Merkezlerinin Başlangıç Konumunu Veren İşaret Akış Diyagramı.....	74
Tablo 4.4	Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması ve Sınıflandırılması.....	75



ÖZET

Anahtar Kelimeler: Bulanık Modelleme ve Kontrol, FCC Ünitesi, Bulanık Gruplama, Endüstriyel Prosesler

Bu çalışmada, Petrokimya sanayinin en önemli parçası olan rafineri sistemi içinde bulunan FCC ünitesinin bulanık modellemesi yapılarak bulanık kontrol kuralları türetilmiştir. FCC ünitesi, rafineri sistemi içinde bulunan en önemli birimdir. Bunun sebebi, çok girdili ve çok çıktılı yüksek derecede lineer olmayan, iç geri beslemeli, değişkenlerin arasında güçlü ilişkileri olan, zamanla değişen, dağılmış parametrelili ve doğasında önemli derecede belirsiz davranışlara sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Matematiksel modeller bu sistemi eksik tanımlamaktadır. Bundan dolayı, FCC ünitesi, bulanık mantığın konusu olabilecek özelliklere sahip bulunmaktadır.

Sistemde bulunan Reaktör ve Rejeneratörün yanında ayrıştırıcı kolonda dahil edilerek modelleme çalışması yapılmıştır. Genelde bulanık modelleme, nümerik yapı altında bulanık ilişki denklemleri ve dilsel yaklaşım ile yapılabilmektedir. Bu çalışmada, sonucunu araştırılıyor. Bulanık modellemede, bu sistemin tanımlanması için sistematik bir metot kullanılmaktadır. Bu metot bulanık gruplama algoritmasıdır. Bulanık gruplama algoritmasının, çeşitli problemleri bulunmaktadır. Bu problemlere 4. Bölümde değinilmiş ve çözümleri verilmiştir. Sistem için yapılan bulanık gruplama sonucunda 13 grup bulunmuştur. Yani 13 kural türetilmiştir.

Sistemin bulanık modelinin oluşturulması kontrol için en önemli aşamayı oluşturmaktadır. Bilindiği gibi, modele göre, kontrol ve optimizasyon çalışması yapılmaktadır. Oluşturulan bulanık modelde Mamdani çıkarım metodu kullanılmıştır. Sonuçlar Bölüm 4 ve eklerde verilmektedir.

Sonuçta, bulanık modelden elde edilen benzinin oktan-varil miktarı ile gerçek sistemden elde edilen benzinin oktan-varil miktarı karşılaştırılmış ve birbirlerine çok yakın değerlerin olduğu görülmüştür.

SUMMARY

Key Words: Fuzzy Modeling and Control, FCCU, Fuzzy Clustering, Industrial Processes

In this study, fuzzy modeling of FCCU in the refinery system as the most important part of Petrochemical Industry was carried out and fuzzy control rules was generated. FCCU is the most important Unit in the refinery system. From a system point of view, the FCCU is a highly nonlinear system with MIMO (Multi input-multi output), internal feedback, strongly coupling, time-varying, distributed parameter, significantly uncertain behaviours in nature. Mathematical Models is not enough to identify this system. On the occasion of this, FCCU has a characteristic specifications as a subject of Fuzzy Logic.

Modelling study has been made by including also Fractionator as an addition to Reactor and Regenerator in FCC system. Generally, the fuzzy modeling may be carried out in two ways, namely, the fuzzy relation equations under a numerical framework and the linguistic approach. In this study, only the latter is being investigated. In the fuzzy modeling, a systematic method is used to identify this system. This method is named as fuzzy clustering algorithm. Fuzzy clustering algorithm has various problems. These problems has been discussed in the 4th chapter. Using this algorithm, we obtain 13 clusters for this system. That is, 13 rules have been generated.

Constituting fuzzy model of this system is the crucial phase. As known, According to the model, control and optimization has been done. The fuzzy model of this system was used with Mamdani inference system. The results has been given 4th chapter and appendixes.

Based upon the results of the study, on comparing the gasoline octane-barrel amount obtained from the fuzzy model and the real system and nearly the same results was found.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Petrolün bulunmasından sonra, insanoğlu zamanla ortaya çıkan ihtiyaçlarını gidermek için hampetrolü çeşitli proseslerden geçirerek günlük hayatımızda kullandığımız petrol türevleri ve buna bağlı olarak üretilen ürünleri elde etmiştir. Günümüzde, hayatın hemen her alanında petrokimya endüstrisinin ürünleri kullanılmaktadır. Kimyasal proses endüstrisinin bir kolu olan rafinerilerde üretimin verimli olabilmesi için çeşitli kontrol sistemleri geliştirilmiştir. Bilgisayarların ortaya çıkması ve sistemlerde etkin bir şekilde kullanılmasıyla beraber rafinerilerde de kontrol amaçlı olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Kimyasal prosesler çoğunlukla çok değişkenli (çok girdili ve çok çıktılı), kompleks ve doğrusal olmayan özelliğe sahip sistemlerdir. Klasik kontrolör (P, PI, PID kontrolör), tek değişkenli bir sistemde başarıyla kullanılmasına rağmen, çok değişkenli kontrol sistemlerinin tasarımında tamamiyle tatmin edici bir metot olmamakta ve sistemin bu çok değişkenli özelliği, kontrol probleminde en temel zorluklardan birisini meydana getirmektedir. Kimyasal proseslerde, nihai hedef, sadece proses değişkenlerinin ayarlanması değil, aynı zamanda maksimum kârı da realize etmektir. Bundan dolayı, bozunma durumunda bir kontrol sisteminde dikkat edilmesi gereken nokta, bu bozunmanın ortadan kaldırılması veya önlenmesi olmaktadır.

Klasik Kontrol tekniklerinin 1935'lerden sonra sistemlerde uygulanmaya başlamasıyla beraber, uygun sonuçlar elde edilmiştir. Bu yöntemlerde, sistemin davranış ölçütü zaman ve frekans aralıklarında tanımlanan çeşitli kriterlerle belirlenmektedir. Klasik kontrol teorisi, özel kontrol kurallarının lokal analizleri ve davranışlarını tanımlamak için zengin bir metotlar kümesi sağlamaktadır [1]. 1950'li yıllarda klasik kontrolün daha gelişmiş sistemlerde yetersiz kalması sonucu modern kontrol teknikleri ortaya çıkmıştır. Modern Kontrol, klasik kontrolün tersine çok

girişli-çok çıkışlı karmaşık sistemlerde başarıyla uygulanmıştır. Örneğin, bir uzay aracında, yakıt sarfiyatını minimum yapan, uzay aracı hareket kontrol sisteminin tasarımında klasik yöntemler yeterli olmamaktadır. Böylesi karmaşık sistemlerde, optimal kontrol (modern kontrol) teorisi, bilgisayarların gelişmesi sonucu, uygulanabilen bir duruma gelmiştir. Optimal kontrol probleminin formüle edilmesi başlıca üç bölümde gerçekleşmektedir [2]:

1. Kontrol edilecek olan sistemin matematiksel modelinin çıkarılması.
2. Fiziksel sınırlandırmaların belirlenmesi.
3. Davranış ölçütünün belirlenmesi.

Sistem kontrolünün yapılabilmesi için öncelikle o sistemin davranışlarının bilinmesi gerekmektedir. Bunun için, sistemin matematiksel modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Eğer matematiksel model doğrusal zamanla değişmeyen bir model ise klasik kontrol teorisine yönelik, sistemin analiz, tasarım ve boyutlandırılmasında, Laplace dönüşümü, Fourier dönüşümü, z-dönüşümü kullanılır ve sırası ile s-aralığı, w-aralığı ve z-aralığı yöntemleri adı altında, köklerin yer eğrisi, blok diyagramları, işaret akış diyagramı, Bode diyagramları kullanılır. Kararlılık için ise; Routh, Hurwitz, Nyquist kriterleri kullanılmaktadır. Eğer sistem doğrusal değil ise, belli çalışma noktaları etrafında doğrusallaştırma yapılarak, yukarıdaki yöntemler kullanılır.

Karmaşıklığın artmasıyla, doğru bir matematiksel model elde etmek zorlaşmaktadır [3]. Bazı durumlarda, tüm bir sistemi tanımlamak için yüzlerce denklemin ele alınması gerekebilmektedir. Kontrol teorisi, doğrusal matematiksel modellere veya matematiksel modellerin doğrusallaştırılmasına dayanır. Optimal kontrolün yapılabilmesi için modellerin diferansiyel denklem sistemi olarak verilmesi de doğrusal olmayan sistemin belli bir anda doğrusal olarak düşünülmesi mantığına dayanmaktadır. Bu, sabit bir çalışma noktasında kararlı durumun ayarlanması için çok uygundur [4].

Doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerin ise genel ve doğrudan doğruya bir çözümü yoktur. Ancak doğrusal olmayan matematik modellerin çözümünde, analitik ya da tam matematik kesinlik olmasa bile, izlenecek iki yol vardır [5].

1. Bilgisayarla (analog ya da sayısal) çözüm
2. Denklemlerin doğrusallaştırılmasıyla çözüm

Rafineri sistemi içinde en önemli ünite olan FCC' de operasyonların dikkatli bir şekilde kontrol edilebilmesi gerekmektedir. Çünkü, FCC ünitesi kritik şartlara uygun olarak çalışmaktadır. Bundan dolayı, ünitenin genel karlılığının artırılabilmesi, gelişmiş kontrol metotlarına ihtiyaç duymaktadır. Aslında, petrol rafineri endüstrisinde, FCC ünitesinin etkinliği, rafinerinin rekabet kabiliyetine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Prosesin gerçek zamanlı bilgisayar kontrolü, ürün değerlerinin maksimize olması ve birimin daha etkin çalışmasını sağlamakta, sadece birimin kendisi için değil aynı zamanda tüm rafinerideki birimlerin entegrasyonunu da sağlamaktadır.

Kimyasal proses endüstrilerindeki temel amaç, nihai ürün içindeki hammaddeler ve girdi enerjisini değiştirmek (istendiği ölçüde) için kimyasal proses ünitelerini (kimyasal reaktörler, damıtma kolonları, buharlaştırıcılar, ısı değiştiriciler, vs.) kombine etmektir.

Bir kimyasal prosesin operasyonundaki temel prensipler;

- Güvenli bir şekilde çalıştırılıyor olması,
- Tanımlanmış üretim hızlarının korunması,
- Üretimin kalite spesifikasyonlarının karşılanmasıdır.

Endüstriyel kimyasal proses kontrolün 2 yönü vardır:

1. Tesis Çapında Kontrol: İsminden de anlaşılacağı gibi, bileşenlerinin çeşitli, birbirleriyle bağlantılı, proses birimlerinin tek bir varlık olarak gözönüne alınarak tüm çalışma tesisinin kontrolünü içine alır.

2. Üniteler Bazında Kontrol: Kimyasal reaktörler, damıtma kolonları, ısı değiştiriciler, vb. gibi proses birimlerinin kontrolü.

Günümüzde endüstride uygulanan en genel kontrol teknikleri ise şunlardır:

1. Klasik P, PI, PID kontrol
2. İstatistiksel kalite kontrol
3. Model tahminleme kontrolü
4. Diğerleri
 - Modelleme için sinir ağları
 - Özel amaçlı, müşteri teknikleri
 - Endüstriye yönelik "ticari sır" teknikleri

Bu teknikler önemli sayıda endüstriyel kontrol problemlerini çözmek için değişik durumlarda kullanılmaktadır. Ne var ki; etkin ve genel uygulanabilir çözümlere ihtiyaç duyulan hala önemli problemler bulunmaktadır[6].

Zadeh tarafından ortaya atılan bulanık mantık teorisi ile bu tarihten başlayarak günümüze kadar, bulanık modelleme, kontrol ve optimizasyon ile ilgili bir çok alanda uygulama çalışmaları yapılmıştır. Bulanık kontrol, doğrusal olmayan kontrol sistemlerinin tasarımında bir diğer yaklaşımdır. Özellikle, sistemlerde eksik bilgi bulunduğu sistem tanımlama açısından büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Bu yaklaşımda, ölçülen değişkenler, bulanık değişkenler olarak temsil edilmektedir. Bulanık değişken, bir tip durulamayı kullanarak gerçek bir değere dönüştürülür. Bu kontrol kurallarının tasarım ve gerçekleştirilmesi, öncelikli olarak tecrübe ve geniş simülasyona bağlı olmaktadır [7].

Sistemin yapısal tanımlaması için sistemdeki kontrol, durum ve bozucu değişkenler tesbit edilmiştir. Sistemin davranışını ortaya çıkarabilmek için bu gerekli bir adımdır. Tanımlanan değişken verileri üyelik fonksiyonlarına bölünerek bulanıklaştırılmış, çıkarım için Mamdani çıkarım mekanizması kullanılmış ve son aşamada MOM (Maksimumların ortası) tekniği kullanılarak veriler durulanmıştır. Bu

süreçte bulanık girdi değişkenleri, bu değişkenlerin dilsel değerleri ve çıktı değişkenlerinin üyelik fonksiyonları belirlenmiştir.

Bu çalışmada, İzmit TUPRAŞ Rafinerisi FCC Ünitesinin, sistemdeki değişkenler gözönüne alınarak, sistemin tanımlanabilmesi için bulanık modellemesi yapılmıştır.

Yapılan çalışmanın amacı, çok değişkenli, doğrusal olmayan kimyasal prosesin tipik örneği olan FCC ünitesinin, bulanık sistem tanıma algoritması kullanılarak, sistemin bulanık modellemesini oluşturmak suretiyle gerçek modele uygunluğunu araştırmak ve bulanık çıkarsama ile sistemin çıktı değişkeni olan benzinin oktan-varil hesabına dayanarak kontrol kurallarının tespit edilmesi, buna bağlı olarak ürün kalitesinin yükseltilmeye çalışılmasıdır.

İkinci bölümde, Kimyasal proses endüstrisi, genel olarak rafineri sisteminin tanıtımı ve özelde FCC prosesi, FCC prosesini etkileyen proses değişkenleri ve proses değişkenleri arasındaki ilişkiler açıklanmıştır. Bu sistemlerin bazılarında kullanılan ileri kontrol tekniklerinin niçin başarısız olduğu anlatılmıştır. FCC modelleme, kontrol ve optimizasyonuna yönelik literatür taraması yapılmış ve bu çalışmalarda ya sadece reaktör veya rejeneratör ya da reaktör-rejeneratör ikilisi alınarak modelleme, kontrol ve optimizasyon çalışmalarının yapıldığı görülmüştür. Burada dikkat çekici nokta; Frakşınaytır (ayırıcı) kolonun FCC Ünitesinin entegre bir parçası olmasına rağmen modelleme çalışmalarında kullanılmayıdır. Halbuki, Ayırıcı kolonun basıncı, reflux dram basıncı ve kompresör devri, sistemin çalışmasını etkileyen önemli değişkenlerdir. Bu yüzden, modellemeye Ayırıcı kolon da dahil edilmiştir.

Üçüncü Bölümde, kontrol kavramı üzerinde durulmuş, buna bağlı olarak proses kontrolde kullanılan klasik kontrol ve çok değişkenli kontrol sistemlerinde modern kontrol, ileri kontrol, zeki kontrol tanıtılarak avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır. Bulanık sistemler, bulanık mantık ve bir zeki kontrol olan bulanık kontrol sistemleri anlatılmıştır. Bulanık mantık ile geleneksel mantık kıyaslanmış, bulanık mantık uygulamaları ve avantajlarına değinilmiştir.

Dördüncü Bölümde, bulanık sistem modelleme algoritması ile İzmit TÜPRAŞ FCC Ünitesinin modellenmesi yapılmıştır. Bunun için, bulanık sistem tanımlama algoritması, bulanık yapısal tanımlama, grupların başlangıç konumları, grup geçerlilik kriterleri, FCC Ünitesi için üstel ağırlık katsayısının belirlenmesi, üyelik fonksiyonlarının oluşturulması ve bulanık çıkarsama ele alınmaktadır. Sistemin girdi ve çıktı değişkenleri ve aralarındaki davranış ilişkileri tanımlanmış ve karar işlemlerinde kullanılmaları sağlanmıştır. Bulanık C-Means algoritması kullanılarak gerçekleştirilen bulanık modelde 13 grupta yapılmış, yani model, 13 tane kuraldan oluşmaktadır. Operatörün sistem kontrol davranışları ile çıktı olarak elde edilen benzin oktan-varil miktarı ve bulanık modelleme sonucu elde edilen benzin oktan-varil miktarı grafiksel olarak karşılaştırılarak, İzmit TÜPRAŞ FCC sistemine ait, kontrol kuralları türetilmiştir. Ayrıca İzmit TÜPRAŞ Rafinerisi FCC Ünitesinde sisteme etki eden değişkenler verilerle beraber ele alınarak tanımlanmıştır. Rafinerinin planlama ve global optimizasyonunun nasıl yapıldığına yine bu bölümde değinilmiştir.

Bu çalışmanın kapsamı; rafineri sisteminde FCC Ünitesini, Bulanık C-Means gruplama algoritması ile tanımlayarak, bulanık bir modelini ortaya çıkarmak ve bu modeli kontrol kuralları olarak sistemde kullanmaktır. Bulanık modellemenin etkin ve daha doğru yapılabilmesi için grup başlangıç konumlarının ve sistemin üstel ağırlık katsayısının optimal olarak belirlenerek bulanık modelini daha sistematik olarak uygulamaktır.

BÖLÜM 2. KİMYASAL PROSES ENDÜSTRİSİ

2.1. Giriş

Kimyasal proses endüstrisinin ürünleri gündelik hayatın her alanında kullanılmaktadır. Hayvanların ve yiyecek bitkilerinin büyümesinde; kimyasal gübrelere, böcek öldürücülere, ek yiyeceklerle ve dezenfektanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bir çok bina malzemeleri kimyasal prostesten geçirilmektedir. Örneğin, metaller, beton, çatı malzemeleri, boyalar ve plastikler v.b gibi. Giyim sanayii birçok sentetik fiberler ve kumaş boyaları kullanmaktadır. Ulaştırma, benzin ve diğer yakıtlara bağlıdır. Yazıyla iletişimde kağıt ve baskı mürekkebi kullanılmaktadır. Elektronik iletişimde, birçok kimyasal proses izolatörleri ve iletkenleri kullanılmaktadır. Ulusun sağlığı; ilaçlar, eczalar, sabunlar ve deterjanlar gibi kimyasal proses endüstrisinin ürünleriyle sağlanmaktadır. Bunun yanında, çoğu kimyasallar, orijinal şekliyle tüketiciye asla ulaşmaz, fakat endüstride daha fazla proses ile satılmakta veya tüketici kullanımı için diğer kimyasalların üretiminde kullanılmaktadır. Kimya endüstrisinin sık sık kendisinin en iyi müşterisi olduğu söylenmektedir. Kimyasal proses endüstrisinin herhangi bir tanımı tam çizgilerle sınırlı değildir. Kimya endüstrisindeki çoğu prosesler kimyasal bir değişimi içerir. “Kimyasal değişim” teriminin, bir karışımın bileşenlerinin ayrışması ve saflaştırılması gibi sadece kimyasal reaksiyonları değil, fizikokimyasal değişimleri de içerdiği belirtilmektedir. Saf mekanik değişimler, son kimyasal değişimlerin temeli olmadıkça, kimyasal prosesin parçası sayılmazlar. Bir örnek olarak, plastik polietilenin imalatı, petrol veya doğal gazdan üretilen etilenin kullanımıyla, kimyasal bir prosesi içerir. Diğer taraftan, tüketici mamulleri için, son kalıplardaki plastik reçinenin kalıplama ve üretimi kimyasal prosesin parçası sayılmamaktadır.

Besin endüstrisindeki bir çok karmaşık kimyasal prosesler, örneğin, bir fermentasyon reaksiyonunu içeren peynir yapımı, kimyasal proses endüstrisinin parçası olarak kabul

edilmez. Diğer taraftan, içecek ve endüstriyel alkollerini üretmek için şekerlerin fermentasyonu kimyasal bir endüstri olarak karşımıza çıkmaktadır. Geniş metalurji endüstrisi, ürünlerin çok miktartlı olması ve proseslerin özel karakterinden dolayı kimyasal proses endüstrisinden genellikle ayrılır. Fakat metallerin prosesi, kimya endüstrisinin sadece bir parçası olarak da göz önüne alınabilir [8]. Kimyasal proses endüstrisinin girdisi olan petrolün damıtılarak çeşitli ürünlere ayrıştırılması rafinerinin en önemli bölümü olan FCC' de gerçekleşmektedir. Bu açıdan bakıldığında FCC ünitesi sanayii için büyük önem arz etmektedir. Bu birimin daha sağlıklı işleyebilmesi rafineri sisteminin kısmi ve global anlamda, bilgisayarla etkin denetimine bağıdır. Bu bağlamda, rafineri bazında aşağıda bilgisayarla bütünleşik proses kavramına değinilecektir.

2.2. Bilgisayarla Bütünleşik Proses

Bilgisayarla bütünleşik proses, bilgisayar kontrol ve yönetim bilişim sistemlerini kapsamaktadır. Yararı; üretim kalitesini iyileştirme; üretim, verimlilik ve etkinliğin artırılması; kayıpların azaltılması; daha güvenli operasyon ve yönetimde daha iyi karar vermeyi içine alır. Amacı, kesikli imalat endüstrisinde bilgisayarla bütünleşik imalatla aynıdır. Bununla beraber, entegre olan sürekli ve yığın proseslerin kontrol ve yönetimi kesikli imalatın kontrol ve yönetiminden daha karmaşık olduğundan dolayı, bilgisayarla bütünleşik proses, ihtiyaç duyulan farklı teknolojileri belirlemek için kullanılır. Bilgisayarla bütünleşik proses, matematiksel bir model ile başlarken, bilgisayarla bütünleşik imalat müşterilerin siparişi ile başlar [9]. Herhangi bir imalat işletmesinin bilgisayarla entegrasyonu bilgi ve bilginin matematiksel analizini kapsamaktadır. Bilgi, üç şekilde meydana gelir: İşletme, proses ve mühendislik. Bütünleşik olan imalatın bir parçası olarak analizler, sürekli den yığına ve kesikliye kadar oldukça farklılık gösterir. Aslında, analizler, yığın ve sürekli prosesler için bilgisayarla bütünleşik prosesin önemli bir parçası iken, kesikli bilgisayarla bütünleşik imalatda analizlere ihtiyaç duyulmaz. Doğa yasalarına dayalı analizler, yığın ve sürekli proseslerin her ikisindeki "eğer olsaydı ne olurdu ?" sorularını cevaplamak için

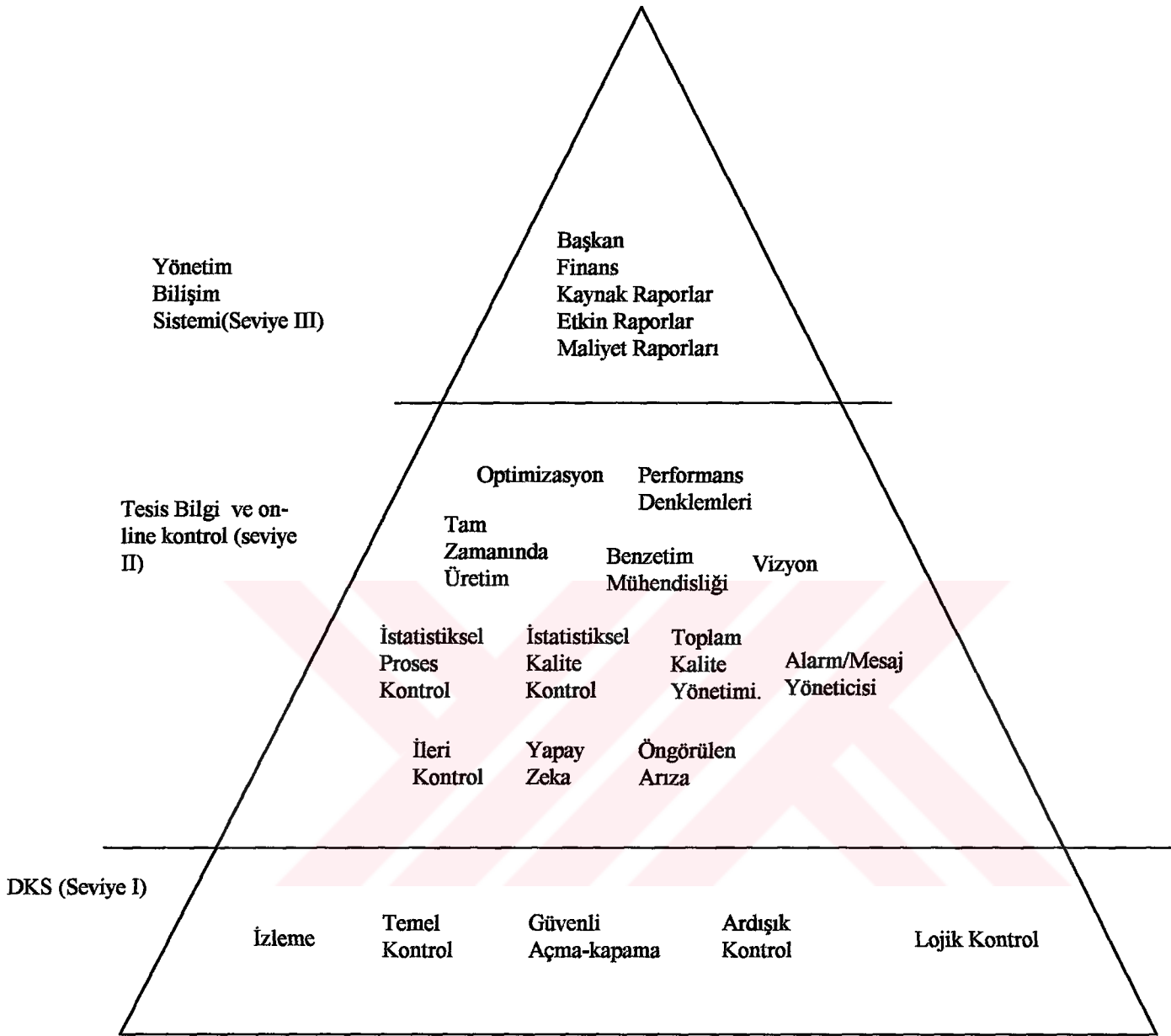
kullanılabilir. Çünkü, sürekli proseslerin genellikle kararlı durumda çalıştığı farzediliyorken, buna karşılık yığın proseslerin kararsız durumda olduğu kabul edilir.

Görülüyor ki, üretimin bilgisayarla bütünleştirilmesi; kesikli, yığın ve sürekli sistemler arasında fonksiyonel olarak oldukça farklıdır. Sürekli bir proses için bilgisayarla bütünleşik prosesi tanımlamanın iyi bir başlangıç noktası yoktur. Bilgisayarla bütünleşik prosesin meydana gelmesindeki önemli motivasyon, finansal performansı geliştirmektir. Bu amacı gerçekleştirebilmek için, bilgisayarla bütünleşik proses finansal performans içerisinde önemli bir yere sahip olmaktadır.

Tüm işletmeyi içine alan proses ve mühendislik bilgisinin birleştirilmesini içeren Bilgisayarla Bütünleşik Proses sisteminin tanımı şekil 2.1’de gösterilmektedir [10].

Geniş kapsamlı bir organik ara maddeler sanayii olarak görülen petrokimya sanayii, yirminci yüzyılın ikinci yarısından itibaren gelişmeye başlamış ve çok hızlı bir gelişme göstererek kısa bir sürede ekonominin temel taşlarından biri haline gelmiştir.

Petrokimya sanayii, 1913’te, hampetrol arıtma yöntemi olan ısı kraking (parçalanma) işleminin geliştirilmesiyle güçlenmeye başladı. Bu işlemle elde edilen gaz haldeki yan ürünler önceleri aydınlatma amacıyla ve yakıt olarak kullanılırken , 1920’lerde ve 1930’larda bu ürünlerin pek çok alanda hammadde oluşturacak değerli birer kaynak oldukları anlaşıldı. 1937’de katalitik parçalanma işleminin bulunması ve doğalgaz kaynaklarının artması petrokimya sanayinin daha da gelişmesine yol açtı [11].



Şekil 2.2 Toplam Kontrol Sistemi

Bu çalışmada, lojik kontrol altında bulanık modelleme ile gerçek sistemden elde edilen veriler karşılaştırılarak rafineri bölümleri içerisinde en önemli birim olan FCC ünitesinin uygun modeli saptanmaya çalışılmıştır.

2.3. Genel Olarak Rafineri Bölümlerinin Tanıtımı

2.3.1. Akaryakıtlar bölümü

a. Ham petrol damıtma ünitesi

Bu ünite başlıca, ham petrolün ilk ayrışmasını sağlayan ve atmosferik basınçta işlemesi nedeniyle atmosferik damıtma kolonu ismini alan ve bu kolonun dip kalıntı ürününü vakum koşullarında tekrar ayrıştırmaya tabi tutan vakum damıtma kolonundan meydana gelmektedir. Üniteden nafta, gaz yağı, jet yakıtı, motorin ve yakıtyağı gibi bitmiş rafineri ürünleri ve sonraki diğer ünitelerin temel başlangıç yüklemeleri elde edilir.

b. Hafif hidrokarbonları kazanma(LPG) ünitesi

Bu ünite, ham petrolün damıtılması ile oluşan ve normal koşullarda gaz halinde bulunan hidrokarbonlar ayrıştırılır. Üniteden ürün olarak bütan ve propan gazı ve bu gazların karışımından oluşan, basınç altında sıvılaştırılmış olarak tutulan LPG gazı ve rafineri içi tüketilen başlıca metan-etan karışımı yakıt gazı üretilir.

c. Nafta hidrojenleme ünitesi

Bu ünite, ham petrolün damıtılması ile oluşan işlenmemiş ham benzin ve naftanın ilk işlendiği ünite. Katalitik hidrojenleme yöntemi ile naftanın doğal olarak yapısında bulunan kükürt, azot, oksijen, metal-organik bileşikler gibi yabancı maddeler, sonraki işlemlerde kullanılan değerli ve pahalı katalizörlerin etkinliklerini bozmadan giderilir. Böylece oluşacak olan diğer petrol ürünlerinin de kalitelerinin bozulmaları önlenmiş olur.

d. Benzin değ erlendirme  nitesi

Yabancı maddelerden arındırılmış nafta, bu ünitede katalitik işlemeler ile yapısal değişikliklere uğratılarak yüksek kaliteli benzin ürünü oluşturur. Gayet pahalı platin katalizörleri içeren bu ünitenin, en etken ve verimli bir şekilde çalıştırılması başlıca amaçtır.

e. Aromatik hidrokarbonları kazanma  nitesi

Naftanın yapısal değişikliğe uğratılması ile oluşan aromatik hidrokarbonların kazanılmasını amaçlayan bu ünitede seçici bir çözücü kullanılarak ekstraksiyon işlemi uygulanır. Başlıca; benzen, toluen, ksilen ve diğer aromatiklerin elde edilmesini amaçlayan bu ünite, içermiş olduğu BTX işlemi ile rafinerinin k  k bir petrokimya bölümünü oluşturur.

f. Akışkan yataklı katalitik parçalanma (FCC)  nitesi

Bu çalışmanın temelini oluşturan bu ünite üzerinde detaylı olarak durulacaktır. Dünya  apında FCC, modern rafinerinin en önemli bölümlerinden birisidir. Fonksiyonu, ağır hidrokarbon petrol fraksiyonlarını benzin, orta damıtıklar ve hafif olefinler gibi daha faydalı ürünlere dönüştürmektir. İlk ticarileşmesi, yaklaşık altmış yıl önce başlamış olup hala geliştirilmeye devam etmektedir. Beslemelerin ve ürün ihtiyaçlarının değişmesinin yanında teknolojideki ilerlemeler bu gelişmeyi sürdürmeye devam etmektedir. FCC'nin kontrolü, önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. FCC'nin kararlı durum davranışı doğrusal değildir. Bu da, çoklu kararlı duruma ve girdilerde çokluğa sebep olmaktadır. Zeolite katalistlerin geliştirilmesinden önceki yıllarda, temel kontrol problemi, birimin çalışmasını sağlayan istikrardı. Zeolit katalistlerin ortaya çıkması neticesinde, birim kısıtlar ve ağır beslemelerin üretim hızı değişti [12][13]. Tekrar formüle edilen petrol gereksinimleri, ürün kompozisyonunu kontrol etme ihtiyacına eklendi. Proses değişken sayıları, elle kontrol edilen değişkenleri aştığı için ünitenin kontrolü daha kompleks bir problem haline gelmektedir. Baskın değişkenlerin alt kümesini kontrol ederek, kabul edilebilir sınırlar

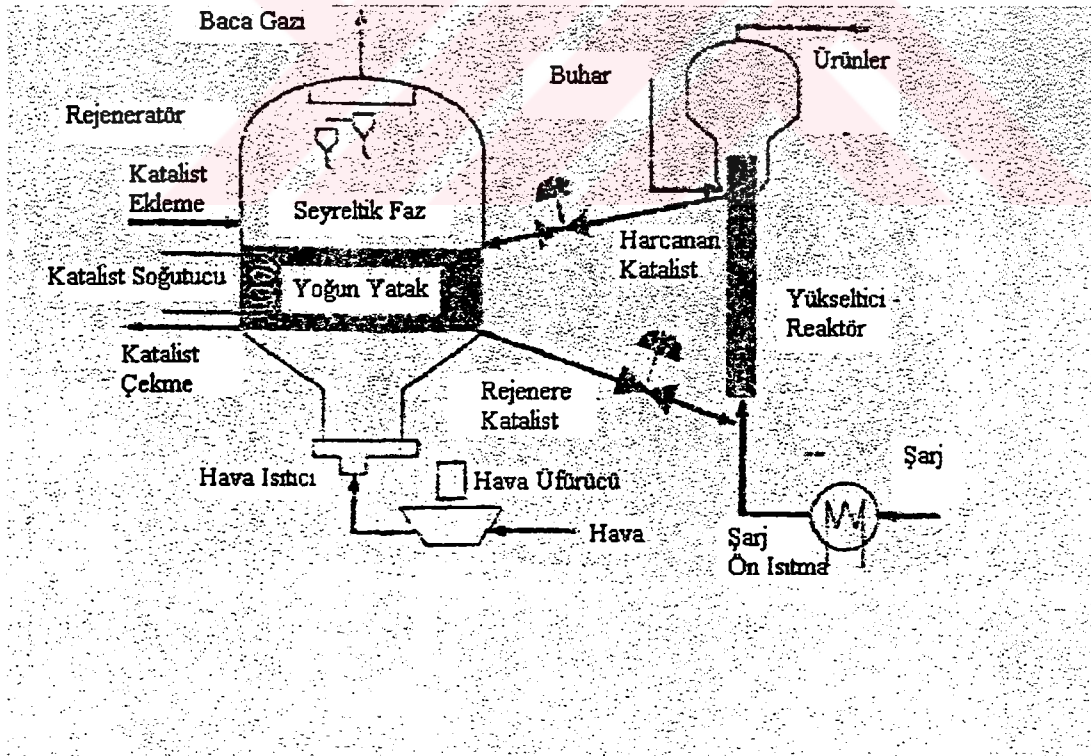
içerisinde bütün değişkenleri tutmayı başarmak bir hüner haline gelmiştir. Herhangi bir kompleks sistemin kontrol ve optimizasyon çalışmasına başlamadan önce, uygun bir modele ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde, FCC ile ilgili modelleme, kontrol ve optimizasyon üzerine yapılmış bir çok çalışma bulunmaktadır [14].

Uzun zincirli, düşük değerli büyük hidrokarbon moleküllerinin gerekli işlemlere uğratılarak bağlarının kırılıp, kısa boyutlu ve yüksek değerli küçük hidrokarbonlara dönüşmesi olayına “parçalanma” (cracking) denir. İşlemde, bağ kırılımı başlıca katalizör yardımıyla sağlandığından, proses, katalitik parçalanma(catalytic cracking) olarak bilinir. Hidrokarbonlar, değişik yapı türlerine sahip olup bünyelerindeki karbon zincirlerinin kırılması, bağ çeşitlerine göre değişik olup genellikle ısı, katalizör ve başka etken faktörleri gerektirir. Bilindiği gibi hidrokarbonlar, tek bağlı karbon atomları zincirlerinden oluşan doğrusal, dallandırılmış (izo) ve halkasal (naften) halde doymuş parafinlerden, birden fazla bağlarla bağlanmış doymamış olefinlerden ve bir veya iki bağlıların halkalaşarak veya tümüyle çift bağlı rezonans yapıya sahip aromatiklerden oluşmaktadırlar. Doymamış hidrokarbonlardan olefinler ve dienler ısısal olarak en kolay bağ kırılımına uğrarlar. Aromatikler, rezonans yapıya sahip olduklarından kırılımları çok zordur. Parafinler ise bağ kırılımına orta seviyede direnç gösterirler.

Büyük yapıdaki hidrokarbonları sadece ısısal olarak bağ kırılımına (thermal cracking) uğratmak, çok büyük ısı kaynakları ve dolayısıyla yüksek sıcaklıklara(>600  C) dayanıklı reaktörler gerektirir. Bu nedenle fazla masraf gerektiren bu tür işlem, bugün petrol işletmeciliğinde uygulanmamaktadır. Bunun yerine, bağ kırılma koşullarını daha da kolaylaştıran ve dolayısıyla işlem masraflarını büyük ölçüde azaltan katalizörler kullanılmaktadır. Kullanılan katalizörler, önceleri sabit yataklı reaktörlerde denenmiştir. Bu tür reaktörler, katalizörlerin kullanılmalarından sonra değiştirilmeleri sırasında büyük sorunlar oluşturduğundan ve ekonomik olmamaları nedeniyle terk edilmiştir. Sonra hareketli katalizör yataklı, yarı akışkan türünde reaktörler denenmiş fakat bunlardan da arzu edilen netice elde edilememiştir. Nihayet katalizörler, çok ince 40-50 mikron uzunluğunda toz haline getirilip, basınçlı hava ve buhar vasıtasıyla yükleme ile beraber akışkan bir ortamda, katalitik işlemler boyunca üniteyi dolaşır

duruma getirilmiştir. Böylece katalizör, sonradan ayrıştırılarak ayrı bir işlemle yeniden kazanılmakta ve tekrar yükleme ile beraber işleme sokulmaktadır. Akışkan yatakta, katalizör yardımı ile ağır hidrokarbonların kırılarak daha değerli hafif ürünler elde edilmesini amaçlayan bu tür ünitenin işleyişi, rafineri işlemlerinin en önemlilerinden birini oluşturmaktadır.

Ünite donatımının en önemli kısmını, katalitik olarak hidrokarbonların işlem gördüğü reaktör ve reaktörün yanında katalizörün kazanılıp, tekrar kullanımını sağlayan rejeneratör oluşturmaktadır. Ayrıca hidrokarbonların parçalanması neticesi oluşan ürünlerin ayrışmasını sağlayan ayrıştırma kolonu (fractionator) mevcuttur. Ünitenin başlıca ürünlerini gaz ürünler, olefinler, benzin, ince yağlar ve kok oluşturur. FCC'yi içine alan iki temel birim vardır. Şekil 2.3'de gösterilmektedir; birisi, sıcak katalistin şarj ile biraraya getirildiği yer olan reaktör, diğeri, harcanan katalistin parçalanma esnasında, biriken kokun yanmasıyla tekrar üretildiği yer olan rejeneratördür. Rejeneratörden gelen katalistin sıcaklığını, yanma ısısı artırır.



Şekil 2.3. Genel FCC Ünitesinin Görünümü

Dönüşte bu sıcak katalist, parçalanma reaksiyonunun ısısının yanında, beslemeyi ısıtma ve buharlaştırma için ihtiyaç duyulan ısıyı sağlar. Ürün buharı; ürünlerin fraksiyonlarına ayrışması için ürünleri damıtma kolonuna gönderir. Tasarımlar arasındaki temel fark reaktörde kontrol edilen katalist çevrimidir.

Aşağıda daha detaylı bir şekilde İzmit TÜPRAŞ Rafinerisi FCC UOP tasarımı tanıtılacaktır.

2.3.2. FCC prosesi

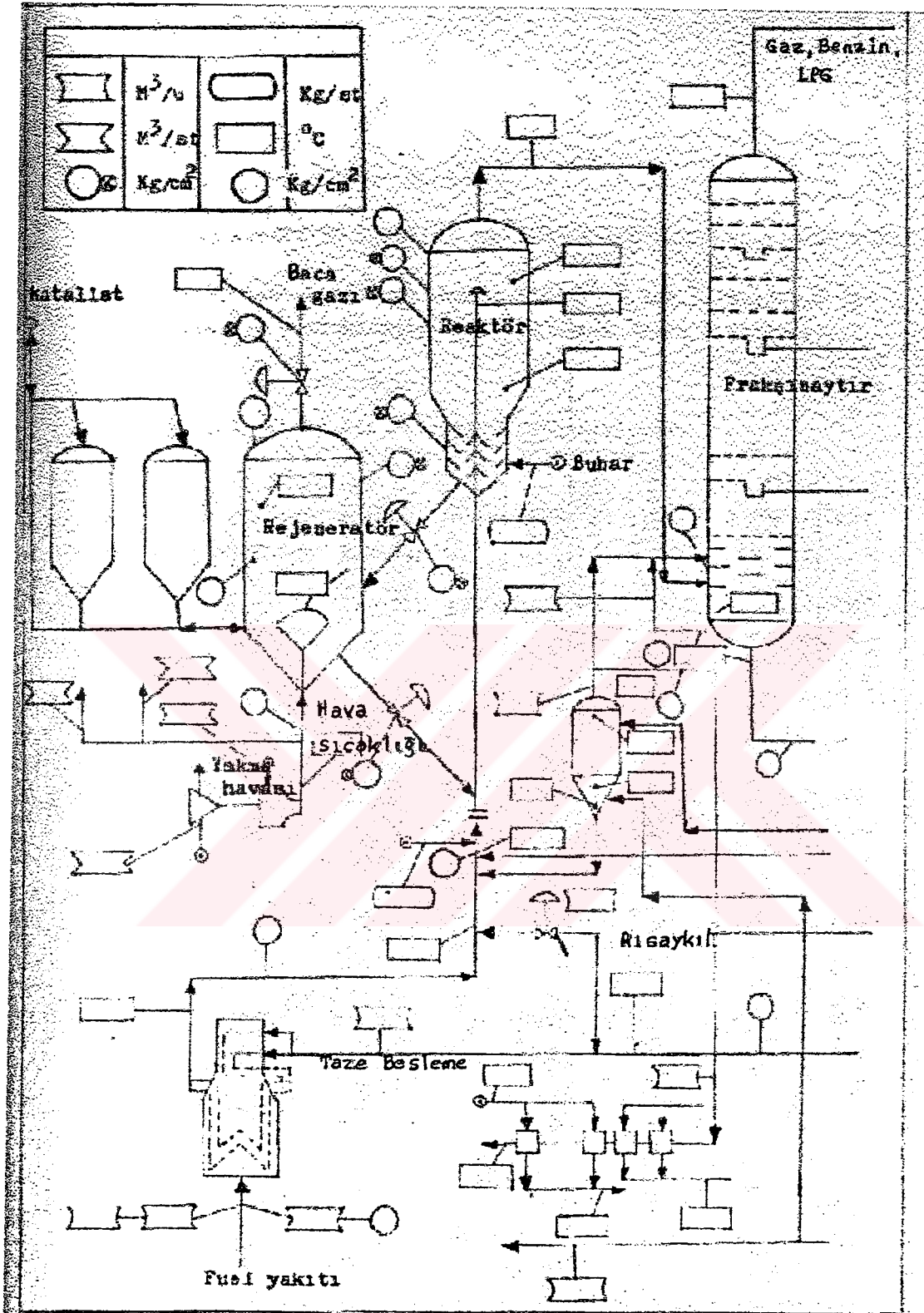
Parçalanma reaksiyonu, yüksek sıcaklıkta ağır hidrokarbonların daha değerli olan ince hidrokarbonlara dönüştürülmesidir. Bu reaksiyon termik veya katalitik olarak yürütülür. Son yıllarda katalitik parçalanma, sanayide termik parçalanmanın yerini almıştır. Zira katalist, parçalanma reaksiyonlarının daha düşük basınç ve sıcaklık altında, daha yüksek oktanlı benzin, daha stabil parçalanma gazları ve daha az istenmeyen ağır mahsuller meydana getirecek şekilde yürümesini sağlar. Çok ufak küre şeklindeki parçalardan meydana gelmiş ve hava ile sıvılarda olduğu gibi boru ve dramların içinde hareket edebilecek akışkanlığı kazanan katalistin kullandığı proses akışkan katalitik parçalanma işlemidir. Akışkan katalist, reaktör kısmından rejenerasyon kısmına doğru devamlı sirküle eder. Böylece, katalist aynı zamanda rejen bölgesinden reaktör bölgesine ısının taşınmasını da sağlamış olur. FCC ünitesinin UOP dizaynı, katalist kısmı ve frakşınaytır kısmı olmak üzere iki kısımdan meydana gelmiştir. Bu durum şekil 2.4'de gösterilmektedir. Katalist kısmı katalist sirkülasyonunun meydana geldiği yer olup yükseltici(rayzer) ve stand-pipe(irtibatlı boru) ile birbirlerine bağlı olan reaktör ve rejeneratörü ihtiva eder. Katalist sirkülasyonunda katalist, rayzerden reaktöre yükselip oradan katalist sıyrıcı ve irtibatlı boru vasıtasıyla rejene gelir ve tekrar yükselticiden reaktöre yükselir. Taze şarj ve rısaykıl akımı birleşerek yükselticinin altından girer. Burada sıcak katalist ile reaktör sıcaklığına kadar ısıtılıp buharlaşır. Hidrokarbon buharları ile katalist karışımından ibaret olan bu karışım rayzerden(yükseltici) yükselerek reaktöre gelir. Ağır hidrokarbonların parçalanması yükseltici içinde sıcak katalist ile temas ettiğinde başlar ve reaktör içinde hidrokarbon buharları ile katalist ayrılana kadar devam eder. Buhar

fazında bulunan parçalanmış mahsuller reaktör buhar hattından çıkarak fraksiyeytira gider. Kok, reaktör bölgesinde katalist üzerinde birikir. Üzerinde kok birikmiş bulunan bu kullanılmış katalist, kokun yakılacağı rejeneratör kısmına iner. Rejeneratörde yanmadan doğan ısı, katalist yatak sıcaklığının yükselmesiyle bu ısının büyük bir kısmı yükselticide şarja transfer olur. Reaktör ve rejeneratörde katalist kaçmasını önlemek için siklonlar vardır. Siklonlardan geçerek reaktörü terk eden hidrokarbon buharları, fraksiyaytırdı fraksiyonlarına ayrılır. Tepe gazları soğutucularda soğutulup, kompresörle sıkıştırılarak sıvılaştırılır. Sıvılaştırılamayan gazlar, absorber'de sürükledikleri benzin ve LPG'si alındıktan sonra fuel gaz sistemine gider. Sıvılaştırılan bölümü, stripperlarda ince gazlar alındıktan sonra benzin ve LPG fraksiyonlarına ayrılır. Elde edilen LPG kükürtlü bileşiklerden arındırılmak üzere LPG ünitelerine, benzinde tatlılaştırma ünitelerine gider.

2.3.2.1. Rayzer (Yükseltici)

Şarj rayzere özel bir injeksiyon nozulundan girer. Şarj, bayonetten yükseltici doğrultusunda girerken, katalist rayzera bir aç ile girer ve böylece katalistin şarj hattını tıkaması önlenir. En fazla erozyon olan yerlerden biri de bayonet çeperlerinde olduğundan üzeri hextil sıva ile sıvanmıştır. Yükseltici(Rayzer), içinden katalist ve hidrokarbon karışımının, reaktöre girmek üzere geçtiği, çapı yükseldikçe artan ve erozyona karşı özel bir madde ile sıvanmış düşey bir borudur.

Toplam şarj, rejeneratörden gelen sıcak katalistin ısıyla reaksiyon sıcaklığına ulaşır. Akışkan haldeki katalist yoğunluğu 0.08 gr/cm^3 tür. Eğer şarj yoğunluğu bu değerin altına düşerse, yükseltici üzerinde bulunan sıyrma buharı bağlantıları ile yapılacak ani ve kesin müdahaleler tıkanmayı giderecektir. Aynı zamanda yükselticideki acil bir tıkanma durumunun giderilmesi için kontrol odasından vana ile yükselticinin dibinden de buhar injekte edilebilir. Parçalanma reaksiyonlarının çoğu rayzerda olur ve istenen ürün dağılımının ayarlanması, reaktör yatağından çok, rayzer içindeki parçalanmayı ayarlamakla olur.



Şekil 2.4 TUPRAŞ FCC UOP Tasarımı

2.3.2.2. Reaktör

Reaktörde, parçalanma reaksiyonu çok az miktarda gerçekleşir. Reaktörün esas amacı;

1. Parçalanma buharlarına son bir yer sağlamaktır. Katalist yatak yüksekliği değiştirilerek temas zamanı değiştirilebilir. Böylece parçalanma şiddeti üzerinde ayrıca bir kontrol imkanı sağlanır.
2. Katalist ve hidrokarbon buharlarının ayrılması için bir yer sağlamak.
3. Katalist tutucular (siklonlar) için bir yer sağlamak.

Hidrokarbon buharları, beraberinde fazla miktarda katalistide sürükler. Büyük parçalar kendi ağırlıklarıyla geri dönerler. Ancak küçük parçacıklar gaz akımıyla kolaylıkla yükselebileceklerinden bunların fraksiyona kaçmasını önlemek için özel separatörler kullanılmaktadır. Bu separatörler helezon tipli ve katalist tutucuda teğetsel bir girişe sahiptir. Giriş kısmından giren gaz, santrifüj kuvvetin etkisiyle parçacıkların yan çeperlere atılarak çarptırılabilmesi için helezonik bir yol izlerler. Bu helezonik yolun merkeze yakın olan kısmında, nisbeten katalist bulundurmeyen gaz, üstteki çıkış kısmından siklonu terkeder. Siklonun konik kısmında toplanan katalist, katalist toplanma haznesinden geçerek siklon dip borusu ile katalist yatağına döner. Siklonun üst kısmında toplanan çok ince katalist tanecikleri gaz çıkışından kaçabilir. Bu yüzden bu tanecikleri siklonun konik kısmına gönderecek bir döndürme levhası vardır. Katalist toplanma haznesinde toplanan tanecikler, dip borusu ile yatağa dönerler. Bu katalistin ters akımla geri dönmesini önlemek için “akıtma vanası” vardır. Akıtma vanası, iniş borusu içinde belli miktarda katalist toplandığında açılıp katalisti yatağa boşaltır.

Sıyırma buharı, katalist parçacıklarının üzerindeki hidrokarbon buharlarını sıyırarak buharları reaktöre döndürür. Katalist sıyırıcısı (stripper) reaktör yükselticisinin üst kısmını oluşturur. Reaktörden aşağı doğru inen katalist, stripperin dip kısmına yakın bir buhar halkasından homojen bir şekilde dağılarak çıkan sıyırıcı buhara ters bir akımla çarparak, çarpma tablolarından akar.

Katalist, üzerinde bir genişleme körüğü bir de sürgülü vana bulunduran katalist iniş borusu ile katalist sıyrıcısından aşağı rejeneratöre akar. Katalistin bu akımını, iniş borusunun içinde dolu olan katalistin statik basıncıyla reaktör basıncı toplamının, rejeneratör basıncından fazla oluşu sağlamaktadır. Sürgülü vanayı, reaktör katalist seviyesi kontrolörü ve reaktör-rejeneratör basınç farkı kontrolörü kumanda eder. LRC-1 normal operasyon sırasında katalist sirkülasyonunu düzenlemede kullanılır. PdRC-2 ise, katalistin rejeneratöre akmasını sağlayan basınç farkının ortadan kalkması durumunda, kullanılmış katalist sürgü vanasının kapanmasını sağlar. Genleşme körüğü, reaktör ve rejeneratör sistemlerindeki genleşmeleri kendi üzerinde toplayarak bertaraf eder.

2.3.2.3. Rejeneratör (Yanma odası)

Kullanılmış katalist, irtibatlı borunun ucundaki deflektöre çarparak rejeneratöre girer. Bu katalistin doğrudan çıkışa gitmesini önler. Üzerinde kok bulunduran katalist hava distribütörü ile homojen bir şekilde yatağa verilen hava ile yakılır. Bu yanma ile ısı açığa çıkar. Rejen katalist yatağından yükselen yanma gazları siklonlardan geçip çift sürgülü bir vananın kontrolünde bacadan atılır. Rejen baca sürgülü vanası reaktör-rejeneratör basınç farkına göre çalışan bir kontrolör ile yönetilir.

Rejeneratörde siklon bacaları katalist yatağına gömülür. Akıtma vanası olmadığından hava üfleyici (blower) havasının siklonlardan ters bir akış meydana getirmesini önlemek için siper levhaları konmuştur. Açma kapamalarda katalistin yüklenmesi sırasında seviye siklon iniş ayaklarına ulaşana kadar blower düşük devirde çalıştırılır. Rejeneratörde yanma için gerekli hava yatay bir santrafuj kompresör vasıtasıyla sağlanır. Hava üfleyici türbünü ortalama 550 lb buhar ile çalışır. Çıkışında katalistin geri gelmesini önlemek için sinyali çıkış basıncından alan kontrol vana vardır (vana konvansiyonel çalışmaktadır). Hava üfleyici, çıkış basıncı operasyon durumuna göre 2.6-3 kg/cm² dir. Hava üfleyiciden çıkan hava rejeneratöre girmeden önce direkt alevli hava ısıtıcısına gider. Bu, fırın açma kapama sırasında sistemi ısıtmak için kullanılır ve fuel gaz kullanılır. Rejenere katalist, bir genişleme körüğü ve sürgülü vana ile teçhiz

edilmiş iniş borusu ile yükselticiye girer. Sürgülü vana basınç ve sıcaklık farkına göre kontrol edilir. Vana ve körüğe hava ve buhar bağlantıları mevcuttur.

2.3.2.4. Frakşınaytır (Ayırıcı) kısmı

Reaktörden gelen hidrokarbon buharları frakşınaytırdaki ürünlere (Dip ürün, HCO (Ağır Çevrim), LCO (Hafif Çevrim), stabil olmamış benzin, Gas) ve geri dönüşüm (ırsaykıl) akımlarına ayrılır. Frakşınaytının, ham petrol damıtma işleminden farkı;

1. Tepeden benzinle beraber çok miktarda gaz çıkar.
2. Şarjı, kızgın buharlar olduğu için bu buharların aşırı ısısının giderilmesi çok önemlidir. Reaktör buharları frakşınaytıra flaş bölgesinden yaklaşık 550°C'de girer ve distilasyona başlamadan önce ortalama 370°C'ye kadar soğutulur. Bu soğutma, kolon dibinden alındıktan sonra, eşanjörlerden geçerek yaklaşık 240°C'de disk ve simit şeklindeki tepsilere dökülen slurry ile reaksiyon buharlarının temas etmesi sağlanır. Bu slurry sirkülasyon sistemi, reaksiyon buharlarını damıtma sıcaklığına kadar soğuttuğu gibi sürüklenen katalistin buharla yükselmesini de önler.

Dip ürünün(slurry) büyük bir kısmı kolondan dip sirkülasyonunu sağlarken bir miktarda slurry settlere gönderilir. Settlerin altından alınan katalistli ağır slurry reaktöre tekrar ırsaykıl olarak verilirken, settlerin üstünden çekilen temizlenmiş şarj, flushing oil sistemine veya tanka gönderilir.

Aşırı kızgın sıcaklığı giderilmiş olan buharlar damıtma veya ayırma bölgesi olarak adlandırılan HCGO bölgesine gelerek HCGO çekiş tepsisinden geçer. Gaz elde etme ünitesindeki debutanizer reboilinden soğuyarak gelen HCGO sirkülasyonu bu çekiş tepsisinin 3 tepsi yukarısından kolona girerek kolon içerisinde aşağı doğru dahili reflüksü meydana getirip, HCGO'in tepsilerde yoğunlaşmasını temin eder. Kolondan çekilen HCGO'in bir kısmı yukarıda bahsedilen sirkülasyon devresini tamamlarken diğer bir kısmı sıcak olarak reaktör yükselticisine şarj olarak verilebilir. Ayrıca az bir miktarda hava soğutucularından geçirilir. Slurry settlerin alt kısmına verilen HCGO

ince katalist taneciklerinin dipte çökmelerini temin eder. Çıkış tepsilerinden sonra hava soğutuculardan geçirilerek depolama tanklarına gönderilir.

Kolondan çekilen LCGO'nin sirkülasyon akımı katalist sıyrıcı kaynatıcısından ve daha sonra soğutuculardan geçerek II. absorbere lean oil (gaz bakımından fakir) adı altında absorbent olarak gönderilir. II.absorberden dönen rich oil (ince gazca zengin), frakşınayır kolonuna geri döner. LCGO ürünü direkt olarak katalist sıyrıcısına giderek sıyrma işlemine tabi tutulur. Sonra HVCO eşanjörü ve hava fanları ile soğutulup depolanacağı tanka gönderilir.

Fırakşınayır, tepeden çıkan gaz ve buharları yoğunlaştırıp, tepe reflux dramında toplar. Dramdan alınan stabil olmayan benzinin bir kısmı frakşınayır 1.tepsisine reflux olarak verilirken, diğer bir kısmı ise reflux dram tepesinden çıkan gaz, konsantrasyon ünitesine gönderilir [15].

g. İzomerleştirme ünitesi

Yüksek oktanlı benzin eldesi için uygulanan alkilleme işlemlerinin başlıca girdi maddesi olan izobütan, bu ünite rafineri ürünü n-bütan gazının, boksit üzerinde süblime olan $AlCl_3$ katalizörü ve HCl buharlarının katalitik etkisi ile izomerleştirilmesinden oluşturulur.

h. Alkilleme ünitesi

Bu ünite üç veya dört karbon atomlu olefinlerin, izobütan ile alkillenmesi neticesi yüksek oktanlı benzin oluşturulur. Alkilleme işlemlerinde başlıca H_2SO_4 ve HF asitleri katalizör olarak kullanılıp, üretilen ürünün katkı maddesiz yüksek oktan değerine sahip olması, modern rafinericilikte oldukça önemlidir.

i. Bekleterek koklaştırma ünitesi

Bu ünite, ham petrolün damıtılması ve yağlama yağı arıtımı sonucunda ortaya çıkan atık kalıntı ürünlerin, ısısal bozunmaya uğratarak gaz ürünler, ince yağ, sıvı ürünler ve ağır ürün kok oluşturmaları sağlanır.

j. Sürekli asfalt işleme ünitesi

Bu ünite, olduğu gibi kullanılmaları mümkün olmayan ağır kalıntı ürünlerin sürekli hava ile işlenerek asfalt oluşturmaları sağlanır. Bu ürünler yol yapımında, izolasyon, kaplama maddeleri, kablo yapımı gibi çeşitli sahalarda kullanılır.

2.3.3. Yağlama yağları bölümü

a. Furfural ekstraksiyon ünitesi

Yağlama yağları bünyesinde bulunan ve onların kalitelerini bozan çok halkalı asfaltik maddelerin giderilmesi bu ünite, başarılı. Çözücü olarak kullanılan furfural, asfaltik maddeler için seçici olup ekstraksiyon işlemi ile parafinik yapıdaki yağlar ve vakslar, asfaltik maddelerden arıtılmış olarak elde edilir.

b. Propanla asfalt giderme ünitesi

Basınç altında sıvı propan ile ekstraksiyon işlemi içeren bu ünite, son damıtma kalıntı ürününden asfaltik yapıdaki maddeler giderilerek, parafinik yapıda yağlama yağı ve vaks karışımı parlak ürün elde edilir.

c. Yağlama yağı hidrojenleme ünitesi

Asfaltik maddelerden arıtılmış olan yağlama yağları ve vakslar bu ünite, katalitik olarak hidrojenlenir ve neticede daha iyi renk sürekliliği ve homojenlik kazanımları,

karbon kalıntısı giderilmesi ve sonradan yağlama yağlarına ilave edilecek katkı maddelerinin daha etken olmaları sağlanır.

d. M.E.K. (Metil-Etil-Keton) ekstraksiyon ünitesi

Asfaltik maddelerden arıtılmış ve hidrojenlenerek daha iyi özellikler kazanmış olan yağlama yağları ve vakslar karışımının ayrıştırılarak ayrı ayrı ürün olarak kazanılması bu üniteye gerçekleştirilir. Bu amaçla metil-etil-keton ve toluen ikilisi çözücü olarak kullanılır ve filtreleme ile oluşturulan ayrışma işlemi verimliliğinin artması için sıfır altı düşük sıcaklıklar uygulanır.

Rafinerinin çalışmasını bütünleyen diğer işlemler ise şunlardır:

- a. Rıhtım ve iskele
- b. Boru hatları ve pompa merkezi
- c. Bakım ve ambarlar
- d. Teknik hizmetler
- e. Kalite kontrol ve laboratuvarlar
- f. Ticaret ve pazarlama
- g. Emniyet ve itfaiye
- h. Sosyal hizmetler [16]

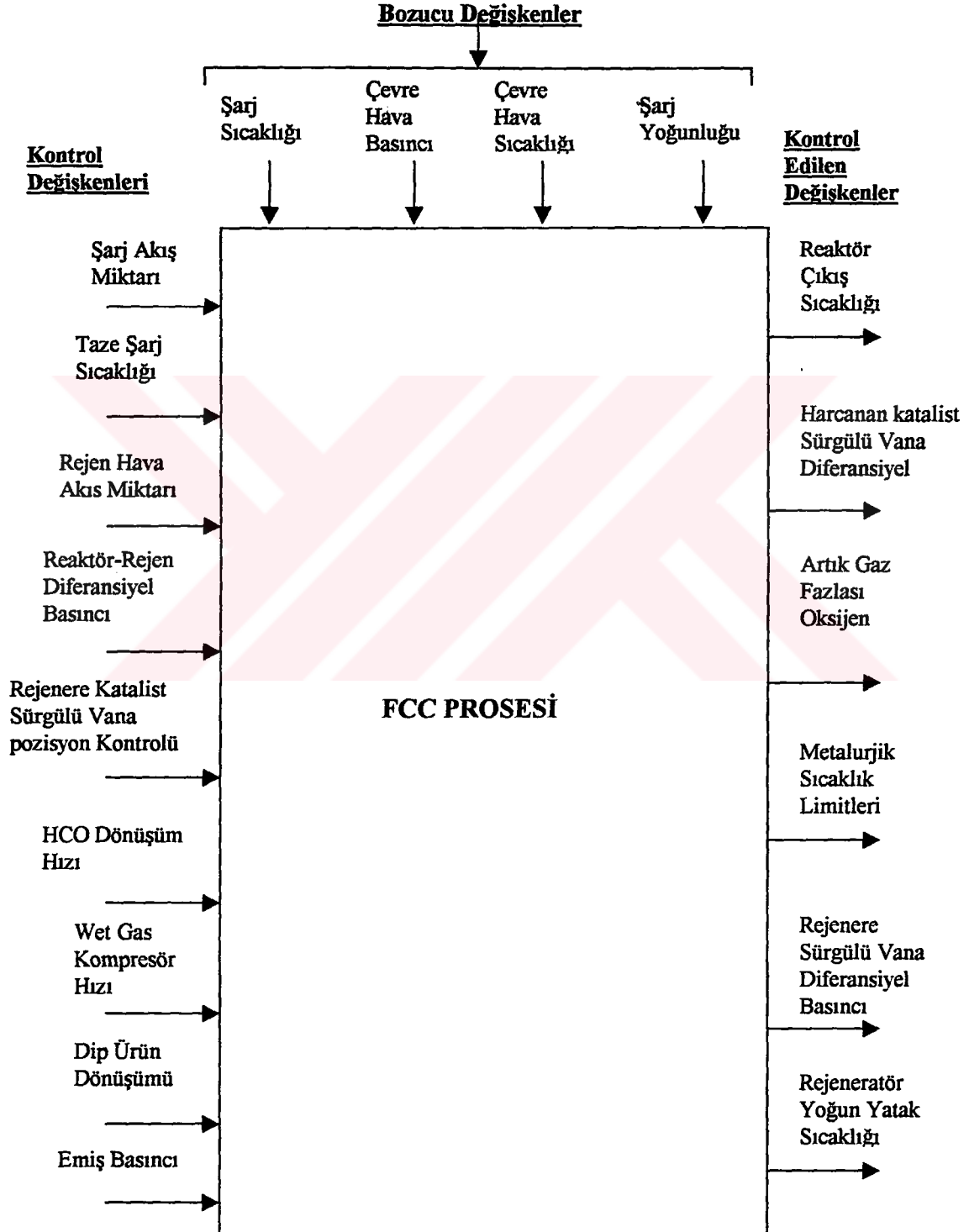
İzmit TÜPRAŞ Rafinerisinin Proses akış şeması Ek A'da verilmektedir. Buna göre; Rafinerinin, ham petrol damıtma ünitesi, hafif hidrokarbonları kazanma ünitesi, nafta hidrojenleme ünitesi, benzin değerlendirme ünitesi, FCC ünitesi, izomerizasyon ünitesi, asfalt ünitesi, kükürt giderme ünitesi bulunmaktadır. Ayrıca 1999 yılında hizmete giren hydrocracker ünitesi de sayılabilir.

2.4. Genel Proses Değişkenleri

Akışkan yataklı hidrokarbon parçalanma ünitesinin işlemlerini etkileyen bir çok faktör vardır. Bunlardan en genel ve bağımsız olan faktörleri şekil 2.5'deki gibi sıralayabiliriz

[17]. Reaktör sıcaklığı, rejeneratör katalizör boşaltma vanası ile kontrol edilir. Bu nedenle reaktör sıcaklığına göre katalizör dolaşım hızı ve katalizör/yükleme oranı ayarlanır. Aynı zamanda yükleme sıcaklığının, reaktör sıcaklığını etkilediği de bir gerçektir.

FCC Ünitesinde kontrol edilen, manipule edilen ve bozucu değişkenler şunlardır.



Şekil 2.5 Genel FCC Proses Değişkenleri

Reaktör basıncı, genellikle ünite büyüklüğüne, ayrışma kolonunun işleyişine ve mevcut kompresör sisteminin kapasitesine bağlıdır. Katalizör kalitesi, devamlı olarak uygun oranda taze katalizör katılımı ve kullanılmış eski katalizörün çekimi ile ayarlanır. Katalizör dolaşım hızına bağlı olan rejeneratördeki katalizör seviyesi, ayırma siklonlarının işleyişini etkiler. Rejeneratör sıcaklığı, yükleme oranı ve sıcaklığı sabit tutulduğunda katalizör taneleri üzerindeki kok birikintisini en iyi belirten göstergedir. Katalizör tanelerinde kok birikintisinin az olduğu durumlarda, rejeneratörde gereğinden fazla hava bulunacağından yanma tam olur. Baca gazı çıkış hattındaki vana vasıtasıyla rejeneratör basıncı ayarlanır.

Katalitik hidrokarbon parçalama işleminin başlıca amacı, düşük değerli büyük yapılı hidrokarbonların, daha değerli hidrokarbonlara dönüşümleri olup işlemin verimi, en iyi dönüşüm derecesini belirler. Dönüşüm, birim hacimdeki yüklemenin ince yağ ve daha hafif ürünleri verme yüzdesine denir. Eğer yüklemeye inceltici olarak bahsedilen ürünlerden katılma var ise, bu durumda verim düzeltilmesi yapılması gerekir. TÜPRAŞ FCC Ünitesinde kullanılan Dönüşüm;

$$\text{Dönüşüm} = \frac{\text{Şarj Miktarı} - (\text{Hafif Çevrim(Light Cycle)} + \text{Clarified Oil})}{\text{Şarj Miktarı}} * 100$$

Olarak ifade edilmektedir.

Rafineride kullanılan Katalitik işlem verimi ise;

% benzin oluşumu

$$\text{Verim} = \frac{\text{benzin oluşumu}}{\text{Dönüşüm}} * 100$$

%Dönüşüm

şeklinde ifade edilip bu değer, çok ender olarak %80 ni geçer.

2.5 Bir Rafinerideki Temel Faaliyetler

Bir rafinerinin bir çok yönüyle faaliyeti bulunmaktadır. Şekil 2.6'da bu durum gösterilmektedir [18].

FCCU, ağır yağları düşük maliyetle hafif ve daha değerli ürünlere dönüştürdüğünden dolayı rafineride çok önemli bir yer tutmaktadır. Temel olarak, bu birimde büyük miktarlarda C3, C4 ve kalorifer yakıtı da üretilmektedir. FCCU, yemek pişirme ve ev ısınmasında kullanılan LPG'nin ve petrokimyasal tesislere şarj olarak giren C3 ve C4'ün bir kaynağıdır. FCCU'ya rakip olarak düşünülen tek birim "Hydrocracker" birimidir. Katalitik hydrocracking teknolojisi yıllardır olmasına rağmen, bir çok olay ticarileşmesini geciktirdi. Bununla beraber, 1936'da ilk katalitik parçalanma biriminin çalışması ve sonrasında 1942'de FCC'nin geliştirilmesi ve ticarileşmesiyle, Hydrocracker'ın ticarileşmesi gecikmiş oldu.

1960'ların başında Hydrocracking ticarileştirildi. Gelişmesi, Zeolite akışkan parçalanma katalistlerinin tanınmasıyla yavaşladı. Bir Hydrocracker'ın yatırım maliyeti, katalitik krackerın iki katı kadar olabilmektedir. Bu yüksek basınçlı prosesin işlem maliyeti, yatırım maliyetinin iki katı olmasından dolayı, hydrocracker'ın büyümesi yavaşladı. Kesin olan bir durum var ki; FCC hala Hdrocracker'dan daha hızlı bir oranda artmaktadır [19]. Çalışmanın konusunu teşkil etmediği için Hydrocracking üzerinde durulmayacaktır.

2.7. Rafineri Prosesi Olarak FCC'nin Gelişimi

İlk ticari FCCU, ikinci dünya savaşı ile birlikte A.B.D hükümeti'nin yüksek oktanlı benzin talebini karşılamak için ihtiyaç duyulan alkali şarjlarının teknolojik gelişimiyle başlamıştır. Savaş sonrası, bu değişimin devamı, "Orijinal Katalist Araştırma Birliği Konsorsiyumu" üyelerinin ticari lisans faaliyetleri sonucu hız kazanmıştır. Kısaca, kronolojik olarak FCC'nin yaklaşık altmış yıllık gelişimi detaylı bir şekilde ele alınmaktadır [20].

2.8. FCC Modelleme Tarihi: Kısa Bir Literatür Taraması

FCC prosesine ait bir çok makale literatürde, matematiksel modelleme ve simülasyon, durağanlık, optimizasyon ve optimal kontrolün çeşitli yönlerini ele almaktadır. Bir

sistemin, dinamiği, kontrolü ve optimizasyonunun araştırılması başlangıçta bir modeli gerektirmekte ve FCC makalelerinin çoğunun konusu olmaktadır. Bazı makaleler, bütünleşik reaktör ve rejenaratör modelini içermekte: Luyben ve Lamb [21], Kurihara [22], Iscol [23], Lee ve Kugelman [24], Seko v.d. [25], Lee ve Groves [26], McGreavy ve Isles-Smith [27], Bozicevic ve Lukec [28], Zhao ve Lu [29], Felipe ve Richard [30], Arandes ve de Lasa [31], Elnashaie ve Elshinine [32][33][34], McFarlane v.d. [35], Zheng [36]. Bazıları sadece rejenaratör modellerine sahip olmakta; Ford v.d. [37], Errazu v.d [38], de Lasa v.d [39], Guigon ve Large [40], Krishna ve Parkin [41], Lee ve Chen [42]. Diğerleri reaktör veya parçalanma modeline sahip bulunmaktadır; Weekman ve Nace [43], Paraskos v.d [44], Jacob v.d [45], Shah v.d [46], Takatsuka v.d [47], Lee v.d [48], Larocca v.d [49], Shnaider ve shnaider [50], Farag v.d [51].

2.8.1. FCC'ye yönelik kontrol ve optimizasyon çalışmaları

FCC ile ilgili bir çok kontrol çalışmaları yapılmış ve halen yapılmaktadır [52]: Katalitik parçalanma için model çalışmalarının ilki Voorhies'in [53] 1945 yılında katalistler üzerinde kok oluşum hızını veren formülle başlar. " Hidrokarbon şarjı durduktan sonra katalist üzerinde kalan karbonlu madde" şeklinde tanımlanan kok oluşumu ürün kaybı ve yanmasıyla ısı kaynağı olarak da açıklanabilir. Yine kok oluşumuyla aromatik yapının büyüklüğü ve karmaşıklığı artar ve hidrokarbon parçalanması azalır.

FCC için yapılan optimizasyon çalışmalarının ilki Schrage [54] ile başlar. Kinetik hız denklemlerini içermeyen modelinde, en dik çıkış yöntemiyle birlikte doğrusal programlama kullanarak bağımsız değişkenlerin tepki yüzeylerini hesaplamıştır. Savas [55] ve aynı çalışmayı aktaran Nicholson [56] doğrusal programlama, doğrusal olmayan modelin yerel doğrusallığı, arama ve/veya gradyant yöntemleriyle çözümler verecek dinamik bir model kurmuşlar ve kararlı durumda anlamlı çözümler elde edileceğini ileri sürmüşlerdir. Kurihara, Gould ve Evans [57] kendilerinden önce yapılan optimizasyon ve kontrol çalışmalarını özetleyerek sistemin optimal kontrolünü sağlamışlardır. Lee [58] yüklenecek katalist oranlarının saptanması için çok aşamalı karar problemi formüle edip, bunu dinamik programlama yardımı ile çözmüştür.

Wollaston, Haflin ve D'souza [59] tepki yüzeyi yöntemiyle basit bir çözüm önermiştir. Becker, Horne ve Decaluwe [60] CATOPT ve MODOPT adını verdikleri optimizasyon programı ile Nelder ve Mead'in kompleks yönteminin düzeltilmiş biçimini kullanmışlardır. Fiero [61] ardışık simpleks yöntemi ile maksimum karı verecek iki bağımsız değişkenin (reaktör sıcaklığı ve aktivitesi) değerini saptamıştır.

Kane v.d [62] ve Gandsey [63], bilgisayarlar ve operatörlerin beraber çalışmasıyla katalitik krakırların geliştirildiği optimize bilgisayar kontrol sistemlerini geliştirdiler. Optimize sistemler, statik optimizasyonları gözönüne almasına rağmen, çoğu kontrol sistemlerinin dinamik yönleri hala operatörlerin becerisini gerektirmektedir. Pohlenz [64] reaktör sıcaklığının katalist hızı ile kontrol edildiği ve oksijen seviyesinin hava hızıyla kontrol edildiği bir kontrol şemasını açıkladı. Hicks v.d. [65], bir kaç kontrol şemasının analog bilgisayar benzetim çalışmasını raporladı.

Kontrol modelleri ile açık ve/veya kapalı çevrimli kontrol yöntemleri amaçlanmaktadır. Bu açıdan FCC'nin dinamik modelleri incelendiğinde yukarıdakilere ek olarak şu çalışmalar örnek olarak verilebilir:

- a. Luyben ve Lamb'ın ileri beslemeli kontrolü [21].
- b. Kurihara'nın konvansiyonel(klasik) optimal geri beslemeli kontrolü [22].
- c. Hicks, worrel ve Dorney'in geri ve ileri beslemeli, uyarlamalı ve çok değişkenli kontrol ilkelerinden yararlanarak geliştirdikleri analog-dijital kompütür kontrolü [67].
- d. Gould, Evans ve Kurihara, Kurihara'nın yaptığı çalışmayı hipotetik bir FCC için yinelemişlerdir [57].
- e. Iscol, durağan ve durağan olmayan FCC değişkenlerinin iki denge noktaları olduğunu gösteren durağanlık analizleri yapmıştır [68].
- f. Smith ve Schuldt'un karesel optimal kontrole ilişkin incelemesi [69].

g. Lee ve Kugelman'ın açık çevrimli bir FCC'nin kararlı durumdaki çalışma noktalarının sayısını ve yerel stabilitesini açıklayan çalışması [70].

h. Eng, Cadman ve Kugelman'ın tek değişkenli doğrusal olmayan dinamik ve kararlı ileri beslemeli kontrolü [71].

ı. Lee ve Weekman'ın daha önceki çalışmalarını özetleyerek önerdiği kademeli kontrolü [72].

j. Davis, Griffin ve Webb'in ileri beslemeli kontrolü [73].

k. Webb'in SURVEILLANCE ve OPTCON adını verdiği çok değişkenli kontrolü sağlayan dinamik optimizasyona ilişkin incelemesi [73].

l. Ewell ve Gadmer'in madde ve ısı dengeleri verilen bir FCC'ye ilişkin besleme parametresinin değişimine göre değişkenlerin alacağı değerleri saptayan bilgisayar kontrolüne dönük çalışmalar [74].

m. Arkun ve Stephanopoulos'un optimizasyon kontrolü [75].

n. Bromley ve Ward'ın yapısal analize dayanan çoklu çevrimli ve ileri beslemeli kontrolü [76].

o. Abou-Jeyab ve Gupta, basitleştirilmiş bir model öngörücü kontrolör kullanarak yaptıkları FCC'nin kontrolü [77].

p. Lopez-Isunza, v.d. doğrudan nonlinear bir model kullanarak endüstriyel bir FCC biriminin kontrol edilebilirliğinin ön analizleri için teorik bir metod tanıtmaktadır [78].

r. Alvarez-Ramirez v.d, bir FCC biriminde reaktör-rejeneratör sisteminin sıcaklığını kontrol etmek için adaptive bir modele dayalı strateji geliştirdi [79].

Bazısı ileri kontrol, proses modelleme ve optimizasyon bilgisinin eksikliğinden dolayı çöktü. Sistemin çöküşünün sebebi;

a. İleri Kontrol Sistem Tasarımının Tam Olmaması: FCCU değişkenler arasında karşılıklı ilişkiye dayalı ve çoklu kısıtlara sahip bir procestir. Prosesin kısıdan uzun zamana değişen dinamik tepkilerinin geniş aralıklarda olmasından dolayı, geleneksel PID, ileri beslemeli veya kademeli kontrol algoritmaları, tatmin edici sonuçları sağlayamamaktadır.

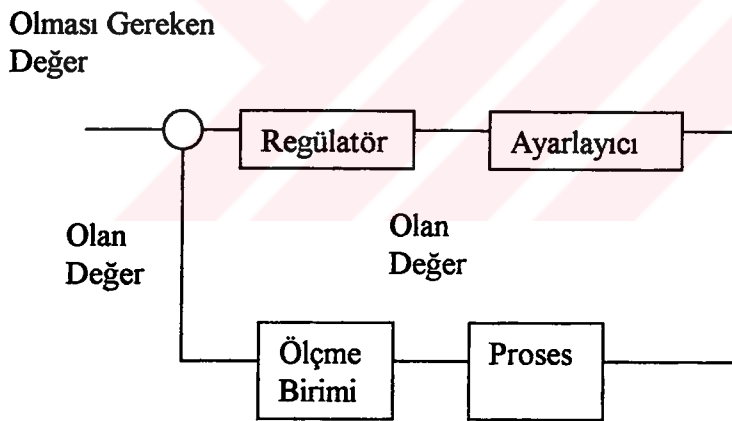
b. Proses Modelleme ve Optimizasyonun Tam Olmaması: FCCU prosesleri, doğrusal değildir ve karşılıklı ilişkilidir. Bazı proses modelleri, ya optimizasyon için çok karmaşık ya da prosesin temsilinde çok basittir. Bazı sistemler, dar bir proses çalışma aralığını temsil eden doğrusal modelleri kullanarak prosesi optimize ediyor. Şarj(besleme) özellikleri ve atmosfer şartlarındaki dalgalanmalar sık sık doğrusal modeli zayıflatmaktadır.

c. Besleme ve Katalist Özelliklerinin Uygun Olmaması: Bazı proses modelleri, sabit besleme ve katalist özelliklerini kabul ederler. Bazısı, özellikleri karakterize etmek için pahalı ve zaman tüketici laboratuvar analizlerine ihtiyaç duyarlar. Pek çok sistemin başarısız optimizasyonu, kontrol edilemeyen değişken varyasyonlarını gözardı etmesi ve geçmiş bir tarihteki optimizasyondan gelen sonuçları doğrudan gelecek için uyguluyor olmasıdır. Bu durum, tamamıyla yanlıştır. Başarılı bir on-line optimizasyon, geniş laboratuvar analizlerinden önce, ölçülen veriye dayalı şarj özellikleri ve katalisti karakterize etmekten geçmektedir [66]. Bu yüzden zeki kontrole ihtiyaç duyulmaktadır.

BÖLÜM 3. KONTROL

3.1. Kontrol Tanımı

Kontrol, kapalı bir kontrol döngüsü içinde sürekli olarak ayarlanması gereken büyüklükleri ölçmek sonrada bunları olması gereken büyüklüklerle karşılaştırma işlemidir. Ölçülen büyüklükle olması gereken büyüklüklerin birbirlerine uymamaları durumunda kontrolör devreye girer ve sürece etkir. Böylece bir kontrol döngüsünün de hangi elemanlardan oluştuğu kendiliğinden ortaya çıkar. Bunlar; ölçme sistemi, düzenleyici, işlemin kendisi ve kontrolörün işleme etkimesini sağlayan ayarlayıcılardır.



Şekil 3.1 Düzenlemenin Prensip Şeması

Bir kontrol döngüsünde özellikle iki husus dikkat çekicidir.

1. Sistem geri beslemeli bir sistemdir, çünkü kontrolör kumanda edilen sisteme etkir.
2. Sistem belirlenmiş bir sistem durumuna ulaşmayı amaçlar. Genelde bir kontrolörün yapması gereken, ölçülen büyüklüklerle istenen büyüklükler arasındaki farkı sıfıra indirmektir.

Önemli diğer bir noktada kontrolörün sistemi olması gereken duruma getirmeye çalışırken gerçek yani olan durumları kullanmasıdır. Bu geribeslemeli bir sistemin en belirgin farkıdır. Bu da işlemin tüm özelliklerinin tanınmış olmasını gerekli kılar. Bunun tamamıyla gerçekleşmesi zordur. Pratikte bütün işlemler doğrusallıktan az ya da çok sapmalar gösterdikleri için çalışma noktasında doğrusallık kabul edilme yoluna gidilir. Buna “çalışma noktasında doğrusallaştırma” denir [85].

3.1.1. Kontrolün tarihçesi

Otomatik kontrol tarihi 4 temel döneme ayrılmaktadır [86]:

- İlk kontrol- 1900'lere kadar olan kontrol
- Klasik öncesi peryot- 1900-1940
- Klasik peryot-1935-1960
- Modern kontrol-1955 sonrası

Geribesleme kontrolünün ilk tanımlanmış kullanımı 1775'lerde Watt'ın buhar motoruna yönelik yaptığı çalışmalardır. İlk uygulamalar ve teorik araştırmaların çoğunluğu kontrolle ilgiliydi ve bunlar genellikle endüstriyel uygulamalar içindeydi. Otomatik kontrolün geniş kullanımı 1920'lerin sonunda görünmeye başladı ve otomatik kontrolün ilk genel teorik çalışması 1932 de yayımlandı. Neticesinde, endüstriyel kullanımdaki büyüme kararlı ve güçlü hale geldi. Çoğu yeni teknolojilerde, otomasyon tekniklerinin endüstriyel kullanımı, son 50 yıl içinde gelişmiş olduğu için, proses kontrol donanımına uygulandı. Bu arada, önemli bir gelişme olarak proses kontrole sayısal bilgisayar yeteneklerinin uygulamasıydı. Böylece, proses otomasyonu teknolojide önemli bir mesafe kat etti. Günümüzde çoğu endüstriler ekipman ve kontrol için tesis tasarım harcamalarının %10'undan fazlasını tahsis etmektedirler. Bu durum geçen 30 yıl içinde ikiye katlayıp düşme işareti göstermemektedir. Otomatik kontrolün temel teorisi hızlı bir şekilde gelişip, firma ve kuruluşları bu anlayışla

oluşturdu. Çoğu uygulamacılar, otomatik proses kontrolün iyi tanımlı matematiksel teorilerinin uygulamasında zorlukla karşılaşmaktadırlar [87].

3.1.2. Proses kontrol

Bir proses değişkeninin kararlı kontrolü, PID(Oransal, İntegral, Türevsel aksiyonu) kontrol ile başarılı sonuçlar elde etmektedir. Bu kontrol algoritması, kontrol değişkenini manipüle etmek için çıktı sinyalinin hesaplayarak geri besleme hatasını kullanır. Bu hata, ölçülen ve ayarlanan nokta arasındaki farktır. Bir prosesin bozulma veya ayar noktası, değişim sonrası, hatayı sıfıra çekmek için değişkenin çıktı sinyalinin değiştirir. Bilgisayarlarla, PID'nin biraz farklı olan şekli kullanılmaktadır. Kontrol mühendislerinin başarısından dolayı, üretimde çalışan insanlar, mekanik ölçüme fazla ihtiyaç duymamaktadırlar.

Kontrol sisteminde çıktı; sıcaklık, basınç, akış hızı, sıvı düzeyi veya pH gibi değişken(ler) ise bu tip bir sistem proses kontrol sistemi adını alır. Basit veya karmaşık bir sistemin matematiksel analizi için denklemler kümesi(cebirsal ve/veya diferansiyel) kullanılır. İyi anlaşılmayan bir proses için küçük değişimleri içeren ve teorik yaklaşımlarla elde edilen bir model kullanılır. Sistemin belirli bozucuya sahip girdisi ve bunun tepkisini belirleyerek dinamik testi yapılır. Bu bir analiz ve kontrol işlemidir. Kontrol yöntemleri, servo mekanizma, düzenleyici işlem, uç kontrol, kademeli kontrol, uyabilen kontrol, optimal kontrol olarak sınıflandırılabilir. Kontrol algoritmaları (geri besleme için) aşağıdaki kontrol faaliyetlerini içerir:

1. Oransal Kontrol(P): Kontrol eden aletin çıktı değişkeninin proses değişkeni sinyalindeki değişimlere oranıdır.
2. İntegral Kontrol(I): Oransal kontrole göre proses değişkeni ve istenen kontrol noktası arasında herhangi bir istenmeyen noktayı gidermek için kontrol edici çıktıyı tekrar istenen noktayı getirmektedir.

3. Türevsel Kontrol(D): Bir proses değişkeni kendi değişme hızını duyarlı yapmakla istenen noktaya ulaşacağı zamanı önceden görüp önlemesidir

Kural olarak, bir otomatik kontrol sistemi yukarıdaki kontrol algoritmalarının veya metodlarının çeşitli kombinasyonlarını kullanır [53].

3.1.3. Klasik kontrol taslağı

Kontrolörden istenen ne kadar fazla ise yapılacak olan masrafta o oranda fazla olacaktır. Aşağıdaki listede artan karmaşıklıkta modeller için ihtiyaç duyulan farklı işlemler sıralanmıştır.

1. Tek giriş-çıkışlı, toplu parametrelili, yaklaşık doğrusal, zamanla değişmeyen işlevler. Zamanla değişmeyen işlevlerde işlev, olayın akış zamanı boyunca aynıdır. Toplu parametrelili sistem demek, sistem büyüklüklerinin sadece zamana bağlı olduğu sistemlerdir. Düşük frekanslarda elektrik devreleri ve mekanik sistemler toplu parametrelili sistemlerdir.
2. Çok giriş-çıkışlı, toplu parametrelili, zamanla değişmeyen, yaklaşık doğrusal işlevler.
3. Toplu parametrelili, zamanla değişmeyen, doğrusal olmayan işlevler.
4. Toplu parametrelili, zamanla değişen, doğrusal olmayan işlevler.
5. Dağınık parametrelili zamanla değişen, doğrusal olmayan işlevler.

5 numaralı sistemler kimya, petrokimya ve çelik fabrikalarında yaygın olan ve modellenmesi çok zor olan sistemlerdir. 4 numaralı sistemler sıkça kullanılır. Bir matematiksel modelin formüle edilmesindeki zorluğun yanında diğer bir zorlukta, model katsayılarının saptanmasıdır. Yani, modeli gerçeğe uyarlama zorluğudur. Bu katsayıları elde edebilmek için test sinyalleri ile çok sayıda ölçüm yapılmalıdır. Bu da

hem pahalı hem de zaman alan bir iştir. Bunlar yapılsa bile yine de model katsayılarını tam olarak elde etmek mümkün olmayabilir. Çünkü aşılması gereken bir de matematiksel zorluklar vardır. Bu zorluklar yüzünden yukarıda bahsettiğimiz üretim alanlarında (kimya, petrokimya,v.b) bu tür işlemler hala elle yapılmaktadır. Başka alanlarda karşımıza genellikle PID hatta bazende sadece P kontrolörler çıkar. Pratikte karşımıza P, PI veya PID kontrolörlerinin çıkmasının bazı nedenleri şunlardır.:

1. Çok kritik olmayan işlemler dışındaki çoğu işlemlerde PI veya PID kontrolörler tatmin edici sonuçlar vermektedirler. Bu tür kontrolörler belli ayar kurallarına sahip olduklarından belli proses sınıfları için modelleme gerektirmeden kullanılabilirler.

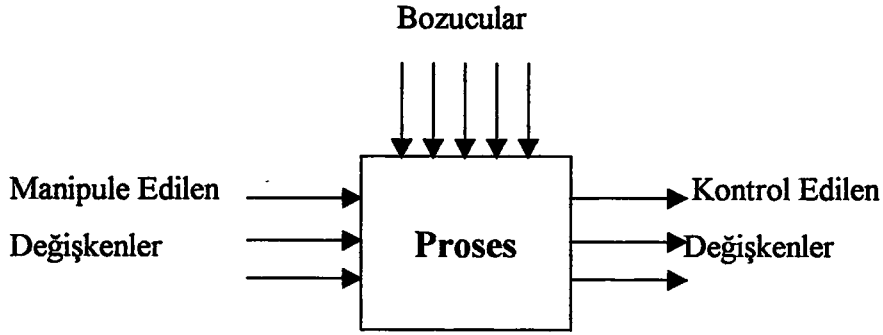
2. Durum düzenleyicileri gibi gelişmiş kontrolörler uzun süren yinelemeli yöntemler sonucunda kurulabilmektedir. Bu tür düzenleyicilerin kullanıcı tarafından da anlaşılması zordur. Herhangi bir arıza çıkması durumunda kullanıcı tarafından bu arızanın giderilmesi zahmetlidir.

Özet olarak bir düzenleyicinin tasarımı zahmetli ve pahalı bir iştir. Bu yüzden bir çok proses, bilinen kontrol teknikleri ile gerçekleştirilir. Ayrıca bu tür kontrolörler kullanıcı için çok daha tanıdık [85].

3.1.4. Değişkenler

Otomatik proses kontrolü anlamada, bir prosesle ilgili 3 önemli terimi kavramak önemlidir. Bunlar Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Kontrol edilen değişkenler, pratisyenin istenen bir seviyede muhafaza etmek veya kontrol etmek istediği şartlardır. Bu kontrol edilen değişkenler; akış hızları, seviyeler, basınçlar, sıcaklıklar, kompozisyonlar, v.b gibi olabilir. Kontrol değişkenlerinin herbiri için, pratisyen istenen bir değer, ayar noktası veya referans girdi oluşturur. Herbir kontrol edilen değişken için manipule edilen değişken vardır. Proses kontrolde bu genellikle akan bir sıvıdır ve sıvının akış hızı bir kontrol vanasının kullanımı ile manipule edilir. Bozucular, prosese girerek kontrol değişkenlerini istenen veya ayar noktası şartlarından uzak tutma

eğilimindedirler. Otomatik kontrol sistemi manipule edilen değişkenleri ayarlamaya gerek duymaktadır. Böylece, kontrol edilen değişkenin ayar noktası değeri bozucuların etkilerine rağmen korunur. Bunun yanında, ayar noktası değiştirilebilir ve böylece manipule edilen değişkenler yeni istenen değere kontrol edilen değişkeni ayarlamak için değiştirilmeye ihtiyaç duyacaktır.



Şekil 3.2 Değişkenler

Buna bağlı olarak, tipik elle kontrol, geri beslemeli kontrol, elle ileri beslemeli kontrol, otomatik ileri beslemeli kontrol endüstride kullanılan bazı kontrol tipleridir [88].

3.2. Çok Değişkenli Kontrol Sistemleri

Proses kontrol, manipule edilen değişkenin tek ve çok oluşuna göre, tek değişkenli ve çok değişkenli olmak üzere ikiye ayrılır. Tek değişkenli kontrolde, sıcaklık akışı veya herhangi bir değişken, istenen çıktıyı elde etmek için ayarlanır. Fakat bir mamulü üretme veya rafine etmenin proses kabiliyeti tek kontrol çevrimi ile yapılamaz. Bir ünite operasyonu en az iki değişken(ürün miktarı ve kalitesi) üzerinde kontrol yapmayı gerektirir.

Böyle bir çevrimi kullanabilmesi için, prosesin gereksiniminin bir değerlendirilmesi yapılmalıdır. Bunun için değişkenler arasındaki ilişkilerin matematiksel ifadesinin bilinmesi gerekir. Ayrıca kontrol edilecek değişkenin iyi seçilmesi, manipule edilecek kadar serbestlik derecesinin olması, proses değişkenlerinin doğru ölçümlerinin

mümkün olmadığı durumlarda tümünden gelim yoluyla ölçümdeki hataların kaynakları incelenebilir. Her kontrol sistemi öncelikle durağan olmak zorundadır [89].

3.2.1. Modern kontrol teorisi

Modern kontrol teorisi, karmaşık kontrol sistemlerinin tasarımı ve analizine yeni bir yaklaşım olarak 1960'lerden beri gelişmektedir. Karmaşık sistemler, çok girdileri ve çok çıktıları olan ve zamanla değişime sahip sistemlerdir. Bu yeni yaklaşım durum kavramına bağlıdır. Modern Kontrol Teorisi, Klasik Kontrol Teorisiyle zıttır, Klasik Kontrol, doğrusal zamanla değişmeyen tek girişli-tek çıkışlı sistemlere uygulanabilirken, modern kontrol teorisi, çok girdili-çok çıktılı sistemlere uygulanabiliyor ve doğrusal ve/veya doğrusal olmayan, zamanla değişen veya değişmeyen olabilir. Bunun yanında, modern kontrol teorisi, temelde bir zaman-aralığı yaklaşımıdır, halbuki, klasik kontrol teorisi, kompleks bir frekans-aralığı yaklaşımıdır. Klasik kontrol teorisi, geniş bir şekilde transfer fonksiyon kavramından istifade ediyor. Analizler ve tasarım, s aralığı ve/veya frekans aralığında yapılıyor. Modern kontrol teorisi, durum uzayı kavramına dayanıyor, geniş bir şekilde vektör-matris analizlerinden faydalaniyor. Analizleri ve tasarımı, zaman aralığında yapılıyor. Klasik kontrol teorisi genellikle, tek girdi-tek çıktı kontrol sistemleri için tatmin edici sonuçlar veriyor. Fakat, klasik kontrol teorisi, çok girdi-çok çıktılı kontrol sistemlerini elde edemez. Klasik kontrol yaklaşımı, modern kontrol yaklaşımlarından daha az matematiksel ifade kullanıyor. Bundan dolayı, klasik kontrol teorisini anlamak daha kolaydır [90].

3.2.2. İleri kontrol

Petrokimyasal tesislere ileri kontrolü uygulamanın en büyük ekonomik yararı, hareket eden kararlı durum operasyonundan, daha iyi bir çalışma noktasına (operating point) varabilmektir [72]. Bir tesisin optimal işlem noktası farklı zaman ölçütleri üzerindeki bir çok faktörlerden dolayı değişebilir;

1. Yardımcı maddeler kısıtları(saat,Gün)
2. Besleme değişimi(gün)
3. İç ürün talep değişimleri(Gün,hafta)
4. Piyasa talebi(Hafta)
5. Ürün spesifikasyon değişimleri(hafta,ay)
6. Katalist deaktivasyonu(ay)
7. Ekipman konfigürasyon değişimleri(ay)

Gerçek zamanlı(veya on-line) optimizasyon bu değişiklikleri açıklamak için araçları sağlar ve optimum çalışma noktasına doğru tesisi sabit bir şekilde çalıştırır. Cutler [91], bir on-line optimizasyon ile doğru küme kısıtlarının seçiminin bir prosese katma değerinin yaklaşık %3-5 olduğunu göstermektedir. Gerçek zamanlı optimizasyon'da ele alınan genel yaklaşım şu şekildedir. Kararlı operasyon esnasında, tesis verisi toplanmakta ve kararlı durum modelinde parametreleri güncelleştirmede kullanılmaktadır. Model, tesisin o anki mevcut operasyonu ile birleştiriliyor. Yeni hedef değerler, kontrolöre veriliyor ve diğer optimizasyon çevrimi ,tesis, yeni işlem noktasına ulaşır ulaşmaz, başlamaktadır. Kararlı durum, proses modelinin çözümünde, optimumu belirlemek için hızlı ve sağlam(sağlıklı) olmalıdır [92].

İleri kontrolörlerin fonksiyonu ve kararlı durum optimizasyonu arasını ayırmak önemlidir. İleri kontrol şemaları, küçük tesis bölgesi (örneğin, damıtma kulesi enerji tüketimi minimizasyonu) için kısıtlı bir optimizasyon yeteneği sağlayabilir. Bu şemalar, farklı optimizasyon seviyeleri arasındaki ayrımı korumak için sistem optimizasyonu altında çalıştırılırken uygun bir şekilde tanımlanmalıdır.

Tüm tesis optimizasyonu, birim veya ekipman optimizasyonundan daha çok istenir. Prosesin alt bölümleri optimize edildiğinde, cevaplar, tüm proses optimizasyonundan çok farklı olabilir [56]. Toplam kar'ı maksimum yapmak için tesisin bazı bölgeleri suboptimal olabilir. Literatürde bazı Proses optimizasyon örnekleri şunlardır;

- a. Etilen Oksid Üretimi [93]
- b. FCC [94][95]

c. Etilen Tesisi [96][97]

d. Amonyak Tesisi [98]

Birbiriyle ilişkili tesis çalışma hedeflerini ekonomik olarak gerçekleştirebilmek için, mantıksal öngörücü algoritmalar, termodinamik hesaplamalar, temel kimya mühendisliği teorisi, operatör deneyimi, gerçek zamanlı kontrol modelleri ve diğer kontrol tekniklerinin kullanılması yararlıdır. İleri kontrol çok yanlış anlaşılan bir terimdir. Johnson Yokogawa'ya [99] göre, ileri kontrol, tesisin çalışma amaçlarını karşılayabilmek için spesifik olarak tasarılan kontrol stratejilerinin kullanımını gösterir.

İleri kontrolün uygulanmasının sebebi;

- * Parasal yararlar
- * Güvenin artması
- * Birimler arası durağanlığı geliştirme
- * Operatör etkinliğini artırma
- * Daha iyi çalışma enformasyonu
- * Çevresel etkinin azaltılması
- *personel ihtiyaçlarının azaltılması

3.2.3. Zeki kontrol

Kontrol edilecek proseslerin matematiksel modellerine olan ihtiyaç; sistem tanımlama, parametre tahminlemesi ve test sinyal türetme gibi alanlarda araştırmaya sebep oldu. Prosesin doğrusal modellerle tanımlanamadığı veya ihtiyaçların basit kriter ve karesel maliyet fonksiyonlarına dönüştürülemediği durumda, hiç bir analitik çözüm bulunamaz ve tasarım sayısal bir optimizasyon problemine çevrilir. Önceki yaklaşımlarda, proses davranışı ve istenen genel davranış hakkındaki çıkarım (reasoning) matematik tanımların şekillenmesine bağlıdır. Prosesin matematiksel modelinin olmadığı yerde veya büyük çaba ve maliyetle elde edilebildiği durumda, kontrol stratejisi tamamıyla

farklı bir yaklaşıma sebep olmaktadır. Prosesin matematiksel bir tanımına gereklilik yerine, prosesde çalışan insanların tecrübe ve kalitatif ifadeleri yeterli olmaktadır. Operasyon esnasında yeni gerçekler ve kurallar keşfedilir, uygulanır ve bilgi değişen duruma adapte edilir.

Aşağıdaki metotlar, gerçek zamanlı uygulamaların üzerinde durarak tanıtılıyor [100];

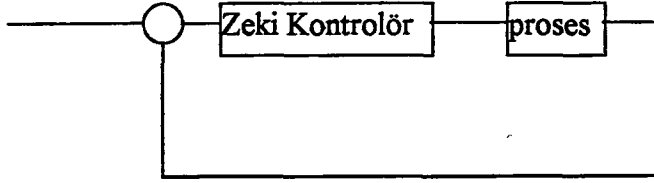
a. Bilgi tabanlı sistemler, uzman sistemlere dayanmaktadır. Bu sembolik bir çıkarım yaklaşımıdır, genellikle, danışma(advisory) sistemlerinde kullanılan uzman bilgisi, kullanıcıda mevcuttur.

b. Yapay sinir ağları, alt sembolik çıkarıma dayalı öğrenme sistemleridir.

c. Bulanık kontrol, bir sistemi kontrol etmek için sezgisel bilgiyi elde etmede oldukça yaygındır.

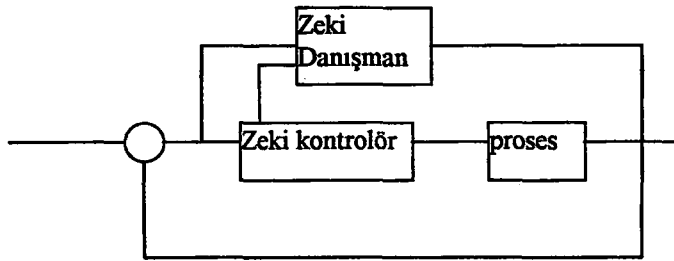
Çoğu durumlarda metotların kombinasyonu daha uygundur. Bilgi-tabanlı sistem ile yönetilen yapay Ağ kontrollü sistemler ve bulanık uzman sistemler örnekler arasındadır. Zeki kontrol araçları çeşitli şekillerde kullanılabilir. Aşağıda konfigürasyonlarına ayrılıyor.

a. Direkt kontrol konfigürasyonları, yukarıda bahsedilen zeki kontrol metotlarından birisi olan kontrol çevrimini içerir. Çoğu klasik kontrol konfigürasyonları olarak, kontroller, farklı parçalardan meydana gelir, örneğin, kontrol ve proses tanımlama parçası gibi.



Şekil 3.3 Direkt Zeki Kontrol

b. Danışman kontrol konfigürasyonları, örneğin bilgi tabanlı sistem zeki komponent ile yönetilen kontrolör ya klasik ya da zeki kontrolördür.



Şekil 3.4 Dolaylı Zeki Kontrol

3.3. Zeki Kontrole Olan İhtiyaç

Çoğu durumlarda, gerçek hayat farklıdır ve proses ve imalat endüstrilerindeki gerçek yaşam uygulamaları da farklıdır. Modern üretim ve imalat metodlarının klasik kontrol metodlarıyla kolay kolay çözülemeyecek çok sayıda ilginç problemlerle dolu olduğu söylenebilir. Örnekleri;

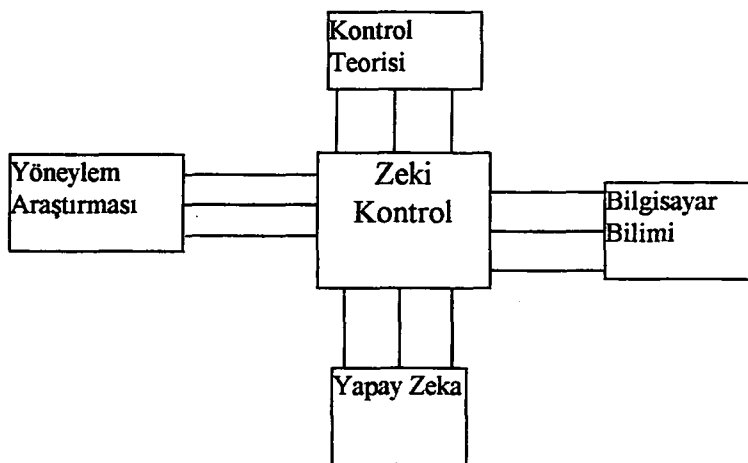
- Ürün çıktısında sık sık değişiklikler
- Ürün karışımı ve ürünlerin tekleştirilmesinde(individualism) sık sık değişiklikler
- Saha ileri ve hayli karmaşık üretim metodlarının tanıtımı
- Daha az ürün ara stokları ve esnek, hafif mekanik yapıları kullanarak üretim ve imalat hızındaki artışlar
- Sistem taktik, yönetim, çizelgeleme, operasyonel izleme, on-line kontrol görevlerine entegre olan tesis çaplı kontrol sistemlerinin tanıtımıdır.

Sonuç olarak kontrol problemlerini çözmek zorlaşmaktadır. Başlıca nedenleri;

- Değişen koşullar ve işlem noktaları
- Doğrusal olmayan ve zamanla değişen davranış
- Bazı alt proseslerin veya proseslerin doğasında olan durağan olmama
- Prosesin dinamiği ile ilişkili ihtiyaç duyulan hızın artışı
- Proses modellerinin karmaşıklığının artması
- Eksik veya fazla veri. Bazı verilere güvenilmez, tam değildir.
- Kalitatif ve kantitatif bilginin karışması
- Karma sürekli / yığın operasyonlardır [101].

Bundan dolayı, tamamiyle yeni yaklaşıma dayalı yeni metodlara bu problemleri çözebilmek için ihtiyaç duyulmaktadır [102]. Zeki Kontrol, yapay Zeka, Yöneylem araştırması ve otomatik kontrol sistemlerinin çeşitli yönlerini kullanarak kontrol faaliyetlerini türetmek için bir faaliyet olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.5 bu tanımlı açıklamaktadır. Zeki kontrolün merkezi, proses modellerinin merkezidir. Ne yazık ki, çoğu kompleks prosesler, aşağıdaki proseslerde olduğu gibi, fiziksel kurallara dayalı matematiksel modellemeyi yönlendirmeye uygun değildir.

- a. Anlaşılması basit ve temsili çok kompleks
- b. Modellemesi zor veya değerlemesi pahalı
- c. Prosesin tahmin edilemeyen çevresel bozunmalarını zorlaştıran
- e. Proses dağıtılmış, doğrusal olmayan, eksik, stokastik ve geçici olabilir

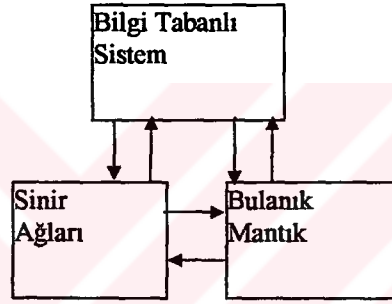


Şekil 3.5 Zeki Kontrolde Kullanılan Teknikler

Zeki kontrole 3 temel yaklaşım vardır.

1. Bilgi tabanlı sistemler(Uzman Sistemler Dahil)
2. Bulanık Mantık
3. Yapay Sinir Ağları

Bu kategoriler birbirinden uzak değildir (Şekil 3.6). Çünkü, Bulanık ve bazı bağlantılı hafıza sinir ağları arasındaki gibi, belirsizliği içine alarak, bulanık ve uzman sistemler arasında karşılıklı güçlü ilişkiler vardır.



Şekil 3.6 Zeki Kontrol ve Üç Temel Yaklaşımı Arasındaki İlişkiler

3.4. Bulanık Küme Teorisinin Temel Düşüncesi

L.A.Zadeh tarafından önerilen bulanık küme teorisi, klasik küme teorisinin genişletilmiştir. Bulanık küme teorisinin temel fikri, gerçek sayı kümesi R 'nin kullanımıyla çok kısaca açıklanabilir. Klasik kümelerde, $x \in R$ için, x 'in verilen bir kümede ait olup olmadığının temsili için, $\emptyset(x)=\{0,1\}$ iki değerli karakteristik fonksiyonu kullanılabilir. Özellikle $\emptyset(x)=1$ x 'in kümeye ait olduğunu ve $\emptyset(x)=0$, x 'in kümeye ait olmadığını gösterir. Örneğin verilen bir klasik kümede $A=\{5\}$ ise, $\emptyset_A(x=5)=1$ ve $\emptyset_A(x \neq 5)=0$ dır. Herhangi bir karakteristik fonksiyonun alanı, 2 değerli bir küme olduğu için klasik kümeyi biraraya getiren şey, evet veya hayır kavramıdır. Fakat gerçek hayatta, 2 mutlak biraraya getirilemez. Parça veya ifadeleri(bir evrene) daima bölemeyiz. Pek çok orta seviye veya geçişli parçalar veya ifadeler vardır ve

faydalı bilgiler içerebilir. Bulanık küme teorisinde, üyeliklere ait rijit kısıtlar, 2 elemanlı bir kümeden ziyade $[0,1]$ sürekli aralığındaki alan ile μ üyelik fonksiyonunu kullanarak gevşetilebilir. Bir bulanık küme içerisinde, $\mu(x)=1$, x 'in kümeye ait olduğunu belirtir. $\mu(x)=0$, x 'in kümeye ait olmadığını, $0<\mu(x)<1$ ise x 'in kısmen kümeye ait olduğunu gösterir. $\mu(x)$ 'in değeri ne kadar artarsa, aidiyet dereceside o kadar artar. Örneğin, $B=\text{"}x, 5\text{'e yakındır"}$. bulanık kümesini temsil eden $\mu(x)$,

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 4 \\ x-4, & 4 \leq x \leq 5 \\ 6-x, & 5 \leq x \leq 6 \\ 0, & x \geq 6 \end{cases}$$

$\mu_B(3)=0$, $\mu_B(4,3)=0.3$, $\mu_B(4.8)=0.8$ dir. Elde edilen değerlerden, diyebiliriz ki: $B=\text{"}x, 5\text{'e yakındır"}$ verilen bulanık kümesi için, 1.denklem ile tanımlanan $x=3$, %0 doğru, $x=4.3$, %30 doğrudur, $x=4.8$ ise %80 doğrudur. Son 27 yılda, 7000 makale bulanık küme teorisinin çeşitli yönlerini ele almıştır. Bir çok ticari tek girişli-tek çıkışlı bulanık kontrol uygulamaları, kameralar, hava soğutucularının kontrolü için ortaya çıktı. Kimyasal proses için bulanık kontrolün uygulaması, ilk defa Mamdani ve Assilian tarafından yapıldı. Doğrusal programlama problemlerine bulanık küme teorisinin uygulaması, Bellman ve Zadeh tarafından ortaya atıldı ve Zimmermann tarafından çözüldü.

3.5. Bulanık Mantığın Tarihçesi

Günümüzün gelişen teknolojileri artık geleneksel elektronik denetim biçimlerinden yeteri kadar verim alamamaktadır. Gün geçtikçe ortaya çıkan daha hassas birimler ve kaçınılmaz olan enerjiden tasarruf sağlama zorunluluğu bilim adamlarını bu yönde araştırmalar yapmaya itmiştir. Gitgide mükemmele yaklaşma isteği ve belkide birgün aynısının yapay yollarla ortaya çıkarılmaya çalışılması isteği yapay zeka, yapay sinir ağları, çokdeğerli mantık ve bunlarla birlikte bulanık mantığın ortaya çıkarılmasına neden olmuştur. Bulanık mantık hergün kullandığımız ve davranışlarımızı

yorumladığımız matematiksel bir disiplindir. Temelini doğru ve yanlış değerlerin belirlediği bulanık küme kuramı oluşturur. Burada yine geleneksel mantıkta olduğu gibi (1) ve (0) değerleri vardır. Ancak bulanık mantık yalnızca bu değerlerle yetinmeyip bunların ara değerlerini de kullanarak; örneğin, bir uzaklığın yalnızca yakın ya da uzak olduğunu belirtmekle kalmayıp ne kadar yakın ya da ne kadar uzak olduğunu da söyler. Bu mantık elektrikli ev aletlerinden oto elektroniğine, gündelik kullandığımız iş makinalarından üretim mühendisliğine, endüstriyel teknolojilerden otomasyona kadar aklımıza gelebilecek her yerde kendisine uygulama alanı bulabilmektedir. Geliştirilmesi olanaksız matematik modellere dayalı karmaşık sistemler 1960 yılı ortalarında araştırmacılara artan bir hızda gelmeye başladı. 1965 yılında Kaliforniya üniversitesinden Lotfi A. Zadeh ilk defa bulanık küme kuramının temel taşı olan “yumuşak” yaklaşım ile sistem tanıma ve tasarımını gerçekleştirdi. 1972 yılında Londra üniversitesinden E.H.Mamdani bulanık mantık temelli uzman sistemle bir buhar türbününün hızının ve performansının çok başarılı bir şekilde denetlenebileceğini gösterdi. Bulanık mantık kuramının ilk önemli endüstriyel uygulaması 1980 yılında Danimarkadaki bir çimento fabrikasında F.L.Smidth tarafından gerçekleştirilmiştir. Fabrika içinde çok hassas bir denge ile oranlanması gereken sıcaklık ve oksijen ayarı en uygun biçimde yapılmıştır. Bundan sonra bir başka çarpıcı uygulama ise Hitachi firması tarafından 1987 yılında Sendai metrosunda gerçekleştirilmiştir. Bu sayede trenin istenen konumda durması 3 kat iyileşmiş, kullanılan enerji ise %10 azalmıştır. Bunun üzerine Hitachi firmasına, benzer bir sistemin Tokyo metrosuna da kurulması için istek gelmiştir. 1988’de ise Yamaichi Securities firmasının geliştirdiği bulanık mantık temelli uzman sistem yine 1988 yılının Ekim ayında Kara Pazar adı verilen büyük çöküşü 18 gün önceden haber verebilmiştir. Bu kadar başarılı uygulamanın ardından bulanık mantığa olan ilgi artmış, uluslararası bir çalışma zemini oluşturabilmek amacıyla 1989 yılında aralarında SGS-Thompson, Omron, Hitachi, NCR, IBM, Toshiba ve Matsushita gibi dünya devlerinin de bulunduğu 51 firma tarafından LIFE(Laboratory for International Fuzzy Engineering) laboratuvarları kurulmuştur [103].

Bulanık uzman sistemler, ilk olarak, klasik kontrol teorisinden türetilen geri beslemeli kontrol kurallarına alternatif olarak doğdu. Japonlar, 1980’lerde bulanık sistemlerini

geliştirmeye başladılar. Avrupanın öncü çalışmalarını takiben, japon bilim adamları, klasik kontrol mantığına alternatifler tasarlama üzerinde yoğunlaştılar. Sonuç, çok basit mekanizmalarla doğrusal olmayan, kontrol faaliyetini sağlayan, yeni Bulanık kontrol şemalarıydı. Bu teknolojinin basitleştirilmiş, ev aletleri endüstrisinde görüldü. İmalatçılar, çamaşır makinası ve elektrik fırınları gibi ürünlerinin performansını iyileştirmek için bulanık mantığı kullandılar. Bununla beraber, bu araç-gereçler çok sığ bir uzman kullanmaktaydı. Kullanılan bilgi, kontrol edilen obje ile ilgili durumlar ve çevrelerine göre, hangi kontrol faaliyetlerini yapacaklarını söylemektedir. Yeni bulanık kontrol sistemleri arasında, istisnai uygulama, otomatik tren operasyonu (ATO) [104] için öngörücü bir bulanık kontrol sistemiydi. Bu kontrol şemasında, tasarımcı, bilgiyi üç parçaya bölmektedir. 1.Parça; olası kontrol faaliyetlerini türetmek için bilgiyi içermektedir. 2.Parça; objektif tesis dinamikleri için bilgiyi içermektedir. Ki bu, sistem kontrol faaliyetlerinin çıktısını tahmin etmek için kullanılmaktadır. 3.Parça; daha iyi kontrol faaliyetini seçmek için bilgiyi içermektedir. Sistem herbir kontrol aralığında, sırasıyla bilgi parçalarını işlemektedir. Bu kontrol şemasının en önemli yönü şudur ki; olası kontrol faaliyetlerini türetmek için bilgiye ek olarak dinamik önceliği açıklayan modelleri kullanmaktadır.

ATO'nun tersine, yol tüneli havalandırma kontrol sistemi [105], yaklaşık 80 kural ile oldukça geniş bulanık bilgi tabanını meydana getirmiştir. Geleneksel akışkan dinamik denklemlerin yerine bu sistem atmosferik olayı ifade etmek için dilsel formları kullanmaktadır. Bunu ifade etmek için, tasarımcılar, dinamik durumlarda bulanık ilişkilerinin genişletilmiş olan bulanık dinamik denklemler kümesini tanıttı. Bu denklemleri tanıtmak, bulanık uzman sistemi gelişiminde 2 önemli konuyu doğurdu;

- Geniş ve kompleks sistemler için bulanık bilgiyi elde etme.
- Model-tabanlı kontrol için vazgeçilmez olan bulanık bilginin gerçek zamanlı adaptasyonudur.

Havalandırma sistemi geliştirildiği zaman, tasarımcılar, deneme-yanılma ile bulanık bilgiyi elde etti ve rafine ettiler. Bu metodun zorluğu sürpriz değildi. Tasarımcılar, alfa operasyonu olarak isimlendirilen ters bir operatöre dayalı bulanık dinamik

denklemlerin kümesini çözerek adaptasyon mekanizmasını geliştirdiler. Bu operasyon, bulanık çıkarımda bir çift kompleks prosedüre sebep oldu. Tünel havalandırma sistemi, geleneksel kontrol sisteminden %30 daha az elektrik kullanmasına rağmen, bu uygulama geniş çaplı bulanık bilgi tabanı için algoritmik aygıtlar ile bulanık teorisinin zorluğunu gösterdi.

C.Yasunobu ve meslektaşları geniş ölçekli bir bulanık finansal destek sistemini [106] geliştirdiklerinde bu problemle karşı karşıya kaldılar. Bu uygulamada kural sayısı 100'den fazlaydı. Bu sistem, zaman serisi verileri için görüntü tanıma yeteneklerini gerektirdi, bundan dolayı bir diğer zorlukla karşı karşıya kaldılar. Bulanık sistemler, etkin operasyon mekanizma ve ara yüzeyleri ile teçhiz edilmemişti. Uzmanlık, kendi çevresiyle ilgili, uzmanın algılayıcı yargısına güvenmektedir. Bu durum, fonksiyonel görüntü tanıma ara yüzeyine ihtiyaç duymaktadır. Bulanık sistem gelişimi için bu ve diğer engelleyici blokların üstesinden gelebilmek için, araştırmacılar, zeki matematik tabanlar ve algoritmalar araştırmaktadır.

3.6. Bulanık Sistemlere Giriş

Bulanık sistem, içsel bilgiyi temsil etmek için bulanık mantık kullanan en az bir sistem bileşenine sahip olan sistemdir. Bulanık mantık, kalitatif ve kantitatif modelleme arasında bir köprü oluşturur. Bulanık mantık kullanarak şekillenen modeller, statik kontrol sistemleri, uyarlayıcı kontrol sistemleri, proses modelleme, sinyal tahminleme, görüntü işleme, geçici planlama ve karar vermeyi içine alan çeşitli bilgi süreçlerini uygulamaktadırlar.

3.6.1. Bulanık mantık nedir

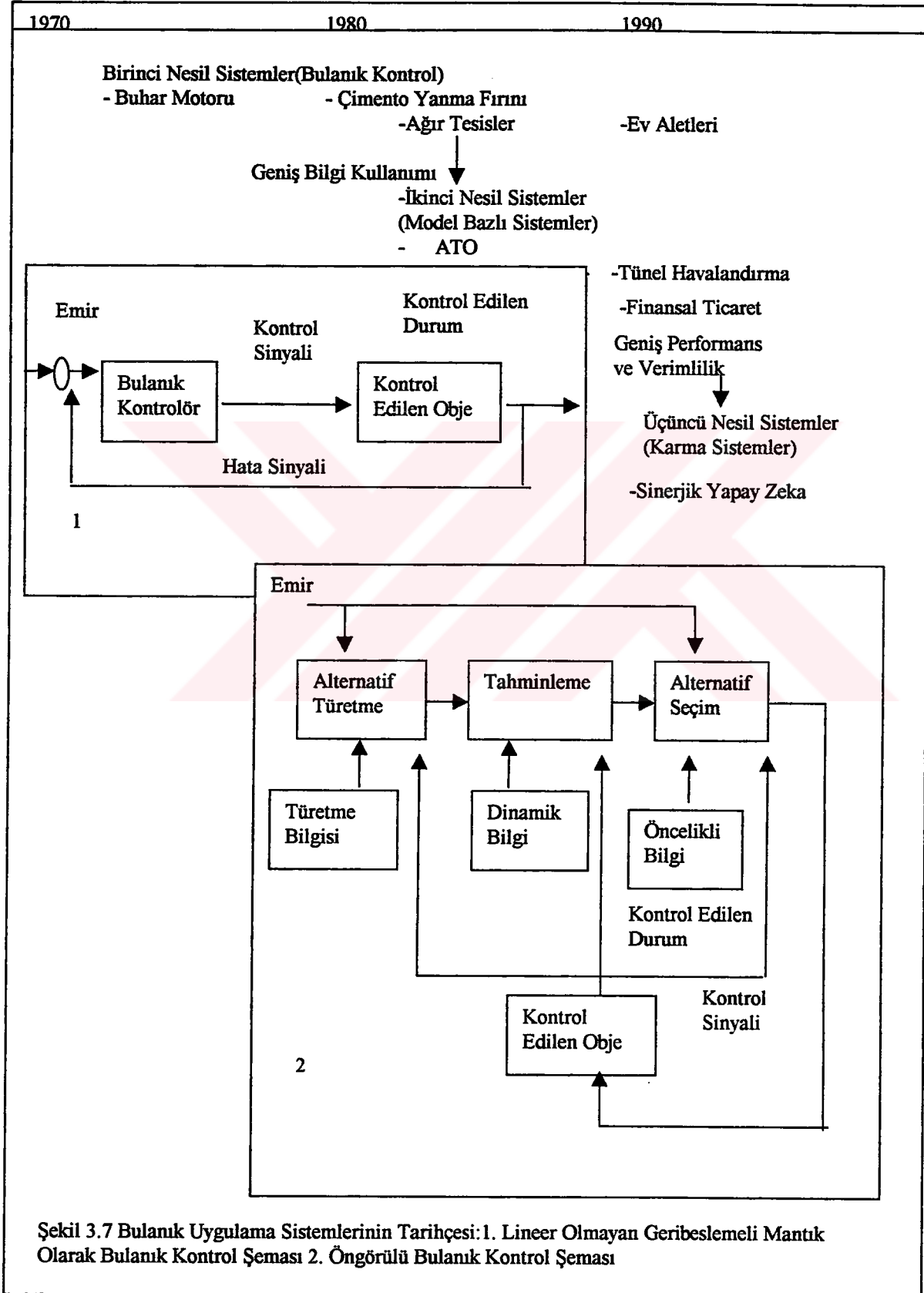
Bulanık mantık terimi, iyi tanımlanamayan sistemleri, 0-1 değerli mantık kullanılarak çözülmesi zor olan, bulanık olan sistemleri modellemek için ihtiyaçtan ötürü doğmuştur. Fakat metodolojisi matematiksel teoriye dayanmaktadır. 0-1 değerli mantık ve küme teorisi bilinmektedir. Buna göre, tüm elemanların oluşturduğu kümeye ait olan bir elemanın, o kümeye ait bir üye olup olmadığı kesinlikle

söylenbilir. Örneğin, Bütün insanlar kümesi içerisinde kümeye ait olan bir şahsın, bütün erkekler gibi, her bir şahsın bu kümeye ait olup olmadığı söylenbilir. Küme içerisinde pek çok elemanın birarada olması birkaç kural ile pek çok olayı tanımlamayı gerektirmektedir. Örneğin, en basit ifade, eğer şahıs erkek ve ailesi varsa o zaman bir babadır gibi.. Kurallar operatörlerin kullanımına göre şekil almakta ve bu durumda, kesişim operatörü VE, kümeleri manipule etmektedir.

Ne yazık ki, 0-1, değerler ile ifade edilemiyor. İnsanlarla ilgili örneğe dönersek, erkek veya kadın olarak her şahsı sınıflandırmak kolaydır. Fakat, daha zor olanı onları uzun veya uzun değil diye sınıflandırabilmektir. Uzun insanların kümesini tanımlamak daha zordur. Çünkü, uzunluğun başladığı noktada farklı kesişim noktaları bulunmaktadır. Bunun bir ölçüm problemi olmadığına ve çok kesin olarak bütün elemanların boylarını ölçmeye yardım etmediğine dikkat edilmesi gerekmektedir. Böyle bir problem, iyi bilinen metodolojiyi kullanarak tanımlanabilir diye sık sık değiştirilmektedir. Boy probleminde, basit olarak kümede uzunluğun 1.8 m. de başladığını farzedelim. Bu tanımlı kullanarak oluşturulan çıkarım sisteminin çıktısı bir kişinin uzunluğu ile ilgili olarak düzgün olmamakta, 1.799 m boyundaki bir kişi 1.801 m. boyundaki bir kişiden farklı bir çıktı oluşturacaktır.

Sadece insan çıkarımındaki gözlemlerde değil aynı zamanda bir kontrol döngüsünün parçası olan çıkarım sistemleri içinde istenmeyen durumdur. Bulanık mantık, az sayıda kural kullanarak insan çıkarım prosesi yeteneğini taklit etme metodu olarak Lotfi A.Zadeh(1965) tarafından teklif edildi ve hala prosesin tahminlenmesi yoluyla düzgün çıktılar elde edilmektedir. Zadeh, Çokdeğerli mantığa dayalı kuralları şekillendirerek küme üyeliği kavramını tanıtmıştır. Daha önceden, elemanların, bir kümenin üyeleri olup olmadığı gözönüne alınmaktaydı. Bulanık mantık ile bir eleman kısmen bir kümeye ait ve küme üyeliği ile temsil edilir oldu. Yukarıdaki örneğe dönersek, 1.799 m. boyundaki bir kişi bir üyelik derecesi ile, uzun ve uzun olmayan küme olarak her ikisine de aittir. Şahsın boyu arttıkça, uzun olmayanlara ait kümenin içerisindeki üyelik derecesi düşerken, uzunlara ait küme içerisindeki üyelik derecesi artmaktadır. Bu tanımlı kullanarak oluşturulan çıkarım sisteminin çıktısı benzer girdiler için aynı sonuçları üretecektir.

Bulanık mantık, kısmi küme üyeliğinin olduğu durumda, kural şartlarının kısmen tatmin olduğu ve sistem çıktıların tahminleme ile hesaplandığı, bu yüzden eşit 0-1 değerli kural tabanında çıktı düzgünlüğünün arttığı geleneksel mantığın genişletilmesidir.



Tekrar Modern Kontrole dönülürse bu teörinin mühendislere şu yararları sağlamış olduğu görölmektedir:

- a. Özel bir performans ölçüsü ile ilgili optimal kapalı döngü performansı veren kontrolörleri tasarlamak.
- b. Parametrik belirsizlik ve ek bozunmaların kesin çalışma şartları içerisinde sağlam olan kontrolörleri tasarlamak.
- c. Özel bir proses çalışma noktası için durağanlık ve performans tahminleri yapmak.

Modern kontrolün başarıları verildikten sonra, bulanık mantığın kullanılmasına gerek var mıdır? diye bir soru akla gelebilir. Bu sorunun yanıtı kesinlikle evettir ve ispat edilebilir. En yaygın kullanılan kontrol sistemlerinden birisi, en basit kural tabanlı sistem olan termostatik bir sıcaklık kontrolörüdür. Bu kural tabanlı sistem 2 kural ile işler:

1. Eğer sıcaklık ayar noktası altında ise o zaman ısıyı aç
2. Eğer sıcaklık ayar noktası üstünde ise, o zaman ısıyı kapa.

Bu kontrolörün başarısı, 3 özelliğin kombinasyonundan kaynaklanmaktadır.

- a. Basitliği
- b. Sağlamlığı
- c. Kompleks bir proses modeline ihtiyaç duymamasıdır.

Bulanık sistemler şu sahalarda, ki bunlar bazılarını temsil etmektedir, uygulanmaktadır:

1. Bulanık tahminleme, öngörü ve kontrol
2. Yaklaşık çıkarsama
3. Makinenin öğrenmesi

4. Zeki sistemlerin tasarımı
5. Görüntü tanıma ve makine görme
6. Görüntü tanıma
7. Bulanık sinirsel hesaplar
8. Elektronik ve fotonik uygulamalar
9. Medikal hesaplama uygulamaları
10. Robotik ve hareket kontrol
11. Kısıtlı propagasyon ve optimizasyon
12. İnşaat, kimya ve endüstri mühendisliği uygulamaları [107].

3.6.2. Bulanık sayılar ve genişleme prensibi

Bir bulanık sayı, ‘neredeyse sıfır’ veya ‘yaklaşık on’ gibi terimleri ifade etmemize yardım eden gerçel sayılar evreninde tanımlanan bulanık kümenin özel bir sınıfıdır. Bir bulanık sayı olan A ’nın küme tanımı, küme şartlarını tatmin etmelidir.

1. $\mu_A(X)=1$ için en az bir x değeri olmalıdır.
2. Konveks bulanık küme olmalıdır.
3. Sınırlanmış destek olmalıdır.

Bulanık kümenin desteği A , $\mu_A(x)>0$ için bütün x değerlerinin kümesidir. Genişletme prensibini kullanarak , herhangi bir matematiksel operasyon bulanık sayılar ile ilgili uygulanabilir.

3.7. Geleneksel Mantıkla Karşılaştırma

Geleneksel mantığın temelinde olasılık hesapları yatmaktadır. Bir olayın olabilirliği, bu mantıkla çözümlmeye çalışılırsa, sonuçta yalnızca evet ya da hayır ile sınırlı kalınmaktadır. Ancak bulanık mantık bundan tamamen farklıdır ve olabilirliği değil ne kadar olduğunu vermektedir. Dolayısıyla, alınacak cevap evet ya da hayırla beraber bunların ara değerlerini de içermektedir. Batı Florida Üniversitesinden James Bezdek bu farkı şöyle bir örnekle ortaya koymaktadır. "Çölde kaybolduğunuzu ve elinizde de iki şişe su bulunduğunu düşünelim. Bu şişelerden birinin üzerinde "%91 olasılıkla kirli su" ve diğerinin üzerinde de "%91'i kirli su" (bulanık mantıksal ölçüm) yazsın.

Hangisini içersiniz? ilk şişedeki su %91 olasılıkla kirlidir, fakat %9 gibi bir şansla da temiz olma imkanı vardır. Yani aslında bu su temizde kirli de olabilir. Ancak ikinci şişenin üzerindeki etikette ise suyun %91'inin kirli olduğu, yani bu suyun çok büyük bir kısmının kirlendiği ve neredeyse içilemez durumda olduğu belirtilmektedir. Bir başka deyişle bu su, bulanık mantıkta, üyelik işlevi olarak da belirtebileceğimiz gibi "kötü su" olarak adlandırılmaktadır. Şimdi elimizde birde mini kimya seti olduğunu ve bu suları tahlil edebileceğimizi düşünelim. İlk şişedeki tahlil sonucu "saf" olsun yani %9 olasılık ortaya çıkmış ve su %100 temiz bulunmuştur. İkinci şişeyi tahlil ettiğimizde ise elde edeceğimiz sonuç doğaldır ki hala %91 oranında kirli su olacaktır" [108].

3.7.1. Bulanıklık ve olasılık

Bulanıklık ve olasılık $[0,1]$ arasında nümerik bir değer ile bir olayın belirsizliğini açıklamaktadır. Olasılık, bir bulanık küme doğal dili kullanarak kesin olmayanı tanımlıyorken, aynı zamanda büyük miktardaki istatistiksel veriye dayanarak rastgele bir olayın meydana gelmesinden dolayı kesin olmayanı ölçer. Örneğin, İstatistiksel Proses Kontrolü şeması, yüzlerce veya binlerce günlük, haftalık veya aylık üretim verileriyle, nihai ürünün kalite derecelerinin $[0,1]$ frekans dağılımı veya olasılığı göstermede kalite kontrolü için genellikle kullanılır. Bir İstatistiksel Kalite Kontrol şemasını kontrol ettikten sonra, ürünlerin sadece %60'ının bu makineyi kullanarak A derecesinde sınıflandırılabilceğini söyleyebiliriz. Tam tersine bulanıklık, bir olayın deterministik belirsizliğini açıklar. Örneğin, "makine x tarafından üretilen ürünlerin kalitesi iyidir. Fakat makine y tarafından üretilen ürünlerin kalitesi kötüdür". Bu iki bulanık ifade, kullanılan makine ve ürün kalitesi arasındaki deterministik ilişkiler ve ürün kalitesinin derecesini açıklıyor. Fakat, olasılık, bulanık olay oluşumunun frekansını ölçmede de kullanılabilir. O zaman, yukarıdaki bulanık dilsel ifadeler şöyle düzeltilebilir; makine x in ürettiği ürünlerin %80'i iyidir. Makine y'nin ürettiği ürünlerin %50'si kötüdür. Burada görüyoruz ki %80 ve %50 'nin olasılıkları sırasıyla "iyi" ve "kötü" ürünlerin oluşumunun frekansını ölçer. Benzer olarak %80 ve %50 olasılıkları, büyük miktarda istatistiksel üretim verilerine dayanmalıdır. Bulanık olayın olasılık hesabını tanımlamak için, bulanık olay A'yı, tanım uzayı'nin alt kümesi alalım,

$\mu_A(X_i)$, $i=1,n$, $X_i \subset A$ 'nın üyelik değerlerine karşılık gelir. $P(X_i)$, X_i 'nin oluşumunun olasılığını temsil eder. Yani, A bulanık olayının olasılığı $P(A) = \sum \mu(A)(X_i)P(X_i)$ dır.

3.8. Dilsel Değişkenler

Bulanık mantığı daha iyi anlayabilmek için bir örnek ele alalım. Yolda giden bir arabanın sürücüsü önüne çıkan engel karşısında nasıl hareket eder? buradaki girdilerimiz hız ve uzaklık; buna bağlı olarak elde edeceğimiz çıktımız ise fren olsun.

Bulanık kümeler genellikle üç, beş ya da yedi üyelik işlevinden oluşabilirler. Örneğimize göre; yavaş, az hızlı, orta hızlı, çok hızlı, aşırı hızlı şeklinde beş üyelik işlevine sahip bir bulanık hız kümesi oluşturulabilir. Buna göre, tanımlar tamamıyla insanların söylemlerine göre geliştirilebilir ve dilsel niteleyiciler olarak anılırlar. Bunların işlevsel olarak elde edilmeleri ve uygulama aşamasına getirilmeleri büyük ölçüde sistemde daha önce elde edilmiş deneyimlere bağlıdır ve bu sistemlere uzman sistemler denir. Yine aynı şekilde uzaklık kavramına ilişkin bir kümeyi de; çok uzak, uzak, orta uzaklıkta, yakın ve çok yakın şeklinde belirliyebiliriz. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, bulanık mantıkta, geleneksel mantıkta alıştığımız gibi bir çıkarım yapılmamasıdır. Yani mantık örgüsü şu örnekteki gibi değildir;

“Bütün balıklar yüzer”

“Lüfer bir balıktır”

O halde,

“Lüfer de yüzer”

Ancak bulanık mantıkta çıkarım “lüferin eti lezzetlidir” olabilir.

3.9. Bulanık Çıkarım

Bulanık mantıkta da geleneksel mantıkta olduğu gibi bazı mantık işlemleri yer almaktadır. Ancak bu işlemin komutları VE, VEYA, DEĞİL, EĞER, ÖYLEYSE ile sınırlı çok basit ve aynı zamanda da kullanışlıdır. Bu kurallar bütününe bulanık mantık

denetleyicisi üzerinde kural tabanı denir. Şimdi bulanık mantık ile girdilere göre çıktı değerlerini inceleyelim.

EĞER araba çok-hızlı VE uzaklık orta-uzaklık öyleyse frene orta- kuvvette- bas

EĞER araba aşırı-hızlı VE uzaklık çok-yakın ÖYLEYSE frene tam- kuvvetle- bas

EĞER araba normal-hızlı VE uzaklık uzak ÖYLEYSE frene az- kuvvetle- bas

Hızı kısaca “h” ve uzaklığı da kısaca”u” ile gösterirsek, fren “f” fonksiyonu $f(h,u)$ şeklinde olacaktır. Eğer değişkenler arasında VE kullanılmış ise buna bağlı olarak ortaya çıkacak fonksiyon minimum değer alacaktır. Yani,

$F((h) \text{ VE } (u)) = \min(f(h), f(u))$ dir

Değişkenler arasında kullanılan bağlaç VEYA ise fren fonksiyonu,

$f((h) \text{ VEYA } (u)) = \max(f(h), f(u))$ olacaktır. Fonksiyonda kullanılan DEĞİL işlemi ise $f(\text{DEĞİL}(h)) = 1 - f(h)$ anlamına gelmektedir. Buradaki tüm f değerleri, $0 \leq f \leq 1$ şeklinde olacaktır.

3.10. Bulanık Denetim Sistemleri

Denetim sistemleri fiziksel niceliklerden oluşurlar ve bir başka fiziksel sistemi değiştirmek, denetlemek ya da uyarlamak amacı ile kurulurlar. Denetim sistemleri tipik olarak ikiye ayrılarak incelenebilir. Bunlardan birincisi açık devre denetim sistemleridir. Bu sistemlerde fiziksel ortamdan elde edilen çıkış bilgileri kullanılmaz. Örnek olarak bir tost makinası verilebilir. Makinanın işlevi sadece ayarlanan sıcaklıkta yiyeceğin ısıtılmasıdır ve el ile işlem durdurulabilir veya devam ettirilebilir. İkinci olarak da kapalı devre denetim sistemleri ya da geri beslemeli denetim sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemlerde ise fiziksel ortamdan elde edilen çıkış bilgileri kullanılır. Örneğin bir odanın iklimlendirme cihazı gibi. Cihaz, odanın belirlenen sıcaklıkta tutabilmek için sürekli olarak oda sıcaklığını ölçer ve buna göre ortamı otomatik olarak soğutur ya da ısıtır. Fiziksel bir ortamın denetlenebilmesi için gerekli ilk koşul

bu ortama ait değişkenlerin ölçülebilmesidir. Denetim işaretlelerinin elde edildiği bu ölçümler algılayıcılar tarafından gerçekleştirilirler. Kapalı devre denetim sistemlerinde giriş işaretleri, sistemin cevap işaretleriyle birlikte sistemi yönlendirirler. Ayrıca bu tür sistemlerde çevrim içinde bir karşılaştırmacıya veya bir denetleyiciye gereksinim vardır. Denetim sistemleri bazende işleyiş biçimlerine göre iki sınıfa ayrılabilir. Bunlardan birincisi, ortamdan aldığı bilgilere göre kendini istenen biçime uydurmaz. - ki buna düzenleyici sistemler denilmektedir. Örneğin iklimlendirme cihazı gibi. Diğer ise izleyici denetimdir. Burada denetim, zamanın bir işlevi olarak adım adım yapılmaktadır. Buna örnek olarak, hava yastıklı geminin rampaya yanaşması ve yere inmesi verilebilir. Denetim sistemlerinde asıl sorun, sistem çıkış bilgileri, cevapları ya da fiziksel ortamdaki hata işaretleridir. Çünkü kapalı devre denetim sistemlerinde bu bilgiler sistemin işleyişinde çok büyük rol oynarlar ve sistem bu bilgilere göre yönlendirilir.

3.11. Uzman Sistemler

Uygulama yapılacak fiziksel ortamın, daha önce hangi giriş bilgilerine karşılık ne cevap verdiğini bir dizi deneme ile belirleyen ya da uzun süre bir uzmanın sistemi nasıl yönlendirdiğini izleyip buna göre oluşturulan sistemler uzman sistemler olarak adlandırılmaktadır. Özellikle bulanık mantık uygulamaları uzman sistem tanımına çok uygundur. Çünkü, komut olarak dilsel niteleyiciler kullanan bulanık mantık, yalnız bununla kalmaz bir uzmanın en iyi şekilde nasıl kullanması gerekiyorsa sistemi o şekilde yönlendirir. Burada sistemin çalışma biçimi sanki kusursuz olarak bir insan tarafından gerçekleştirilmişçesine olmaktadır. Merloni Elettrodomestici firmasının son olarak çıkardığı Ariston ürün serisinde yer alan bir çamaşır makinasında merkezi denetim ve bulanık mantık sistemi kullanılmıştır. Bu tasarım gerçekte bir kullanıcı için en iyi biçimde gerçekleştirilmiş 1500'den fazla birbirinden farklı çamaşır yıkama programı çevrimi sisteme yerleştirilmiştir. Kullanıcının yapacağı tek şey çamaşırların naziklik derecesini belirlemektir. Bundan sonrası tamamıyla otomatik olarak makine tarafından yapılır [109].

3.12. Kontrol (Karar) Yüzeyi

Kontrol yüzeyi veya karar yüzeyi kavramı, bulanık kontrol sistemleri metodolojisinde merkezdir. Çıktı geri besleme veya durum geri beslemeli doğrusal sistemler, genellikle n -boyutlu uzayda bir hiper yüzeydir. Bu yüzey, kontrol veya karar yüzeyi olarak bilinir. Kontrol yüzeyi kontrolör dinamiğini açıklar. Herhangi bir kontrolörün tasarımında modellenmemiş dinamik yapıdan dolayı, teknikler; adaptif olarak, kontrol yüzeyini düzeltmek ve ayarlamak için düzenlenmektedir.

Bulanık mantık kural tabanlı uzman sistemler, kontrol yüzeyini oluşturmak ve yakınlaştırmak için bir uzman bilgi tabanından türetilen bulanık durumsal ifadelerin bir toplamını kullanmaktadır.

Kontrol sistem tasarımının bu paradigması, tahminleme ve yaklaşık çıkarsamaya dayalıdır. Bulanık mantık kural tabanlı kontrolörler veya sistem tanımlayıcıları, genellikle modelden bağımsız paradigmalardır. Bulanık mantık kural tabanlı uzman sistemler, lineer olmayan n bağımsız değişkenin ve bir bağımlı değişkenin herhangi bir lineer olmayan fonksiyonunu istenen bir öngörücüye yakınlaştırılabilir. Yapay sinir ağları analogik öğrenmeye dayanır. Adaptif ve yaklaştırma teknikleri yoluyla, lineer olmayan karar yüzeyini öğrenmeyi denemektedir. Sistem değişkenleri ve bazı performans kriterinin girdi-çıkı ölçülerinden mevcut nümerik veriye dayanmaktadır [110].

3.13. Genel Bulanık Mantık Kontrolörü

Genel bulanık mantık kontrol sisteminde temel tasarım elemanları şöyledir [110];

1. Bulanıklaştırma stratejileri ve bir bulanıklaştırma operatörünün yorumu, (Bulanıklaştırma)
2. Bilgi tabanı;

- a. Sayısallaştırma/Tanım(çalışma) uzayı normalizasyonu
- b. Girdi ve çıktı uzaylarının bulanık parçaları
- c. Parça büyüklüklerinin bütünlüğü
- d. Temel bir bulanık kümenin üyelik fonksiyonlarının seçimi

3. Kural-tabanı

- a. Proses durum(girdi) değişkenleri ve kontrol(çıkıtı) değişkenlerinin seçimi
- b. Bulanık kontrol kurallarının türetilmesinin kaynağı
- c. Bulanık kontrol kurallarının tipleri
- d. Bulanık kontrol kurallarının bütünlüğü, karşılıklı ilişkisi ve uyumluluğu

4. Karar-verme mantığı

- a. Bulanık-çıkarımının tanımı
- b. Cümle bağı "ve" nin yorumu
- c. Cümle bağı "veya" nın yorumu
- d. çıkarım mekanizması

5. Durulama stratejileri ve durulama operatörünün yorumu(Bulanıklığı giderme)

Yukarıdaki 5 tasarım parametresinin herhangi birisindeki adaptasyon veya değişim, adaptif bir bulanık mantık kontrol sistemini meydana getirir.

3.14. Bulanık Mantık Kontrol Sistem Modellerinin Özel Şekilleri

Çoğu bulanık mantık kontrol sistem modelleri 2 farklı şekilde ifade edilir: Bulanık kural tabanlı yapılar ve Bulanık ilişki denklemleridir. En yaygın bulanık kural tabanlı yapılardır. Denklem 3.1-3.6 bir çok yaygın bulanık kontrol sistem modellerinde kullanılan bulanık ilişki denklemlerini gösteriyor.

1. Girdisi u, kesikli bir birinci derece sistemi gözönüne alıp, durum uzayı şeklini tanımlayalım. Böyle bir sistemin temel bulanık model'i şu şekildedir:

$$X_{k+1} = x_k \circ u_k \circ R \quad k=1,2,\dots \text{ için} \quad (3.1)$$

R , Bulanık sistem transfer ilişkisidir ve $\circ$, standart bileşimdir.

2. Kesikli bir p 'nci derece sistem tek girdisi u ile, durum uzayı şeklinde tanımlanıyor. bulanık sistem denklemleri ile veriliyor.;

$$x_{k+p} = x_k \circ x_{k+1} \circ \dots \circ x_{k+p-1} \circ u_{k+p-1} \circ R \quad k=1,2,\dots \text{ için} \quad (3.2)$$

$$y_{k+p} = x_{k+p} \quad (3.3)$$

y_{k+p} , sistemin tek çıktısıdır.

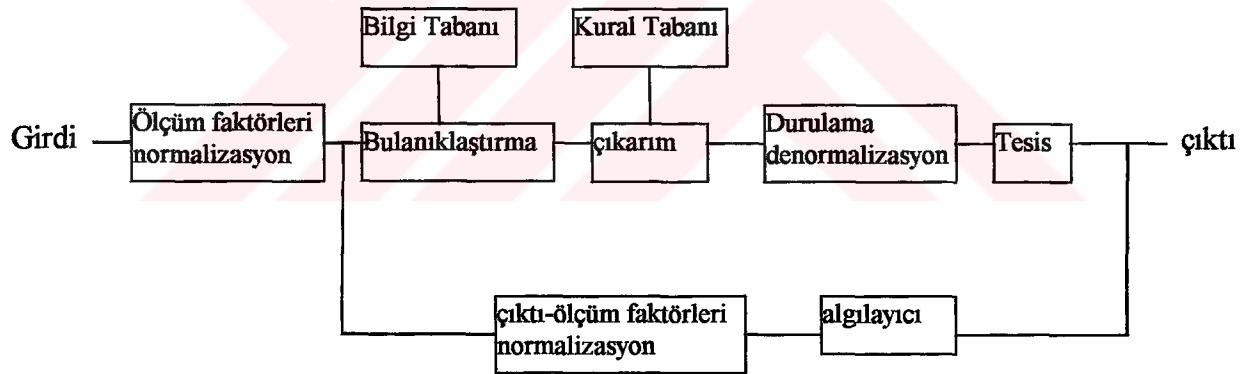
3. Tam durum geri beslemeli 2.derece bir sistem şöyle tanımlanıyor;

$$u_k = x_k \circ x_{k-1} \circ R \quad k=1,2,\dots \text{ için} \quad (3.4)$$

$$y_k = x_k \quad (3.5)$$

4. Tam durum geri beslemeli tek girdili tek çıktılı p 'nci dereceden kesikli bir sistem, takip eden bulanık ilişkisel denklem ile temsil edilir:

$$u_{k+p} = y_k \circ y_{k+1} \circ \dots \circ y_{k+p-1} \circ R \quad k=1,2,\dots \text{ için} \quad (3.6)$$



Şekil 3.8 Bulanık Mantık Kontrol Sistem Blok Diyagramı

Çoğu kontrol durumları, matematiksel olarak ilgilendiğimizden daha karmaşıktır. Bu durumda bulanık kontrol geliştirilebilir, kontrol proses varlıkları hakkındaki bilgi kümesi sağlanabilir, ve bir çok bulanık kural türetilir. Örneğin, basınç yoluyla elde edilen bir endüstriyel proses çıktısı ele alınırsa. İstenen basınç ve çıktı basıncı arasındaki fark hesaplanabilir, buna basınç hatası adı verilir ve basınç değişiminin istenen hızı(oranı) dp/dt ve gerçek basınç

oranı(hızı) arasındaki fark hesaplanabilir. Buna basınç hata oranı(e') denir. Bunun yanında, bilginin eğer-ise kuralları şeklinde ifade edildiği farzedilirse;

Eğer basınç hatası (e) “pozitif büyük(PB)” veya “pozitif orta(PM)” ve

Eğer basınç hatası oranı(e')”negatif küçük(NS)” ise .

O zaman ısı girdi değişimi”negatif ortadır(NM)”

şeklinde tanımlamalar yapılabilir. Basınç hatasını tanımlayan dilsel değişkenler, ”PB” ve ”PM” ve basınç hata oranı, ”NS” ve ”NM” bulanıktır. Fakat basınç ve basınç oranının ölçüleri sisteme uygulanan son-ısı kontrol değişkeni için kontrol değeri yanında, kesindir. Şekil 3.8’de bulanık mantık kontrol diyagramı gösterilmektedir. Endüstriyel prosese(fiziksel sistem) bir girdi kontrolörden geldikten sonra fiziksel sistemin çıktıya verdiği cevap bir aygıtla ölçülür. Eğer ölçülen çıktı, kesin değer ise bir bulanık küme içinde bulanıklaştırılır. Bu bulanık çıktı, dilsel kurallardan meydana gelen bir bulanık kontrolörde bulanık girdi olarak gözönüne alınır. Bulanık kontrolörün çıktısı bulanık kümenin bir diğer serisidir. Çoğu fiziksel sistemler bulanık emirleri yorumlayamadığı için bulanık kontrolör çıktısı, durulama metodlarını kullanan kesin sayılara dönüştürülmelidir. Bu kesin kontrol çıktı değerleri o zaman fiziksel sisteme girdi değerleri olur ve böylece kapalı çevrim döngüsü tekrarlanır.

3.15. Bulanık Kontrol Sistem Tasarımında Kabuller

Bir çok kabul, bulanık kontrol sistem tasarımında kesindir.. Altı temel kabul, ne zaman bir bulanık mantık temelli kontrol politikası seçilse genellikle yapılır. Bunlar;

1. Tesis, gözlenebilir ve kontrol edilebilir. Durum, girdi ve çıktı değişkenleri, gözlem, ölçüm veya hesaplama için genellikle uygundur.
2. Uzman tarafından üretilmiş dilsel kurallar kümesi, mühendislik sağduyusu, sezgi, girdi/çıkı verilerinden türetilbilmektedir. Böylece bulanıklaştırılmış bir analitik model ve kuralları çıkarılmış bir bilgi yapısı vardır.
3. Bir çözümü vardır.
4. Kontrol mühendisi, “yeteri kadar iyi” bir çözüm arıyor, optimuma gerek yoktur.
5. Mevcut bilginin en iyisine ve kabul edilebilir hassaslık aralığı içerisinde bir kontrolör tasarlanmaktadır.
6. Durağanlık ve optimalite problemleri, bulanık kontrol tasarımında hala tartışılabilir problemlerdir.

Girdi verisi, kurallar ve çıktı faaliyeti veya sonuç, uygun bir uzayda tanımlanan üyelik fonksiyonları olarak genelde bulanık kümeleri ifade ediliyor. Kuralları geliştirmek için kullanılan metod yaklaşık çıkarım veya tahmini çıkarım olarak bilinmektedir ve genelde, bulanık ilişkisel denkleme uygulanan bulanık ilişkilerinin kompozisyonu ile temsil edilir.

Basit bir bulanık mantık kontrol sistemini tasarlayan adımlar:

1. Tesisin değişkenlerinin tanımlanması(girdi,durum,çıkı)
2. Tanım Uzayı veya bir çok bulanık alt kümelerdeki her bir değişkenle aralıkların taranması, her birine bir dilsel etiket atılarak(alt kümeler uzaydaki tüm elemanları kapsar) parçalara ayırma.

3. Her bir bulanık alt küme için bir üyelik fonksiyonunun belirlenmesi ve atanması..
4. Girdilerin veya durumların bulanık alt kümeleri ile çıktının bulanık alt kümeleri arasındaki bulanık ilişkilerin atanması, böylece kural tabanının şekillendirilmesi.
5. $[0,1]$ veya $[-1,1]$ aralığındaki değişkenleri normalize etmek için girdi ve çıktı değerleri için uygun ölçü faktörlerinin seçimi.
6. Girdilerin bulanıklaştırılması.
7. Her bir kuraldan katkısı olan çıktıyı çıkarım yapmak için bulanık yaklaşık çıkarsamanın kullanılması.
8. Her bir kural tanımlanan bulanık çıktıların bütünleştirilmesi.
9. Bir kesin çıktıyı şekillendirmek için durulamanın uygulanması.

3.16. Bulanık Mantık Uygulamaları

Bulanık mantık, geleneksel mantıksal sistemlerden daha çok insan düşüncesi ve doğal dile yakındır. Tarihsel olarak bulanık kontrolün gelişmesindeki önemli kilometre taşları tablo 3.1' de verilmektedir [111]. Yaklaşık 15 yıl içinde, bulanık mantık, finans'dan yeryüzü deprem mühendisliğine kadar genişleyen alanlarda çeşitli uygulamalar buldu. Özellikle, bulanık küme teorisinin uygulamasında araştırma için çok aktif ve verimli sahalardan birisi oldu. Çoğu uygulamalarda, Bulanık mantık kontrol tabanlı sistemler, konvensiyonel sistemlere oranla üstün olduğunu ispatladı. Bulanık mantık kontrolün uygulamaları, ısı değiştirici, sıcak su prosesi, aktif pis artık yağ prosesi, trafik kavşağı, çimento ocağı, uçak uçuş kontrolü, ayarlama prosesi, model araba parketme ve döndürme, otomobil hız kontrolü, su saflaştırma prosesi, asansör kontrol, otomobil transmisyon kontrolü, kuvvet sistemleri ve nükleer reaktör kontrol, bulanık hafıza aygıtları ve bulanık bilgisayar. Bu bağlamda, bulanık mantık kontrolün ilk başarılı endüstriyel uygulamasının, 1979 'da Danimarkalı çimento üreticisi F.L.Smidt tarafından geliştirilen çimento ocağı kontrol sistemi olduğuna dikkat edilmelidir.

Tablo 3.1 Bulanık Mantığın Tarihsel Süreci

1972- Bulanık Kontrol Mantığı
1973- Dilsel Yaklaşım
1974- Buhar Motoru Kontrolü
1976- Kontrol Algoritmalarının Analizleri
1977- Isı Değiştirici ve Çimento Fırını Kontrolü
1977- Optimal Bulanık Kontrol
1979- Sonlu Otomasyon
1980- Atık Su Değerlendirme Prosesi
1980- Bulanık Durumsal Çıkarım
1983- Olasılıklı Bulanık Kümeleri Kontrolü
1983- Bulanık Kontrol Kurallarının Türetilmesi
1983- Öngörülü Bulanık Kontrol
1984- Bir Model Arabanın Parketme Kontrolü
1985- Bulanık Sistem Dengesi
1985- Bulanık Elektronik Yongası
1986- Bulanık Kontrolör Donanım Sistemi
1988- Yaklaşık Çıkarsama
1990- Bu tarihten itibaren olan gelişmeler şekil 3.7'de gösterilmektedir.

Ustaca bir uygulama Sugeno'nun bulanık arabasıydı. Bu, örneklerden öğrenme yeteneğine sahipti. En son olarak, predictive bulanık kontrol sistemleri önerildi ve başarılı bir şekilde otomatik tren operasyon sistemlerine ve otomatik taşıyıcı vinç operasyon sistemlerine uygulandı. Bu gelişmelerle paralel olarak, bir çok ilerleme bulanık donanım veya bulanık bilgisayarların kullanımında sağlandı [107]. Burada şu soru akla gelmektedir. Bulanık mantık niçin kullanılmaktadır. Aşağıda nedenleri belirtilmektedir:

1. Bulanık mantığı, kavramsal olarak anlamak kolaydır.
2. Bulanık mantık esnektir.
3. Bulanık mantık, kesin olmayan veriye toleranslıdır.

4. Bulanık mantık, keyfi kompleksliğe sahip doğrusal olmayan fonksiyonları modelliyebilir.
5. Bulanık mantık, uzmanların tecrübelerinin üzerine kurulabilir.
6. Bulanık mantık, geleneksel kontrol teknikleri ile beraber kullanılabilir.
7. Bulanık mantık, doğal dile dayanır [112].
8. Bulanık mantığa ait çıkarım algoritmaları kolaylıkla programlanabilir.
9. Bulanık mantık hızlıdır.
10. Bulanık mantık, “insana özgü tecrübe ile öğrenme” olayının kolayca modellenenebilmesi ve belirsiz kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine imkan tanımaktadır. Bundan dolayı bulanık mantık, doğrusal olmayan sistemlere yaklaşım yapabilmek için uygundur [18].



BÖLÜM 4. BULANIK MODELLEME ALGORİTMASI (SİSTEM TANIMLAMA)

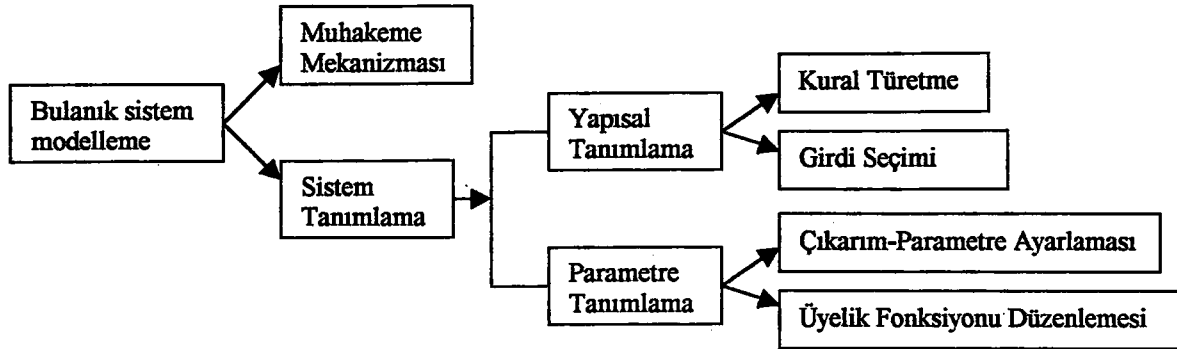
4.1. Giriş

Bir sistemin kontrol edilerek istenen kontrol davranışlarını göstermesinin sağlanması o sistemin analitik olarak tanımlanmasını gerektirmektedir. Fakat karmaşık sistemler bilinen ve bilinmeyen bir çok olay içerdiklerinden analitik metotlar ile kolayca modellenmeleri mümkün değildir. Hatta karmaşık bir sistemde doğrusal olmayan etmenlerin tamamı tanımlanarak, sistemin modeli oluşturulsa dahi, model çok karmaşık olacak ve gerçek zamanlı kontrol uygulamalarında kullanılamayacaktır. Analitik kontrol algoritmaları çok fazla miktarda bilgi gerektirirler, dolayısıyla gerçek zamanlı kontrol uygulamaları için uygun değildirler ve zeki bir davranışı gerçekleştiremezler. Karmaşık bir çok proses herhangi bir analitik modele ihtiyaç duyulmadan insanlar tarafından kontrol edilebilmektedir.

Bulanık sistem modelleme için sistem tanımlama prosedürü yapısal tanımlama ve parametre tanımlama olmak üzere 2 şekilde yapılabilmektedir. Yapısal tanımlama iki adımda gerçekleştirilmektedir. (i)Girdi değişkenleri aday girdi verileri arasından tanımlanmakta (ii)Girdi-çıkı ilişkileri (eğer-ise kuralları) tanımlanmaktadır. Bulanık gruplama, bulanık modelleme içerisinde objektif kural türetmenin sezgisel bir yaklaşımı olarak gözönüne alınmaktadır. Kısaca modelin gösterimi şekil 4.1' de gösterilen adımları içermektedir. Bu yaklaşım ile birlikte bulanık C-means kümeleme algoritması da kullanılarak, grupların bulanıklık düzeyleri ve sayısının optimal olarak belirlenmesi sağlanmaktadır [113][114].

Modellenecek sistemin girdi-çıkı değişkenlerinin tam olarak belirlenmesi gerekir. Bu durum diğer bütün sistem modelleme problemleri içinde geçerli olmaktadır. Gruplama teknikleri bulanık modellemede sistem düzeyini tanıtmada

kullanılmaktadır. Bu teknikler oldukça sezgisel yaklaşımlara dayanmakta, dolayısıyla gruplama tekniklerinin uymayacağı bir veri kümesi yok gibidir [115].



Şekil 4.1 Bulanık Sistem Modelleme Akış Diyagramı

4.2. Kural Oluşturma, Bulanık Gruplama

Objektif kural türetmeye sezgisel bir yaklaşım, girdi-çıkı verilerinin gruplanmasına bağlıdır. Girdi değişken sayısı çok olan sistemler için Sugeno [117] tarafından basit ve uygulanabilir bir metot önerilmiştir. Bu yaklaşıma göre, ilk olarak çıktı uzayı kümelenir ve bu uzay bulanık modellemede tek boyutlu bir uzay olarak kabul edilir. Girdi uzayının bulanık olarak gruplanması için çıktı küme uzayının her bir girdi değişkeni ile ayrı ayrı izdüşümü alınarak bir sonraki adım olarak tanımlanır. Bu işlemlerden sonra, kural oluşturma adımı, girdi değişkenlerinin seçilmesi adımıyla ayrılmaktadır [114].

Bulanık gruplama düşüncesi çıktı verilerinin bulanık gruplara ayrılmasıdır. Bu nedenle her kümedeki veriler $[0,1]$ aralığında üyelik dereceleri ile tanımlanır. $X=\{x_1, x_2, \dots, x_N\} \subset R^h$ etiketlenmemiş verileri kümelenerek, X uzayındaki vektörlerin c sayıda gruplara ayrılması sağlanır. Burada N , veri vektörlerinin sayısı ve h , her bir veri vektörünün boyutudur. X uzayının c sayıda gruba ayrılması ile u_{ik} üyelik değerlerinin kümesi bulunur ve $(c \times N)$ şeklinde $U=[u_{ik}]$ matrisi olarak sıralanır. Bulanık kümeleme problemi optimum üyelik matrisi U 'nın tespit edilmesini amaçlamaktadır. X uzayının bulanık olarak kümelenmesi için en sık kullanılan amaç fonksiyonu, gruplar arasında ağırlıklandırılmış hataların karelerinin

toplamını gösteren J_m amaç fonksiyonudur. Bu amaç fonksiyonu aşağıda tablo 4.1'de gösterilmektedir.

Tablo 4.1 J_m Amaç Fonksiyonu

$$\begin{aligned} \underset{u,v}{Min} \left\{ J_m(U,V;X) = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^c (u_{ik})^m \|x_k - v_i\|_A^2 \right\} \quad (1) \\ U \in M_{fcn} = \left\{ U \in R^{cN} \left| \begin{array}{l} 0 \leq u \leq 1, \forall_{i,k} \ \& \ \forall_k, u_{ik} > 0, \exists_i \\ 0 < \sum_{k=1}^N u_{ik} < n, \forall_i \ \& \ \sum_{i=1}^c u_{ik} = 1, \forall_k \end{array} \right. \right\} \end{aligned}$$

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_c\}$ bilinmeyen küme merkezinin vektörüdür. $\|x\|_A = \sqrt{x^T A x}$

bir iç çarpım normudur. A , $h \times h$ boyutunda pozitif tanımlı bir matris olup kümelerin şeklini belirtir. A matrisinin genel seçimi birim matris şeklindedir. Bu matris öklit uzunluğu ve küresel kümelerin tanımını verir. Bulanık bölme, aşağıdaki adımlar çerçevesinde bir ardışık optimizasyon olarak Bulanık C-means gruplama (tablo 4.2) algoritması ile gerçekleştirilmiştir.

Bulanık C-Means algoritması ile yapılan sistem tanımlamada üç önemli sorun bulunmaktadır. Bu sorunların sezgisel yaklaşımlar ile çözülmesi mümkündür. Sezgisel metotlar farklı optimum sonuçlar doğuracağından algoritmik metotlar ile bu sorunların çözümü en optimal noktalara ulaşmayı sağlayacaktır. Bu sorunlar şu şekilde sıralanabilir [113];

1. Grup sayısı c 'nin başlangıçta belirlenmesi için henüz kesin bir yaklaşım yoktur.
2. m üstel ağırlık değerinin optimal olarak seçimi için henüz teorik bir yaklaşım yoktur.
3. Tablo 4. 2 'de verilen 2 ve 3 şartları amaç fonksiyonu J_m 'in lokal en büyük ve en küçük noktaları için geçerlidir. Bu yüzden grup merkezlerinin uygun başlangıç konumlarını bilmek gerekmektedir.

3. Tablo 4. 2 'de verilen 2 ve 3 şartları amaç fonksiyonu J_m 'in lokal en büyük ve en küçük noktaları için geçerlidir. Bu yüzden grup merkezlerinin uygun başlangıç konumlarını bilmek gerekmektedir.

Bulanık sistem tanımlama ve modellemede, sistematik bir metodolojinin oluşturulmasında yukarıda sayılan problemler için genel bir metodoloji oluşturulmaktadır. Böylece yukarıda belirtilen ilk iki problem için teorik bir yaklaşım ortaya konmakta ve optimal grup sayısının belirlenmesi (c) için grup başlangıç konumlarının tespiti (v) ve üstel ağırlık değerinin (m) belirlenmesinde kullanılan algoritmalar ve yaklaşımlar tanımlanmaktadır.

Tablo 4.2 Bulanık C-means Gruplama İşaret Akış Diyagramı

1. Seçim Adımı:

Grup sayısı (c), ağırlık katsayısı (m), iterasyon limiti (iter) ve son verme kriterini

$$J_m(\|x_k - v_i\|_A), \text{ hata} = \|V_t - V_{t-1}\|$$

seçiniz. ($\epsilon > 0$)

$$V_0 = \{v_{1,0}, v_{2,0}, \dots, v_{c,0}\} \subset R^{ch}$$

2. Tahminleme Adımı:

Grup başlangıç durumunu tahminleyiniz.

3. İterasyon Adımı:

t=1 için

(2)

$$u_{ik,t} = \left[\sum_{j=1}^c \left(\frac{\|x_k - v_{i,t-1}\|_A}{\|x_k - v_{j,t-1}\|_A} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right]^{-1}$$

(3)

$$v_{i,t} = \frac{\sum_{k=1}^N (u_{ik,t})^m x_k}{\sum_{k=1}^N (u_{ik,t})^m}$$

Eğer, $\text{Hata} = \|V_t - V_{t-1}\| \leq \epsilon$, ise $(U_f, V_f) = (U_t, V_t)$ dir.

Bir sonraki t ye gidiniz.

4.2.1. Grup geçerliliği ve grup sayılarının belirlenmesi

Teorik olarak grup sayısının belirlenmesi, grupların uzaklık ve yakınlığının tanımlanması için genel bir yaklaşım olarak dağıtma kriteri uygulanmaktadır.

Grup içi ve arası bulanık dağıtma matrisi;

$$S_W = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^N (u_{ik})^m (x_k - v_i)(x_k - v_i)^T \quad (4)$$

$$S_B = \sum_{i=1}^c \left(\sum_{k=1}^N (u_{ik})^m \right) \left(v_i - \bar{v} \right) \left(v_i - \bar{v} \right)^T \quad (5)$$

$$\bar{v} = \frac{1}{\sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^N (u_{ik})^m} \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^N (u_{ik})^m x_k \quad (6)$$

$$v_i = \frac{1}{\sum_{k=1}^N (u_{ik})^m} \sum_{k=1}^N (u_{ik})^m x_k \quad (7)$$

Bulanık toplam ortalama vektör, $\bar{v}$, bulanık parçalar içindeki her bir gruptaki üyelikleri göz önüne alarak verilerin ağırlıklı bir ortalamasıdır. Gruplama işleminin en iyi şekilde gerçekleşmesi için S_W indeksinin minimize edilmesi gerekir, böylece grup matrisi içinde bulanıklık arttırılmış olur. S_B indeksinin ise maksimize edilmesi gerekir, böylece oluşturulan gruplar arasındaki uzaklık arttırılmış ve küme grup boyutları kesin sınırları ile belirlenmiş olur. S_B , bulanık gruplar arasındaki uzaklığı gösteriyor ve S_W , bulanık grupların yakınlığı için bir indekstir. Başka bir ifadeyle,

$$S_{cs}(U, V; X) = iz(S_W) - iz(S_B) = iz(S_W - S_B) \quad (8)$$

$$= \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^N (U_{ik})^m (\|X_k - V_i\|^2 - \|V_i - \bar{V}\|^2)$$

Fukayama-sugeno indekslerinin tersine v, toplam ortalama vektörün bulanık olarak genişletilmesidir. Fark, bulanık gruplama algoritmasında m ağırlık katsayısının büyük değerleri için önemlidir.

4.2.2. Üstel ağırlığın belirlenmesi

Bulanık gruplamada karar verilmesi gereken parametrelerden biri üstel ağırlık katsayısı (m) dir. Ağırlık katsayısı, veri kümesinde bulanık gruplar arasında üyeliklerin paylaşım derecelerini belirler. Bu nedenle, m üstel katsayı değeri (1,∞) arasında ne kadar büyük bir değer alırsa, veri noktalarına atanan üyelikler de o kadar bulanık olur. Yani m büyüdükçe oluşturulan üyelik fonksiyonu grafiklerinin (üçgensel veya yamuk) eğimi azalacak ve dolayısıyla bulanıklığı artacaktır. Üstel katsayı değerinin optimal olarak belirlenebilmesi için şu ana kadar henüz teorik bir yaklaşım önerilememiştir, genelde sezgisel metotlar ile hesaplama yapılmaktadır.

Grup geçerlilik kriteri (S_{cs}) gözönüne alınarak üstel ağırlığın optimal seçimi için bir kriter geliştirilecek olursa, S_{cs} 'nin grup doğruluğunun güvenilirlik performansında anlamlı olabilmesi için, m ağırlık katsayısının (1,∞) değerlerinin her ikisinden de uzak bir değer olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu şartları sağlamak için, m'nin ekstremum noktalarının tanımlanması gerekir. 1 sınır değeri son derece açık bir ifadedir, fakat m'nin sonsuz değer alabilmesi mümkün olamayacaktır. Bu değer optimal olarak tespit edilmesi eldeki verilere bağlı olmaktadır. Üstel katsayı (m) her endüstriye göre farklı değerler alacağından, proses verilerinin büyük önemi bulunmaktadır. Yani bir bulanık gruplama matrisi olarak S_T bu matrise bulanık toplam gruplama matrisi de denir, bir indeks olarak büyük bir değer alması gerektiğinde tanımlanır. Bu matris bulanık grup içi ve grup arası matrislerin toplamına eşittir.

$$S_T = S_W + S_B = \sum_{k=1}^N \left(\sum_{l=1}^c (u_{lk})^m \right) \left(x_k - \bar{v} \right) \left(x_k - \bar{v} \right)^T \quad (9)$$

$$K = \text{iz} \left(\sum_{k=1}^N \left[\left(x_k - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k \right) \left(x_k - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k \right)^T \right] \right) \quad (10)$$

m değeri (1, ∞) arasında değerler alırken, bulanık gruplama matrisi S_T sabit bir K değerinden sıfıra monoton olarak azalır. K sadece veri kümesine bağlıdır. Gruplandırılacak bir veri kümesi için üstel ağırlık (m), K/2 değerine eşit olacak bir noktada alınmaktadır. S_T bulanık toplam gruplama matrisi küme sayısının bir fonksiyonu olduğu gibi üstel değerin de bir fonksiyonudur.

4.2.3. Grup merkezlerinin başlangıç konumları

Bulanık C-Means algoritması, sadece lokal minimumlara ulaşabilmekte veya kısmi olarak optimal noktaları yakalayabilmektedir. Bu nedenle, tahmin edilen farklı başlangıç noktaları farklı optimum noktaların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu durum, gruplama analizinde olduğu kadar kümelerin geçerliliğinde de etkili olmaktadır [116]. Grup merkezleri için kullanılan algoritma, Agglomeratif gruplama algoritmasıdır. Bu algoritma bulanık C-Means gruplamada, grup başlangıç konumu için uygun bir prosedür oluşturmaktadır. Algoritma tablo 4.3'te gösterilmektedir. En önemli avantajı, bulunan verilerin birer C-hard grup olmasıdır. Böylece bulanık gruplama prosedürü için iyi bir başlangıç bulunmaktadır. Bu metot ile başlangıç verileri olmadan bir başlangıç noktası seçilebilir. Bu yaklaşım, farklı başlangıç noktalarının rassal olarak tahmin edilmesinden daha etkin sonuçlar vermektedir. Bu algoritma yerine, grupların başlangıç konumlarının rassal olarak da tespit edilmesi mümkündür. Ancak, bu durumda, grup merkezleri için farklı başlangıç noktalarının seçilmesi söz konusu olacaktır.

Tablo 4.3 Grup Merkezlerinin Başlangıç Konumunu Veren İşaret Akış Diyagramı

Adım1: SEÇİM

Grup sayısı (c) ve farklılık matrisini $D = [d_{ij}]$, Öklit uzaklığına göre seç

$$d_{ij} = d(X_i, X_j) = \sqrt{\frac{2n_i n_j}{n_i + n_j}} \|V_{hi}^* - V_{hj}\|$$

Burada, V_{hi} ve V_{hj} , X_i ve X_j grupların ortalama vektörüdür.

Adım2: ÇEVİRİM

$t=n$ 'den c 'ye : ve $X_{i,n} = x_i$, $i=1,2,\dots,n$. minimum d_{ij} 'ji veren ayrı grup çiftlerini bul.

Yani, $X_{i,t}$ ve $X_{j,t}$

BİRLEŞTİR $X_{i,t}$ ve $X_{j,t}$

TEMİZLE $X_{j,t}$

Bir sonraki t 'ye gidiniz

4.2.4. Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması: sınıflandırma problemi

Bulanık modelleme algoritmasında, çıkış değişkenlerinin verileri bulanık gruplara ayrılır. Bulanık grupların, bütün çıktı uzayına atanarak genişletilmesi, sınıflandırma prosesi olarak adlandırılır. Gruplama işlemlerinde, $X \subset R^h$ veri kümesinin uygun bir bölüşümü yapılır. Oysa sınıflandırma prosesinde, bütün R^h uzayındaki her veri noktası etiketlenmiştir. Bu nedenle, bütün çıktı uzayı için üyelik fonksiyonlarının oluşturulması problemi bir sınıflandırma problemidir. Etiketlenmiş veriler kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir [117]. Çıkış parametrelerinin verilerini gruplama işlemi, bütün çıktı uzayı için uygun sınıflandırıcıların tasarlanmasıyla mümkündür. En yakın komşuluk olarak isimlendirilen sınıflandırma metodunun bulanık bir versiyonu Keller [120] tarafından ortaya atılmıştır. Algoritması tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4 Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması ve Sınıflandırılması

Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması ve sınıflandırma algoritması 1. Türetme Adımı: Üyelik fonksiyonunun derecesi $U = [u_{ij}]$ ve $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \subset R^p$ 2. Seçim Adımı: komşuluk (k) sayısı: $1 \leq k \leq n$ ve uzaklık normunu $x_i - x_j$ olarak seçiniz. 3. Bulma Adımı: $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ arasında en yakın komşuluğu olan x' i bulunuz. 4. Döngü Adımı: $i = 1$'den c'ye, i sınıfında x üyelik derecelerini hesaplayınız, bunun için; $u_i(x) = \frac{\sum_{j=1}^k u_{ij} \left(\ x - x_j\ ^{\frac{2}{m-1}} \right)^{-1}}{\sum_{j=1}^k \left(\ x - x_j\ ^{\frac{2}{m-1}} \right)^{-1}} \text{ bağıntısı}$

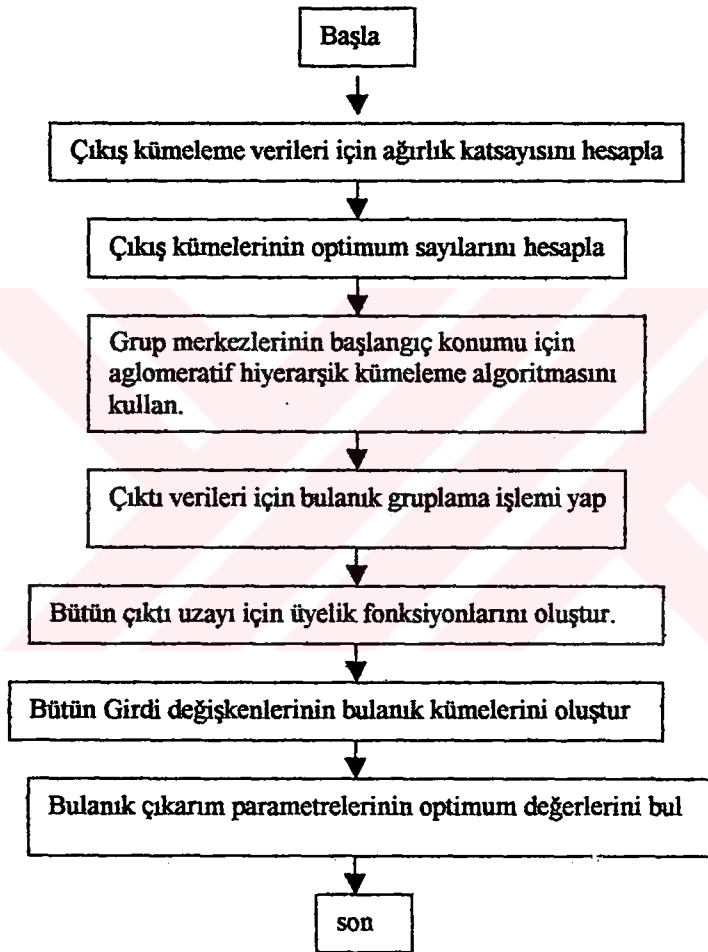
4.2.5. Girdi seçimi ve girdi üyeliklerinin atanması

Bulanık sistem tanıtımda girdi seçimi safhası çok sayıda aday girdi arasında en çok baskın olan girdi değişkenlerinin bulunmasıdır. Girdi seçimi için uygun bir metot Sugeno ve Yakusawa [117] tarafından önerilmektedir. Bu yaklaşımda aday girdilerin bütün kombinasyonları gözönüne alınarak belirli bir kriteri en minimize eden değerler seçilir.

Bu yaklaşımın en büyük eksikliği, sisteme etki eden girdi değişken sayısı fazla olduğu zaman, çok sayıda değişkenin etkisi ve bu değişkenlerin kombinasyonunun gözönüne alınmasıdır. Bunun yanında, bu adımın parametre tanımlama prosedüründen ayrılması gerekir. Girdi seçim işlemleri çok daha etkin bir metot ile çözülebilmektedir. Bu çalışmada, girdi seçimi doğrudan girdi üyelik fonksiyonlarının

oluşturulmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bulanık sınıflandırma ile her bir girdi adayı için üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Her bir grup için, çıktı üyelik derecesi bire eşit veya yakın olan noktaların aynı girdi üyelik derecelerini verdiği kabul edilmiştir.

Ayrıca, sistem operatörü ile yapılan mülakatlar ve literatür çalışmaları, sisteme etki eden parametrelerin optimal olarak belirlenmesini sağlamıştır. Dolayısıyla girdi parametrelerinin seçimi esnasında herhangi bir eliminasyona gidilmemiştir.



Şekil 4.2 Bulanık Sistem Modelleme İşaret Akış Diyagramı

Bu çalışmada çok girdisi ve çok çıktısı bulunan FCC sisteminin durum değişkenleri ve kontrol değişkenleri belirlenerek, bu değişkenlerden prosesin bulanık bir modeli ortaya çıkarılmıştır. Kullanılan algoritmalarla amaçlanan, bulanık modellemede sezgisel yaklaşımlar yerine analitik yaklaşımlar kullanarak, sistemin bulanık

modelini oluşturmak ve kontrol kurallarının türetilmesini sağlamaktır. Bulanık modelin oluşturulması bir çok evreyi gerektirmektedir. Bunların en önemlilerinden biri muhakeme mekanizmasıdır. Bu mekanizma bilginin bulanık modelde işlenerek kural haline getirilmesidir. Günümüzde kullanılan bulanık modelleme metotlarında, sezgisel metotlar kullanılmaktadır. Model için gerekli adımlar şekil 4.2’de verilmiştir. Eğer bir prosesin bulanık modeli biliniyor ise, bulanık kontrolörler daha karmaşık metotlar ile tasarlanabilir. Kontrol teorisinde de aynı yöntem uygulanmaktadır. Proses modeli ile kastedilen girdi, durum değişkenleri ve çıktılardan sağlanan bulanık kurallar kullanılarak belirlenen bulanık davranışlar kümesi ile bir prosesin özelliklerinin ifade edilmesidir [115].

4.2.6. Bulanık muhakeme ve bulanık çıkarım mekanizması

Bulanık mantık kavramı, makinelere insanların kişisel düşüncelerini işleyebilme ve onların deneyimlerinden ve önsezilerinden faydalanarak çalışabilme imkanı sağlar. Böylece insana ait çıkarım şeklinin veya karar verme tarzının kontrolör veya başka sistemlere uygulanması mümkün olur [119].

Bulanık modellemedeki ana işlemlerden biri muhakeme mekanizmasıdır. Muhakeme mekanizması; ulaşılan sistem bilgilerinin kurallara dönüştürölmesi, oluşturulan kural kümesinin toplanması ve çıkarım yapılan bulanık değerlerin bulanık olmayan değerlere dönüştürölmesi işlemlerini kapsamaktadır.

Bulanık çıkarım sistemi muhakeme ve bulanık eğer-ise kurallarına dayanan bir hesaplama metodudur. Bulanık çıkarım sisteminin bir çok uygulamaları bulunmaktadır. Bulanık çıkarım sisteminin temel yapısı üç kavramsal ögeden oluşmaktadır; bulanık kuralların seçimi, bulanık kuralların üyelik fonksiyonlarının tanımlanması ve çıkarım prosedüründen oluşmaktadır. Bulanık kurallar ve tanımlanan üyelik fonksiyonlarına göre çıkarım prosedürü çalışmamızda mantıklı sonuçlar üretmektedir.

4.2.7. Bulanık kontrol kurallarının (proses durum değişkenleri ve kontrol değişkenlerinin) seçimi

Bulanık kontrol kuralları, sayısal terimlerden ziyade dilsel olarak daha uygun formüle ediliyor. Proses durum değişkenleri ve kontrol değişkenlerinin uygun seçimi, bir bulanık sistemin operasyonunun özelliğine temeldir. Dahası, dilsel değişkenlerin seçimi, bulanık mantık kontrolörünün performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Tecrübe ve mühendislik bilgisi, bu seçim aşaması esnasında önemli bir rol oynar. Özellikle, dilsel değişkenler ve onların üyelik fonksiyonunun seçimi, bulanık mantık kontrolörünün dilsel yapısı üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Tipik olarak, bulanık mantık kontrolördeki, dilsel değişkenler; durum, durum hatası, durum hata türevi, durum hata integrali, v.b. gibidir.

4.3. Tüpraş Rafinerisindeki Proses Değişkenleri

Kuruluş amacı, ham petrol ünitesinin vakum kolonu orta ürünü olan HVGO'yu (ağır vakumlu şarj) kullanım değeri daha yüksek olan ürünlere dönüştürmektir. Tasarım kapasitesi, 1750 m³/gün (2200 m³/gün) çalıştırılmaktadır. Şarj özellikleri, 20-25 API, %0.05-0.3 Konradson Karbon dur.

Rafinerinin FCC ünitesinde kullanacağımız değişkenler şunlardır;

1. Rejen Seviyesi (manuel)
2. Rejen yatak sıcaklığı (manuel)
3. Rejen orta sıcaklığı (manuel)
4. Rejen baca sıcaklığı (manuel)
5. Rejen basıncı (otomatik)
6. Reaktör basıncı (otomatik)
7. Reaktör seviyesi (otomatik-manuel)
8. Rayzer (Yükseltici) sıcaklığı (manuel)
9. Frakşınaytır (Ayırma kolonu) dip basıncı (otomatik-manuel)
10. Frakşınaytır seviyesi (otomatik-manuel)
11. Frakşınaytır reflüx (tepe) dram basıncı(otomatik-manuel)
12. PdRC-1 (Rejen-Reaktör Basınç diferansiyeli (otomatik)

13. Şarjın rayzere giriş sıcaklığı (manuel)
14. Rejene verilen hava miktarı (manuel)
15. Katalist sirkülasyon miktarı (manuel)
16. Dip ürün (slurry) miktarı (otomatik)
17. Kompresör devri (manuel)
18. Toplam şarj miktarı (otomatik-manuel)

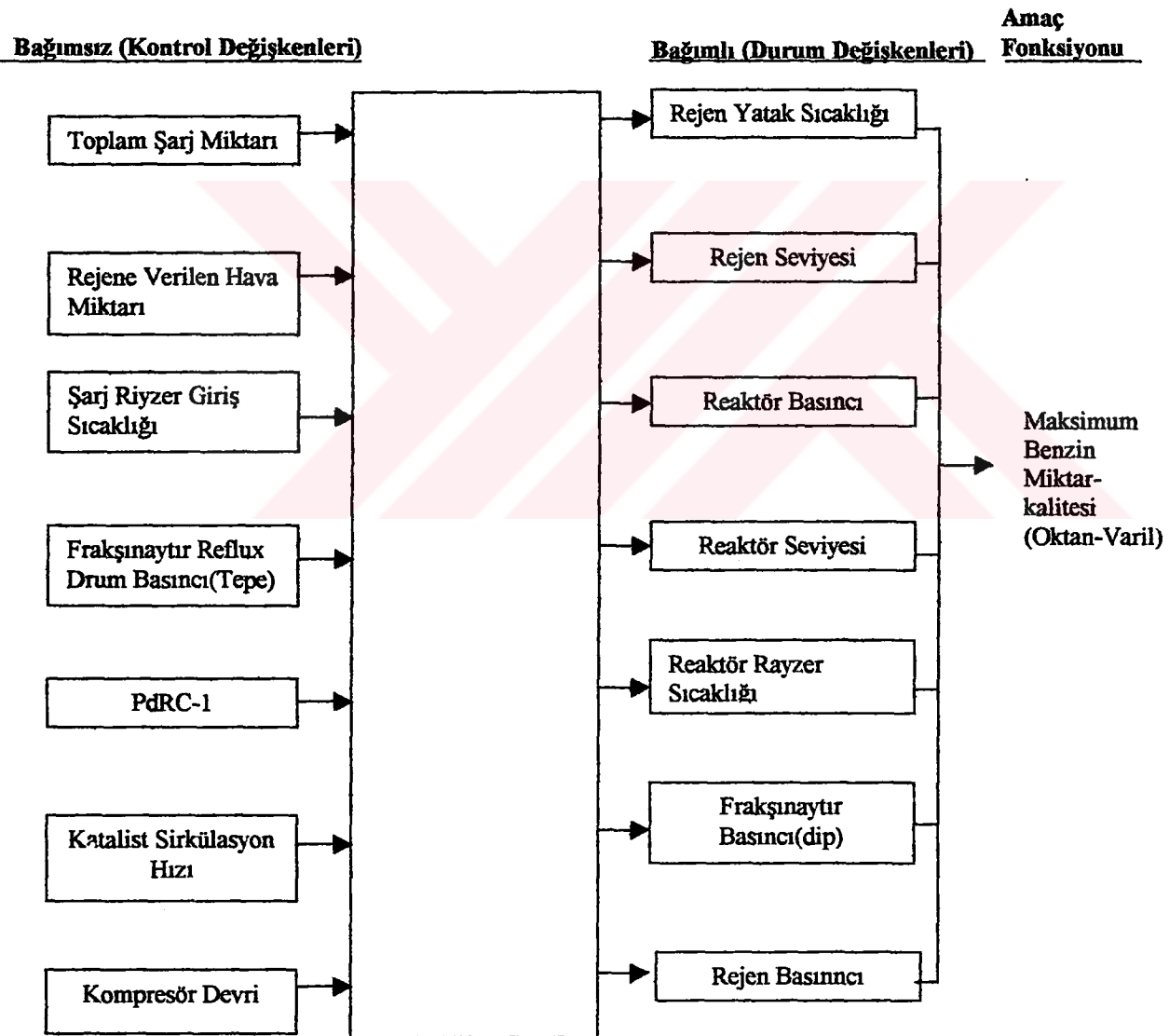
Proses mühendisiyle yapılan karşılıklı mülakat neticesinde; rejen yatak sıcaklığının rejen orta sıcaklığı ve rejen baca sıcaklığının bir göstergesi olması sebebiyle bu değişkenler elimine edilmiştir. Frakşınaytır seviyesi, rafinerinin 15 günde bir alınan özet raporunda görünmediği ve ihmal edilebilir olduğu için bu sistemde tanımlanmamıştır. Dip ürün (slurry) miktarının etkisinin sistemde ihmal edilebilir düzeyde olması bu değişkeni de göz ardı etmemizi gerektirmektedir. Daha önceden de söylendiği gibi, FCC ünitesi doğrusal olmayan, kompleks ve değişkenleri arasında karşılıklı ilişkileri olan bir sistemdir. Bundan dolayı şarj API, Viskozite, şarj UOP K faktörü, konradson karbon, CO₂/CO, LECO karbon (%) tanımları da sistemde bozucu girdi değişkenleri olarak alınmıştır. Bu son sayılan bozucu değişkenler, şarj ve katalistin özelliklerine bağlı olarak tanımlanan değişkenlerdir. Dolaylı veya direkt olarak sisteme etki ederler. Tanımlanan değişkenler Oktan-varil miktarının (Benzinin hem kalite hem de kantite açısından miktarını göstermektedir) maksimize edilebilmesine bağlıdır. Buna göre değişkenleri şekil 4.3'deki kısaltmalarıyla tekrar yazabiliriz.

FCCU, çok girdili-çok çıktılı, doğrusal olmayan, doğası gereği önemli ölçüde belirsiz davranışlara sahip, dağılmış parametrelili, zamanla değişen, sistem değişkenleri arasında karşılıklı kuvvetli ilişkiye sahip ve iç geri beslemeli bir sistemdir. Bu sistemde bulanık modelleme ve çıkarımın daha doğru yapılabilmesi için ünitenin en önemli çıktısı olan benzinin oktan-varil miktarının maksimizasyonu baz alınarak sistem çok girdi tek çıktılı hale dönüştürülmüştür. Son birkaç 10 yılda, FCC için optimal kontrolde dinamik bir model geliştirebilmek için, bir çok çaba sarfedildi. Geliştirilen çoğu sistemler, temelde proses prensibine ve matematik model tabanlı parametre tahminlemesi tekniklerine dayandığı için ve matematik modeller gerçek

zamanlı optimizasyon amacına uygulanamayacak kadar karmaşık olmakta ve sistemi tam olarak yansıtamamaktadır.

FCC ünitesi reaktör, rejeneratör ve frakşınaytır kısmından oluşmaktadır. Şu ana kadar yapılan modelleme ve kontrol çalışmaları daha önceden de söylendiği gibi sadece reaktör veya rejeneratör ya da reaktör-rejeneratör ikilisini ele aldığı için yapılan çalışmada bu sistemin bir parçası olarak frakşınaytır da bulanık sistem modellemede ele alınmıştır

Rafineri FCC ünitesinin Durum ve Kontrol değişkenlerini aşağıdaki şemada göstermektedir.



Şekil 4.3 İzmit TÜPRAŞ FCC Ünitesinin Değişkenleri

Karmaşık ilişkileri basitleştirmek için bulanık kurallarla ilgili şöyle bir fonksiyon yazılabilir;

$$C = F(U1, U2, U3, U4, U5, U6, U7, X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7)$$

- $F(*)$, bulanık kural tabanını tanımlayan bulanık operatör
- C, Reaksiyon Dönüşüm Hızı
- U1, Toplam Şarj Miktarı
- U2, Rejene Verilen hava miktarı
- U3, Şarj Riyzer Giriş Sıcaklığı
- U4, Frakşınaytır Reflux Dram Basıncı (Tepe)
- U5, PdRC-1 (Rejeneratör-Reaktör Basınç Diferansiyeli)
- U6, Katalist Sirkülasyon Hızı
- U7, Kompresör Devri
- X1, Rejen Yatak sıcaklığı
- X2, Rejen seviyesi
- X3, Reaktör Basıncı
- X4, Reaktör Seviyesi
- X5, Reaktör riyzer Sıcaklığı
- X6, Frakşınaytır Basıncı (Dip)
- X7, Rejen Basıncı

Sayısal bir çözüm elde etmek için, yapısal (sembolik) bilgi temsili ile bulanık kural tabanı, sayısal bir çatı altında bulanık ilişkisel modeline dönüştürülebilmektedir.

Sonuç olarak, bulanık model, sayısal işlemler ile yapılabilir. İşletim şartları ve parçalanma reaksiyonu ürün dağılımı arasında sayısal ilişkileri açıklayan bulanık ilişkisel model aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir;

$$Y_j(k) = U1(k) \circ U2(k) \circ U3(k) \circ U4(k) \circ U5(k) \circ U6(k) \circ U7(k) \circ X1(k) \circ X2(k) \circ X3(k) \circ X4(k) \circ X5(k) \circ X6(k) \circ X7(k) \circ R_j(k) \quad j=1,4$$

- Y1, Benzin Miktarı(oktan-varil)
- Y2, Hafif dizel(ürün) miktarı

- Y3, Ağır dizel(ürün) miktarı
- Y4, Parçalanmış ürün Miktarı

Parçalanmış ürün bazlı FCCU optimizasyon kontrolü, üretim kısıtları altında ihtiyaç duyulan ürünlerin maksimum miktarını içeren bir kriter ile yapılabilir. Genelde, istenen kriter, takip eden 3 opsiyondan seçilebilir;

1. Maksimum benzin ürün miktarı
2. Maksimum hafif dizel ürün miktarı
3. Maksimum hafif ürün (Benzin+LPG) miktarı

Geneli tanımdan kopmadan, bir örnek olarak opsiyon 1'i ele aldığımızda; gerçek-zamanlı optimizasyon kontrol problemi takip edildiği şekilde açıklanabilir [83];

Max Y1
U1, ..., X7

K.A

$Y1(k) = U1 \circ \dots \circ X7 \circ R1$

$Y2(k) = U1 \circ \dots \circ X7 \circ R2$

$U_i \min \leq U_i \leq U_i \max \quad i=1,4$

$Y1 \geq Y1\min$ ve diğer ilişkili kısıtları

FCC prosesi, katalist, donanım ve proses teknolojisini, optimal sonuçları elde etmek için bir araya getiriyor. FCC proses teknolojisinin temel elemanları:

- çalışma stratejisi, kararlı durum optimizasyonu
- proses kontrol
- çevresel kontrol
- rafineri enerji dengesi ve diğer rafineri birimleri ile entegrasyon

FCC prosesi, rafineri karlılığında önemli bir faktördür ve günümüzde gittikçe önemi artan bir prosestir. Değişen talepleri karşılama kabiliyetinden dolayı neredeyse 60 yıldır en karlı ve esnek rafineri prosesi olmaktadır. FCC, şarjı çok esnek olan ve sürekli değişen bir yapıya sahiptir. FCC gerçekten esnek ve müstesna bir teknolojidir [12]. FCC ünitesinde, ne kadar çok benzin dönüşümü üniteye gerçekleşmişse o kadar verimli çalışmanın gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Daha da önemlisi teknik servisler müdürlüğünün FCC ünitesi verimli çalışmasını gösteren oktan-varil hesabı olmaktadır.

Oktan-varil miktarı=corrected benzin/0.159*oktan sayısı

Çünkü, sadece benzin dönüşümünün çok olması yetmemekte bunun yanında oktan sayısının da yüksek olması gerekmektedir. Bu kriter baz alınarak ünitenin verimliliği ölçülmektedir.

4.3.1. Rafinerinin global planlama ve optimizasyonu

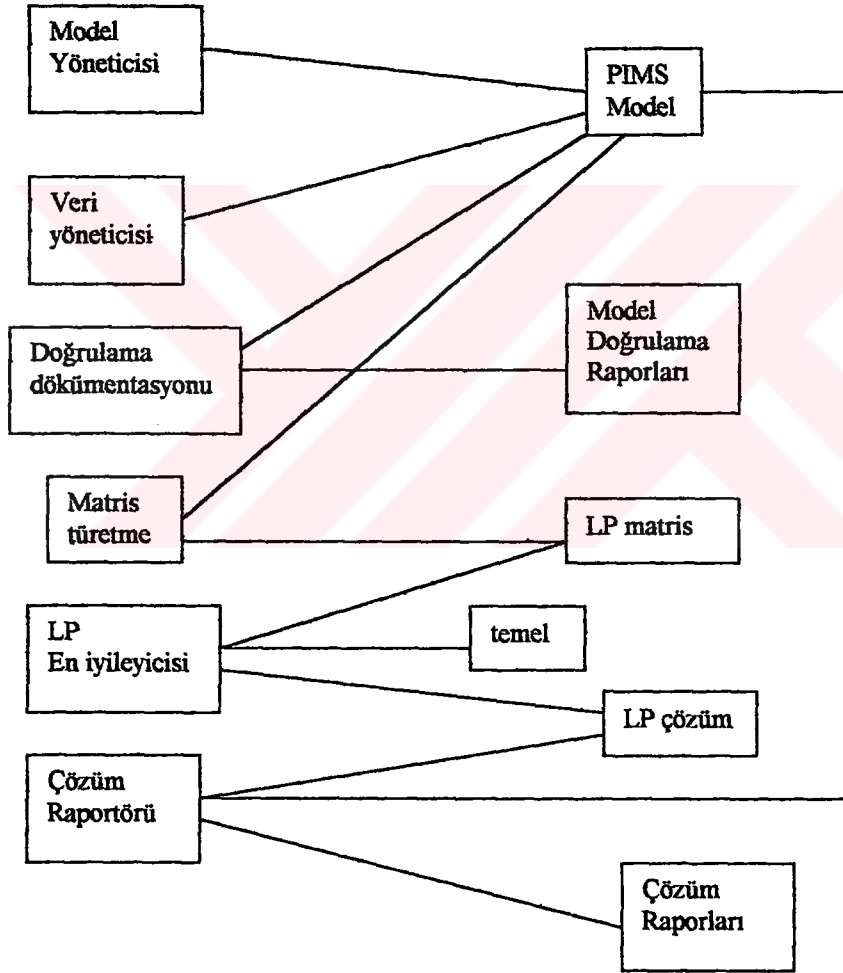
İZMİT TÜPRAŞ rafinerisinde, rafineri çapında operasyon planlama PIMS paket programıyla yapılmaktadır. Planlama yıllık, aylık ve haftalık bazda ele alınmaktadır. Örnek bir PIMS şeması aşağıda gösterilmektedir. Ham petrol, piyasanın talebine göre işlenmektedir. Her tanktan her ünite şarj alamamaktadır. Tankların, belirli bir stok kapasitesi bulunmaktadır. Talep değişimlerine göre ürünler, eğer fazla üretim yapılıyorsa stoğa, tam tersi durumda ise talep, stoktan karşılanmaktadır. Ürünlerin ünitelerden hangi miktarda çekileceğine yine planlama bölümünde karar verilmektedir. PIMS paket programının görünüşü aşağıda özetlenmektedir

a. PIMS Model Yöneticisi: Hangi modellerin bilgisayarda bulunduğunu, hangi tabloların modeli meydana getirdiğine göz atmak ve yeni modelleri yapılandırmak ve bir modelden diğerine bütün tabloları kopyalamak için kullanılır. Son özellik, var olan benzer modeli kopyalıyarak yeni bir model başlatmak için uygun bir yol sağlar.

b. PIMS Veri Yöneticisi: modeldeki tabloları oluşturma, düzeltme ve silmek için kullanılıyor. Veri yönetimi prosesinde kullanıcı, giriş tablosu ile programın tümünü

kullanabilir. Veri yöneticisi, çözüm raportörü tarafından oluşturularak, çalışma tablosuna yeniden ulaşabilir ki bunlar model çözümünün özet raporlarını içerirler. Bu çalışma tabloları kendi raporlarını oluşturabilmek için kullanıcı tarafından manipule edilebilirler.

c. Onaylama Raportörü: modeldeki verinin bütünlüğünü kontrol etmek ve orada bulunan verileri özetlemek için kullanılıyor. Yapılan kontroller bu manuele daha sonra detaylandırılıyor.



Şekil 4.4 Proses Endüstri Modelleme Sistem Akış Şeması

d. PIMS Model Dökümenteri: Modeldeki bütün girdi veri tablolarının çıktısını alabilmek için kullanılıyor.

e. Matris Türetici: PIMS sisteminin köşe taşıdır. Prosesin madde dengesi, proses teknolojisi, proses ekonomisini temsil eden doğrusal programlama modelini otomatik olarak oluşturur ve modeldeki verileri elde eder.

f. PIMS'de kullanılan doğrusal programlama en iyileyicisi, PIMSLP'dir. PIMS matris optimizasyonu için hayli etkin bir programdır. PIMSLP matris türeticisi tarafından oluşturulan kütükten matrisi okur, optimize eder ve disk kütüğüne optimal çözümü yazar.

g. PIMS sisteminde son modül, çözüm raportörüdür. Raportör, çözüm kütüğünden optimize çözümü alır ve özet ve/veya yönetim raporlarını türetir.

FCC prosesinin temel ihtiyacı, operasyonda esnekliktir. Operasyonel şartlar şarj, katalist ve istenen ürünlerin özellikleri ile belirleniyor. Temel operasyon, reaktör ve rejeneratörün hidrolik davranışı ve lineer olmayan ısı, kitle ve momentum dengelerinin karşılıklı ilişkileri ile baskın haldedir. Bunlar reaksiyon sıcaklığı ve ısı üretim hızını belirler. Proses bağımsız olarak operasyonel değişkenlerin değişmesiyle basit bir şekilde kontrol edilememektedir.

Katalitik parçalamaya yüklenen şarjın kalitesi, muhtemelen birimin performansını etkileyen en büyük tek faktördür. Bundan dolayı, şarjın sık sık analiz edilmesi temeldir [37]. Çalışma değişkenleri, katalist ve birim mekanik şartı gibi diğer faktörler'de birimin performansını etkiliyor.

Ünitede kısa dönemli ele alınan ve aşılması gereken sorunlar;

1. Şarj tüketim miktarı,
2. Yatak sıcaklıkları,
3. Benzin dönüşümü olmaktadır.

FCC'nin karlılığını arttırıcı diğer önemli kurallar:

1. Maksimum benzin oktan üretimi için reaktör sıcaklığının arttırılması
2. Dönüşümü arttırmak için katalist sirkülasyonunun arttırılması
3. Ek dipleri yok etmek için resid içeriğinin arttırılması
4. Artan ürün talebini karşılamak için şarj miktarının arttırılması
5. Dönüşümü ve benzin seçiciliğini iyileştirmek için katalist aktivitesinin arttırılması
6. Daha çok dipleri ortadan kaldırmak için rısaykılın arttırılması
7. Daha az kok üretimi için CO₂/CO'nun arttırılması.

Sadece sistemi tek bir kuralla tanımlayabilmek için 3 dilsel değişken baz alınarak 98 tane kural yazılmaktadır. Sistemin tam ve doğru bir şekilde modellenenebilmesi için 7 kontrol değişkeninin kombinasyonları 7 durum değişkeni için göz önüne alınarak kuralların türetilmesi gerekmektedir. Buna bağlı olarak gerçek zamanlı kontrolün yapılması imkansız hale gelmektedir. Çünkü, sadece 7 kontrol ve 7 durum değişkeni için sistemin tam ve doğru bir şekilde tanımlanabilmesi için 20000'den fazla kural gerekmektedir. Bundan dolayı bulanık kural tabanlı yaklaşım daha kısa ve uygun sonuçlar vermektedir.

Yukarıda anlatılan teorik bilgilere dayanarak, Rafineri FCC ünitesine ait gerçek verileri uygulamak suretiyle bulanık sistem modelleme aynı sistematik içinde aşağıda verilmeye çalışılmaktadır.

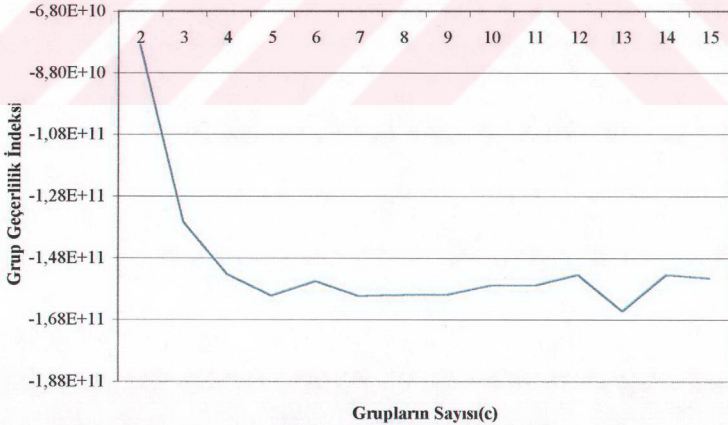
BÖLÜM 5. UYGULAMA

5.1. Bulanık Gruplama

Bu adımda, rafineriden elde edilen 119 veri 137 iterasyonda bulanık gruplama algoritmasına göre tablo 4.2' de gösterildiği gibi gruplandırılmış ve grup sayısı 13 olarak bulunmuştur. Algoritmanın durabilmesi için verilen hata değeri 10^{-6} alınarak bulanık grup sayısının tespiti hassaslaştırılmıştır.

5.2. Grup Geçerliliği ve Grup Sayılarının Belirlenmesi

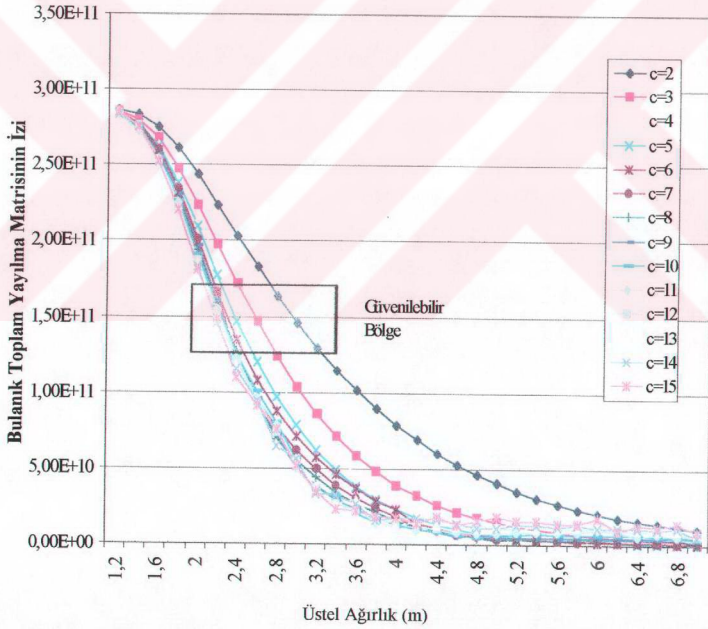
Bu adımda, gruplar arası bulanık dağıtım matrisi ve gruplar içi bulanık dağıtım matrisi bulunmuştur. Buradan grup geçerliliği indeksine (S_{cs}) göre şekil 5.1'te de görüldüğü gibi grup sayısı tespit edilmektedir. S_{cs} 'ye karşılık gelen minimum değer grup sayısını vermektedir. Bu da 13 grup olarak elde edilmiştir.



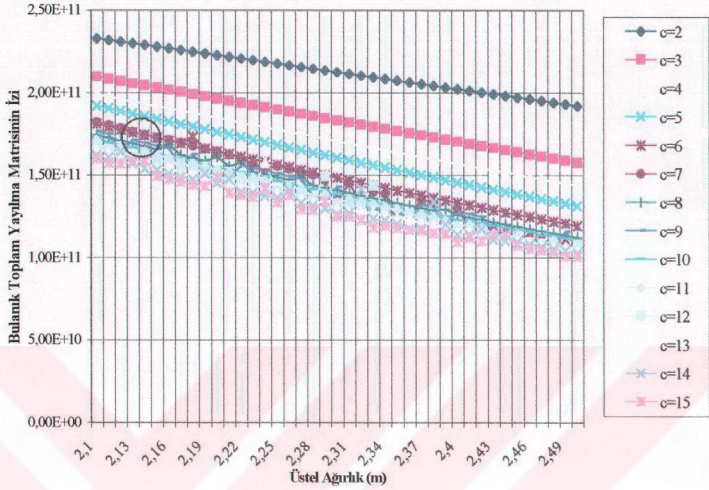
Şekil 5.1 Gruplara Karşılık Gelen Grup Geçerlilik İndeksi S_{cs}

5.3. Üstel Ağırlığın Belirlenmesi

m değeri 1 ile sonsuz arasında bir değerdir. Buna göre 1.2'den başlatarak 7'ye kadar 0.2'lik adımlarla m yi çoğaltırken eş zamanlı olarak grup sayısı olan c'yi de 2'den başlatarak 15'e kadar bulanık toplam yayılma matrisinin izini hesaplıyoruz. Burada m'değeri şekil 4.6'dan da görüldüğü gibi 2.1 ile 2.5 arasında bir değer çıkmaktadır. m değerinin öneminden dolayı daha hassas bir değer bulabilmek için bu defa m'yi 2.1'den 2.5'e kadar 0.01 lik adımlarla bu arada eş zamanlı olarak c'yi de 2'den 15'e kadar artırarak yine m değeri bulunmaya çalışılmıştır. Burada $K=300000$ bulunmuştur. Buradan güvenilir bölge 150000 (K değerinin yarısına karşılık gelmektedir). Şekil 5.2 ve şekil 5.3'den de görüldüğü gibi $m=2.15$ olarak bulunmuştur.



Şekil 5.2 Üstel Ağırlığın Belirlenmesi



Şekil 5.3 Üstel Ağırlığın Hassas Belirlenmesi

5.4. Grup Merkezlerinin Başlangıç Konumlarının Tespiti

Bu aşamada, tablo 4.3'deki agglomeratif hiyerarşik gruplama yaklaşımı ve k-means algoritması kullanılarak grupların başlangıç merkezleri tespit edilmiştir. Başlangıç vektörleri Ek B'de gösterilmektedir.

5.5. Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması ve Sınıflandırılması

Bu aşamaya gelindiğinde, m, c ve v değeri bilinmektedir. Bu değerleri kullanarak bulanık C-means algoritması tekrar çalıştırılmış ve U matrisi değerleri 137 iterasyonda bulunmuştur. 45 veri, gruplara çok yakın yerlerde olmasından dolayı etiketlenememiştir. Tablo 4.4'de verilen K-nn algoritması kullanılarak bu durum ortadan kaldırmıştır. Algoritmada komşuluk sayısı 5 alınmıştır. Bulunan 45 etiketlenmemiş veri içerisinde tek tek her bir komşulukta bulunan verilerin diğer verilere uzaklıkları hesaplanmıştır. Her bir gruba ait x verilerinin üyelik dereceleri

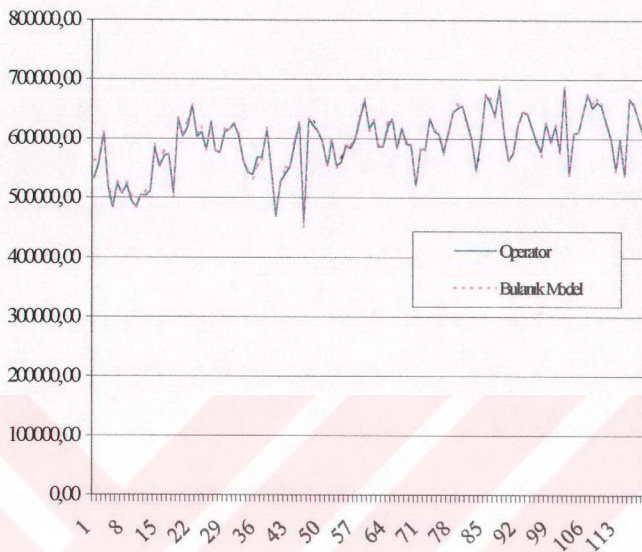
hesaplanmıştır. Böylece 45 verinin gruplar içinde sınıflandırılması sağlanmıştır. Ek C’de U matrisi gösterilmektedir.

5.6. Girdi Seçimi ve Girdi Üyeliklerinin Atanması

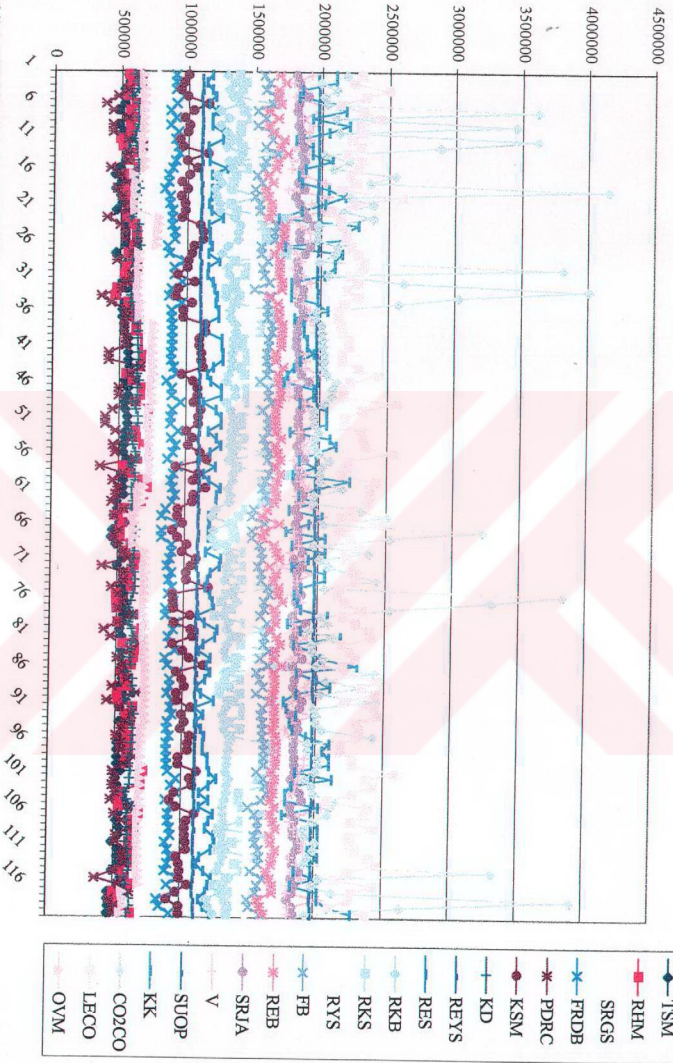
Bu adım, elimizdeki her bir grup (kural) için bulunan değişken üyelik fonksiyonlarının yamuk veya üçgensel olarak tanımlanması ve dolayısıyla kuralların oluşturulduğu bir safha olduğundan dolayı önemli bir adımdır. Oluşturulan üyelik değerlerine bağlı (Ek-D) üyelik fonksiyonları (Ek-E) eklerde gösterilmektedir.

5.7. Sonuç Çıktısının Elde Edilmesi

Elde edilen kurallar, MATLAB Toolbox olan bulanık çıkarım mekanizması (FIS) kullanılarak Mamdani tipi bir bulanık çıkarım sistemi oluşturularak sistem analiz edilmiştir. Bulanık çıkarım sisteminin yapılabilmesi için kullanılan kurallar, FCC Ünitesinin gerçek verileri girilerek bulanık C-means algoritması modele uygulanmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Bulanık modeli oluşturan kuralların, bir anlamda dilsel ifadesi Ek E’de verilmektedir. Bu kurallar sistem değişkenlerinin alabileceği sınır değerler arasında değerler alabilmektedir. Dolayısıyla bu sınır değerler arasında alınacak herhangi bir giriş değeri için bulanık bir değer bulunması mümkündür. Bulanık modeli tanımlayabilmek için belirlenen 20 değişken için 119 veri girilmiştir (Ek F). Değişkenlerin birbirlerini nasıl etkiledikleri şekil 5.5’de verilmektedir. Ayrıca yapılan çalışma sonucunda, benzinin oktan-varil miktarına dayalı bulanık model çıktı kontrol değişkenleri ile gerçek sistemden elde edilen değerler saptanarak şekil 5.4’de gösterilmiştir. Bu çalışmada durulama metodu olarak, maksimumların ortası tekniği kullanılmıştır.



Şekil 5.4 Gerçek Sistem ile Bulanık Sistem Benzin Oktan-Varil Çıktıları



Şekil 5.5 FCC Değişkenlerinin Değişim Grafiği

SONUÇLAR

- Kimyasal proses endüstrisinin önemi, ürettiği ürünlerin gündelik hayatımızdaki fonksiyonelliği ve yaygınlığı ile daha iyi anlaşılmaktadır. Bu endüstrinin en önemli parçası olan Rafineri sisteminin global ve lokal optimizasyonu bilgisayarla bütünleşik proses sayesinde gerçekleştirilebilmektedir. Toplam rafineri kontrol sistemi içerisinde Lojik kontrolün altında incelediğimiz bulanık modelleme çalışması, rafineri sistemi içerisinde önemli bir yer tutan FCC ünitesinde yapılmıştır. Temel olarak, operatörün sistemden elde ettiği çıktılarla, bulanık modelleme sonucu elde edilen çıktılar şekil 4.8’de kıyaslanarak modelin doğruluğu analiz edilmiştir. Başka bir deyişle operatörün davranışlarını bulanık modelleme ile sisteme öğretmiş oluyoruz.

- İncelediğimiz FCC Ünitesi için 1967-1997 yılları arasında yapılan modelleme, kontrol ve optimizasyona yönelik çalışmalar değerlendirilmiş bu çalışmalar esnasında modelleme, kontrol ve optimizasyon çalışmasının ya sadece reaktör veya rejeneratör ya da reaktör-rejeneratör ikilisi ele alınarak yapıldığı görülmüştür. FCC UOP tasarımı, Reaktör, Rejenaratör ve Frakşınaytır kısmından meydana gelmekte ve değişkenlerinin birbirlerinin davranışından son derece hızlı veya yavaş etkilendiği, lineer olmayan bir sistemdir. Bu 3 birim FCC’yi meydana getirmektedir. Üniteye sistemin bir parçası olan Ayırıcı kolon(frakşınaytır) da eklenerek sistemin bulanık modellemesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçların, sistemin gerçek modeline çok yakın olduğu, dolayısıyla modelleme, kontrol ve optimizasyon çalışmalarında Ayırıcı kolonunda bulunmasının yararlı olacağı bir gerçektir.

- Bu çalışmada, dinamik, kompleks, çok girdili ve çok çıktılı, yüksek derecede lineer olmayan, değişkenleri arasında güçlü karşılıklı ilişkileri olan, zamanla değişen, dağılmış parametrelili bir sistem olan FCC Ünitesi incelenmiştir. Üzerinde çalışılan FCC sisteminin çok girdili ve çok çıktılı olması, bulanık modelleme ve çıkarım açısından güvenilir sonuçlar vermemektedir. Bundan dolayı, sistem oktan-varil miktarı baz alınarak çok girdili-tek çıktılı hale getirilmiştir.

- Bulanık modellemesi yapılan bu sistemden bulanık gruplama algoritması kullanılarak kontrol kuralları türetilmiştir.

- Bulanık sistem modellemede sistemin tanımlanması en önemli unsurdur. Bu aşama ise, yapısal tanımlama ile oluşturulmaktadır. Böylece FCC ünitesinin girdi değişkenleri belirlenmiş ve girdi-çıkı değişkenlerinin ilişkileri tam olarak tespit edilmiştir.

- Bu çalışmada kural sayısının optimal olarak belirlenebilmesi için bulanık C-Means algoritması kullanılmıştır.

- Bulanık modellemedeki ana işlemlerden biri çıkarım mekanizmasıdır. Çıkarım sistemi bulanık muhakeme ve bulanık eğer ise kurallarına dayanan bir metottur. Bulanık çıkarım sistemi yoğun olarak kontrol amaçlı kullanılmaktadır. Bulanık çıkarımın temel yapısı olan;

1. Bulanık kuralların seçilmesi
2. Bulanık kuralların üyelik fonksiyonlarının seçilmesi
3. Çıkarım prosedürü oluşturulması

Adımları gerçekleştirilmiştir. Bulanık kurallar ve tanımlanan üyelik fonksiyonlarına göre çıkarım prosedürü mantıklı sonuçlar üretmektedir.

- Bu çalışmada, bulanık çıkarımda mamdani çıkarım modeli kullanılmıştır. Bulanık modelleme ile oluşturulan kurallar şekilde gösterilmiştir. Oluşturulan bulanık modele kesin değerler verilmiş ve 13 kuralında çalıştığı ve sonuçlar ürettiği görülmüştür. Gerçek sistemden elde edilen benzin oktan-varil miktarı ile bulanık modelden elde edilen oktan-varil miktarı karşılaştırılmış ve bulanık modelden elde edilen çıktıların gerçek sisteme çok yakın olduğu görülmüştür. Bu da bulanık kontrol için sistemin bulanık modelinin kullanılabileceğini göstermektedir.

- Bu sistemlerin doğasının yüksek derecede doğrusal olmayan ve davranışlarının belirsiz olması bulanık mantık açısından tam üzerinde çalışılmaya değer bir konu haline getirmektedir.

- Bu çalışmada, MATLAB Toolbox paket programında Mamdani tipi çıkarım sisteminde bulunan 5 durulama metodu denenmiştir. Bunlar; Ağırlık Merkezi, Çift Taraflı Sektör, Maksimumların Ortası, Maksimumların Enküçüğü ve Maksimumların Enbüyüğü teknikleridir. Durulama işlemi olarak MOM(maksimumların ortası) tekniği kullanılmıştır. Bunun sebebi ise, MOM durulama metodunun kullanılmasının gerçek sistemi, modelleme açısından en uygun şekilde temsil etmesinden kaynaklanmasıdır.



TARTIŞMA VE ÖNERİLER

- Bu tez çalışmasında, rafineri sisteminin en önemli birimi olan FCC ünitesinin bulanık mantık ile sistem modelleme çalışması yapılarak türetilen kurallar sistemin kontrolü çalışması için bir giriş niteliği taşımaktadır.
- Bulanık sistemin tanımlanması için toplam 119 veri kullanılmıştır. Modeldeki ufak sapmaların sebebi, verilerin yeterli olmamasından veya değişken üyeliklerinin ayarlamasının tam yapılamamasından kaynaklanabilmektedir. Veri sayısının çok olması modeli daha güvenilir hale getirebilecektir.
- FCC ünitesi ile ilgili literatürde bugüne kadar yapılan, modelleme, kontrol ve optimizasyon çalışmalarında ayırma kolonunun sistem içine dahil edilmemiş olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, ayırma kolonu da bulanık modelleme için sisteme dahil edilmiş ve elde edilen sonuca göre sistemin modelinin gerçek modelle neredeyse aynı olduğu görülmüştür. Ayırıcı kolonun sistemden ayrı düşünülmemesinin daha uygun olacağı anlaşılmaktadır.
- Sistemin giriş ve çıkış parametrelerinin her birisi ile ilgili son 1990-1998 yıllarına ait özet raporlara dayanılarak veriler toplanmıştır. Sistem davranışlarına bağlı olarak, sistemin bulanık modelinin oluşturulmasında bu verilerden yararlanılmıştır.
- Bulanık modelin oluşturulması için yapısal tanımlama prosedüründen yararlanılmıştır. Yapısal tanımlama bulanık C-Means algoritmasıyla gerçekleştirilmiştir. Yapısal tanımlamada; değişkenler tanımlanarak bu değişkenlerin üyelikleri belirlenmiştir. Girdi-çıkış değişkenleri arasındaki ilişkiler tanımlanarak eğer-ise kuralları oluşturulmuştur.
- Bulanık modeli oluşturacak kuralların belirlenmesi için bulanık gruplama yapılmıştır. Bulanık grupların sayısı, bulanık kural sayısına eşittir. Kural sayısının tespiti için analitik metotlar kullanılmıştır.

- Bulanık mantık modelleme ve kontrol, genelde sezgisel yaklaşımlara dayanmaktadır. Bu çalışmada, sistemin bulanık mantık modelleme çalışmasına sistematik bir yaklaşım getirilmiştir.
- Bulanık modellemede grup sayısını tesbit edebilmek için bulanık gruplamada en çok kullanılan Jm kriteri esas alınarak, optimum üyelik matrisi U tesbit edilmiştir.
- Grup geçerliliğinin sağlanmasında m üstel ağırlık katsayısı $[1, \infty]$ arasında olması gerekmekte ancak her iki değere de uzak olması tavsiye edilmektedir. Farklı üstel ağırlık değerleri farklı optimal noktaların çıkmasına neden olmaktadır. $[1, \infty]$ aralığının geniş olması bu aralıkta belirlenecek bir değer her zaman optimal noktaları yakalama imkanı vermesi zor olacaktır.
- Bulanık C-Means gruplama algoritmasında karşılaşılan problemlerden birisi de bu algoritmanın kısmi optimaliteyi veya lokal minimum noktaları yakalamasıdır. Bu nedenle, başlangıçta farklı bulanık grup merkezlerinin seçilmesi farklı optimal sonuçlar doğuracaktır. Bu çalışmada bu problem agglomeratif hiyerarşik gruplama algoritması ile çözümlenmiştir.
- Ayrıca, gruplama yapılan veri içinden, hangi gruba gireceği belli olmayan yani, etiketlenmemiş 45 verinin etiketlenmesi, sınıflandırma problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu problemi aşmak için K-nn algoritması kullanılmış, bu algoritmayla komşuluk sayısı 5 seçilmiş ve etiketlenmeyen verinin her birisinin bu beş komşulukla uzaklıkları teker teker bulunarak, etiketlenmemiş verilerin etiketlenmesi sağlanarak 13 grup için üyelik değerleri bulunmuştur.
- Sisteme ait 7 tane kontrol değişkeni, 7 tanede durum değişkeni bulunmaktadır. Fakat en önemli bozucu değişkenler olan şarj ve katalistle ilgili şarj API, viskozite, şarj UOP K faktörü, konradson karbon, CO₂/CO oranı, LECO karbon değişkenleri de sisteme dahil edilerek bulanık modellemede değerlendirecek değişken sayısı 20'ye yükselmiştir. Sonuçta bu değişkenlerin girdi verileri

değerlendirilerek benzin oktan-varil miktarı baz alınarak gerçek sistemle bulanık model değerleri karşılaştırılmıştır.

- Yukarıdaki değişkenlerin ele alınarak sistemi modellemek için kurallarının tek tek türetilmesi durumunda 20000'in üzerinde kural meydana gelmektedir. Yani hem zaman, hem maliyet hem de gerçek zamanlı kontrolün yapılabilmesi için sistemin modellenmesi çok zorlaşmaktadır. Bulanık gruplama algoritmasıyla en baskın olan girdilerin kuralları ortaya konmuş ve sistemin kontrol edilebilmesi için büyük kolaylıklar sağlamıştır.
- Şu ana kadar FCC sisteminin modelleme, kontrol ve optimizasyonuna yönelik ele alınmayan çok önemli bir çalışma da; kural tabanlı bulanık kontrol, klasik kontrol, optimal kontrol ve optimizasyonlarının birbirleriyle karşılaştırmalarının yapılması bu yönde yapılan çalışmalarda literatüre çok büyük katkı sağlayacağı açıktır. Böylece, aynı anda, yüksek derecede doğrusal olmayan bu tip sistemlerin performansı her üç kontrol sisteminden hangisinin daha etkin olduğunu ortaya çıkaracaktır.
- Her ne kadar bu sistemin matematiksel modellemeleri reaktör ve rejeneratör için çıkarılmışsa da sistem, matematiksel modellerle ne kadar iyi tanımlanmaya çalışılırsa çalışılma eksik kalmaktadır. Çünkü sistemin çalışmasında, sisteme etki eden değişkenler tam olarak oturmuş ve net değildir. Bir çok bozucu değişkenlerde bulunmaktadır. Pek çok değişken yüksek derecede doğrusal olmayan karşılıklı etkileşim içindedir ve birbirlerini etkilemektedir. Değişkenlerin iyi tespit edilmesi uygulayıcının önemli bir görevidir.
- Üyelik fonksiyonlarının ayarlanması aşamasında (membership tuning) sezgisel yöntemlerin yanında istatistiksel (en küçük kareler metodu gibi) sayısal analiz yöntemleri geliştirilebilir.
- Bu çalışmada kural sayısının optimal olarak belirlenebilmesi için bulanık C-Means algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmanın kullanımı sırasında

karşılaşılan problemleri çözebilmek için kesin teorik temele dayalı algoritmaların bulunması düşünülmelidir.



KAYNAKLAR

- [1] KRUSE, R., GEBHARDT, J., KLAWONN F., "Foundations of Fuzzy Systems", John Wiley&Sons, New York, USA, 1994
- [2] FADIL, S., "Optimal Kontrol Problemlerinin Gradient-Metodu Kullanılarak Bilgisayar Yardımıyla Çözülmesi", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Elektronik Müh. Böl., İstanbul, 1986
- [3] AYDIN, M., KURYEL B., GÜNDÜZ, G. ve OTURANÇ, G., "Diferansiyel Denklemler ve Uygulamaları", E.Ü. Mühendislik Fakültesi Ders Kitapları Yayınları No.14, İzmir, 1995
- [4] YALÇIN, H., "Sınai Stokimetri", Gazi Üniversitesi Yayın No.110, Ankara, 1987
- [5] SARIOĞLU, K., "Otomatik Kontrol I Ders Notu", 4.Baskı, İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul, 1991
- [6] BABATUNDE, A.O., "The Role of CACSD in Contemporary Industrial Process Control", IEEE Control Systems, vol.20, April 1995
- [7] KUPIERS, B. and ASTROM, K., "The Composition and Validation of Heterogeneous Control Laws", Automatica, Vol.30, No.2, pp. 233-249, 1994
- [8] ANDERSEN and WENZEL, "Introduction to Chemical Engineering", International Student Edition, John Wiley&Sons, New York, 1961
- [9] Advanced Process Control Handbook, Hydrocarbon Processing, CIP, September, 1991
- [10] CANFIELD, B., NAİR K., "The Key to Computer Integrated Processing", Comp.Chem. Eng., Vol. 17, No.3, pp. 275-300, 1993
- [11] T.C. Başbakanlık D.P.T. Müsteşarlığı Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu Raporu, "Petrokimya", Yayın No:DPT:2367-ÖİK:433, Ankara 1994
- [12] VENUTO, P.B. and HABIB, E.T, "Fluid Catalytic Cracking with Zeolite Catalyst", Marcel Dekker Inc., N.Y, 1979
- [13] HEMLER, C.L., "Developments in Fluid Catalytic Cracking", UOP Process Div.Des plains, pp.2, Illinois, U.S.A., June 13, 1975
- [14] ARBEL, A., IRVEN, H. R., SHINNAR, R., AJIT, V.S., "Dynamic and Control of Fluidized Catalytic Crackers. 1. Modeling the Current Generation of FCC's", Ind.Eng.Chem. Res., pp. 1228-1243, 1995
- [15] TÜPRAŞ Rafineri El Kitabı, 1993

- [16] YORULMAZ, Y., "Petrol işleme Teknolojisi ve Rafineri Üniteleri", O.D.T.Ü. Müh. Fak. Kimya Müh. Bölümü, Yayın No:71, Ankara, 1983
- [17] MCGREAVY, C., LU, M.L, WANG, X.Z., KAM, E.K.T., "Characterization of The Behaviour and Product Distribution in FCC Using Neural Networks", Chemical Eng.Sci., Vol.49, No.24, pp.4717-4728, 1994
- [18] AGRAWAL, S., "Advanced Closed Loop Controls Of Refinery Off-Site Operations, Hydrocarbon Engineering", Vol.2, No.4, July/August, 1997
- [19] MEYERS, R.A., "Handbook Of Petroleum Refinery Processes", 1994
- [20] REICHLE, A. D., "A Half Century of Fluid Catalytic Cracking", OIL&GAS Journal , Vol.90, No.20, May 18, pp.41-47, 1992
- [21] LUYBEN, W.L, LAMB, D.E., "Feedforward Control of A Fluidized Catalytic Reactor-Regenerator System", Chem.Eng.Prog.Symp., Vol. 46, No.59, pp.165-171, 1963
- [22] KURIHARA, H., "Optimal Control of Fluid Catalytic Cracking Processes", Ph.D.Thesis, M.I.T,Cambridge mass., 1967
- [23] ISCOL, L., "The Dynamics and Stability of A Fluid Catalytic Cracker", Presented at the ASME 11th Joint Automatic Control Conference American Automatic Control Council, Atlanta, GA, paper 23-B, 1970
- [24] LEE, W., KUGELMAN, A.M., "Number of Steady State Operating Points and Local stability of Open Loop Fluid Catalytic Cracker". Ind. Eng. Chem.Process Des.Dev., vol.12 No.2, pp.197-204, 1973
- [25] SEKO, H., TONE, S., OTAKE, T., "Operation and Control of A Fluid Catalytic Cracker", J.Chem.Eng.Jpn., Vol.11, No.2, pp.130-135, 1978
- [26] LEE, E., GROVES, F.R. , "Mathematical Model of The Fluidized Bed Catalytic Cracking Plant", Trans Soc. Comput. Simulation, Vol. 2, pp.219-236, 1985
- [27] MCGREAVY, C., ISLES-SMITH, P.C., "Modeling of A Fluid Catalytic Cracker", Trans.Inst.Meas.Control(London), Vol.8, No.3, pp.130-136, 1986
- [28] BOZICEVIC, J., LUKECT, D., "Dynamic Mathematical Model of The Fluid Catalytic Cracking Process", Trans. Inst.Meas.Control(London), Vol.9, No.1, pp.8-12, 1987
- [29] ZHAO, X., LU, Y., "Non-Linear Dynamic Model and Parameter Estimation for Fluidized Catalytic Cracking Unit", IFAC Proc., 2, pp.1079-1083, 1988
- [30] FELIPE, L.I., RICHARD, R.M., "Dynamic Modeling of a Fluid Catalytic Cracking Unit", Presented at the AIChE Annual Meeting, Los Angeles CA, 1991

- [31] ARANDES, J.M., DE LASA, H.I., "Simulation and Multiplicity of Steady States in FCCUs". Chem.Eng.Sci., Vol. 47, pp.2535-2540, 1992
- [32] ELNASHAIE, S.S.E.H., EL-HENNAWI, I.M., "Multiplicity of The Steady-State in Fluidized Bed Reactors-IV. Fluid Catalytic Cracking (FCC)", Chem.Eng. Sci., Vol.34, pp.1113-1121, 1979
- [33] ELNASHAIE, S.S.E.H., ELSHISHINI, S.S., "Digital Simulation of Industrial Fluid Catalytic Cracking Units- IV. Dynamics Behaviour", Chem.Eng.Sci., Vol.48, No.3, 567-583, 1993
- [34] ELSHISHINI, S.S, ELNASHAIE, S.S.E.H., "Digital Simulation of Industrial Fluid Catalytic Cracking Units: Bifurcation and its Implications.", Chem.Eng.Sci, Vol.45, No.2, pp.553-559, 1990
- [35] MCFARLANE, R.C., REINEMAN, R.C, BARTEEE, J.F., GEORGAKIS, C., "Dynamic Simulation for Model VI Fluid Catalytic Cracking Unit", Comput.Chem.Eng., Vol.17, No.3, pp.275, 1993
- [36] ZHENG, Y., "Dynamic Modeling and Simulation of A Catalytic Cracking Unit", Comput.Chem.Eng., Vol.18, No.1, pp.39-44, 1994
- [37] FORD, W.D., REINEMAN, R.C, VASALOS, I.A, FAHRIG, R.J., "Modeling Catalytic Cracking Regenerators", Presented at the NPRA Annual Meeting, San Antonio, TX, Paper AM7629, 1976
- [38] ERRAZU, A.F., DE- LASA, H.I., SARTI, F.A., "Fluidized Bed Catalytic Cracking Regenerator Model. Grid Effects", Can. J. Chem.Eng., Vol.57, pp.191-197, 1979
- [39] DE-LASA, H.I., ERRAZU, A., BARREIRO, E., SOLIOZ, S., "Analysis of Fluidized Bed Catalytic Cracking Regenerator Models in An industrial Scale Unit", Can J.Chem. Eng., Vol.59, pp.549-553, 1981
- [40] GUIGON, P., LARGE, J.F., "Application of the Kunii-Levenspiel Model to a Multi-stage Baffled Catalytic Cracking Regenerator", Chem. Eng. J., Vol.28, pp.131-138, 1984
- [41] KRISHNA, A.S., PARKIN, E.S., "Modeling the Regenerator in Commercial Fluid Catalytic Cracking Units", Chem. Eng. Prog, Vol.81, No.4, pp.57-62, 1985
- [42] LEE, L., CHEN, Y., HUANG, T., PAN, W., "Four-Lump Kinetic Model for Fluid Catalytic Cracking Process", Can.J.Chem.Eng., Vol.67, pp.615, 1989b
- [43] WEAKMAN, V.W., NACE, D.M., "Kinetics of Catalytic Cracking Selectivity in Fixed, Moving, and Fluid Bed Reactors", AIChE J., Vol.16, pp.397-404, 1970

- [44] PARASKOS, J.A., SHAH, Y.T., MCKINNEY, J.D., CARR, N.L., "A Kinematic Model for Catalytic Cracking in A Transfer Line Reactor", *Ind.Eng.Chem.process*, Des. Dev., Vol.15, No.1, pp.165-169, 1976
- [45] JACOB, S.M., GROSS, B., VOLTZ, S.E, WEEKMAN, V.M, "A Lumping and Reaction Scheme for Catalytic Cracking. *AIChE*, Vol.22, No.4, pp.701-713, 1976
- [46] SHAH, Y.T, HULING, G.T, PARASKOS, J.A, MCKINNEY, J.D., "A Kinematic Model for An Adiabatic Transfer Line Catalytic Cracking Reactor. *Ind.Eng.Chem.Process Des.Dev.*, Vol.16, No.1, pp.89-94, 1977
- [47] TAKATSUKA, T., SATO, S., MORIMOTO, T., HASHIMOTO, H., "A Reaction Model for Fluidized-Bed Catalytic Cracking of Residual Oil", *Int. Chem.Eng. J.*, Vol.27, pp.107-116, 1987
- [48] LEE, L, YU, S., CHENG, C. "Fluidized-Bed Catalyst Cracking Regenerator Modeling and Analysis", *Chem.Eng.J.*, Vol.,40, pp.71-82, 1989a
- [49] LAROCCA, M., Ng, S, DE-LASA, H., "Fast Catalytic Cracking of Heavy Gas Oils. Modeling Coke Deactivation", *Ind.Eng. Chem.Res*, Vol.29, pp.171-180, 1990
- [50] SHNAIDER, G.S., SHNAIDER, A.G., "Kinetic Models of Catalytic Cracking of Oil Fractions in Single-Stage and Multi-Stage Reactors with Fluidized Beds and Interpretation of Experimental Data of Catalytic Cracking Performed in These Reactors", *Chem. Eng. J.*, Vol.44, pp.53-72, 1990
- [51] FARAG, H., Ng, S., DE-LASA, H., "Kinetic Modeling of Catalytic Cracking of Gas Oils Using in traps (FCCT) To Prevent Metal Contaminant Effects", *Ind.Eng. Chem.Res.*, Vol.32, pp.1071-1080, 1993
- [52] ZEYDAN, M., TAŞKIN, H., "Optimal and Fuzzy Optimal Control in A Refinery Unit(FCCU) Under The Computer Integrated Process(CIP) Concept", *Uluslararası IMS'98 Sempozyumu*, Vol.2, .6-7 Ağustos 1998, Sakarya, Türkiye
- [53] TAŞKIN, H., "Proses Modellendirme, Optimizasyon ve Kontrol'ün Bir Petrol Rafineri ünitesine (FCC) Uygulanması", *Yayımlanmamış Doktora Tezi, İ.T.Ü. Sakarya Müh.Fak., Sakarya*, 1983
- [54] SCHRAGE, R.W., "Optimizing A Catalytic Cracking Operation by The Method of Steepest Ascent", *Operational Research*, Vol.6, No.4, pp. 498, August, 1958
- [55] SAVAS, E.E., "Computer Control of Industrial Processes", McGraw-Hill, N.Y.,1965
- [56] NICHOLSON, T.A.J., " Optimization in Industry", Longman Group ltd., London, vol.1, 1971
- [57] GOULD, L.A., EVANS, L.B., KURIHARA, H., "Optimal Control of Fluid Catalytic Cracking Processes", *Automatica*, vol.6, pp.695-795,1970

- [58] LEE, W., "Dynamic Optimization of Catalyst Make-up Rate for Catalytic Cracking Systems", Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Dev., Vol.9, No.1, pp.154-160, January, 1970
- [59] WOLLASTON, E.G., HAFLIN, W.J., FORD, W.D., D'SOUZA, G.J., "FCC Model Valuable Operating Tool", The Oil&Gas Journal, pp.87, September 1975
- [60] BECKER, J.J., HORNE, E.J., DECALUWE, J., "Off-line Optimization Systems On Belgium FCCU Pays Off", Oil&Gas Journal, pp.47-51, Dec.19, 1977
- [61] FIERO, W.J., KELLY, P.E., "To Optimize The FCC Unit", Hydrocarbon Processing, pp.117-121, September, 1977
- [62] KANE, E.D., LEWIS, C.D., SCHUYTEN, H., BECK, R.D., "Computer Control of An FCC Unit", Matl.Petrol Refiners' Assoc.Computer Conf., Tech. Paper, pp.38-62, 1962
- [63] GANDSEY, L. J., "Two-way Communication Between Operators and Computers", Chem. Eng. Prog., Vol.61, No.10, pp.93., October, 1965
- [64] POHLENZ, J.B., "How Operational Variables Affect Fluid Catalytic Cracking", Oil&Gas J., pp.124, April 1, 1963
- [65] HICKS, R.C., WORREL, G.R., DURNEY, R.J., "Analog-Digital Cat-Cracking-Model Development", Oil&Gas J., pp.97-105, Jan 24, 1966
- [66] LIN, T.D.V., "FCCU Advanced Control and Optimization", Hydrocarbon Processing, Maxprofit Co., Houston, Vol.30, April, 1993
- [67] HICKS, R.C., WORREL, G., DORNEY, R.J., "Atlantic Seeks Improved Control Studies Analog-Digital Models", Oil&Gas Journal, pp. 97-105, jan.24, 1966
- [68] ISCOL, L., "The Dynamic and Stability of A Fluid Catalytic Cracker", proceedings JACC, pp.602, 1970
- [69] SCHULDT, S.B., SMITH, F.B., "An Application of Quadratic Performance Synthesis Technique to A Fluid Cat. Cracker", proceedings JACC, pp.270, 1971
- [70] LEE, W., KUGELMAN, A.M., "Number of Steady-State Operating Points and Local Stability of Open-Loop Fluid Catalytic Cracker", Ind.Eng.Process Ddes.Develop, Vol.12, No.2, pp.197-204, 1973
- [71] ENG, M.T., CADMAN, T.W., KUGELMAN, A.M., "Nonlinear Feedforward Control of A Fluidized Catalytic Cracking Process", ISA Transactions, Vol.13, No.3, pp.232-252, 1974

[72] LEE, W., WEEKMAN, V.W.JR., "Advanced Control Practice in The Chemical Process Industries: A view from Industry", *AIChE Journal*, Vol.22, No.1, pp.27-38, Jan. 1976

[73] DAVIS, T.A., GRIFFIN, D.E., WEBB, D.U., "Cat. Cracker Optimization and Control", *Chem. Eng. Progress*, Vol.70, No.11, pp.53-57, November, 1974

[74] EWEL, R.B., GADMER, G., "Design Cat Crackers by Computer", *Hydrocarbon Processing*, April, pp.125-134, 1978

[75] ARKUN, Y., STEPHANOPOULOS, G., "Studies in The Synthesis of Control Structures for Chemical Processes: Part IV. Design of Steady-State Optimizing Control Structures for Chemical Process Units", *AIChE Journal*, Vol.26, No.6, pp.975-991, November, 1980

[76] BROMLEY, J.A., WARD, T.J., "Fluidized Catalytic Cracker Control: A Structural Analysis Approach", *Ind. Eng.Chem. Process. Des. Develop.*, Vol.20, pp. 74-81, 1981

[77] ABOU-JEYAB, A., GUPTA, Y.P., "Control of The Fluidized Catalytic Cracking Process Using a Simplified Model Predictive Controller", *Ind.Eng.Chem.Res.*, Vol.35, pp. 3581-3589, 1996

[78] YESCAS, R.M., BOGLE, David, ISUNZA, F.L. "Approach to The Analysis of The Dynamics of Industrial FCC Units", *J. of Proc.Cont.*, Vol.8, No.2, pp.89-100, 1998

[79] RAMIREZ, J.A., AGUILAR, R., ISUNZA, F.L., "Robust Regulation of Temperature in Reactor-Regenerator Fluid Catalytic Cracking Units", *Ind.Eng.Chem.Res.*, Vol.35, pp.1652-1659, 1996

[80] ALI, E.E., ELNASHAIE, S., "Nonlinear Model Predictive Control of Industrial Type IV Fluid Catalytic Cracking (FCC) Units for Maximum Gasoline Yield", *Ind.Eng.Chem.Res.*, Vol.36, pp.389-398, 1997

[81] KHANDALEKAR, P.D., RIGGS, J.B., "Nonlinear Process Model Based Control and Optimization of A Model IV FCC Unit", *Computers Chem. Eng.*, Vol.19, No.11, pp.1153-1168, 1995

[82] GOOLSBY, T.L., "A new Approach to FCC Unit Optimization", *Petroleum Technology Quarterly*, Vol.20, Autumn, 1997

[83] LU, Y.Z., HE, M., CHEN, W.X., "Fuzzy Modeling and Expert Optimization Control for Industrial Processes, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol. 5, No.1, January 1997

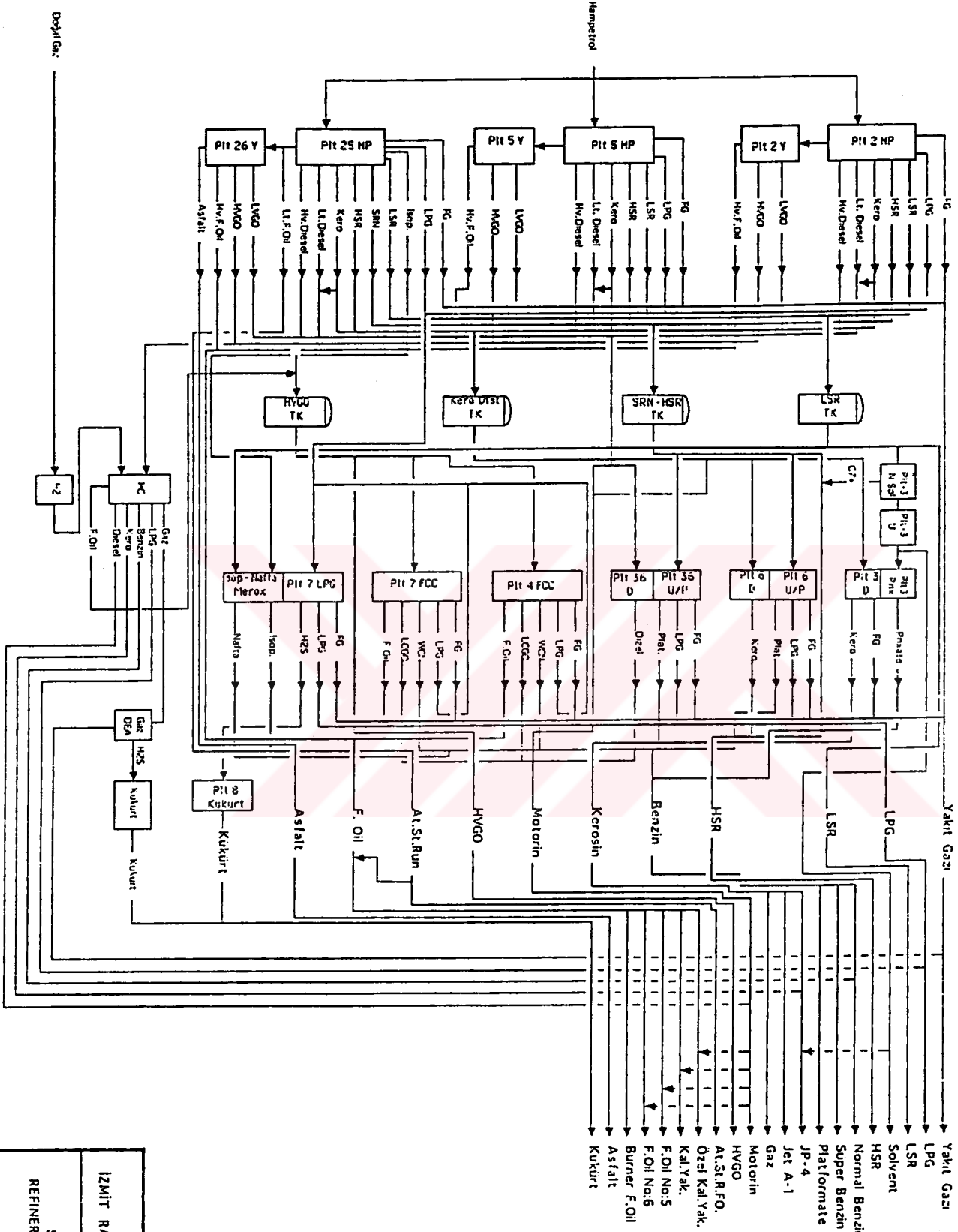
[84] ABBASOV, A.M., et al., "Two-Layer Fuzzy System of Control Over Complex Technological Processes", 2nd International Mechatronics Design and Modeling Workshop, METU, Ankara, November 13-17, 1995

- [85] TİLLİ, T., "Bulanık Mantık ile Kumanda", Elektronik , Sayı 82, Mart 1995
- [86] BENNETT, S., "A Brief History of Automatic Control", IEEE Trans., June 1996
- [87] MURRIL, P.W., "Fundamentals of Process Control Theory", Second Edition, Instrument Society of America, 1991
- [88] DOUGLAS, J.M., "Process Dynamics and Control", Vol.1; Analysis Of Dynamic Synthesis, Prentice-Hall Englewoods Cliffs, N.J., 1972
- [89] GUNKLER, A.A. and BERNARD, W.J., "Computer Control Strategies For The Fluid Process Industries", Instrument Society of America, 1990
- [90] BROGAN, W. L., "Modern Control Theory", Prentice-Hall International Editions, Third Edition, 1991
- [91] CUTLER C.R. and PERRY, R.T., "Real Time Optimization With Multivariable Control is required to Maximize Profits", Computers Chem. Eng., Vol. 7, pp.663-667, 1983
- [92] BAILEY, J.K, "Nonlinear Optimization of A Hydrocracker Fractionation Plant", Comp. Chem. Eng. Vol.17, No.2, pp.123-138, 1993
- [93] SARMA, P.V.L.N. and REKLAITIS, G.V. , "Optimization of A Complex Chemical Process Using An Equation Oriented Model", Math.program Study, Vol.20, pp.113-160, 1982
- [94] PRETT, D.M. and GILLETTE, R.D., "Optimization and Constrained Multivariable Control of A Catalytic Cracking Unit", Paper No.51c, AIChE Annual Meeting, 1979
- [95] RHEMANN, H., SCHWARZ, G., BADGWELL, T.A., DARBY, M.L. and WHITE, D.C. , "Application of Advanced Controls to A Refinery Fluid Catalytic Cracking Unit", paper presented at Session FP9, American Control Conf., Atlanta G.A, 1988
- [96] HANLEY, J.P., "Experience with Ethylene Plant Optimization", Paper No.88-1411, Presented At the ISA Conf., 1988
- [97] CRONIN, P., WOERDE, H., VASBINDER, R., "Large Scale Plant Optimization Problems", Paper Presented American Control Conf., Atlanta, GA, 1988
- [98] TSANG, E.H. and MEIXELL, M.D., "Large Scale Ammonia Process Optimization in Real Time", Paper Presented at Session FA10, American Control Conf., Atlanta, GA, 1988

- [99] YOKOGAWA, J., "Advanced Control and Optimization Capabilities Handbook", 1997
- [100] JANG, J.R., SUN, C.T, MIZUTANI, E., "Neuro-Fuzzy and Soft Computing, A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence", Prentice-Hall International Inc., U.S.A., 1997
- [101] VERBRUGGEN, H.B., KRIJGSMAN, A.J, BRUIJN, P.M., "Towards Intelligent Control :Integration of AI in Control" , Application of Artificial Intelligence In Process Control, Pergamon Press, 1992
- [102] HARRIS, C.J, "Advances in Intelligent Control", Taylor&Francis Ltd.,1994
- [103] ÜNSAL, G., "Bulanık Mantık", Otomasyon, No.55, 1997
- [104] YASUNOBU, S. and MIYAMOTO, S., " Fuzzy Control for Automatic Train Operation Systems", proc. 4th Int'l. Conf. Transportation Systems, pp.39-45, 1983
- [105] FUNABASHI, M et al., "A Fuzzy Model-Based Control Scheme and its Application To A Road Tunnel Ventilation System", proc. Int'l. Conf. Industrial electronics, control and instruments, IEEE, piscataway, N.J., pp.1596-1601, 1991
- [106] YASUNOBU, C. et al., " A Decision Support System Building Tool with Fuzzy Logic and its Application To Chart Technical Analysis In Adaptive Intelligent Systems", Elsevier Science Publishers, New York, pp.13-32, 1993
- [107] LEE, C.C, "Fuzzy Logic in Control Systems:Fuzzy Logic Controller-Part I", IEEE Transactions On Systems, Man And Cybernetics, Vol:20, No:2, March/April, 1990
- [108] EDITORIAL, "Fuzzy Models-What are They, And Why?", IEEE Transactions On Fuzzy Systems, Vol.1, No.1, February 1993
- [109] ÜNSAL, G., "Bulanık Mantık", Otomasyon, Bölüm 2, No.56, 1997
- [110] JAMSHIDI, M., VADIE, N., ROSS, T. J., "Fuzzy Logic and Control", PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1993
- [111] COUGHANOWR, D.R, KOPPEL, L.B., "Process Systems Analysis and Control", Mcgraw-Hill Ltd., Tokyo, 1965
- [112] Fuzzy Logic Toolbox for Use with Matlab, User's Guide, Mathworks Inc., 1998
- [113] EMAMI, M.R., TÜRKŞEN, İ.B., GOLDENBERG, A.A., "An Improved Fuzzy Modeling Algorithm, Part II:Inference Mechanism", NAFIPS'96, U.S.A, june 20-21, 1996
- [114] EMAMI, M.R., TÜRKŞEN, İ.B. and Goldenberg, A.A,"An Improved Fuzzy Modeling Algorithm, Part I:Inference Mechanism", NAFIPS'96, U.S.A, June 20-21, 1996

- [115] BERNARD, J. A., "Use of Rule Based System For Process Control", IEEE Control System Magazine, Vol. 8, No. 5, pp.3-13,1988
- [116] EMAMI, M.R., TÜRKSEN, İ.B. and GOLDENBERG, A.A., "Development of A Systematic Methodology of Fuzzy Logic Modeling", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol.6., pp.346-360, August 1998.
- [117] SUGENO, M., YASUKAWA, T., "A Fuzzy-Logic-Based Approach To Qualitative Modeling", IEEE Trans. Fuzzy Systems; Vol.1; No.1; pp. 7-31; 1993
- [118] YING, H. and SILER W., "Fuzzy Control Theory: A Nonlinear Case", Automatica, Vol.26, No:3, pp. 513-520, 1990
- [119] DUBOIS, D. and PRADE, H., "Fuzzy Sets in Approximate Reasoning Part I, Inference with Possibility Distributions", Fuzzy Sets and Systems, Vol.40, pp.143-150, 1991
- [120] KELLER J., M., GRAY M.R., GIVENS J., A., "A Fuzzy k-Nearest Algorithm", IEEE Trans. Systems, man, and Cybernetics; Vol.SMC-15;No.4, pp. 580-585,1985





TÜPRAŞ
İZMİR RAFİNERİ MÜDÜRLÜĞÜ
SIMPLIFIED
REFINERY FLOW DIAGRAM

EK B: Başlangıç Vektörleri

	TSM	RHM	SRGS	FRDB	PDRC	KSM	KD	REYS	RES	RKB	RKS	RYS	FB	REB	SRJA	V	SUOP	KK	CO2CO	LECO	OVM
1	2092	59251	234	1,35	0,52	15,63	9400	663	3,33	2,15	2,33	529	2,10	2,67	24,70	113,90	11,83	0,09	1,54	0,62	598047,2
2	1955	49659	270	1,30	0,55	13,96	9100	656	3,48	2,05	1,07	532	1,83	2,60	25,00	113,80	11,85	0,08	1,51	0,50	520684,3
3	2215	41259	318	1,25	0,75	12,27	9900	652	2,89	1,90	1,69	530	1,80	2,65	25,20	139,00	11,88	0,10	1,82	0,63	635274,2
4	2193	61636	228	1,28	0,47	16,46	9600	669	3,47	2,13	2,03	536	1,88	2,60	25,10	133,30	11,87	0,18	1,45	0,51	634182,4
5	2151	49139	249	1,25	0,53	16,00	9800	660	3,03	2,37	2,08	527	2,25	2,90	29,20	112,50	12,00	0,27	1,55	0,35	685142,1
6	2151	61322	232	1,30	0,53	17,53	9100	665	3,72	2,07	2,31	531	1,90	2,60	25,00	131,30	11,86	0,16	2,65	0,57	560386,8
7	2100	44999	263	1,30	0,60	11,84	9500	671	3,14	2,00	1,59	527	1,90	2,60	24,80	112,80	11,84	0,10	2,30	0,69	579715,7
8	2213	39261	264	1,25	0,55	11,17	9500	662	3,27	2,25	1,33	528	2,15	2,80	26,20	101,30	11,91	0,09	1,86	0,35	611295,6
9	2175	48332	253	1,30	0,50	13,81	9600	665	2,69	2,20	1,22	527	2,00	2,70	23,90	129,10	11,78	0,20	3,53	0,53	625701,3
10	1857	39954	286	1,10	0,50	10,87	9500	670	2,91	1,60	1,39	528	1,60	2,10	22,80	161,80	11,70	0,17	12,31	0,45	483792,5
11	2186	53511	273	1,27	0,64	15,80	9500	662	3,79	2,18	1,46	534	1,93	2,82	23,50	126,40	11,74	0,13	1,74	0,41	612944,7
12	2196	40651	302	1,40	0,55	11,57	8900	651	3,01	2,15	1,81	524	2,10	2,70	28,00	104,90	12,00	0,07	2,14	0,48	617452,8
13	2257	58687	244	1,27	0,60	16,03	9800	662	3,72	2,20	1,64	532	2,05	2,80	23,60	158,70	11,78	0,12	1,78	0,41	651339,6

EK C : Optimum Üyelik Matrisi U

c=2	c=3	c=4	c=5	c=6	c=7	c=8	c=9	c=10	c=11	c=12	c=13	c=14
0,034	0,070	0,004	0,327	0,005	0,008	0,067	0,408	0,011	0,009	0,015	0,022	0,019
0,232	0,031	0,008	0,199	0,011	0,018	0,232	0,064	0,031	0,021	0,050	0,089	0,014
0,042	0,007	0,015	0,014	0,027	0,071	0,019	0,009	0,362	0,153	0,209	0,066	0,004
0,010	0,098	0,002	0,048	0,002	0,003	0,019	0,786	0,004	0,003	0,005	0,007	0,014
0,015	0,170	0,004	0,032	0,005	0,006	0,022	0,062	0,008	0,007	0,010	0,012	0,648
0,000	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,001	0,991	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
0,003	0,924	0,001	0,010	0,001	0,001	0,005	0,036	0,001	0,001	0,002	0,002	0,011
0,001	0,008	0,000	0,007	0,000	0,000	0,002	0,978	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
0,018	0,561	0,004	0,045	0,005	0,007	0,028	0,103	0,009	0,008	0,011	0,014	0,187
0,015	0,186	0,004	0,033	0,005	0,006	0,022	0,063	0,008	0,007	0,010	0,012	0,628
0,001	0,977	0,000	0,003	0,000	0,000	0,002	0,010	0,000	0,000	0,001	0,001	0,004
0,002	0,966	0,000	0,005	0,000	0,001	0,003	0,014	0,001	0,001	0,001	0,001	0,007
0,012	0,681	0,002	0,042	0,003	0,004	0,021	0,181	0,005	0,004	0,007	0,009	0,029
0,226	0,008	0,006	0,022	0,010	0,019	0,037	0,012	0,051	0,025	0,151	0,429	0,004
0,107	0,028	0,005	0,344	0,007	0,011	0,311	0,065	0,019	0,013	0,028	0,050	0,011
0,822	0,005	0,002	0,018	0,003	0,005	0,042	0,008	0,010	0,006	0,020	0,056	0,002
0,971	0,001	0,000	0,002	0,000	0,001	0,005	0,001	0,002	0,001	0,003	0,011	0,000
0,002	0,941	0,000	0,008	0,001	0,001	0,004	0,029	0,001	0,001	0,001	0,002	0,008
0,021	0,005	0,037	0,010	0,097	0,211	0,012	0,007	0,103	0,415	0,050	0,028	0,004
0,041	0,005	0,008	0,011	0,015	0,038	0,016	0,007	0,239	0,065	0,474	0,076	0,003
0,014	0,003	0,009	0,006	0,021	0,098	0,008	0,004	0,305	0,448	0,058	0,023	0,002
0,016	0,005	0,141	0,009	0,511	0,109	0,011	0,007	0,047	0,091	0,030	0,020	0,004
0,026	0,003	0,005	0,007	0,009	0,023	0,010	0,004	0,158	0,037	0,660	0,055	0,002
0,007	0,001	0,003	0,002	0,005	0,017	0,003	0,002	0,864	0,035	0,049	0,012	0,001
0,454	0,007	0,004	0,021	0,007	0,013	0,038	0,011	0,031	0,016	0,075	0,319	0,004
0,003	0,001	0,004	0,001	0,010	0,056	0,002	0,001	0,027	0,880	0,010	0,005	0,001
0,629	0,006	0,004	0,019	0,006	0,010	0,036	0,010	0,023	0,013	0,053	0,189	0,003
0,884	0,002	0,001	0,007	0,002	0,003	0,016	0,003	0,007	0,004	0,014	0,056	0,001
0,017	0,003	0,006	0,006	0,011	0,036	0,008	0,004	0,673	0,073	0,131	0,031	0,002
0,007	0,001	0,003	0,002	0,007	0,028	0,003	0,002	0,839	0,059	0,036	0,012	0,001
0,001	0,000	0,001	0,001	0,003	0,022	0,001	0,000	0,015	0,947	0,005	0,002	0,000
0,022	0,003	0,004	0,006	0,008	0,023	0,009	0,004	0,184	0,035	0,651	0,049	0,002
0,325	0,025	0,007	0,135	0,011	0,017	0,216	0,048	0,031	0,021	0,052	0,101	0,011
0,010	0,007	0,001	0,913	0,001	0,002	0,027	0,024	0,002	0,002	0,004	0,006	0,003
0,010	0,010	0,001	0,892	0,001	0,002	0,026	0,040	0,003	0,002	0,004	0,006	0,003
0,596	0,012	0,005	0,053	0,007	0,011	0,120	0,022	0,022	0,014	0,039	0,095	0,006
0,587	0,011	0,004	0,051	0,006	0,011	0,134	0,021	0,021	0,013	0,038	0,097	0,006
0,019	0,003	0,009	0,007	0,020	0,068	0,010	0,005	0,533	0,198	0,094	0,031	0,002
0,021	0,015	0,002	0,792	0,002	0,003	0,086	0,043	0,005	0,004	0,008	0,012	0,005
0,005	0,030	0,001	0,009	0,002	0,002	0,007	0,015	0,003	0,002	0,003	0,004	0,917
0,014	0,049	0,002	0,121	0,002	0,003	0,031	0,741	0,005	0,004	0,007	0,010	0,011
0,001	0,001	0,000	0,986	0,000	0,000	0,004	0,004	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
0,103	0,025	0,005	0,280	0,007	0,010	0,401	0,056	0,017	0,012	0,026	0,048	0,010
0,087	0,005	0,006	0,014	0,009	0,020	0,023	0,008	0,066	0,027	0,363	0,367	0,003
0,009	0,002	0,010	0,004	0,028	0,696	0,005	0,003	0,063	0,141	0,025	0,013	0,001
0,026	0,121	0,009	0,046	0,011	0,013	0,036	0,069	0,016	0,014	0,019	0,023	0,596
0,006	0,002	0,010	0,003	0,035	0,812	0,004	0,002	0,031	0,072	0,015	0,009	0,001
0,021	0,004	0,015	0,008	0,038	0,305	0,012	0,006	0,230	0,251	0,072	0,034	0,003
0,030	0,005	0,013	0,011	0,028	0,114	0,016	0,007	0,436	0,132	0,147	0,057	0,003
0,082	0,008	0,009	0,019	0,017	0,040	0,034	0,012	0,116	0,047	0,319	0,293	0,005
0,023	0,006	0,001	0,042	0,002	0,003	0,879	0,013	0,005	0,003	0,007	0,013	0,003
0,071	0,008	0,010	0,018	0,018	0,045	0,031	0,011	0,144	0,054	0,365	0,220	0,005

EK C'nin DEVAMI

0,029	0,007	0,002	0,038	0,002	0,003	0,869	0,013	0,006	0,004	0,009	0,017	0,003
0,105	0,018	0,005	0,077	0,007	0,012	0,607	0,032	0,020	0,013	0,031	0,066	0,008
0,093	0,006	0,005	0,016	0,008	0,018	0,031	0,009	0,043	0,021	0,113	0,634	0,003
0,082	0,003	0,002	0,009	0,004	0,007	0,019	0,005	0,017	0,009	0,044	0,796	0,002
0,069	0,009	0,012	0,019	0,023	0,060	0,033	0,012	0,182	0,068	0,325	0,182	0,005
0,010	0,003	0,017	0,005	0,061	0,699	0,007	0,004	0,050	0,103	0,025	0,015	0,002
0,011	0,004	0,252	0,006	0,544	0,062	0,008	0,005	0,028	0,047	0,019	0,013	0,003
0,017	0,003	0,009	0,006	0,021	0,107	0,009	0,004	0,531	0,186	0,076	0,029	0,002
0,008	0,002	0,011	0,004	0,032	0,444	0,005	0,003	0,057	0,401	0,022	0,012	0,001
0,006	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,002	0,001	0,005	0,982	0,000
0,010	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,003	0,001	0,008	0,971	0,000
0,015	0,003	0,011	0,006	0,028	0,198	0,009	0,004	0,252	0,388	0,058	0,025	0,002
0,008	0,002	0,014	0,004	0,048	0,587	0,005	0,003	0,051	0,241	0,022	0,012	0,001
0,078	0,003	0,002	0,009	0,004	0,008	0,019	0,005	0,018	0,009	0,046	0,795	0,002
0,016	0,003	0,009	0,006	0,020	0,102	0,008	0,004	0,539	0,190	0,073	0,027	0,002
0,075	0,005	0,005	0,012	0,008	0,018	0,022	0,007	0,057	0,024	0,263	0,501	0,003
0,036	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,009	0,003	0,014	0,007	0,048	0,867	0,001
0,022	0,189	0,003	0,105	0,004	0,006	0,046	0,554	0,009	0,007	0,011	0,016	0,028
0,131	0,003	0,002	0,010	0,004	0,007	0,019	0,005	0,017	0,009	0,044	0,747	0,002
0,145	0,003	0,002	0,010	0,004	0,007	0,021	0,005	0,018	0,009	0,046	0,726	0,002
0,008	0,002	0,013	0,004	0,045	0,635	0,005	0,003	0,046	0,206	0,020	0,011	0,001
0,012	0,002	0,005	0,004	0,010	0,041	0,006	0,003	0,750	0,065	0,076	0,023	0,001
0,028	0,004	0,008	0,009	0,017	0,056	0,014	0,006	0,491	0,077	0,229	0,059	0,003
0,504	0,007	0,004	0,022	0,006	0,011	0,053	0,011	0,024	0,013	0,051	0,291	0,004
0,013	0,002	0,004	0,004	0,009	0,030	0,006	0,003	0,740	0,048	0,112	0,026	0,001
0,015	0,005	0,050	0,008	0,362	0,305	0,010	0,006	0,057	0,127	0,032	0,020	0,003
0,006	0,002	0,037	0,003	0,793	0,069	0,004	0,003	0,020	0,039	0,013	0,008	0,001
0,002	0,001	0,014	0,001	0,944	0,015	0,001	0,001	0,005	0,009	0,003	0,002	0,000
0,010	0,002	0,011	0,004	0,033	0,696	0,006	0,003	0,064	0,125	0,027	0,015	0,002
0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,004	0,001	0,989	0,003	0,000
0,051	0,025	0,003	0,452	0,005	0,007	0,321	0,062	0,011	0,008	0,017	0,029	0,009
0,012	0,001	0,002	0,003	0,003	0,007	0,004	0,002	0,029	0,009	0,891	0,037	0,001
0,003	0,001	0,916	0,002	0,041	0,011	0,002	0,001	0,006	0,009	0,004	0,003	0,001
0,009	0,003	0,165	0,005	0,649	0,058	0,007	0,004	0,025	0,044	0,017	0,012	0,002
0,016	0,005	0,040	0,008	0,161	0,351	0,010	0,006	0,076	0,262	0,038	0,023	0,003
0,007	0,003	0,825	0,005	0,067	0,025	0,005	0,004	0,015	0,022	0,011	0,009	0,002
0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,008	0,002	0,001	0,936	0,015	0,024	0,006	0,000
0,223	0,016	0,005	0,084	0,007	0,012	0,464	0,030	0,021	0,014	0,035	0,082	0,007
0,676	0,005	0,003	0,017	0,004	0,008	0,039	0,008	0,017	0,009	0,036	0,176	0,003
0,009	0,002	0,008	0,004	0,021	0,176	0,005	0,003	0,110	0,615	0,031	0,014	0,001
0,016	0,005	0,064	0,008	0,388	0,226	0,011	0,006	0,062	0,155	0,035	0,022	0,003
0,022	0,006	0,059	0,011	0,190	0,243	0,014	0,008	0,090	0,276	0,049	0,029	0,004
0,029	0,005	0,015	0,011	0,031	0,094	0,015	0,007	0,341	0,291	0,114	0,043	0,004
0,121	0,008	0,008	0,020	0,013	0,028	0,032	0,012	0,090	0,039	0,365	0,259	0,005
0,699	0,005	0,003	0,018	0,005	0,009	0,034	0,009	0,020	0,011	0,044	0,139	0,003
0,008	0,002	0,008	0,003	0,020	0,080	0,004	0,002	0,062	0,775	0,023	0,011	0,001
0,098	0,008	0,009	0,019	0,015	0,031	0,029	0,011	0,108	0,046	0,433	0,189	0,004
0,019	0,004	0,014	0,008	0,031	0,103	0,010	0,005	0,205	0,502	0,067	0,029	0,003
0,972	0,001	0,000	0,002	0,000	0,001	0,004	0,001	0,002	0,001	0,004	0,012	0,000
0,013	0,006	0,700	0,009	0,104	0,044	0,010	0,007	0,027	0,039	0,021	0,016	0,004
0,044	0,057	0,005	0,485	0,006	0,009	0,085	0,221	0,014	0,010	0,019	0,027	0,018
0,044	0,007	0,014	0,014	0,025	0,065	0,020	0,009	0,357	0,133	0,239	0,070	0,004
0,042	0,007	0,015	0,014	0,028	0,073	0,019	0,009	0,363	0,159	0,202	0,065	0,004
0,015	0,005	0,050	0,008	0,362	0,305	0,010	0,006	0,057	0,127	0,032	0,020	0,003
0,003	0,001	0,916	0,002	0,041	0,011	0,002	0,001	0,006	0,009	0,004	0,003	0,001
0,006	0,002	0,037	0,003	0,793	0,069	0,004	0,003	0,020	0,039	0,013	0,008	0,001

0,009	0,003	0,165	0,005	0,649	0,058	0,007	0,004	0,025	0,044	0,017	0,012	0,002
0,002	0,001	0,014	0,001	0,944	0,015	0,001	0,001	0,005	0,009	0,003	0,002	0,000
0,010	0,002	0,011	0,004	0,033	0,696	0,006	0,003	0,064	0,125	0,027	0,015	0,002
0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,004	0,001	0,989	0,003	0,000
0,051	0,025	0,003	0,452	0,005	0,007	0,321	0,062	0,011	0,008	0,017	0,029	0,009
0,012	0,001	0,002	0,003	0,003	0,007	0,004	0,002	0,029	0,009	0,891	0,037	0,001
0,021	0,028	0,002	0,727	0,003	0,004	0,058	0,118	0,006	0,005	0,008	0,013	0,008
0,011	0,004	0,486	0,007	0,311	0,057	0,008	0,005	0,028	0,046	0,019	0,014	0,003
0,001	0,000	0,011	0,001	0,963	0,009	0,001	0,000	0,003	0,006	0,002	0,001	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,988	0,000	0,000	0,002	0,006	0,001	0,000	0,000
0,041	0,006	0,010	0,012	0,020	0,062	0,019	0,008	0,325	0,078	0,322	0,092	0,004

EK D : Üyelik Değerleri

c=1	c=2	c=3	c=4	c=5	c=6	c=7	c=8	c=9	c=10	c=11	c=12	c=13
0,596	0,012	0,005	0,053	0,007	0,011	0,120	0,022	0,022	0,014	0,039	0,095	0,006
0,587	0,011	0,004	0,051	0,006	0,011	0,134	0,021	0,021	0,013	0,038	0,097	0,006
0,629	0,006	0,004	0,019	0,006	0,010	0,036	0,010	0,023	0,013	0,053	0,189	0,003
0,699	0,005	0,003	0,018	0,005	0,009	0,034	0,009	0,020	0,011	0,044	0,139	0,003
0,676	0,005	0,003	0,017	0,004	0,008	0,039	0,008	0,017	0,009	0,036	0,176	0,003
0,822	0,005	0,002	0,018	0,003	0,005	0,042	0,008	0,010	0,006	0,020	0,056	0,002
0,884	0,002	0,001	0,007	0,002	0,003	0,016	0,003	0,007	0,004	0,014	0,056	0,001
0,971	0,001	0,000	0,002	0,000	0,001	0,005	0,001	0,002	0,001	0,003	0,011	0,000
0,972	0,001	0,000	0,002	0,000	0,001	0,004	0,001	0,002	0,001	0,004	0,012	0,000
0,311	0,023	0,006	0,168	0,009	0,014	0,237	0,047	0,026	0,018	0,043	0,087	0,010
0,391	0,022	0,006	0,148	0,008	0,014	0,187	0,045	0,025	0,017	0,042	0,085	0,010
0,448	0,011	0,004	0,048	0,005	0,009	0,324	0,020	0,017	0,011	0,029	0,071	0,005
0,520	0,006	0,004	0,018	0,006	0,010	0,033	0,009	0,025	0,013	0,061	0,293	0,003
0,627	0,004	0,002	0,013	0,003	0,007	0,029	0,006	0,015	0,008	0,032	0,252	0,002
0,018	0,561	0,004	0,045	0,005	0,007	0,028	0,103	0,009	0,008	0,011	0,014	0,187
0,012	0,681	0,002	0,042	0,003	0,004	0,021	0,181	0,005	0,004	0,007	0,009	0,029
0,003	0,924	0,001	0,010	0,001	0,001	0,005	0,036	0,001	0,001	0,002	0,002	0,011
0,002	0,941	0,000	0,008	0,001	0,001	0,004	0,029	0,001	0,001	0,001	0,002	0,008
0,002	0,966	0,000	0,005	0,000	0,001	0,003	0,014	0,001	0,001	0,001	0,001	0,007
0,001	0,977	0,000	0,003	0,000	0,000	0,002	0,010	0,000	0,000	0,001	0,001	0,004
0,013	0,006	0,700	0,009	0,104	0,044	0,010	0,007	0,027	0,039	0,021	0,016	0,004
0,007	0,003	0,825	0,005	0,067	0,025	0,005	0,004	0,015	0,022	0,011	0,009	0,002
0,003	0,001	0,916	0,002	0,041	0,011	0,002	0,001	0,006	0,009	0,004	0,003	0,001
0,003	0,001	0,916	0,002	0,041	0,011	0,002	0,001	0,006	0,009	0,004	0,003	0,001
0,011	0,004	0,486	0,007	0,311	0,057	0,008	0,005	0,028	0,046	0,019	0,014	0,003
0,021	0,028	0,002	0,727	0,003	0,004	0,058	0,118	0,006	0,005	0,008	0,013	0,008
0,021	0,015	0,002	0,792	0,002	0,003	0,086	0,043	0,005	0,004	0,008	0,012	0,005
0,010	0,010	0,001	0,892	0,001	0,002	0,026	0,040	0,003	0,002	0,004	0,006	0,003
0,010	0,007	0,001	0,913	0,001	0,002	0,027	0,024	0,002	0,002	0,004	0,006	0,003
0,001	0,001	0,000	0,986	0,000	0,000	0,004	0,004	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
0,028	0,043	0,003	0,503	0,004	0,006	0,059	0,295	0,009	0,007	0,012	0,018	0,013
0,022	0,039	0,002	0,622	0,003	0,005	0,049	0,211	0,007	0,006	0,009	0,014	0,011
0,102	0,027	0,005	0,376	0,007	0,010	0,295	0,063	0,018	0,012	0,027	0,047	0,011
0,050	0,025	0,003	0,459	0,005	0,007	0,318	0,061	0,011	0,008	0,017	0,028	0,009
0,050	0,025	0,003	0,459	0,005	0,007	0,318	0,061	0,011	0,008	0,017	0,028	0,009
0,009	0,003	0,165	0,005	0,649	0,058	0,007	0,004	0,025	0,044	0,017	0,012	0,002
0,009	0,003	0,165	0,005	0,649	0,058	0,007	0,004	0,025	0,044	0,017	0,012	0,002
0,006	0,002	0,037	0,003	0,793	0,069	0,004	0,003	0,020	0,039	0,013	0,008	0,001
0,006	0,002	0,037	0,003	0,793	0,069	0,004	0,003	0,020	0,039	0,013	0,008	0,001
0,002	0,001	0,014	0,001	0,944	0,015	0,001	0,001	0,005	0,009	0,003	0,002	0,000
0,002	0,001	0,014	0,001	0,944	0,015	0,001	0,001	0,005	0,009	0,003	0,002	0,000
0,001	0,000	0,011	0,001	0,963	0,009	0,001	0,000	0,003	0,006	0,002	0,001	0,000
0,009	0,003	0,137	0,005	0,629	0,083	0,007	0,004	0,029	0,060	0,018	0,012	0,002
0,016	0,005	0,064	0,008	0,388	0,226	0,011	0,006	0,062	0,155	0,035	0,022	0,003
0,015	0,005	0,050	0,008	0,362	0,305	0,010	0,006	0,057	0,127	0,032	0,020	0,003
0,015	0,005	0,050	0,008	0,362	0,305	0,010	0,006	0,057	0,127	0,032	0,020	0,003
0,011	0,004	0,252	0,006	0,544	0,062	0,008	0,005	0,028	0,047	0,019	0,013	0,003
0,010	0,003	0,017	0,005	0,061	0,699	0,007	0,004	0,050	0,103	0,025	0,015	0,002
0,010	0,002	0,011	0,004	0,033	0,696	0,006	0,003	0,064	0,125	0,027	0,015	0,002
0,010	0,002	0,011	0,004	0,033	0,696	0,006	0,003	0,064	0,125	0,027	0,015	0,002
0,008	0,002	0,014	0,004	0,048	0,587	0,005	0,003	0,051	0,241	0,022	0,012	0,001
0,008	0,002	0,013	0,004	0,045	0,635	0,005	0,003	0,046	0,206	0,020	0,011	0,001
0,009	0,002	0,010	0,004	0,028	0,696	0,005	0,003	0,063	0,141	0,025	0,013	0,001

EK D'nin DEVAMI

0,006	0,002	0,010	0,003	0,035	0,812	0,004	0,002	0,031	0,072	0,015	0,009	0,001
0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,988	0,000	0,000	0,002	0,006	0,001	0,000	0,000
0,016	0,004	0,038	0,008	0,163	0,342	0,010	0,006	0,075	0,276	0,037	0,022	0,003
0,016	0,005	0,040	0,008	0,161	0,351	0,010	0,006	0,076	0,262	0,038	0,023	0,003
0,021	0,004	0,015	0,008	0,038	0,305	0,012	0,006	0,230	0,251	0,072	0,034	0,003
0,105	0,018	0,005	0,077	0,007	0,012	0,607	0,032	0,020	0,013	0,031	0,066	0,008
0,029	0,007	0,002	0,038	0,002	0,003	0,869	0,013	0,006	0,004	0,009	0,017	0,003
0,023	0,006	0,001	0,042	0,002	0,003	0,879	0,013	0,005	0,003	0,007	0,013	0,003
0,101	0,025	0,005	0,329	0,007	0,010	0,358	0,056	0,017	0,012	0,026	0,046	0,010
0,010	0,098	0,002	0,048	0,002	0,003	0,019	0,786	0,004	0,003	0,005	0,007	0,014
0,014	0,049	0,002	0,121	0,002	0,003	0,031	0,741	0,005	0,004	0,007	0,010	0,011
0,001	0,008	0,000	0,007	0,000	0,000	0,002	0,978	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
0,000	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,001	0,991	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
0,004	0,105	0,001	0,019	0,001	0,001	0,008	0,845	0,002	0,001	0,002	0,003	0,007
0,017	0,003	0,006	0,006	0,011	0,036	0,008	0,004	0,673	0,073	0,131	0,031	0,002
0,012	0,002	0,005	0,004	0,010	0,041	0,006	0,003	0,750	0,065	0,076	0,023	0,001
0,013	0,002	0,004	0,004	0,009	0,030	0,006	0,003	0,740	0,048	0,112	0,026	0,001
0,007	0,001	0,003	0,002	0,007	0,028	0,003	0,002	0,839	0,059	0,036	0,012	0,001
0,007	0,001	0,003	0,002	0,005	0,017	0,003	0,002	0,864	0,035	0,049	0,012	0,001
0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,008	0,002	0,001	0,936	0,015	0,024	0,006	0,000
0,042	0,007	0,015	0,014	0,027	0,071	0,019	0,009	0,365	0,153	0,208	0,065	0,004
0,042	0,007	0,015	0,014	0,028	0,073	0,019	0,009	0,365	0,159	0,202	0,065	0,004
0,040	0,007	0,014	0,013	0,026	0,070	0,018	0,009	0,371	0,153	0,211	0,064	0,004
0,029	0,004	0,008	0,009	0,017	0,059	0,015	0,006	0,513	0,077	0,194	0,066	0,003
0,029	0,005	0,015	0,011	0,031	0,094	0,015	0,007	0,341	0,291	0,114	0,043	0,004
0,030	0,005	0,013	0,011	0,028	0,114	0,016	0,007	0,436	0,132	0,147	0,057	0,003
0,028	0,004	0,008	0,009	0,017	0,056	0,014	0,006	0,491	0,077	0,229	0,059	0,003
0,019	0,003	0,009	0,007	0,020	0,068	0,010	0,005	0,533	0,198	0,094	0,031	0,002
0,017	0,003	0,009	0,006	0,021	0,107	0,009	0,004	0,531	0,186	0,076	0,029	0,002
0,016	0,003	0,009	0,006	0,020	0,102	0,008	0,004	0,539	0,190	0,073	0,027	0,002
0,009	0,002	0,008	0,004	0,021	0,176	0,005	0,003	0,110	0,615	0,031	0,014	0,001
0,008	0,002	0,008	0,003	0,020	0,080	0,004	0,002	0,062	0,775	0,023	0,011	0,001
0,003	0,001	0,004	0,001	0,010	0,056	0,002	0,001	0,027	0,880	0,010	0,005	0,001
0,001	0,000	0,001	0,001	0,003	0,022	0,001	0,000	0,015	0,947	0,005	0,002	0,000
0,013	0,004	0,030	0,006	0,103	0,239	0,008	0,005	0,066	0,475	0,032	0,018	0,002
0,019	0,004	0,014	0,008	0,031	0,103	0,010	0,005	0,205	0,502	0,067	0,029	0,003
0,015	0,003	0,011	0,006	0,028	0,198	0,009	0,004	0,252	0,388	0,058	0,025	0,002
0,014	0,003	0,009	0,006	0,021	0,098	0,008	0,004	0,305	0,448	0,058	0,023	0,002
0,008	0,002	0,011	0,004	0,032	0,444	0,005	0,003	0,057	0,401	0,022	0,012	0,001
0,026	0,003	0,005	0,007	0,009	0,023	0,010	0,004	0,158	0,037	0,660	0,055	0,002
0,022	0,003	0,004	0,006	0,008	0,023	0,009	0,004	0,184	0,035	0,651	0,049	0,002
0,012	0,001	0,002	0,003	0,003	0,007	0,004	0,002	0,029	0,009	0,891	0,037	0,001
0,012	0,001	0,002	0,003	0,003	0,007	0,004	0,002	0,029	0,009	0,891	0,037	0,001
0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,004	0,001	0,989	0,003	0,000
0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,004	0,001	0,989	0,003	0,000
0,064	0,007	0,009	0,016	0,017	0,045	0,028	0,010	0,176	0,054	0,370	0,200	0,005
0,069	0,007	0,009	0,017	0,016	0,041	0,029	0,010	0,128	0,049	0,360	0,260	0,004
0,070	0,008	0,009	0,017	0,018	0,045	0,030	0,011	0,140	0,052	0,370	0,226	0,005
0,097	0,006	0,007	0,016	0,011	0,023	0,025	0,009	0,079	0,034	0,465	0,223	0,003
0,091	0,006	0,006	0,015	0,010	0,021	0,024	0,009	0,070	0,030	0,502	0,213	0,004
0,041	0,005	0,008	0,011	0,015	0,038	0,016	0,007	0,239	0,065	0,474	0,076	0,003
0,093	0,006	0,005	0,016	0,008	0,018	0,031	0,009	0,043	0,021	0,113	0,634	0,003
0,145	0,003	0,002	0,010	0,004	0,007	0,021	0,005	0,018	0,009	0,046	0,726	0,002
0,078	0,003	0,002	0,009	0,004	0,008	0,019	0,005	0,018	0,009	0,046	0,795	0,002
0,082	0,003	0,002	0,009	0,004	0,007	0,019	0,005	0,017	0,009	0,044	0,796	0,002
0,131	0,003	0,002	0,010	0,004	0,007	0,019	0,005	0,017	0,009	0,044	0,747	0,002
0,036	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,009	0,003	0,014	0,007	0,048	0,867	0,001

EK D'nin DEVAMI

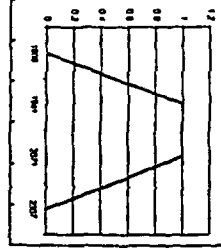
0,010	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,003	0,001	0,008	0,971	0,000
0,006	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,002	0,001	0,005	0,982	0,000
0,309	0,006	0,004	0,016	0,007	0,014	0,029	0,009	0,040	0,019	0,153	0,391	0,003
0,087	0,005	0,006	0,014	0,009	0,020	0,023	0,008	0,066	0,027	0,363	0,367	0,003
0,075	0,005	0,005	0,012	0,008	0,018	0,022	0,007	0,057	0,024	0,263	0,501	0,003
0,005	0,030	0,001	0,009	0,002	0,002	0,007	0,015	0,003	0,002	0,003	0,004	0,917
0,015	0,170	0,004	0,032	0,005	0,006	0,022	0,062	0,008	0,007	0,010	0,012	0,648
0,015	0,186	0,004	0,033	0,005	0,006	0,022	0,063	0,008	0,007	0,010	0,012	0,628
0,026	0,121	0,009	0,046	0,011	0,013	0,036	0,069	0,016	0,014	0,019	0,023	0,596



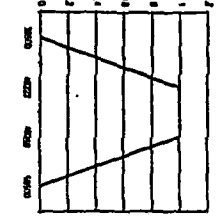
EK E : Sistemin Bulanık Model Kuralları

KURAL 1

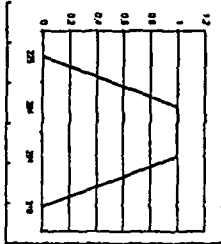
ECER



VE



VE



PROB



PROB



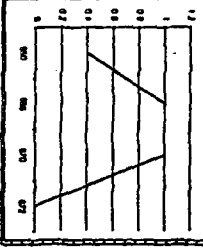
ALIN



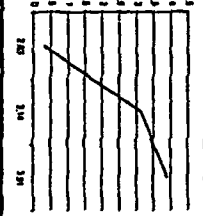
JO



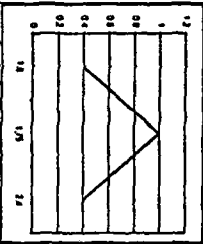
GR1



GR1



GR1



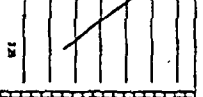
GR1



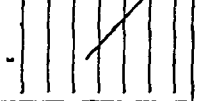
GR1



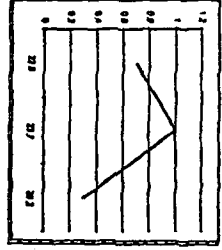
GR1



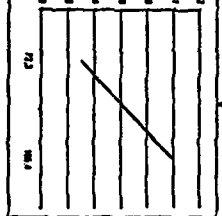
GR1



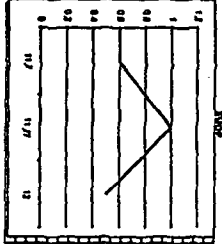
GR1



GR1



GR1



GR1



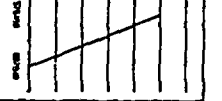
GR1



GR1

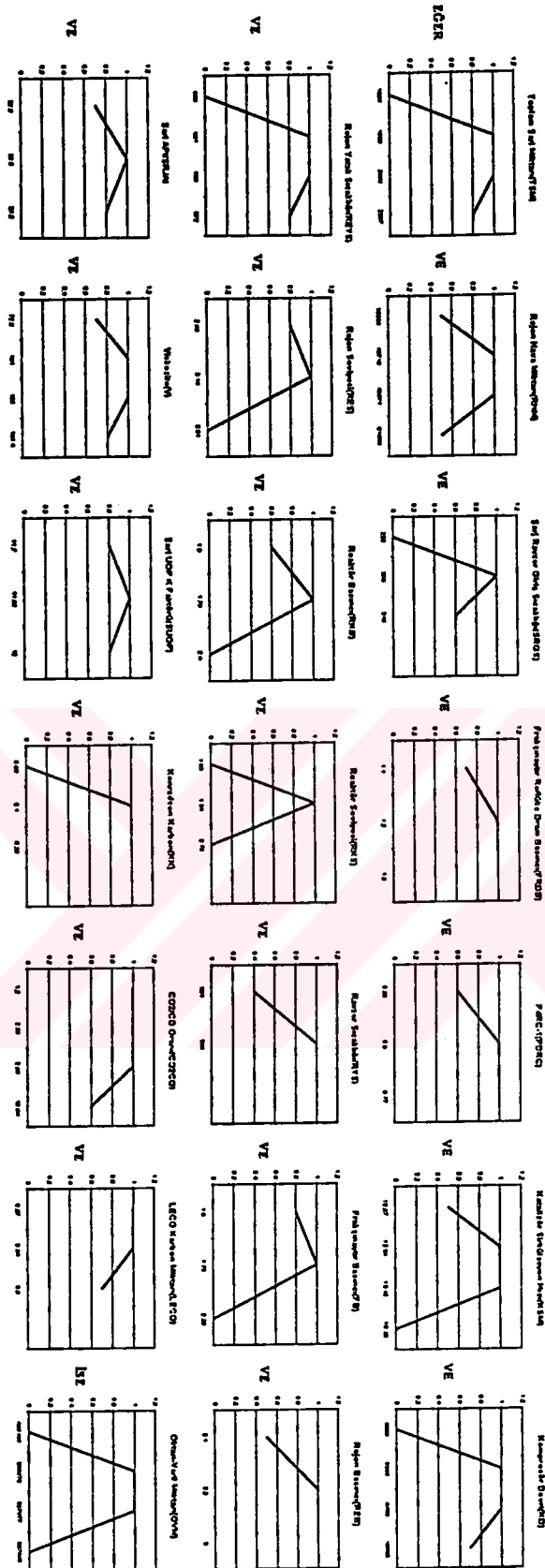


GR1



EK E' nin DEVAMI

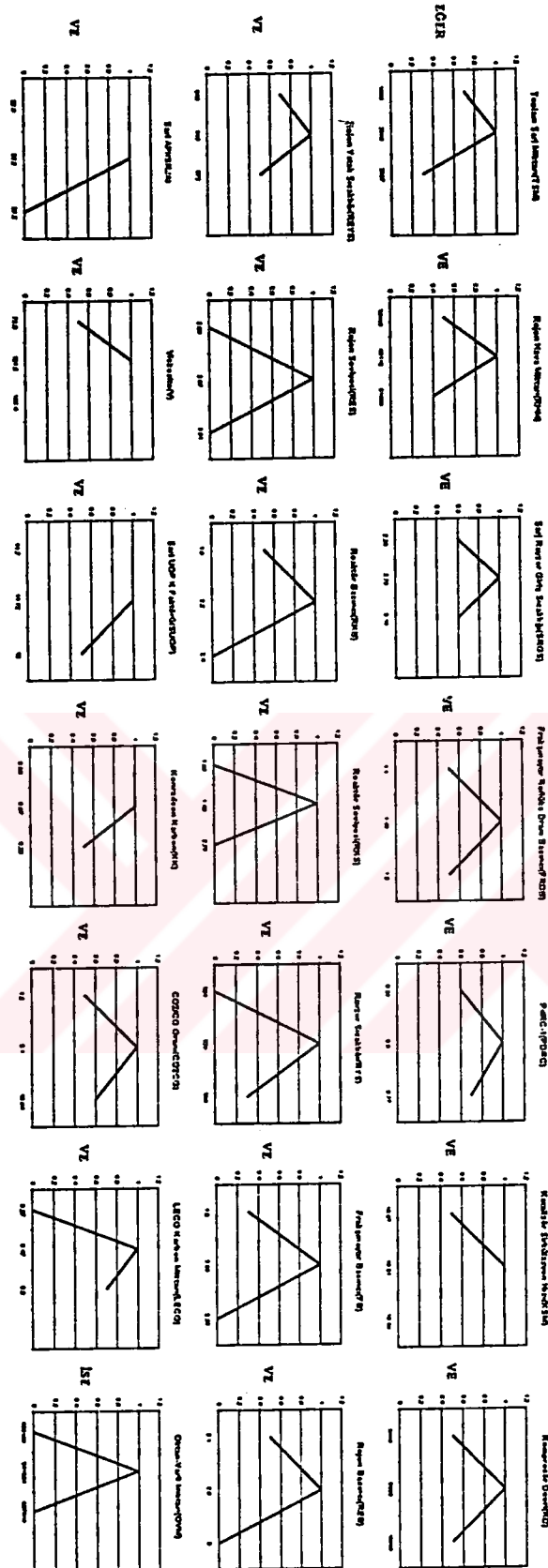
KURAL 2



Testimon 3rd Interview 3/24/93

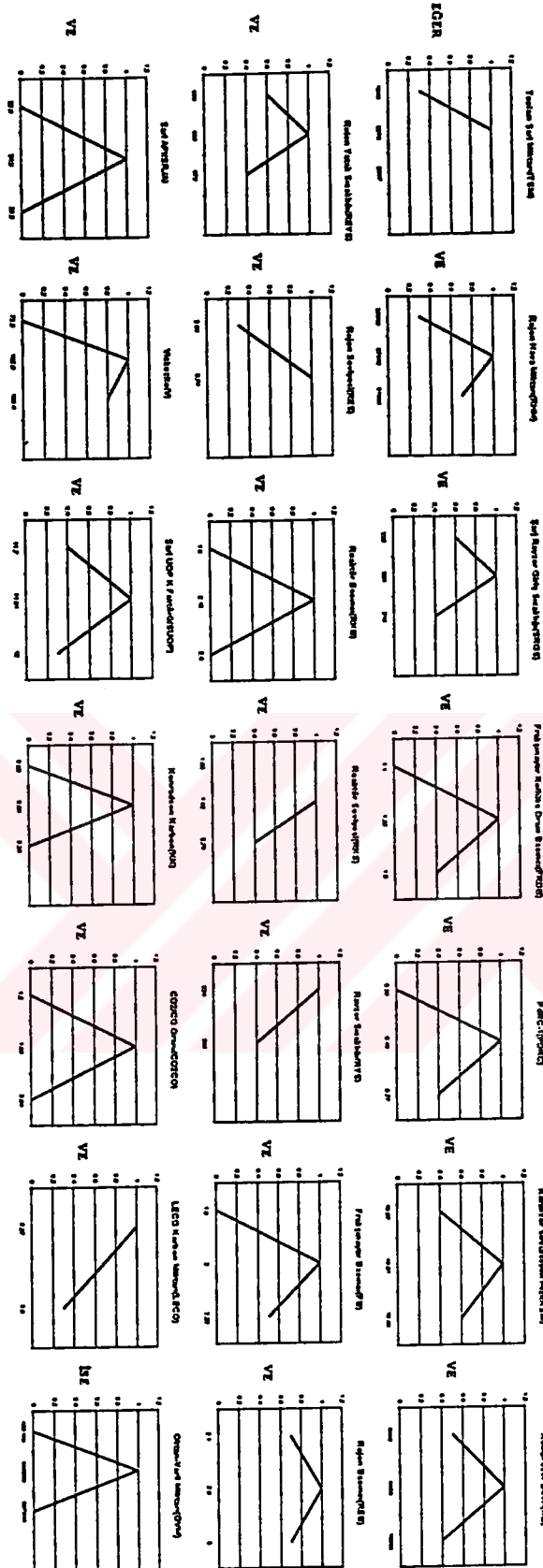
EK E' nin DEVAMI

KUNAL 4



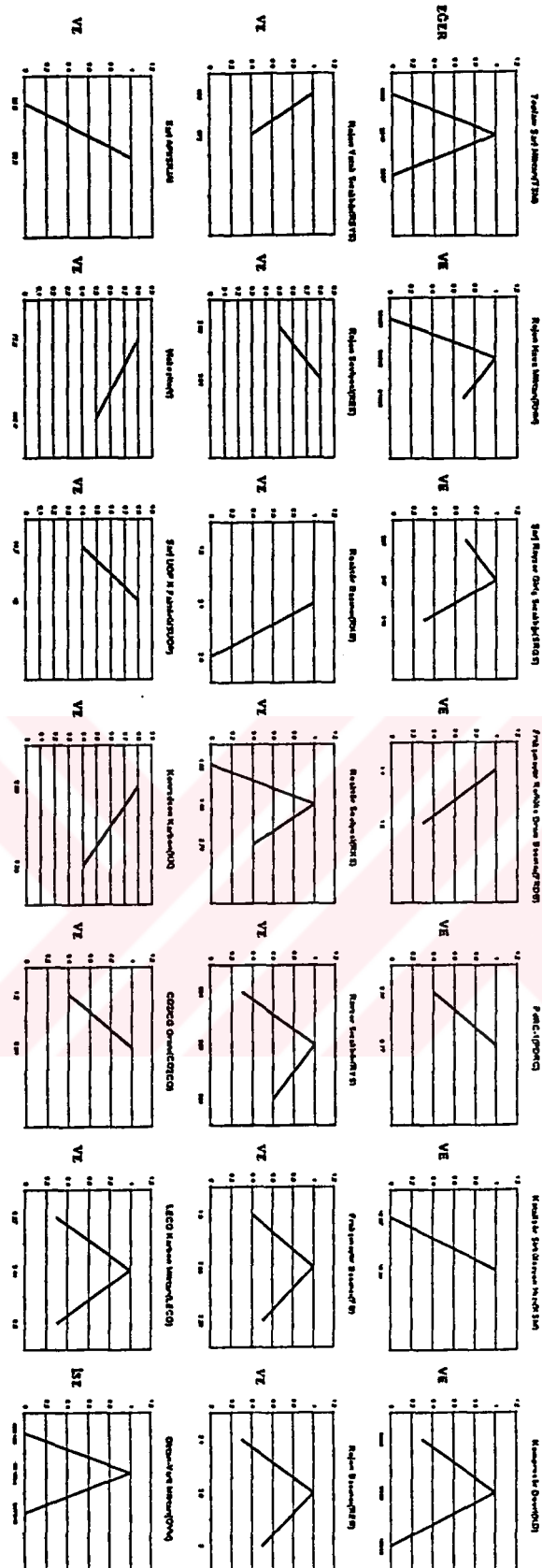
EK E' nin DEVAMI

KURAL 5

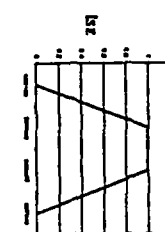
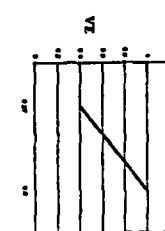
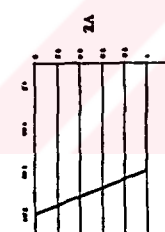
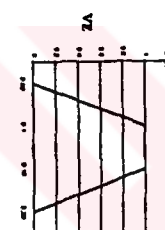
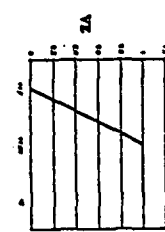
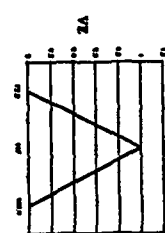
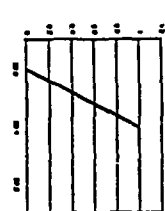
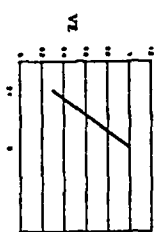
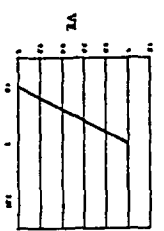
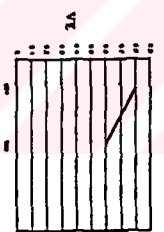
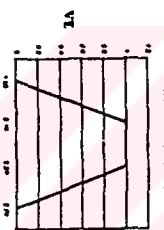
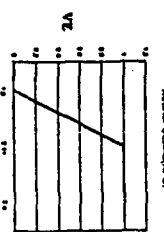
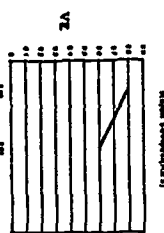
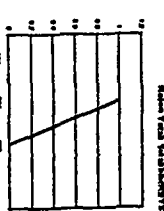
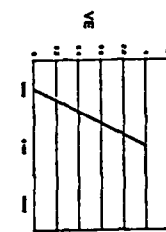
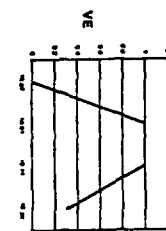
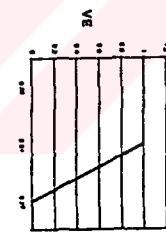
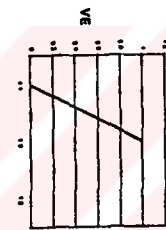
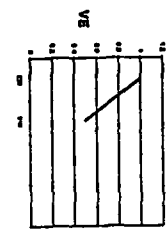
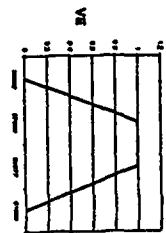
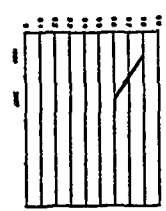


EK E' nin DEVAMI

RURAL 6

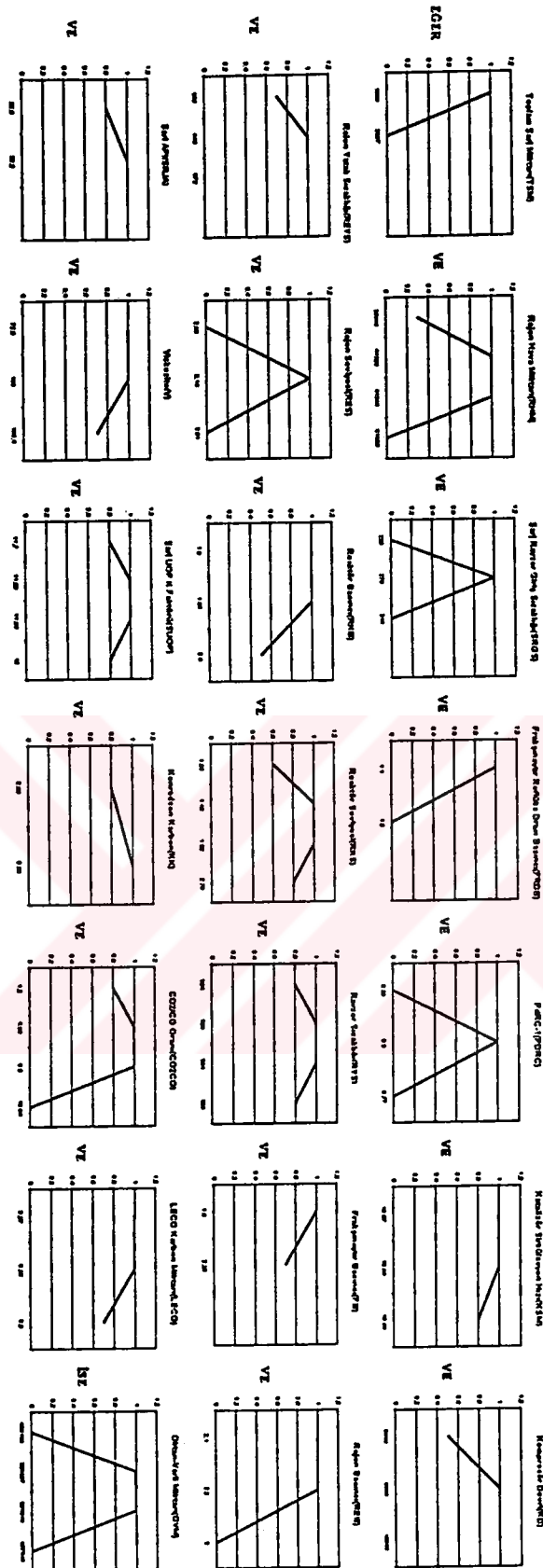


Testes and Anterior Pituitary

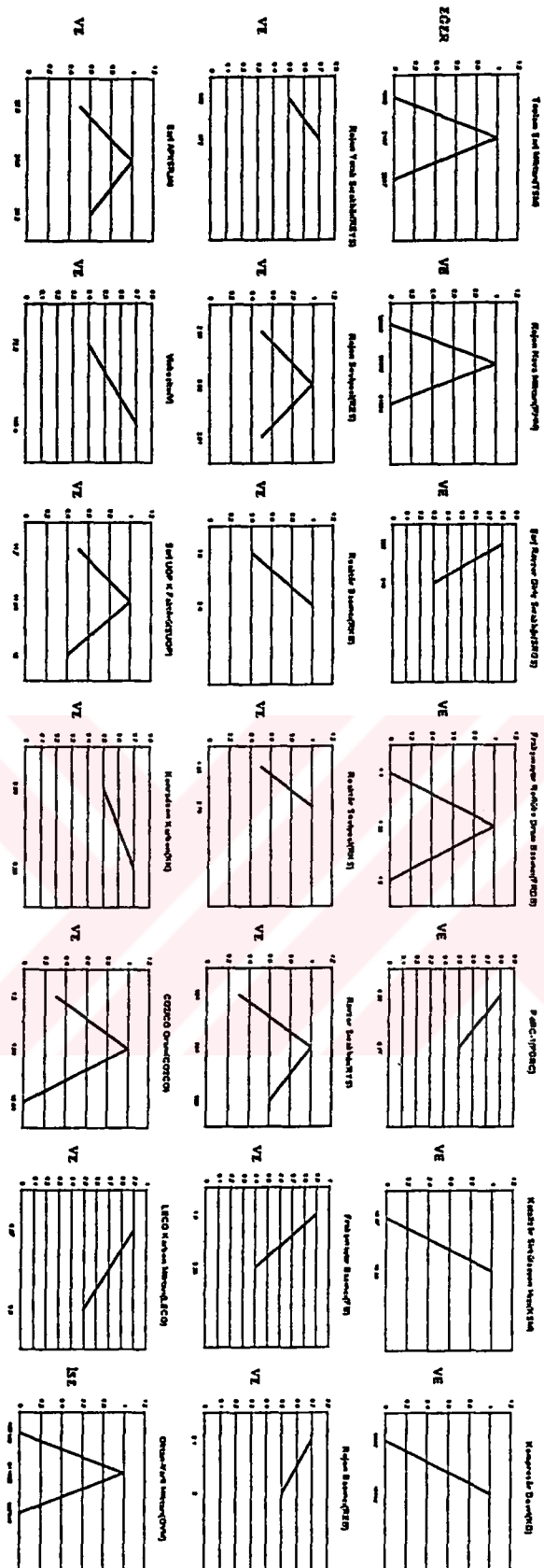


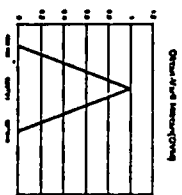
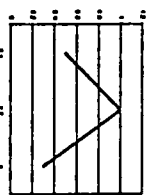
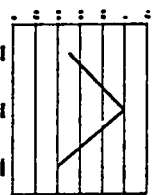
EK E' nin DEVAMI

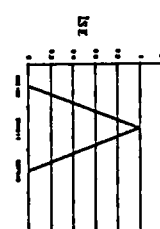
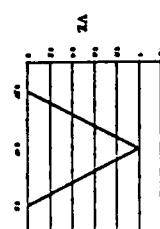
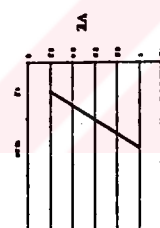
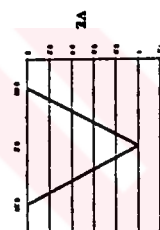
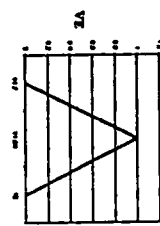
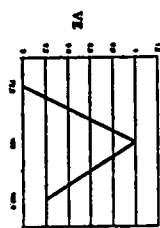
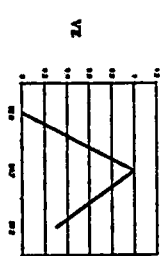
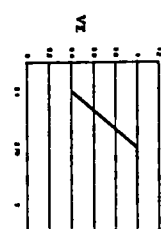
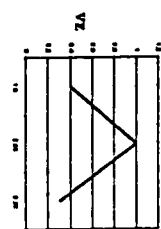
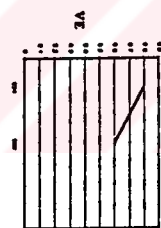
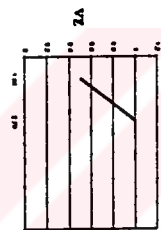
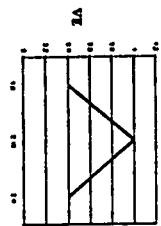
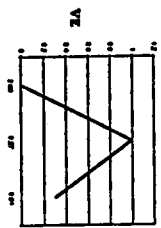
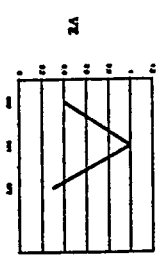
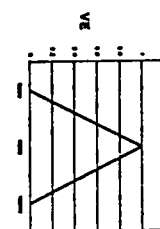
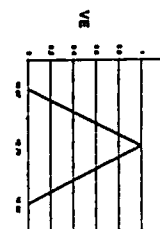
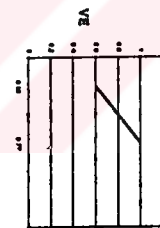
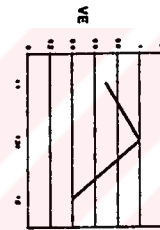
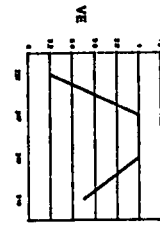
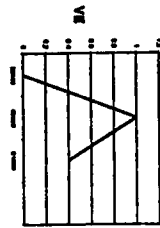
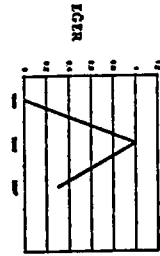
KURAL 6



EK E' nin DEVAMI



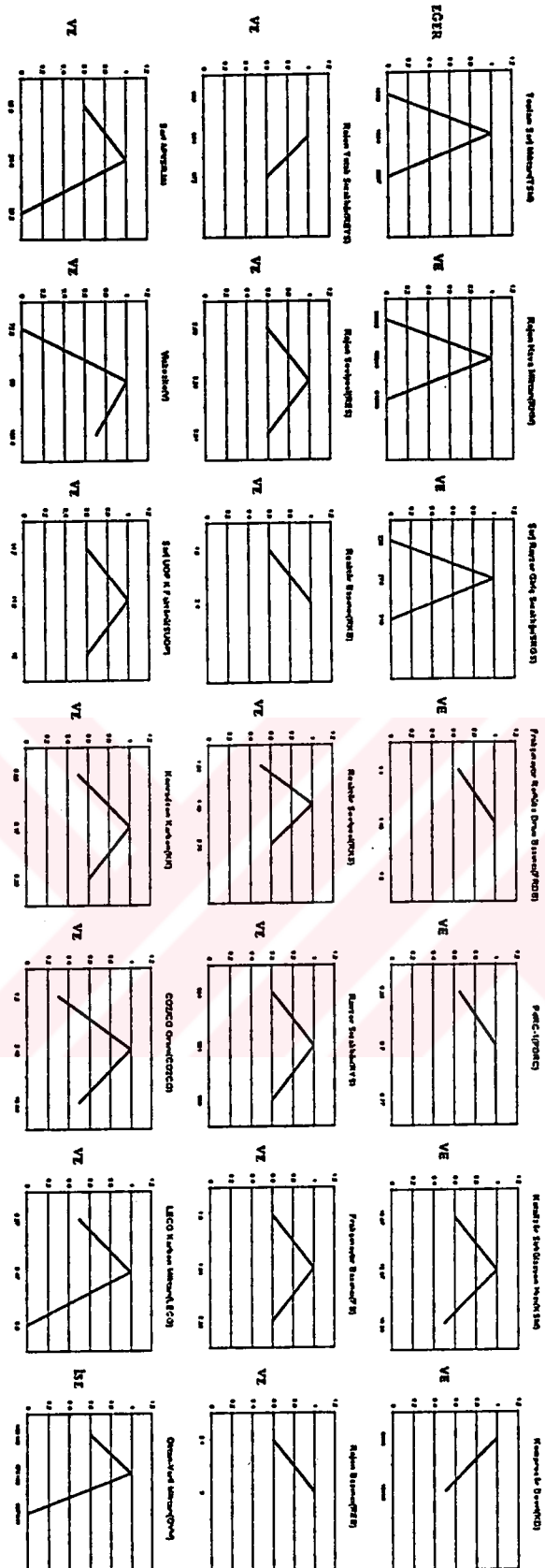
Section 8 of Internal 7524

Topic: 3rd National Day

Toolbox 3 and Inventory 7 (Sh)

EK E' nin DEVAMI

KURAL 13



EK F: İzmit Tüpraş FCCU Değişkenlerine Ait Veriler

TSM	RHM	SRGS	FRDB	PDRC	KSM	KD	REYS	RES	RKB	RKS	RYS	FB	REB	SRJA	V	SUOP	KK	CO2CO	LECO	OVN
2233	37137	301	1,25	0,55	11,70	9400	662	3,33	2,25	1,25	532	1,60	2,80	25,90	101,20	11,90	0,07	12,83	0,39	533180,50
2264	38772	302	1,30	0,60	11,77	9000	664	3,67	2,25	1,32	533	2,10	2,85	24,30	128,40	11,81	0,08	10,67	0,42	559869,18
2242	39363	296	1,35	0,60	11,35	9200	671	3,41	2,40	1,22	531	2,00	3,00	24,50	121,30	11,82	0,10	8,89	0,40	610918,24
1888	39937	306	1,10	0,50	11,91	9400	662	3,14	1,60	1,60	527	1,60	2,10	24,90	160,20	11,87	0,17	4,50	0,36	520030,19
1857	39954	286	1,10	0,50	10,87	9500	670	2,91	1,60	1,39	528	1,60	2,10	22,80	161,80	11,70	0,17	12,31	0,45	483792,45
1808	41320	279	1,10	0,50	12,05	9600	663	3,14	1,60	1,52	533	1,60	2,10	25,00	106,00	11,85	0,18	4,65	0,44	524246,54
1853	42301	280	1,10	0,50	13,46	9800	661	3,14	1,60	1,34	535	1,60	2,10	25,90	86,70	11,88	0,18	13,64	0,34	507139,62
1852	41360	272	1,10	0,55	10,99	9800	670	3,14	1,65	1,48	534	1,60	2,20	24,70	105,00	11,83	0,06	8,50	0,35	523207,55
1829	43484	273	1,18	0,53	13,73	9100	655	3,14	1,65	1,45	531	1,65	2,18	25,00	116,80	11,85	0,09	4,71	0,41	494830,19
1884	44334	305	1,15	0,55	13,30	9600	663	3,14	1,65	1,46	534	1,65	2,20	24,40	104,10	11,81	0,20	5,22	0,31	484548,43
1883	45871	293	1,25	0,60	12,96	9300	661	3,14	1,75	1,46	536	1,75	2,35	25,50	155,00	11,82	0,10	2,59	0,27	505576,10
2038	45718	313	1,20	0,60	12,94	9250	671	3,02	1,75	1,34	536	1,75	2,35	24,30	131,00	11,82	0,17	3,79	0,44	504547,17
2024	46509	305	1,18	0,60	12,23	9500	669	3,58	1,80	1,39	533	1,80	2,40	23,60	157,00	11,77	0,10	3,67	0,45	511683,02
1982	44893	307	1,25	0,55	13,41	9400	668	3,14	1,90	1,85	534	1,70	2,45	26,90	108,00	11,96	0,10	9,00	0,45	586286,16
1988	43767	315	1,18	0,60	12,06	9000	668	3,50	1,70	1,77	532	1,65	2,30	23,60	144,00	11,70	0,07	3,42	0,44	553298,11
1944	46097	303	1,20	0,45	14,49	9500	665	3,41	1,75	1,63	535	1,65	2,20	23,20	146,00	11,73	0,23	10,67	0,50	571730,82
1941	46259	291	1,20	0,45	13,68	9500	670	3,14	1,75	1,56	534	1,65	2,20	23,70	132,60	11,77	0,24	9,75	0,48	574118,24
2005	43319	305	1,20	0,55	12,13	9400	668	3,14	1,65	2,08	532	1,60	2,20	22,80	162,50	11,71	0,23	2,86	0,80	507677,99
2215	41259	318	1,25	0,75	12,27	9900	652	2,89	1,90	1,69	530	1,80	2,65	25,20	139,00	11,88	0,10	1,82	0,63	635274,21
2221	43417	314	1,35	0,70	12,43	9800	663	2,88	2,05	1,79	533	1,60	2,75	23,50	163,30	11,77	0,17	2,30	0,59	604301,89
2300	47373	305	1,35	0,70	13,33	9900	668	3,03	2,00	1,77	534	1,95	2,70	23,30	144,80	11,74	0,10	1,70	0,65	620231,45
2230	45016	299	1,35	0,65	12,52	9700	665	3,03	2,05	1,70	534	2,00	2,70	25,50	152,50	11,91	0,06	1,97	0,63	655635,22
2277	46359	302	1,25	0,60	13,15	9800	667	2,92	2,05	1,70	533	2,00	2,65	25,80	92,40	11,88	0,09	1,93	0,52	603396,23
2192	47778	282	1,25	0,60	13,93	9800	672	3,14	2,00	1,70	534	1,90	2,60	24,80	112,00	11,84	0,18	4,07	0,48	611945,91
2131	45899	272	1,30	0,60	13,28	9600	670	3,03	2,00	1,52	535	1,90	2,60	25,90	95,50	11,89	0,19	2,82	0,49	581615,09
2210	46746	261	1,30	0,65	13,36	9600	658	3,09	2,05	1,72	525	1,90	2,70	24,40	140,70	11,83	0,16	2,07	0,66	628516,98
2100	44999	263	1,30	0,60	11,84	9500	671	3,14	2,00	1,59	527	1,90	2,60	24,80	112,80	11,84	0,10	2,30	0,69	579715,72
2196	48300	255	1,30	0,60	12,66	9600	671	3,14	2,00	1,80	527	1,90	2,60	24,50	114,20	11,82	0,13	2,26	0,63	576456,60
2169	46002	246	1,30	0,60	12,97	9600	663	3,03	2,10	1,77	525	1,90	2,70	26,50	97,40	11,93	0,18	3,75	0,41	610782,39
2203	50351	238	1,30	0,60	13,83	9600	667	3,27	2,10	1,37	526	1,90	2,70	24,60	141,50	11,84	0,18	3,13	0,48	615304,40
2175	48332	253	1,30	0,50	13,81	9600	665	2,69	2,20	1,22	527	2,00	2,70	23,90	129,10	11,78	0,20	3,53	0,53	625701,26
2201	49201	258	1,30	0,55	15,04	9800	663	3,08	2,20	1,49	533	2,00	2,75	24,40	104,20	11,81	0,13	4,03	0,50	604201,26
2145	40755	317	1,35	0,75	12,36	9300	659	2,96	1,95	1,59	531	1,90	2,70	25,70	98,30	11,88	0,13	6,60	0,49	563378,62
2174	42545	290	1,30	0,65	11,55	9300	662	2,97	2,05	1,69	529	1,90	2,70	23,90	118,00	11,78	0,17	2,00	0,41	543162,26
2215	43661	308	1,30	0,70	13,53	9500	660	3,02	2,00	1,77	534	1,85	2,70	23,90	96,90	11,76	0,20	11,76	0,51	539704,40

EK F'nin DEVAMI

2195	44868	293	1,30	0,70	13,45	9000	666	3,14	1,95	1,52	531	1,85	2,65	23,00	128,70	11,70	0,20	2,70	0,49	568664,15
2230	47067	295	1,30	0,73	12,53	9400	670	2,86	2,17	1,67	533	2,00	2,90	23,80	96,40	11,75	0,20	1,61	0,43	568501,26
2230	44656	296	1,30	0,77	11,31	9300	665	2,97	2,13	1,71	531	2,00	2,90	24,10	105,20	11,79	0,09	1,46	0,38	616025,16
2259	48102	302	1,50	0,50	13,67	9000	667	3,57	2,20	1,44	533	2,00	2,70	23,70	112,00	11,75	0,20	1,59	0,52	543899,37
1854	40296	274	1,45	0,70	12,67	8600	654	3,26	2,00	1,46	531	1,85	2,70	24,40	99,00	11,80	0,17	2,42	0,47	470103,14
2052	43375	294	1,45	0,65	12,99	9000	659	3,21	2,15	1,45	535	2,00	2,80	23,90	140,50	11,79	0,13	1,90	0,67	528609,43
2065	45110	272	1,45	0,60	15,01	9100	659	3,26	2,20	1,43	532	2,05	2,80	23,20	131,50	11,72	0,07	5,10	0,47	541534,59
2152	45698	291	1,45	0,45	14,46	8800	663	3,40	2,20	1,46	532	2,00	2,65	24,40	117,00	11,81	0,15	4,86	0,37	553932,08
2243	48630	277	1,50	0,35	13,34	8800	660	3,54	2,25	1,43	529	2,05	2,60	24,10	129,40	11,80	0,17	1,88	0,35	592377,36
2168	58165	255	1,35	0,48	13,95	9200	663	3,72	2,12	1,52	525	2,00	2,60	24,20	120,00	11,80	0,21	1,45	0,53	627849,06
1849	54867	240	1,35	0,55	13,33	9200	670	3,49	1,80	1,43	526	2,00	2,35	24,80	101,40	11,83	0,27	1,33	0,58	458188,68
2150	59841	236	1,30	0,50	16,33	9600	666	3,20	2,20	2,24	529	2,10	2,70	24,90	130,40	11,85	0,15	1,65	0,75	633735,85
2160	57828	250	1,27	0,48	14,96	9600	669	3,14	2,20	2,16	527	2,00	2,68	24,00	116,50	11,78	0,25	1,71	0,62	621793,71
2106	58516	247	1,35	0,41	14,97	9400	667	3,65	2,10	2,28	532	2,15	2,51	25,00	110,30	11,85	0,11	1,33	0,58	613267,92
2050	59251	230	1,44	0,54	15,13	9300	661	3,72	2,22	2,16	530	2,05	2,76	23,70	119,10	11,76	0,21	1,24	0,57	595528,30
1967	57036	228	1,30	0,47	14,91	9300	661	3,50	2,11	2,16	529	2,10	2,58	25,10	117,00	11,86	0,15	1,44	0,56	553350,94
2092	59251	234	1,35	0,52	15,63	9400	663	3,33	2,15	2,33	529	2,10	2,67	24,70	113,90	11,83	0,09	1,54	0,62	598047,17
2172	58577	240	1,35	0,51	15,11	9100	660	3,54	2,15	2,24	531	2,00	2,66	26,50	108,00	11,94	0,10	1,46	0,57	555632,70
2151	61322	232	1,30	0,53	17,53	9100	665	3,72	2,07	2,31	531	1,90	2,60	25,00	131,30	11,86	0,16	2,65	0,57	560386,79
2161	58197	225	1,30	0,54	16,15	9000	659	3,58	2,06	2,21	529	1,80	2,60	24,10	123,00	11,80	0,06	2,19	0,57	587647,80
2153	55211	228	1,35	0,56	14,40	9200	658	3,62	2,04	2,43	529	1,80	2,60	24,70	120,00	11,83	0,17	1,29	0,45	583735,85
2194	61214	226	1,28	0,52	16,49	9500	670	3,37	2,11	2,47	535	1,85	2,63	24,90	121,70	11,85	0,10	1,67	0,78	600452,83
2193	61636	228	1,28	0,47	16,46	9600	669	3,47	2,13	2,03	536	1,88	2,60	25,10	133,30	11,87	0,18	1,45	0,51	634182,39
2161	52723	281	1,44	0,70	15,00	9200	662	2,82	2,00	1,82	535	2,15	2,70	26,30	122,70	11,94	0,10	1,88	0,77	663908,81
2165	53431	281	1,39	0,68	13,39	9300	662	2,77	2,02	2,49	535	2,15	2,70	25,40	122,00	11,88	0,15	1,49	0,44	617524,53
2131	51414	298	1,27	0,64	13,96	9400	657	2,71	2,08	1,43	534	2,00	2,72	25,40	107,00	11,87	0,08	1,67	0,50	630728,30
2146	53405	278	1,30	0,65	13,28	9500	659	2,78	2,00	1,63	533	1,92	2,65	24,50	119,00	11,82	0,15	1,24	0,65	586163,52
2138	51997	287	1,35	0,63	12,75	9400	664	2,93	2,08	2,11	533	1,95	2,71	24,20	104,40	11,79	0,17	1,40	0,60	586361,64
2136	53068	276	1,32	0,58	15,11	9600	657	2,63	2,12	1,79	533	2,00	2,70	26,30	93,50	11,91	0,07	1,56	0,63	621720,13
2218	51997	291	1,40	0,50	13,58	8900	665	3,09	2,15	1,48	535	2,05	2,65	25,20	111,70	11,86	0,07	1,64	0,51	633761,01
2170	55562	288	1,33	0,70	14,25	9000	668	3,20	2,10	1,22	532	1,90	2,80	24,50	112,80	11,82	0,17	1,20	0,64	584100,63
2150	52872	282	1,20	0,55	14,67	9200	660	3,33	2,10	1,59	535	1,90	2,65	27,00	101,80	11,96	0,17	1,97	0,48	617660,38
2184	52518	280	1,30	0,60	14,99	9000	653	3,35	2,10	1,15	532	1,90	2,70	25,30	101,00	11,86	0,09	1,57	0,63	591975,47
2132	52518	261	1,30	0,65	14,61	9200	656	3,48	2,15	1,21	533	1,92	2,80	25,70	130,50	11,90	0,14	1,65	0,50	588272,96
1955	49659	270	1,30	0,55	13,96	9100	656	3,48	2,05	1,07	532	1,83	2,60	25,00	113,80	11,85	0,08	1,51	0,50	520684,28
1958	51257	252	1,25	0,56	14,55	9000	658	3,69	2,07	1,56	529	1,82	2,63	26,40	127,30	11,95	0,17	1,69	0,46	582972,33

EK F'nin DEVAMI

2085	51187	276	1,30	0,62	14,62	9100	656	3,35	2,08	1,77	534	1,90	2,70	24,90	104,00	11,84	0,15	1,59	0,46	582792,45
2183	52518	280	1,27	0,67	14,79	9100	654	3,48	2,15	1,72	533	1,92	2,82	25,40	135,50	11,89	0,19	1,50	0,52	633924,53
2186	53511	273	1,27	0,64	15,80	9500	662	3,79	2,18	1,46	534	1,93	2,82	23,50	126,40	11,74	0,13	1,74	0,41	612944,65
2171	55074	265	1,26	0,48	15,35	9700	663	3,55	2,27	1,63	535	2,03	2,75	24,00	131,70	11,79	0,23	2,38	0,60	608603,77
1976	52139	247	1,25	0,43	15,33	9600	656	3,91	2,10	1,77	535	1,85	2,53	25,00	93,30	11,84	0,11	2,14	0,47	577698,11
2001	52139	246	1,22	0,38	14,82	9200	650	3,72	2,05	1,77	528	1,80	2,43	26,40	72,30	11,90	0,08	2,11	0,44	610127,04
2274	57441	257	1,27	0,53	15,78	9800	661	3,72	2,27	1,77	533	2,05	2,80	24,40	92,60	11,80	0,14	2,19	0,37	644211,32
2257	58687	244	1,27	0,60	16,03	9800	662	3,72	2,20	1,64	532	2,05	2,80	23,60	158,70	11,78	0,12	1,78	0,41	651339,62
2276	58060	260	1,25	0,43	16,41	9900	660	3,79	2,17	1,77	534	2,00	2,60	24,60	123,60	11,83	0,14	1,86	0,36	655200,00
2256	58942	235	1,25	0,40	15,88	9900	664	3,72	2,20	1,64	533	2,05	2,60	24,50	139,50	11,83	0,18	1,45	0,38	628440,25
2082	48805	249	1,26	0,63	12,79	9200	659	3,27	2,15	2,28	529	2,05	2,78	24,70	130,00	11,84	0,20	1,78	0,47	599811,32
2083	50500	245	1,25	0,60	12,75	9200	663	3,55	2,10	2,46	533	2,00	2,70	25,80	130,00	11,91	0,08	1,49	0,33	547461,64
2077	50418	260	1,25	0,60	14,75	9600	659	3,03	2,20	2,49	534	2,05	2,80	24,40	136,00	11,82	0,18	1,35	0,38	598419,50
2143	51486	271	1,30	0,58	16,59	9600	669	3,08	2,30	2,20	532	2,20	2,88	24,40	129,30	11,80	0,11	1,76	0,36	661605,03
2128	51905	254	1,27	0,58	17,18	9800	667	2,91	2,27	2,06	533	2,14	2,85	24,00	125,20	11,89	0,08	1,72	0,36	639509,43
2090	48703	261	1,32	0,58	16,04	9500	664	2,86	2,22	2,79	532	2,10	2,80	25,50	125,20	11,89	0,08	1,55	0,35	685142,14
2151	49139	249	1,25	0,53	16,00	9800	660	3,03	2,37	2,08	527	2,25	2,90	29,20	112,50	12,00	0,27	1,72	0,36	639509,43
2187	50332	273	1,32	0,48	18,36	9700	661	3,03	2,32	2,41	534	2,10	2,80	24,80	121,90	11,84	0,11	1,96	0,36	611522,01
2172	51844	242	1,37	0,60	17,37	9600	662	3,03	2,40	2,47	525	2,25	3,00	24,90	126,00	11,85	0,13	1,83	0,38	563320,75
2089	50414	241	1,32	0,38	17,50	9500	664	2,97	2,32	2,41	530	2,10	2,70	23,60	144,60	11,77	0,21	1,89	0,33	577086,79
2207	51430	267	1,25	0,60	17,58	9400	658	3,14	2,40	2,79	530	2,15	3,00	23,70	165,40	11,79	0,28	1,68	0,39	624591,82
2169	49567	265	1,17	0,70	14,76	10000	659	3,20	2,00	2,66	534	1,80	2,70	28,00	94,80	12,00	0,05	2,39	0,42	645735,85
2273	43153	267	1,40	0,35	11,49	9000	657	3,47	2,30	1,55	527	2,20	2,65	24,70	118,00	11,83	0,15	1,79	0,40	641167,30
2196	40651	302	1,40	0,55	11,57	8900	651	3,01	2,15	1,81	524	2,10	2,70	28,00	104,90	12,00	0,07	2,14	0,48	617452,83
2232	43343	305	1,45	0,55	12,16	8700	658	2,86	2,15	1,70	530	2,15	2,70	26,70	108,00	11,95	0,07	1,62	0,47	592611,32
2225	44157	305	1,45	0,50	13,21	8600	657	3,32	2,10	1,46	532	2,20	2,80	27,00	99,00	11,96	0,09	1,76	0,52	578610,06
2229	43907	270	1,45	0,60	12,23	8700	668	3,33	2,05	1,45	530	1,80	2,65	25,80	111,00	11,90	0,10	4,09	0,42	627366,03
2238	42004	293	1,25	0,50	11,14	9000	664	3,34	2,10	1,69	529	2,00	2,60	27,40	93,80	11,98	0,07	2,50	0,29	595079,24
2194	41861	288	1,35	0,45	12,40	8600	666	3,54	2,15	1,55	530	2,20	2,60	27,10	107,00	11,97	0,06	4,13	0,40	621902,51
2071	46222	284	1,35	0,45	13,30	9200	666	3,70	1,95	1,55	533	2,10	2,40	24,70	124,00	11,84	0,18	2,40	0,50	575823,89
2230	43582	274	1,25	0,40	12,30	8600	661	3,72	2,20	2,66	529	2,00	2,20	26,80	94,60	11,94	0,03	3,83	0,34	687849,06
1888	35850	276	1,20	0,35	11,19	8700	660	3,46	1,95	1,56	532	2,10	2,30	25,50	104,00	11,87	0,07	7,40	0,48	538066,04
2185	39911	290	1,20	0,55	11,40	8800	664	3,46	2,10	1,45	530	2,00	2,65	25,40	115,00	11,88	0,11	4,67	0,53	609471,70
2213	39261	264	1,25	0,55	11,17	9500	662	3,27	2,25	1,33	528	2,15	2,80	26,20	101,30	11,91	0,09	11,86	0,35	611295,59
2274	57441	255	1,27	0,53	15,78	9800	661	3,72	2,27	1,77	533	2,05	2,80	24,40	92,60	11,80	0,14	2,19	0,37	644211,32
2143	51486	269	1,30	0,58	16,59	9600	669	3,08	2,30	2,20	532	2,20	2,88	24,40	129,30	11,82	0,23	1,50	0,38	675049,05

EK F'nin DEVAMI

2257	58687	243	1,27	0,60	16,03	9800	662	3,72	2,20	1,64	532	2,05	2,80	23,60	158,70	11,78	0,12	1,78	0,41	651339,62
2128	51905	251	1,27	0,58	17,18	9800	667	2,91	2,27	2,06	533	2,14	2,85	24,00	139,80	11,80	0,11	1,76	0,35	661605,03
2276	58060	258	1,25	0,43	16,41	9900	660	3,79	2,17	1,77	534	2,00	2,60	24,60	123,60	11,83	0,10	1,86	0,36	655200,00
2256	59942	235	1,25	0,40	15,88	9900	664	3,72	2,20	1,64	533	2,05	2,60	24,50	139,50	11,83	0,18	1,45	0,38	628440,25
2082	48805	247	1,26	0,73	12,79	9200	659	3,27	2,15	2,28	529	2,05	2,78	24,70	130,00	11,84	0,20	1,78	0,47	599811,32
2083	50500	243	1,25	0,60	12,75	9200	663	3,55	2,10	2,46	533	2,00	2,70	25,80	130,00	11,91	0,18	1,49	0,33	547461,64
2077	50418	256	1,25	0,60	14,75	9600	659	3,03	2,20	2,49	534	2,05	2,80	24,40	136,00	11,82	0,20	1,35	0,38	598419,49
1878	45572	238	1,20	0,66	14,35	9800	650	3,03	1,82	2,67	535	1,80	2,48	26,30	104,50	11,92	0,22	2,25	0,47	537396,22
2169	49567	265	1,17	0,70	14,76	10000	659	3,20	2,00	2,66	534	1,80	2,70	28,00	94,80	12,00	0,05	2,39	0,42	667377,35
2307	57052	254	1,30	0,75	16,81	9800	657	3,32	2,15	1,62	533	2,05	2,90	24,30	122,80	11,81	0,08	1,80	0,48	656489,30
2248	56262	247	1,20	0,70	17,71	9800	651	2,66	2,10	1,43	529	2,05	2,80	26,80	101,00	11,95	0,10	2,12	0,41	631884,27
2208	57240	253	1,20	0,70	14,81	9600	659	2,69	2,00	1,05	534	1,90	2,70	23,30	158,70	11,75	0,19	1,81	0,39	606079,24

ÖZGEÇMİŞ

Mithat Zeydan, 1968 yılında Eskişehir'de doğmuştur. 1985 yılında Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliğinde Lisans eğitime başlamıştır. 1991-1992 yılları arasında, yedek subay olarak Ankara Hava Kuvvetleri Komutanlığı Karargahı Plan.Koor.Dairesi AR-GE şubesinde askerlik hizmetini tamamlamıştır.1993 yılında, Kırıkkale Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü Sayısal Yöntemler Anabilim Dalında Araştırma Görevliliğine ve aynı yıl Gazi Üniversitesi Endüstri Müh. Bölümünde master çalışmasına başlamıştır. Evli ve İngilizce bilmektedir.

